

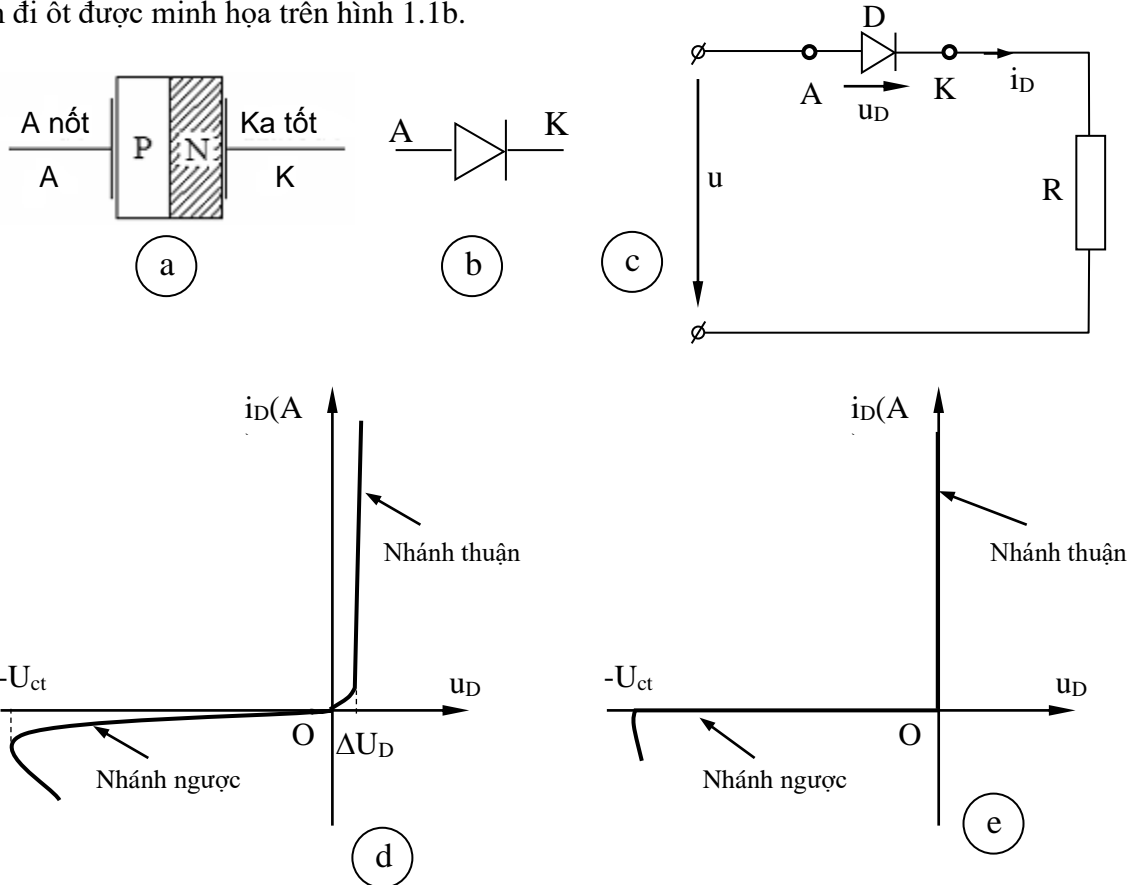
Chương 1

CÁC PHẦN TỬ BÁN DẪN CÔNG SUẤT CƠ BẢN

1.1. ĐI ỚT (DIODE) CÔNG SUẤT

1.1.1. CẤU TẠO VÀ ĐẶC TÍNH V-A CỦA ĐI ỚT

Cấu tạo của đi ốt được mô tả như hình 1.1a, đi ốt được cấu tạo bằng việc ghép hai phiến bán dẫn khác loại nhau và tạo nên một vùng chuyển tiếp p-n (một tiếp giáp). Đi ốt có 2 điện cực, một điện cực nối ra từ bán dẫn loại p được gọi là A nốt (A nốt), ký hiệu là A, điện còn lại nối ra từ bán dẫn n được gọi là Ka nốt (Ka nốt) và ký hiệu là K. Ký hiệu biểu diễn đi ốt được minh họa trên hình 1.1b.



Hình 1.1: Cấu tạo (a), ký hiệu (b), sơ đồ mạch điện để xây dựng đặc tính V-A (c) đặc tính V-A (d) của đi ốt và đặc tính V-A lý tưởng hóa (e)

Hình 1.1c là sơ đồ mạch điện dùng để xây dựng đặc tính V-A của đi ốt, trong sơ đồ ngoài đi ốt còn có nguồn điện áp u (có thể thay đổi cực tính được) và điện trở mạch ngoài R (điện trở tải). Điện áp trên đi ốt được quy ước với chiều dương hướng từ A sang K và ký hiệu là u_D , khi $u_D > 0$ ta nói điện áp trên đi ốt là thuận, ngược lại khi $u_D < 0$ ta nói điện áp trên đi ốt là ngược (hay: đi ốt chịu điện áp ngược). Dòng điện qua đi ốt được quy ước cùng chiều với điện áp và ký hiệu là i_D (sơ đồ). Khi cho $u > 0$ (chiều của u đã quy ước rõ trên sơ đồ), khi đó cực tính dương của nguồn u đặt vào A của đi ốt, con cực tính âm của nguồn qua điện trở R đặt và K của đi ốt, khi đó tiếp giáp J được phân cực thuận và cho dòng điện đi qua, tăng dần u thì dòng qua đi ốt tăng dần còn điện áp trên đi ốt cũng có tăng nhưng rất

không đáng kể, có thể xem điện áp trên điốt là không đổi và có giá trị cỡ từ 0,2 đến 0,7 V, tùy thì loại vật liệu bán dẫn dùng để chế tạo điốt, như vậy, dòng qua điốt gần như chỉ phụ thuộc vào nguồn u và điện trở mạch ngoài R (điốt mở), đoạn đặc tính $V-A$ trong trường hợp này là phần nhánh thuận (hình 1.1d). Khi cho $u < 0$, khi đó cực tính âm của nguồn đặt vào A của điốt, cực tính dương của nguồn qua điện trở R đặt vào K của điốt, khi đó tiếp giáp J được phân cực ngược, gần như không cho dòng điện đi qua, thực tế lúc này qua điốt cũng có một dòng điện ngược ($i_D < 0$) rất nhỏ và thường được gọi là dòng rò, tăng dần giá trị của u theo chiều ngược thì dòng ngược qua điốt cũng tăng dần nhưng vẫn rất nhỏ, có thể xem điện áp trên điốt bằng điện áp nguồn u , nhưng khi u tăng đạt một giá trị nào đó (tùy loại điốt) được gọi là điện áp đánh thủng (chọc thủng, U_{ct}) thì dòng ngược qua điốt tăng đột ngột và điện áp trên nó giảm, điốt bị đánh thủng về điện và không còn khả năng làm việc nữa (hỏng), đoạn đặc tính $V-A$ trong trường hợp này là phần nhánh ngược (hình 1.1d). Trong nhiều trường hợp có thể coi gần đúng sụt điện áp trên điốt khi mở bằng không và bỏ qua dòng điện rò khi điốt chịu điện áp ngược nhỏ hơn điện áp chọc thủng, khi đó ta có đặc tính $V-A$ lý tưởng hóa như hình 1.1e.

1.1.2. CÁC THAM SỐ CƠ BẢN CỦA ĐIỐT

Khi lựa chọn và kiểm tra điốt ta thường phải dựa vào một số tham số cơ bản mà nhà sản xuất đưa ra:

Điện áp ngược lớn nhất cho phép [U_{Dngmax}], là giá trị điện áp ngược lớn nhất có thể xuất hiện trên điốt mà không làm hỏng điốt, giá trị này thường cỡ từ 40% đến 60% U_{ct} .

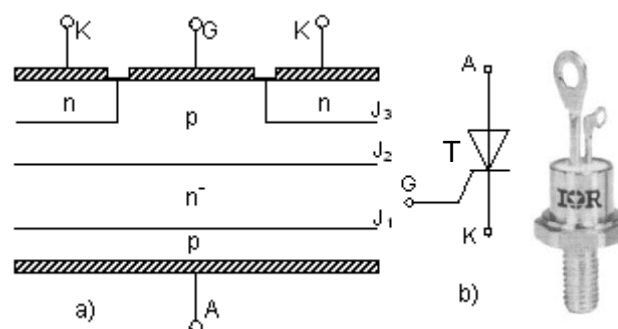
Dòng điện thuận định mức của điốt, là giá trị trung bình hoặc hiệu dụng lớn nhất cho phép của dòng qua điốt mà điốt vẫn đảm bảo hoạt động bình thường.

Sụt điện áp thuận trên điốt (ΔU_D), là giá trị điện áp thuận trên điốt khi điốt làm việc ở trạng thái mở (dẫn dòng) với dòng điện bằng giá trị định mức.

Ngoài ra tùy thuộc vào loại điốt mà còn có một tham số khác.

1.2. THYRISTOR

Thyristor là phần tử bán dẫn cấu tạo từ bốn lớp bán dẫn p-n-p-n, tạo ra ba tiếp giáp p-n: J_1, J_2, J_3 . Thyristor có nhiều loại khác nhau nhưng về cơ bản đều có ba điện cực là A nốt (A), K a nốt (K), cực điều khiển (G - Gate), loại thyristor thông dụng nhất (loại điều khiển theo K a

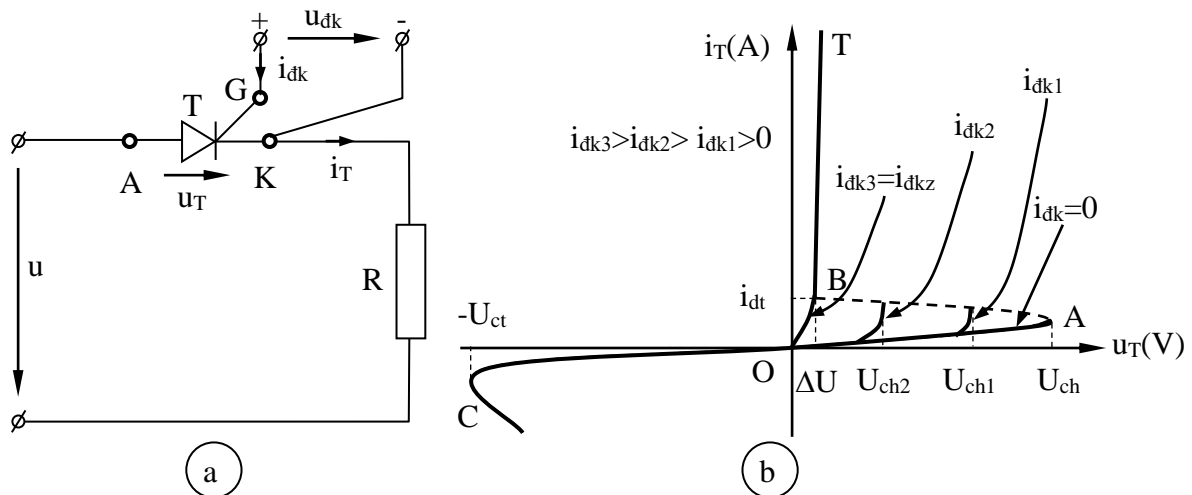


Hình 1.2: Thyristor
a) Cấu trúc bán dẫn; b) Ký hiệu; c) Hình ảnh thực tế

tốt) được biểu diễn trên hình 1.2. Sau đây ta chỉ nghiên cứu đặc tính loại thyristor này.

1.2.1. ĐẶC TÍNH VÔN-AMPE CỦA THYRISTOR

Sơ đồ mạch điện để xây dựng đặc tính V-A của thyristor được minh họa trên hình 1.3a, sơ đồ gồm thyristor T và điện trở tải R, nguồn điện áp cấp cho mạch A nốt và Ka tốt của thyristor (u), nguồn điện áp cung cấp cho cực điều khiển thyristor (u_{dk}), điện áp giữa A



Hình 1.3: Sơ đồ mạch điện để xây dựng đặc tính V-A của thyristor (a); Đặc tính V-A của thyristor (b)

và K của thyristor được ký hiệu là u_T , dòng qua mạch A-K của thyristor ký hiệu là i_T , dòng điện đi vào cực điều khiển ký hiệu là i_{dk} và phải có chiều như trên hình vẽ. Đặc tính V-A của thyristor gồm hai phần (hình 1.3). Phần thứ nhất nằm trong góc phần tư thứ I là đặc tính nhánh thuận tương ứng với trường hợp điện áp $u_T > 0$; phần thứ hai nằm trong góc phần tư thứ III, gọi là đặc tính nhánh ngược, tương ứng với trường hợp: $u_T < 0$.

1.2.1.1. Đặc tính nhánh thuận

Khi đặt điện áp lên hai điện cực chính A và K của của thyristor theo hướng A dương hơn K, ta nói trên thyristor có điện áp thuận ($u_T > 0$); trường hợp ngược lại ta nói thyristor bị đặt (chịu) điện áp ngược ($u_T < 0$).

a) Khi không có dòng điện điều khiển ($i_{dk} = 0$)

Khi chưa có dòng điều khiển ($i_{dk}=0$), cho $u > 0$ và tăng dần điện áp nguồn u thì điện áp trên thyristor theo chiều thuận tăng lên, nếu điện áp trên thyristor còn nhỏ thì có một dòng điện rất nhỏ chạy qua mạch A nốt - cathode, gọi là dòng rò. Điện trở tương đương mạch A-K vẫn có giá trị rất lớn, có thể xem điện áp trên thyristor lúc này bằng điện áp nguồn u (vì sụt áp trên R không đáng kể). Khi đó tiếp giáp J_1, J_3 phân cực thuận, J_2 phân cực ngược. Dòng điện qua thyristor sẽ tăng khi tăng điện áp trên nó, nhưng vẫn có giá trị rất nhỏ chừng nào u_T chưa đạt đến giá trị U_{ch} (được gọi là điện áp chuyển trạng thái), ta nói thyristor ở trạng thái khóa khi chịu điện áp thuận (đoạn đặc tính OA). Tiếp tục tăng nguồn u để tăng điện áp thuận trên thyristor cho đến khi u_T đạt đến giá trị điện áp U_{ch} , sẽ xảy ra hiện tượng điện trở tương đương mạch A nốt-Cathode đột ngột giảm, dòng điện chạy qua

thyristor sẽ tăng đột ngột lên giá trị mà gần như chỉ bị giới hạn bởi điện trở mạch ngoài R (sụt điện áp giữa A và K lúc này cỡ 1,4 V), thyristor làm việc ở trạng thái mở (đoạn BT).

Khi thyristor đang làm việc trên đoạn đặc tính BT, nếu ta giảm nguồn u thì u_T và i_T giảm theo đoạn BT. Khi u_T giảm về bằng giá trị điện áp tại điểm B ($u_T = \Delta U$), nếu tiếp giảm nguồn u thì điểm làm việc sẽ chuyển sang đoạ OA (ứng với giá trị của u) và thyristor coi như đã chuyển sang trạng thái khóa.

Giá trị dòng điện tại điểm B được gọi là dòng điện duy trì, ký hiệu là i_{dt} .

b) Trường hợp có dòng điện vào cực điều khiển ($i_{dk} > 0$)

Nếu tạo ra một dòng điện qua cực điều G của thyristor bằng cách đặt vào giữa 2 điện cực G và K một điện áp u_{dk} với cực tính như trên hình 1.2a thì đặc tính V-A nhánh thuận có sự thay đổi. Cụ thể, khi i_{dk} còn nhỏ, nếu tăng dần u từ không lên ($u > 0$) thì qua thyristor cũng có dòng điện thuận tăng dần, phân đầu của đoạn OA của đặc tính V-A không gì thay đổi, nhưng khi tăng tiếp u , thì u_T tăng và đến một giá trị nào đó nhỏ hơn U_{ch} thì thyristor đã xảy ra sự chuyển trạng thái từ khóa sang mở. Nếu tăng tiếp giá trị dòng điều khiển thì giá trị điện áp chuyển trạng thái lại giảm, khi dòng điều khiển đạt đến một giá trị nào đó (ví dụ là i_{dk3} như trên đồ thị) thì đặc tính nhánh thuận của thyristor tương đương như của điốt, có nghĩa là thyristor mở với mọi giá trị điện áp thuận, giá trị này của dòng điều khiển được gọi là giá trị dòng điều khiển nắn thẳng, ký hiệu là i_{dkz} . Trong thực tế, khi chế tạo thyristor người ta đưa ra giá trị định mức của dòng điều khiển lớn hơn một chút so với i_{dkz} .

1.2.1.2. Đặc tính nhánh ngược

Khi điện áp nguồn $u < 0$, khi đó $u_T < 0$, theo cấu tạo bán dẫn của thyristor, hai tiếp giáp J_1, J_3 đều phân cực ngược, lớp J_2 phân cực thuận, như vậy thyristor sẽ giống như hai đi ốt mắc nối tiếp bị phân cực ngược, qua thyristor sẽ chỉ có một dòng điện rất nhỏ chạy qua nếu trị tuyệt đối của u_T còn nhỏ hơn trị số U_{ct} . Khi u_T tăng đạt đến giá trị U_{ct} sẽ xảy ra hiện tượng thyristor bị đánh thủng, dòng điện có thể tăng lên rất lớn. Cũng tương tự như ở đoạn đặc tính nhánh ngược của đi ốt, khi thyristor đã bị đánh thủng vì quá điện áp ngược, nếu có giảm điện áp u xuống dưới mức U_{ct} thì dòng điện cũng không giảm được về mức dòng rò và thyristor đã bị hỏng.

Phần lớn các thyristor không cho phép có dòng điều khiển khi có điện áp ngược.

1.2.2. MỞ VÀ KHÓA THYRISTOR

Thyristor chỉ cho phép dòng chạy qua theo một chiều, từ A đến K, và không được chạy theo chiều ngược lại. Điều kiện để thyristor có thể dẫn dòng, ngoài điều kiện phải có điện áp $u_T > 0$ còn phải thỏa mãn điều kiện là có dòng điện điều khiển đủ yêu cầu. Thông thường, với phần lớn các sơ đồ ứng dụng thyristor đều yêu cầu thyristor sẽ chuyển sang trạng thái mở tại thời điểm xuất hiện dòng điện điều khiển với mọi giá trị điện áp điều khiển bất kỳ, điều đó có nghĩa là dòng điện điều khiển khi xuất hiện phải có giá trị lớn hơn hoặc bằng dòng điều khiển nắn thẳng (i_{dkz}). Thyristor được coi là phần tử bán dẫn có điều khiển.

1.2.2.1. Mở Thyristor

Khi được phân cực thuận, $u_T > 0$, thyristor có thể chuyển từ trạng thái khóa sang trạng thái mở theo hai trường hợp.

Trường hợp thứ nhất, khi tăng điện áp trên thyristor đạt đến giá trị điện áp chuyển trạng thái U_{ch} , điện trở tương đương trong mạch A nốt - Ka tốt sẽ giảm đột ngột và dòng qua thyristor sẽ hoàn toàn do mạch ngoài xác định. Việc chuyển trạng thái của thyristor từ khóa sang mở bằng phương pháp này trên thực tế thường không được sử dụng vì dễ làm hỏng thyristor.

Trường hợp thứ hai, khi trên thyristor đang có một giá trị điện áp thuận nào đó (nhỏ hơn điện áp chuyển trạng thái), nếu ta cấp vào cực điều khiển xung dòng điện có giá trị nhất định (thường chọn $i_{dk} > i_{dkz}$) thì thyristor sẽ chuyển từ trạng thái khóa sang trạng thái mở. Đây là phương mở thyristor được sử dụng trong hầu hết các bộ biến đổi.

1.2.2.2. Khoá thyristor

Một thyristor đang dẫn dòng sẽ trở về trạng thái khóa (điện trở tương đương mạch A nốt - Ka tốt tăng cao) nếu ta cắt dòng điều khiển và giảm dòng điện thuận qua nó về nhỏ hơn dòng điện duy trì. Có thể thực hiện việc chuyển thyristor từ trạng thái mở về trạng thái khóa theo các cách như sau:

- Giảm dòng điện thuận qua thyristor về nhỏ hơn dòng duy trì bằng cách tăng tổng trở mạch ngoài (tải).
- Giảm dòng điện thuận qua thyristor về nhỏ hơn dòng duy trì bằng cách giảm điện áp thuận trên thyristor (giảm điện áp cấp cho mạch A-K) về xấp xỉ bằng không.
- Đảo cực tính điện áp trên thyristor.

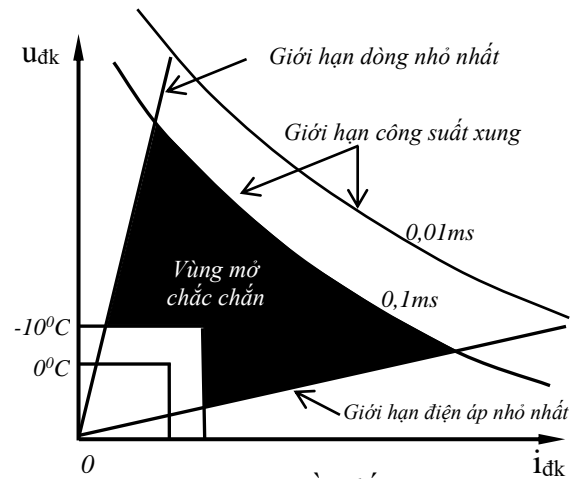
Lưu ý: Khi chuyển thyristor từ trạng thái mở về trạng thái khóa, có một khái niệm “thời gian khôi phục tính chất điều khiển”, hay còn gọi là thời gian khóa, ký hiệu là t_k (tài liệu tiếng Anh ký hiệu là t_{off}). Thời gian khôi phục tính chất điều khiển là khoảng thời gian nhỏ nhất tính từ thời điểm dòng điện thuận qua thyristor giảm về bằng không cho đến thời điểm có thể đặt điện áp thuận lên thyristor mà không làm cho thyristor tự mở lại khi không có dòng điều khiển. Thời gian khôi phục tính chất điều khiển là một trong những thông số quan trọng của thyristor. Thời gian khôi phục tính chất điều khiển xác định dải tần số làm việc của thyristor. Thời gian phục hồi t_k có giá trị cỡ $5 \div 10\mu s$ đối với các thyristor tần số cao và cỡ $50 \div 200\mu s$ đối với các thyristor tần số thấp.

1.2.3. CÁC YÊU CẦU ĐỐI VỚI TÍNH HIỆU ĐIỀU KHIỂN THYRISTOR

Quan hệ giữa điện áp trên cực điều khiển G và Ka tốt K với dòng đi vào cực điều khiển xác định các yêu cầu đối với tín hiệu điều khiển thyristor. Với cùng một loại thyristor nhà sản xuất sẽ cung cấp một họ đặc tính điều khiển (ví dụ như hình 1.4) trên đó có thể thấy được các đặc tính giới hạn về điện áp và dòng điện điều khiển nhỏ nhất ứng với một nhiệt độ môi trường nhất định mà tín hiệu điều khiển phải đảm bảo chắc chắn mở được thyristor. Dòng điều khiển đi qua tiếp giáp p-n giữa cực điều khiển và Ka tốt cũng làm phát nóng tiếp giáp này. Vì vậy tín hiệu điều khiển cũng phải bị hạn chế về công suất.

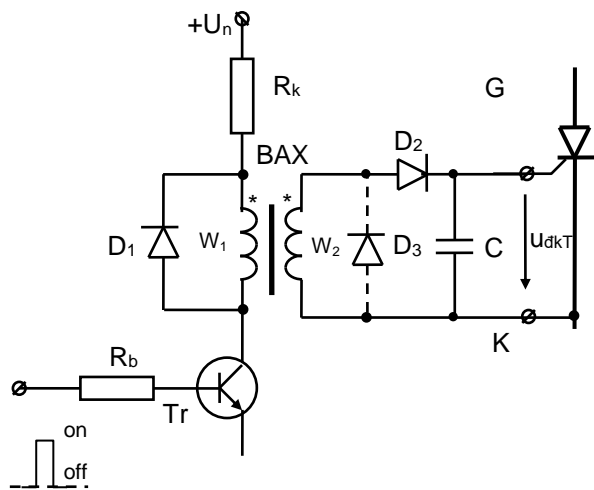
Công suất giới hạn của tín hiệu điều khiển phụ thuộc vào độ rộng của xung điều khiển. Tín hiệu điều khiển là một xung có độ rộng càng ngắn thì công suất cho phép có thể càng lớn.

Sơ đồ tiêu biểu của một mạch khuếch đại xung điều khiển thyristor được cho trên hình 1.5. Transistor Tr được điều khiển bởi một xung có độ rộng nhất định, đóng cắt điện áp phía sơ cấp biến áp xung BAX. Xung điều khiển lấy trên cuộn thứ cấp BAX được đưa đến cực điều khiển của thyristor qua điốt D₂. Như vậy mạch lực được cách ly hoàn toàn với mạch điều khiển bởi biến áp xung. Điện trở R_k hạn chế dòng qua



Hình 1.4. Yêu cầu đối với xung điều khiển của thyristor

transistor khi nó mở bão hòa và xác định nội trở của nguồn tín hiệu điều khiển. Điốt D₁ dùng để khử xung điện áp có cực tính ngược lại (xung âm) khi transistor Tr chuyển từ mở sang khóa, nó có tác dụng bảo vệ transistor Tr. Điốt D₂ ngăn xung âm vào cực điều khiển của thyristor. D₃ có tác dụng tương tự D₁. Lưu ý: trong trường hợp cần xung điều khiển xuất hiện khi chuyển Tr từ mở sang khóa thì chỉ dùng D₃ mà không được phép sử dụng D₁. Tụ C có tác dụng giảm ảnh hưởng của xung nhiễu có thể làm thyristor mở nhầm.



Hình 1.5. Sơ đồ tiêu biểu mạch khuếch đại xung điều khiển thyristor

1.2.4. CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA THYRISTOR

1.2.4.1. Giá trị dòng trung bình cho phép chạy qua thyristor, [I_{Tb}]

Đây là giá trị lớn nhất của dòng trung bình cho phép chạy qua thyristor với điều kiện nhiệt độ cấu trúc tinh thể bán dẫn của thyristor không vượt quá một giá trị cho phép. Trong thực tế dòng điện cho phép chạy qua thyristor còn phụ thuộc vào các điều kiện làm mát và nhiệt độ môi trường. Thyristor có thể được gắn lên các bộ tản nhiệt tiêu chuẩn và làm mát tự nhiên. Ngoài ra, thyristor có thể phải được làm mát cưỡng bức nhờ quạt gió hoặc dùng chất lỏng (nước cất hoặc dầu) để tải nhiệt lượng tỏa ra nhanh hơn. Vấn đề làm mát van bán dẫn sẽ được đề cập đến ở phần sau, ta có thể lựa chọn dòng điện theo các phương án sau:

- Làm mát tự nhiên: dòng sử dụng cho phép đến một phần ba dòng [I_{Tb}]
- Làm mát cưỡng bức bằng quạt gió: dòng sử dụng bằng hai phần ba dòng [I_{Tb}].
- Làm mát cưỡng bức bằng nước: có thể sử dụng 100% dòng [I_{Tb}].

1.2.4.2. Điện áp ngược lớn nhất cho phép, $[U_{Tng,max}]$

Là giá trị lớn nhất của điện áp ngược cho phép đặt lên thyristor. Do khi BBĐ làm việc thường xuất hiện các xung quá điện áp không mong muốn, vì vậy, để đảm bảo an toàn khi lựa chọn van theo điều kiện điện áp cần tính đến một độ dự trữ nhất định, thường phải chọn $[U_{Tng,max}]$ ít nhất là bằng 1,5 đến 2,0 lần giá trị lớn nhất của điện áp ngược tính toán theo sơ đồ BBĐ.

1.2.4.3. Điện áp thuận lớn nhất cho phép, $[U_{Tng,max}]$

Là giá trị điện áp ngược lớn nhất cho phép đặt lên thyristor mà không làm mở nó khi không có tín hiệu điều khiển, thường thì điện áp thuận lớn nhất cho phép cũng xấp xỉ điện áp ngược lớn nhất cho phép.

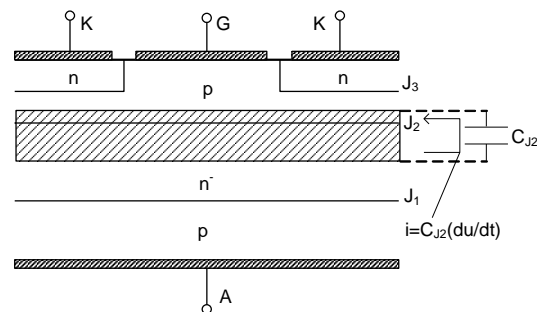
1.2.4.4. Thời gian khôi phục tính chất điều khiển của thyristor, t_k (μs)

Là thời gian tối thiểu tính từ lúc dòng điện thuận qua van giảm về bằng không đến thời điểm có thể đặt điện áp thuận lên thyristor với một tốc độ tăng cho phép mà không làm cho van tự mở lại (khi không còn tín hiệu điều khiển). Thời gian khôi phục tính chất điều khiển (còn được gọi là thời gian khôi phục tính chất khóa hay thời gian khóa) của thyristor phụ thuộc vào điều kiện khóa van, nếu khóa van bằng phương pháp đặt điện áp ngược thì t_k sẽ giảm so với phương pháp khóa khác.

1.2.4.5. Tốc độ tăng cho phép của điện áp thuận, $\left[\frac{du_T}{dt} \right]$ ($V/\mu s$)

Thông thường thyristor được sử dụng với đặc tính là một phần tử có điều khiển, tức là khi thyristor đang khóa mà có điện áp thuận ($u_T > 0$), nó chỉ được phép chuyển sang trạng thái mở khi có tín hiệu điều khiển, những trường hợp chuyển trạng thái khác là không mong muốn và có thể làm hỏng thyristor. Nhưng khi thyristor được phân cực thuận chưa có $u_{đk}$ thì phần lớn điện áp rơi trên lớp tiếp giáp J_2 như được chỉ ra trên hình 1.6.

Lớp tiếp giáp J_2 bị phân cực ngược nên độ dày của nó nở ra, tạo ra vùng không gian nghèo điện tích, cản trở dòng điện chạy qua. Vùng không gian này có thể coi như một tụ điện có điện dung C_{J_2} . Khi có điện áp thuận tăng với tốc độ lớn, dòng điện của tụ điện có giá trị đáng kể, đóng vai trò như dòng điều khiển. Kết quả là thyristor có thể mở khi chưa có tín hiệu điều khiển.



Hình 1.6. Hiệu ứng du_T/dt tác dụng như dòng điều khiển

Tốc độ tăng cho phép của điện áp thuận là một thông số để phân biệt giữa thyristor tần số thấp với các thyristor tần số cao. Ở thyristor tần số thấp, $[du_T/dt]$ vào khoảng 50 đến 200 $V/\mu s$; với các thyristor tần số cao $[du_T/dt]$ có thể đạt 500 đến 2000 $V/\mu s$.

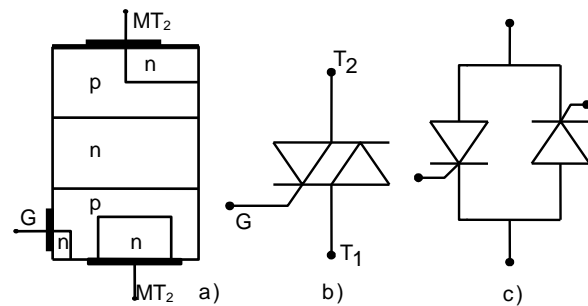
1.2.4.6. Tốc độ tăng cho phép của dòng điện thuận, $\left[\frac{di_T}{dt} \right] (A/\mu s)$

Khi thyristor bắt đầu chuyển từ khóa sang mở, không phải mọi phần trên tiết diện tinh thể bán dẫn của nó đều dẫn dòng đồng đều. Dòng điện sẽ chạy qua bắt đầu ở một số phần gần với cực điều khiển nhất, sau đó sẽ lan toả dần sang các vùng khác trên toàn bộ tiết diện. Nếu tốc độ tăng dòng quá lớn có thể dẫn đến mật độ dòng điện ở các vùng dẫn ban đầu quá lớn, sự phát nhiệt cục bộ quá mãnh liệt có thể dẫn đến hỏng cục bộ, và thyristor bị hỏng.

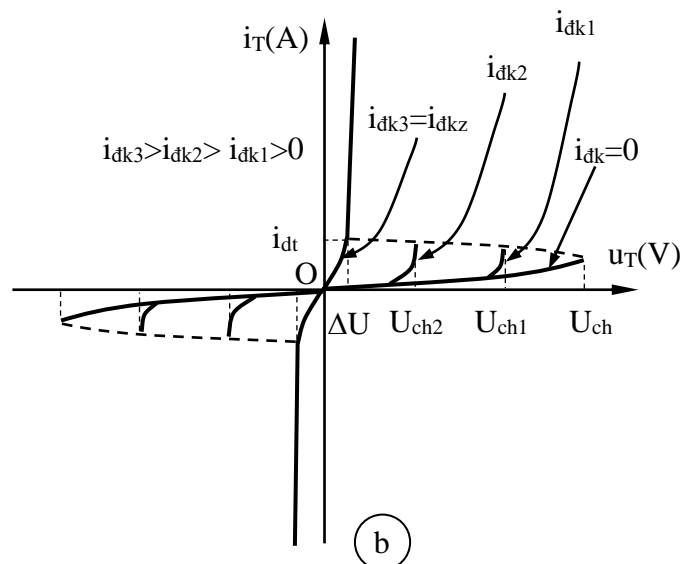
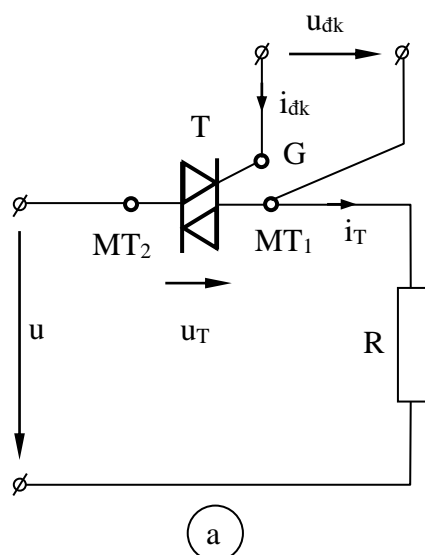
Tốc độ tăng dòng cũng phân biệt thyristor tần số thấp, có $[di_T/dt]$ cỡ $50 \div 100 A/\mu s$, với các thyristor tần số cao với $[di_T/dt]$ cỡ $500 \div 2000 A/\mu s$. Trong các ứng dụng phải luôn đảm bảo tốc độ tăng dòng dưới mức cho phép. Điều này đạt được nhờ mắc nối tiếp các van bán dẫn với các cuộn kháng.

1.3. TRIAC

Triac là phần tử bán dẫn có cấu trúc bán dẫn gồm năm lớp, tạo nên cấu trúc p-n-p-n như ở thyristor theo cả hai chiều giữa các cực MT_1 và MT_2 như được thể hiện trên hình 1.17a. triac có ký hiệu trên sơ đồ như trên $[di_T/dt]$ có thể dẫn dòng theo cả hai chiều MT_1 và MT_2 . Về nguyên tắc, triac có thể coi là tương đương với hai thyristor đấu song song ngược như trên hình 1.7c.



Hình 1.7. Triac: a) Cấu trúc bán dẫn; b) Ký hiệu; c) Sơ đồ tương đương với hai thyristor song song ngược như trên hình 1.7c.



Hình 1.8: Mạch điện để xây dựng đặc tính V-A của triac(a); Đặc tính V-A của triac(b)

Đặc tính vôn-ampe của triac bao gồm hai đoạn đặc tính đối xứng nhau và nằm ở góc phần tư thứ I và thứ III, mỗi đoạn đều giống như đặc tính nhánh thuận của một thyristor và như được biểu diễn trên hình 1.8b.

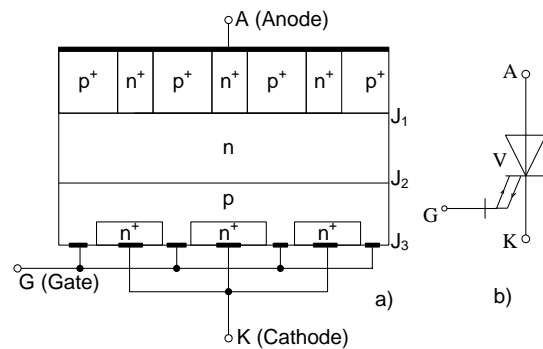
Triac có thể điều khiển mở dẫn dòng bằng cả xung dòng dương (dòng đi vào cực điều khiển) hoặc bằng xung dòng âm (dòng đi ra khỏi cực điều khiển). Lấy cực MT_1 làm chuẩn, trường hợp MT_2 dương thì G dương và MT_2 âm thì G âm hay được sử dụng hơn cả.

Chiều dương của các điện áp và dòng điện quy ước như trên sơ đồ hình 1.8a.

Triac đặc biệt hữu ích trong các ứng dụng điều chỉnh điện áp xoay chiều hoặc các công-tắc-tơ tĩnh ở dải công suất vừa và nhỏ.

1.4. THYRISTOR ĐIỀU KHIỂN HOÀN TOÀN, GTO

Các thyristor điều khiển khoa được bằng tín hiệu điều khiển, còn được gọi là thyristor hai tác động hay thyristor điều khiển hoàn toàn (GTO - Gate Turn Off), là các thyristor có khả năng điều khiển mở và khóa được bằng tín hiệu điều khiển cấp vào cực G. chúng có thể cho phép đóng cắt các dòng điện rất lớn, chịu được điện áp cao giống như thyristor. Sử dụng loại thyristor này có thể chủ động cả thời điểm mở và khóa nhờ tín hiệu điều khiển. Việc ứng dụng các GTO đã phát huy ưu điểm cơ bản của các phần tử bán dẫn, đó là khả năng đóng cắt dòng điện lớn nhưng lại được điều khiển bởi các tín hiệu điện công suất nhỏ.



Hình 1.9. GTO:
a) Cấu trúc bán dẫn; b) Ký hiệu

Cấu trúc bán dẫn của GTO phức tạp hơn so với thyristor như được chỉ ra trên hình 1.9a. Ký hiệu của GTO được minh họa trên hình 1.9b, nó cũng chỉ rõ đặc tính điều khiển là dòng điện đi vào cực điều khiển để mở GTO, còn dòng đi ra khỏi cực điều khiển dùng để di chuyển các điện tích ra khỏi cấu trúc bán dẫn của nó, để khóa GTO lại.

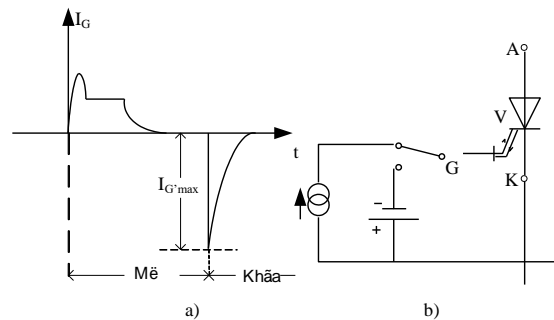
Trong cấu trúc bán dẫn của GTO lớp p, A nốt được bổ sung các lớp n^+ . Dấu “+” ở bên cạnh chỉ ra rằng mật độ các điện tích tương ứng, các lỗ hoặc điện tử, được làm giàu thêm với mục đích làm giảm điện trở khi dẫn của các vùng này. Cực điều khiển vẫn được nối vào lớp p thứ ba nhưng được chia nhỏ ra và phân bố đều so với lớp n^+ của Cathode.

Khi chưa có dòng điều khiển, nếu A nốt có điện áp dương hơn so với Cathode thì toàn bộ điện áp sẽ rơi trên tiếp giáp J_2 ở giữa, giống như trong cấu trúc của thyristor. Tuy nhiên nếu Cathode có điện áp dương hơn so với A nốt thì tiếp giáp p^+-n ở sát A nốt sẽ bị đánh thủng ngay ở điện áp rất thấp, nghĩa là GTO không thể chịu được điện áp ngược.

GTO được điều khiển mở bằng cách cho dòng vào cực điều khiển, giống như ở thyristor thường. Tuy nhiên do cấu trúc bán dẫn khác nhau nên dòng duy trì ở GTO cao hơn ở thyristor thường. Do đó, dòng điều khiển phải có biên độ lớn hơn và duy trì trong thời gian dài hơn để dòng qua GTO kịp vượt qua giá trị dòng duy trì. Giống như ở thyristor thường, sau khi GTO đã dẫn thì dòng điều khiển không còn tác dụng. Như vậy, có thể mở GTO bằng các xung ngắn, với công suất không đáng kể.

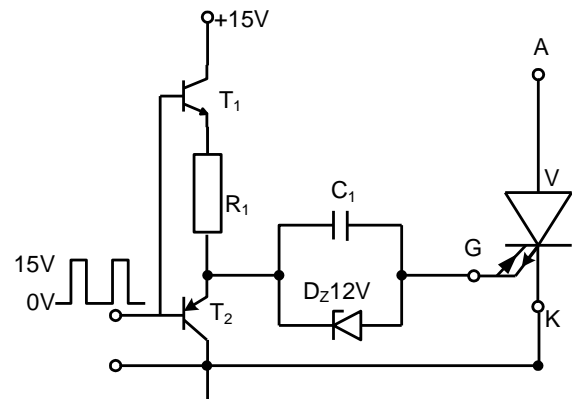
Để khoá GTO, một xung dòng phải được lấy ra từ cực điều khiển. Khi van đang dẫn dòng, tiếp giáp J_2 chứa một số lượng lớn các điện tích sinh ra do tác dụng của hiệu ứng bắn phá "vũ bão" tạo nên vùng dẫn điện, cho phép các điện tử di chuyển từ Cathode, vùng n^+ đến A nốt, vùng p^+ , tạo nên dòng A nốt. Bằng cách lấy đi một số lượng lớn các điện tích qua cực điều khiển, vùng dẫn điện sẽ bị co hẹp và bị ép về phía vùng n^+ của A nốt và vùng n^+ của Cathode. Kết quả là dòng A nốt sẽ bị giảm cho đến khi bằng 0. Dòng điều khiển được duy trì một thời gian ngắn để GTO phục hồi tính chất khoá.

Yêu cầu về xung điều khiển và nguyên tắc thực hiện được thể hiện trên hình 1.10. Hình 1.10a thể hiện xung dòng khoá GTO phải có biên độ rất lớn, vào khoảng 20 ÷ 25% biên độ dòng A nốt-Cathode. Một yêu cầu quan trọng nữa là xung dòng điều khiển phải có độ dốc sườn xung rất lớn, sau khoảng 0,5 ÷ 1 μ s. Điều này giải thích tại sao nguyên lý thực hiện tạo xung dòng khoá là nối mạch cực điều khiển vào một áp. Về nguyên tắc, nguồn áp có nội trở bằng không và có thể cung cấp một dòng điện vô cùng lớn.



Hình 1.10. Nguyên lý điều khiển GTO:
a) Yêu cầu dạng xung điều khiển;
b) Nguyên lý thực hiện

Sơ đồ đơn giản trên hình 1.11 mô tả việc thực hiện nguyên lý điều khiển trên. Mạch điện dùng hai khoá Transistor T_1 , T_2 . Khi tín hiệu điều khiển là 15V, T_1 mở, dòng chạy từ nguồn 15V qua điện trở hạn chế R_1 nạp điện cho tụ C_1 tạo nên dòng chạy vào cực điều khiển của GTO. Khi tụ C_1 nạp đầy đến điện áp của điốt ổn áp D_z (12V), việc nạp tụ kết thúc. Khi mất tín hiệu điều khiển ở cực gốc T_1 và T_2 , T_2 sẽ mở do có điện áp trên tụ C_1 , tụ C_1 bị ngắn mạch qua transistor T_2 , Cathode và cực điều khiển, tạo nên dòng đi ra khỏi cực điều khiển, khoá GTO lại. Điốt D_z giới hạn điện áp nạp trên tụ C_1 .



Hình 1.11. Mạch điều khiển GTO

Ở đây vai trò của nguồn áp chính là tụ C_1 , do đó tụ C_1 phải chọn là loại có chất lượng cao. Transistor T_2 phải chọn là loại chịu được xung dòng có biên độ lớn chạy qua.

1.5. TRANSISTOR CÔNG SUẤT, BJT (Bipolar Junction Transistor)

Transistor là phần tử bán dẫn có cấu trúc bán dẫn gồm 3 lớp bán dẫn p-n-p (transistor thuận) hoặc n-p-n (transistor ngược), tạo nên hai tiếp giáp p-n. Cấu trúc này thường được gọi là Bipolar Junction Transistor (BJT), vì dòng điện chạy trong cấu trúc này bao gồm cả hai loại điện tích âm và dương (Bipolar nghĩa là hai cực tính). Transistor có ba cực: Base (B), Collector (C) và Emitter (E). BJT công suất thường là loại transistor ngược. Cấu trúc

tiêu biểu và ký hiệu trên sơ đồ của một BJT công suất được biểu diễn trên hình 1.12, trong đó lớp bán dẫn n xác định điện áp đánh thủng của tiếp giáp B-C và do đó của C-E.

Trong chế độ tuyến tính, hay còn gọi là chế độ khuếch đại, transistor là phần tử khuếch đại dòng điện với dòng Collector I_c bằng β lần dòng Base (dòng điều khiển), trong đó β là hệ số khuếch đại dòng điện.

$$I_c = \beta \cdot I_B$$

Tuy nhiên, trong điện tử công suất transistor chỉ được sử dụng như một phần tử đóng cắt (một khóa). Khi mở dòng điều khiển phải thỏa mãn điều kiện:

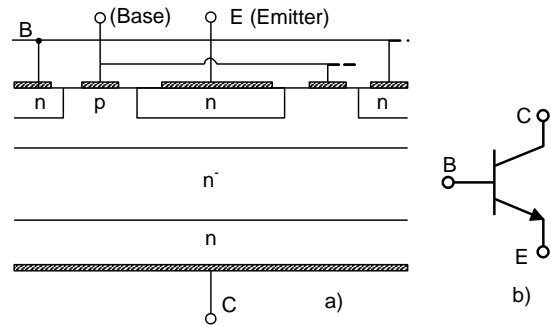
$$I_B > \frac{I_c}{\beta} \text{ hay } I_B = k_{bh} \frac{I_c}{\beta}$$

Trong đó $k_{bh} = 1,2 \div 1,5$ gọi là hệ số bảo hoà. Khi đạt điều kiện về dòng cực gốc như trên thì transistor sẽ ở trong chế độ bão hòa với điện áp giữa collector và emitter rất nhỏ, cỡ $1 \div 1,5V$, gọi là điện áp bão hòa, U_{CEbh} .

Khi khoá, dòng điều khiển I_B bằng không, lúc đó dòng collector gần bằng không, điện áp U_{CE} sẽ lớn đến giá trị điện áp nguồn cung cấp cho mạch tải nối tiếp với transistor.

Tổn hao công suất trên transistor bằng tích của dòng điện collector với điện áp rơi trên collector-emitter, sẽ có giá trị rất nhỏ trong chế độ khoá.

Trong cấu trúc bán dẫn của BJT, ở chế độ khoá, cả hai tiếp giáp B-E và B-C đều bị phân cực ngược. Điện áp đặt giữa collector-emitter sẽ rơi chủ yếu trên vùng trở kháng cao của tiếp giáp $p-n^-$. Độ dày và mật độ điện tích của lớp n^- xác định khả năng chịu điện áp của cấu trúc BJT. Transistor ở trong chế độ tuyến tính nếu tiếp giáp B-E phân cực thuận và tiếp giáp B-C phân cực ngược. Trong chế độ tuyến tính, số điện tích dương đưa vào từ cực base sẽ kích thích các điện tử từ tiếp giáp B-C thâm nhập vào vùng base, tại đây chúng được trung hòa hết. Kết quả là tốc độ trung hòa quyết định dòng collector tỷ lệ với dòng base, $I_c = \beta I_B$. Transistor ở trong chế độ bão hòa nếu cả hai tiếp giáp B-E và B-C đều được phân cực thuận. Các điện tử sẽ thâm nhập vào đáy vùng base, vùng p, từ cả hai tiếp giáp B-E và B-C, và nếu các điện tích dương được đưa vào từ cực base có số lượng dư thừa thì các điện tích sẽ không bị trung hòa hết, kết quả là vùng base sẽ trở nên vùng có điện trở nhỏ, dòng điện có thể chạy qua. Cũng do tốc độ trung hòa điện tích không kịp nên transistor không còn khả năng khống chế dòng điện được nữa và giá trị dòng điện sẽ hoàn toàn do mạch ngoài quyết định, đó là chế độ mở bão hòa. Cơ chế tạo ra dòng điện ở đây là sự thâm nhập của các điện tích khác dấu vào vùng base p, các điện tử, vì vậy BJT còn gọi là cấu trúc với các hạt mang điện phi cơ bản, phân biệt với cấu trúc MOSFET, là cấu trúc với các hạt mang điện cơ bản.



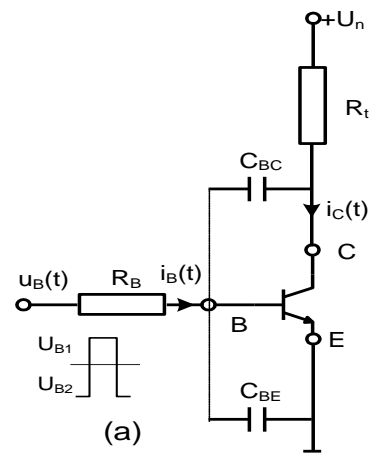
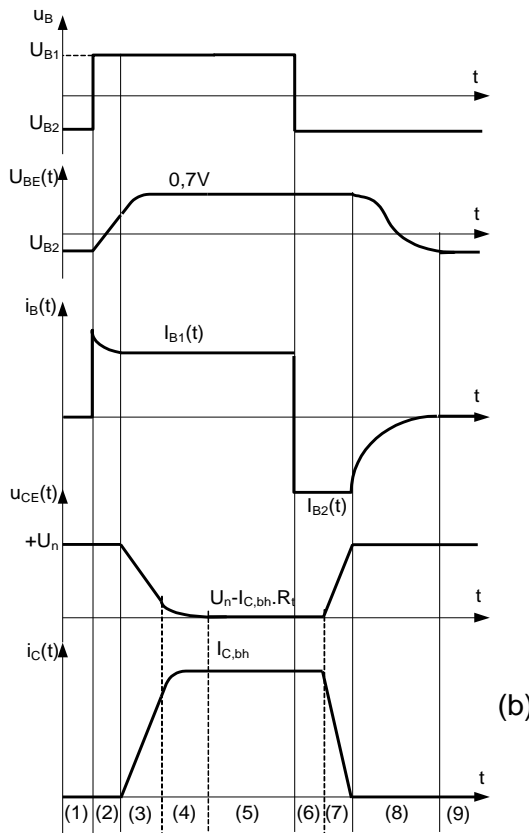
Hình 1.12. BJT:
a) Cấu trúc bán dẫn; b) Ký hiệu

1.5.1. ĐẶC TÍNH ĐÓNG CẮT CỦA TRANSISTOR

Chế độ đóng cắt của transistor phụ thuộc chủ yếu vào các tụ ký sinh giữa các tiếp giáp B-E và B-C, C_{BE} và C_{BC} . Ta phân tích quá trình đóng cắt của một transistor qua sơ đồ khoá trên hình 1.13a, trong đó Transistor đóng cắt một tải thuần trở R_t dưới điện áp $+U_n$ điều khiển bởi tín hiệu điện áp từ $-U_{B2}$ đến $+U_{B1}$ và ngược lại. Dạng sóng dòng điện, điện áp cho trên hình 1.13b.

1.5.1.1. Quá trình mở

Theo đồ thị ở hình 1.13, trong khoảng thời gian (1), BJT đang trong chế độ khoá với điện áp ngược $-U_{B2}$ đặt lên tiếp giáp B-E. Quá trình mở BJT bắt đầu khi tín hiệu điều khiển nhảy từ $-U_{B2}$ lên mức $+U_{B1}$. Trong khoảng (2), tụ đầu vào, giá trị tương đương bằng



H×nh 1.13. Qu. tr×nh
đóng-cắt

mét BJT

a) S×nh

b) D×ng s×ng

d×ng s×ng

$C_{in} = C_{BE} + C_{BC}$, nạp điện từ điện áp $-U_{B2}$ đến $+U_{B1}$. Khi U_{BE} còn nhỏ hơn không, chưa có hiện tượng gì xảy ra đối với i_C và u_{CE} . Tụ C_{in} chỉ nạp đến giá trị ngưỡng mở U^* của tiếp giáp B-E, cỡ $0,6 \div 0,7V$, bằng điện áp rơi trên đi ốt theo chiều thuận, thì quá trình nạp kết thúc. Dòng điện và điện áp trên BJT chỉ bắt đầu thay đổi khi U_{BE} giá trị không ở đầu giai đoạn (3). Khoảng thời gian (2) gọi là thời gian trễ khi mở, $t_{d(on)}$ của BJT.

Trong khoảng (3), các điện tử xuất phát từ emitter thâm nhập vào vùng base, vượt qua tiếp giáp B-C làm xuất hiện dòng collector. Các điện tử thoát ra khỏi collector càng làm tăng thêm các điện tử đến từ emitter. Quá trình tăng dòng i_C , i_E tiếp tục xảy ra cho đến khi trong base đã tích lũy đủ lượng điện tích dư thừa ΔQ_B mà tốc độ tự trung hòa của chúng đảm bảo một dòng base không đổi:

$$I_{B_1} = \frac{U_{B_1} - U^*}{R_B}$$

Tại điểm cộng dòng điện tại base trên sơ đồ hình 1.13a, ta có:

$$I_{B_1} = i_{C.BE} + i_{C.BC} + i_B$$

trong đó:

$i_{C.BE}$ là dòng nạp của tụ C_{BE} ,

$i_{C.BC}$ là dòng nạp của tụ C_{BC} ,

i_B là dòng đầu vào của Transistor, $i_C = \beta i_B$.

Dòng collector tăng dần theo quy luật hàm mũ, đến giá trị cuối cùng là $i_C(\infty) = \beta \cdot i_{B_1}$. Tuy nhiên chỉ đến cuối giai đoạn (3) thì dòng i_C đã đạt đến giá trị bão hòa, $I_{C.bh}$, BJT ra khỏi chế độ tuyến tính và điều kiện $i_C = \beta i_B$ không còn được duy trì nữa. Trong chế độ bão hòa cả hai tiếp giáp B-E và B-C đều được phân cực thuận. Vì khoá làm việc với tải điện trở trên collector nên điện áp trên collector - emitter u_{CE} cũng giảm theo cùng tốc độ với sự tăng của dòng i_C . Khoảng thời gian (3) phụ thuộc vào độ lớn của dòng I_{B_1} , dòng này càng lớn thì thời gian này càng ngắn.

Trong khoảng (4), phần cuối của điện áp u_{CE} tiếp tục giảm đến giá trị điện áp bão hòa, được xác định bởi biểu thức:

$$U_{CEbh} = U_n - I_{C.bh} \cdot R_1$$

Thời gian (4) phụ thuộc quá trình suy giảm điện trở của vùng n^- và phụ thuộc cấu tạo của BJT; Trong giai đoạn (5): BJT hoàn toàn làm việc trong chế độ bão hòa.

1.5.1.2. Quá trình khoá BJT

Trong thời gian BJT ở trong chế độ bão hòa, điện tích tích tụ không chỉ trong lớp base mà cả trong lớp collector.

Khi điện áp điều khiển thay đổi từ U_{B12} xuống $-U_{B2}$ ở đầu giai đoạn (6), điện tích tích lũy trong các lớp bán dẫn không thể thay đổi tức thời. Dòng i_B lúc này sẽ có giá trị:

$$I_{B_2} = \frac{U_{B_2} - U^*}{R_B}$$

Lúc đầu các điện tích được di chuyển ra ngoài bằng dòng không đổi I_{B_2} . Giai đoạn di chuyển kết thúc ở cuối giai đoạn (6) khi mật độ điện tích trong tiếp giáp base-collector giảm về bằng không và sau đó tiếp giáp nay bắt đầu bị phân cực ngược. Khoảng thời gian (6) gọi là thời gian trễ khi khoá, $t_{d(off)}$.

Trong khoảng (7), dòng collector i_C bắt đầu giảm về bằng không, điện áp u_{CE} sẽ tăng dần tới giá trị $+U_n$. Trong khoảng này BJT làm việc trong chế độ tuyến tính, trong đó dòng

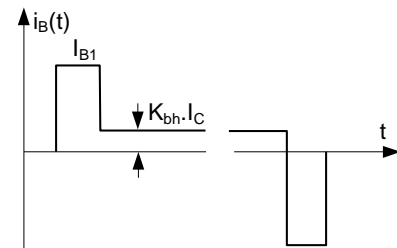
i_C tỷ lệ với dòng base. Tụ C_{BC} bắt đầu nạp tới giá trị điện áp ngược, bằng U_n . Lưu ý rằng trong giai đoạn này, tại vùng base trên sơ đồ hình 1.13a, ta có: $I_{B_2} = i_{C,BC} - i_B$

Trong đó: $i_{C,BC}$ là dòng nạp của tụ C_{BC} ; i_B là dòng đầu vào của Transistor. Từ đó có thể thấy quy luật $i_C = \beta \cdot i_B$ vẫn được thực hiện. Tiếp giáp B-E vẫn được phân cực thuận, tiếp giáp B-C bị phân cực ngược. Đến cuối khoảng (7) transistor mới khoá lại hoàn toàn.

Trong khoảng (8), tụ base-emitter tiếp tục nạp tới điện áp ngược $-U_{B_2}$, transistor ở chế độ khoá hoàn toàn trong khoảng (9).

1.5.1.3. Dạng tối ưu của dòng điều khiển khoá transistor

Transistor có thể khoá lại bằng cách cho điện áp đặt giữa base-emitter bằng không, tuy nhiên có thể thấy rằng khi đó thời gian khoá sẽ bị kéo dài đáng kể. Khi dòng $I_{B_2} = 0$, toàn bộ điện tích tích lũy trong cấu trúc bán dẫn của transistor sẽ suy giảm dần dần tới khi transistor khoá hoàn toàn.



Hình 1.14. Dạng dòng điện điều khiển lý tưởng cho một khóa BJT

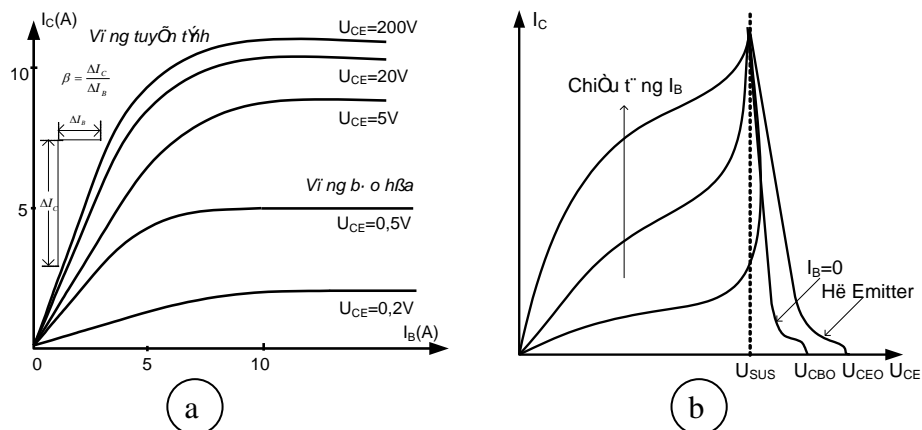
Có thể rút ngắn thời gian mở, khoá transistor bằng cách cưỡng bức quá trình di chuyển điện tích nhờ dạng dòng điện điều khiển như biểu diễn trên hình 1.14. Ở thời điểm mở, dòng I_{B_1} có giá trị lớn hơn nhiều so với giá trị cần thiết để bão hòa BJT trong chế độ dẫn, $I_{B(on)} = k_{bh} \cdot I_C$. Như vậy thời gian trễ khi mở $t_{d(on)}$ và thời gian mở $t_{r(on)}$ (khoảng (3) trên đồ thị hình 1.13b) sẽ được rút ngắn.

Dòng khoá I_{B_2} cũng cần có biên độ lớn để rút ngắn thời gian trễ khi khoá $t_{d(off)}$ và thời gian khoá $t_{r(off)}$ (khoảng (7) trên đồ thị hình 1.13b).

Tuy nhiên, dòng i_B cũng làm nóng các tiếp giáp trong BJT, vì vậy giá trị biên độ của chúng cũng phải được hạn chế phù hợp theo các giá trị giới hạn cho trong các đặc tính kỹ thuật của nhà sản xuất.

1.5.2. ĐẶC TÍNH TÍNH CỦA BJT VÀ CÁCH MẮC SƠ ĐỒ DARLINGTON

Đặc tính tĩnh của một BJT cho trên hình 1.15a và b. Đặc tính trên hình 1.15a biểu



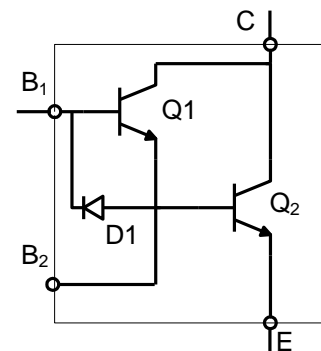
Hình 1.15. Đặc tính tĩnh của BJT: a) Đặc tính điều khiển; b) Đặc tính ra

diễn mối quan hệ giữa dòng collector và dòng base (i_b , i_c), tại các điện áp u_{CE} khác nhau với vùng làm việc tuyến tính, và vùng bão hoà. Với một dòng làm việc i_c nào đó, để có được điện áp rơi trên BJT nhỏ thì dòng i_b phải tương đối lớn. Độ nghiêng của đường đặc tính điều khiển $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$ thể hiện hệ số khuếch đại dòng điện. Có thể thấy rằng hệ số khuếch đại dòng điện của BJT công suất tương đối thấp, thông thường $\beta \leq 10$, điều này nghĩa là BJT yêu cầu dòng điều khiển tương đối lớn. Hệ số khuếch đại dòng điện giảm mạnh khi dòng làm việc lớn hơn. Có thể giảm được dòng điều khiển nhờ cách mắc Darlington.

Đặc tính ra, thể hiện trên hình 1.15b, là mối quan hệ giữa dòng collector và điện áp collector (i_c , u_{CE}) với từng giá trị i_B . Có ba giá trị điện áp đánh thủng U_{CE0} , U_{CB0} , U_{SUS} . Các giá trị điện áp này được cho trong các đặc tính kỹ thuật của nhà sản xuất. U_{CE0} là điện áp đánh thủng tiếp giáp base-collector khi hở mạch emitter. U_{CB0} là điện áp đánh thủng collector - emitter khi dòng điều khiển bằng không. Có thể thấy U_{CE0} có giá trị lớn hơn U_{CB0} , U_{SUS} . Vì vậy để tăng khả năng chịu điện áp của transistor khi khoá phải đảm bảo rằng dòng điều khiển i_B bằng không. Nói chung điện áp làm việc phải nhỏ hơn U_{SUS} .

Cách mắc sơ đồ Darlington

Nói chung các BJT có hệ số khuếch đại dòng điện tương đối thấp, dẫn đến dòng điều khiển yêu cầu quá lớn. Sơ đồ mắc Darlington là cách nối hai transistor Q_1 , Q_2 với hệ số khuếch đại dòng tương ứng β_1 , β_2 như được biểu diễn trên hình 1.16, có hệ số khuếch đại dòng chung bằng: $\beta \approx \beta_1 \cdot \beta_2$. Để tăng hệ số khuếch đại dòng hơn nữa có thể mắc Darlington từ ba transistor. Người ta sản xuất các transistor Darlington trong cùng một vỏ, trong đó tích hợp điốt D_1 dùng để cường bức quá trình khoá Q_2 .



Hình 1.16. Tranzito mắc Darlington

Tuy nhiên cách nối Darlington làm cho điện áp rơi trên collector-emitter của transistor hợp thành lớn hơn so với trường hợp chỉ dùng một transistor, nghĩa là tổn thất trên phần tử khi dẫn dòng cũng lớn hơn. Điều này có thể được chứng tỏ qua sơ đồ ở hình 1.16 vì điện áp giữa collector-emitter của mạch Darlington bằng:

$$U_{CE} = U_{CE,Q1} + U_{BE,Q2}$$

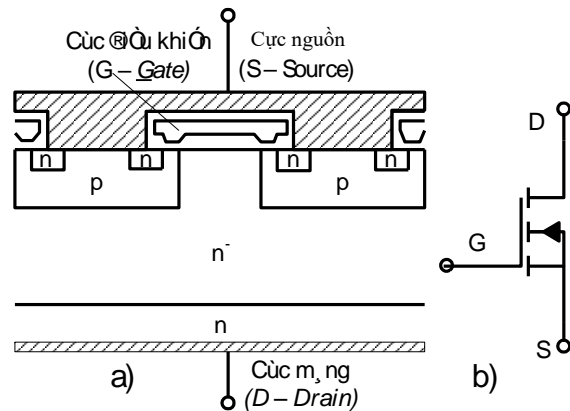
trong đó $U_{BE,Q2}$ có giá trị không đổi khi Transistor dẫn dòng.

1.6. TRANSISTOR TRƯỜNG, MOSFET

(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)

1.6.1. CẤU TẠO VÀ NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MOSFET

Khác với cấu trúc BJT, MOSFET có cấu trúc bán dẫn cho phép điều khiển bằng điện áp với dòng điện điều khiển cực nhỏ. Hình 1.17 a và b mô tả cấu trúc bán dẫn và ký hiệu của một MOSFET kênh dẫn kiểu n. Trong đó (G - Gate) là cực điều khiển được cách ly hoàn toàn với cấu trúc bán dẫn còn lại bởi lớp điện môi cực mỏng nhưng có độ cách điện cực lớn dioxit-silic (SiO_2). Hai cực còn lại là cực nguồn (S - Source) và cực máng (D - Drain). Cực máng là cực đón các hạt mang điện. Nếu

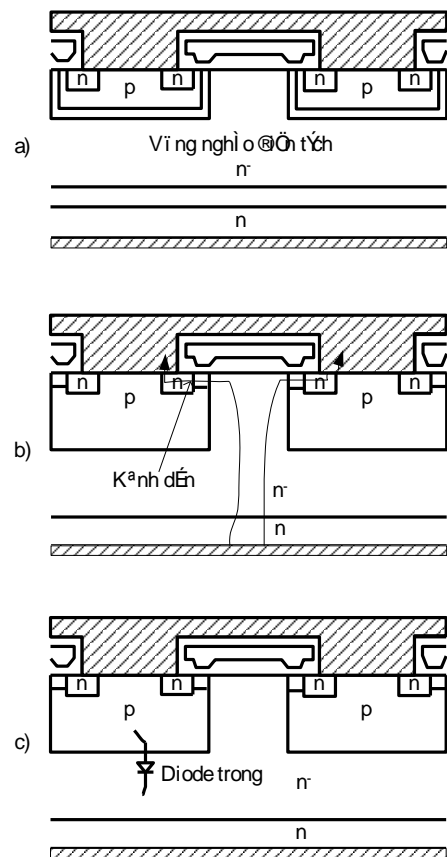


Hình 1.17. MOSFET (kênh dẫn n)
a) Cấu trúc bán dẫn; b) Ký hiệu

kênh dẫn là n thì các hạt mang điện sẽ là các điện tử (electron), do đó cực tính điện áp của cực máng sẽ là dương so với cực nguồn. Trên ký hiệu phần tử, phần chấm gạch giữa D và S để chỉ ra rằng trong điều kiện bình thường không có một kênh dẫn thực sự nối giữa D và S. Cấu trúc bán dẫn của MOSFET kênh dẫn kiểu p cũng tương tự nhưng các lớp bán dẫn sẽ có kiểu dẫn điện ngược lại. Tuy nhiên đa số các MOSFET công suất là loại có kênh dẫn kiểu n.

Trên hình 1.18 mô tả sự tạo thành kênh dẫn trong cấu trúc bán dẫn của MOSFET. Trong chế độ làm việc bình thường $u_{DS} > 0$. Giả sử điện áp giữa cực điều khiển và cực nguồn bằng không, $u_{GS} = 0$, khi đó kênh dẫn sẽ hoàn toàn không xuất hiện. Giữa cực gốc và cực máng sẽ là tiếp giáp p-n⁻ phân cực ngược. Điện áp u_{DS} sẽ hoàn toàn rơi trên vùng nghèo điện tích của tiếp giáp này (hình 1.18a).

Nếu điện áp điều khiển âm, $U_{GS} < 0$, thì vùng bề mặt giáp cực điều khiển sẽ tích tụ các lỗ (p), do đó dòng điện giữa cực gốc và cực máng sẽ không thể xuất hiện. Khi điện áp điều khiển là dương, $U_{GS} > 0$ và đủ lớn bề mặt tiếp giáp cực điều khiển sẽ tích tụ các điện tử, và một kênh dẫn thực sự đã hình thành (hình 1.18b). Như vậy trong cấu trúc bán dẫn của MOSFET, các phần tử mang điện là các điện tử, giống như của lớp n tạo nên cực máng, nên MOSFET được gọi là phần tử với các



Hình 1.18. Sự tạo thành kênh dẫn trong cấu trúc MOSFET

điện tử, giống như của lớp n tạo nên cực máng, nên MOSFET được gọi là phần tử với các

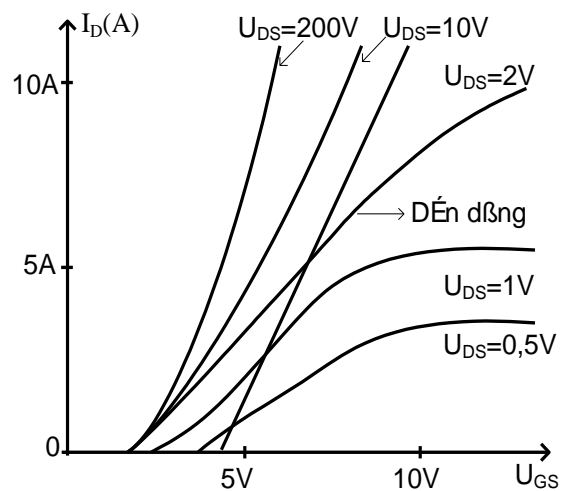
hạt mang điện cơ bản, khác với các cấu trúc của BJT, IGBT, thyristor là các phần tử với các hạt mang điện phi cơ bản. Dòng điện giữa cực gốc và cực máng bây giờ sẽ phụ thuộc vào điện áp U_{DS} .

Từ cấu trúc bán dẫn của MOSFET (hình 1.18c), có thể thấy rằng giữa cực máng và cực nguồn tồn tại một tiếp giáp p-n⁻ tương đương với một đi ốt ngược nối giữa D và S. Trong các sơ đồ bộ biến đổi, để trao đổi năng lượng giữa tải và nguồn thường cần có các đi ốt ngược mắc song song với các van bán dẫn. Như vậy ưu điểm của MOSFET là đã có sẵn một đi ốt nội tại như vậy.

Hình 1.19 biểu diễn đặc tính tĩnh của một khoá MOSFET. Khi điện áp điều khiển U_{GS} nhỏ hơn một ngưỡng nào đó, cỡ 3V, MOSFET ở trạng thái khoá với điện trở rất lớn giữa cực D và cực S. Khi U_{GS} cỡ 5 - 7V, MOSFET sẽ ở trong chế độ dẫn. Thông thường điều khiển MOSFET bằng điện áp điều khiển cỡ 15V để làm giảm điện áp rơi trên D và S. Khi đó u_{DS} sẽ gần như tỷ lệ với dòng i_D .

Đặc tính tĩnh của MOSFET có thể được tuyến tính hoá chỉ bao gồm hai đoạn thể hiện hai chế độ khoá và dẫn dòng như được thể hiện trên cùng hình 1.19. Theo đặc tính này dòng qua MOSFET chỉ xuất hiện khi điện áp điều khiển vượt qua một giá trị ngưỡng $U_{GS(th)}$. Khi đó độ nghiêng của đường đặc tính khi dẫn dòng đặc trưng bởi độ dẫn:

$$g_m = \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}}$$



Hình 1.19. Đặc tính tĩnh của MOSFET

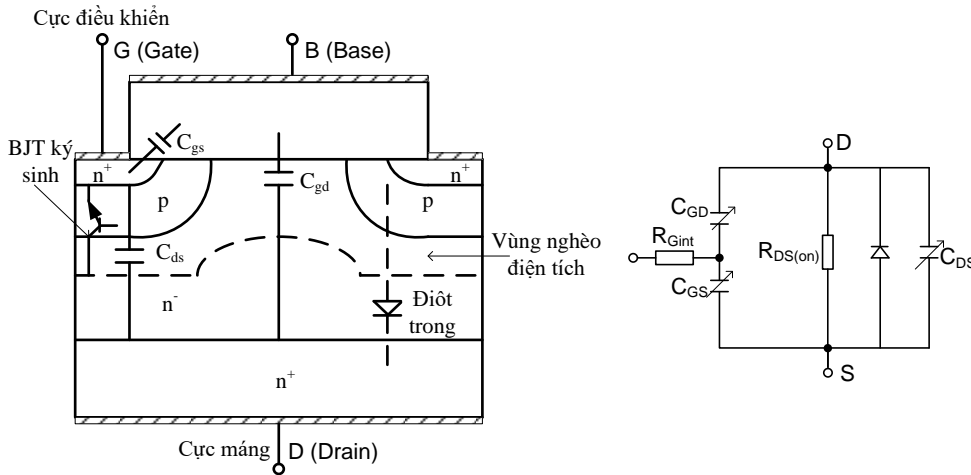
Trong đó: $U_{GS(th)}$, g_m là những thông số của MOSFET. Người ta có thể dùng giá trị nghịch đảo của g_m là điện trở thuận $R_{DS(on)}$ để đặc trưng cho quá trình dẫn của MOSFET.

1.6.2. ĐẶC TÍNH ĐÓNG CẮT CỦA MOSFET

Do là một phần tử với các hạt mang điện cơ bản, MOSFET có thể đóng cắt với tần số rất cao. Tuy nhiên để có thể đạt được thời gian đóng cắt rất ngắn thì vấn đề điều khiển là rất quan trọng. Cơ chế ảnh hưởng đến thời gian đóng cắt của MOSFET là các tụ điện ký sinh giữa các cực.

Hình 1.20a thể hiện các thành phần tụ điện ký sinh tạo ra giữa các phần trong cấu trúc bán dẫn của MOSFET. Tụ điện giữa cực điều khiển và cực nguồn C_{GS} phải được nạp đến điện áp $U_{GS(th)}$ trước khi dòng cực máng có thể xuất hiện. Tụ giữa cực điều khiển và cực máng C_{GD} có ảnh hưởng mạnh đến giới hạn tốc độ đóng cắt của MOSFET. Hình 1.20b chỉ ra sơ đồ tương đương của một MOSFET và các tụ ký sinh tương ứng.

Các tụ này thực ra có giá trị thay đổi tùy theo mức điện áp, ví dụ C_{GD} thay đổi theo điện áp U_{DS} giữa giá trị thấp C_{GDI} và giá trị cao C_{GDh} như được chỉ ra trên hình 1.20.



Hình 1.20. Mô hình một khóa MOSFET

- a) Các thành phần tụ ký sinh giữa các lớp bán dẫn trong cấu trúc MOSFET;
b) Mạch điện tương đương

1.6.2.1. Quá trình mở

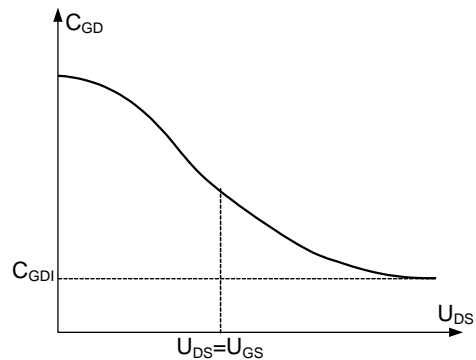
Giả sử ta xét quá trình mở MOSFET, làm việc với tải trở cảm, có đi ốt ngược (đi ốt không). Đây là chế độ làm việc tiêu biểu của các khóa bán dẫn. Sơ đồ và đồ thị dạng dòng điện, điện áp của quá trình mở MOSFET được thể hiện trên hình 1.21a và hình 1.21b. Tải cảm trong sơ đồ thể hiện bằng nguồn dòng nối song song ngược với đi ốt dưới điện áp một chiều U_{DD} . MOSFET được điều khiển bởi đầu ra của vi mạch DRIVER dưới nguồn nuôi U_{CC} nối tiếp qua điện trở R_{Gext} . Cực điều khiển có điện trở nội R_{Gint} . Khi có xung dương ở đầu vào của DRIVE, ở đầu ra của nó sẽ có xung với biên độ U_P đưa đến trở R_{Gext} .

Như vậy U_{GS} sẽ tăng với hằng số thời gian xác định bởi:

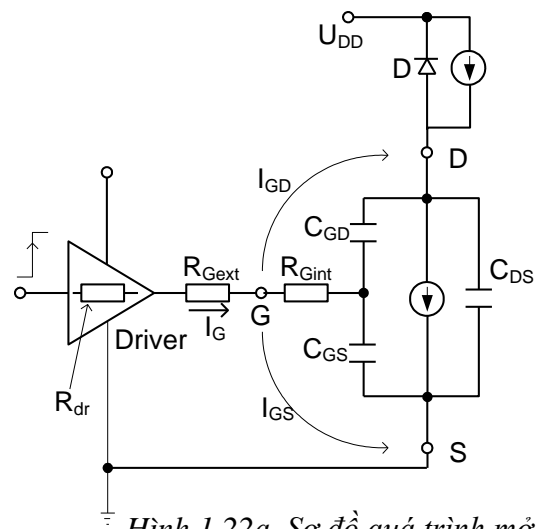
$$T_1 = (R_{dr} + R_{Gext} + R_{Gint}) \cdot (C_{GS} + C_{GDI})$$

Trong đó tụ C_{GD} đang ở mức thấp (C_{GDI}) do điện áp U_{DS} đang ở mức cao.

Theo đồ thị, trong khoảng thời gian từ 0 đến t_1 , tụ $(C_{GS} + C_{DSI})$ được nạp theo quy luật



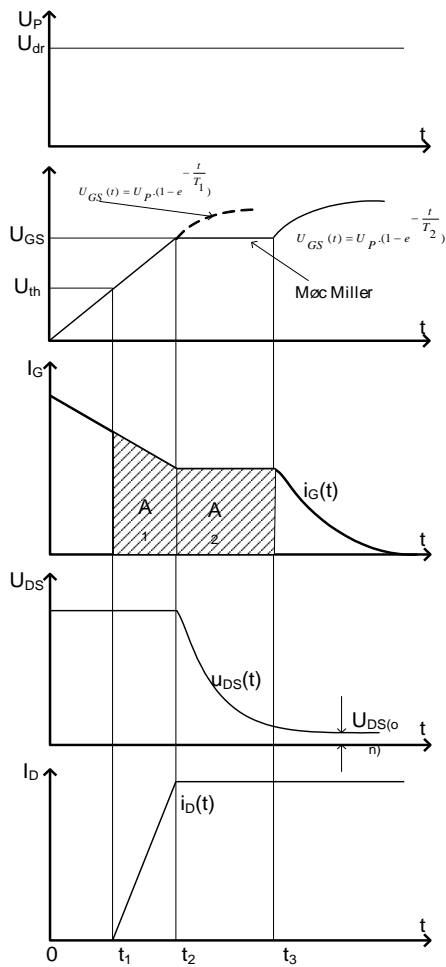
Hình 1.21. Sự phụ thuộc của tụ điện C_{GD} vào điện áp U_{DS}



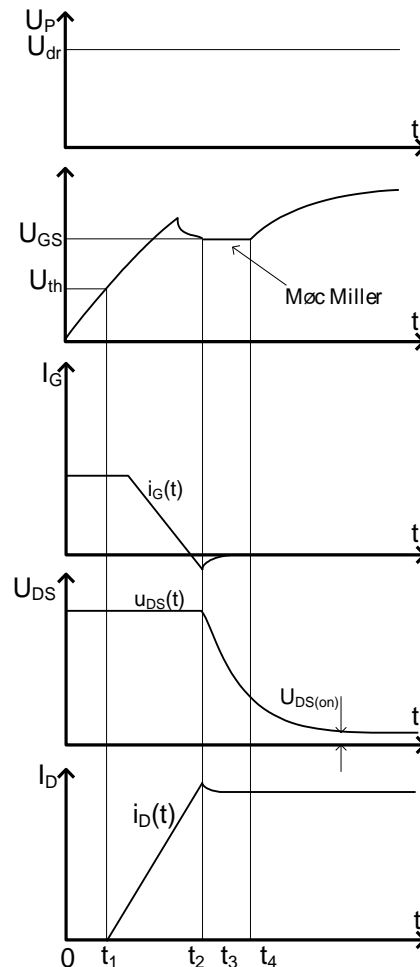
Hình 1.22a. Sơ đồ quá trình mở một MOSFET

hàm mũ tới giá trị ngưỡng $U_{GS(th)}$. Trong khoảng này cả điện áp U_{DS} lẫn dòng I_D đều chưa thay đổi. $t_{d(on)} = t_1$ gọi là thời gian trễ khi mở. Bắt đầu từ thời điểm t_1 khi U_{GS} đã vượt qua giá trị ngưỡng, dòng cực máng I_D bắt đầu tăng, tuy nhiên điện áp U_{DS} vẫn giữ nguyên ở giá trị điện áp nguồn U_{DD} .

Trong khoảng t_1 đến t_2 , dòng I_D tăng tuyến tính rất nhanh, đạt đến giá trị dòng tải. Từ t_2 trở đi, khi U_{GS} đạt đến mức, gọi là mức Miller, điện áp U_{DS} bắt đầu giảm rất nhanh. Trong khoảng từ t_2 đến t_4 , điện áp U_{GS} bị găm ở mức Miller, do đó dòng I_G cũng có giá trị không đổi. Khoảng này gọi là khoảng Miller. Trong khoảng thời gian này, dòng điều khiển là dòng phóng cho tụ C_{GD} để giảm nhanh điện áp giữa cực máng và cực gốc U_{DS} .



Hình 1.22b. Quá trình mở một MOSFET (Đồ thị dòng điện, điện áp)



Hình 1.22c. Quá trình mở một MOSFET dưới ảnh hưởng của quá trình phục hồi diode (Đồ thị dòng điện, điện áp)

Sau thời điểm t_4 , U_{GS} lại tăng tiếp tục với hằng số thời gian:

$$T_2 = (R_{dr} + R_{Gext} + R_{Gin}) \times (C_{GS} + C_{GDh})$$

Vì lúc này tụ C_{GD} đã tăng đến giá trị cao C_{GDh} (hình 1.21). U_{GS} sẽ tăng đến giá trị cuối cùng, xác định giá trị thấp nhất của điện áp giữa cực nguồn và cực máng, $U_{DS(on)} = I_{DS} \cdot R_{DS(on)}$.

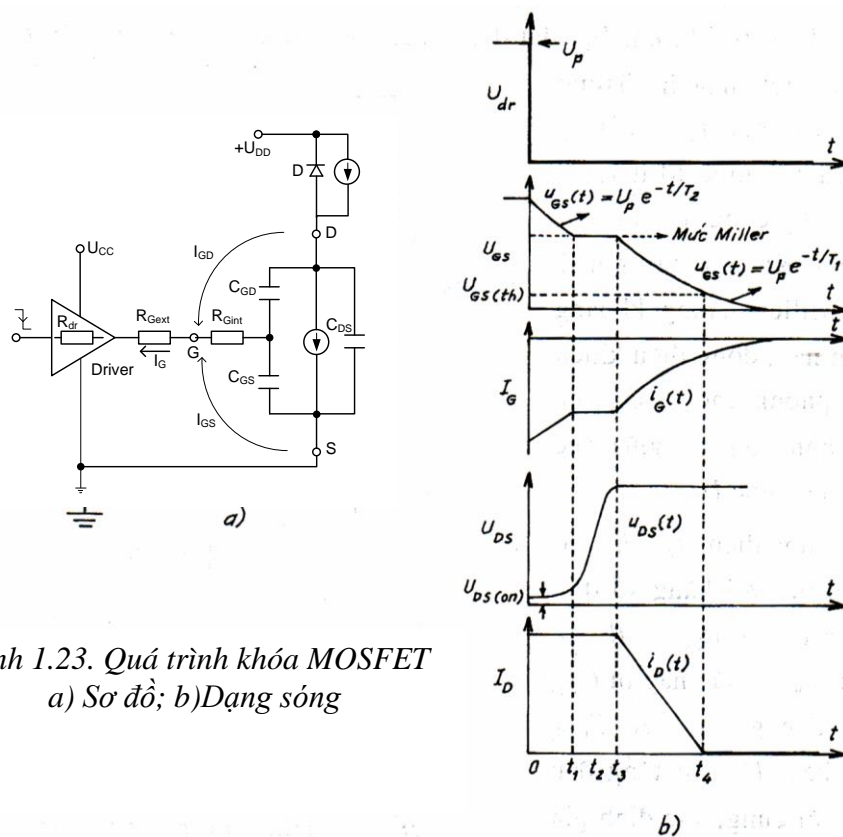
Trên đồ thị ở hình 1.22b, A_1 đặc trưng cho điện tích nạp cho tụ ($C_{GS} + C_{GD}$) trong khoảng t_1 đến t_2 , A_2 đặc trưng cho điện tích nạp cho tụ C_{GD} trong khoảng t_2 đến t_4 .

Nếu coi đi ốt không D không phải là lý tưởng thì quá trình phục hồi của đi ốt sẽ ảnh hưởng đến dạng sóng của sơ đồ như chỉ ra trong hình 1.22c, theo đó dòng I_D có đỉnh nhỏ cao ở thời điểm t_2 tương ứng với dòng ngược của quá trình phục hồi đi ốt D.

1.6.2.2. Quá trình khoá MOSFET

Dạng sóng của quá trình khoá thể hiện trên hình 1.23. Khi đầu ra của vi mạch điều khiển Driver xuống đến mức không U_{GS} bắt đầu giảm theo hàm mũ với hằng số thời gian $T_2 = (R_{dr} + R_{Gext} + R_{Gint}).(C_{GS} + C_{GDh})$ từ 0 đến t_1 . Tuy nhiên sau thời điểm t_3 thì hằng số thời gian lại là:

$$T_1 = (R_{dr} + R_{Gext} + R_{Gint}).(C_{GS} + C_{GDI}).$$



Hình 1.23. Quá trình khoá MOSFET
a) Sơ đồ; b) Dạng sóng

Từ 0 đến t_1 là thời gian trễ khi khoá $t_{d(off)}$, dòng điều khiển phóng điện cho tụ C_{GS} và tụ C_{GD} . Sau thời điểm t_1 , điện áp U_{SD} bắt đầu tăng từ $I_D.R_{DS(on)}$ đến giá trị cuối cùng tại t_3 , trong khi đó dòng I_D vẫn giữ nguyên mức cũ. Khoảng thời gian từ t_2 đến t_3 tương ứng với mức Miller, dòng điều khiển và điện áp trên cực điều khiển giữ nguyên giá trị không đổi. Sau thời điểm t_3 dòng I_D bắt đầu giảm về đến không ở thời điểm t_4 . Từ t_4 MOSFET bị khoá hẳn.

1.6.2.3. Các thông số thể hiện khả năng đóng cắt của MOSFET

Như vậy thời gian trễ khi mở, khi khoá phụ thuộc giá trị các tụ ký sinh $C_{GS}.C_{GD}.C_{DS}$, tuy nhiên các thông số kỹ thuật của MOSFET thường được cho dưới dạng các trị số tụ

C_{ISS} , C_{RSS} , C_{OSS} dưới những điều kiện nhất định như điện áp U_{DS} , U_{GS} . Có thể tính ra các tụ ký sinh như sau:

$$C_{GD} = C_{RSS}$$

$$C_{GS} = C_{ISS} - C_{RSS}$$

$$C_{DS} = C_{OSS} - C_{RSS}$$

Có thể tính các giá trị trung bình cho các tụ C_{GD} và C_{DS} với điện áp làm việc tương ứng theo công thức gần đúng sau đây:

$$C_{GD} = 2(C_{RSS \cdot \text{làm việc}}) \cdot (U_{DS \cdot \text{làm việc}} / U_{DS \cdot \text{off}})^{1/2}$$

$$C_{OSS} = 2(C_{OSS \cdot \text{làm việc}}) \cdot (U_{DS \cdot \text{làm việc}} / U_{DS \cdot \text{off}})^{1/2}$$

Để xác định công suất của mạch điều khiển MOSFET, các tài liệu kỹ thuật thường cho thông số điện tích nạp cho cực điều khiển Q_G (đơn vị: Culông (C)) dưới điện áp khi khoá giữa cực máng và cực gốc. $U_{DS(off)}$ nhất định. Khi đó công suất mạch điều khiển được tính bằng:

$$P_{\text{điều khiển}} = U_{CC} \cdot Q_G \cdot f_{gw}$$

trong đó: f_{gw} là tần số đóng cắt của MOSFET.

Tổn hao công suất do quá trình đóng cắt trên MOSFET được tính bằng:

$$P_{gw} = \frac{1}{2} U_{DS} I_D f_w (t_{on} + t_{off})$$

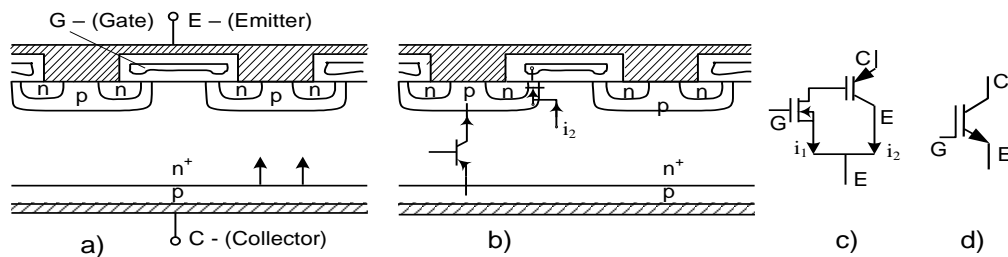
trong đó t_{on} , t_{off} là thời gian mở và khoá của MOSFET, tương ứng là các khoảng thời gian từ t_1 đến t_4 trên đồ thị dạng sóng các quá trình mở - khoá.

1.7. TRANSISTOR CÓ CỰC ĐIỀU KHIỂN CÁCH LY, IGBT

(Insulated Gate Bipolar Transistor)

1.7.1. CẤU TẠO VÀ NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA IGBT

IGBT là phần tử kết hợp khả năng đóng cắt nhanh của MOSFET và khả năng chịu tải lớn của Transistor thường. Về mặt điều khiển, IGBT gần như giống hoàn toàn MOSFET, nghĩa là được điều khiển bằng điện áp, do đó công suất điều khiển yêu cầu cực nhỏ. Hình 1.24 giới thiệu cấu trúc bán dẫn của một IGBT.



Hình 1.24. IGBT

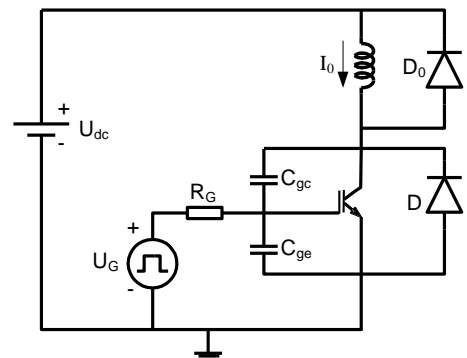
a) Cấu trúc bán dẫn; b) Cấu trúc tương đương với một tranzito n-p-n và một MOSFET; c) Sơ đồ tương đương; d) Ký hiệu

Về cấu trúc bán dẫn, IGBT rất giống với MOSFET, điểm khác nhau là có thêm lớp p nối với Collector tạo nên cấu trúc bán dẫn p-n-p giữa emitter (tương tự cực gốc) với collector (tương tự với cực máng), không phải là n-n như ở MOSFET (hình 1.24b). Có thể coi IGBT tương đương với một Transistor p-n-p với dòng base được điều khiển bởi một MOSFET (hình 1.24b và c).

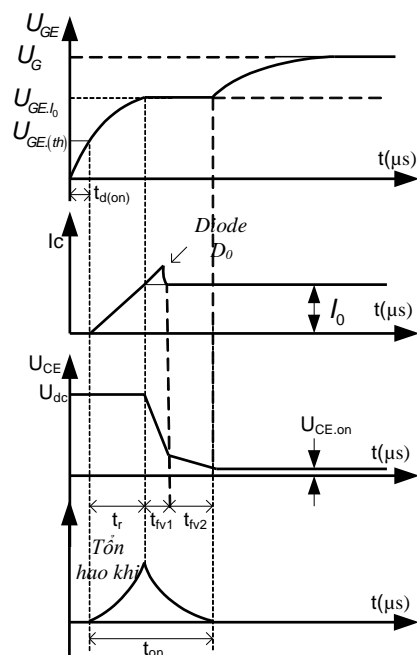
Dưới tác dụng của điện áp điều khiển $U_{GE} > 0$, kênh dẫn với các hạt mang điện là các điện tử được hình thành, giống như ở cấu trúc MOSFET. Các điện tử di chuyển về phía Collector vượt qua lớp tiếp giáp n-p như ở cấu trúc giữa Base và Collector ở Transistor thường tạo nên dòng Collector.

1.7.2. ĐẶC TÍNH ĐÓNG CẮT CỦA IGBT

Do có cấu trúc p-n-p mà điện áp thuận giữa C và E trong chế độ dẫn dòng ở IGBT thấp hơn so với ở MOSFET. Tuy nhiên cũng do cấu trúc này mà thời gian đóng cắt của IGBT chậm hơn so với MOSFET, đặc biệt là khi khóa lại. Trên hình 1.24b và c thể hiện cấu trúc tương đương của IGBT với một MOSFET và một p-n-p Transistor. Ký hiệu dòng qua IGBT gồm hai thành phần: i_1 là dòng qua MOSFET, i_2 là dòng qua Transistor. Phần MOSFET trong IGBT có thể khóa lại nhanh chóng nếu xả hết được điện tích giữa G và E, do đó dòng i_1 sẽ bằng không. Tuy nhiên thành phần dòng i_2 sẽ không thể suy giảm nhanh được do lượng điện tích tích lũy trong lớp n⁻ (tương đương với base của cấu trúc p-n-p) chỉ có thể mất đi do quá trình tự trung hòa điện tích. Điều này dẫn đến xuất hiện vùng dòng điện bị kéo dài khi khóa một IGBT. Thực hiện khảo sát quá trình mở và khóa một IGBT theo sơ đồ thử nghiệm cho trên hình 1.25. Trên sơ đồ IGBT đóng cắt một tải cảm có điốt không D_0 mắc song song. IGBT được điều khiển bởi nguồn tín hiệu với biên độ U_G nối với cực điều khiển G qua điện trở R_G . Trên sơ đồ C_{gc} , C_{ge} thể hiện các tụ ký sinh giữa cực điều khiển và Collector, Emitter.



Hình 1.25. Sơ đồ thử nghiệm một khóa IGBT



Hình 1.26. Quá trình mở một

1.7.2.1. Quá trình mở IGBT

Quá trình mở IGBT diễn ra rất giống với quá trình này ở MOSFET khi điện áp điều khiển đầu vào tăng từ không đến giá trị U_G . Trong thời gian trễ khi mở $t_{d(on)}$ tín hiệu điều khiển nạp điện cho tụ C_{GC} làm điện áp giữa cực điều khiển và emitter tăng theo quy luật hàm mũ, từ không đến giá trị ngưỡng $U_{GE(th)}$ (khoảng 3 đến 5V), hàm mũ, từ không đến giá trị

ngưỡng $U_{GE(th)}$ (khoảng 3 đến 5V), chỉ bắt đầu từ đó MOSFET trong cấu trúc của IGBT mới bắt đầu mở ra. Dòng điện giữa collector - emitter tăng theo quy luật tuyến tính từ không đến dòng tải I_0 trong thời gian t_r . Trong thời gian t_r điện áp giữa cực điều khiển và emitter tăng đến giá trị U_{GE10} xác định giá trị dòng I_0 qua collector. Do đi ốt D_0 , còn đang dẫn dòng tải I_0 , nên điện áp U_{CE} vẫn bị găm lên mức điện áp nguồn một chiều U_{dc} . Tiếp theo quá trình mở diễn ra theo hai giai đoạn, t_{fv1} và t_{fv2} . Trong suốt hai giai đoạn này điện áp giữa cực điều khiển giữ nguyên ở mức U_{GE10} (mức Miller), để duy trì dòng I_0 , do dòng điều khiển hoàn toàn là dòng phóng của tụ C_{gc} . IGBT vẫn làm việc trong chế độ tuyến tính. Trong giai đoạn đầu diễn ra quá trình khóa và phục hồi của đi ốt D_0 , dòng phục hồi của đi ốt D_0 tạo nên xung dòng trên mức dòng I_0 của IGBT. Điện áp U_{CE} bắt đầu giảm. IGBT chuyển điểm làm việc qua vùng chế độ tuyến tính để sang vùng bão hòa. Giai đoạn hai tiếp diễn quá trình giảm điện trở trong vùng thuần trở của collector, dẫn đến điện trở giữa collector - eEmitter về đến giá trị R_{on} khi khóa bão hòa hoàn toàn. $U_{CE,on} = I_0.R_{on}$.

Sau thời gian mở t_{on} , khi tụ C_{gc} đã Phóng điện xong, điện áp giữa cực điều khiển và emitter tiếp tục tăng theo quy luật hàm mũ, với hằng số thời gian bằng $C_{gc}R_G$ đến giá trị cuối cùng U_G .

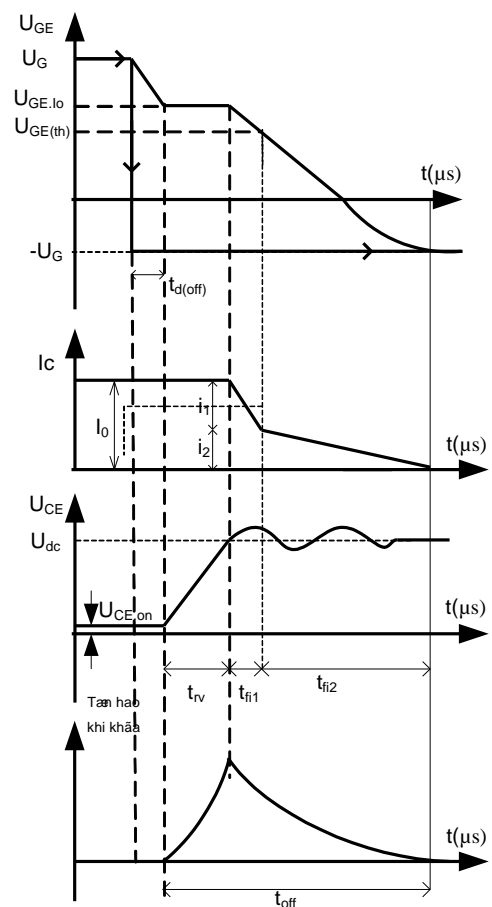
Tổn hao năng lượng khi mở được tính gần đúng bằng:

$$Q_{on} = \frac{U_{dc} \cdot I_0}{2} t_{on}$$

Nếu tính thêm ảnh hưởng của quá trình phục hồi của đi ốt D_0 thì tổn hao năng lượng sẽ lớn hơn do xung dòng trên dòng collector.

1.7.2.2. Quá trình khóa

Dạng điện áp, dòng điện của quá trình khóa thể hiện trên hình 1.27. Quá trình khóa bắt đầu khi điện áp điều khiển giảm từ U_G xuống $-U_G$. Trong thời gian trễ khi khóa $t_{d(off)}$ chỉ có tụ đầu vào C_{ge} phóng điện qua dòng điều khiển đầu vào với hằng số thời gian bằng $C_{ge}R_G$, tới mức điện áp Miller. Bắt đầu từ mức Miller điện áp giữa cực điều khiển và emitter bị giữ không đổi do điện áp U_{cc} bắt đầu tăng lên và do đó tụ C_{gc} bắt đầu được nạp điện. Dòng điều khiển bây giờ sẽ hoàn toàn là dòng nạp cho tụ C_{gc} nên điện áp U_{GE} được giữ không đổi. Điện áp U_{cc} tăng từ giá trị bão hòa $U_{cc,on}$ tới giá trị điện áp nguồn U_{dc} sau khoảng



Hình 1.27. Quá trình khoá IGBT

thời gian t_{rv} . Từ cuối khoảng t_{rv} đi ốt D_0 bắt đầu mở ra cho dòng tải I_0 ngắn mạch qua, do đó dòng collector bắt đầu giảm. Quá trình giảm diễn ra theo hai giai đoạn, t_{fi1} và t_{fi2} . Trong giai đoạn đầu, thành phần dòng i_1 của MOSFET trong cấu trúc bán dẫn IGBT suy giảm nhanh chóng về không. Điện áp U_{GC} ra khỏi mức Miller và giảm về mức điện áp điều khiển ở đầu vào $-U_G$ với hằng số thời gian:

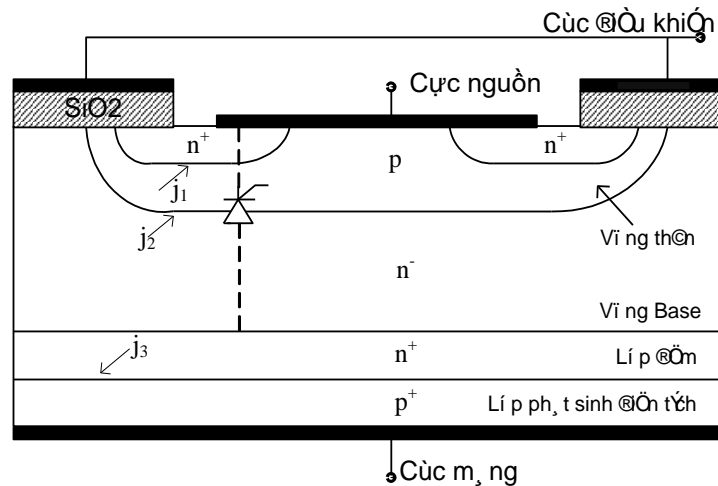
$$R_G(C_{gc} + C_{gc})$$

Ở cuối khoảng t_{fi1} , U_{gc} đạt mức ngưỡng khóa của MOSFET. $U_{GE(th)}$ tương ứng với việc MOSFET bị khóa hoàn toàn. Trong giai đoạn hai, thành phần dòng i_2 của Transistor p-n-p bắt đầu suy giảm. Quá trình giảm dòng này có thể kéo rất dài vì các điện tích trong lớp n^- bị mất đi do quá trình tự trung hòa điện tích tại chỗ. Đó là vấn đề đuôi dòng điện đã nói đến ở phần trên.

Tổng hao năng lượng trong quá trình khóa có thể tính gần đúng bằng:

$$Q_{off} = \frac{U_{dc} \cdot I_0}{2} t_{off}$$

Lớp n^- trong cấu trúc bán dẫn của IGBT giúp giảm điện áp rơi khi dẫn, vì khi đó số lượng các điện tích thiểu số (các lỗ) tích tụ trong lớp này làm giảm điện trở đáng kể. Tuy nhiên các điện tích tích tụ này lại không có cách gì di chuyển ra ngoài một cách chủ động được, làm tăng thời gian khóa của phần tử. Ở đây công nghệ chế tạo bắt buộc phải thỏa hiệp. So với MOSFET, IGBT có thời gian mở tương đương nhưng thời gian khóa dài hơn, cỡ 1 đến 5 μs .



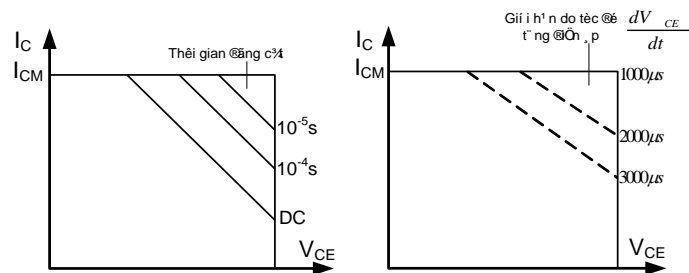
Hình 1.28. Cấu trúc bán dẫn của một IGBT cực nhanh (Punch Through IGBT)

Thời gian khóa của IGBT có thể rút ngắn nếu thêm vào một lớp đệm n^+ như trong cấu trúc Punch Through IGBT như minh họa trên hình 1.28. Cấu trúc này có một thyristor ký sinh lạo từ ba tiếp giáp bán dẫn p-n, J_1 , J_2 , J_3 . Trong cấu trúc này mật độ các điện tích dương, các lỗ, suy giảm mạnh theo hướng từ các lớp p^+ đến n^- đến n^+ , điều này giúp quá trình tự trung hòa các điện tích dương trong lớp n^- xảy ra nhanh hơn. Công nghệ này tạo ra các IGBT cực nhanh với thời gian khóa nhỏ hơn 2 μs .

1.7.3. VÙNG LÀM VIỆC AN TOÀN, SOA (Safe Operating Area)

Vùng làm việc an toàn của các phần tử bán dẫn công suất, SOA, được thể hiện dưới dạng đồ thị quan hệ giữa giá trị điện áp và dòng điện lớn nhất mà phần tử có thể hoạt động được trong mọi chế độ, khi dẫn, khi khóa cũng như trong quá trình đóng cắt SOA của IGBT có dạng như được biểu diễn trên hình 1.29.

Hình 1.29 thể hiện SOA của IGBT trong hai trường hợp. Hình 1.29a là SOA khi điện áp đặt lên cực điều khiển và emitter là dương, hình 1.29b là SOA khi điện áp này là âm. SOA khi điện áp điều khiển dương có dạng hình chữ nhật với hạn chế ở góc phía trên, bên phải, tương ứng với chế độ dòng điện và điện áp lớn. Điều này nghĩa là khi chu kỳ đóng cắt càng ngắn, ứng với tần số làm việc càng cao, thì khả năng dòng cắt công suất càng phải được suy giảm. SOA khi đặt điện áp điều khiển âm lên cực điều khiển và emitter lại bị giới hạn ở vùng công suất lớn do tốc độ tăng điện áp trên collector - emitter khi IGBT khóa lại. Đó là vì khi tốc độ tăng điện áp quá lớn sẽ dẫn đến xuất hiện dòng điện lớn đưa vào vùng p của cực điều khiển, tác dụng giống như dòng điều khiển làm IGBT mở trở lại như tác dụng đối với cấu trúc của thyristor. Tuy nhiên khả năng chịu đựng tốc độ tăng áp ở IGBT lớn hơn nhiều so với ở các phần tử bán dẫn công suất khác.



Hình 1.29. Vùng làm việc an toàn của IGBT:

a) Khi điện áp điều khiển dương; b) Khi điện áp điều khiển âm

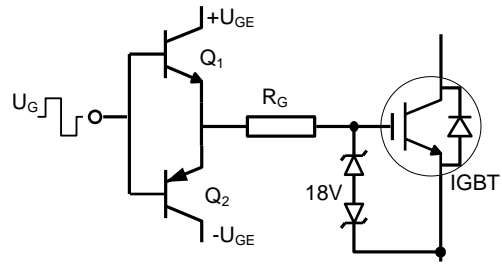
Giá trị lớn nhất của dòng collector I_{CM} được chọn sao cho tránh được hiện tượng chết giữ dòng, không khóa lại được, giống như ở thyristor. Hơn nữa, điện áp điều khiển lớn nhất U_{GE} cũng phải được chọn để có thể giới hạn được dòng điện I_{CE} trong giới hạn lớn nhất cho phép này trong điều kiện sự cố ngắn mạch, bằng cách chuyển bắt buộc từ chế độ bão hòa sang chế độ tuyến tính. Khi đó dòng I_{CE} được giới hạn không đổi, không phụ thuộc vào điện áp U_{CE} lúc đó. Tiếp theo IGBT phải được khóa lại trong điều kiện đó, càng nhanh càng tốt để tránh phát nhiệt quá mãnh liệt. Tránh được hiện tượng chết giữ dòng bằng cách liên tục theo dõi dòng collector là điều cần phải làm khi thiết kế điều khiển IGBT.

1.7.4. YÊU CẦU ĐỐI VỚI TÍN HIỆU ĐIỀU KHIỂN IGBT

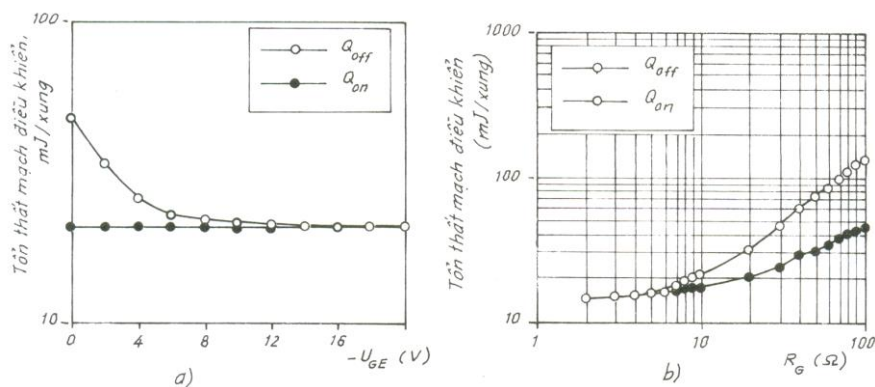
IGBT là phần tử điều khiển bằng điện áp, giống như MOSFET, nên yêu cầu điện áp điều khiển liên tục trên cực điều khiển và Emitter để xác định chế độ khóa, mở. Mạch điều khiển cho IGBT có yêu cầu tối thiểu như được biểu diễn qua sơ đồ trên hình 1.30. Tín hiệu mở có biên độ U_{CE} , tín hiệu khóa có biên độ $-U_{CE}$ cung cấp cho mạch G-E qua điện trở R_G . Mạch G-E được bảo vệ bởi đi ốt ổn áp ở mức khoảng $\pm 18V$. Do có tụ ký sinh lớn giữa G và E nên kỹ thuật điều khiển như điều khiển MOSFET có thể được áp dụng, tuy nhiên

điện áp khóa phải lớn hơn. Nói chung tín hiệu điều khiển thường được chọn là +15 và -5V là phù hợp. Mức điện áp âm khi khóa góp phần giảm tổn thất công suất trên mạch điều khiển như được minh họa trên hình 1.31a.

Điện trở R_G cũng ảnh hưởng đến tổn hao công suất điều khiển như được minh họa trên đồ thị hình 1.31b. Điện trở R_G nhỏ, giảm thời gian xác lập tín hiệu điều khiển, giảm ảnh hưởng của dU_{CE}/dt , giảm tổn thất năng lượng trong quá trình điều khiển, nhưng lại làm mạch điều khiển nhạy cảm hơn với điện cảm ký sinh trong mạch điều khiển.



Hình 1.30. Yêu cầu đối với tín hiệu điều khiển



Hình 1.31. Tổn hao năng lượng trong mạch điều khiển IGBT

a) Dưới ảnh hưởng của điện áp âm khi khóa $-U_{GE}$;

b) Dưới ảnh hưởng của điện trở đầu vào mạch điều khiển R_G

Dòng điều khiển đầu vào phải cung cấp được dòng điện có biên độ bằng:

$$I_{G,max} = \frac{\Delta U_{CE}}{R_G}$$

Trong đó: $\Delta U_{GE} = U_{GE(on)} + |U_{GE(off)}|$

Tổn hao công suất trung bình có thể tính bằng biểu thức: $P = U_{GE} \cdot Q_G \cdot f_{sw}$

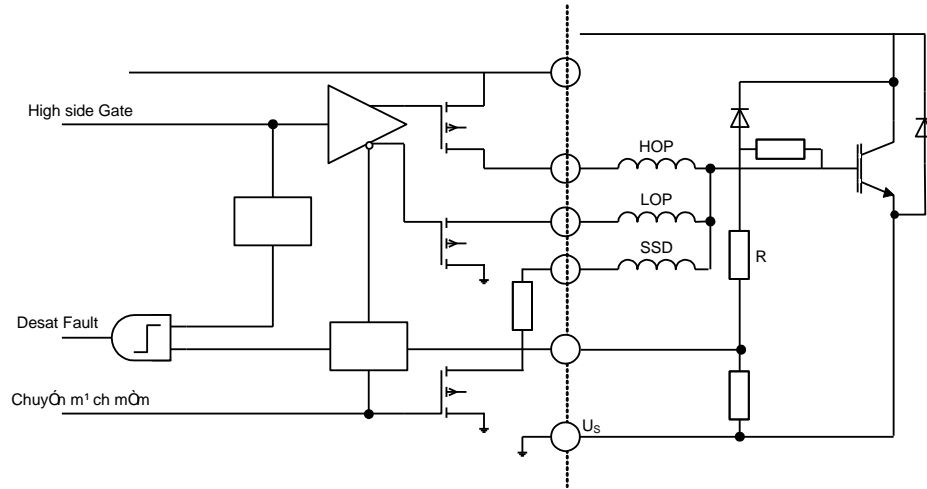
Trong đó: Q_G (mili Culông, mC) là điện tích nạp cho tụ đầu vào, giá trị thường được cho trong tài liệu kỹ thuật của nhà sản xuất; f_{sw} là tần số đóng cắt của IGBT.

1.7.5. VẤN ĐỀ BẢO VỆ IGBT

IGBT thường được sử dụng trong các mạch nghịch lưu hoặc các bộ biến đổi xung áp một chiều, trong đó áp dụng các quy luật biến điệu khác nhau và thường yêu cầu van đóng cắt với tần số cao, từ 2 đến hàng chục kHz. Ở tần số đóng cắt cao như vậy. Những sự cố xảy ra có thể phá hủy phần tử nhanh chóng. Sự cố thường xảy ra nhất là quá dòng do ngắn mạch từ phía tải hoặc từ các phần tử có lỗi do chế tạo hoặc do lắp ráp. Vì vậy vấn đề bảo vệ cho phần tử là nhiệm vụ cực kỳ quan trọng đặt ra.

Đối với IGBT ta có thể ngắt dòng điện bằng cách đưa điện áp điều khiển về giá trị âm. Tuy nhiên quá tải dòng điện có thể đưa IGBT ra khỏi chế độ bão hòa dẫn đến công suất phát nhiệt

tăng lên đột ngột, phá hủy phần tử sau vài chu kỳ đóng cắt. Mặt khác khi khóa IGBT lại trong một thời gian rất ngắn khi dòng điện lớn dẫn đến tốc độ tăng dòng dI/dt quá lớn



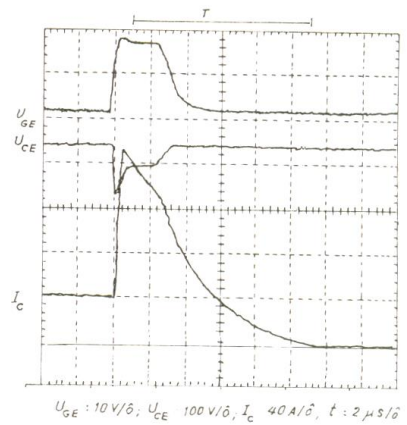
Hình 1.32. Các chức năng trong mạch tích hợp điều khiển IGBT (IRZI37 của International Rectifier)

gây quá áp trên collector - emitter, lập tức đánh thủng lớp tiếp giáp này. Rõ ràng là, trong sự cố quá dòng, không thể tiếp tục điều khiển IGBT bằng những xung ngắn theo quy luật biến điệu như cũ và cũng không thể chỉ đơn giản là ngắt xung điều khiển để dập tắt dòng điện được. Vấn đề ngắt dòng đột ngột không chỉ xảy ra trong chế độ sự cố mà còn xảy ra khi tắt nguồn hoặc khi dừng hoạt động, nghĩa là trong chế độ vận hành bình thường.

Có thể ngăn chặn hậu quả của việc tắt dòng đột ngột bằng cách sử dụng các mạch dập RC (snubber circuit), mắc song song với phần tử. Tuy nhiên các mạch dập làm tăng kích thước và làm giảm độ tin cậy của thiết bị. Giải pháp tích cực hơn được đưa ra ở đây là làm chậm lại quá trình khóa của IGBT, hay còn gọi là khóa mềm (soft turn-off), khi phát hiện có sự cố dòng điện tăng quá mức cho phép. Trong trường hợp này điện áp trên cực điều khiển và Emitter được giảm đi từ từ về đến điện áp âm khi khóa. IGBT sẽ chuyển về trạng thái khóa qua chế độ tuyến tính, do đó dòng điện bị hạn chế và giảm dần về không, tránh được quá áp trên phần tử. Thời gian khóa của IGBT có thể được kéo dài 5 đến 10 lần thời gian khóa thông thường.

Có thể phát hiện quá dòng bằng cách dùng các phần tử đo dòng điện tuyến tính như xen xo Hall hoặc các mạch đo dòng điện trên shunt dòng. Tuy nhiên đối với IGBT có thể phát hiện quá dòng sử dụng tín hiệu điện áp trên Collector - Emitter. Khi có tín hiệu mở nếu U_{CE} lớn hơn mức bão hòa thông thường $U_{CE,bh} < 5V$ chứng tỏ IGBT ra khỏi chế độ bão hòa do dòng điện quá lớn. Một số vi mạch optocoupler được chế tạo sẵn cho mục đích phối hợp giữa tín hiệu điều khiển và phát hiện chưa bão hòa ở IGBT, hơn nữa lại cách ly giữa mạch lực và mạch điều khiển. Ngày nay chức năng phát xung và bảo vệ IGBT đã được tích hợp trong các IC chuyên dụng, tạo thuận lợi lớn cho các nhà thiết kế. Ví dụ về một mạch tích hợp như vậy, IRZI37 của International Rectifier được cho trên hình 1.32.

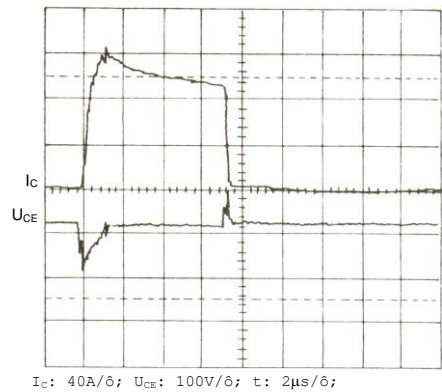
Trên hình 1.32 có thể thấy cực điều khiển của IGBT được cung cấp ba tín hiệu điều khiển qua ba điện trở, tín hiệu mở qua HOP, tín hiệu khóa qua LOP, tín hiệu khóa mềm qua SSD. Hiệu chỉnh các điện trở này có thể hiệu chỉnh được các thời gian điều khiển tương ứng. Tín hiệu DESAT được lấy qua phân áp giữa collector và emitter qua đi ốt nối với collector, đưa qua mạch lọc phối hợp với tín hiệu điều khiển khóa, mở, qua mạch NAND đưa ra tín hiệu chưa bão hòa (Desat Fault). Qua mạch xử lý logic (không thể hiện ở đây) tín hiệu khóa mềm có thể được đưa đến MOSFET điều khiển mạch khóa mềm (soft shutdown) với điện trở đưa đến cực điều khiển cỡ 500Ω, lớn hơn 10 lần so với mạch khóa, mở.



Hình 1.33. Khóa mềm bằng

IR2137

Tác dụng của mạch khóa mềm được minh họa qua đồ thị thực tế trên hình 1.33. Đường trên cùng là hình dạng tín hiệu điều khiển, đường cong ở giữa là điện áp U_{CE} , đường cong dưới cùng là dạng dòng điện. Có thể nhận ra không có quá áp trên đường cong điện áp nhưng IGBT làm việc trong chế độ tuyến tính. trong suốt thời gian T khi dòng điện giảm dần về không.



Hình 1.34. Quá áp sinh ra do khóa tức thời

Quá điện áp xảy ra khi van bị khóa lại tức thời như được minh họa trên hình 1.34. Trên hình 1.34 đường cong bên trên là dòng điện, bên dưới là điện áp.

Khi van mở ra thì bị quá tải nên điện áp lại tăng lên. Sau đó van bị khóa lại tức thời dẫn đến xung quá điện áp, trong trường hợp này là khoảng 100V, trên đường cong điện áp.

1.8. TỔN HAO CÔNG SUẤT TRÊN CÁC PHẦN TỬ BÁN DẪN CÔNG SUẤT

Ngoài tổn thất do mạch điều khiển sinh ra đã đề cập đến ở những phần tử cụ thể nói trên. Ta sẽ phân tích các thành phần tổn thất trong các chế độ làm việc của van sau đây.

Bảng 1.1. Thông số cực đại của các phần tử bán dẫn công suất do Misubishi công bố

| Chủng loại van bán dẫn công suất | Khả năng đóng cắt cực đại |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Điot công suất | 2,8 kV; 3,5 kA |
| Điot đóng cắt nhanh | 6,0 kV; 3,0 kA |
| Thyristor thường | 12,0 kV; 1,5 kA |
| Thyristor tần số cao | 1,2 kV; 1,5 kA |
| Thyristor điều khiển bằng đi ốt quang | 8,0 kV; 3,6 kA |
| GTO | 6,0 kV; 6,0 kA |
| GCT Thyristor | 4,5 kV; 4,0 kA |
| IGBT điện áp cao (HVIGBT) | 3,3 kV; 1,2 kA |
| Module công suất lớn (HVIPM) | 3,3 kV; 1,2 kA |

1.8.1 TỒN THẤT TRONG CHẾ ĐỘ TĨNH

Khi phần tử đang ở trong chế độ dẫn dòng hoặc đang khóa tổn hao công suất bằng tích của dòng điện qua phần tử với điện áp rơi trên nó. Khi phần tử đang khóa, điện áp trên nó có thể lớn nhưng dòng rò qua van sẽ có giá trị rất nhỏ, vì vậy tổn hao công suất có thể bỏ qua. Tổn hao công suất trong chế độ tĩnh chủ yếu sinh ra khi van dẫn dòng. Với đưa số các phần tử bán dẫn, điện áp rơi trên van khi dẫn thường không đổi, ít phụ thuộc vào giá trị dòng điện chạy qua. Như vậy có thể dễ dàng xác định được tổn hao công suất trong trạng thái van dẫn.

1.8.2 TỒN THẤT TRONG QUÁ TRÌNH ĐÓNG CẮT

Trong quá trình dòng cắt, công suất tổn hao tức thời có thể có giá trị lớn vì dòng điện và điện áp trên van đều có thể có giá trị lớn đồng thời. Nói chung, thời gian dòng cắt chỉ chiếm một phần nhỏ trong cả chu kỳ hoạt động của phần tử nên tổn hao công suất trong chế độ đóng cắt chỉ chiếm một phần nhỏ trong công suất tổn hao trung bình. Tuy nhiên khi phần tử phải làm việc với tần số đóng cắt cao thì tổn hao do đóng cắt lại chiếm một phần chính trong công suất phát nhiệt.

Xác định công suất tổn hao trong chế độ đóng cắt là nhiệm vụ không đơn giản, vì phải phân biệt các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình đóng cắt do đó ảnh hưởng đến tổn hao công suất. Để ví dụ ta sẽ xét các thành phần tổn hao công suất cho sơ đồ bộ biến đổi xung áp một chiều dùng MOSFET nh trên hình 1.35.

1.8.2.1. Tổn hao do thời gian mở và khóa

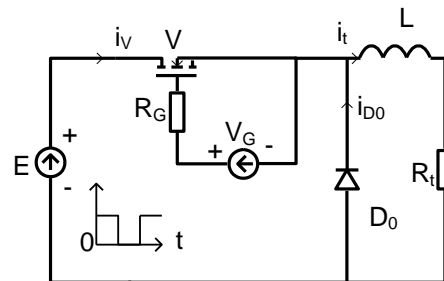
Giả sử trong sơ đồ đi ốt là phần tử lý tưởng, còn MOSFET mở, khóa với thời gian hữu hạn. Với tải trở cảm, dòng điện $i_v(t)$ và điện áp $u_v(t)$ không thể thay đổi tức thời. Dạng dòng và áp trong quá trình khóa thể hiện trên hình 1.36.

Trong thời gian chuyển mạch rất ngắn dòng tải chưa kịp thay đổi và có giá trị $i_t = I_t$, trong khoảng thời gian $t_0 < t < t_2$. Tại t_0 , có tín hiệu khóa MOSFET V, điện áp trên V tăng tuyến tính từ không đến giá trị điện áp nguồn một chiều E trong khoảng từ t_0 đến t_1 . Trong khoảng này đi ốt D_0 chưa mở nên dòng qua V vẫn bằng I_t . Bắt đầu từ t_1 đi ốt D_0 mở ra, do đó dòng qua V giảm tuyến tính về 0 ở thời điểm t_2 , tại đó dòng qua đi ốt D_0 tăng lên đến bằng dòng tải.

Tổn hao công suất tức thời trên V bằng $p_v(t) = i_v(t)/u_v(t)$ có dạng tam giác trong khoảng $t_0 < t < t_2$. Tổn hao năng lượng trên V chính là diện tích của tam giác này:

$$W_{\text{off}} = \frac{1}{2} EI_t(t_2 - t_1) = \frac{1}{2} EI_{t\text{off}}$$

trong đó: t_{off} là thời gian khóa của MOSFET.



Hình 1.35. Bộ biến đổi xung áp một chiều, dùng MOSFET.

Trong quá trình mở, đồ thị dòng điện, điện áp trên các phần tử có dạng giống như ở hình 1.36. Dòng qua V phải tăng từ 0 đến I_t , dòng qua đi ốt giảm từ I_t về 0. Chỉ khi dòng qua đi ốt đã về đến 0 thì điện áp trên V mới bắt đầu giảm từ E về đến 0. Năng lượng tổn hao khi mở bằng:

$$W_{on} = \frac{1}{2} E I_t t_{on}$$

trong đó: t_{on} là thời gian mở của van.

Tổng tổn hao công suất trong quá trình đóng cắt bằng $W_{off} + W_{on}$. Nếu chu kỳ hoạt động của van là T ứng với tần số đóng cắt của van là: $f = 1/T$ thì công suất tổn hao sẽ bằng:

$$P_s = \frac{1}{T} (W_{off} + W_{on}) = f(W_{off} + W_{on})$$

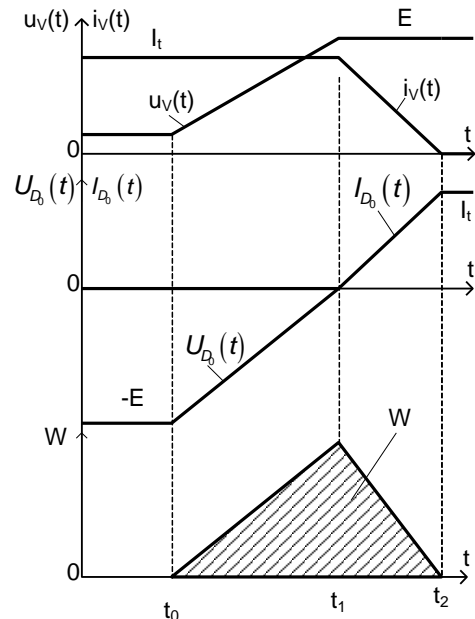
Như vậy tổn hao công suất tỷ lệ với tần số đóng cắt.

1.8.2.2. Tổn hao do quá trình phục hồi

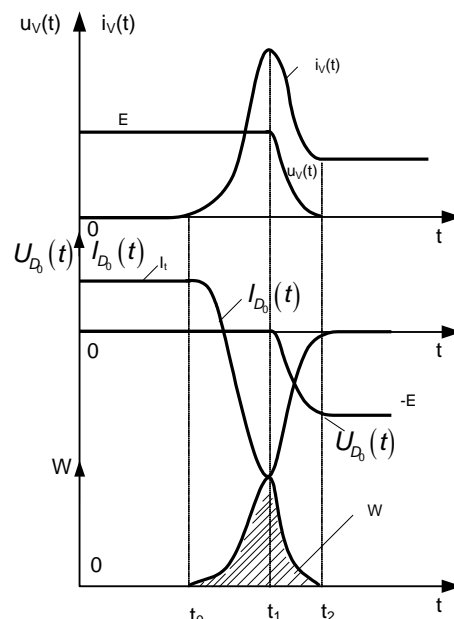
Ở phần trên ta giả sử rằng đi ốt là phần tử lý tưởng mà chỉ xét đến tổn hao công suất do thời gian khóa, mở của MOSFET gây ra. Với giả thiết thời gian đóng cắt của MOSFET rất ngắn so với thời gian khóa lại của đi ốt thì tổn thất công suất sẽ chủ yếu do quá trình phục hồi của đi ốt sinh ra. Vẫn với sơ đồ trên hình 1.35, ta xét quá trình MOSFET khóa lại. Dạng sóng của quá trình này biểu diễn trên hình 1.37.

Khi đi ốt khóa sẽ có một dòng điện ngược đi ra ngoài. Biên độ dòng điện ngược có thể lớn gấp vài lần giá trị dòng điện đi ốt dẫn trước đó. Trên đồ thị ở hình 1.37, tại thời điểm t_0 MOSFET bắt đầu mở ra làm đi ốt D_0 bắt đầu khóa lại. Dòng điện ngược của đi ốt tạo nên xung dòng trên giá trị I_t qua van V. Trong khoảng t_0 đến t_1 đi ốt vẫn còn phân cực thuận nên điện áp trên van V vẫn bằng E. Tại t_1 dòng qua đi ốt bằng 0, đi ốt bắt đầu bị phân cực ngược. Từ t_1 đến t_2 dòng điện ngược của đi ốt nạp cho tụ tương đương của tiếp giáp p-n phân cực ngược. Điện áp trên van V giảm dần về 0 tại t_2 , tại đó đi ốt khóa lại hoàn toàn.

Khoảng thời gian từ t_1 đến t_2 gọi là thời gian phục hồi của đi ốt, t_r . Những đi ốt có khoảng thời gian $t_2 - t_1$ nhỏ hơn nhiều lần khoảng $t_1 - t_0$ gọi là đi ốt dập, hay đi ốt cắt



Hình 1.36. Dạng sóng quá trình van khóa trong sơ đồ ở hình 1.35



Hình 1.37. Tổn hao công suất do diode phục hồi

nhanh. Nếu thời gian cắt dòng của đi ốt rất ngắn thì thời gian đóng cắt của các phần tử cũng sẽ rất nhanh. Tuy nhiên nếu tốc độ giảm dòng quá nhanh sẽ dẫn đến quá điện áp trên các điện cảm ký sinh, và do đó, cho các phần tử trong mạch. Quá điện áp có thể được suy giảm bằng các mạch RC song song với phần tử (snubber circuit), nhưng các mạch này lại tăng thêm các tổn thất trên sơ đồ. Nói chung phải có một sự thỏa hiệp giữa mong muốn giảm tổn thất trong quá trình đóng cắt và độ an toàn cho các phần tử trên sơ đồ.

Tổn thất năng lượng trong quá trình mở van V được tính bằng:

$$W = \int_{t_0}^{t_2} u_v(t) i_v(t) dt$$

Nếu dùng đi ốt cắt nhanh thì $(t_2 - t_1) \ll (t_1 - t_0)$, từ đó tích phân này có thể được tính đơn giản hơn. Coi điện áp trên van V bằng E trong phần lớn thời gian phục hồi $t_r = t_2 - t_0$, dòng qua van $i_v(t) = I_t - I_{D0}(t)$, do đó:

$$W = \int_{t_0}^{t_2} E_v (I_t - i_v(t)) dt = E_v I_t t_r + E_v Q_r$$

trong đó: Q_r là điện tích phục hồi của đi ốt, giá trị này có thể tìm thấy trong đặc tính kỹ thuật của đi ốt.

Tổn thất năng lượng do thời gian phục hồi của đi ốt phụ thuộc thời gian phục hồi t_r của đi ốt và điện áp một chiều của bộ biến đổi. Năng lượng này có thể chiếm một phần lớn trong tổn thất do quá trình đóng cắt. Tổn hao này có thể giảm đáng kể nếu sử dụng các đi ốt cắt nhanh, tuy nhiên khi đó phải áp dụng các biện pháp để tránh quá áp cho các phần tử trong sơ đồ.

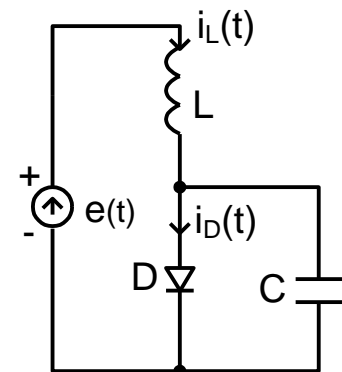
1.8.2.3. Tổn hao do các phần tử phản kháng

Các phần tử phản kháng như tụ điện, điện cảm cũng gây nên tổn thất công suất. Tụ điện tương đương song song với các phần tử sẽ phóng điện khi các phần tử này mở ra và tiêu tán toàn bộ năng lượng tích lũy trước đó. Các tụ đó được nạp không mất năng lượng khi phần tử khóa lại. Các điện cảm nối tiếp với phần tử sẽ được nạp năng lượng khi phần tử mở ra và tiêu tán năng lượng đó khi phần tử khóa lại.

Năng lượng tích lũy trong tụ điện và điện cảm tương ứng là:

$$W_C = \sum_i \frac{1}{2} C_i U_i^2; \quad W_L = \sum_i \frac{1}{2} L_i I_i^2$$

Ví dụ đối với MOSFET, ta có tụ điện tương đương giữa cực máng và cực gốc là C_{DS} , còn đi ốt song song có tụ là C_D . Tổn hao công suất khi MOSFET mở ra sẽ là:



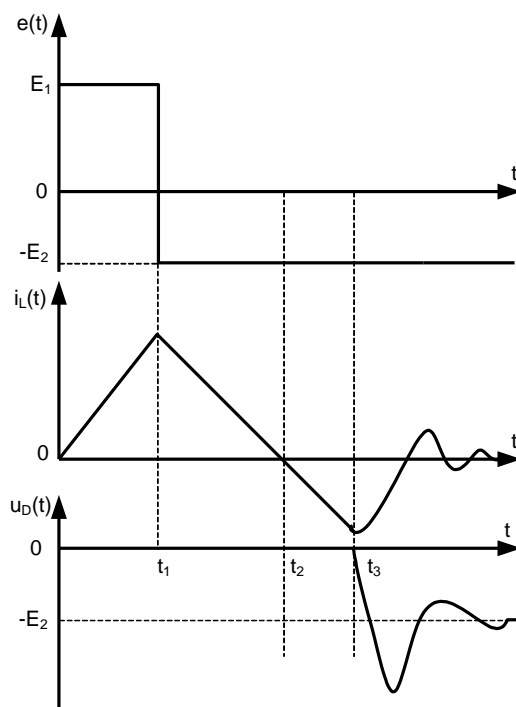
Hình 1.38. Sơ đồ mô tả tổn hao công suất trên điện cảm khi diode mở và khóa

$$W_c = \frac{1}{2}; (C_{DS} + C_D) E^2$$

Nếu biết các thông số liên quan đến tụ điện tương đương của phần tử, ta có thể xác định được các thành phần tổn hao công suất trên.

Điện cảm nối tiếp với các phần tử có thể là điện cảm dây nối, điện cảm thêm vào để giảm tốc độ tăng dòng. Các điện cảm này gây nên quá điện áp khi phần tử khóa lại. Chúng cũng là nguyên nhân gây nên tổn hao công suất, nhất là trong những ứng dụng có dòng điện rất lớn.

Để ví dụ, ta xét sơ đồ trên hình 1.38, trong đó $e(t)$ là nguồn xung áp chữ nhật lý tưởng. Dạng dòng điện, điện áp trên các phần tử cho trên hình 1.39. Nguồn áp $e(t)$ lúc đầu có giá trị dương làm đi ốt phân cực thuận đi ốt mở cho dòng qua cuộn cảm tăng tuyến tính với độ dốc E_1/L . Tại thời điểm $t = t_1$ điện áp $e(t)$ trở nên âm, dòng $i_L(t)$ bắt đầu giảm với độ dốc $-E_2/L$. Đến $t = t_2$, dòng qua đi ốt bằng 0 nhưng trong tiếp giáp p-n vẫn còn tích lũy một điện tích Q_r . Đi ốt vẫn còn phân cực thuận đến thời điểm $t = t_3$ do đó dòng qua cuộn cảm vẫn tiếp tục giảm với độ dốc $-E_2/L$. Bắt đầu từ thời điểm t_3 , điện tích tích lũy trong đi ốt đã hết đi ốt bắt đầu phân cực ngược. Dòng ngược sẽ nạp cho tụ C tới điện áp nguồn $-E_2$. Từ t_3 dòng qua cuộn cảm phải chạy qua tụ C, tạo nên mạch dao động nối tiếp, do đó dòng có dạng hình sin tắt dần:



Hình 1.39. Dạng dòng điện, điện áp của sơ đồ 1.38

Quá trình phục hồi của đi ốt gây nên tổn hao trên sơ đồ.

Trong khoảng $t_2 < t < t_3$ điện tích phục hồi bằng: $Q_r = \int_{t_2}^{t_3} i_L(t) dt$

Điện tích này liên quan trực tiếp đến năng lượng tích lũy trong cuộn cảm L:

$$W_L = \int_{t_2}^{t_3} u_L(t) i_L(t) dt$$

Trong khoảng này điện áp trên cuộn cảm bằng $-E_2$, vậy ta có:

$$W_L = \int_{t_2}^{t_3} u_L(t) i_L(t) dt = (-E_2) \int_{t_2}^{t_3} i_L(t) dt = E_2 Q_r$$

Như vậy năng lượng trên cuộn cảm L tỷ lệ với tích của điện áp trên cuộn cảm với điện tích phục hồi của đi ốt. Khi $t > t_3$, năng lượng chỉ trao đổi trong mạch dao động tạo bởi cuộn cảm và tụ, và sẽ tắt dần do tiêu tán trên điện trở dây quấn và tổn hao trên tụ.

1.9. LÀM MÁT CÁC LINH KIỆN BÁN DẪN CÔNG SUẤT

Tổn hao công suất, bằng tích của dòng điện chạy qua phân tử với điện áp rơi trên phân tử, tỏa ra dưới dạng nhiệt trong quá trình làm việc. Nhiệt lượng tỏa ra tỷ lệ với giá trị trung bình của tổn hao công suất. Trong quá trình làm việc, của bán dẫn phải luôn ở dưới một giá trị cho phép (khoảng 120°C đến 150°C theo đặc tính kỹ thuật của phân tử), vì vậy nhiệt lượng sinh ra cần phải được dẫn ra ngoài, nghĩa là đòi hỏi phải có quá trình làm mát các phân tử bán dẫn.

1.9.1. MÔ HÌNH TRUYỀN NHIỆT

Nhiệt truyền từ nơi có nhiệt độ cao sang nơi có nhiệt độ thấp. Nhiệt lượng trao đổi, P_T tỷ lệ với chênh lệch nhiệt độ theo hệ số, gọi là trở kháng truyền nhiệt R_T . Theo đó:

$$P_T = \frac{(T_1 - T_2)}{R_T}, \text{ trong đó đơn vị tương ứng là: } P_T [\text{W}]; T [^\circ\text{C}]; R_T [^\circ\text{C}/\text{W}].$$

Sự cân bằng nhiệt xảy ra khi nhiệt lượng phát sinh bằng nhiệt lượng tỏa ra môi trường, nghĩa là:

$$P_T dt = A d\theta + B \theta dt$$

trong đó: P_T - công suất phát nhiệt (tổn hao công suất) trên phân tử [W];

A - nhiệt lượng riêng, bằng nhiệt lượng làm cho nhiệt độ phân tử thay đổi

B - công suất tỏa ra để nhiệt độ môi trường tăng thêm $^\circ\text{C}$ [J];

θ - chênh lệch nhiệt độ giữa phân tử và môi trường [$^\circ\text{C}$]

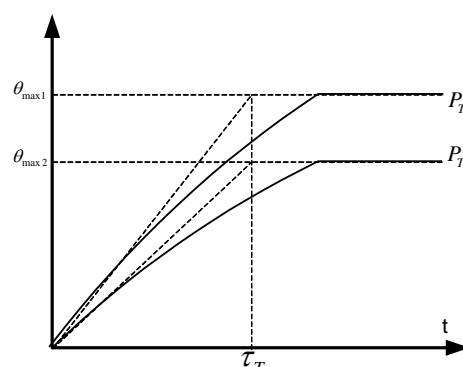
Viết lại phương trình vi phân trên dưới dạng:

$$P_T = A \frac{d\theta}{dt} + B\theta$$

Giả sử tại thời điểm $t = 0$, chênh lệch nhiệt độ là $\theta = 0$, nghiệm của phương trình trên sẽ là:

$$\theta = \theta_{\max} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_T}} \right)$$

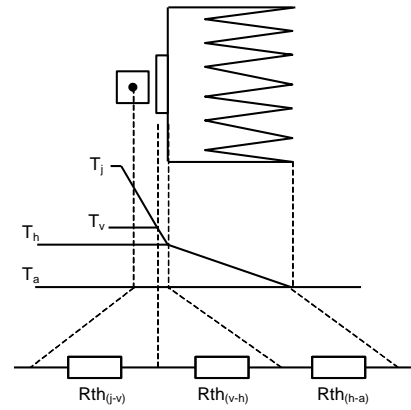
Trong đó: $\theta_{\max} = P_T / B$: là chênh lệch nhiệt độ lớn nhất đạt được, và $\tau_T = A / B$ là hằng số thời gian nhiệt.



Hình 1.40. Đường cong phát nhiệt

Đường cong thay đổi nhiệt độ được thể hiện trên hình 1.40 ứng với hai công suất phát nhiệt khác nhau $P_{T1} > P_{T2}$.

Dạng đường cong nhiệt độ như trên hình 1.40 chỉ đúng cho môi trường đồng nhất, ví dụ một bản đồng hay nhôm. Tuy nhiên phần tử bán dẫn được gắn lên bộ phận tản nhiệt là một môi trường không đồng nhất. Vì thể tích nhỏ nên khả năng tích nhiệt kém, nhiệt độ trên phần tử sẽ tăng rất nhanh. Nhiệt lượng từ phần tử truyền ra cánh tản nhiệt, rồi từ cánh tản nhiệt truyền ra môi trường. Sẽ có sự chênh lệch nhiệt độ giữa phần tử, cánh tản nhiệt, môi trường. Tương ứng giữa các bộ phận tiếp giáp nhau sẽ có trở kháng truyền nhiệt khác nhau. Mô hình của hệ thống truyền nhiệt như vậy được cho trên hình 1.41. Trong đó cũng thể hiện đường nhiệt độ giảm từ phần tử T_j tới vỏ phần tử T_v , tới cánh tản nhiệt T_h và tới môi trường T_a .



Hình 1.41. Mô hình truyền nhiệt

Dòng nhiệt truyền từ cấu trúc bán dẫn ra đến vỏ phần tử, từ vỏ tới cánh tản nhiệt, từ cánh tản nhiệt ra đến môi trường. Giữa các môi trường tiếp giáp nhau trở kháng nhiệt là: $R_{th(j-v)}$, $R_{th(v-h)}$, $R_{th(h-a)}$. Do đó trở kháng nhiệt sẽ bằng tổng trở kháng nhiệt giữa các vùng tiếp giáp nhau:

$$R_{th} = R_{th(j-v)} + R_{th(v-h)} + R_{th(h-a)}$$

Như vậy nhiệt độ giả tưởng của cấu trúc bán dẫn sẽ là:

$$T_j = T_a + P_T R_{th}$$

Biểu thức này thường được sử dụng để xác định R_{th} cần thiết khi biết nhiệt độ cho phép giới hạn T_j của phần tử nhiệt độ làm việc của môi trường T_a và công suất phát nhiệt P_T .

1.9.2. TÍNH TOÁN TẢN NHIỆT

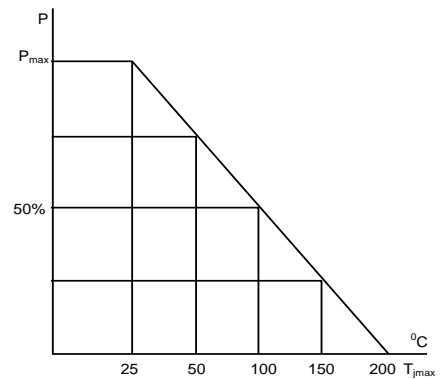
Giữa công suất lớn nhất có thể được tỏa ra ngoài môi trường và nhiệt độ vỏ phần tử phụ thuộc nhau theo biểu thức:

$$P_{max} = \frac{T_{v,max} - 25}{R_{th(j-v)}} = const$$

trong đó giả thiết nhiệt độ môi trường là 25°C.

Mối quan hệ này được biểu diễn trên đồ thị ở hình 1.42 theo đó khi nhiệt độ cấu trúc bán dẫn bằng nhiệt độ cực đại cho phép $T_{j,max}$ thì công suất tỏa ra sẽ bằng 0, đồng nghĩa với việc phần tử bị phá hủy. Các số liệu này, kể cả đồ thị ở hình 1.42, cho mỗi phần tử bán dẫn, được cho trong đặc tính kỹ thuật của nhà sản xuất. Để đảm bảo nhiệt độ môi trường ở một nhiệt độ thích hợp ta phải gắn phần tử bán dẫn lên một cánh tản nhiệt.

$$\text{Khi đó: } P_{max} = \frac{T_{v,max} - T_a}{R_{th(j-a)}}$$



Hình 1.42: Đồ thị nhiệt độ và công suất tản nhiệt lớn nhất cho phép

Theo mô hình truyền nhiệt trên hình 1.41, ta có:

T_j - nhiệt độ của cấu trúc bán dẫn, cho bởi nhà sản xuất,

T_v - nhiệt độ vỏ phân tử.

T_h - nhiệt độ cánh tản nhiệt.

T_a - nhiệt độ môi trường,

P_{th} - tổn hao phát nhiệt trong phân tử, được tính toán bởi người sử dụng,

$R_{th(j-v)}$ - trở kháng nhiệt giữa cấu trúc bán dẫn và vỏ, cho bởi nhà sản xuất,

$R_{th(v-h)}$ - trở kháng nhiệt giữa vỏ và cánh tản nhiệt, phụ thuộc hình dạng.

kích thước vỏ phân tử, cho bởi nhà sản xuất.

$R_{th(h-a)}$ - trở kháng nhiệt giữa cánh tản nhiệt và môi trường, cho bởi nhà sản xuất cánh tản nhiệt.

Với các ký hiệu trên đây, nếu đã tính toán được tổn hao phát nhiệt trên phân tử $P_{th,max}$, có thể xác định trở kháng truyền nhiệt yêu cầu của cánh tản nhiệt:

$$R_{th(h-a)} = \frac{T_{j,max} - T_a}{P_{th,max}} - a(R_{th(j-v)} + R_{th(v-h)})$$

Giá trị $R_{th(h-a)}$ cho phép chọn được loại tản nhiệt theo yêu cầu dựa vào đặc tính của một số loại tản nhiệt do các nhà sản xuất cung cấp.

Ví dụ: Thyristor BTW 67-1200, vỏ loại CB-332.

Trở kháng nhiệt từ cấu trúc bán dẫn ra vỏ $R_{th(j-v)} = 0.93^\circ\text{C}/\text{w}$,

Trở kháng nhiệt từ vỏ ra tản nhiệt $T_{th(v-h)} = 0.1^\circ\text{C}/\text{w}$.

$$T_{j,max} = 110^\circ\text{C}.$$

$$I_v = 25 \text{ A. } U_{ng,max} = 1200 \text{ V}.$$

Giả sử tổn hao công suất trong quá trình làm việc đã tính toán được là 50W, nhiệt độ môi trường là 40°C . Trở kháng nhiệt của tản nhiệt yêu cầu là:

$$R_{th(h-a)} = \frac{T_{j,max} - T_a}{P_{th,max}} - (R_{th(j-v)} + R_{th(v-h)}) = 0,37^\circ\text{C}$$

Từ giá trị này có thể chọn được loại tản nhiệt theo yêu cầu.

CHỈNH LƯU ĐIỀU KHIỂN

(Bộ biến đổi xoay chiều - một chiều)

2.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Trong kỹ thuật điện rất nhiều trường hợp yêu cầu phải biến đổi một nguồn điện áp xoay chiều thành điện áp một chiều và điều chỉnh được giá trị của điện áp một chiều đầu ra. Để thực hiện việc này người ta có nhiều cách khác nhau, ví dụ như dùng tổ hợp động cơ xoay chiều - máy phát một chiều, dùng bộ biến đổi một phần ứng, dùng chỉnh lưu, v.v... Nhưng phổ biến nhất và có hiệu suất cao nhất là sử dụng các sơ đồ chỉnh lưu bằng các dụng cụ bán dẫn. Các sơ đồ chỉnh lưu (các bộ biến đổi xoay chiều-một chiều) là các bộ biến đổi ứng dụng tính chất dẫn dòng một chiều của các dụng cụ điện tử hoặc bán dẫn để biến đổi điện áp xoay chiều thành điện áp một chiều một cách trực tiếp. Hiện nay các dụng cụ điện tử hầu như không còn được sử dụng trong các sơ đồ chỉnh lưu vì kích thước lớn, hiệu suất thấp. Dụng cụ sử dụng chủ yếu trong các sơ đồ chỉnh lưu hiện nay là các thyristor và các diode bán dẫn. Các sơ đồ chỉnh lưu có nhiều dạng khác nhau và được ứng dụng cho nhiều mục đích khác nhau, ví dụ như dùng để điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều; cung cấp điện áp một chiều cho thiết bị mạ điện, điện phân; cung cấp điện áp một chiều cho các thiết bị điều khiển, các đèn phát trung tần và cao tần, v.v... Các sơ đồ chỉnh lưu được sử dụng từ công suất rất nhỏ đến công suất rất lớn

2.2. SƠ ĐỒ NÓI DÂY VÀ NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC

Các sơ đồ chỉnh lưu có nhiều dạng khác nhau, căn cứ vào cách thức nối các van trong sơ đồ, tương quan giữa số pha nguồn và số van có thể chia làm hai nhóm là sơ đồ chỉnh lưu dạng hình tia và sơ đồ chỉnh lưu dạng hình cầu. Mặt khác có thể phân chia sơ đồ chỉnh lưu theo tính có điều khiển và không điều khiển hay phân chia theo số pha nguồn xoay chiều cấp cho sơ đồ.

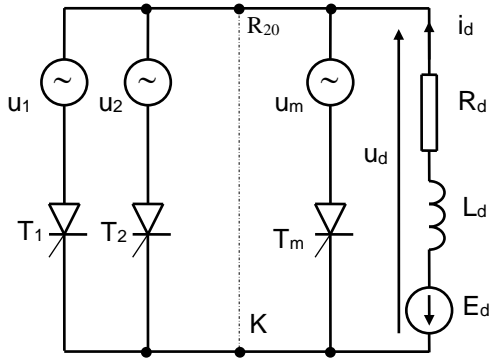
2.2.1. SƠ ĐỒ NÓI DÂY

2.2.1.1. Sơ đồ chỉnh lưu hình tia

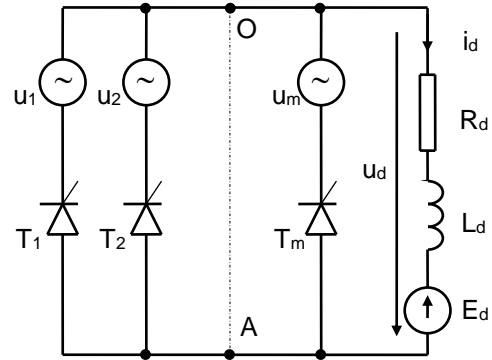
Hình 2.1 là các sơ đồ chỉnh lưu hình tia dạng tổng quát. Hình 2.1a là sơ đồ chỉnh lưu hình tia m pha các van nối ka tốt (kathode) chung, còn hình 2.1b là sơ đồ chỉnh lưu hình tia m pha các van nối a tốt (anode) chung. Trong đó:

- u_1, u_2, \dots, u_m : là hệ thống điện áp xoay chiều (thường là hình sin) m pha.
- T_1, T_2, \dots, T_m : là m van chỉnh lưu có điều khiển (thyristor), trong các sơ đồ chỉnh lưu không điều khiển thì các van là đi ốt (diode).
- L_d, R_d, E_d : là điện trở, điện cảm, sức điện động (s.đ.đ.) phụ tải một chiều.
- u_d, i_d : là điện áp và dòng điện chỉnh lưu tức thời trên phụ tải một chiều, chiều qui ước của i_d lấy trùng với chiều thực của dòng qua tải, còn chiều qui ước của u_d lấy trùng với chiều qui ước của dòng tải i_d .

- Điểm O là trung tính nguồn xoay chiều.



Hình 2.1a: Sơ đồ chỉnh lưu hình tia m pha các van nối ka tốt chung



Hình 2.1b: Sơ đồ chỉnh lưu hình tia m pha các van nối a tốt chung

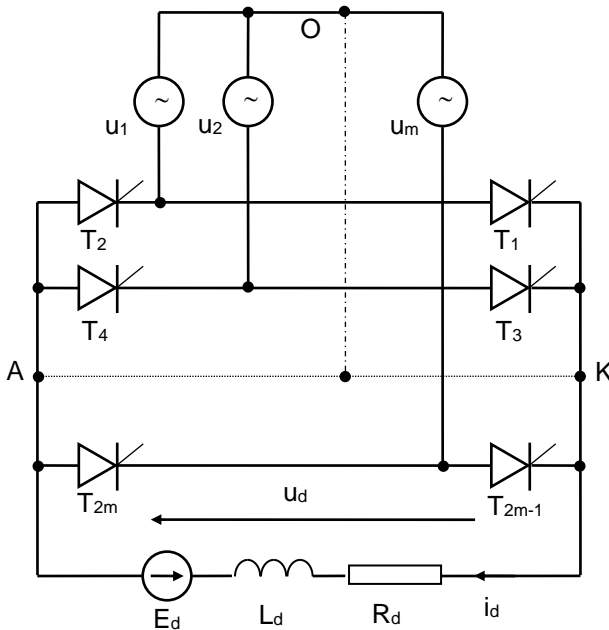
Đặc điểm chung của các sơ đồ chỉnh lưu hình tia là:

- Số van chỉnh lưu bằng số pha nguồn xoay chiều.

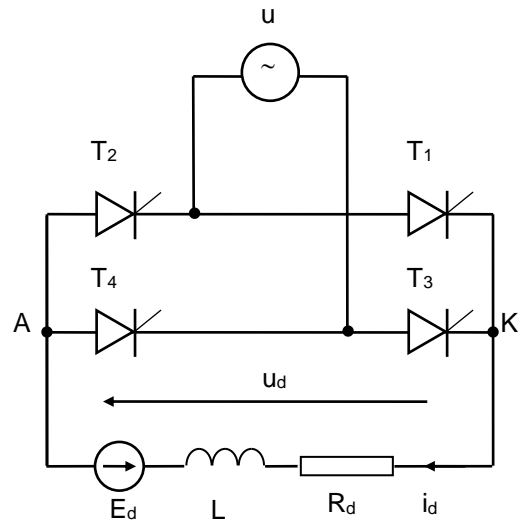
- Các van có một điện cực cùng tên nối chung, điện cực còn lại nối với nguồn xoay chiều. Nếu điện cực nối chung là ka tốt thì sơ đồ được gọi là sơ đồ ka tốt chung, còn nếu điện cực nối chung là a tốt ta có sơ đồ a tốt chung. Điểm nối chung của các van là một trong hai điện cực của điện áp chỉnh lưu đầu ra.

- Hệ thống điện áp nguồn xoay chiều m pha phải có điểm trung tính, trung tính nguồn là điện cực còn lại của điện áp chỉnh lưu.

2.2.1.2. Sơ đồ chỉnh lưu hình cầu



Hình 2.2a: Sơ đồ chỉnh lưu hình cầu m pha ($m \geq 3$)



Hình 2.1b: Sơ đồ chỉnh lưu hình cầu 1 pha

Hình 2.2 là các sơ đồ chỉnh lưu hình cầu. Hình 2.2a là sơ đồ dạng tổng quát với số pha $m \geq 3$, hình 2.2b là sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha (một trường hợp riêng của sơ đồ chỉnh lưu hình cầu), trong đó:

- u_1, u_2, \dots, u_m : là hệ thống điện áp xoay chiều (thường là hình sin) m pha, u là điện áp xoay chiều một pha.

- T_1, T_2, \dots, T_{2m} : là các van chỉnh lưu có điều khiển (thyristor).

- R_d, L_d, E_d : là điện trở, điện cảm, s.đ.đ. phụ tải (E_d còn được gọi là s.đ.đ. ngược hay sức phản điện động).

- i_d, u_d : là dòng và áp tức thời trên tải, qui ước chiều giống như sơ đồ hình tia.

Đặc điểm chung của sơ đồ chỉnh lưu hình cầu m pha:

- Số van chỉnh lưu trong sơ đồ bằng 2 lần số pha, trong đó m van có ka tốt nối chung được gọi là nhóm van ka tốt chung, trên sơ đồ các van nhóm này ký hiệu bởi chỉ số lẻ, m van còn lại có a tốt nối chung nên được gọi là nhóm van a tốt chung và trên sơ đồ các van nhóm này ký hiệu bằng chỉ số chẵn.

- Mỗi pha nguồn xoay chiều nối với 2 van, một ở nhóm ka tốt chung và một ở nhóm a tốt chung.

- Điểm nối chung của các van nhóm ka tốt chung (điểm K), và điểm nối chung của các van nhóm a tốt chung (điểm A) là 2 điện cực của điện áp chỉnh lưu đầu ra.

2.2.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC

Để đơn giản cho việc nghiên cứu nguyên lý làm việc các sơ đồ chỉnh lưu, giả thiết:

- Bỏ qua sụt điện áp trên van khi mở, coi điện trở van lúc này là bằng không;

- Bỏ qua dòng điện rò khi van (thyristor) có điện áp thuận nhưng vẫn khóa, coi điện trở van lúc này là vô cùng lớn;

- Bỏ qua dòng điện rò khi có điện áp ngược, coi điện trở van lúc này là vô cùng lớn;

- Bỏ qua thời gian mở; đối với thyristor thì xem rằng khi van đang có điện áp thuận, nếu xuất hiện tín hiệu điều khiển trên cực điều khiển thì van mở tức thời.

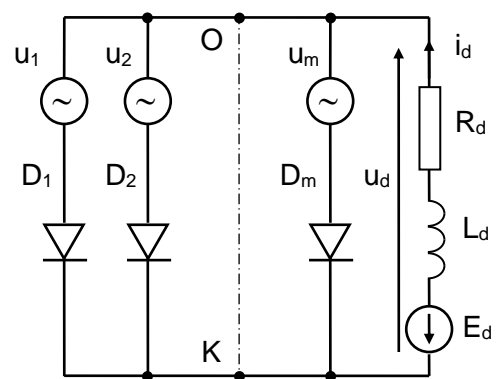
- Nguồn cung cấp xoay chiều là đối xứng và bỏ qua nội trở của nguồn.

2.2.2.1. Sơ đồ chỉnh lưu hình tia

a. Trường hợp sơ đồ chỉnh lưu là không điều khiển

Để nghiên cứu nguyên lý làm việc của sơ đồ chỉnh lưu, trước tiên hãy xét với sơ đồ chỉnh lưu không điều khiển với các van là đi ốt và xét với sơ đồ các van nối ka tốt chung như trên hình 2.3.

Nghiên cứu hoạt động của sơ đồ có thể nhận thấy rằng, ở chế độ dòng qua tải là liên tục thì tại một thời điểm bất kỳ khi bộ chỉnh lưu đang làm việc trong sơ đồ luôn có một van dẫn dòng, đó là van nối với pha có điện áp dương nhất. Mặt khác như đã biết với hệ thống điện áp xoay chiều m pha



Hình 2.3a: Sơ đồ chỉnh lưu hình tia m pha không điều khiển

thì trong thời gian một chu kỳ nguồn mỗi pha sẽ lần lượt dương nhất trong khoảng thời gian bằng $1/m$ chu kỳ, như vậy trong thời gian một chu kỳ nguồn mỗi van trong sơ đồ sẽ dẫn dòng một khoảng bằng $1/m$ chu kỳ. Đã giả thiết sụt điện áp trên van khi mở bằng không, do vậy, thời điểm mà điện áp trên van bằng không và có xu hướng chuyển sang dương (điểm đầu nửa chu kỳ dương) là thời điểm van (đi ốt) bắt đầu mở, và thời điểm này được gọi là thời điểm mở tự nhiên đối với van trong sơ đồ chỉnh lưu.

Thời điểm mở tự nhiên đối với van trong sơ đồ chỉnh lưu các van nối ka tốt chung chậm sau thời điểm điện áp của pha nối với van bằng không và bắt đầu chuyển sang dương một góc độ điện bằng ψ_0 , với ψ_0 được xác định như sau:

$$\psi_0 = \pi/2 - \pi/m \quad (2.1)$$

Mỗi đi ốt trong sơ đồ bắt đầu mở tại thời điểm mở tự nhiên và sẽ khoá tại thời điểm mở tự nhiên của van tiếp theo. Điện áp chỉnh lưu tức thời là một chuỗi các xung, lặp lại m lần giống nhau trong một chu kỳ nguồn xoay chiều.

Trường hợp sơ đồ chỉnh lưu hình tia m pha các van nối a nốt chung, khi sơ đồ làm việc ở chế độ dòng liên tục thì tại một thời điểm bất kỳ trong sơ đồ cũng có một van, là van mắc với pha có điện áp âm nhất dẫn dòng. Thời điểm mở tự nhiên đối các van trong sơ đồ này chậm sau thời điểm điện áp của pha mắc với van bằng không và bắt đầu chuyển sang âm (điểm đầu nửa chu kỳ âm) một góc độ điện cũng bằng ψ_0 .

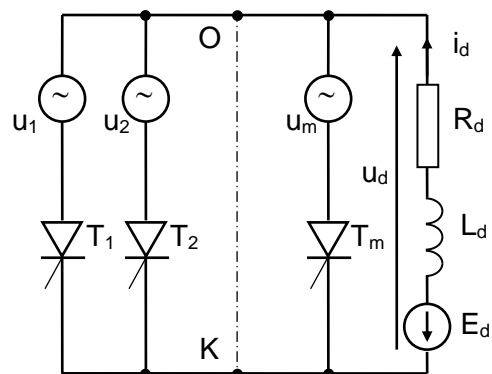
b. Trường hợp sơ đồ chỉnh lưu có điều khiển

Trong trường hợp này các van chỉnh lưu là các thyristor (T_1, T_2, \dots, T_m). Như đã biết, để một thyristor có thể chuyển từ trạng thái khoá sang trạng mở thì cần phải có đủ hai điều kiện:

- Điện áp giữa a nốt A và ka tốt K phải dương (thuận).

- Có tín hiệu điều khiển đặt vào điện cực điều khiển G và ka tốt K của van (nói tắt là có tín hiệu điều khiển).

Do đặc điểm vừa nêu mà trong sơ đồ này ta có thể điều khiển được thời điểm mở của các van trong một giới hạn nhất định. Cụ thể là, trong khoảng thời gian van có điều kiện mở thứ nhất là có điện áp thuận (từ thời điểm mở tự nhiên đối với van cho đến sau thời điểm này một nửa chu kỳ), nếu cần mở van ở thời điểm nào thì truyền tín hiệu điều khiển đến van ở thời điểm đó và điều này được thực hiện với tất cả các van trong sơ đồ. Như vậy nếu truyền tín hiệu điều khiển đến van chậm sau thời điểm mở tự nhiên một góc độ điện bằng α thì tất cả các van trong sơ đồ sẽ mở chậm so với thời điểm mở tự nhiên một góc độ điện là α và đường cong điện áp chỉnh lưu trên phụ tải một chiều sẽ có dạng khác so với sơ đồ chỉnh lưu không điều khiển (các van mở tại thời điểm mở tự nhiên đối với van), do vậy giá trị trung bình (thành phần một chiều) của điện áp chỉnh lưu sẽ thay đổi. Mặt khác khi



Hình 2.3b: Sơ đồ chỉnh lưu hình tia m pha có điều khiển

thay đổi giá trị của α thì dạng và giá trị trung bình của điện áp chỉnh lưu cũng thay đổi theo. Vậy ta có thể thay đổi được thành phần một chiều của điện áp trên tải nhờ thay đổi thời điểm mở van, tức là thay đổi giá trị góc α . Với sơ đồ chỉnh lưu thì giá trị góc mở chậm α của van được gọi là **góc điều khiển** của sơ đồ chỉnh lưu. Mặt khác, từ các điều kiện mở của van, có thể thấy, muốn van mở được khi có tín hiệu điều khiển thì thời điểm truyền tín hiệu điều khiển đến van phải nằm trong khoảng điện áp trên van là thuận, có nghĩa rằng: $180^\circ > \alpha \geq 0^\circ$. Trường hợp sơ đồ làm việc với $\alpha = 0^\circ$ tương đương với trường hợp sơ đồ chỉnh lưu không điều khiển.

Sự làm việc của sơ đồ chỉnh lưu hình tia m pha các van nối a nốt chung cũng hoàn toàn tương tự, chỉ khác là thời điểm mở tự nhiên của các van trong sơ đồ này xác định khác với sơ đồ các van nối ka tốt chung.

2.2.2.2. Sơ đồ chỉnh lưu hình cầu

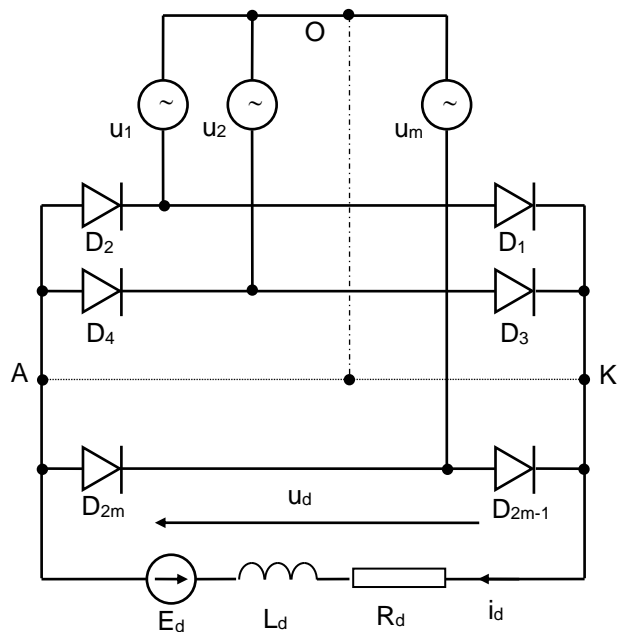
a. Trường hợp sơ đồ chỉnh lưu không điều khiển

Từ sơ đồ đầu dây của bộ chỉnh lưu hình cầu m pha không điều khiển (hình 2.4a) có thể nhận thấy:

Để có dòng qua phụ tải thì trong sơ đồ phải có ít nhất 2 van cùng dẫn dòng, một van ở nhóm ca tốt chung và một van ở nhóm a nốt chung. Nếu giả thiết là sơ đồ làm việc ở chế độ dòng qua tải là liên tục thì khi bộ chỉnh lưu cầu m pha làm việc, ở một thời điểm bất kỳ trong sơ đồ luôn có 2 van dẫn dòng: một van ở nhóm ka tốt chung nối với pha đang có điện áp dương nhất và một van ở nhóm a nốt chung nối với pha đang có điện áp âm nhất.

Thời điểm mở tự nhiên đối các van

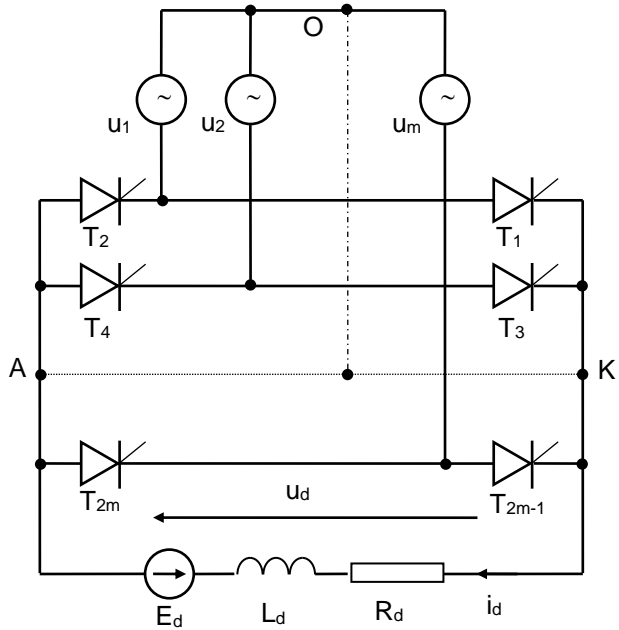
nhóm ka tốt chung xác định giống như các van trong sơ đồ chỉnh lưu hình tia cùng số pha các van mắc ka tốt chung, còn thời điểm mở tự nhiên đối với các van nhóm a nốt chung thì xác định như đối với các van trong sơ đồ chỉnh lưu hình tia cùng số pha các van mắc a nốt chung. Như vậy, trong một chu kỳ nguồn xoay chiều mỗi van cũng dẫn dòng một khoảng thời gian bằng $1/m$ chu kỳ như ở sơ đồ hình tia, sự chuyển mạch dòng từ van này sang van khác chỉ diễn ra với các van trong cùng một nhóm và độc lập với nhóm van kia; trong một chu kỳ nguồn xoay chiều điện áp chỉnh lưu lặp lại q lần giống nhau, với $q = 2m$ khi m lẻ và $q = m$ khi m chẵn.



Hình 2.4a: Sơ đồ chỉnh lưu hình cầu m pha ($m \geq 3$) không điều khiển

a. Trường hợp sơ đồ chỉnh lưu có không điều khiển

Với sơ đồ chỉnh lưu cầu m pha có điều khiển (hình 2.4b), để điều chỉnh điện áp chỉnh lưu trên phụ tải một chiều người ta cũng thực việc điều khiển cho các van trong sơ đồ mở chậm hơn thời điểm mở tự nhiên một góc độ điện bằng α nhờ tín hiệu điều khiển các van giống như ở sơ đồ hình tia. Giới hạn thay đổi lớn nhất của góc điều khiển α là từ 0^0 đến 180^0 . Điện áp chỉnh lưu tức thời cũng là dạng đập mạch, lặp đi lặp lại mang tính chất chu kỳ với chu kỳ bằng T/q , trong đó T là chu kỳ điện áp nguồn hình sin cấp cho sơ đồ chỉnh lưu. Trị tức thời của điện áp trên tải đối với sơ đồ chỉnh lưu cầu (trừ sơ đồ một pha) là hiệu điện áp hai pha (điện áp dây) mắc với hai van đang dẫn dòng.

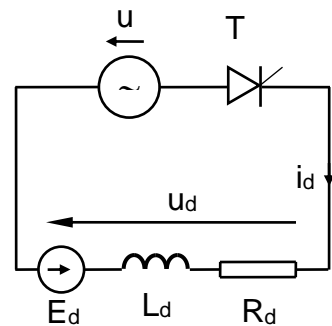


Hình 2.4b: Sơ đồ chỉnh lưu hình cầu m pha ($m \geq 3$) có điều khiển

2.3. DÒNG VÀ ÁP TRÊN TẢI MỘT CHIỀU

2.3.1. DÒNG ĐIỆN CHỈNH LƯU TRÊN PHỤ TẢI MỘT CHIỀU

Theo mục 2.2.2, dạng đường cong điện áp chỉnh lưu lặp đi lặp lại q lần trong một chu kỳ nguồn xoay chiều, do vậy ở chế độ xác lập thì dòng qua tải cũng sẽ lặp đi lặp lại q lần (với $q = m$ khi sơ chỉnh lưu là hình tia hoặc sơ đồ cầu có số pha m là chẵn, $q = 2m$ khi sơ đồ chỉnh lưu là hình cầu với số pha m là lẻ). Như vậy, muốn xác định được dòng và áp trên tải ở chế độ xác lập thì chỉ cần biết dòng và áp trên tải trong khoảng thời gian bằng một lần lặp lại (bằng T/q , hay qui ra góc độ điện theo tần số nguồn bằng $2\pi/q$). Để xác định dòng và áp trên tải ta dựa vào sơ đồ thay thế bộ chỉnh lưu trong khoảng làm việc của một van như hình 2.5.



Hình 2.5: Sơ đồ thay thế tương đương bộ chỉnh lưu

Trên sơ đồ thay thế hình 2.5:

- u : là tổng đại số điện áp nguồn xoay chiều tác động trong mạch vòng nối với các van đang dẫn dòng của sơ đồ ở giai đoạn xét, với sơ đồ hình tia thì u sẽ là điện pha, với sơ cầu thì u sẽ là điện áp dây (riêng sơ đồ cầu một pha, có thể xem như là sơ đồ hình cầu hai pha với biên độ điện áp mỗi pha bằng một nửa biên độ nguồn để xét). Nếu chọn mốc thời gian xét $t = 0$ ($\omega t = 0$) là thời điểm bắt đầu mở một van trong sơ đồ thì:

$$u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi) \tag{2.2a}$$

trong đó:

- U_m là biên độ điện áp pha của nguồn xoay chiều nếu sơ đồ chỉnh lưu là hình tia hoặc là biên độ điện áp dây của nguồn xoay chiều nếu sơ đồ chỉnh lưu là hình cầu (V);

- ω là tần số góc của nguồn điện xoay chiều (rad);

- t là thời gian xét (s);

- ψ là góc pha đầu và được xác định:

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{q} + \alpha \quad (2.2b)$$

- Thyristor T đặc trưng cho các van đang dẫn dòng, ở sơ đồ tia là một van còn sơ đồ cầu có hai van dẫn dòng nối tiếp nhau, ở đây T chỉ có ý nghĩa là dòng trong sơ đồ chỉ được phép đi theo một chiều là chiều thuận qua T, còn sụt điện áp trên T đã được bỏ qua;

- E_d, L_d, R_d : là s.đ.đ., điện cảm, điện phụ tải phía một chiều;

- u_d, i_d : là điện áp và dòng điện trên tải một chiều.

Từ sơ đồ hình 2.5, có thể viết được phương trình cân bằng điện áp:

$$R_d i_d + L_d \frac{di_d}{dt} = U_m \sin(\omega t + \psi) - E_d \quad (2.3)$$

Để giải phương trình này, đặt:

$$\varepsilon = \frac{E_d}{U_m} : \text{giá trị tương đối của s.đ.đ. phụ tải;} \quad (2.4a)$$

$$i^* = \frac{i_d}{I_m} = \frac{i_d R_d}{U_m} : \text{giá trị tương đối dòng điện phụ tải;} \quad (2.4b)$$

$$\tau = \frac{L_d}{R_d} : \text{hằng số thời gian điện từ mạch tải.} \quad (2.4c)$$

Thế (2.3) vào (2.4) thu được:

$$i^* + \tau \frac{di^*}{dt} = \sin(\omega t + \psi) - \varepsilon \quad (2.5)$$

Đây là phương trình vi phân tuyến tính đối với dòng tải dạng tương đối. Giải phương trình này với điều kiện đầu là: $i^*_{|_{\omega t=0}} = i_0^*$ nhận được:

$$i^* = \left\{ i_0^* + \varepsilon - \frac{\sin[\psi - \arctg(\omega\tau)]}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \right\} e^{-t/\tau} - \left\{ \varepsilon - \frac{\sin[\omega t + \psi - \arctg(\omega\tau)]}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \right\} \quad (2.6a)$$

Biểu thức (2.6a) là biểu thức tổng quát dùng để xác định dòng điện tương đối qua phụ tải một chiều (i^*), từ đây khi sử dụng (2.4b) sẽ tìm được dòng tải tức thời i_d :

$$i_d = \frac{U_m}{R_d} \left\{ i_0^* + \varepsilon - \frac{\sin[\psi - \arctg(\omega\tau)]}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \right\} e^{-t/\tau} - \frac{U_m}{R_d} \left\{ \varepsilon - \frac{\sin[\omega t + \psi - \arctg(\omega\tau)]}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \right\} \quad (2.6b)$$

Các biểu thức (2.6a) và (2.6b) chỉ xác định trong khoảng từ $\omega t = 0$ đến $\omega t = 2\pi/q$.

Tùy thuộc vào đặc tính phụ tải, dạng sơ đồ, giá trị góc điều khiển mà có thể xuất hiện một số chế độ dòng tải khác nhau:

- Chế độ dòng điện tải liên tục: nếu trong toàn bộ thời gian làm việc mà $i_d > 0$;
- Chế độ dòng điện tải gián đoạn: nếu trong một chu kỳ làm việc mà dòng tải có q khoảng bằng không và q khoảng khác không;
- Chế độ trung gian (giới hạn) giữa 2 chế độ nêu trên được gọi là chế độ dòng điện biên liên tục.

Chú ý: Khi dùng (2.6a) hoặc (2.6b), nếu tính được i^* hoặc i_d có giá trị âm trong một giai đoạn nào đó ở khoảng thời gian xét thì trong giai đoạn đó phải lấy $i^* = 0$ hoặc $i_d = 0$, vì dòng điện trong mạch chỉ được phép đi theo một chiều, nên không âm.

2.3.1.1. Chế độ dòng tải gián đoạn

Điều này sẽ xảy ra khi tải là điện trở thuần và $\alpha \neq 0$ đối với sơ đồ 1 hoặc 2 pha và cũng xảy ra với cả sơ đồ 3 pha, hoặc khi tải có L_d hữu hạn mà E_d lớn hoặc α lớn,... Khi đó, tại thời điểm bắt đầu mở một van thì dòng qua tải đang bằng không, tức là $i_0^* = 0$. Vậy biểu thức dòng tải dạng tương đối của trường hợp này là:

$$i^* = \left\{ \varepsilon - \frac{\sin[\psi - \arctg(\omega\tau)]}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \right\} e^{-t/\tau} - \left\{ \varepsilon - \frac{\sin[\omega t + \psi - \arctg(\omega\tau)]}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \right\} \quad (2.7)$$

Khi bộ chỉnh lưu làm việc ở chế độ dòng điện gián đoạn, người ta gọi khoảng thời gian tồn tại một xung dòng tải qui ra góc độ điện là góc dẫn của van và ký hiệu là λ , λ có thể tìm được từ biểu thức (2.7) khi cho vế trái bằng không và $t = \lambda/\omega$.

2.3.1.2. Dòng điện tải khi phụ tải $R_d - E_d$ (khi $L_d = 0$)

Khi $L_d = 0$, ta có: $\tau = 0$, nên $e^{-t/\tau} = 0$, từ (2.6a) suy ra dòng tương đối trên tải:

$$i^* = \sin(\omega t + \psi) - \varepsilon \quad (2.8)$$

2.3.1.3. Dòng điện tải ở chế độ dòng biên liên tục

Khi sơ đồ làm việc ở chế độ này thì đường cong dòng điện có q điểm bằng không trong một chu kỳ nguồn xoay chiều. Những điểm dòng tải bằng không là những điểm bắt đầu mở một van trong sơ đồ, vậy trong trường hợp này vẫn có: $i_0^* = 0$, dòng tải tương đối vẫn được xác định theo biểu thức (2.7), nhưng góc dẫn của van luôn là $\lambda = 2\pi/q$. Trong các sơ đồ chỉnh lưu với tải điện trở - điện cảm - s.đ.đ., nếu các tham số tải là tải điện trở, điện cảm không đổi, thông số nguồn và góc điều khiển không đổi, nếu thay đổi giá trị s.đ.đ. tải (E_d) có thể làm cho chế độ dòng tải thay đổi từ gián đoạn sang liên tục hoặc ngược lại. Giá trị s.đ.đ. phụ tải ứng với chế độ dòng tải là biên liên tục được gọi là giá trị s.đ.đ. giới hạn và ở dạng tương đối được ký hiệu là ε_{gh} , có thể tìm ε_{gh} bằng cách thay $\omega t = 2\pi/q$ vào (2.7) và cho vế trái bằng không, cụ thể:

$$\varepsilon_{gh} = \frac{\sin[2\pi/q + \psi - \arctg(\omega\tau)] - \sin[\psi - \arctg(\omega\tau)]e^{-2\pi/q\omega\tau}}{(1 - e^{-2\pi/q\omega\tau}) \cdot \sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \quad (2.9)$$

2.3.1.4. Dòng tải ở chế độ dòng liên tục

Khi sơ đồ chỉnh lưu đã làm việc ở chế độ xác lập, nếu dòng tải là liên tục thì do tính chất lặp đi lặp lại mang tính chu kỳ như đã nêu, nên dòng tải tại $\omega t = 2\pi/q$ cũng bằng dòng tải tại $\omega t = 0$, tức là bằng i_0^* .

Thay $\omega t = 2\pi/q$ vào (2.6a) ta tìm được i_0^* :

$$i_0^* = \frac{\sin[2\pi/q + \psi - \arctg(\omega\tau)] - \sin[\psi - \arctg(\omega\tau)]e^{-2\pi/q\omega\tau}}{(1 - e^{-2\pi/q\omega\tau}) \cdot \sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} - \varepsilon \quad (2.10)$$

Thế (2.10) vào (2.6a) và biến đổi, nhận được:

$$i^* = \frac{\{\sin[2\pi/q + \psi - \arctg(\omega\tau)] - \sin[\psi - \arctg(\omega\tau)]\}e^{-t/\tau}}{(1 - e^{-2\pi/q\omega\tau}) \cdot \sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} + \frac{\sin[\omega t + \psi - \arctg(\omega\tau)]}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} - \varepsilon \quad (2.11)$$

Đây là biểu thức dòng tải dạng tương đối ở chế độ dòng liên tục.

* Trường hợp lý tưởng hóa, giả thiết $L_d \rightarrow \infty$

Trong trường hợp này ta tìm dòng điện tương đối bằng cách lấy giới hạn i^* ở biểu thức (2.11) khi cho $L_d \rightarrow \infty$, giá trị i^* lúc này được ký hiệu là I^* :

$$I^* = \lim_{\omega\tau \rightarrow \infty} i^* = \frac{\sin(2\pi/q + \psi - \pi/2) - \sin(\psi - \pi/2)}{2\pi/q} - \varepsilon = \frac{2\sin(\pi/q) \cdot \cos(\pi/q + \psi - \pi/2)}{2\pi/q} - \varepsilon$$

$$\rightarrow I^* = \left(\frac{q}{\pi}\right) \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha - \varepsilon \quad (2.12a)$$

Các biểu thức (2.12a), (2.12b) cho thấy rằng, dòng qua tải khi $L_d \rightarrow \infty$ không phụ thuộc vào thời gian. Nếu chú ý rằng dòng qua phụ tải bộ chỉnh lưu gồm hai thành phần: một thành phần không phụ thuộc thời gian là thành phần một chiều hay giá trị trung bình và một thành phần biến đổi theo thời gian là thành phần xoay chiều thì dòng tải trong trường hợp này đúng bằng giá trị trung bình dòng chỉnh lưu, ta ký hiệu là I_d và được biểu diễn bằng biểu thức:

$$I_d = \frac{q}{\pi} \cdot \frac{U_m}{R_d} \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha - \frac{E_d}{R_d} \quad (2.12b)$$

2.3.2. ĐIỆN ÁP CHỈNH LƯU TRÊN PHỤ TẢI MỘT CHIỀU

Có hai khái niệm về điện áp chỉnh lưu là:

- Điện áp chỉnh lưu tức thời, ký hiệu là u_d ;

- Điện áp chỉnh lưu trung bình, tức là thành phần một chiều của điện áp chỉnh lưu và ký hiệu là U_d và được xác định bởi biểu thức sau:

$$U_d = \frac{q}{T} \int_0^{T/q} u_d dt = \frac{q}{2\pi} \int_0^{2\pi/q} u_d(\omega t) d(\omega t) \quad (2.13)$$

trong đó: q là số lần lặp lại của điện áp chỉnh lưu trong một chu kỳ nguồn, T là chu kỳ nguồn xoay chiều cấp cho sơ đồ chỉnh lưu.

2.3.2.1. Điện áp chỉnh lưu trên tải ở chế độ dòng tải gián đoạn

- Điện áp chỉnh lưu tức thời:

+ Trong giai đoạn từ $\omega t = 0$ đến $\omega t = \lambda$: $u_d = u$, lúc này $i^* > 0$;

+ Trong giai đoạn từ $\omega t = \lambda$ đến $\omega t = 2\pi/q$: $u_d = E_d$, lúc này $i^* = 0$;

- Điện áp chỉnh lưu trung bình:

$$U_d = \frac{q}{2\pi} \left[\int_0^\lambda U_m \sin(\omega t + \psi) d(\omega t) + \int_\lambda^{2\pi/q} E_d d(\omega t) \right] \quad (2.14)$$

2.3.2.2. Điện áp chỉnh lưu trên tải ở chế độ dòng tải liên tục và biên liên tục

Điện áp chỉnh lưu trên tải trong chế độ dòng liên tục và biên liên tục là như nhau vì trong cả hai trường hợp này, thời gian dẫn dòng của các van trong một chu kỳ nguồn đều bằng nhau (bằng T/m).

- Điện áp chỉnh lưu tức thời: $u_d = u$.

- Điện áp chỉnh lưu tức trung bình:

$$\begin{aligned} U_d &= \frac{q}{2\pi} \int_0^{2\pi/q} U_m \sin(\omega t + \psi) d(\omega t) = -\frac{q}{2\pi} U_m \cos(\omega t + \psi) \Big|_0^{2\pi/q} = \\ &= \frac{q}{\pi} U_m \sin\left(\frac{\pi}{q}\right) \cos\alpha = U_{d0} \cos\alpha \end{aligned} \quad (2.15)$$

với:
$$U_{d0} = \frac{q}{\pi} U_m \sin\left(\frac{\pi}{q}\right) \quad (2.16)$$

là điện áp chỉnh lưu trung bình khi góc điều khiển $\alpha = 0$ (khi có tính đến nội trở nguồn thì đây là sức điện động chỉnh lưu trung bình ứng với $\alpha = 0$).

2.4 . CHẾ ĐỘ NGHỊCH LƯU CỦA CHỈNH LƯU ĐIỀU KHIỂN

Nghiên cứu sự làm việc của sơ đồ chỉnh lưu có điều khiển người ta nhận thấy, khi có một số điều kiện nhất định, bộ chỉnh lưu thực hiện quá trình biến đổi năng lượng điện một chiều bên phía phụ tải thành năng lượng điện xoay chiều và chuyển vào nguồn cung cấp xoay chiều, đây là một chế độ làm việc đặc biệt chỉ có đối với chỉnh lưu điều khiển. Chế độ làm việc này được gọi là chế độ nghịch lưu của chỉnh lưu có điều khiển.

Nếu gọi công suất tiêu thụ trên phụ tải bộ chỉnh lưu là P_d , bỏ qua tổn thất thì:

$$P_d = U_d \cdot I_d \quad (2.17)$$

trong đó: U_d, I_d là giá trị trung bình của điện áp và dòng điện chỉnh lưu.

Khi bộ biến đổi làm việc ở chế độ chỉnh lưu thì $P_d > 0$, phụ tải tiêu thụ công suất tác dụng do nguồn xoay chiều chuyển sang. Trong trường hợp bộ biến đổi làm việc ở chế độ nghịch lưu thì như đã nêu, phụ tải phát ra công suất tác dụng và nguồn xoay chiều thu công suất tác dụng, do vậy $P_d < 0$. Mặt khác, như đã biết, dòng qua phụ tải bộ chỉnh lưu chỉ đi theo một chiều nên nếu có dòng qua tải thì I_d không thể âm (tức I_d luôn luôn ≥ 0). Vậy muốn có $P_d < 0$ thì $U_d < 0$, tức là điện áp đầu ra bộ chỉnh lưu phải đổi dấu. Nếu giả thiết sơ đồ chỉnh lưu làm việc ở chế độ dòng liên tục, biểu thức điện áp chỉnh lưu trung bình (2.15):

$$U_d = U_{d0} \cdot \cos \alpha$$

Từ biểu thức này có thể thấy rằng:

- Nếu $0 < \alpha < \pi/2$ thì $U_d > 0$, bộ biến đổi làm việc ở chế độ chỉnh lưu.
- Nếu $\pi/2 < \alpha < \pi$ thì $U_d < 0$, bộ biến đổi làm việc ở chế độ nghịch lưu.
- *. Vậy điều kiện thứ nhất để có chế độ nghịch lưu là: $\pi/2 < \alpha < \pi$.

Mặt khác, thành phần một chiều dòng điện có thể được xác định bởi biểu thức:

$$I_d = \frac{U_d - E_d}{R_d} \quad (2.18)$$

Muốn có chế độ nghịch lưu thì tải phải phát ra công suất tác dụng, tức là P_d phải âm, và điều này có nghĩa là $I_d > 0$. Từ biểu thức (2.18), suy ra:

$$(U_d - E_d) > 0 \quad (2.19)$$

Bên cạnh đó, do $U_d < 0$ nên để thỏa mãn (2.19) thì:

$$E_d < 0 \text{ và } |E_d| > |U_d| \quad (2.20)$$

*. Vậy điều kiện thứ hai để có chế độ nghịch lưu là: phải đảo chiều s.đ.đ. phụ tải E_d và đảm bảo quan hệ $|E_d| > |U_d|$.

Khi sơ đồ chỉnh lưu làm việc ở chế độ nghịch lưu người đưa ra một số khái mới là góc điều khiển nghịch lưu hay gọi tắt là góc nghịch lưu, ký hiệu là β và điện nghịch lưu trung bình, ký hiệu là $U_{d\beta}$, với $U_{d\beta} = U_{d0} \cos \beta = -U_{d0} \cos \alpha$. Góc β là góc độ điện tính từ thời điểm mở van đến thời điểm chậm sau thời điểm mở tự nhiên đối với van một góc bằng 180° , vậy $\beta = 180^\circ - \alpha$, (hay $\beta = \pi - \alpha$).

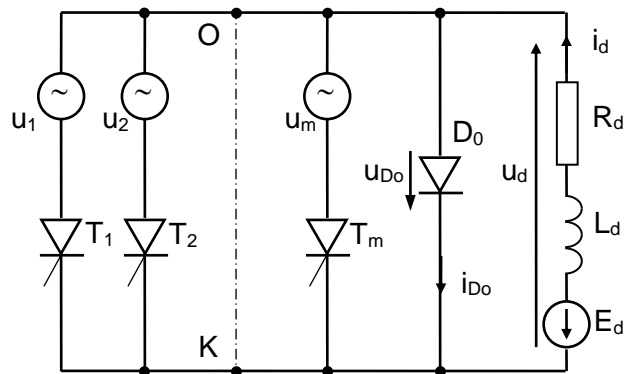
Chú ý: Để một thyristor đang dẫn dòng chuyển sang trạng thái khoá một cách chắc chắn thì sau khi dòng qua van giảm về bằng không ta phải duy trì điện áp giữa a nốt và ka tốt là âm hoặc bằng không trong một khoảng thời gian nhất định thì van mới đảm bảo phục hồi được tính chất điều khiển, có nghĩa rằng sau khoảng thời gian cần thiết như đã nêu ta có thể đặt điện áp thuận trong giới hạn cho phép lên van thì van cũng vẫn khoá nếu chưa có tín hiệu điều khiển. Khoảng thời gian cần thiết nêu trên được gọi là thời gian phục hồi tính chất điều khiển của van và ta ký hiệu là t_k . Khi sơ đồ làm việc ở chế độ nghịch lưu nếu ta

cho $\alpha = \pi$ thì khi dòng qua một van vừa bằng không (với giả thiết đang bỏ qua chuyển mạch, sẽ xét ở phần sau), điện áp trên van cũng bằng không và bắt đầu chuyển sang dương (thuận) tức là van không có thời gian phục hồi tính chất điều khiển nên sẽ tự mở lại không cần tín hiệu điều khiển. Sự tự mở lại của van vừa khoá kết hợp với việc trong sơ đồ đang có một van cùng nhóm dẫn dòng sẽ gây nên ngắn mạch và phá huỷ chế độ nghịch lưu, người ta gọi hiện tượng này là hiện tượng lật đổ nghịch lưu. Muốn cho sơ đồ chỉnh lưu làm việc bình thường ở chế độ nghịch lưu thì phải có khoảng thời gian cần thiết để van phục hồi tính chất điều khiển khi khoá bằng cách giảm giá trị góc điều khiển cực đại, tức là phải đảm bảo các quan hệ sau:

$$\pi/2 < \alpha < \alpha_{\max} \text{ hay } \beta_{\min} < \beta < \pi/2, \text{ trong đó } \beta_{\min} = \omega t_k \quad (2.21)$$

2.5. CHỈNH LƯU ĐIỀU KHIỂN LÀM VIỆC VỚI ĐI ỚT KHÔNG (D_0)

Từ nguyên lý làm việc của sơ đồ chỉnh lưu, có thể thấy rằng, khi đưa điện cảm vào mạch tải để san phẳng dòng tải thì ở các góc điều khiển lớn điện áp chỉnh lưu tức thời có những khoảng âm. Điều đó nói lên rằng trong các khoảng thời gian đó thì tải phát ra công suất tác dụng và thực tế là điện cảm mạch tải giải phóng ra năng lượng mà nó đã tích lũy được trong giai đoạn điện áp chỉnh lưu tức thời dương. Một phần năng lượng tích lũy trong L_d lúc này được chuyển vào cung cấp cho R_d và E_d , còn một phần chuyển trả cho nguồn xoay chiều. Vì L_d là hữu hạn nên năng lượng nó tích



Hình 2.6: Sơ đồ chỉnh lưu hình tia m pha có đi ốt (D_0)

lũy được cũng là hữu hạn, do vậy khi dòng tải nhỏ hoặc góc điều khiển quá lớn, thì năng lượng tích lũy trong L_d không đủ khả năng duy trì dòng tải cho đến thời điểm mở van tiếp theo của sơ đồ, dẫn đến dòng điện tải sẽ gián đoạn. Để khắc phục một phần, có thể tìm cách ngăn không cho chuyển năng lượng tích lũy trong L_d về nguồn mà chỉ dùng để duy trì dòng qua tải, lúc đó khả năng liên tục của dòng tải sẽ tốt hơn. Phương pháp đơn giản mà rất hiệu quả là mắc song song với tải một đi ốt sao cho khi $u_d > 0$ thì đi ốt này bị đặt điện áp ngược. Đi ốt này được gọi là đi ốt không, ký hiệu là D_0 , hình 2.6 là một dạng: sơ đồ chỉnh lưu hình tia m pha có đi ốt (van) không.

Nguyên lý hoạt động của sơ đồ chỉnh lưu có van không có thể tóm tắt như sau: Khi điện áp chỉnh lưu tức thời dương thì đi ốt không bị đặt điện áp ngược. Khi điện áp chỉnh lưu tức thời có xu hướng chuyển sang âm thì đi ốt không sẽ mở, sụt áp trên nó giảm về bằng không. Điện áp trên D_0 là $u_{D_0} = 0$, nên $u_d = 0$, do vậy điện áp trên van có điều khiển đang dẫn dòng ở giai đoạn trước sẽ chuyển sang âm vì điện áp của pha nguồn xoay chiều nối với van bắt đầu đổi dấu và van đó sẽ khoá lại, ngăn không để L_d chuyển năng lượng tích lũy trên nó trả lại nguồn xoay chiều. Trong thời gian D_0 làm việc thì $u_d = 0$ và $i_d = i_{D_0}$.

Đến thời điểm đưa tín hiệu điều khiển mở van có điều khiển tiếp theo trong sơ đồ, van này mở thì $u_d > 0$ và $u_{D_0} = -u_d < 0$, D_0 lại khoá. Trong các giai đoạn tiếp theo sự làm việc của sơ đồ diễn ra tương tự, trong một chu kỳ nguồn xoay chiều D_0 làm việc q lần.

Nhận xét:

- Dòng điện qua D_0 là do s.đ.đ. tự cảm trong điện cảm phụ tải L_d tạo ra, vì vậy sơ đồ có chỉ hợp lý khi $L_d \neq 0$, L_d càng lớn càng tốt.

- Trong sơ đồ chỉnh lưu có D_0 thì $u_d \geq 0$ (không âm), nên $U_d \geq 0$ và sơ đồ không làm việc được ở chế độ nghịch lưu.

2.6. QUÁ TRÌNH CHUYỂN MẠCH TRONG SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU

2.6.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Để đơn giản cho việc nghiên cứu nguyên lý hoạt động của các sơ đồ chỉnh lưu thường giả thiết bỏ qua điện trở và điện cảm nguồn cung cấp xoay chiều và của dây dẫn cũng như các phần tử khác mắc nối tiếp trong mạch nguồn. Trong trường hợp đó, khi mở một van đến lượt làm việc thì van cùng nhóm và đang dẫn dòng ở giai đoạn trước sẽ khoá lại tức thời, van vừa mở dòng tăng tức thời lên giá trị dòng tải. Trong thực tế thì trong mạch nguồn xoay chiều luôn luôn tồn tại một giá trị điện trở và một giá trị điện cảm nhất định, điều này sẽ làm cho sự thay đổi dòng điện qua các van khi mở một van nào đó trong sơ đồ sẽ khác, đặc biệt là khi mạch nguồn có điện cảm. Do đặc điểm của điện cảm là dòng qua nó không được phép thay đổi đột ngột, do vậy, khi truyền tín hiệu điều khiển đến mở một van đến lượt làm việc thì dòng qua van cùng nhóm với nó đang dẫn dòng ở giai đoạn trước chưa giảm ngay về không mà sẽ giảm dần trong một khoảng thời gian nào đó và trong thời gian đó dòng qua van vừa mở cũng sẽ tăng dần từ 0 đến giá trị dòng qua tải. Như vậy, khi bắt đầu mở một van thì sẽ xuất hiện một khoảng thời gian có hai van cùng nhóm cùng dẫn dòng, khoảng thời gian này được gọi là thời gian chuyển mạch và quá trình diễn ra trong sơ đồ chỉnh lưu trong thời gian này được gọi là quá trình chuyển mạch. Trong thời gian chuyển mạch sơ đồ làm việc ở trạng thái ngắn mạch hai pha nguồn xoay chiều bởi sụt điện áp trên hai van cùng nhóm dẫn dòng xem là bằng không. Quá trình chuyển mạch như đã nêu không xảy ra đối với chế độ dòng gián đoạn vì ở chế độ làm việc này, khi mở một van trong sơ đồ thì tất cả các van làm việc ở giai đoạn trước đều đã khoá. Quá trình chuyển mạch chỉ diễn ra khi sơ đồ làm ở chế độ dòng liên tục, việc nghiên cứu quá trình này tương đối phức tạp. Để đơn giản cho việc nghiên cứu, tạm thời đưa ra một số giả thiết như sau:

- Hệ thống điện áp xoay chiều cấp cho bộ chỉnh lưu là hoàn toàn hình sin, đối xứng.

- Tạm thời bỏ qua điện trở trong mạch nguồn ($R_s = 0$), chỉ xét đến điện cảm của mạch nguồn ($L_s \neq 0$).

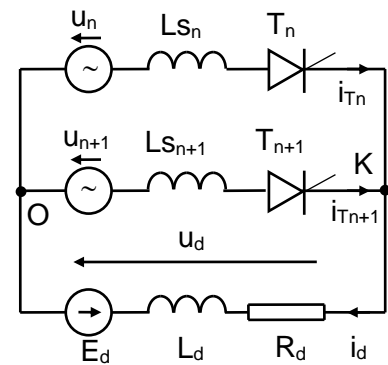
- Giả thiết điện cảm mạch tải là vô cùng lớn ($L_d = \infty$ nên $i_d = I_d = \text{const}$)

- Bỏ qua sụt điện áp trên van và xem rằng van mở ngay khi có tín hiệu điều khiển.

- Chỉ khảo sát quá trình chuyển mạch diễn ra giữa 2 van và nghiên cứu với trường hợp sơ đồ là hình tia, sau đó suy rộng kết quả cho cả sơ đồ hình cầu.

2.6.2. DÒNG ĐIỆN QUA CÁC VAN TRONG GIAI ĐOẠN CHUYỂN MẠCH

Tiến hành nghiên cứu đối với sơ đồ chỉnh lưu hình tia m pha các van nối ka tốt chung để xác định biểu thức dòng các van trong giai đoạn chuyển mạch. Sơ đồ thay thế bộ chỉnh lưu trong thời gian diễn ra quá trình chuyển mạch giữa 2 van T_n và T_{n+1} , (T_n mắc ở pha thứ n, T_{n+1} mắc ở pha thứ n+1, giả thiết: $n < m$), được biểu diễn trên hình 2.7.



Hình 2.7: Sơ đồ thay thế bộ chỉnh lưu giai đoạn chuyển mạch giữa 2 van T_n và T_{n+1}

Trong đó:

- u_n, u_{n+1} là điện pha thứ n và n+1 trong hệ thống điện áp xoay chiều hình sin m pha.

- T_n, T_{n+1} là 2 van mắc ở 2 pha u_n, u_{n+1}

- $L_{S_n}, L_{S_{n+1}}$ là điện cảm tổng trong các pha nguồn xoay chiều thứ n và n+1, do hệ thống nguồn đối xứng nên: $L_{S_n} = L_{S_{n+1}} = L_s$.

- E_d, R_d, L_d là các phần tử phụ tải một chiều.

- $i_{T_n}, i_{T_{n+1}}, i_d$ là dòng điện các van T_n, T_{n+1} và dòng tải.

- u_d là điện áp chỉnh lưu tức thời.

Chọn mốc thời gian xét $\omega t = 0$ là thời điểm truyền tín hiệu điều khiển đến mở T_{n+1} , trước đó van T_n đang dẫn dòng. Viết phương trình cân bằng điện áp trong mạch vòng qua 2 van đang diễn ra chuyển mạch và hai pha nguồn nối với 2 van này với chú ý rằng điện áp trên 2 van này trong khoảng chuyển mạch bằng không (vì các van đang dẫn dòng), thu được:

$$L_{S_n} \frac{di_{T_n}}{dt} + L_{S_{n+1}} \frac{di_{T_{n+1}}}{dt} = u_{n+1} - u_n \quad (2.22)$$

Phương trình dòng điện tại điểm nút K:

$$i_{T_n} + i_{T_{n+1}} = i_d = I_d \quad (2.23)$$

Từ (2.23) rút ra:

$$i_{T_{n+1}} = I_d - i_{T_n} \Rightarrow \frac{di_{T_{n+1}}}{dt} = -\frac{di_{T_n}}{dt} \quad (2.24)$$

Thay (2.24) vào (2.22), với việc chú ý đến $u_{n+1} - u_n = U_{km} \sin(\omega t + \alpha)$, trong đó U_{km} là giá trị biên độ của hiệu điện áp hai pha nguồn kế tiếp nhau, còn gọi là biên độ điện áp dây của hai pha kế tiếp nhau, rút ra:

$$2L_s \frac{di_{T_{n+1}}}{dt} = U_{km} \sin(\omega t + \alpha) \quad (2.25)$$

Giải phương trình vi phân (2.25), nhận được:

$$i_{T_{n+1}} = -\frac{U_{km}}{2\omega L_s} \cos(\omega t + \alpha) + C = -I_{km} \cos(\omega t + \alpha) + C \quad (2.26)$$

Hằng số tích phân C được xác định dựa điều kiện đầu: khi $\omega t = 0$ thì $i_{T_{n+1}} = 0$ và có giá trị như sau:

$$C = \frac{U_{km}}{2\omega L_s} \cos \alpha = I_{km} \cos \alpha \quad (2.27)$$

$I_{km} = \frac{U_{km}}{2\omega L_s}$ là biên độ dòng ngắn mạch hai pha nguồn kế tiếp nhau.

Vậy, dòng điện các van trong giai đoạn chuyển mạch được xác định như sau:

$$i_{T_{n+1}} = I_m \cdot [\cos \alpha - \cos(\omega t + \alpha)] \quad (2.28a)$$

$$i_{T_n} = I_d - I_m \cdot [\cos \alpha - \cos(\omega t + \alpha)] \quad (2.28b)$$

2.6.3. GÓC CHUYỂN MẠCH

Khoảng thời gian diễn ra quá trình chuyển mạch dòng điện từ T_n sang T_{n+1} qui ra góc độ điện được gọi là góc chuyển mạch hay góc trùng dẫn, thường được ký hiệu là γ . Để xác định góc chuyển mạch có thể dựa vào điều kiện: thời điểm kết thúc chuyển mạch thì $i_{T_n} = 0$ và $i_{T_{n+1}} = I_d$. Giá trị góc chuyển mạch khi $\alpha = 0$ được ký hiệu là γ_0 , việc xác định góc chuyển mạch γ ứng với một giá trị góc điều khiển α thường tính toán thông qua γ_0 và α .

6.2.3.1. Góc chuyển mạch khi $\alpha = 0$ (γ_0)

Để xác định γ_0 , thực hiện thay $\omega t = \gamma_0$ và $\alpha = 0$ vào (2.28a) (hoặc (2.28b)), cho về trái biểu thức bằng I_d , nhận được:

$$1 - \cos \gamma_0 = \frac{I_d}{I_{km}} = \frac{2\omega L_s}{U_{km}} I_d \quad (2.29)$$

Rút ra:

$$\gamma_0 = \arccos \left[1 - \frac{2\omega L_s}{U_{km}} I_d \right] \quad (2.30)$$

6.2.3.2. Góc chuyển mạch khi $\alpha \neq 0$

Thay $\omega t = \gamma$ vào (2.28b) và cho $i_{T_n} = 0$, rút ra:

$$\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma) = \frac{I_d}{I_{km}} = \frac{2\omega L_s}{U_{km}} I_d \quad (2.31)$$

So sánh hai biểu thức (2.29) và (2.31), suy ra:

$$1 - \cos \gamma_0 = \cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma) \quad (2.32)$$

Từ (2.32) xác định được biểu thức tính γ theo α và γ_0 :

$$\gamma = \arccos(\cos \alpha + \cos \gamma_0 - 1) - \alpha \quad (2.33)$$

Nhận xét: Góc chuyển mạch γ phụ thuộc vào giá trị dòng tải I_d , biên độ điện áp nguồn cung cấp, điện cảm trong mạch nguồn L_s , góc điều khiển α .

2.6.4. ĐIỆN ÁP CHỈNH LƯU KHI CÓ XÉT ĐẾN QUÁ TRÌNH CHUYỂN MẠCH

Do có điện cảm trong mạch nguồn mà quá trình chuyển mạch dòng điện từ van này sang van khác không diễn ra một cách tức thời. Thêm nữa, trong quá trình này, sự biến đổi của dòng điện cũng gây nên sụt điện áp trên điện cảm nguồn, điều đó làm cho điện áp trên tải cũng sẽ có sự thay đổi cả về giá trị tức thời cũng như giá trị trung bình. Mặt khác, khi có tính đến điện trở nguồn và sự không bằng phẳng của dòng tải do L_d là hữu hạn thì quá trình khá phức tạp và quá trình trong sơ đồ hình cầu cũng không hoàn giống như trong sơ đồ hình tia. Để đơn giản cho việc tính toán, trước tiên xét cho trường hợp lý tưởng như đã giả thiết ở mục 2.6.1, tiếp sau sẽ suy rộng kết quả cho các trường hợp khác.

2.6.4.1. Điện áp chỉnh lưu khi chỉ tính đến điện cảm nguồn

a. Điện áp chỉnh lưu tức thời

- Trong khoảng thời gian không diễn ra chuyển mạch: Trong các khoảng thời gian này điện áp chỉnh lưu tức thời bằng điện áp của pha nguồn xoay chiều nối với van đang dẫn dòng, ví dụ: lân cận trước $\omega t = 0$ thì T_n dẫn dòng nên $u_d = u_n$ còn từ $\omega t = \gamma$ đến $\omega t = 2\pi/q$ thì T_{n+1} dẫn dòng nên $u_d = u_{n+1}$.

- Trong giai đoạn diễn ra chuyển mạch: Khi có sự chuyển mạch dòng từ van này sang van khác thì dòng qua các van và các pha nguồn xoay chiều có sự biến đổi nên điện áp chỉnh lưu tức thời trên tải cũng sẽ thay đổi. Dựa vào sơ đồ thay thế hình 2.7, có thể viết được các phương trình cân bằng điện áp sau:

$$L_s \frac{di_{T_{n+1}}}{dt} + u_d = u_{n+1} \quad (2.34a)$$

$$L_s \frac{di_{T_n}}{dt} + u_d = u_n \quad (2.34b)$$

Cộng hai phương trình này vế với vế, biến đổi và xét đến (2.24), rút ra:

$$u_d = \frac{u_{n+1} + u_n}{2} \quad (2.35)$$

Như vậy, điện áp chỉnh lưu tức thời trong giai đoạn chuyển mạch bằng trung bình cộng điện áp hai pha nguồn nối với hai van đang diễn ra chuyển mạch.

b. Điện áp chỉnh lưu trung bình

Do có chuyển mạch mà điện áp chỉnh lưu tức thời trong khoảng chuyển mạch bị giảm đi. Lượng giảm đi của u_d trong khoảng chuyển mạch bằng sụt điện áp trên điện cảm mạch nguồn u_{L_s} . Vì vậy mà giá trị trung bình của điện áp chỉnh lưu cũng bị giảm đi một lượng bằng giá trị trung bình của sụt điện áp trên điện cảm $L_{s_{n+1}}$, ta ký hiệu là ΔU_x . Giá trị u_{L_s} được xác định:

$$u_{L_s} = L_s \frac{di_{T_{n+1}}}{dt} = u_{n+1} - u_n = \frac{u_{n+1} - u_n}{2} = \frac{U_{km}}{2} \cos(\omega t + \alpha)$$

$$\Delta U_x = \frac{q}{4\pi} \int_0^\gamma U_{km} \sin(\omega t + \alpha) d(\omega t) = \frac{q}{4\pi} U_{km} [\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)] \quad (2.36)$$

Dựa vào (2.31) và (2.36), rút ra:

$$\Delta U_x = \frac{q}{2\pi} \omega L_s I_d \quad (2.37)$$

Từ các phân tích và tính toán trên có thể xác định được biểu thức điện áp chỉnh lưu trung bình khi có tính đến quá trình chuyển mạch là:

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha - \frac{q}{2\pi} \omega L_s I_d \quad (2.38)$$

2.6.4.2. Điện áp chỉnh lưu khi tính đến cả điện cảm và điện trở nguồn

Khi có tính đến cả điện cảm L_s và điện trở R_s trong mạch nguồn xoay chiều, nếu vẫn giả thiết $L_d = \infty$ thì các tính toán cho thấy rằng dạng đường cong dòng điện các van trong giai đoạn chuyển mạch cũng có dạng tương tự như khi bỏ qua điện trở nguồn và các biểu thức tính toán trên vẫn có thể sử dụng được với mức độ chính xác cho phép, chỉ cần quan tâm thêm sụt áp trên R_s .

Khi có tính đến cả điện cảm L_s và điện trở R_s trong mạch nguồn xoay chiều, nếu L_d hữu hạn thì nếu L_d có giá trị đủ lớn để cho dòng tải đập mạch nhỏ thì dạng dòng các van cũng thay đổi rất ít và vẫn có thể sử dụng các quan hệ như khi giả thiết $L_d = \infty$. Vậy điện áp chỉnh lưu trung bình của trường hợp có tính đến cả điện cảm L_s và điện trở R_s trong mạch nguồn xoay chiều và L_d có giá trị lớn:

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha - \frac{q}{2\pi} \omega L_s I_d - R_s I_d = U_{d0} \cos \alpha - \left(\frac{q}{2\pi} \omega L_s + R_s \right) I_d \quad (2.39)$$

2.6.4.3. Điện áp chỉnh lưu khi có kể đến chuyển mạch của sơ đồ chỉnh lưu hình cầu

a. Chỉnh lưu cầu ba pha

Các sơ đồ chỉnh lưu hình cầu thường gặp là sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha và chỉnh lưu cầu ba pha. Trong sơ đồ chỉnh lưu hình cầu ba pha, với dòng điện tải không quá lớn so với giá trị danh định tính toán thì quá trình chuyển mạch chỉ diễn ra trong từng nhóm và cũng gần tương tự với quá trình diễn ra trong sơ đồ hình tia, tuy nhiên dòng điện đi phải đi qua hai pha nguồn và các van của hai nhóm van nên sụt điện áp trên điện trở nguồn lớn gấp đôi sơ đồ chỉnh lưu hình tia. Cụ thể, biểu thức xác định điện chỉnh lưu trung bình sẽ là:

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha - \frac{q}{2\pi} \omega L_s I_d - 2R_s I_d = U_{d0} \cos \alpha - \left(\frac{3}{\pi} \omega L_s + 2R_s \right) I_d \quad (2.40)$$

b. Chỉnh lưu cầu một pha

Sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha khác sơ với các trường hợp vừa nêu, khi diễn ra chuyển mạch thì tất cả bốn van của sơ đồ đều làm việc (mặc dù quá trình chuyển mạch dòng điện

vẫn theo nhóm van). Mặt khác trong giai đoạn chuyển mạch, dòng điện nguồn thay đổi từ giá trị I_d đến $-I_d$ (hoặc ngược lại) chứ không phải từ I_d về bằng không hoặc từ không lên bằng I_d như các trường hợp đã nêu, do vậy, độ sụt thành phần một chiều trên L_s do chuyển mạch cũng khác. Cụ thể, với sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha, biểu thức tính điện áp chỉnh lưu trung bình trên đầu ra khi giả thiết L_d khá lớn là:

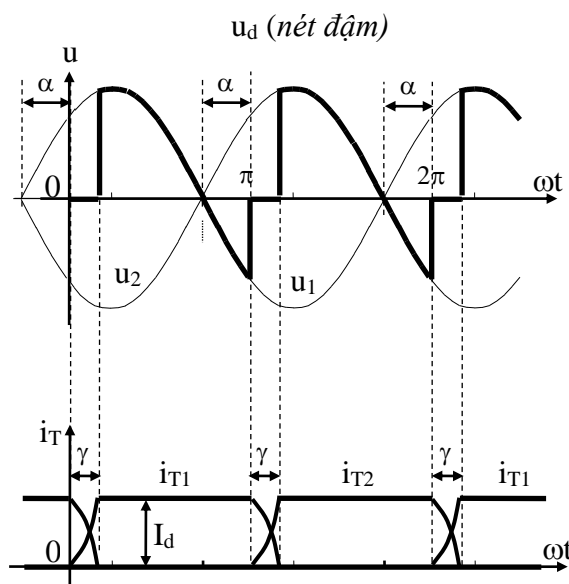
$$U_d = U_{d0} \cos \alpha - \frac{2}{\pi} \omega L_s I_d - R_s I_d = U_{d0} \cos \alpha - \left(\frac{2}{\pi} \omega L_s + R_s \right) I_d \quad (3.41)$$

Chú ý:

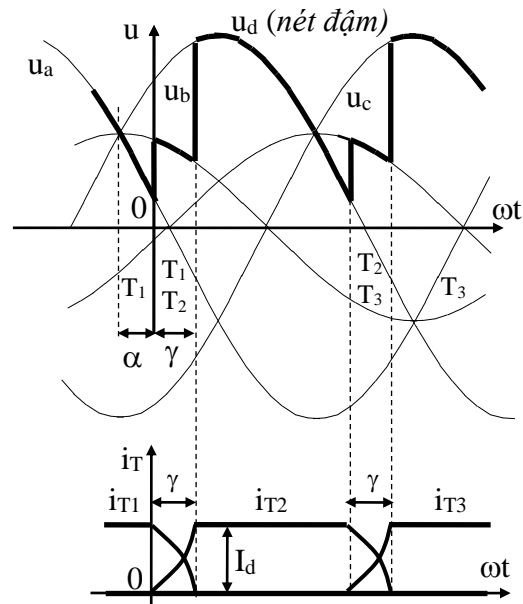
Khi có tính đến chuyển mạch thì độ dài dẫn dòng của van kéo dài thêm một góc bằng γ nên, vì vậy, khi sơ đồ chỉnh lưu có thể làm việc ở chế độ nghịch lưu thì phải giới hạn góc điều khiển α_{\max} (hoặc β_{\min}) để tránh lật đổ nghịch lưu. Cụ thể:

$$\alpha \leq \alpha_{\max} = \pi - (\gamma + \omega t_k) \quad \text{hoặc} \quad \frac{\pi}{2} > \beta \geq \beta_{\min} = (\gamma + \omega t_k) \quad (3.42)$$

2.6.4.4. Dạng điện áp tải và dòng điện các van của một số sơ đồ



Hình 2.8: Đồ thị u_d và dòng các van của sơ đồ chỉnh lưu hình tia 2 pha



Hình 2.9: Đồ thị u_d và dòng các van của sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha

Xét trường hợp sơ đồ chỉnh lưu hình tia hai pha các van nối ka tốt chung khi giả thiết $L_d \rightarrow \infty$, trong đó: u_1, u_2 ($u_1 = -u_2$) là điện áp hai pha nguồn cấp cho sơ đồ chỉnh lưu, α là góc điều khiển, γ là góc chuyển mạch, i_{T1}, i_{T2} là dòng điện qua hai van chỉnh lưu T_1 và T_2 . Khi giả thiết sơ đồ đã làm việc xác lập trước thời điểm xét và lân cận trước thời điểm bắt đầu xét ($\omega t = 0$) thì T_1 đang dẫn dòng. Tại thời điểm $\omega t = 0$, T_2 có tín hiệu điều khiển, T_2 mở và từ $\omega t = 0$ đến $\omega t = \gamma$ sẽ diễn ra quá trình chuyển mạch dòng từ T_1 sang T_2 , điện áp chỉnh lưu tức thời trong khoảng này là $u_d = (u_1 + u_2)/2 = 0$. Tại $\omega t = \gamma$, quá trình chuyển mạch dòng từ T_1 sang T_2 kết thúc, từ thời điểm này cho đến $\omega t = \pi - \alpha$ (thời điểm truyền xung đến mở lại T_1) chỉ có van T_2 làm việc nên $u_d = u_2$, $i_{T1} = 0$ và $i_{T2} = i_d = I_d$. Dạng đường cong điện áp trên tải và dòng các van như hình 2.8.

Tương tự, trên hình 2.9 biểu diễn dạng điện áp trên tải và dòng điện của các van đổi với sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha khi có xét đến chuyển mạch với giả thiết $L_d \rightarrow \infty$.

Từ đồ thị điện áp chỉnh lưu cũng như nguyên lý hoạt động của bộ chỉnh lưu có thể thấy, dạng điện áp nguồn trên đầu vào bộ chỉnh lưu có sự thay đổi (biến dạng), đặc biệt là khi điện cảm nguồn lớn. Do vậy, nếu có phụ tải khác mắc chung nguồn (song song) với bộ chỉnh lưu thì sẽ bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi dạng điện áp cung cấp, nhiều trường hợp không chấp nhận được. Để tránh hiện tượng nêu trên, sơ đồ chỉnh lưu không nối trực tiếp vào mạng điện xoay chiều mà thường đấu vào mạng qua máy biến áp phối hợp hoặc bộ cuộn kháng đầu vào. Điện cảm tản của máy biến áp hoặc điện cảm của cuộn kháng tuy làm cho quá trình chuyển mạch kéo dài hơn và tăng sụt áp một chiều đầu ra nhưng lại có tác dụng như một thiết bị lọc. Mặt khác, các điện cảm này có tác dụng làm giảm tốc độ tăng dòng qua van khi mở van, điều này là rất cần thiết để đảm bảo van không bị hỏng vì quá tốc độ tăng dòng.

2.7. ẢNH HƯỞNG CỦA CHỈNH LƯU ĐIỀU KHIỂN ĐẾN LƯỚI ĐIỆN

Sơ đồ chỉnh lưu sử dụng các phần tử có tính chất dẫn dòng một chiều để làm nhiệm vụ biến đổi điện áp, dòng điện xoay chiều thành điện áp, dòng điện một chiều. Như vậy, bộ chỉnh lưu là một phụ tải phi tuyến nên sẽ gây nên các ảnh hưởng khác nhau đến lưới điện, đặc biệt là khi công suất bộ chỉnh lưu lớn.

Đường cong dòng điện nguồn có dạng không hình sin, khi phân tích ra chuỗi Furiê được một thành phần hình sin tần số bằng tần số điện áp nguồn được gọi là sóng hài bậc nhất (hay sóng hài cơ bản) và một tổng vô hạn các thành phần hình sin khác có tần số lớn hơn tần số điện áp nguồn một số nguyên lần được gọi là các sóng hài bậc cao. Do điện áp nguồn là hình sin nên chỉ có thành phần dòng điện hình sin tần số bằng tần số điện áp nguồn (sóng hài bậc nhất) là tham gia vào quá trình truyền công suất tác dụng từ nguồn tới tải, còn các sóng hài bậc cao không tham gia vào quá trình này mà nó chỉ gây nên các tổn thất phụ khi truyền tải.

Việc điều khiển các van mở chậm sau thời điểm mở tự nhiên một góc điều khiển là α có thể thay đổi trong phạm vi từ 0° cho đến 180° làm cho dòng điện nguồn lệch pha so với điện áp, điều này cũng sẽ gây ảnh hưởng không có lợi đối với lưới điện xoay chiều: giảm hệ số công suất.

2.7.1. XUẤT HIỆN SÓNG HÀI BẬC CAO TRONG DÒNG ĐIỆN LƯỚI

Để nghiên cứu sự xuất hiện sóng hài bậc cao trong dòng điện lưới, tạm giả thiết rằng $L_d = \infty$, bỏ qua quá trình chuyển mạch. Với các giả thiết này thì đồ thị dòng điện xoay chiều qua lưới khi sơ đồ chỉnh lưu làm việc có dạng như trên hình 2.10. Trong đó hình 2.10a là đồ thị dòng điện lưới của sơ đồ chỉnh lưu hình tia 2 pha hoặc cầu một pha điều khiển hoàn toàn, hình 2.10b là đồ thị dòng điện lưới của sơ đồ chỉnh lưu hình tia 2 pha hoặc cầu một pha có điốt không (hoặc sơ đồ chỉnh lưu hình cầu một pha bán điều khiển - sơ đồ 2T, 2D), còn hình 2.10c là đồ thị dòng điện lưới của sơ đồ chỉnh lưu hình cầu 3 pha điều khiển hoàn toàn và máy biến áp nguồn nối Y/Y.

Phân tích các đường cong trên ra chuỗi Furiê, nhận được:

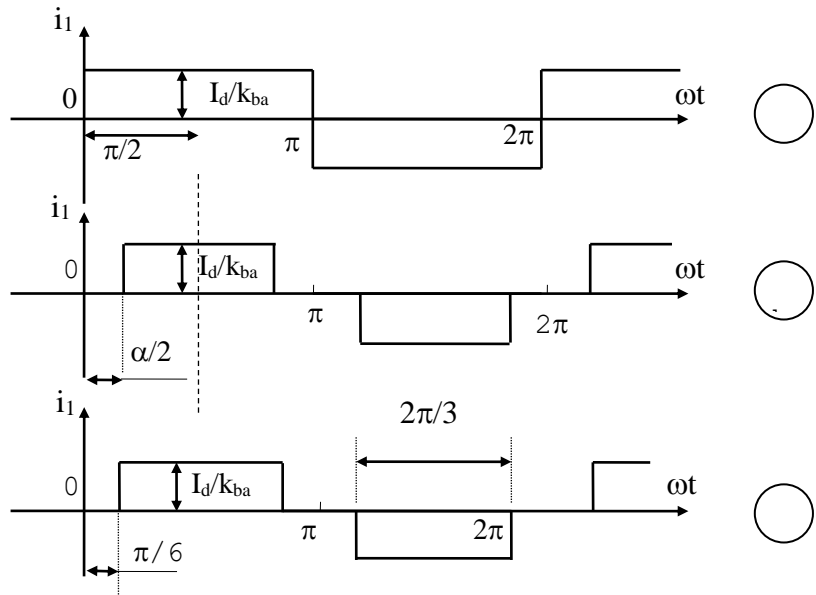
- Đường cong hình 2.10a:

$$i_1 = \frac{4I_d}{\pi k_{ba}} \left[\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \dots + \frac{1}{n} \sin(n\omega t) + \dots \right] \quad (2.43)$$

Đường cong dòng điện chỉ chứa các sóng hài bậc lẻ, biên độ của sóng hài bậc n bằng:

$$I_{nm} = \frac{1}{n} \frac{4I_d}{\pi k_{ba}}; \text{ trong đó:}$$

I_d là giá trị trung bình dòng tải một chiều, n là chỉ số sóng hài (số nguyên dương và lẻ), k_{ba} là tỉ số biến áp của máy biến áp cung cấp cho sơ đồ chỉnh lưu.



Hình 2.10: Đồ thị dòng điện lưới điện xoay chiều

- Đường cong hình

2.10b: Để đơn giản cho việc phân tích, thực hiện chuyển dịch trục tung đi một góc độ điện bằng $\pi/2$ (đường nét đứt trên hình) và phân tích:

$$i_1 = \frac{4I_d}{\pi k_{ba}} \left[\sin\left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right) \frac{\pi}{2} \cos \omega t + \frac{1}{3} \sin\left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right) \frac{3\pi}{2} \cos 3\omega t + \dots + \frac{1}{n} \sin\left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right) \frac{n\pi}{2} \cos n\omega t + \dots \right] \quad (2.44)$$

Với trường hợp này đường cong dòng điện cũng chỉ chứa các sóng hài bậc lẻ, biên độ sóng hài bậc n bằng: $I_{nm} = \frac{1}{n} \frac{4I_d}{\pi k_{ba}} \sin\left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right) \frac{n\pi}{2}$.

- Đường cong hình 2.10c khi giả thiết dịch trục tung sang phải 90° sẽ là:

$$i_1 = \frac{2\sqrt{3}I_d}{\pi k_{ba}} \left[\cos \omega t - \frac{1}{5} \cos 5\omega t + \frac{1}{7} \cos 7\omega t + \frac{1}{11} \cos 11\omega t + \dots + \frac{1}{n} \cos n\omega t + \dots \right] \quad (2.45)$$

Biên độ sóng hài bậc n: $I_{nm} = \frac{1}{n} \frac{2\sqrt{3}}{\pi k_{ba}} I_d$

Nhận xét:

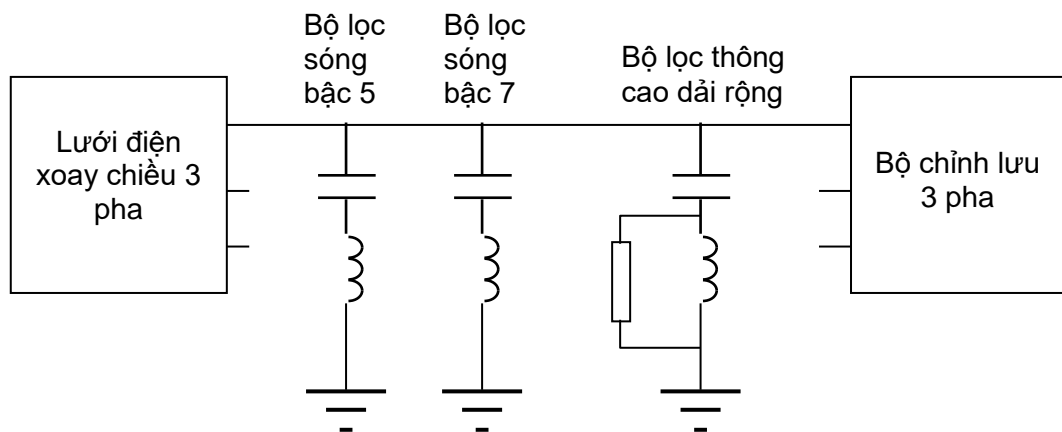
Từ việc phân tích một số đường cong điện mạch nguồn đã nêu, có thể thấy: dòng điện nguồn có một thành phần hình sin tần số bằng tần số điện áp nguồn, được gọi là sóng hài bậc nhất và vô số các thành phần hình sin tần số cao hơn tần số điện áp nguồn một số nguyên lần (lẻ), được gọi là sóng bậc cao với chỉ số bậc n được xác định:

$$n = kq \pm 1, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.46)$$

Giá trị tương đối của biên độ sóng hài bậc n (so với biên độ sóng hài bậc nhất):

$$I_{nm}^* = \frac{I_{nm}}{I_{1m}} = \frac{1}{n} \quad (2.47)$$

Các thành phần sóng hài bậc cao dòng điện nguồn xuất hiện do sự làm việc của sơ đồ chỉnh lưu gây nên nhiều ảnh hưởng không tốt đối với lưới điện xoay chiều, đặc biệt là khi công suất của bộ chỉnh lưu lớn. Vì vậy, phải tìm các biện pháp để loại bỏ hoặc giảm giá trị của chúng. Các biện pháp loại bỏ hoặc làm suy giảm các sóng hài bậc cao dòng điện lưới thường được áp dụng hiện nay là: sử dụng các bộ lọc thụ động LC, LCR ghép giữa lưới điện và bộ chỉnh lưu; sử dụng các bộ lọc tích cực sử dụng cụ bán dẫn công suất.



Hình 2.11: Sơ đồ bố trí các bộ lọc thụ động

2.7.2. GIẢM HỆ SỐ CÔNG SUẤT $\cos\varphi$

Hệ số công suất $\cos\varphi$ trong trường hợp chung được xác định bằng:

$$\cos\varphi = P/S \quad (2.48)$$

Trong đó: P là công suất tác dụng, S là công suất toàn phần mà bộ chỉnh lưu yêu cầu từ lưới điện xoay chiều:

$$\left. \begin{aligned} P &= mU_1 I_{11} \cos\varphi_1 \\ S &= mU_1 I_1 \end{aligned} \right\} \quad (2.49)$$

$$I_1 = \sqrt{I_{11}^2 + \sum I_{1n}^2} \quad (2.50)$$

Với m là số pha nguồn, U_1 là giá trị hiệu dụng điện áp một pha, I_1 là giá trị hiệu dụng dòng điện pha, I_{11} là giá trị hiệu dụng sóng hài bậc nhất dòng điện pha, I_{1n} là giá trị hiệu dụng sóng hài bậc n dòng điện pha nguồn xoay chiều, φ_1 là góc lệch pha giữa sóng hài bậc nhất dòng điện nguồn và điện áp nguồn.

Vậy:
$$\cos\varphi = P/S = \frac{I_{11} \cdot \cos\varphi_1}{\sqrt{I_{11}^2 + \sum I_{1n}^2}} = \mu \cdot \cos\varphi_1 \quad (2.51)$$

Ở đây μ là hệ số hình dáng dòng điện nguồn và $\mu = I_{11}/I_1$.

Ví dụ: Trường hợp sơ đồ cầu 1 pha hoặc hình tia 2 pha, giả thiết $L_d = \infty$:

- Nếu bỏ qua chuyển mạch: $\cos \varphi = (2 \cdot \sqrt{2} / \pi) \cdot \cos \varphi_1$

+ Khi không có đi ốt không thì $\varphi_1 = \alpha$.

+ Khi có đi ốt không thì: $\varphi_1 = \alpha/2$.

- Nếu có xét đến chuyển mạch: $\cos \varphi = k_\mu \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos \varphi_1$.

trong đó: $\cos \varphi_1 = \frac{\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)}{2}$ (hoặc $\varphi_1 \approx \alpha + \gamma/2$), $k_\mu \approx \frac{2}{\gamma} \frac{1}{\sqrt{1 - (2\gamma/3\pi)}} \sin \frac{\gamma}{2}$.

Như vậy, khi tăng giá trị góc điều khiển α sẽ làm tăng φ_1 và dẫn đến hệ số công suất của sơ đồ chỉnh lưu bị giảm. Với sơ đồ chỉnh lưu không có đi ốt không D_0 và giả thiết bỏ qua quá trình chuyển mạch thì $\cos \varphi = 0$ khi giá trị góc điều khiển α bằng 90° .

2.8. CÁC SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU THÔNG DỤNG

2.8.1. SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU HÌNH TIA MỘT PHA CÓ ĐI ỐT KHÔNG

2.8.1.1. Giới thiệu sơ đồ

Sơ đồ chỉnh lưu hình tia một pha (còn gọi là chỉnh lưu một pha nửa chu kỳ) tải điện trở - điện cảm - s.đ.đ. được biểu diễn trên hình 2.12. Trong sơ đồ có:

- BA: là máy biến áp cung cấp, trong hầu hết các sơ đồ chỉnh lưu, máy biến áp BA có ba nhiệm vụ chính:

+ Biến đổi điện áp xoay chiều của lưới điện u_1 thành điện áp xoay chiều u_2 có giá trị phù hợp với yêu cầu của sơ đồ chỉnh lưu;

+ Đảm bảo sự cách ly về điện giữa phần mạch lực của sơ đồ chỉnh lưu (các van, tải) với lưới điện xoay chiều để đảm bảo an toàn;

+ Điện cảm tản của các cuộn dây máy biến áp tham gia hạn chế tốc độ tăng dòng qua van để tránh quá giá trị di/dt cho van.

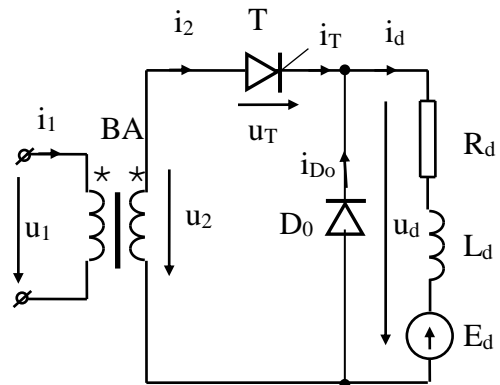
- T: van chỉnh lưu có điều khiển thyristor, có nhiệm vụ biến đổi điện xoay chiều u_2 phía thứ cấp máy biến áp thành điện áp một chiều trên tải và điều khiển giá trị trung bình của điện áp trên tải.

- D_0 : đi ốt không.

- R_d, L_d, E_d : điện trở, điện cảm, s.đ.đ. của phụ tải một chiều.

- u_1, u_2 : điện áp xoay chiều phía sơ cấp (điện áp mạng điện), thứ cấp máy biến áp BA.

- i_1 và i_2 : dòng điện các cuộn dây sơ và thứ cấp máy biến áp BA.



Hình 2.12: Sơ đồ chỉnh lưu hình tia 1 pha có đi ốt không (D_0)

- i_T và i_{D_0} : dòng qua các van T và D_0 .
- u_d và i_d : điện áp và dòng điện chỉnh lưu tức thời trên tải.

2.8.1.2. Nguyên lý làm việc

Như đã biết, chất lượng điện áp đầu ra của sơ đồ chỉnh lưu hình tia một pha rất thấp (do $q = 1$), nên sơ đồ này rất ít được sử dụng. Sơ đồ này thường dùng với loại tải điện trở điện cảm với giá trị điện cảm lớn (ví dụ như cuộn dây kích từ máy điện hoặc cuộn dây của khớp trượt điện từ, ...). Vì vậy, ở đây chỉ xét nguyên lý làm việc cho một trường hợp là giả thiết phụ tải có $L_d \rightarrow \infty$.

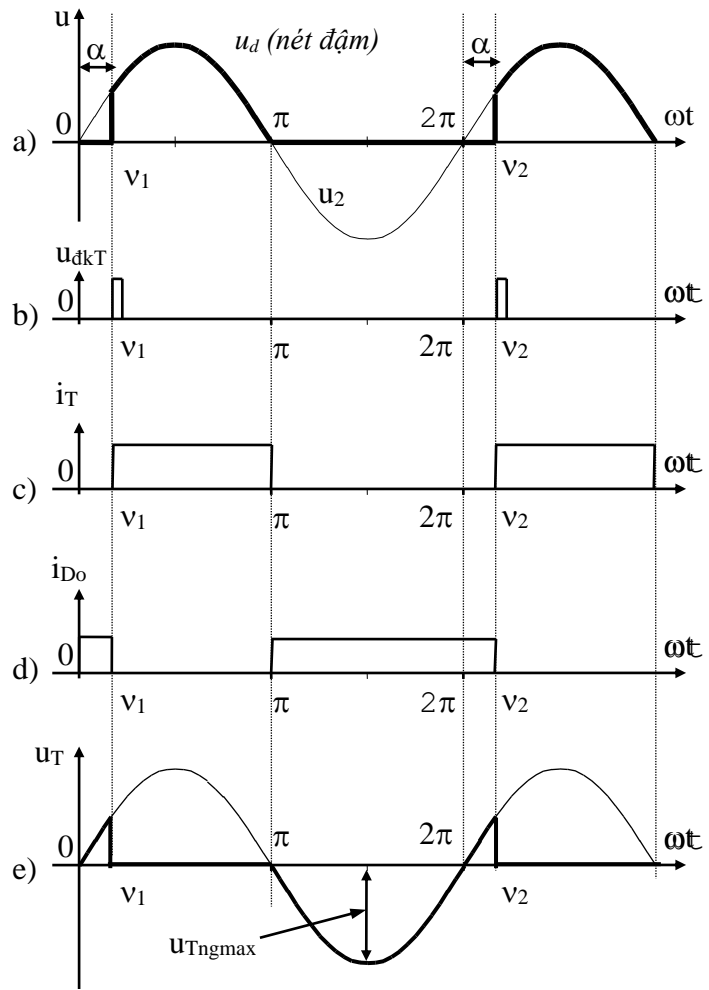
Giả thiết nguồn xoay chiều cung cấp là hình sin và được mô tả bởi: $u_2 = U_{2m}\sin\omega t$, sơ đồ đã làm việc xác lập trước thời điểm bắt đầu xét, cho sơ đồ làm việc với góc điều là α và các tín hiệu điều khiển các van hoàn toàn đáp ứng được điều kiện mở van theo yêu cầu. Với các giả thiết trên, đồ thị điện áp nguồn và đồ thị xung điều khiển thyristor u_{dkT} được biểu diễn trên hình 2.13^a và 2.13b.

Do giả thiết sơ đồ đã làm việc xác lập trước $\omega t = 0$, thêm nữa từ $\omega t = 0$ đến $\omega t < \alpha$ thì thyristor chưa mở, nên tạm giả thiết là trong khoảng đó van D_0 dẫn dòng. Khi D_0 làm việc, T khóa thì:

$$u_d = -u_{D_0} = 0; \quad u_T = u_2;$$

$$i_d = i_{D_0} = I_d; \quad i_T = 0; \quad i_2 = i_T = 0.$$

Như vậy, từ $\omega t = 0$ đến $\omega t < \alpha$ thì thyristor T có điện áp thuận. Tại $\omega t = \alpha$, xuất hiện xung điều khiển trên cực điều khiển của T, T sẽ mở vì đang có điện áp thuận, điện áp trên T giảm về bằng không, u_d tăng lên bằng $u_2 > 0$, dẫn đến $u_{D_0} = -u_d = -u_2 < 0$, tức là đi ốt không bị đặt điện áp ngược, dẫn đến D_0 khóa lại, trong sơ đồ lúc này chỉ có thyristor T dẫn dòng. Khi T làm việc, D_0 khóa thì:



Hình 2.13: Đồ thị dòng áp của sơ đồ chỉnh lưu hình tia một pha có D_0 với giả thiết tải có $L_d \rightarrow \infty$

$$u_d = u_2; \quad u_T = 0;$$

$$i_d = i_T = I_d; \quad i_{D0} = 0; \quad i_2 = i_T = I_d.$$

Đến $\omega t = \pi$ thì $u_2 = 0$ và bắt đầu chuyển sang âm, do điện cảm tải L_d được giả thiết là vô cùng lớn nên dòng vẫn tiếp tục được duy trì nhờ s.đ.đ. tự cảm sinh ra trong L_d , nếu giả thiết T vẫn tiếp tục dẫn dòng thì $u_d = u_2$ sẽ chuyển sang âm, tức là trên D_0 sẽ có điện áp thuận, tức là D_0 phải mở, D_0 mở thì điện áp trên nó giảm về bằng không nên điện áp trên T sẽ là $u_T = u_2$ bắt đầu chuyển sang âm, có nghĩa là T sẽ bị đặt điện áp ngược, dẫn đến T khóa lại. Từ $\omega t = \pi$, trong sơ đồ lại chỉ có D_0 làm việc. D_0 sẽ tiếp tục dẫn dòng cho đến thời điểm mở lại thyristor T lần tiếp theo (tại $\omega t = 2\pi + \alpha$).

Sự làm việc của sơ đồ chỉnh lưu lặp đi lặp lại mang tính chu kỳ, với chu kỳ bằng chu kỳ nguồn, nên khoảng từ $\omega t = 0$ đến $\omega t = \alpha$ sẽ lặp lại giống khoảng $\omega t = 2\pi$ đến $\omega t = 2\pi + \alpha$, từ nguyên lý đã phân tích ở trên, có thể thấy việc giả thiết ban đầu là hoàn toàn phù hợp.

2.8.1.3. Các biểu thức cơ bản

- Điện áp chỉnh lưu trung bình:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} u_d(\omega t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2} = U_{d0} \frac{1 + \cos \alpha}{2} \quad (2.52)$$

trong đó:
$$U_{d0} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0,45 U_2 \quad (2.53)$$

- Dòng trung bình qua thyristor (chọn ký hiệu là i_{Ttb})

$$I_{Ttb} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_T(\omega t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_d d(\omega t) = \frac{\pi - \alpha}{2\pi} I_d \quad (2.54a)$$

- Dòng hiệu dụng qua thyristor (chọn ký hiệu là i_T)

$$I_T = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_T^2(\omega t) d(\omega t)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_d^2 d(\omega t)} = I_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{2\pi}} \quad (2.54b)$$

- Dòng trung bình qua đi ốt không (chọn ký hiệu là I_{D0tb})

$$I_{D0tb} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_{D0}(\omega t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\alpha} I_d d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} I_d d(\omega t) \right] = \frac{\pi + \alpha}{2\pi} I_d \quad (2.55a)$$

- Dòng hiệu dụng qua đi ốt không (chọn ký hiệu là I_{D0})

$$I_{D0} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_{D0}^2(\omega t) d(\omega t)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\alpha} I_d^2 d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} I_d^2 d(\omega t) \right]} = I_d \sqrt{\frac{\pi + \alpha}{2\pi}} \quad (2.55b)$$

- Điện áp ngược lớn nhất trên thyristor (chọn ký hiệu là U_{Tngmax})

$$U_{Tngmax} = \sqrt{2} U_2 \quad (2.56)$$

- Điện áp ngược thuận nhất trên thyristor (chọn ký hiệu là U_{Tthmax})

$$U_{Tthmax} = \sqrt{2}U_2 \quad (2.57)$$

- Điện áp ngược lớn nhất trên đi ốt không (chọn ký hiệu là U_{Dngmax})

$$U_{Dngmax} = \sqrt{2}U_2 \quad (2.58)$$

2.8.1.4. Tính chọn và kiểm tra các van

Để lựa chọn các van trong sơ đồ chỉnh lưu ta dựa vào các giá trị cho phép về dòng và áp của van cho trong tài liệu tra cứu van và các giá trị tương ứng khi van làm việc trong một sơ đồ cụ thể. Sau khi tính chọn van như đã nêu ta phải kiểm tra lại van theo các điều kiện về tốc độ biến thiên cho phép của điện áp và dòng điện trên van.

a. Các điều kiện chọn van

- Điều kiện về dòng điện:

$$+ \text{ Thyristor: } [I_{Ttb}] \geq K_{iT} \cdot I_{Ttbmax} \text{ hoặc } [I_T] \geq K_{iT} \cdot I_{Tmax} \quad (2.59)$$

$$+ \text{ Đi ốt nói chung: } [I_{Dtb}] \geq K_{iD} \cdot I_{Dotbmax} \text{ hoặc } [I_D] \geq K_{iD} \cdot I_{Dmax} \quad (2.60)$$

Trong đó: $[I_{Ttb}]$, $[I_T]$ là giá trị trung bình và hiệu dụng cho phép của dòng điện đối với thyristor; I_{Ttbmax} , I_{Tmax} là giá trị trung bình và hiệu dụng lớn nhất của dòng điện đi qua thyristor trong sơ đồ khi dòng tải là định mức; $[I_{Dtb}]$, $[I_D]$ là giá trị trung bình và hiệu dụng cho phép của dòng điện đối với đi ốt; $I_{Dotbmax}$, I_{Dmax} là giá trị trung bình và hiệu dụng lớn nhất của dòng điện chảy qua đi ốt khi dòng tải là định mức; K_{iT} , K_{iD} là hệ số dự về dòng của thyristor và đi ốt, thường lấy $K_{iT}=1,5 \div 4$ và $K_{iD}=1,5 \div 2,5$.

- Điều kiện về điện áp:

$$+ \text{ Thyristor: } [U_{Tthmax}] \geq K_{uT} \cdot U_{Titmax} \text{ và } [U_{Tngmax}] \geq K_{uT} \cdot U_{Tngmax} \quad (2.61)$$

$$+ \text{ Đi ốt nói chung: } [U_{Dngmax}] \geq K_{uD} \cdot U_{Dngmax} \quad (2.62)$$

Trong đó: $[U_{Tthmax}]$, $[U_{Tngmax}]$ là giá trị cho phép của điện áp thuận lớn nhất và điện áp ngược lớn nhất đối với thyristor; U_{Titmax} , U_{Tngmax} là giá trị lớn nhất của điện áp thuận và ngược trên thyristor trong sơ đồ cụ thể; $[U_{Dngmax}]$ là giá trị cho phép của điện áp ngược lớn nhất đối với đi ốt; U_{Dngmax} là giá trị lớn nhất của điện áp ngược trên đi ốt trong sơ đồ cụ thể; K_{uT} , K_{uD} là hệ số dự về điện áp của thyristor và đi ốt, thường lấy $K_{uT}= K_{uD}=1,5 \div 2,5$.

b. Các điều kiện kiểm tra lại van đã chọn

$$- \text{ Điều kiện tốc độ tăng của điện áp trên van: } \left[\frac{du}{dt} \right] \geq \left[\frac{du}{dt} \right]_{max} \quad (2.63)$$

$$- \text{ Điều kiện tốc độ tăng của dòng điện qua van: } \left[\frac{di}{dt} \right] \geq \left[\frac{di}{dt} \right]_{max} \quad (2.64)$$

Trong đó: $\left[\frac{du}{dt} \right]$, $\left[\frac{di}{dt} \right]$ là các giá trị cho phép về tốc độ tăng của điện áp và dòng điện đối với van và tra trong sổ tay tra cứu van; $\left[\frac{du}{dt} \right]_{\max}$, $\left[\frac{di}{dt} \right]_{\max}$ là các giá trị lớn nhất về tốc độ tăng của điện áp và dòng điện đối với van trong sơ đồ cụ thể.

Khi không đạt điều kiện nào trong hai điều kiện kiểm tra van thì ta phải tính toán các mạch bảo vệ để đạt được điều kiện đó mà thường không phải chọn lại van. Phần tính chọn van này có thể áp dụng cho mọi sơ đồ chỉnh lưu.

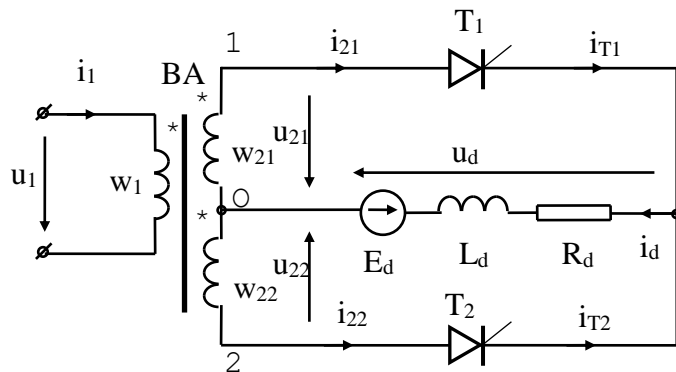
2.8.2. SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU HÌNH TIA HAI PHA

2.8.2.1. Sơ đồ chỉnh lưu hình tia hai pha không có đi ốt không

a. Sơ đồ nguyên lý

Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu được biểu diễn trên hình 2.14, trong đó:

- BA là máy biến áp cung cấp cho sơ đồ chỉnh lưu, ngoài ba nhiệm vụ chung như đã nêu ở sơ đồ trước, trong sơ đồ này BA còn có chức năng là tạo ra hệ thống điện áp xoay chiều hai pha không có trong lưới điện công nghiệp. Để tạo ra hệ thống điện áp xoay chiều hai pha, BA có cấu tạo gồm một cuộn sơ cấp được đặt điện áp nguồn xoay chiều một pha u_1 và hai cuộn thứ cấp là w_{21} , w_{22} có số vòng bằng nhau và dấu như hình vẽ. Như vậy trên w_{21} , w_{22} ta có các điện áp là u_{21} , u_{22} thoả mãn quan hệ: $u_{21} = -u_{22}$, đây là hệ thống điện áp xoay chiều hai pha cần thiết.



Hình 2.14: Sơ đồ chỉnh lưu hình tia 2 pha không có đi ốt không (D_0)

- Các thyristor T_1 , T_2 là các van chỉnh lưu có điều khiển.

- E_d , L_d , R_d các phần tử phụ tải.

b. Nguyên lý làm việc

* Khi phụ tải $R_d - E_d$:

Phụ thuộc vào giá trị E_d và α mà xảy ra một số trường hợp khác nhau.

Ở đây ta xét một trường cụ thể với giá trị α , U_{2m} sao cho $U_{2m} \cdot \sin \alpha > E_d$.

Tại $\omega t = \nu_1 = \alpha$ ta truyền xung điều khiển đến mở T_1 , giả thiết rằng trước đó ($\omega t = 0$ đến $\omega t < \nu_1$) thì trong sơ đồ chưa có van nào làm việc nên $i_d = 0$ và $u_d = E_d$. Vậy tại ν_1 thì $u_{T1} = u_{21} - E_d > 0$ nên T_1 có đủ 2 điều kiện để mở, T_1 sẽ mở, sụt điện áp trên T_1 giảm về bằng không nên điện áp chỉnh lưu tức thời $u_d = u_{21}$. Lúc này trong sơ đồ xuất hiện dòng điện đi

từ đầu pha thứ nhất (điểm 1) qua T_1 , qua phụ tải và quay về pha thứ nhất thứ cấp máy biến áp BA. Van T_2 lúc này bị đặt điện áp ngược và khoá lại, ta có:

$$i_{T1}=i_d=(u_d-E_d)/R_d=(u_{21}-E_d)/R_d;$$

$$i_{T2} = 0; \quad u_{T1}= 0; \quad u_{T2} = 2u_{22};$$

đến thời điểm $\omega t = v_1'$ thì $u_{21} = E_d$ lúc đó dòng qua T_1 và phụ tải bằng không và có xu hướng muốn đổi chiều, nhưng do tính dẫn dòng một chiều của các van mà T_1 sẽ khoá lại còn T_2 thì chưa có điều kiện mở nên dòng tải sẽ bằng không trong giai đoạn tiếp. Trong giai đoạn này cả 2 van T_1 và T_2 đều khoá:

$$u_d = E_d; \quad i_{T1}=0; \quad i_{T2} = 0;$$

$$u_{T1}= u_{21}- E_d; \quad u_{T2} = u_{22} - E_d;$$

Tại $\omega t = v_2 = \pi + \alpha$, van T_2 có tín hiệu điều khiển và $u_{T2} = u_{22} - E_d > 0$, T_2 có đủ hai điều kiện cho để mở, van T_2 mở thì sụt áp trên nó giảm về không nên $u_d = u_{22}$, van T_1 thì bị đặt điện áp ngược và đang khoá. Trong giai đoạn này ta có:

$$i_{T1} = 0; \quad i_{T2} = i_d = (u_d - E_d) / R_d = (u_{22} - E_d) / R_d;$$

$$u_{T1} = 2u_{21}; \quad u_{T2}= 0;$$

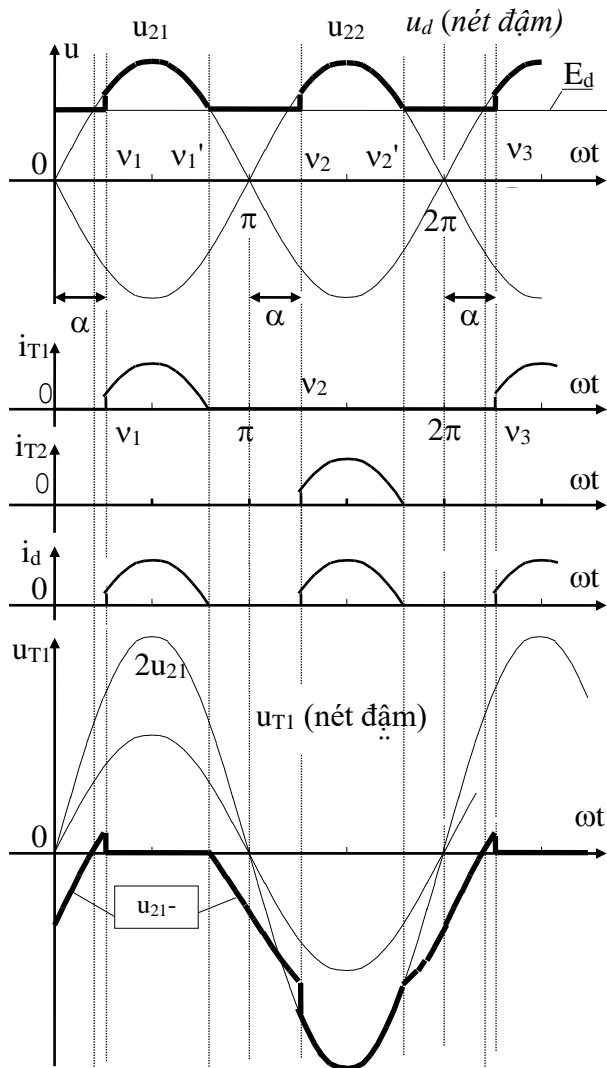
Tại $\omega t = v_2'$ thì $u_{22} = E_d$ lúc đó dòng qua T_2 và phụ tải bằng không và có xu hướng muốn đổi chiều, nhưng do tính dẫn dòng một chiều của các van mà T_2 sẽ khoá lại còn T_1 thì chưa có điều kiện mở nên dòng tải sẽ bằng không trong giai đoạn tiếp. Trong giai đoạn này cả 2 van T_1 và T_2 cũng đều khoá (trùng tự như giai đoạn $\omega t = v_1' \div \omega t = v_2$):

$$u_d = E_d; \quad i_{T1}=0; \quad i_{T2} = 0;$$

$$u_{T1} = u_{21}- E_d; \quad u_{T2} = u_{22} - E_d;$$

Tại $\omega t = v_3$ thì T_1 lại có tín hiệu điều khiển và $u_{T1} > 0$ nên T_1 lại mở, sơ đồ lặp lại trạng thái làm việc như từ $\omega t = v_1$. Do quá trình làm việc của sơ đồ chỉnh lưu có tính chất lặp đi lặp lại mang tính chu kỳ, nên sự làm việc của sơ đồ giai đoạn từ $\omega t = 0 \div \omega t = v_1$ cũng giống như giai đoạn $\omega t = 2\pi \div \omega t = v_3$.

Đồ thị điện áp chỉnh lưu, dòng các van, dòng điện chỉnh lưu, điện áp trên T_1 được minh họa như trên hình 2.15.



Hình 2.15: Đồ thị áp và dòng một số phần tử của sơ đồ khi tải điện trở - s.đ.đ.

Điện áp chỉnh lưu trung bình của trường hợp này là:

$$U_d = \frac{1}{\pi} \left[\int_0^{\pi-\theta} U_{2m} \sin(\omega t) d(\omega t) + \int_{\pi-\theta}^{\pi+\alpha} E_d d(\omega t) \right]$$

$$\rightarrow U_d = \left(\frac{1}{\pi} \right) \cdot \left\{ U_m [\cos \alpha - \cos(\pi - \alpha)] + (\alpha + \theta) \cdot E_d \right\} \quad (2.65)$$

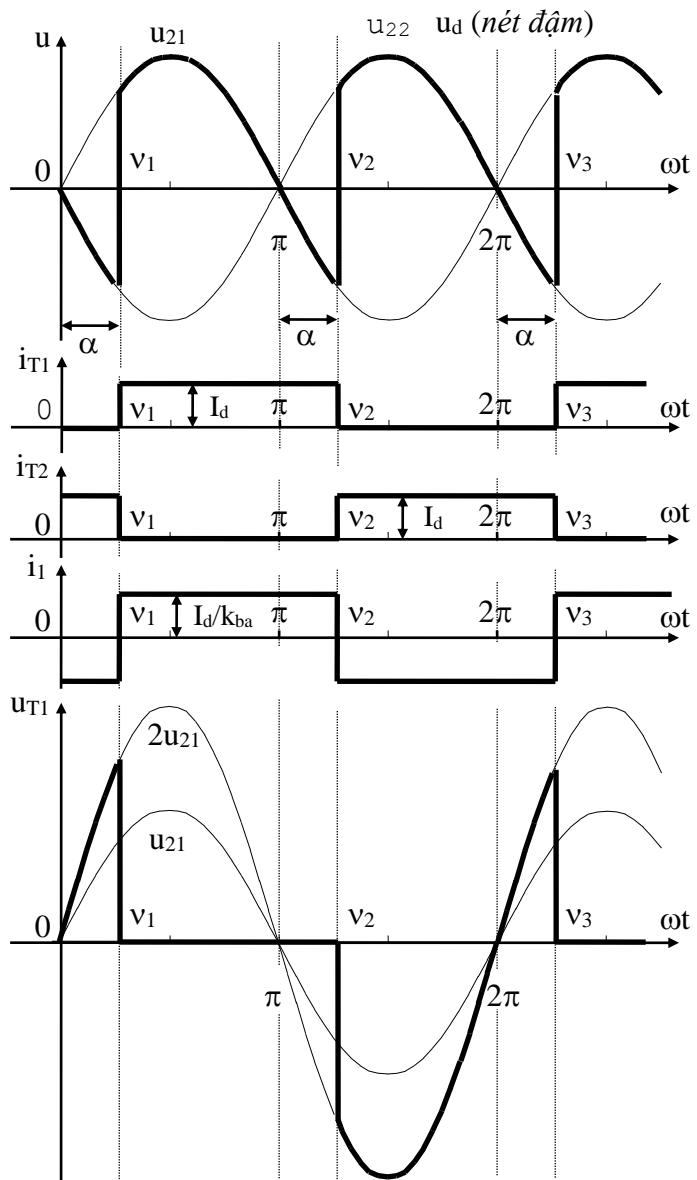
Dòng trung bình qua một thyristor:

$$I_{Ttb} = \frac{1}{\pi} \frac{1}{R_d} \left\{ U_m [\cos \alpha - \cos(\pi - \theta)] + (\pi - \alpha - \beta) E_d \right\}$$

Ở đây giá trị góc θ được xác định như sau: $\theta = \arcsin(E_d/U_m)$

* Khi phụ tải có $L_d = \infty$ (dòng tải bằng phẳng tuyệt đối)

Giả thiết cho sơ đồ làm việc với một góc điều khiển là α , tại $\omega t = 0$ thì $u_{21} = 0$ và bắt đầu chuyển sang dương và trước đó ($\omega t = 0$ đến $\omega t < v_1$) thì trong sơ đồ van T_2 làm việc, nên $i_d = i_{T2} = I_d$ và $u_d = u_{22}$, $u_{T1} = u_{21} - u_{22} = 2u_{21} > 0$. Tại $\omega t = v_1 = \alpha$, trên cực điều khiển T_1 có xung điều khiển, do đang có điện áp thuận nên T_1 sẽ mở. Khi T_1 sẽ mở, sụt điện áp trên T_1 giảm về bằng không nên ta có điện áp chỉnh lưu tức thời $u_d = u_{21}$, khi đó điện áp trên van T_2 sẽ là $u_{T2} = u_{22} - u_{21} = 2u_{22} < 0$, tức là do T_1 mở mà T_2 bị đặt điện áp ngược, dẫn đến T_2 khoá lại. Từ $\omega t = v_1$ trong sơ đồ chỉ có van T_1 làm việc, dòng điện trong sơ đồ được khép mạch theo đường: từ đầu pha thứ nhất (điểm 1) qua T_1 , qua phụ tải và quay về trung tính (phía thứ cấp) máy biến áp BA. Khi T_1 mở:



Hình 2.16: Đồ thị áp và dòng một số phần tử của sơ đồ chỉnh lưu hình tia 2 pha khi tải có $L_d = \infty$

$$i_{T1} = i_d = I_d; \quad i_{T2} = 0; \quad u_{T1} = 0; \quad u_{T2} = 2u_{22}.$$

Tại $\omega t = \pi$ thì $u_{21} = 0$ và bắt đầu chuyển sang âm, lúc đó u_{21} bắt đầu có xu hướng tác dụng ngược chiều dòng qua T_1 và phụ tải làm cho dòng tải có xu hướng giảm, trong điện cảm phụ tải sẽ xuất hiện s.d.đ. tự cảm để tiếp tục duy trì dòng tải theo mạch vòng đã nêu và với giả thiết $L_d = \infty$ thì như đã biết: dòng tải không đổi, vậy trong khoảng từ $\omega t = \pi$ cho đến thời điểm mở lại van T_2 ($\omega t = \nu_2 = \pi + \alpha$) thì T_1 vẫn dẫn dòng nên các quan hệ vẫn như đã nêu. Tại $\omega t = \nu_2$ van T_2 có tín hiệu điều khiển và $u_{T2} = 2u_{22} > 0$, T_2 đủ điều kiện mở, T_2 sẽ mở và làm việc. Van T_2 mở thì sụt áp trên nó giảm về không nên $u_d = u_{22}$, khi đó điện áp trên T_1 sẽ bằng $u_{T1} = 2u_{21} < 0$, tức là T_1 bị đặt điện áp ngược và khoá lại. Trong giai đoạn T_2 mở và dẫn dòng, thì:

$$i_{T1} = 0; \quad i_{T2} = i_d = I_d;$$

$$u_{T1} = 2u_{21}; \quad u_{T2} = 0;$$

Đến thời điểm $\omega t = 2\pi$ thì điện áp $u_{22} = 0$ và bắt đầu chuyển sang âm, lúc đó u_{22} sẽ tác động ngược chiều dòng qua T_2 và phụ tải làm cho dòng tải có xu hướng giảm, nhưng dòng tải vẫn tiếp tục được duy trì bởi s.d.đ. tự cảm trong điện cảm phụ tải L_d , các biểu thức dòng, áp trên tải và các van tương tự khoảng từ $\omega t = \nu_2$ đến $\omega t = 2\pi$.

Tại $\omega t = \nu_3$ thì T_1 lại có tín hiệu điều khiển và $u_{T1} > 0$ nên T_1 lại mở, sơ đồ lặp lại trạng thái làm việc như từ $\omega t = \nu_1$. Giai đoạn từ $\omega t = 0 \div \omega t = \nu_1$ cũng tương tự như giai đoạn $\omega t = 2\pi \div \omega t = \nu_3$ (do tính chất lặp lại của sơ đồ chỉnh lưu).

Có thể tóm tắt nguyên lý làm việc của sơ đồ chỉnh lưu hình tia 2 pha khi giả thiết phụ tải có điện cảm vô cùng lớn như sau:

⊕ Các khoảng: $\omega t = 0 \div \omega t = \nu_1$ và $\omega t = \nu_2 \div \omega t = \nu_3$, van T_2 dẫn dòng: $u_d = u_{22}$

$$i_{T1} = 0; \quad i_{T2} = i_d = I_d; \quad u_{T1} = 2u_{21}; \quad u_{T2} = 0;$$

⊕ Khoảng: $\omega t = \nu_1 \div \omega t = \nu_2$ và từ $\omega t = \nu_3 \div \dots$, T_1 dẫn dòng: $u_d = u_{21}$

$$i_{T1} = i_d = I_d; \quad i_{T2} = 0; \quad u_{T1} = 0; \quad u_{T2} = 2u_{22};$$

⊕ Dòng điện các cuộn dây thứ cấp BA bằng dòng các van:

$$i_{21} = i_{T1}; \quad i_{22} = i_{T2}.$$

⊕ Dòng điện cuộn dây sơ cấp BA:

$$i_1 = \frac{i_{21} - i_{22}}{k_{ba}} = \frac{i_{T1} - i_{T2}}{k_{ba}}$$

Đồ thị dòng, áp minh hoạ sự làm việc của sơ đồ như hình 2.16.

c. Các biểu thức tính toán cơ bản

⊕ Điện áp chỉnh lưu trung bình:

$$U_d = U_{do} \cos \alpha, \quad \text{với } U_{do} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0,9U_2 \quad (2.66)$$

trong đó U_2 giá trị hiệu dụng của điện áp một pha bên thứ cấp BA.

⊕ Dòng trung bình qua các thyristor:

$$I_{Ttb} = \frac{I_d}{2} \quad (2.67a)$$

⊕ Dòng hiệu dụng qua các thyristor:

$$I_T = \frac{I_d}{\sqrt{2}} \quad (2.67b)$$

⊕ Điện áp ngược lớn nhất trên thyristor:

$$U_{Tngmax} = 2\sqrt{2}U_2 \quad (2.68a)$$

⊕ Điện áp thuận lớn nhất trên thyristor:

$$U_{Tthmax} = 2\sqrt{2}U_2 \quad (2.68b)$$

⊕ Dòng hiệu dụng cuộn dây thứ cấp (I_2) và cuộn dây sơ cấp (I_1) máy biến áp:

$$I_2 = I_d; \quad I_1 = \frac{I_d}{k_{ba}} \quad (2.69)$$

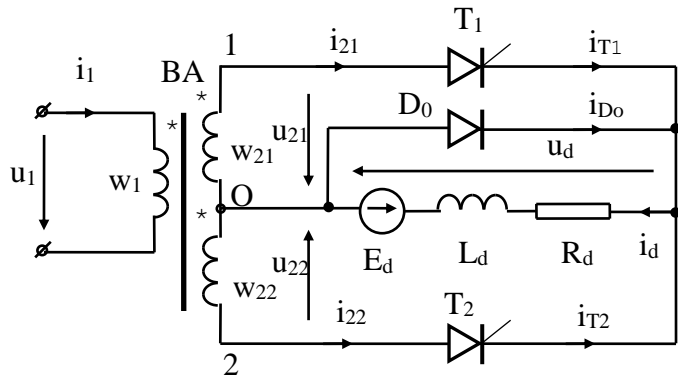
2.8.2.2. Sơ đồ chỉnh lưu hình tia hai pha có đi ốt không

a. Sơ đồ nguyên lý

Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu được biểu diễn trên hình 2.17. Sơ đồ này chỉ khác với sơ đồ hình 2.14 là có thêm đi ốt không D_0 .

b. Nguyên lý làm việc

Phân tích nguyên lý làm việc của sơ đồ cho trường hợp các giả thiết tải có điện cảm vô cùng lớn ($L_d = \infty$). Tương tự như các trường hợp trước, cũng giả thiết sơ đồ làm việc với một



Hình 2.17: Sơ đồ chỉnh lưu hình tia 2 pha có đi ốt không (D_0)

góc điều khiển là α và sơ đồ đã làm việc xác lập trước thời điểm bắt đầu xét ($\omega t = 0$), thời điểm $\omega t = 0$ là thời điểm đầu nửa chu kỳ dương của điện áp pha thứ nhất phía thứ cấp máy biến áp BA (tại $\omega t = 0$ thì $u_{21} = 0$ và bắt đầu chuyển sang dương).

Tạm thời giả thiết giai đoạn $\omega t = 0 \div \omega t = \nu_1 = \alpha$ thì D_0 đang dẫn dòng nhờ s.đ.đ. tự cảm trong L_d , khi D_0 dẫn dòng: $u_d = -u_{D_0} = 0$, $u_{T1} = u_{21}$ và $u_{T2} = u_{22}$. Do u_{21} đang ở nửa chu kỳ dương nên $u_{T1} > 0$ (T_1 có điện áp thuận) còn $u_{T2} < 0$ (T_2 bị đặt điện áp ngược). Theo giả thiết đã nêu thì tại $\omega t = \nu_1 = \alpha$, van T_1 nhận được tín hiệu điều khiển, T_1 sẽ mở. Van T_1 mở thì điện áp trên T_1 giảm về bằng không, do vậy ta có $u_d = u_{21} > 0$, dẫn đến D_0 bị đặt điện áp ngược ($u_{D_0} = -u_d$) và khoá lại, van T_2 vẫn thái khoá vì đang bị đặt điện áp ngược, nên trong sơ đồ từ thời điểm $\omega t = \nu_1$ chỉ có van T_1 dẫn dòng. Khi T_1 dẫn dòng:

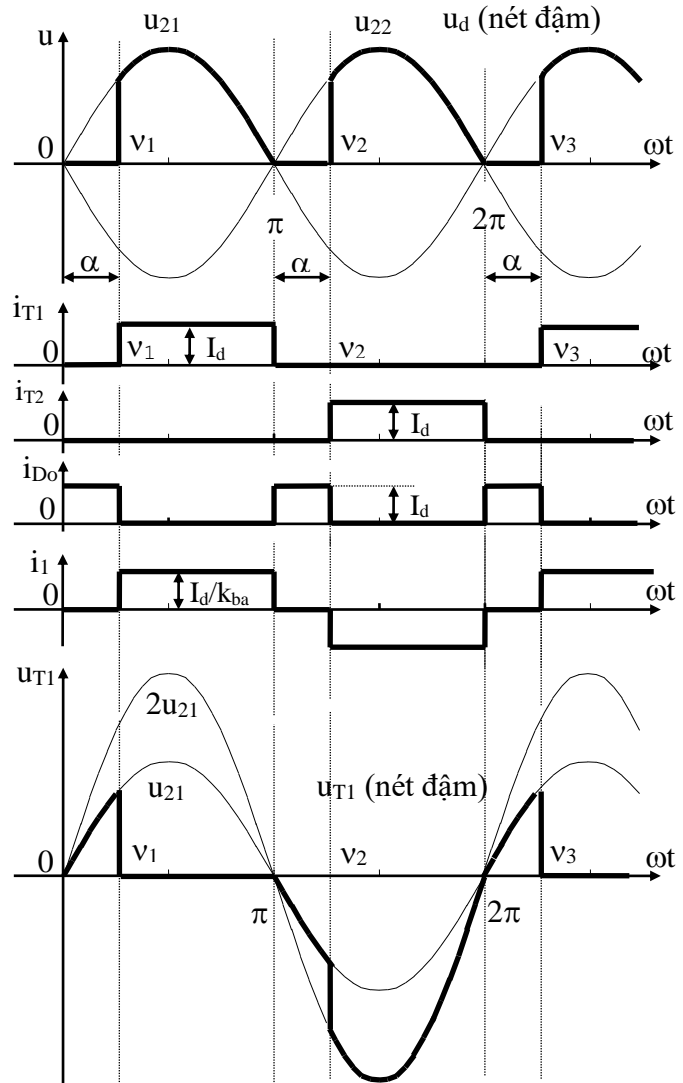
$$\begin{aligned}
u_d &= u_{21}; \\
u_{T1} &= 0; & u_{T2} &= u_{22} - u_{21} = 2u_{22}; \\
i_{T1} &= i_d = I_d; & i_{T2} &= 0; & i_{D0} &= 0.
\end{aligned}
\tag{2.70a}$$

Đến $\omega t = \pi$ thì $u_{21} = 0$ và bắt đầu chuyển sang âm, còn $u_{22} = 0$ và bắt đầu chuyển sang dương. Từ thời điểm này điện áp u_{21} tác động ngược chiều dẫn dòng của T_1 , còn u_{22} đặt điện áp thuận lên T_2 , tuy nhiên van T_2 vẫn chưa mở vì chưa có tín hiệu điều khiển. Ở sơ đồ không có D_0 như đã xét thì giai đoạn tiếp theo van T_1 vẫn dẫn dòng do tác dụng của s.đ.đ. tự cảm sinh ra trong L_d và $u_d < 0$, nhưng trong sơ đồ có D_0 thì $u_{D0} = -u_d$ nên $u_d < 0$ thì D_0 sẽ được đặt điện áp thuận và D_0 sẽ mở. Do giả thiết bỏ qua sụt điện áp trên đi ốt mở nên ngay tại thời điểm $u_{D0} = 0$ và có xu hướng chuyển sang dương thì D_0 đã mở, tức là D_0 bắt đầu mở tại $\omega t = \pi$. Khi D_0 mở thì điện áp trên nó giảm về bằng không nên điện áp trên tải sẽ bằng không, nên $u_{T1} = u_{21}$ bắt đầu chuyển sang âm, T_1 khoá lại, T_2 vẫn khoá nên lúc này trong sơ đồ chỉ có van D_0 làm việc. Khi D_0 dẫn dòng:

$$\begin{aligned}
u_d &= 0; \\
u_{T1} &= u_{21}; & u_{T2} &= u_{22}; \\
i_{T1} &= 0; & i_{T2} &= 0; & i_{D0} &= i_d = I_d.
\end{aligned}
\tag{2.70b}$$

Tại $\omega t = v_2 = \pi + \alpha$ thì T_2 có tín hiệu điều khiển và do đang có điện áp thuận nên T_2 mở. Van T_2 mở, sụt áp trên T_2 giảm về bằng không, do vậy $u_d = u_{22} > 0$, D_0 bị đặt điện áp ngược và D_0 khoá lại. Trong giai đoạn tiếp từ $\omega t = v_2 = \pi + \alpha$ thì trong sơ đồ chỉ có van T_2 dẫn dòng, khi T_2 dẫn dòng:

$$\begin{aligned}
u_d &= u_{22}; \\
u_{T1} &= u_{21} - u_{22} = 2u_{21}; & u_{T2} &= 0; \\
i_{T1} &= 0; & i_{T2} &= i_d = I_d; & i_{D0} &= 0.
\end{aligned}
\tag{2.70c}$$



Hình 2.18: Đồ thị điện áp, dòng điện của sơ đồ chỉnh lưu hình tia 2 pha tải có $L_d = \infty$

Tại $\omega t = \nu_3 = 2\pi + \alpha$ van T_1 lại có tín hiệu điều khiển, T_1 lại mở, sơ đồ lặp lại trạng thái làm việc giống như từ $\omega t = \nu_1$. Do sự làm việc của sơ đồ chỉnh lưu lặp đi lặp lại mang tính chu kỳ với chu kỳ bằng chu kỳ điện áp nguồn xoay chiều, nên giai đoạn từ $\omega t = 0$ đến $\omega t = \nu_1$, sự hoạt động của sơ đồ hoàn toàn giống giai đoạn từ $\omega t = 2\pi$ đến $\omega t = \nu_3 = 2\pi + \alpha$: D_0 làm việc dưới tác dụng của s.đ.đ. tự cảm sinh ra trong L_d , các biểu thức theo ((2.70a), điều này hoàn toàn phù hợp với giả thiết ban đầu.

Đồ thị điện áp, dòng điện minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ được biểu diễn trên hình 2.180.

c. Các biểu thức tính toán cơ bản

⊕ Điện áp chỉnh lưu trung bình:

$$U_d = U_{do} \frac{1 + \cos \alpha}{2}, \text{ với } U_{do} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0,9U_2 \quad (2.71)$$

⊕ Dòng trung bình qua các thyristor:

$$I_{Ttb} = I_d \frac{\pi - \alpha}{2\pi} \quad (2.72a)$$

⊕ Dòng hiệu dụng qua các thyristor:

$$I_T = I_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{2\pi}} \quad (2.72b)$$

⊕ Dòng trung bình qua đi ốt không:

$$I_{D_0tb} = I_d \frac{\alpha}{\pi} \quad (2.72c)$$

⊕ Dòng hiệu dụng qua đi ốt không:

$$I_{D_0} = I_d \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} \quad (2.72d)$$

⊕ Điện áp ngược lớn nhất trên thyristor:

$$U_{Tngmax} = 2\sqrt{2}U_2 \quad (2.73a)$$

⊕ Điện áp thuận lớn nhất trên thyristor:

$$U_{Tthmax} = \sqrt{2}U_2 \quad (2.73b)$$

⊕ Điện áp ngược lớn nhất trên đi ốt không:

$$U_{D_0ngmax} = \sqrt{2}U_2 \quad (2.73c)$$

⊕ Dòng hiệu dụng cuộn dây thứ cấp (I_2) và cuộn dây sơ cấp (I_1) máy biến áp:

$$I_2 = I_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{2\pi}}; \quad I_1 = I_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}} \quad (2.74)$$

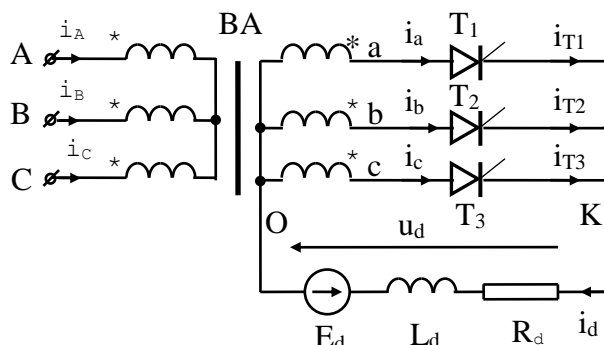
2.8.3. SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU HÌNH TIA BA PHA

2.8.3.1. Sơ đồ không có đi ốt không

a. Sơ đồ nguyên lý

Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu hình tia 3 pha không có đi ốt không được biểu diễn trên hình 2.19. Trong đó:

- BA là máy biến áp 3 pha dùng để cung cấp cho sơ đồ chỉnh lưu. Tổ nối dây của máy biến áp có thể là Y/Y₀, Δ/Y₀, Y/Z₀ hoặc Δ/Z₀,



Hình 2.19: Sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha

- Các thyristor T₁, T₂, T₃ dùng để biến điện áp xoay chiều 3 pha bên thứ cấp máy biến áp BA là u_a, u_b, u_c thành điện áp một chiều trên tải u_d và điều chỉnh thành phần một chiều của u_d.

- R_d, L_d, E_d là các phần tử phụ tải của bộ chỉnh lưu.
- i_A, i_B, i_C dòng các pha cuộn dây sơ cấp của BA.
- i_a, i_b, i_c dòng các pha cuộn dây thứ cấp của BA
- i_{T1}, i_{T2}, i_{T3} dòng các van chỉnh lưu.
- i_d dòng điện chỉnh lưu tức thời.

b. Nguyên lý làm việc

Xét sự làm việc của sơ đồ với trường hợp là khi giả thiết L_d = ∞. Giả thiết: sơ đồ làm việc với một góc điều khiển bằng α, sơ đồ đã làm việc xác lập trước thời điểm bắt đầu xét (ωt = 0), thời điểm bắt đầu xét trùng với thời điểm đầu nửa chu kỳ dương của điện áp thứ cấp pha A (u_a). Với các giả thiết trên thì dạng điện áp thứ cấp máy biến áp được biểu diễn như trên hình 2.20, dòng tải i_d là liên tục và bằng phẳng ngay từ thời điểm bắt đầu xét. Do giai đoạn từ ωt = 0 đến trước thời điểm ωt = ν₁ = α thì van T₁ vẫn khóa, dựa vào đặc điểm làm việc của bộ chỉnh lưu, tạm giả thiết là giai đoạn này van T₃ làm việc.

Khi T₃ đang dẫn dòng, bỏ qua sụt áp trên nó thì điện áp trên T₁ sẽ là u_{T1} = u_{ac}, và lân cận trước thời điểm ωt = ν₁ thì u_{ac} > 0, tức là van T₁ có điện áp thuận, vì vậy, tại thời điểm ωt = ν₁ = α, van T₁ được cấp tín hiệu điều khiển thì T₁ sẽ mở và u_{T1} giảm về bằng không. Do u_{T1} = 0, từ sơ đồ xác định được: u_d = u_a, điện áp trên T₃ là u_{T3} = u_c - u_a = u_{ca}, u_{T3} = u_{ba}. Tại ωt = ν₁ = α thì u_{ca} < 0, tức là T₃ bị đặt điện áp ngược nên khoá lại, van T₂ vẫn đang khóa, do vậy trong khoảng tiếp sau ν₁ trong sơ đồ chỉ có van T₁ dẫn dòng.

Đến ωt = π, u_a bằng không và bắt đầu chuyển sang âm, nó bắt đầu tác động ngược với chiều dòng qua T₁. Do các van T₂ và T₃ vẫn khóa nên T₁ vẫn tiếp tục dẫn dòng dưới tác dụng của s.đ.đ. tự cảm sinh ra trong L_d.

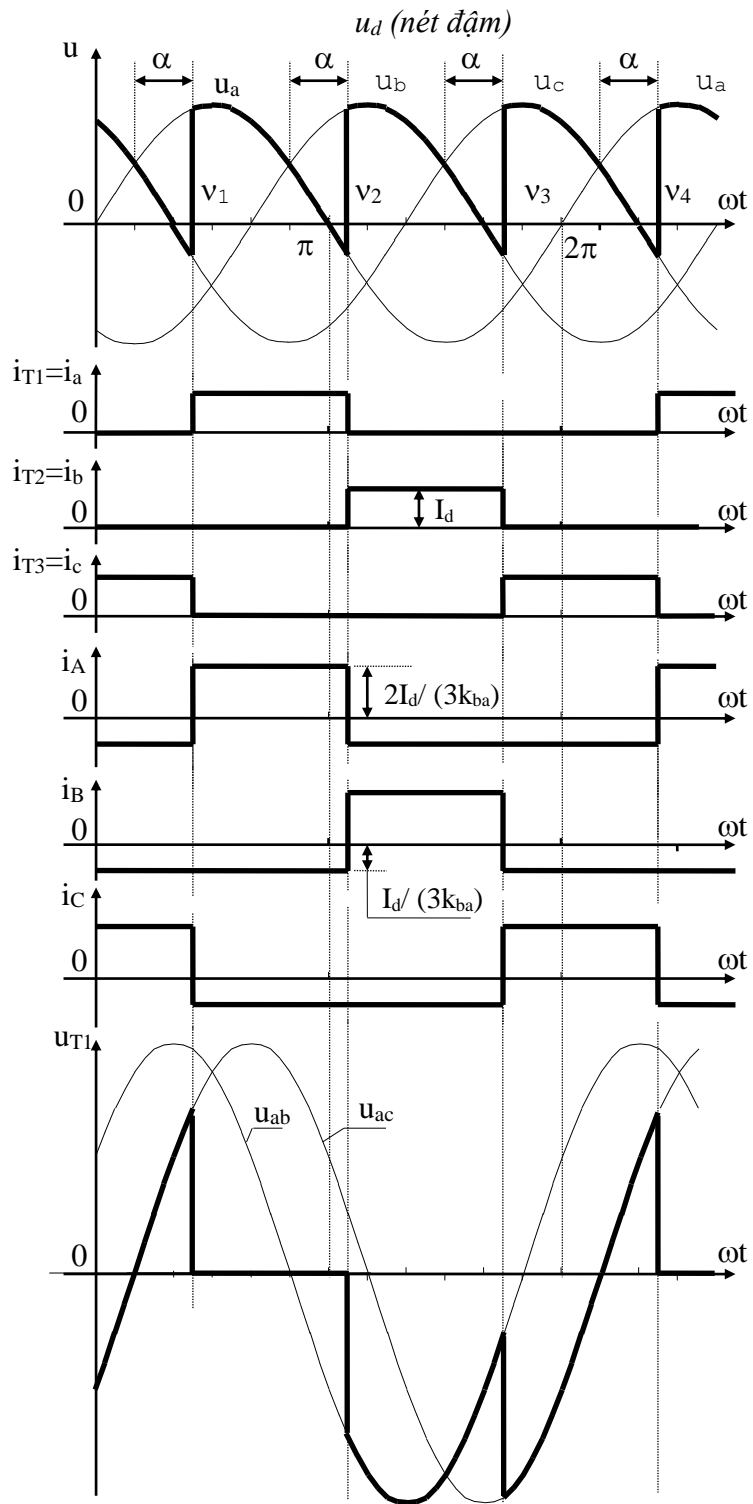
Tại $\omega t = v_2$ (v_2 là thời điểm chậm sau thời điểm mở tự nhiên đối với van T_2 một góc độ điện bằng α : $v_2 = \frac{5\pi}{6} + \alpha$), van T_2 nhận được tín hiệu điều khiển, do đang có điện áp thuận ($u_{T3} = u_{ba}$, tại $\omega t = v_2$ thì $u_{ba} > 0$) nên T_2 mở. Khi T_2 mở, sụt điện áp trên nó giảm về bằng không, khi đó $u_{T1} = u_{ab}$ và $u_{T3} = u_{cb}$. Tại $\omega t = v_2$, điện áp $u_{ab} < 0$, tức là van T_1 bị đặt điện áp ngược, dẫn đến T_1 khóa lại, như vậy từ thời điểm $\omega t = v_2$ trong sơ đồ chỉ có van T_2 làm việc (T_3 vẫn đang khóa).

Tương tự như vậy, đến $\omega t = v_3$, van T_3 được cấp tín hiệu điều khiển và có điện áp thuận (vì lúc này $u_{T3} = u_{cb} > 0$) nên T_3 mở. Van T_3 mở, sụt điện áp trên nó giảm về bằng không thì T_2 sẽ bị đặt điện áp ngược (lúc này $u_{T2} = u_{bc} < 0$) và khóa lại, trong sơ đồ lúc này chỉ có van T_3 làm việc. Đến $\omega t = v_4 = v_1 + 2\pi$, T_1 lại được cấp xung điều khiển, T_1 lại mở và T_3 khóa lại, sơ đồ lặp lại trạng thái làm việc giống như từ $\omega t = v_1$. Tóm tắt sự làm việc của sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha khi tải có điện cảm vô cùng lớn trong hơn một chu kỳ như sau:

⊕ Các khoảng: $\omega t = 0 \div \omega t = v_1$ và $\omega t = v_3 \div \omega t = v_4$, van T_3 dẫn dòng: $u_d = u_c$

$$i_{T1} = 0; \quad i_{T2} = 0; \quad i_{T3} = i_d = I_d; \quad u_{T1} = u_{ac}; \quad u_{T2} = u_{bc}; \quad u_{T3} = 0.$$

⊕ Khoảng: $\omega t = v_1 \div \omega t = v_2$ và từ $\omega t = v_4 \div \dots$, T_1 dẫn dòng: $u_d = u_a$



Hình 2.20: Đồ thị điện áp, dòng điện của sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha khi tải có $L_d = \infty$

$$i_{T1} = i_d = I_d; \quad i_{T2} = 0; \quad i_{T3} = 0; \quad u_{T1} = 0; \quad u_{T2} = u_{ba}; \quad u_{T3} = u_{ca}.$$

⊕ Khoảng: $\omega t = v_2 \div \omega t = v_3$, van T₂ dẫn dòng: $u_d = u_b$

$$i_{T1} = 0; \quad i_{T2} = i_d = I_d; \quad i_{T3} = 0; \quad u_{T1} = u_{ab}; \quad u_{T2} = 0; \quad u_{T3} = u_{cb}.$$

⊕ Dòng điện các cuộn dây thứ cấp BA bằng dòng các van:

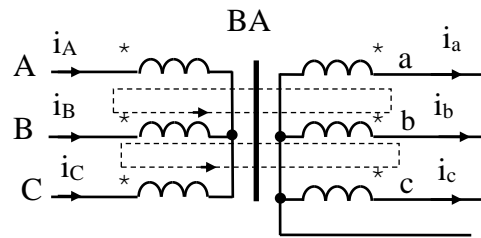
$$i_a = i_{T1}; \quad i_b = i_{T2}; \quad i_c = i_{T3}.$$

⊕ Dòng điện cuộn dây sơ cấp BA: Tùy thuộc vào tổ nối dây máy biến áp và sẽ xét ở phần sau.

c. Xác định dòng điện sơ cấp máy biến áp cung cấp

⊕ Khi máy biến áp nối Y/Y₀:

Sơ đồ nối của máy biến áp trong trường hợp này như hình 2.21. Từ sơ đồ, có thể viết được các phương trình Kiéc hốp 1 cho mạch điện đối với điểm trung tính cuộn dây sơ cấp và các phương trình Kiéc hốp 2 cho 2 vòng mạch từ như trên hình 2.21 (chú ý rằng: $i_a = i_{T1}$; $i_b = i_{T2}$; $i_c = i_{T3}$). Giả thiết : số vòng dây một cuộn sơ cấp là W_1 , còn số vòng dây một cuộn thứ cấp là W_2 .



Hình 2.21

- Khi van T₁ dẫn dòng: ($i_a = i_d$; $i_b = i_c = 0$): Các phương trình ở khoảng này là:

$$i_A + i_B + i_C = 0 \quad (*)$$

$$W_1 i_A - W_2 i_a - W_1 i_B = 0 \quad (**)$$

$$W_1 i_B - W_1 i_C = 0 \quad (***)$$

Giải kết hợp 3 phương trình (*), (**), (***), rút ra:

$$i_A = \frac{2}{3k_{ba}} i_a; \quad i_B = -\frac{1}{3k_{ba}} i_a; \quad i_C = -\frac{1}{3k_{ba}} i_a$$

- Khi van T₂ dẫn dòng: ($i_a = 0$; $i_b = i_d$; $i_c = 0$): Với cách thực hiện tương tự, có thể tìm được biểu thức dòng các cuộn sơ cấp khi T₂ làm việc như sau:

$$i_A = -\frac{1}{3k_{ba}} i_b; \quad i_B = \frac{2}{3k_{ba}} i_b; \quad i_C = -\frac{1}{3k_{ba}} i_b$$

- Khi van T₃ dẫn dòng: ($i_a = 0$; $i_b = 0$; $i_c = i_d$):

$$i_A = -\frac{1}{3k_{ba}} i_c; \quad i_B = -\frac{1}{3k_{ba}} i_c; \quad i_C = \frac{2}{3k_{ba}} i_c$$

Với: $k_{ba} = W_1/W_2$ là tỉ số máy biến áp.

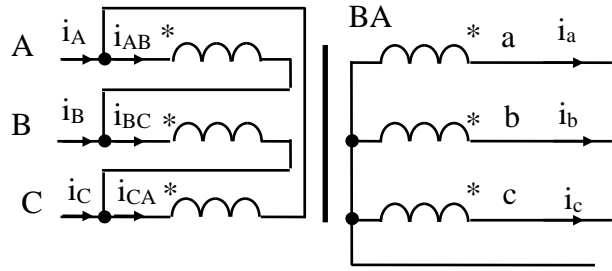
Tính toán sức từ động (s.t.đ.) tổng hợp trong lõi thép máy biến áp (F_{0A} , F_{0B} , F_{0C}): Trong cả 3 khoảng tương ứng với 3 van làm việc s.t.đ. tổng hợp trong lõi thép các pha máy biến áp đều có biểu thức chung:

$$F_{0A} = F_{0B} = F_{0C} = \frac{1}{3} W_2 i_d$$

Các s.t.đ. này hướng cùng một chiều nên không khép vòng trong mạch từ của máy biến áp mà khép vòng qua môi trường xung quanh máy biến áp. Nếu dòng tải không được san phẳng ($L_d \neq \infty$) thì sẽ gây nên các tổn thất phụ trong phần vỏ kim loại bao quanh máy biến áp. Mặt khác các s.t.đ. một chiều này sẽ gây nên hiện tượng bão hoà từ, ảnh hưởng đến sự làm việc của máy biến áp. Do vậy, để tránh bão hoà thì lõi thép của máy biến áp phải có kích thước lớn hơn so với tính toán.

⊕ Khi máy biến áp nối Δ/Y_0 :

Sơ đồ nối dây máy biến áp trong trường hợp này như hình 2.22. Do cuộn dây máy biến áp nối hình tam giác (Δ) nên dòng điện trong từng pha cuộn sơ cấp độc lập nhau. Trong trường hợp này, dựa vào nguyên lý hoạt động của máy biến áp xác định được:



Hình 2.22: Sơ đồ đấu dây MBA dạng Δ/Y_0

$$i_{AB} = \frac{1}{k_{ba}} (i_a - \frac{I_d}{3}); \quad i_{BC} = \frac{1}{k_{ba}} (i_b - \frac{I_d}{3}); \quad i_{CA} = \frac{1}{k_{ba}} (i_c - \frac{I_d}{3}).$$

Trong đó i_a, i_b, i_c là dòng điện trong các cuộn dây thứ cấp máy biến áp; i_{AB}, i_{BC}, i_{CA} là dòng điện trong các cuộn dây sơ cấp máy biến áp; $I_d/3$ là thành phần một chiều của dòng điện trong mỗi cuộn thứ cấp. Các dòng điện dây i_a, i_b, i_c (dòng điện lưới) được xác định như sau:

$$i_A = i_{AB} - i_{CA}; \quad i_B = i_{BC} - i_{AB}; \quad i_C = i_{CA} - i_{AB}.$$

Sức từ động tổng hợp trong lõi thép máy biến áp:

$$F_{0A} = F_{0B} = F_{0C} = \frac{1}{3} W_2 I_d$$

Như vậy trong lõi thép máy biến áp ở trường hợp này cũng xuất hiện thành phần s.t.đ. từ hoá cưỡng bức (s.t.đ. một chiều), điều này cũng gây khó khăn cho sự làm việc của mạch từ, dễ gây nên bão hoà từ. Để tránh sự bão hoà từ khi bộ chỉnh lưu làm việc ta phải tăng kích thước lõi thép so với tính toán. Tuy nhiên, trường hợp cuộn dây sơ cấp BA nối hình tam giác s.t.đ. từ hoá cưỡng bức không đập mạch theo dòng tải nên không gây nên các tổn thất phụ (do dòng xoáy) khi dòng tải không được san phẳng như với trường hợp cuộn dây sơ cấp nối hình sao.

Để tránh hiện tượng bão hoà mà không phải tăng tiết diện mạch từ quá nhiều có thể sử dụng cách đấu cuộn dây thứ cấp dạng đích đặc (Z).

Đồ thị dòng điện, điện áp minh hoạ sự làm việc của sơ đồ như hình 2.20, trong đó đồ thị dòng sơ cấp máy biến áp xét cho trường hợp máy biến áp nối Y/Y_0 .

d. Các biểu thức tính toán cơ bản

⊕ Điện áp chỉnh lưu trung bình:

$$U_d = U_{do} \cos \alpha, \text{ với } U_{do} = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U_2 \approx 1,17U_2 \quad (2.75)$$

⊕ Dòng trung bình qua các thyristor:

$$I_{Ttb} = \frac{I_d}{3} \quad (2.76a)$$

⊕ Dòng hiệu dụng qua các thyristor:

$$I_T = \frac{I_d}{\sqrt{3}} \quad (2.76b)$$

⊕ Điện áp ngược lớn nhất trên thyristor:

$$U_{Tngmax} = \sqrt{6}U_2 \quad (2.77a)$$

⊕ Điện áp thuận lớn nhất trên thyristor:

$$U_{Tthmax} = \sqrt{6}U_2 \quad (2.77b)$$

⊕ Dòng hiệu dụng cuộn dây thứ cấp (I_2) và cuộn dây sơ cấp (I_1) máy biến áp khi tổ nối dây Y/Y₀:

$$I_2 = \frac{I_d}{\sqrt{3}}; \quad I_1 = \frac{I_d}{k_{ba} \sqrt{3}} \quad (2.78)$$

⊕ Công suất tính toán máy biến áp khi tổ nối dây là Y/Y₀ và Δ/Y₀:

$$S_1 = 3U_1 I_1 = \frac{2\pi \cdot U_d \cdot I_d}{3 \cdot \sqrt{3}};$$
$$S_2 = 3U_2 I_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot U_d \cdot I_d}{3 \cdot \sqrt{2}}$$
$$S_{tBA} = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{\pi}{3 \cdot \sqrt{6}} (\sqrt{3} + \sqrt{2}) \cdot U_d \cdot I_d \approx 1,355 \cdot U_d \cdot I_d \quad (2.79)$$

2.8.3.2. Sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha có đi ốt không

a. Sơ đồ nguyên lý

Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu hình tia 3 pha có đi ốt không D_0 được biểu diễn trên hình 2.23, ngoài các phần tử tương tự như sơ đồ hình 2.19 thì trong sơ đồ này có thêm đi ốt D_0 .

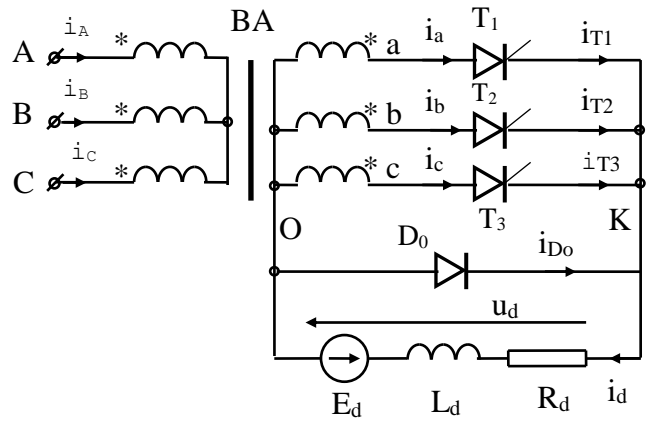
b. Nguyên lý làm việc

Cũng sử dụng các giả thiết như khi xét nguyên lý làm việc sơ đồ không có D_0 (hình 2.19). Nguyên lý làm việc được phân ra hai vùng khác nhau ứng với sự thay đổi của góc điều khiển, đó là khi góc điều khiển $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ và khi góc điều khiển $30^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$.

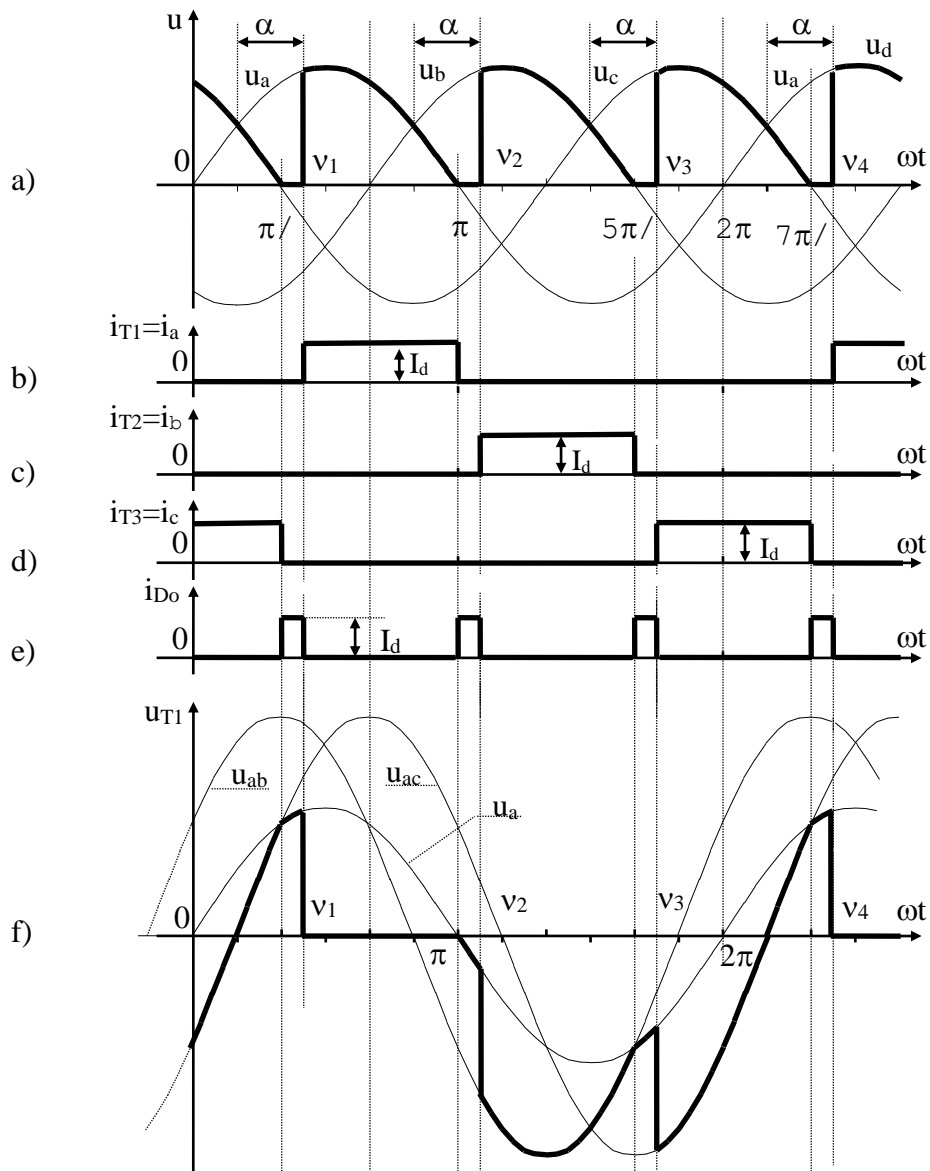
⊕ Khi $0^{\circ} \leq \alpha \leq 30^{\circ}$, từ nguyên lý làm việc của sơ đồ không có D_0 có thể suy ra van D_0 không làm việc nên hoạt động của sơ đồ hoàn toàn giống như khi không có D_0 , lúc đó các biểu thức tính toán giống như đối với sơ đồ không có D_0 : $U_d = U_{d0} \cdot \cos \alpha$

⊕ Khi $30^{\circ} \leq \alpha \leq 150^{\circ}$ lúc này D_0 sẽ làm việc, sự làm việc của sơ đồ được tóm tắt như sau:

- Từ $\omega t = 0 \div \omega t = \pi/3$ van T_3 dẫn dòng:



Hình 2.23: Sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha có điốt không (D_0)



Hình 2.24: Đồ thị điện áp, dòng điện minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha có D_0 khi $\alpha > 30^{\circ}$

$$u_d = u_c; i_{T1} = 0; i_{T2} = 0; i_{T3} = i_d = I_d; i_{D0} = 0; u_{T1} = u_{ac}; u_{T2} = u_{bc}; u_{T3} = 0;$$

- Các khoảng $\omega t = \pi/3 \div v_1$; $\omega t = \pi \div v_2$; $\omega t = 5\pi/3 \div v_3$; $\omega t = 7\pi/3 \div v_4$ van D_0 dẫn dòng:

$$u_d = 0; i_{T1} = 0; i_{T2} = 0; i_{T3} = 0; i_{D0} = i_d = I_d; u_{T1} = u_a; u_{T2} = u_b; u_{T3} = u_c;$$

- Từ $\omega t = v_1 = \pi/6 + \alpha \div \omega t = \pi$ van T_1 dẫn dòng:

$$u_d = u_a; i_{T1} = i_d = I_d; i_{T2} = 0; i_{T3} = 0; i_{D0} = 0; u_{T1} = 0; u_{T2} = u_{ba}; u_{T3} = u_{ca};$$

- Từ $\omega t = v_2 \div \omega t = 5\pi/3$ van T_2 dẫn dòng:

$$u_d = u_b; i_{T1} = 0; i_{T2} = i_d = I_d; i_{T3} = 0; i_{D0} = 0; u_{T1} = u_{ab}; u_{T2} = 0; u_{T3} = u_{cb};$$

- Từ $\omega t = v_3 \div \omega t = 7\pi/3$ van T_3 dẫn dòng:

$$u_d = u_c; i_{T1} = 0; i_{T2} = 0; i_{T3} = i_d = I_d; i_{D0} = 0; u_{T1} = u_{ac}; u_{T2} = u_{bc}; u_{T3} = 0;$$

- Từ $\omega t = v_4$, T_1 lại mở và sơ đồ lặp lại trạng thái làm việc như từ $\omega t = v_1$.

Đồ thị dòng áp minh họa sự làm việc của sơ đồ ứng với trường hợp này được biểu diễn trên hình 2.24.

c. Các biểu thức tính toán cơ bản

$$U_d = \frac{U_{do}[1 + \cos(\alpha + 30^\circ)]}{\sqrt{3}} \quad (2.80)$$

$$I_{Ttb} = I_d(5\pi/6 - \alpha)/2\pi; I_T = I_d\sqrt{(5\pi/6 - \alpha)/2\pi} \quad (2.81a,b)$$

$$I_{Dotb} = I_d \cdot 3 \cdot (\alpha - \pi/6)/2\pi; I_{Do} = I_d\sqrt{3 \cdot (\alpha - \pi/6)/2\pi} \quad (2.82a,b)$$

$$U_{Tth\max} = \sqrt{2} \cdot U_2; \quad (2.83)$$

$$U_{Tng\max} = \sqrt{6} \cdot U_2; \quad (2.84)$$

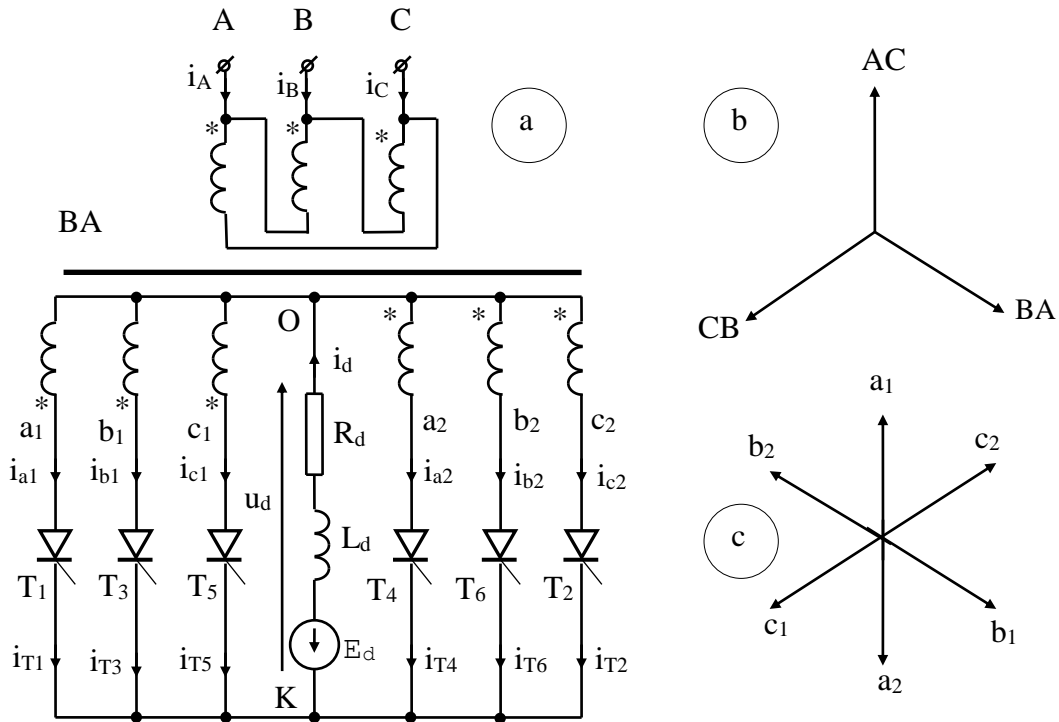
$$U_{Dong\max} = \sqrt{2}U_2 \quad (2.85)$$

2.8.4. SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU HÌNH TIA 6 PHA

2.8.4.1. Sơ đồ chỉnh lưu hình tia 6 pha

Sơ đồ nguyên lý của bộ chỉnh lưu hình tia 6 pha thông thường được biểu diễn trên hình 2.25a. Để tạo ra hệ thống điện áp xoay chiều hình sin 6 pha khi có hệ thống lưới điện 3 pha ta sử dụng máy biến áp. Máy biến 3 pha với mỗi 3 pha thứ cấp có 2 cuộn dây và thực hiện đầu dây như hình vẽ sẽ được hệ thống điện áp xoay chiều 6 pha theo yêu cầu, các pha lần lượt lệch pha nhau một góc 60° điện (xem đồ thị vector hình 2.25b và c). Trong thực tế, sơ đồ chỉnh lưu hình tia 6 pha bình thường hầu như không được sử dụng, mà chủ yếu sử dụng dạng sơ đồ hình tia 6 pha có cuộn kháng cân bằng. Nguyên nhân là khi sơ đồ hình 2.25a làm việc thì trong mạch từ máy biến áp xuất hiện s.t.đ. một chiều tương tự như ở sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha, s.t.đ. này dễ làm cho mạch từ bão hòa, dẫn đến phải tăng tiết diện mạch từ lớn hơn nhiều so với tính toán. Còn khi sử dụng sơ đồ dạng có cuộn kháng

cân bằng thì loại trừ được s.t.đ. một chiều nói trên, dẫn đến không phải tăng kích thước

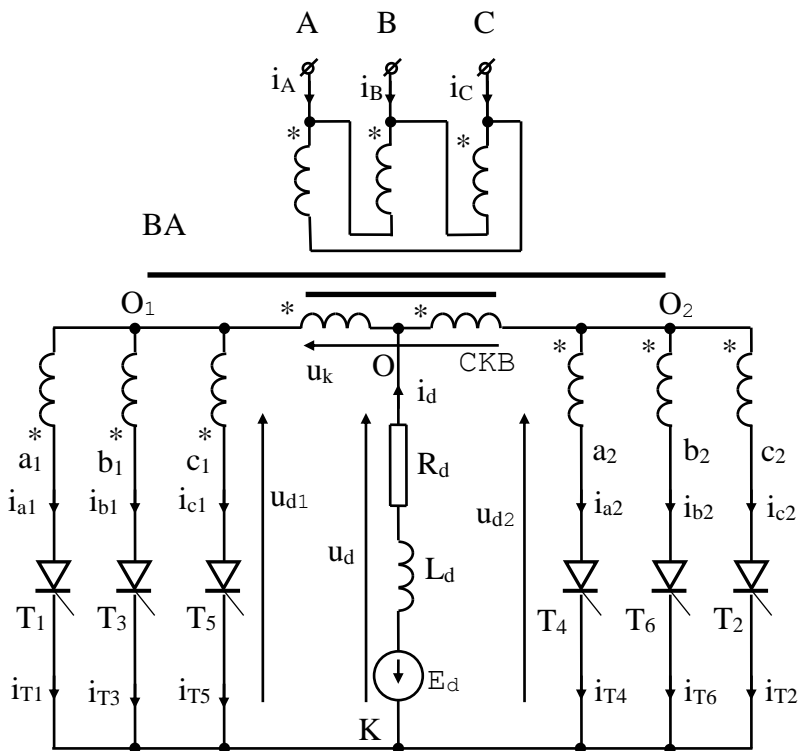


Hình 2.25: Sơ đồ nguyên lý và đồ thị vector điện áp máy biến áp BA

mạch từ máy biến áp. Mặt khác, với cùng một giá trị dòng trung bình qua van như nhau thì độ lớn xung dòng qua van sơ đồ không có cuộn kháng cân bằng gấp đôi so với sơ đồ có cuộn kháng cân bằng.

2.8.4.2. Sơ đồ chỉnh lưu hình tia 6 pha có cuộn kháng cân bằng

Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu hình tia 6 pha có cuộn kháng cân bằng được biểu diễn trên hình 2.26, khác với sơ đồ hình 2.25 ở chỗ trong sơ đồ này có thêm cuộn kháng cân bằng CKB. CKB là một cuộn dây có mạch từ và được chia làm 2 phần bằng nhau, với điểm giữa là O, đầu còn lại của 2 nửa cuộn CKB được nối với vào các điểm O₁ và O₂ là các điểm trung tính của các nhóm cuộn dây thứ cấp máy biến áp. Hai nhóm cuộn dây thứ cấp



Hình 2.26: Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu hình tia 6 pha có cuộn kháng cân bằng

máy máy biến áp mắc thành hai hệ thống điện áp 3 pha nhưng có sự lệch pha nhau (a_1 và a_2 lệch nhau 180° điện) và được dùng để cung cấp cho 2 sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha. Nhờ có tác dụng của cuộn kháng cân bằng mà sơ đồ hoạt động như hai bộ chỉnh lưu hình tia 3 pha độc lập với tải chung, chênh lệch giá trị tức thời điện áp chỉnh lưu đầu ra 2 sơ đồ (u_{d1} và u_{d2}) đặt lên cuộn kháng CKB. Do 2 sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha làm việc độc lập và đồng thời nên độ dài dẫn dòng mỗi van trong sơ đồ này trong mỗi nửa chu kỳ nguồn là $1/3$ chu kỳ nguồn chứ không phải $1/6$ chu kỳ nguồn như sơ đồ không có cuộn kháng cân bằng, và cũng nhờ đó mà trong cùng một thời điểm có van van cùng làm việc và có 2 cuộn dây thứ cấp máy biến áp cùng có dòng, nên tính toán cho thấy trong mạch từ máy biến áp không còn s.t.đ. từ hóa cưỡng bức.

Điện áp tức thời trên cuộn kháng cân bằng:

$$u_k = u_{d1} - u_{d2}$$

Trong đó: u_k , u_{d1} , u_d là điện áp trên cuộn kháng cân bằng, điện áp chỉnh lưu tức thời của sơ đồ hình tia 3 pha thứ nhất gồm T_1, T_3, T_5 và điện áp chỉnh lưu tức thời của sơ đồ hình tia 3 pha thứ hai gồm T_2, T_4, T_6 .

Điện áp chỉnh lưu tức thời trên tải được xác định như sau:

$$u_d = u_{d1} - \frac{u_k}{2} = u_{d2} + \frac{u_k}{2} = \frac{u_{d1} + u_{d2}}{2} \quad (2.86)$$

Điện áp chỉnh lưu trung bình tương tự như của sơ đồ hình tia 3 pha:

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha; \quad U_{d0} = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U_2 \approx 1,17U_2 \quad (2.87)$$

với U_2 là giá trị hiệu dụng điện áp trên một cuộn dây thứ cấp máy biến áp cung cấp.

Điện áp lớn nhất trên các thyristor theo chiều thuận và ngược:

$$U_{T_{thmax}} = U_{T_{ngmax}} = \sqrt{6}U_2 \quad (2.88)$$

Dòng trung bình và hiệu dụng qua các thyristor:

$$I_{T_{tb}} = \frac{I_d}{6}; \quad I_T = \frac{I_d}{\sqrt{6}} \quad (2.89)$$

2.8.5. SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU HÌNH CẦU MỘT PHA

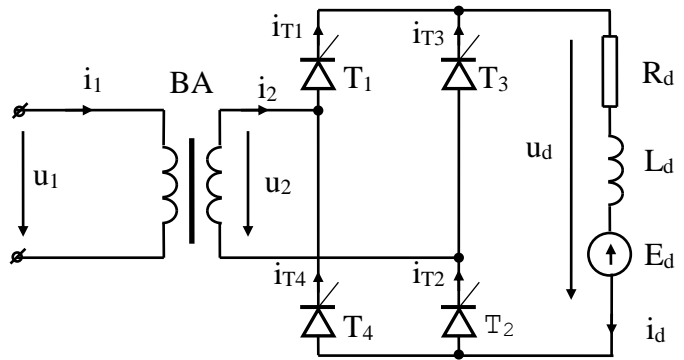
2.8.5.1. Sơ đồ chỉnh lưu cầu 1 pha điều khiển hoàn toàn

a. Sơ đồ nguyên lý

Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu được minh họa trên hình 2.27. Sơ đồ gồm các bộ phận chỉnh:

- BA là máy biến áp cung cấp, sơ đồ cầu 1 pha thì có thể dùng hoặc không dùng máy biến áp.

- Các thyristor $T_1 \div T_4$ dùng để biến đổi điện áp xoay chiều thành một chiều và điều khiển thành phần một chiều điện áp đầu ra, 4 van này được phân làm hai nhóm: nhóm ka tốt chung gồm T_1 và T_3 , nhóm a nốt chung gồm T_2 và T_4 .



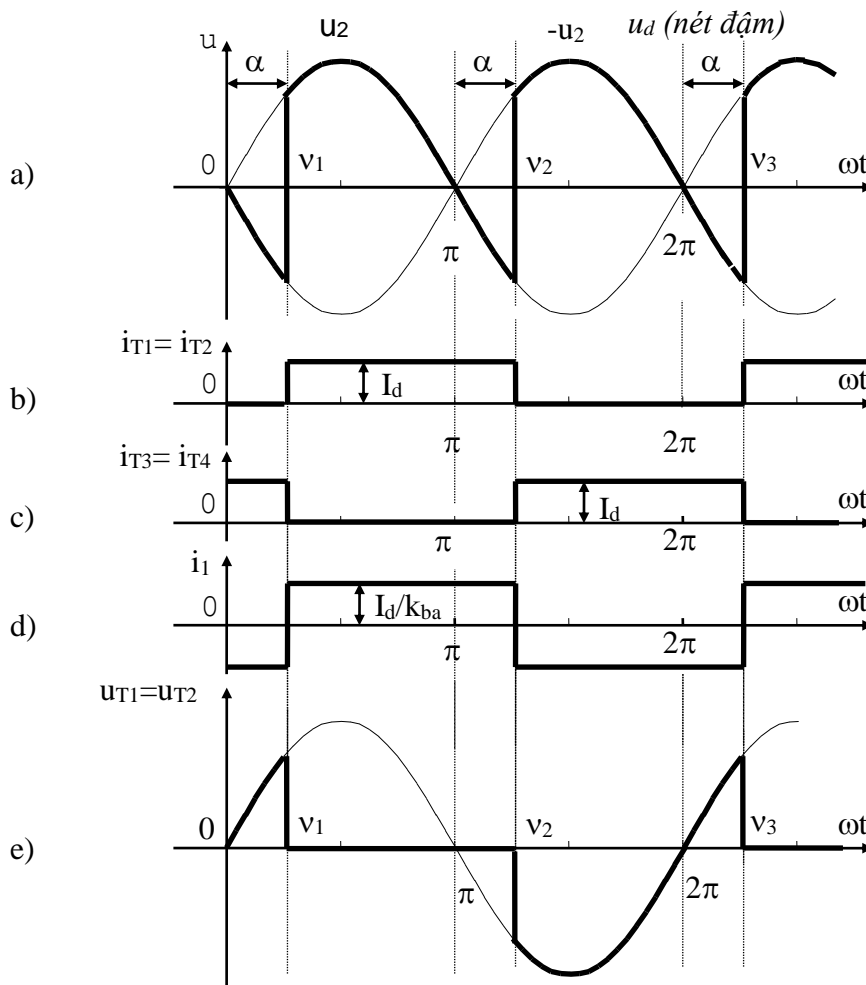
Hình 2.27: Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu hình cầu một pha điều khiển hoàn toàn

- E_d, R_d, L_d là các phần tử phụ tải.

- u_1, u_2 là điện áp trên cuộn sơ cấp (điện áp lưới) và điện áp cuộn thứ cấp
- i_1, i_2 là dòng điện cuộn sơ cấp (dòng điện lưới) và dòng điện cuộn thứ cấp.
- Dòng, áp các phần tử khác tương tự như các sơ đồ khác.

b. Nguyên lý làm việc của sơ đồ

Xét nguyên lý làm việc của sơ đồ với trường hợp giả thiết: phụ tải có điện cảm vô cùng lớn ($L_d = \infty$), sơ đồ đã làm việc xác lập trước thời điểm ta bắt đầu xét ($\omega t = 0$) với một



Hình 2.28: Đồ thị dòng áp một số phần tử của sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha khi giả thiết tải có $L_d = \infty$

góc điều khiển bằng α , thời điểm $\omega t = 0$ là điểm đầu của một nửa chu kỳ dương điện áp thứ cấp máy biến áp u_2 .

Với các giả thiết đã nêu, nguyên lý làm việc của sơ đồ trong hơn một chu kỳ nguồn được mô tả tóm tắt như sau:

- Từ $\omega t = 0 \div \omega t = \nu_1$ và từ $\omega t = \nu_2 \div \omega t = \nu_3$, hai van T_3 và T_4 dẫn dòng:

$$\begin{aligned} u_d &= -u_2; & u_{T1} &= u_{T2} = u_2; & u_{T3} &= u_{T4} = 0; \\ i_{T1} &= i_{T2} = 0; & i_{T3} &= i_{T4} = i_d = I_d. \end{aligned}$$

- Từ $\omega t = \nu_1 \div \omega t = \nu_2$ và từ $\omega t = \nu_3 \div \dots$, hai van T_1 và T_2 dẫn dòng:

$$\begin{aligned} u_d &= u_2; & u_{T1} &= u_{T2} = 0; & u_{T3} &= u_{T4} = -u_2; \\ i_{T1} &= i_{T2} = i_d = I_d; & i_{T3} &= i_{T4} = 0. \end{aligned}$$

- Dòng điện các cuộn dây thứ cấp và sơ cấp máy biến áp :

$$i_2 = i_{T1} - i_{T3} = i_{T2} - i_{T4}; \quad i_1 = i_2 / k_{ba}, \text{ với } k_{ba} \text{ là tỉ số máy biến áp.}$$

Đồ thị dòng điện và điện áp minh họa sự làm việc của sơ đồ được biểu diễn trên hình 2.28.

c. Các biểu thức tính toán cơ bản

$$U_d = U_{do} \cos \alpha; \quad U_{do} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0,9U_2 \quad (2.90)$$

$$I_{Ttb} = I_d / 2; \quad I_T = I_d / \sqrt{2}; \quad (2.91)$$

$$U_{Tth \max} = U_{Tng \max} = \sqrt{2} \cdot U_2; \quad (2.92)$$

$$I_2 = I_d; \quad I_1 = I_d / k_{ba} \quad (2.93)$$

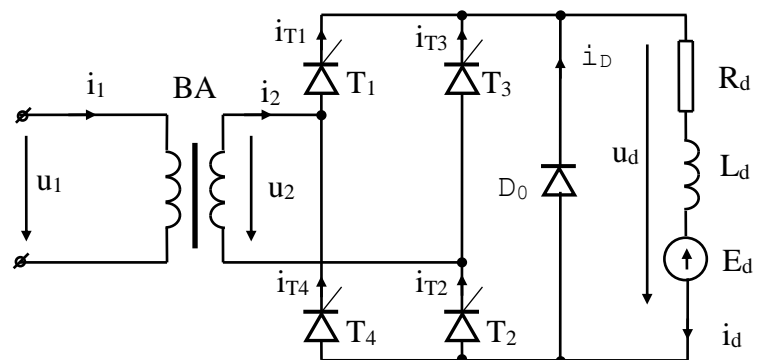
2.8.5.2. Sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha có điốt không (D_0)

a. Sơ đồ nguyên lý

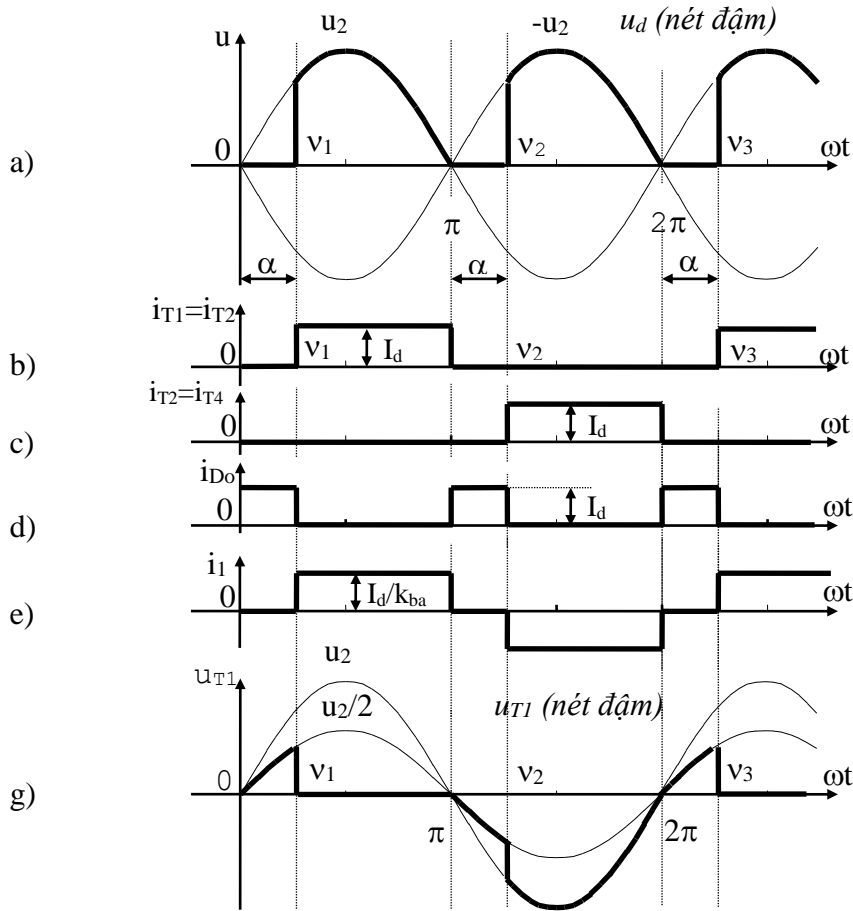
Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu được biểu diễn trên hình 2.29, sơ đồ này trong thực tế ít được sử dụng.

b. Nguyên lý làm việc

Nguyên lý hoạt động của sơ đồ tương tự như các sơ đồ có D_0 nói chung, dạng điện áp chỉnh lưu tức thời, dạng dòng qua thyristor và điốt không tương tự như đối với sơ đồ chỉnh lưu hình tia 2 pha có D_0 , chỉ khác về trị số điện áp lớn nhất trên các van. Nguyên



Hình 2.29: Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu hình cầu một pha có điốt không (D_0)



Hình 2.30: Đồ thị điện áp, dòng điện của sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha có D_0 với tải có $L_d = \infty$

Lý làm việc của sơ đồ khi giả thiết phụ tải có $L_d = \infty$ có thể tóm tắt như sau:

⊕ Các khoảng: $\omega t = 0 \div v_1$, $\omega t = \pi \div v_2$, $\omega t = 2\pi \div v_3$, van D_0 dẫn dòng:

$$\begin{aligned} u_d &= 0; \\ u_{T1} = u_{T2} &= u_2 / 2; & u_{T3} = u_{T4} &= -u_2 / 2; \\ i_{T1} = i_{T2} &= 0; & i_{T3} = i_{T4} &= 0; & i_{D0} = i_d &= I_d. \end{aligned}$$

⊕ Khoảng: $\omega t = v_1 \div \pi$, hai van T_1 , T_2 dẫn dòng:

$$\begin{aligned} u_d &= u_2; \\ u_{T1} = u_{T2} &= 0; & u_{T3} = u_{T4} &= -u_2; \\ i_{T1} = i_{T2} &= i_d = I_d; & i_{T3} = i_{T4} &= 0; & i_{D0} &= 0. \end{aligned}$$

⊕ Khoảng: $\omega t = v_2 \div 2\pi$, hai van T_3 , T_4 dẫn dòng:

$$\begin{aligned} u_d &= -u_2; \\ u_{T1} = u_{T2} &= u_2; & u_{T3} = u_{T4} &= 0; \\ i_{T1} = i_{T2} &= 0; & i_{T3} = i_{T4} &= i_d = I_d; & i_{D0} &= 0. \end{aligned}$$

c. Các biểu thức tính toán cơ bản

$$U_d = U_{do} \frac{1 + \cos \alpha}{2}; \quad U_{do} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0,9U_2 \quad (2.94)$$

$$I_{Ttb} = \frac{\pi - \alpha}{2\pi} I_d; \quad I_T = I_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{2\pi}}; \quad (2.95)$$

$$U_{Tth\max} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot U_2; \quad U_{Tng\max} = \sqrt{2} \cdot U_2; \quad (2.96)$$

$$I_{Dotb} = \frac{\alpha}{\pi} I_d; \quad I_{D0} = I_d \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}}; \quad U_{Dong\max} = \sqrt{2} \cdot U_2; \quad (2.97)$$

$$I_2 = I_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}}; \quad I_1 = \frac{I_d}{k_{ba}} \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}} \quad (2.98)$$

2.8.5.3. Các sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha dùng 2 đi ốt và 2 thyristor (sơ đồ 2D-2T)

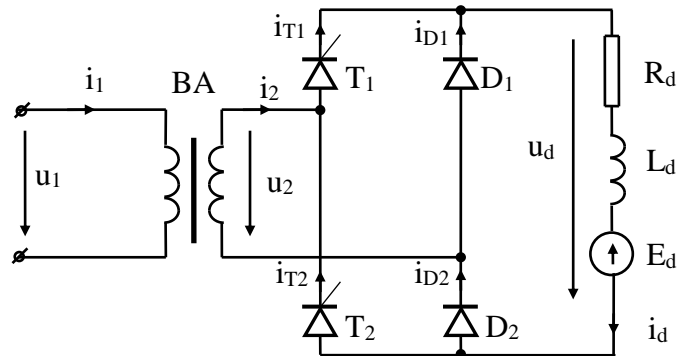
(sơ đồ bán điều khiển)

Nghiên cứu các sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha với các loại van khác nhau và các cách bố trí van khác nhau cho thấy có một số sơ đồ cho dạng điện áp ra như sơ đồ có đi ốt không nhưng có kết cấu gọn hơn, đó là các sơ đồ dùng 2 van có điều khiển (thyristor) và 2 van không điều khiển (đi ốt). Tùy thuộc cách mắc các van mà có 2 kiểu sơ đồ khác nhau.

a. Kiểu sơ đồ thứ nhất

⊕ Sơ đồ nguyên lý

Trong sơ đồ hình 2.31 hai van có điều khiển được mắc ở hai nhóm van khác nhau và a nốt của van ở nhóm ka tốt chung nối với ka tốt của van ở nhóm a nốt chung và nối vào một cực của nguồn xoay chiều, hai van không điều khiển cũng mắc tương tự.



Hình 2.31: Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu hình cầu một pha 2D-2T kiểu thứ nhất

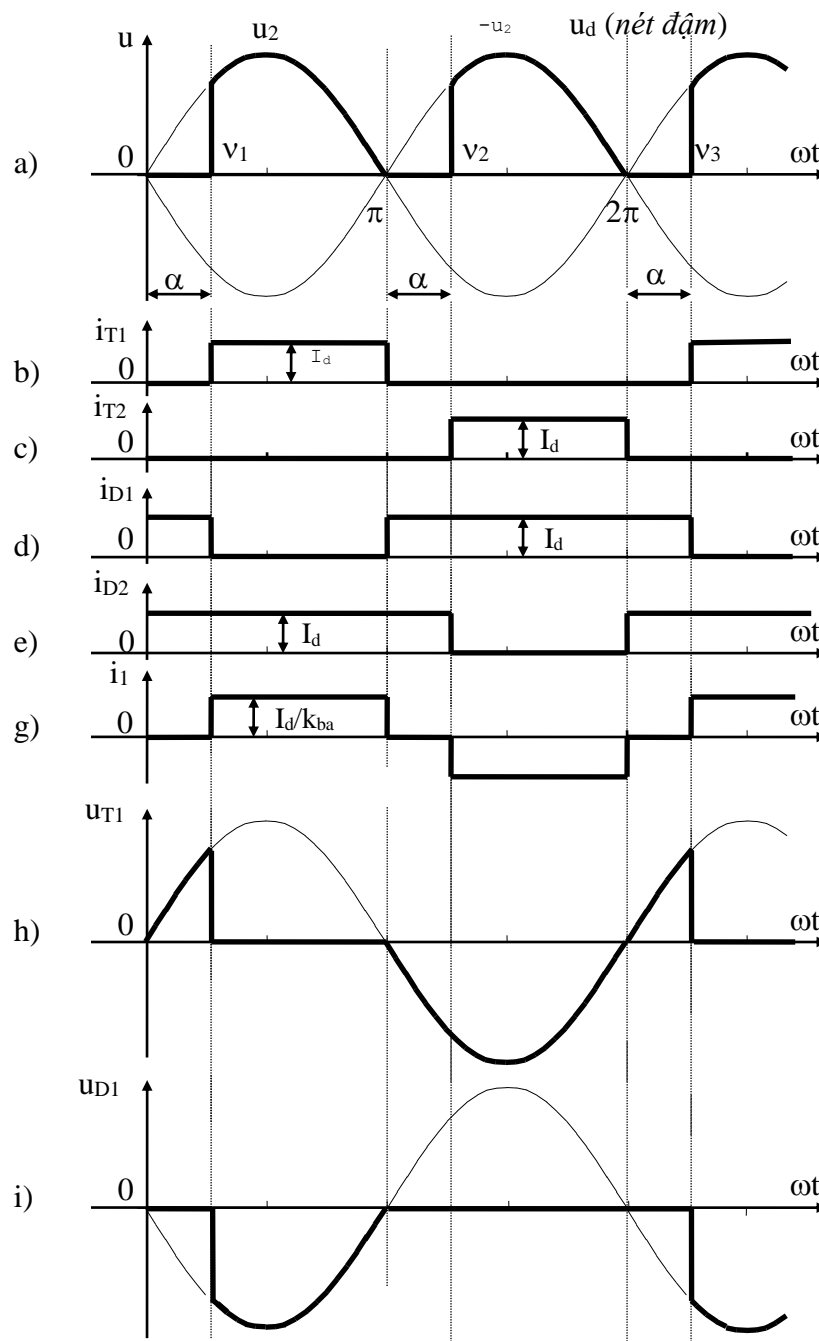
⊕ Nguyên lý làm việc

Cũng như các sơ đồ có đi ốt không, sơ đồ chỉnh lưu dùng 2 đi ốt và 2 thyristor chỉ làm việc có hiệu quả khi có điện cảm lớn trong mạch tải. Do vậy ở đây ta xét một trường hợp khi phụ tải có $L_d = \infty$. Tóm tắt nguyên lý làm việc của sơ đồ như sau:

- Các khoảng: $\omega t = 0 \div v_1, \omega t = \pi \div v_2, \omega t = 2\pi \div v_3$, hai van D₁ và D₂ dẫn dòng:

$$\begin{aligned} u_d &= 0; \\ u_{T1} &= u_2; & u_{T2} &= -u_2; & u_{D1} &= 0; & u_{D2} &= 0; \\ i_{T1} &= 0; & i_{T2} &= 0; & i_{D1} &= i_d = I_d; & i_{D2} &= i_d = I_d. \end{aligned}$$

- Khoảng: $\omega t = v_1 \div \pi$, hai van T₁, D₂ dẫn dòng:



Hình 2.32: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 2.31

$$\begin{aligned}
 &u_d = u_2; \\
 &u_{T1} = 0; \quad u_{T2} = -u_2; \quad u_{D1} = -u_2; \quad u_{D2} = 0; \\
 &i_{T1} = i_d = I_d; \quad i_{T2} = 0; \quad i_{D1} = 0; \quad i_{D2} = i_d = I_d.
 \end{aligned}$$

- Khoảng: $\omega t = v_2 \div 2\pi$, hai van T_2, D_1 dẫn dòng:

$$\begin{aligned}
 &u_d = -u_2; \\
 &u_{T1} = u_2; \quad u_{T2} = 0; \quad u_{D1} = 0; \quad u_{D2} = u_2; \\
 &i_{T1} = 0; \quad i_{T2} = i_d = I_d; \quad i_{D1} = i_d = I_d; \quad i_{D2} = 0.
 \end{aligned}$$

Đồ thị điện áp chỉnh lưu, dòng điện các van, điện áp trên 2 van T_1 và D_1 được biểu diễn trên hình 2.32.

⊕ Các biểu thức tính toán cơ bản

$$U_d = U_{do} \frac{1 + \cos \alpha}{2}; \quad U_{do} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0,9U_2 \quad (2.99)$$

$$I_{Ttb} = \frac{\pi - \alpha}{2\pi} I_d; \quad I_T = I_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{2\pi}}; \quad (2.100)$$

$$U_{Tth\max} = \sqrt{2} \cdot U_2; \quad U_{Tng\max} = \sqrt{2} \cdot U_2; \quad (2.101)$$

$$I_{Dtb} = \frac{\pi + \alpha}{2\pi} I_d; \quad I_D = I_d \sqrt{\frac{\pi + \alpha}{2\pi}}; \quad U_{Dng\max} = \sqrt{2} \cdot U_2; \quad (2.102)$$

$$I_2 = I_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}}; \quad I_1 = \frac{I_d}{k_{ba}} \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}} \quad (2.103)$$

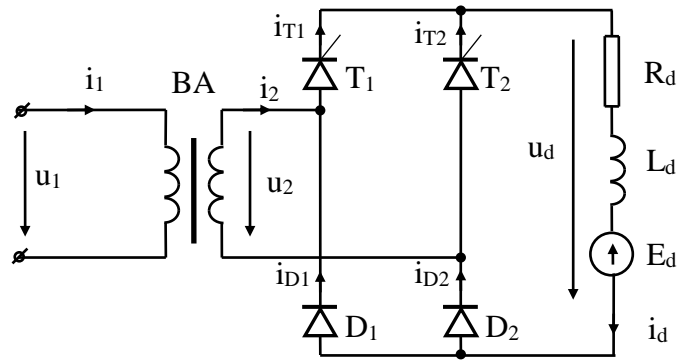
b. Kiểu sơ đồ thứ hai

⊕ Sơ đồ nguyên lý

Trong sơ đồ này 2 van có điều khiển được bố trí ở cùng một nhóm van, nhóm còn lại là 2 van không điều khiển (hình 2.33)

⊕ Nguyên lý làm việc

Cũng xét nguyên lý làm việc của sơ đồ với giả thiết $L_d = \infty$. Tóm tắt hoạt động của sơ đồ trong hơn một chu kỳ nguồn như sau:



Hình 2.33: Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu hình cầu một pha 2D-2T kiểu thứ hai

- Các khoảng: $\omega t = 0 \div v_1$, $\omega t = 2\pi \div v_3$, hai van T_2 và D_2 dẫn dòng:

$$\begin{aligned} u_d &= 0; \\ u_{T1} &= u_2; & u_{T2} &= 0; & u_{D1} &= -u_2; & u_{D2} &= 0; \\ i_{T1} &= 0; & i_{T2} &= i_d = I_d; & i_{D1} &= 0; & i_{D2} &= i_d = I_d. \end{aligned}$$

- Khoảng: $\omega t = v_1 \div \pi$, hai van T_1 , D_2 dẫn dòng:

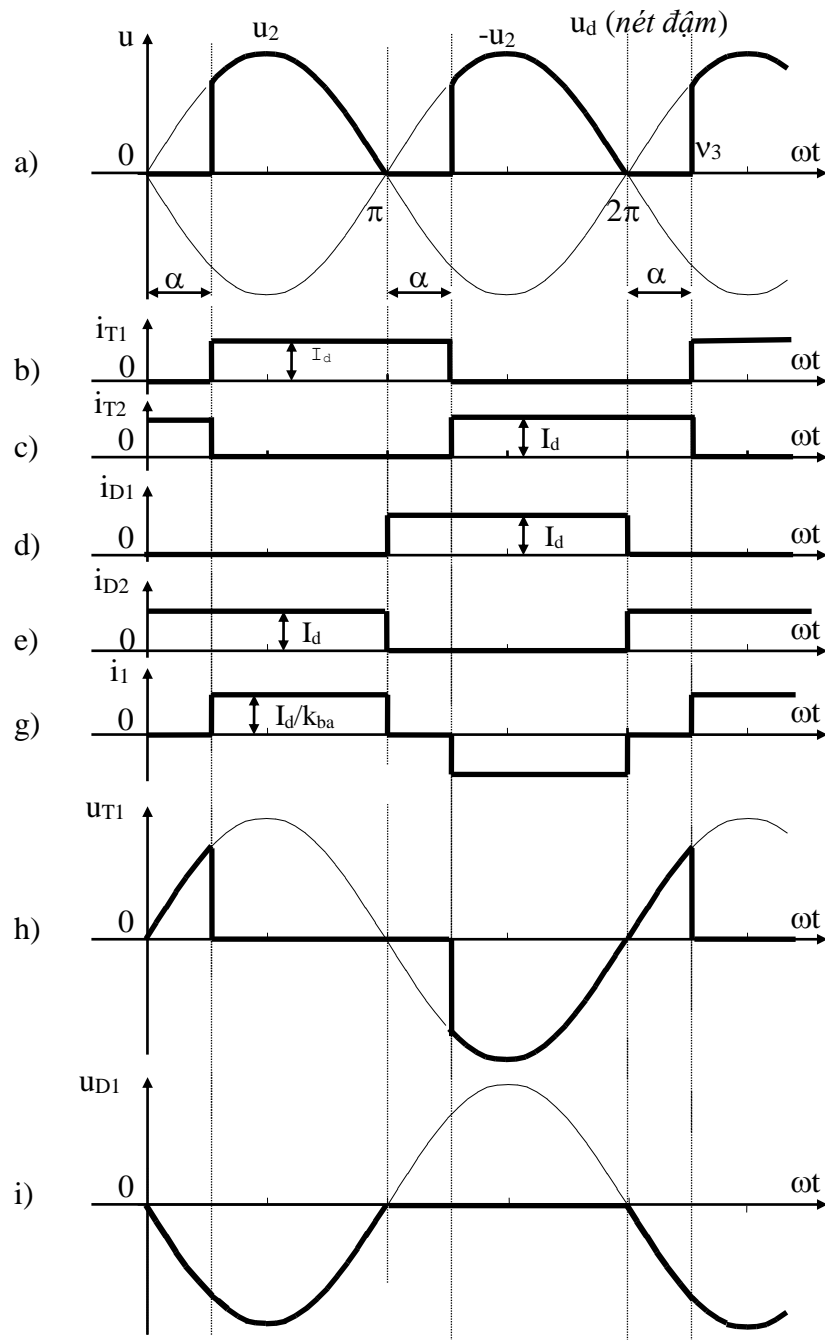
$$\begin{aligned} u_d &= u_2; \\ u_{T1} &= 0; & u_{T2} &= -u_2; & u_{D1} &= -u_2; & u_{D2} &= 0; \\ i_{T1} &= i_d = I_d; & i_{T2} &= 0; & i_{D1} &= 0; & i_{D2} &= i_d = I_d. \end{aligned}$$

- Khoảng: $\omega t = \pi \div v_2$, hai van T_1 , D_1 dẫn dòng:

$$\begin{aligned} u_d &= 0; \\ u_{T1} &= 0; & u_{T2} &= -u_2; & u_{D1} &= 0; & u_{D2} &= u_2; \\ i_{T1} &= i_d = I_d; & i_{T2} &= 0; & i_{D1} &= i_d = I_d; & i_{D2} &= 0. \end{aligned}$$

- Khoảng: $\omega t = v_2 \div 2\pi$, hai van T_2 , D_1 dẫn dòng:

$$\begin{aligned}
 u_d &= -u_2; \\
 u_{T1} &= u_2; & u_{T2} &= 0; & u_{D1} &= 0; & u_{D2} &= u_2; \\
 i_{T1} &= 0; & i_{T2} &= i_d = I_d; & i_{D1} &= i_d = I_d; & i_{D2} &= 0.
 \end{aligned}$$



Hình 2.34: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 2.33

Đồ thị điện áp chỉnh lưu, dòng điện các van, điện áp trên 2 van T_1 và D_1 được biểu diễn trên hình 2.34.

⊕ Các biểu thức tính toán cơ bản

$$U_d = U_{do} \frac{1 + \cos \alpha}{2}; \quad U_{do} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0,9U_2 \quad (2.104)$$

$$I_{Ttb} = \frac{I_d}{2}; \quad I_T = \frac{I_d}{\sqrt{2}}; \quad (2.105)$$

$$U_{Tth\max} = \sqrt{2} \cdot U_2; \quad U_{Tng\max} = \sqrt{2} \cdot U_2; \quad (2.106)$$

$$I_{Dtb} = \frac{I_d}{2}; \quad I_D = \frac{I_d}{\sqrt{2}}; \quad U_{Dng\max} = \sqrt{2} \cdot U_2; \quad (2.107)$$

$$I_2 = I_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}}; \quad I_1 = \frac{I_d}{k_{ba}} \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}} \quad (2.108)$$

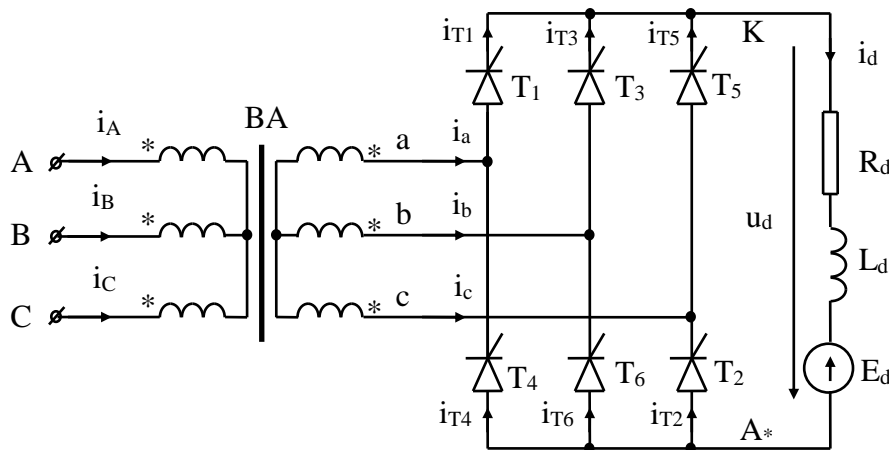
Trong cả hai sơ đồ trên thì giá trị hiệu dụng dòng điện cuộn dây thứ cấp và sơ cấp giống nhau và được xác định bởi các biểu thức:

$$I_2 = I_d \sqrt{(\pi - \alpha) / \pi}; \quad I_1 = I_2 / k_{ba}$$

2.8.6. SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU HÌNH CẦU BA PHA

2.8.6.1. Sơ đồ chỉnh lưu hình cầu ba pha điều khiển hoàn toàn

a. Sơ đồ nguyên lý



Hình 2.35: Sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha điều khiển hoàn toàn

Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu hình cầu 3 pha được biểu diễn trên hình 2.35, trong sơ đồ có:

- BA là máy biến áp cung cấp, với sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha có thể không cần sử dụng BA nếu nguồn cung cấp có điện áp phù hợp với yêu cầu của sơ đồ và không yêu cầu cách ly về điện giữa mạch động lực của bộ chỉnh lưu với nguồn điện xoay chiều.

- Sáu van chỉnh lưu có điều khiển từ $T_1 \div T_6$ dùng để biến đổi điện áp xoay chiều 3 pha bên thứ cấp BA là u_a, u_b, u_c thành điện áp một chiều. Chỉ số của các van trong sơ đồ có khác so với trong sơ đồ tổng quát đã nêu: nhóm van ka tốt chung ký hiệu như sơ đồ tổng quát, nhóm van a nốt chung có sự đổi vị trí, ký hiệu chỉ số các van được ghi trong sơ đồ này liên quan đến thứ tự làm việc của các van trong một chu kỳ nguồn.

- Các phần tử R_d, L_d, E_d là điện trở, điện cảm, s.đ.đ. của phụ tải một chiều.

- i_A, i_B, i_C là dòng điện các cuộn dây sơ cấp BA, đây cũng chính là dòng điện lưới.

- i_a, i_b, i_c là dòng điện các cuộn dây thứ cấp BA.
- u_d, i_d là điện áp và dòng điện chỉnh lưu tức thời.

b. Nguyên lý làm việc

Xét nguyên lý làm việc của sơ đồ cho trường hợp lý tưởng: điện cảm phụ tải là vô cùng lớn ($L_d = \infty$). Giả thiết: sơ đồ đã làm việc xác lập trước thời điểm bắt đầu xét ($\omega t = 0$) với một giá trị góc điều khiển bằng α , hệ thống điện máy thứ cấp máy biến áp BA là hình sinh và đối xứng, thời điểm $\omega t = 0$ là điểm đầu của nửa chu kỳ dương điện áp pha a phía thứ cấp máy biến áp cung cấp.

Với sơ đồ cầu ba pha, như đã phân tích ở mục 2.2.2, khi sơ đồ làm việc với chế độ dòng tải liên tục, bỏ qua quá trình chuyển mạch thì nhóm van ka tốt chung hoạt động tương tự như các van của sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha các van mắc ka tốt chung, còn nhóm van a tốt chung hoạt động tương tự như các van của sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha các van mắc a tốt chung. Tại mỗi thời điểm trong sơ đồ luôn có hai van cùng dẫn dòng, một ở nhóm ka tốt chung, một ở nhóm a tốt chung. Dạng dòng điện qua van và điện áp trên van hoàn toàn tương tự như đối với sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha. Để xác định điện áp chỉnh lưu tức thời trên tải có thể áp dụng định luật Kiéc hốp 2 với việc chú ý đến giả thiết là sụt điện áp trên van mở bằng không, như vậy tại mỗi thời điểm, điện áp trên tải là hiệu số giữa điện áp của pha nguồn mắc với van nhóm ka tốt chung đang mở và điện áp của pha nguồn mắc với van nhóm a tốt chung đang mở. Cũng có thể xác định điện áp tức thời trên tải theo phương pháp: tìm điện thế điểm K (điểm nối chung ka tốt của nhóm van ka tốt chung) là φ_K và điện thế điểm A (điểm nối chung a tốt của nhóm van a tốt chung) là φ_A , điện áp chỉnh lưu tức thời sẽ là: $u_d = \varphi_K - \varphi_A$, phương pháp này dễ minh họa trực tiếp bằng đồ thị.

Nguyên lý làm việc trong hơn một chu kỳ nguồn của sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha với các giả thiết đã nêu được tóm tắt như sau:

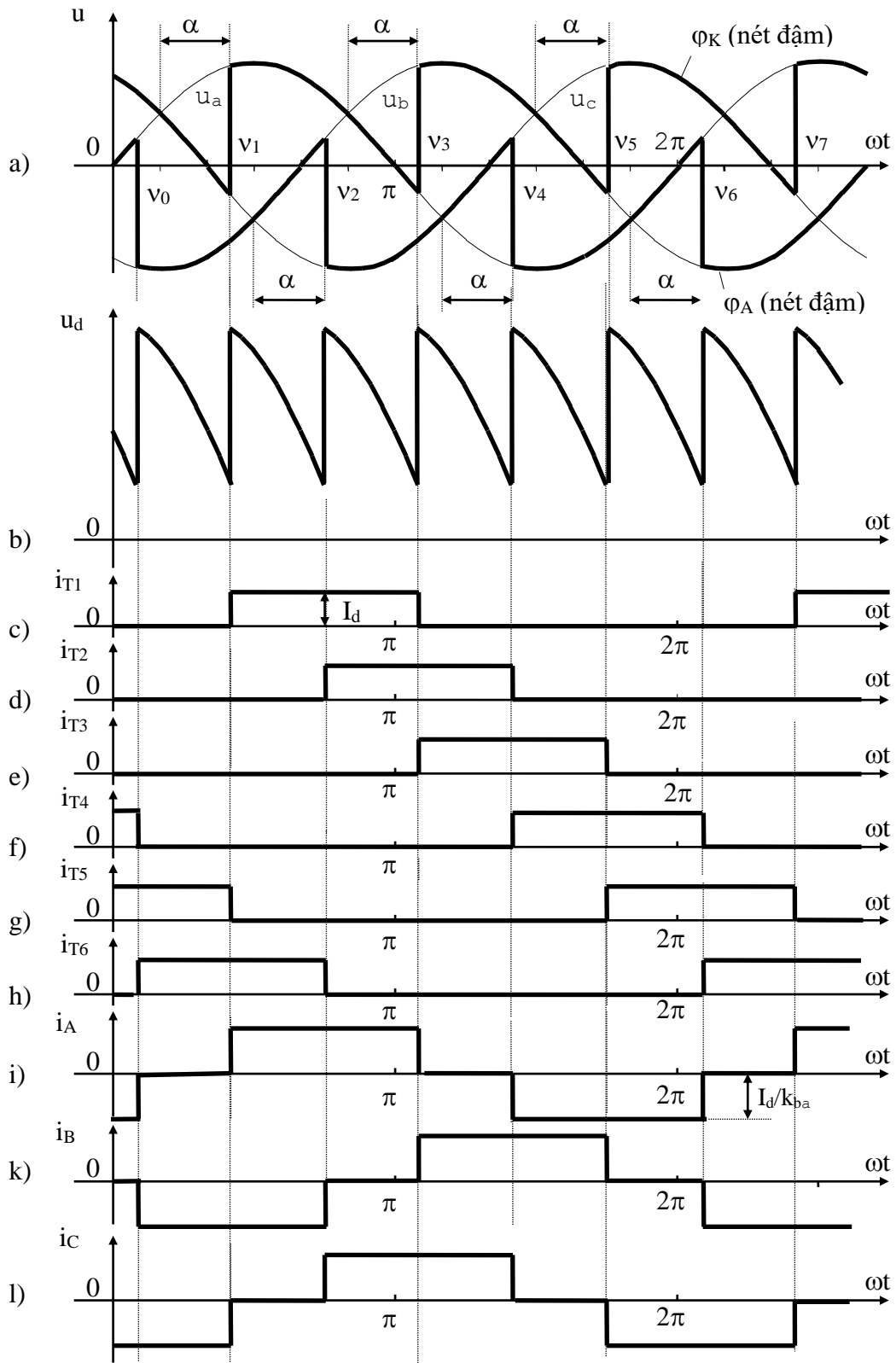
⊕ Các khoảng: $\omega t = 0 \div v_0$ và từ $\omega t = v_5 \div v_6$, hai van T_4 và T_5 cùng dẫn dòng, các van còn lại ở trạng thái khóa:

$$\begin{aligned} \varphi_K &= u_c; \quad \varphi_A = u_a; \quad u_d = \varphi_K - \varphi_A = u_c - u_a = u_{ca}; \\ i_{T_1} &= 0; \quad i_{T_2} = 0; \quad i_{T_3} = 0; \quad i_{T_4} = i_d = I_d; \quad i_{T_5} = i_d = I_d; \quad i_{T_6} = 0; \\ u_{T_1} &= u_{ac}; \quad u_{T_2} = u_{ac}; \quad u_{T_3} = u_{bc}; \quad u_{T_4} = 0; \quad u_{T_5} = 0; \quad u_{T_6} = u_{ab}; \end{aligned}$$

⊕ Các khoảng: $\omega t = v_0 \div v_1$ và từ $\omega t = v_6 \div v_7$, hai van T_5 và T_6 cùng dẫn dòng:

$$\begin{aligned} \varphi_K &= u_c; \quad \varphi_A = u_b; \quad u_d = \varphi_K - \varphi_A = u_c - u_b = u_{cb}; \\ i_{T_1} &= 0; \quad i_{T_2} = 0; \quad i_{T_3} = 0; \quad i_{T_4} = 0; \quad i_{T_5} = i_d = I_d; \quad i_{T_6} = i_d = I_d; \\ u_{T_1} &= u_{ac}; \quad u_{T_2} = u_{bc}; \quad u_{T_3} = u_{bc}; \quad u_{T_4} = u_{ba}; \quad u_{T_5} = 0; \quad u_{T_6} = 0; \end{aligned}$$

⊕ Các khoảng: $\omega t = v_1 \div v_2$ và sau $\omega t = v_7$, hai van T_1 và T_6 cùng dẫn dòng:



Hình 2.36: Đồ thị dòng áp minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha (hình 2.35) khi tải có điện cảm vô cùng lớn

$$\varphi_K = u_a; \quad \varphi_A = u_b; \quad u_d = \varphi_K - \varphi_A = u_a - u_b = u_{ab};$$

$$i_{T1} = i_d = I_d; \quad i_{T2} = 0; \quad i_{T3} = 0; \quad i_{T4} = 0; \quad i_{T5} = 0; \quad i_{T6} = i_d = I_d;$$

$$u_{T1} = 0; \quad u_{T2} = u_{bc}; \quad u_{T3} = u_{ba}; \quad u_{T4} = u_{ba}; \quad u_{T5} = u_{ca}; \quad u_{T6} = 0;$$

⊕ Khoảng: $\omega t = v_2 \div v_3$, hai van T_1 và T_2 cùng dẫn dòng:

$$\begin{aligned}\varphi_K &= u_a; \quad \varphi_A = u_c; \quad u_d = \varphi_K - \varphi_A = u_a - u_c = u_{ac}; \\ i_{T1} &= i_d = I_d; \quad i_{T2} = i_d = I_d; \quad i_{T3} = 0; \quad i_{T4} = 0; \quad i_{T5} = 0; \quad i_{T6} = 0; \\ u_{T1} &= 0; \quad u_{T2} = 0; \quad u_{T3} = u_{ba}; \quad u_{T4} = u_{ca}; \quad u_{T5} = u_{ca}; \quad u_{T6} = u_{cb};\end{aligned}$$

⊕ Khoảng: $\omega t = v_3 \div v_4$, hai van T_2 và T_3 cùng dẫn dòng:

$$\begin{aligned}\varphi_K &= u_b; \quad \varphi_A = u_c; \quad u_d = \varphi_K - \varphi_A = u_b - u_c = u_{bc}; \\ i_{T1} &= 0; \quad i_{T2} = i_d = I_d; \quad i_{T3} = i_d = I_d; \quad i_{T4} = 0; \quad i_{T5} = 0; \quad i_{T6} = 0; \\ u_{T1} &= u_{ab}; \quad u_{T2} = 0; \quad u_{T3} = 0; \quad u_{T4} = u_{ca}; \quad u_{T5} = u_{cb}; \quad u_{T6} = u_{cb};\end{aligned}$$

⊕ Khoảng: $\omega t = v_4 \div v_5$ hai van T_3 và T_4 cùng dẫn dòng:

$$\begin{aligned}\varphi_K &= u_b; \quad \varphi_A = u_a; \quad u_d = \varphi_K - \varphi_A = u_b - u_a = u_{ba}; \\ i_{T1} &= 0; \quad i_{T2} = 0; \quad i_{T3} = i_d = I_d; \quad i_{T4} = i_d = I_d; \quad i_{T5} = 0; \quad i_{T6} = 0; \\ u_{T1} &= u_{ab}; \quad u_{T2} = u_{ac}; \quad u_{T3} = 0; \quad u_{T4} = 0; \quad u_{T5} = u_{cb}; \quad u_{T6} = u_{ab};\end{aligned}$$

d. Các biểu thức tính toán cơ bản

⊕ Điện áp chỉnh lưu trung bình:

$$U_d = U_{do} \cos \alpha; \quad U_{do} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_2 \approx 2,34 U_2 \quad (2.109)$$

⊕ Dòng qua các van:

$$I_{Ttb} = \frac{I_d}{3}; \quad I_T = \frac{I_d}{\sqrt{3}} \quad (2.110)$$

⊕ Điện áp lớn nhất trên các van:

$$U_{Tthmax} = \sqrt{6} U_2; \quad U_{Tngmax} = \sqrt{6} U_2 \quad (2.211)$$

⊕ Dòng hiệu dụng cuộn dây sơ và thứ cấp máy biến khi tổ nối dây Y/Y:

$$I_1 = \frac{I_d}{k_{ba}} \sqrt{\frac{2}{3}}; \quad I_2 = I_d \sqrt{\frac{2}{3}} \quad (2.112)$$

⊕ Xác định công suất tính toán máy biến áp:

$$S_{tBA} = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{\pi}{3} U_d I_d = \frac{\pi}{3} P_d \approx 1,05 P_d \quad (2.113)$$

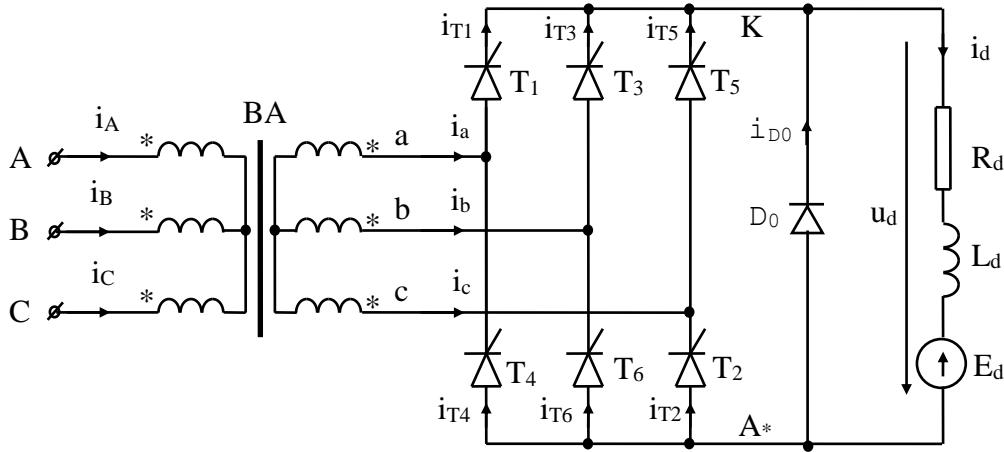
Lưu ý: Từ nguyên lý làm việc của sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha có thể nhận thấy, muốn có dòng qua tải phải có 2 van cùng làm việc, một ở nhóm van ka tốt chung và một ở nhóm van a tốt chung, thêm nữa, thời điểm mở các van thứ tự lệch nhau một góc 60° điện, do vậy muốn khởi động được sơ đồ hoặc duy trì sơ đồ làm việc bình thường ở chế độ dòng tải gián đoạn thì yêu cầu khi một van có xung điều khiển thì xung điều khiển trên van đến thứ tự làm việc liền trước đó vẫn còn. Để đạt được yêu cầu trên có thể có hai giải pháp:

- Tạo ra các xung điều khiển cho các van có độ dài lớn hơn 60° điện.

- Tạo ra hai xung điều khiển hẹp (thường từ 3^0 đến 10^0 điện với tần số lưới từ 50 đến 60Hz) cách nhau 60^0 điện: xung thứ nhất xuất hiện tại thời điểm cần mở van, xung thứ hai xuất hiện chậm sau xung thứ nhất một góc 60^0 điện (sử dụng phương pháp gửi xung).

2.8.6.2. Sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha có đi ốt không

a. Sơ đồ nguyên lý: Hình 2.37



Hình 2.37: Sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha có đi ốt không

b. Nguyên lý làm việc

Bộ chỉnh lưu cầu 3 pha có đi ốt không có hai vùng làm việc khác nhau ứng với hai phạm vi khác nhau của góc điều khiển α : khi $0^0 \leq \alpha \leq 60^0$ và khi $60^0 \leq \alpha \leq 120^0$, với góc điều khiển $\alpha > 120^0$ sơ đồ không làm việc.

- Khi $0^0 \leq \alpha \leq 60^0$: Trong phạm vi này của góc điều khiển, đi ốt không không làm việc, nguyên lý làm việc, dạng dòng áp đầu ra và trên các van, các biểu thức cơ bản hoàn toàn tương tự như trường hợp sơ đồ không có đi ốt không đã xét.

- Khi $60^0 \leq \alpha \leq 120^0$: Khi góc điều khiển $\alpha > 60^0$, với sơ đồ không có D_0 , trên đường cong điện áp đầu ra u_d xuất hiện các khoảng điện áp âm, với sơ đồ có D_0 thì các khoảng này van D_0 sẽ dẫn dòng và điện áp ra bằng không. Khi góc điều khiển tăng đến 120^0 thì điện áp trên tải hoàn toàn bằng không. Nguyên lý làm việc của sơ đồ được minh họa bằng đồ thì hình 2.38.

c. Các biểu thức cơ bản với trường hợp $60^0 \leq \alpha \leq 120^0$

⊕ Điện áp chỉnh lưu trung bình:

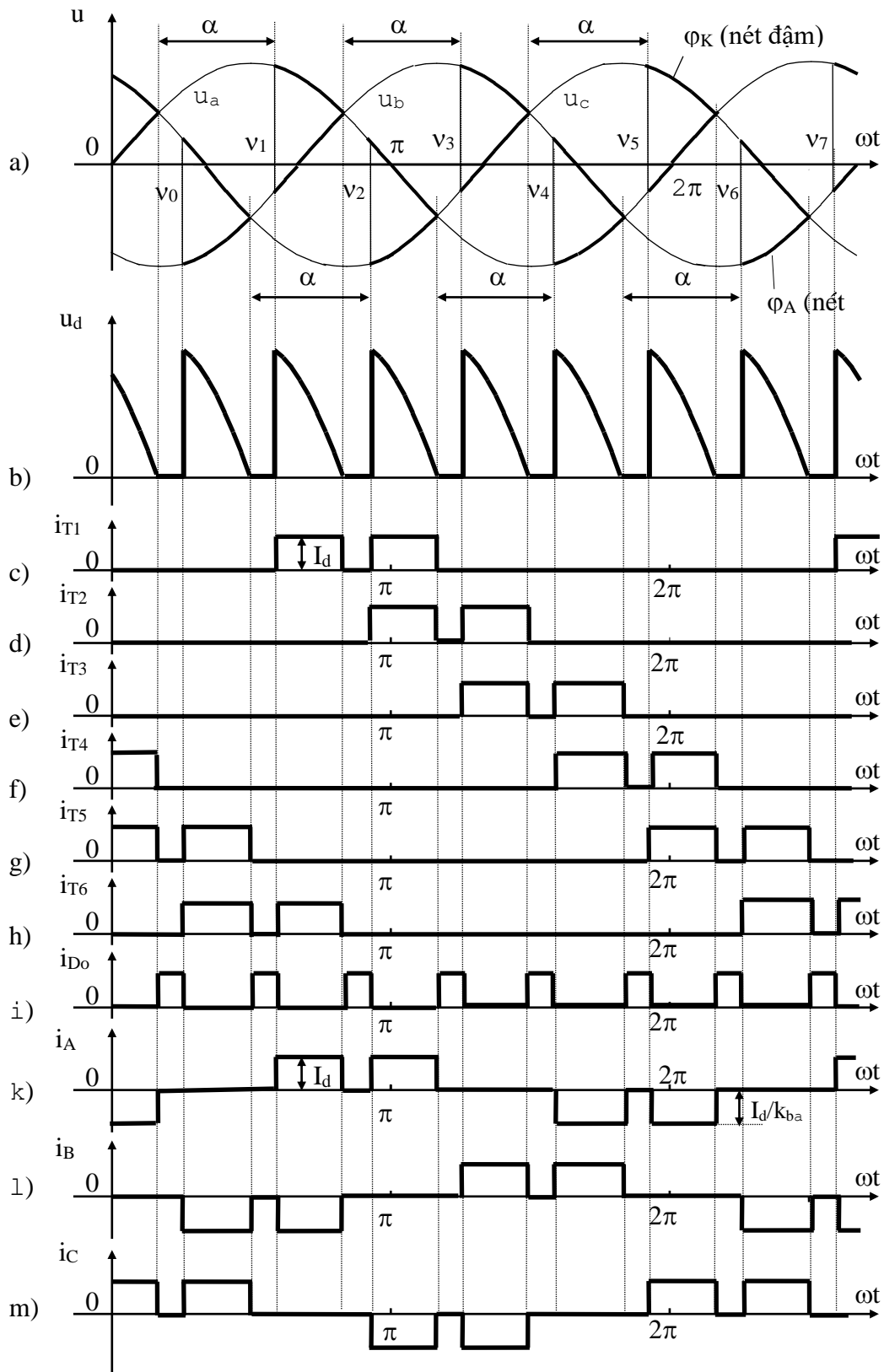
$$U_d = U_{d0} [1 + \cos(\alpha + 60^0)]; \quad U_{d0} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_2 \approx 2,34 U_2 \quad (2.114)$$

⊕ Điện áp lớn nhất trên các thyristor:

$$U_{Tthmax} = \sqrt{6} U_2; \quad U_{Tngmax} = \sqrt{6} U_2 \quad (2.115)$$

⊕ Điện áp lớn nhất trên D_0 :

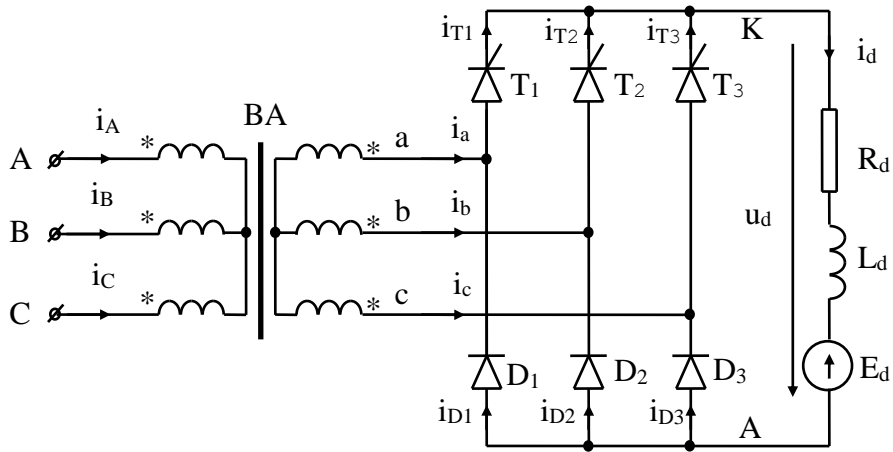
$$U_{Dongmax} = \sqrt{6} U_2 \quad (2.216)$$



Hình 2.38: Đồ thị dòng áp minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha có đi ốt không khi tải có điện cảm vô cùng lớn, $\alpha > 60^\circ$

2.8.6.3. Sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha bán điều khiển (sơ đồ 3T-3D)

a. Sơ đồ nguyên lý



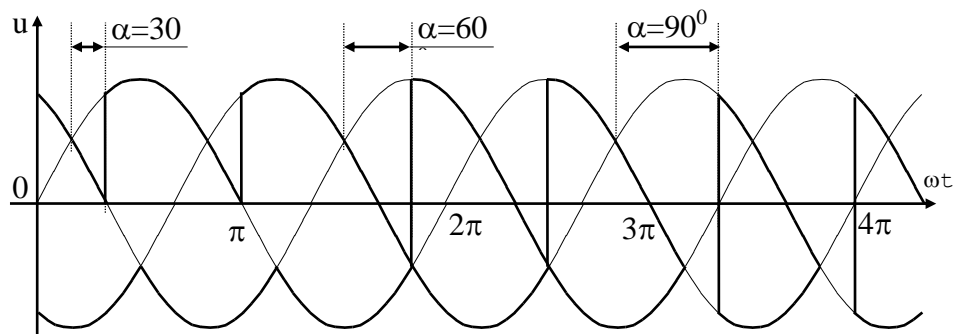
Hình 2.39: Sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha 3T-3D

Sơ đồ nguyên lý bộ chỉnh lưu được biểu diễn trên hình 2.39, trong đó một nhóm van là 3 thyristor (nhóm ka tốt chung), nhóm còn lại là 3 đi ốt (nhóm a tốt chung).

b. Nguyên lý làm việc của sơ đồ

- Khi phụ tải thuần trở ($R_d \neq 0, E_d = 0, L_d = 0$)

Trên hình 2.40 biểu diễn vắn tắt điện thế điểm K và điểm A (φ_K và φ_A) tương ứng với một số giá trị khác nhau của góc điều khiển: $\alpha = 30^\circ$; $\alpha = 60^\circ$; $\alpha = 90^\circ$. Nhìn vào đồ thị ta nhận thấy có thể xảy ra 2 chế độ làm khác nhau tương ứng với 2 vùng giá trị của α :



Hình 2.40: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 2.39

Chế độ thứ nhất: Khi $\alpha \leq 60^\circ$ ($\pi/3$) thì dòng tải liên tục. Sự chuyển mạch dòng điện trong các van nhóm ka tốt chung (có điều khiển) diễn ra ở thời điểm truyền xung điều khiển đến các van. Sự chuyển mạch dòng điện trong nhóm van a tốt chung (không điều khiển) diễn ra tại thời điểm chuyển mạch tự nhiên. Từ đồ thị hình 2.40 tính được:

$$U_d = U_{do} - \frac{3}{2\pi} \int_0^\alpha \sqrt{6} U_2 \sin(\omega t) d(\omega t) = U_{do} \frac{1 + \cos\alpha}{2} \quad (2.117)$$

Chế độ thứ hai: Khi $60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ ($\pi/3 \leq \alpha \leq 2\pi/3$), dòng qua tải bị gián đoạn. Việc mở các van trong cả hai nhóm van diễn ra từng cặp tại các thời điểm ta truyền xung điều khiển đến các van có điều khiển. Sự chuyển mạch dòng điện từ van này sang van khác lúc này không xảy ra vì dòng tải cũng như dòng qua các van đã bằng không trước thời điểm truyền xung điều khiển đến mở van tiếp theo. Từ đồ thị hình 2.40 rút ra:

$$U_d = \frac{3}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{6} U_2 \sin(\omega t) d(\omega t) = U_{do} \frac{1 + \cos\alpha}{2} \quad (2.118)$$

Như vậy khi tải thuần trở thì trong cả hai chế độ dòng tải liên tục và gián đoạn ta đều có chung một biểu thức để xác định điện áp chỉnh lưu trung bình.

- Khi điện cảm mạch tải vô cùng lớn ($L_d = \infty$)

Nghiên cứu sơ đồ trong trường hợp này thuận tiện nhất là xem như nối nối tiếp 2 sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha, một sơ đồ có điều khiển gồm các van T_1, T_2, T_3 nối ka tốt chung và một sơ đồ không điều khiển gồm 3 đi ốt D_1, D_2, D_3 , mắc a nút chung, dòng tải liên tục và bằng phẳng. Với trường hợp này có thể coi rằng sơ đồ cầu 3 pha bán điều khiển bị phân tích thành 2 sơ đồ hình tia 3 pha làm việc độc lập. Điện áp chỉnh lưu đầu ra của sơ đồ cầu bằng tổng điện áp chỉnh lưu của 2 sơ đồ tia mà một có điều khiển và một không điều khiển (chú ý rằng điện áp chỉnh lưu trung bình khi $\alpha = 0$ của sơ đồ cầu 3 pha gấp đôi của sơ đồ tia 3 pha):

$$U_d = \frac{U_{do}}{2} + \frac{U_{do}}{2} \cos\alpha = U_{do} \frac{(1 + \cos\alpha)}{2} \quad (2.118a)$$

So sánh biểu thức này với biểu thức tính U_d khi tải thuần trở có thể thấy chúng hoàn toàn giống nhau. Vậy điện áp chỉnh lưu trung bình trong sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha 3T-3D khi tải điện trở và khi dòng tải liên tục là như nhau với cùng một giá trị góc điều khiển.

Lưu ý: Do sử dụng cả các van không điều khiển nên khi sơ đồ làm việc thì dòng điện lưới (nguồn) ngoài các sóng hài bậc lẻ như đã nêu còn có cả các sóng hài bậc chẵn.

2.9. CÁC BỘ BIẾN ĐỔI CÓ ĐẢO DÒNG

2.9.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ BỘ BIẾN ĐỔI CÓ ĐẢO DÒNG

Trong kỹ thuật, nhiều trường hợp cần phải thay đổi được chiều dòng điện qua phụ tải một chiều của bộ chỉnh lưu (như đổi chiều dòng kích từ hoặc dòng phần ứng động cơ một chiều kích từ độc lập khi cần đảo chiều quay, ...), trong khi đó, do tính dẫn dòng một chiều của các van chỉnh lưu nên dòng điện đầu ra của sơ đồ chỉnh lưu chỉ đi theo một chiều. Vì vậy, trong thực tế, để đảo chiều dòng tải cần phải áp dụng các giải pháp kỹ thuật khác nhau, có hai giải pháp thường được sử dụng là:

- Dùng một sơ đồ chỉnh lưu có điều khiển kết hợp với bộ công tắc tơ kép sử dụng cách mắc các tiếp điểm theo sơ đồ cầu, giải pháp này thường chỉ áp dụng khi dòng tải trung bình trở xuống và trong trường hợp quá trình đổi chiều dòng tải không yêu cầu nhanh.

- Dùng bộ biến đổi có đảo dòng gồm hai sơ đồ chỉnh lưu có điều khiển cùng loại đấu song song ngược hoặc đấu chéo (chữ thập). Đây là giải pháp phù hợp cho mọi cấp công suất và khi có yêu cầu cao về độ tác động nhanh của quá trình đổi chiều dòng tải.

2.9.2. CÁC SƠ ĐỒ ĐẦU DÂY BỘ BIẾN ĐỔI CÓ ĐẢO DÒNG

Các bộ biến đổi có đảo dòng dùng hai sơ đồ chỉnh lưu điều khiển cùng loại, một sơ đồ cung cấp dòng điện cho tải theo chiều thuận, còn một sơ đồ cung cấp dòng tải theo chiều ngược. Việc đấu nối các sơ đồ chỉnh lưu vào hệ thống nguồn xoay chiều cung cấp và với phụ tải một chiều có dạng: đấu song song ngược hoặc đấu chéo. Tùy thuộc vào phương pháp điều khiển mà có thể có thêm các thiết bị phụ trợ hoặc không. Các sơ đồ chỉnh lưu dùng trong các bộ biến đổi có đảo dòng có thể là hình tia 2 hoặc 3 pha, hình cầu 1 hoặc 3 pha, thông dụng nhất là các sơ đồ chỉnh lưu hình tia và hình cầu 3 pha. Trong mục này sẽ giới thiệu sơ đồ phân lực các bộ biến đổi có đảo dòng áp dụng phương pháp điều khiển phối hợp, đây là phương pháp điều khiển yêu cầu phần mạch lực phải có thêm các thiết bị phụ trợ mới đảm bảo được sự làm việc bình thường của bộ biến đổi (sẽ nghiên cứu ở mục sau). Sự khác nhau cơ bản giữa hai cách đấu dây các sơ đồ chỉnh lưu trong bộ biến đổi có đảo dòng là: Khi đấu song song ngược thì hai sơ đồ chỉnh lưu được cung cấp chung bởi một hệ thống nguồn xoay chiều (song song về mặt nguồn), còn trường hợp đấu chéo thì hai sơ đồ chỉnh lưu được cung cấp bởi hai hệ thống nguồn xoay chiều độc lập (thường là bởi hai bộ cuộn dây thứ cấp cách ly của một máy biến áp hoặc có thể là từ thứ cấp của hai máy biến áp). Về nguyên lý làm việc thì hai cách đấu dây các sơ đồ chỉnh lưu cơ bản là tương đương nhau.

2.9.2.1. Bộ biến đổi có đảo dòng dùng hai sơ đồ chỉnh lưu đấu song song ngược

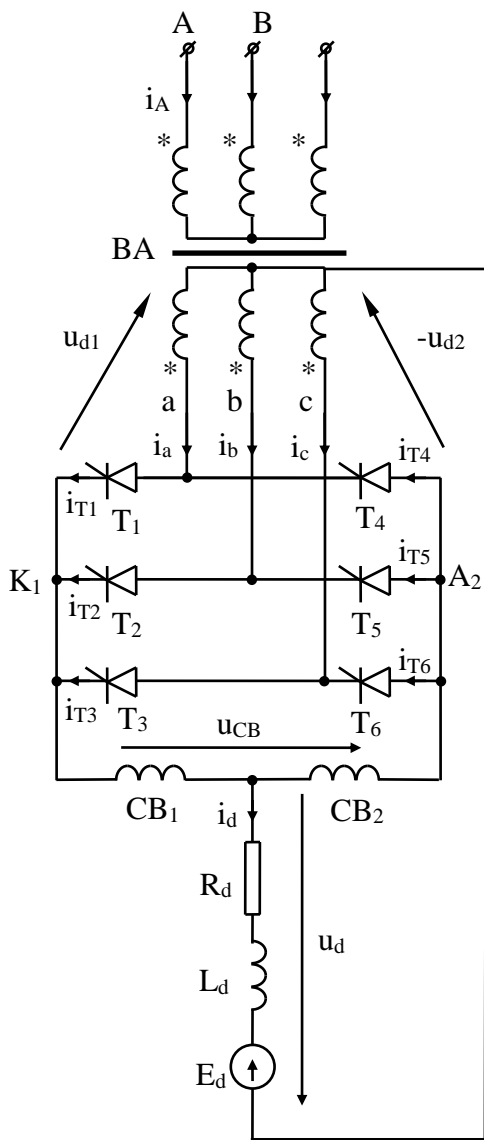
Hình 2.41a là sơ đồ nguyên lý phân lực bộ biến đổi có đảo dòng điều khiển phối hợp đấu song song ngược dùng hai sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha. Hình 2.41b là sơ đồ nguyên lý phân lực bộ biến đổi có đảo dòng điều khiển phối hợp đấu song song ngược dùng hai sơ đồ chỉnh lưu điều khiển cầu 3 pha. Các thiết bị chính của bộ biến đổi gồm có:

- BA là máy biến áp cung cấp cho bộ biến đổi, trong trường hợp này chọn tổ nối dây máy biến áp là Δ/Y . Máy biến áp trong bộ biến đổi có đảo dòng có các nhiệm vụ như máy biến áp đối với các bộ biến đổi không có đảo dòng.

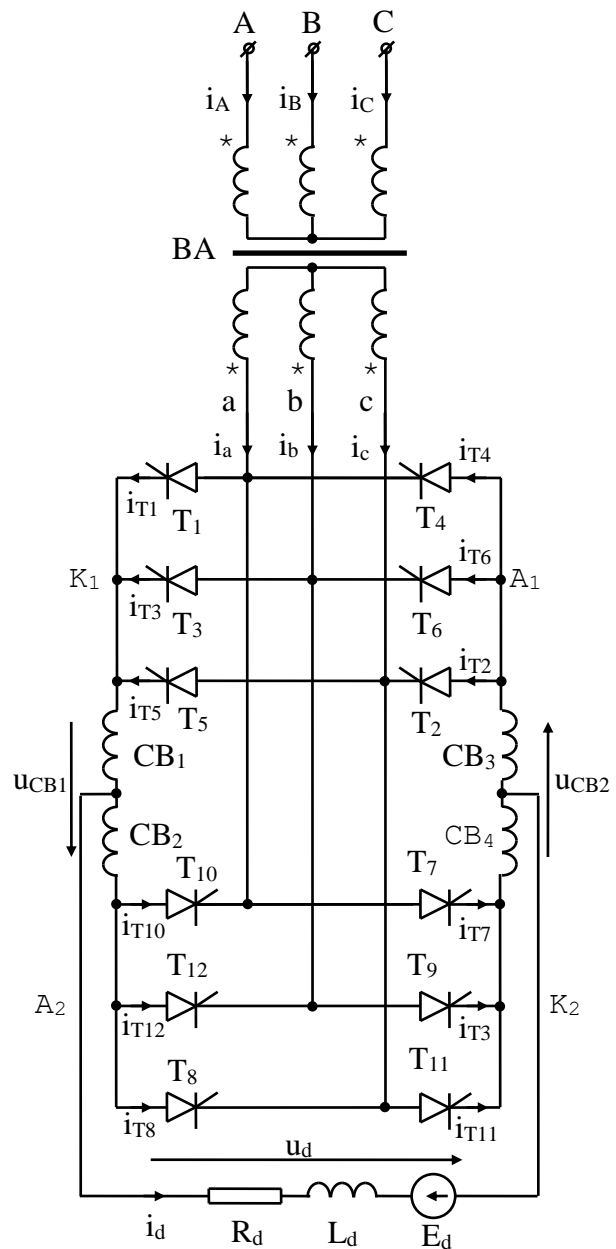
- Trong hình 2.41a, bộ biến đổi gồm hai sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha có điều khiển: sơ đồ 1 hay còn gọi là sơ đồ thuận gồm 3 thyristor $T_1 \div T_3$, tạo ra dòng tải thuận chiều quy ước; sơ đồ 2 hay sơ đồ ngược gồm 3 thyristor $T_4 \div T_5$, tạo ra dòng tải ngược chiều quy ước. Trong hình 2.41b, bộ biến đổi gồm hai sơ đồ chỉnh lưu cầu 3 pha có điều khiển: sơ đồ 1 hay sơ đồ thuận gồm 6 thyristor $T_1 \div T_6$; sơ đồ 2 hay sơ đồ ngược gồm 6 thyristor $T_7 \div T_{12}$.

- Phụ tải một chiều của bộ biến đổi gồm các phần tử R_d, L_d, E_d (đây là dạng phụ tải một chiều đặc trưng hay gặp trong công nghiệp).

- Các cuộn kháng CB_1 và CB_2 trong sơ đồ hình 2.41a hoặc $CB_1 \div CB_4$ trong sơ đồ hình 2.41b là các cuộn kháng dùng để hạn chế dòng điện cân bằng hay còn gọi là dòng tuần hoàn (sẽ giới thiệu sau) xuất hiện khi bộ biến đổi làm việc đối với trường hợp bộ biến đổi được áp dụng phương pháp điều khiển phối hợp.



Hình 2.41a



Hình 2.41b

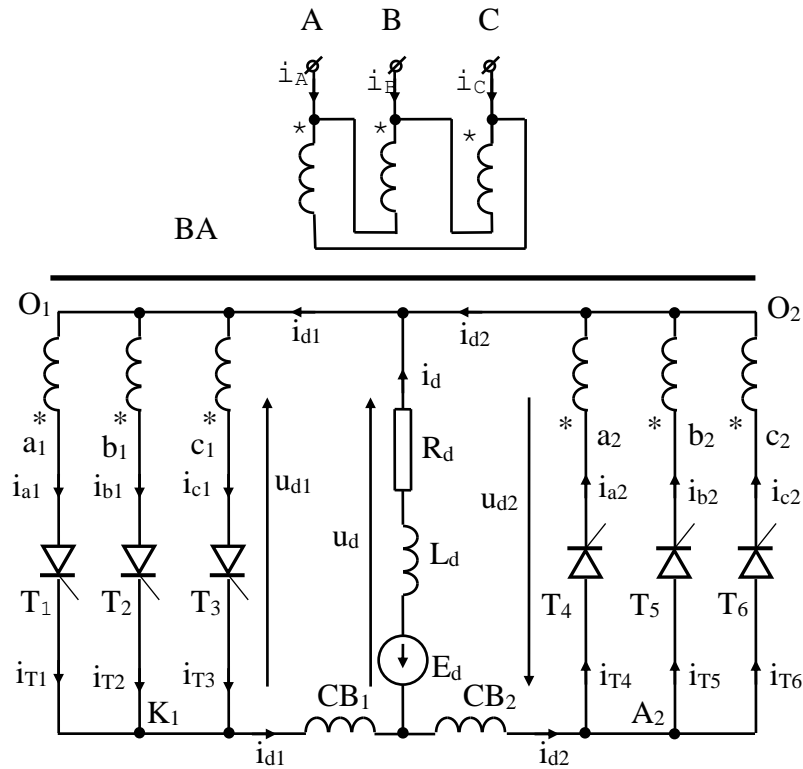
2.9.2.2. Bộ biến đổi có đảo dòng dùng hai sơ đồ chỉnh lưu đầu chéo (đầu chữ thập)

Trên hình 2.42 biểu diễn sơ đồ nguyên lý một bộ biến đổi có đảo dòng dùng hai sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha đầu chéo (còn gọi đầu hình chữ thập, đầu hình số tám).

- Để tạo ra hai hệ thống nguồn ba pha độc lập cung cấp cho hai sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 pha, trong sơ đồ bộ biến đổi này dùng một máy biến áp BA có hai bộ cuộn dây thứ cấp cách ly (giá trị hiệu dụng điện áp trên các cuộn thứ cấp là như nhau).

- Hai sơ đồ chỉnh lưu hình tia ba pha: Sơ đồ 1 gồm ba van $T_1 \div T_3$, sơ đồ 2 gồm ba van $T_4 \div T_6$. Ở đây lựa chọn điện áp các pha thứ cấp máy biến áp tương ứng của các bộ cuộn dây là trùng pha (ví dụ: a_1 và a_2) và cách đấu dây của hai sơ đồ chỉnh lưu là khác nhau: sơ đồ 1 mắc van kiểu ka tốt chung, còn sơ đồ 2 các van mắc kiểu a nốt chung (cũng có thể chọn pha của các điện tương ứng ngược nhau và cách đấu dây sơ đồ chỉnh lưu cùng một kiểu).

- CB_1 và CB_2 là hai cuộn kháng để hạn chế dòng cân bằng.
- Phụ tải một chiều gồm các phần tử: R_d , L_d , E_d .



Hình 2.42: Sơ đồ nguyên lý bộ biến đổi có đảo dòng dùng hai sơ đồ chỉnh lưu hình tia 3 đầu chéo (hình chữ thập)

2.9.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN BỘ BIẾN ĐỔI CÓ ĐẢO DÒNG

Để đạt được mục tiêu của bộ biến đổi có đảo dòng là tạo ra dòng tải theo hai chiều ngược nhau và đảm bảo quá trình đổi chiều dòng tải đủ nhanh, cần phải tìm được phương pháp điều khiển hợp lý sự làm việc của hai sơ đồ chỉnh lưu trong bộ biến đổi. Trên thực tế có hai phương pháp điều khiển là: điều khiển độc lập và điều khiển phối hợp.

2.9.3.1. Phương pháp điều khiển độc lập bộ biến đổi có đảo dòng

Đây là một trong hai phương pháp điều khiển các bộ biến đổi có đảo dòng và được sử dụng khá phổ biến trong thực tế, phương này còn được gọi là phương pháp điều khiển riêng. Khi điều khiển bộ biến đổi có đảo dòng theo phương pháp điều khiển độc lập thì hai sơ đồ chỉnh lưu thuận và ngược làm việc riêng rẽ: khi cần có dòng qua tải theo chiều thuận thì cấp xung điều khiển cho các van của sơ đồ chỉnh lưu thuận làm việc, còn các van sơ đồ chỉnh lưu ngược không được cấp xung điều khiển và hoàn toàn ở trạng thái khóa; khi cần dòng điện tải theo chiều ngược thì cấp xung điều khiển cho các van của sơ đồ chỉnh lưu ngược làm việc, còn các van sơ đồ chỉnh lưu thuận không được cấp xung điều khiển và hoàn toàn ở trạng thái khóa. Như vậy khi bộ biến đổi làm việc thì chỉ có một trong hai sơ đồ chỉnh lưu được cấp tín hiệu điều khiển để làm việc còn các van của sơ đồ kia khóa hoàn toàn nên không xuất hiện dòng điện cân bằng (dòng điện đi từ một pha nguồn qua một van nhóm ka tốt chung của sơ đồ này, vòng qua một van nhóm a nốt chung của sơ đồ kia và trở

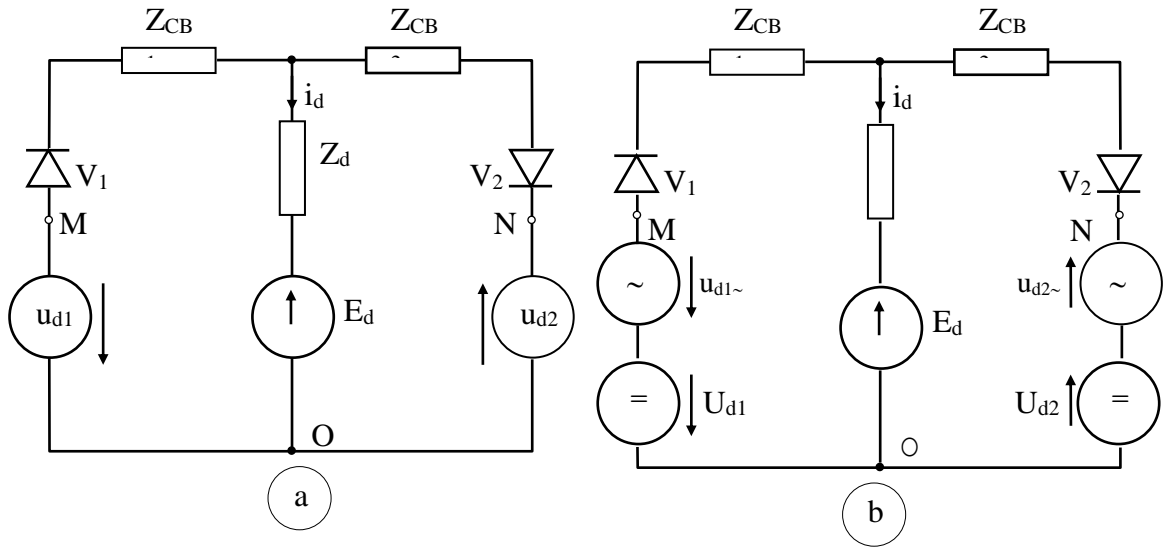
về một pha nguồn khác), đây là ưu điểm cơ bản của phương pháp điều khiển này, nó cho phép không phải dùng các cuộn kháng hạn chế dòng cân bằng. Nhưng cũng do để không xuất hiện dòng cân bằng, nên khi cần đảo chiều dòng điện tải bắt buộc phải đảm bảo điều kiện là các van của sơ đồ chỉnh lưu làm việc ở giai đoạn trước đã khóa một cách chắc chắn mới được phép truyền xung điều khiển đến các van của sơ đồ chỉnh lưu cần đưa vào làm việc. Điều này xuất hiện khoảng ngừng dòng khi tác động đảo chiều dòng do yêu cầu về thời gian khôi phục tính chất điều khiển (tính chất khóa) của các van chỉnh lưu, thời gian ngừng ngắn nhất cũng phải cỡ vài ms, nó hạn chế độ tác động nhanh của bộ biến đổi. Để hạn chế đến mức nhỏ nhất thời gian ngừng dòng, nhưng cũng đảm bảo sự an toàn cho các van của bộ biến đổi, hiện nay thường sử dụng các mạch điện phát hiện chính xác thời điểm khóa của van, xử lý việc cắt xung các van sơ đồ cần khóa và tính toán thời điểm cũng như thực hiện cấp xung cho các van của sơ đồ cần đưa vào làm việc, mạch này thường được gọi là mạch logic đảo chiều (hoạt động theo nguyên lý điều khiển logic).

Bộ biến đổi có đảo dòng điều khiển độc lập có đặc tính ngoài tương tự như của bộ biến đổi không có đảo dòng.

2.9.3.2. Phương pháp điều khiển phối hợp bộ biến đổi có đảo dòng

Với phương pháp điều khiển phối hợp, khi bộ biến đổi làm việc, trong một chu kỳ nguồn xoay chiều, tất cả các van của hai sơ đồ chỉnh lưu đều được cấp xung điều khiển và đều có thể mở. Điều này dẫn đến xuất hiện dòng cân bằng: dòng điện đi từ một pha nguồn qua một van đang mở nhóm ka tốt chung của sơ đồ này, tiếp theo sẽ đi qua một van cũng đang mở thuộc nhóm anốt chung của sơ đồ kia và trở về một pha nguồn khác (xét với trường hợp các sơ đồ chỉnh lưu là hình cầu), nếu điện áp tổng hợp của hai pha nguồn này tác động thuận chiều dẫn dòng của hai van vừa nêu. Với việc bỏ qua sụt điện áp trên hai van đang mở, khi trong mạch vòng vừa nêu không có các phần tử nào khác thì đây là dòng ngắn mạch hai pha nguồn, dòng này sẽ tăng rất nhanh và sẽ vượt quá giá trị cho phép của các van trong thời gian cực ngắn, dẫn đến hỏng van. Để bảo vệ các van, đảm bảo duy trì sự làm việc bình thường của bộ biến đổi cần phải hạn chế thành phần dòng điện cân bằng. Muốn hạn chế dòng điện cân bằng buộc phải đưa vào trong sơ đồ bộ biến đổi các phần tử hạn chế giá trị dòng điện (ở vị trí các cuộn kháng CB). Về mặt lý thuyết, các phần tử hạn chế có thể là điện trở, hoặc điện trở - điện cảm, hoặc ở điều kiện nhất định có thể là điện cảm thuần. Rõ ràng, nếu phần tử hạn chế là điện cảm thuần là lý tưởng nhất, vì sẽ không tiêu thụ công suất tác dụng, không ảnh hưởng đến điện trở chung của mạch tải. Tuy nhiên, điện cảm chỉ có thể hạn chế được dòng điện sinh ra bởi điện áp xoay chiều, đây là vấn đề cần phải nghiên cứu. Mặt khác, với bộ biến đổi có đảo dòng thì duy nhất chỉ có một tham số có thể điều chỉnh để có thể đáp ứng được yêu cầu vừa nêu, đó là góc điều khiển các sơ đồ chỉnh lưu. Vì vậy, vấn đề còn lại là phải tìm được quy luật phối hợp giữa góc điều khiển hai sơ đồ chỉnh lưu để đảm bảo điều kiện cho phép sử dụng phần tử hạn chế dòng cân bằng là điện cảm thuần.

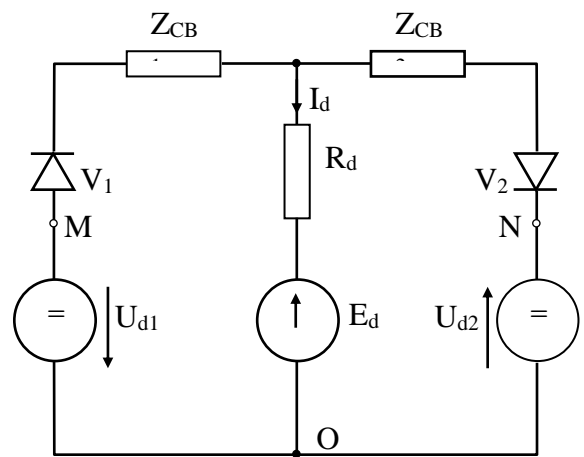
Để xác định quy luật phối hợp giữa góc điều khiển hai sơ đồ chỉnh lưu thỏa mãn yêu cầu trên, có thể dựa vào việc phân tích hoạt động của bộ biến đổi trên cơ sở sơ đồ thay thế tương đương sau (chọn sơ đồ xét là sơ đồ hình 2.41a):



Hình 2.43: Sơ đồ thay thế phần mạch lực của bộ biến đổi có đảo dòng điều khiển phối hợp
 a) Dạng chung
 b) Khi phân tích điện áp chỉnh lưu thành hai thành phần xoay chiều và một chiều

Trong sơ đồ thay thế hình 2.43 đã giả thiết bỏ qua tổng trở các pha nguồn xoay chiều và nội trở của khi dẫn dòng (mở), xem rằng các sơ đồ chỉnh lưu đều làm việc ở chế độ dòng liên tục. Trên hình 2.43a, u_{d1} và u_{d2} là điện áp chỉnh lưu tức thời của sơ đồ chỉnh lưu thuận và sơ đồ chỉnh lưu ngược; E_d là s.đ.đ. tải; Z_d là tổng trở tải, gồm L_d và R_d ; Z_{CB1} và Z_{CB2} là tổng trở các phần tử hạn chế dòng cân bằng; V_1 và V_2 đặc trưng cho các van của sơ đồ thuận và sơ đồ ngược đang mở, mục tiêu của việc đưa các van vào sơ đồ thay thế là để chỉ chiều dòng điện có thể chạy trong mạch; các điểm M và N là các điểm giả tưởng để xét khả năng xuất hiện dòng cân bằng trong hệ thống. Trên sơ đồ hình 2.43b, phân tích điện áp chỉnh lưu tức thời của các sơ đồ chỉnh lưu thành hai thành phần: thành phần một chiều U_d và thành phần xoay chiều $u_{d\sim}$ với chỉ số tương ứng, điện áp chỉnh lưu tức thời sơ đồ thuận bằng: $u_{d1} = U_{d1} + u_{d1\sim}$, còn với sơ đồ ngược: $u_{d1} = U_{d1} + u_{d1\sim}$.

Để phân tích và tìm quy luật phối hợp giữa góc điều khiển của hai sơ đồ chỉnh lưu, sử dụng nguyên lý xếp chồng, xét riêng tác động của từng thành phần điện áp, mà trước tiên là đối với thành phần một chiều. Theo nguyên lý chung, trong mạch điện một chiều chỉ có điện trở mới có tác dụng hạn chế dòng điện. Vì vậy, dựa vào sơ đồ thay thế hình 2.44 đối với thành phần một chiều



Hình 2.44: Sơ đồ thay thế phần mạch lực đối với thành phần một chiều của bộ biến đổi có đảo dòng điều khiển phối hợp

có thể thấy rằng, nếu xuất hiện chênh lệch điện thế thành phần một chiều giữa điểm M và N, điểm M dương hơn điểm N, sẽ xuất hiện dòng cân bằng gây ra bởi chênh lệch điện thế này và Z_{CB1} và Z_{CB2} phải là các điện trở thuần, khi đó sẽ làm tăng tổn hao công suất trong hệ thống và ảnh hưởng đến đặc tính làm việc của tải. Như vậy để có thể dùng điện cảm thuần làm phần tử hạn chế dòng cân bằng thì phải loại trừ sự chênh lệch thành phần một chiều điện áp ra của hai sơ đồ hoặc có thể tạo ra chênh lệch ngược lại (N dương hơn M). Trường hợp thứ nhất, chọn $U_{MN} = 0$, ta có phương pháp điều khiển phối hợp tuyến tính; trường hợp thứ hai, chọn $U_{MN} < 0$, ta có phương pháp điều khiển phối hợp phi tuyến.

a. Quy luật điều khiển phối hợp tuyến tính

Như đã phân tích ở trên, khi điều khiển phối hợp tuyến tính, cần có $U_{MN} = 0$, tức là:

$$U_{d1} + U_{d2} = 0, \text{ hay } U_{d1} = -U_{d2}$$

Với giả thiết các sơ đồ chỉnh lưu ở chế độ dòng liên tục thì:

$$U_{d1} = U_{d0} \cdot \cos\alpha_1 \text{ và } U_{d2} = U_{d0} \cdot \cos\alpha_2$$

Rút ra: $\alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ$ hay: $\alpha_1 = 180^\circ - \alpha_2$ (2.119)

(với α_1 và α_2 lần lượt là góc điều khiển của sơ đồ chỉnh lưu thuận và ngược).

Biểu thức (2.119) là quy luật phối hợp góc điều khiển khi áp dụng phương pháp điều khiển phối hợp tuyến tính bộ biến đổi có đảo dòng.

b. Quy luật điều khiển phối hợp phi tuyến

Theo phân tích trên, khi điều khiển phối hợp phi tuyến $U_{MN} < 0$, tức là:

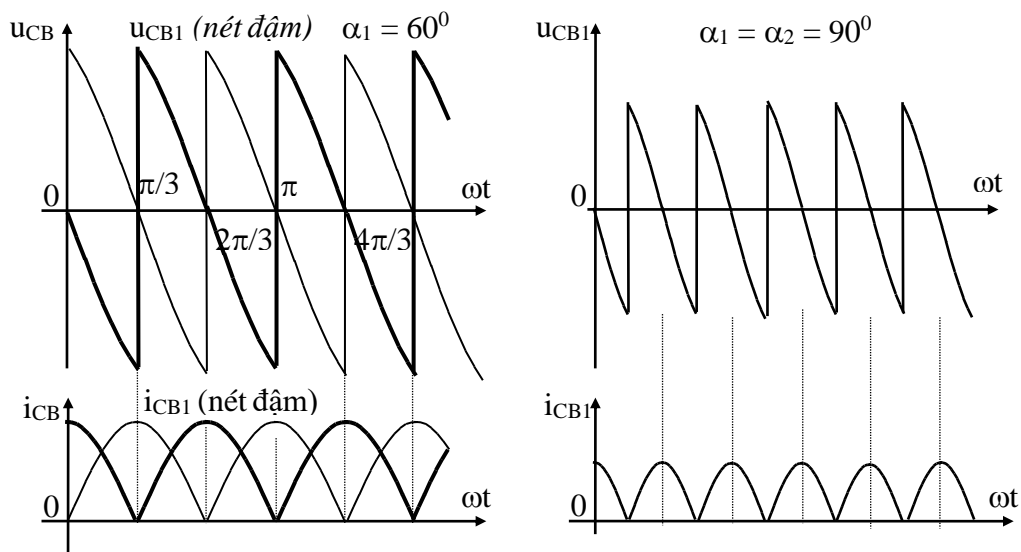
$$U_{d1} + U_{d2} < 0, \text{ hay } U_{d1} < -U_{d2}$$

Có thể rút ra quan hệ:

$$\alpha_1 + \alpha_2 > 180^\circ \text{ hay } \alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ + 2\theta \text{ với } \theta > 0^\circ$$
 (2.120)

Biểu thức (2.120) là quy luật phối hợp góc điều khiển khi áp dụng phương pháp điều khiển phối hợp phi tuyến bộ biến đổi có đảo dòng.

c. Điện áp và dòng điện cân bằng, xác định điện cảm hạn chế dòng cân bằng



Hình 2.45: Điện áp và dòng điện các cuộn kháng cân bằng trong BBD có đảo dòng điều khiển phối hợp tuyến tính ứng với các giá trị góc điều khiển khác nhau

Phân tích nguyên lý hoạt động của bộ biến đổi có đảo dòng sử dụng hai sơ đồ chỉnh lưu hình cầu 3 pha có điều khiển (hình 2.41b), cho phép xác định được dạng điện áp và dòng điện trên các cuộn kháng hạn chế dòng cân bằng (gọi tắt là cuộn kháng cân bằng) khi áp dụng phương pháp điều khiển phối hợp tuyến tính bộ biến đổi có đảo dòng với các giá trị khác nhau của góc điều khiển. Trên hình 2.45 minh họa cho hai trường hợp ứng với góc điều khiển sơ đồ chỉnh lưu 1 là $\alpha_1 = 60^\circ$ và $\alpha_1 = 90^\circ$.

Có thể thấy rằng, điện áp cân bằng phụ thuộc rất nhiều vào giá trị góc điều khiển của các sơ đồ chỉnh lưu. Khi góc điều khiển của một sơ đồ thay đổi trong khoảng từ 0° cho đến 60° thì điện áp cân bằng đập mạch 3 lần trong một chu kỳ nguồn, còn khi góc điều khiển của một sơ đồ nằm trong vùng từ lớn hơn 60° đến 90° thì điện áp cân bằng đập mạch 6 lần trong một chu kỳ nguồn xoay chiều. Biểu thức điện áp cân bằng u_{CB1} của sơ đồ hình 2.41b trong khoảng thời gian ứng với góc độ điện là 120° được xác định như sau (chọn mốc xét $\omega t = 0$ là thời điểm mở tự nhiên đối với T_1):

Khi: $0^\circ \leq \alpha_1 \leq 60^\circ$, thì:

$$u_{CB1} = -\sqrt{6} U_2 \sin(\omega t) \quad \text{với } -\alpha \leq \omega t \leq \alpha;$$

$$u_{CB1} = 0 \quad \text{trong các khoảng: } -60^\circ \leq \omega t \leq -\alpha, \text{ và } \alpha \leq \omega t \leq 60^\circ.$$

Khi $60^\circ \leq \alpha_1 \leq 90^\circ$, thì:

$$u_{CB1} = -\sqrt{6} U_2 \sin(\omega t) \quad \text{với } -120^\circ + \alpha_1 \leq \omega t \leq 120^\circ - \alpha_1$$

$$\text{và } u_{CB1} = \sqrt{6} U_2 \sin(\omega t - 60^\circ) \quad \text{với } 120^\circ - \alpha_1 \leq \omega t \leq \alpha_1$$

Trong đó: U_2 là giá trị hiệu dụng điện áp một pha thứ cấp máy biến áp.

Từ các biểu thức trên, có thể xác định được giá trị trung bình của dòng cân bằng khi biết góc điều khiển và điện cảm của mỗi cuộn kháng cân bằng L_{CB} . Đồ thị biểu diễn giá trị tương đối của thành phần trung bình dòng cuộn kháng cân bằng I_{CBtb}^* so với giá trị cực đại của nó được cho trên hình 2.46b. Hình 2.46a là đường cong biểu diễn quan hệ $U_{d1}=f(\alpha)$, $U_{d2}=f(\alpha)$, $U_d=f(\alpha)$ khi giả thiết dòng tải là liên tục.

Giá trị cực đại của dòng cân bằng:

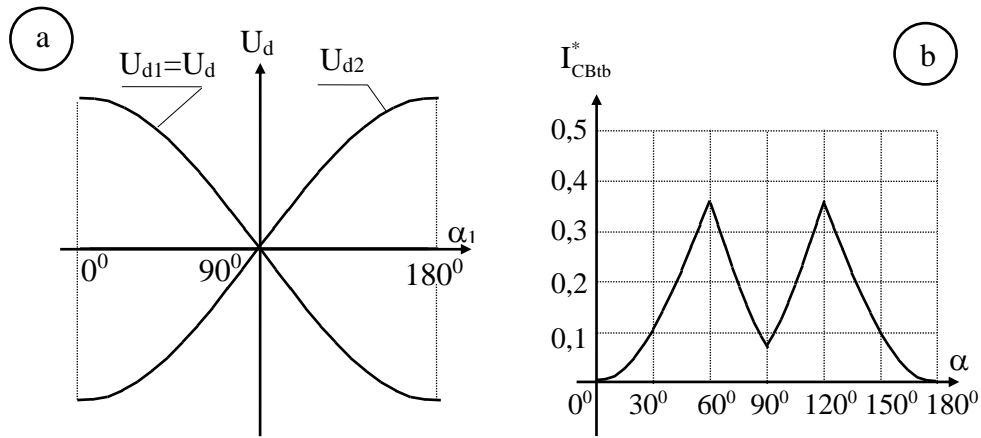
$$I_{CBm} = \frac{\sqrt{6} U_2}{2\omega L_{CB}} \quad (2.121)$$

với L_{CB} là điện cảm một cuộn kháng cân bằng.

Giá trị trung bình của dòng cân bằng:

$$\text{- Khi } 0^\circ \leq \alpha_1 \leq 60^\circ: I_{CBtb} = \frac{3\sqrt{6} U_2}{2\pi\omega L_{CB}} (\sin \alpha + \alpha \cos \alpha)$$

$$\text{- Khi } 60^\circ \leq \alpha_1 \leq 90^\circ: I_{CBtb} = \frac{3\sqrt{6} U_2}{2\pi\omega L_{CB}} \left[\left(1 - \sqrt{2} \frac{\pi}{6}\right) \sin \alpha + \left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \cos \alpha \right]$$



Hình 2.46

Khi điều khiển bộ biến đổi có đảo dòng theo phương pháp phối hợp tuyến tính và giả thiết các sơ đồ làm việc với chế độ dòng là liên tục thì:

- Trường hợp dòng tải là thuận, nếu sơ đồ chỉnh lưu thuận làm việc với góc điều khiển $\alpha_1 < 90^\circ$, nó sẽ làm việc trong chế độ chỉnh lưu, còn sơ đồ chỉnh lưu ngược sẽ làm việc với góc điều khiển $\alpha_2 = 180^\circ - \alpha_1 > 90^\circ$, như vậy góc điều khiển sơ đồ chỉnh lưu ngược nằm trong vùng chế độ nghịch lưu. Trong thực tế, thì khi sơ đồ chỉnh lưu thuận đang làm việc ở chế độ chỉnh lưu thì sơ đồ chỉnh lưu ngược không làm việc ở chế độ nghịch lưu vì lúc đó không có thành phần dòng điện từ tải qua sơ đồ chỉnh lưu ngược, qua các van của sơ đồ ngược chỉ có dòng cân bằng, trường hợp này sơ đồ chỉnh lưu ngược làm việc ở chế độ nghịch lưu đợi hay còn gọi là chế độ chờ nghịch lưu.

- Trường hợp dòng tải là ngược, nếu sơ đồ chỉnh lưu thuận làm việc với góc điều khiển $\alpha_1 < 90^\circ$, dòng tải không qua sơ đồ thuận nên sơ đồ thuận sẽ làm việc trong chế độ chỉnh lưu đợi hay chờ chỉnh lưu, còn sơ đồ chỉnh lưu ngược có dòng tải với góc điều khiển $\alpha_2 = 180^\circ - \alpha_1 > 90^\circ$ sẽ làm việc ở chế độ nghịch lưu. Có thể suy luận tương tự cho các trường hợp dòng tải thuận hoặc ngược với $\alpha_1 > 90^\circ$ và $\alpha_2 = 180^\circ - \alpha_1 < 90^\circ$.

Khi sử dụng phương pháp điều khiển phối hợp tuyến tính bắt buộc phải sử dụng các cuộn kháng để hạn chế dòng cân bằng, phải tăng công suất tính toán máy biến áp để bù tổn thất do dòng cân bằng gây nên, điều này dẫn đến làm tăng kích thước và giá thành bộ biến đổi, giảm hiệu suất. Tuy nhiên, phương pháp điều khiển này có ưu điểm nổi bật là độ tác động nhanh cao hơn nhiều so với phương pháp điều khiển độc lập nên thường được áp dụng cho các trường hợp yêu cầu thời gian đảo chiều dòng điện ngắn.

Giá trị điện cảm của cuộn kháng cân bằng được chọn sao cho trong trường hợp xấu nhất thì giá trị trung bình của dòng cân bằng không được vượt quá 10% dòng tải định mức theo tính toán.

Với mục đích giảm dòng cân bằng xoay chiều mà không cần tăng điện cảm của cuộn kháng cân bằng, có thể sử dụng phương pháp điều khiển phối hợp phi tuyến, trong trường hợp này cần đảm bảo quy luật về góc điều khiển là: $\alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ + 2\theta$ (góc $\theta > 0^\circ$). Với việc tăng giá trị θ thì giá trị trung bình của dòng cân bằng giảm khá mạnh, tuy nhiên

phương pháp này có nhược điểm là cùng một giá trị góc điều khiển α nhưng điện áp trên tải có thể có nhiều giá trị khác nhau (tính không đơn trị - phi tuyến) và xuất hiện thời gian ngừng dòng khi đảo chiều dòng tải, ảnh hưởng xấu đến các chỉ tiêu chất lượng động của phụ tải, nhất là với tải có sức điện động.

2.10. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN BỘ CHỈNH LƯU

2.10.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MẠCH ĐIỀU KHIỂN BỘ CHỈNH LƯU

2.10.1.1. Khái niệm chung

Các sơ đồ chỉnh có điều khiển được xây dựng dựa trên cơ sở sử dụng các dụng cụ bán dẫn công suất có điều khiển. Việc khống chế sự làm việc của các sơ đồ chỉnh lưu để tạo ra điện áp trên tải và điều chỉnh giá trị trung bình của điện áp này thông qua việc điều khiển thời điểm mở khóa của các van (trong sơ đồ chỉnh lưu, trừ một số sơ đồ đặc biệt, phần lớn sơ đồ việc khóa các van được thực hiện bởi điện áp nguồn - chuyển mạch tự nhiên). Các dụng cụ bán dẫn công suất dùng trong các sơ đồ chỉnh lưu có thể là thyristor, triac, transistor, ..., nhưng chủ yếu nhất là thyristor. Để mở van chỉnh lưu, dù thuộc loại nào thì cần có hai điều kiện: Điện áp thuận trên các điện cực chính của van (a nốt - ka tốt hoặc góp - phát) và điện áp hoặc dòng điện điều khiển (thường gọi là tín hiệu điều khiển) trên cực điều khiển. Điện áp trên các điện cực chính của các van trong các sơ đồ chỉnh lưu thông thường là do nguồn cung cấp xoay chiều tạo nên, còn tín hiệu điều khiển sẽ được một mạch điện khác tạo ra. Mạch điện tạo ra các tín hiệu điều khiển các van của sơ đồ chỉnh lưu thường được gọi là mạch điều khiển hay hệ thống điều khiển bộ chỉnh lưu. Một đặc điểm làm việc của bộ chỉnh lưu là trong thời gian một chu kỳ nguồn các van chỉ dẫn dòng một khoảng thời gian nhất định (thường bằng $1/m$ chu kỳ nguồn), trong khoảng thời gian van không dẫn dòng thì thường yêu cầu không có điện áp hoặc dòng điện trên cực điều khiển (một số trường hợp có thể có nhưng với cực tính ngược lại). Điều đó có nghĩa là tín hiệu điều khiển các van phải có dạng là chuỗi các xung, độ dài tùy thuộc vào loại van chỉnh lưu được sử dụng, vì vậy mạch điều khiển chỉnh lưu cũng được gọi là mạch phát xung điều khiển chỉnh lưu. Như đã nêu, các van chỉnh lưu có thể có nhiều loại khác nhau, phổ biến nhất là thyristor, vì vậy trong nội dung của mục 2.4 sẽ chỉ tập trung nghiên cứu về mạch phát xung điều khiển cho sơ đồ chỉnh lưu dùng thyristor.

Điện áp điều khiển các thyristor phải đáp ứng được các yêu cầu cần thiết về công suất, biên độ, độ dốc mặt đầu cũng như thời gian tồn tại. Các thông số cần thiết của tín hiệu điều khiển được cho sẵn trong các tài liệu tra cứu về van. Do đặc điểm của thyristor là khi van đã mở thì việc còn tín hiệu điều khiển nữa hay không không ảnh hưởng đến dòng qua van, vì vậy để hạn chế công suất của mạch phát tín hiệu điều khiển và giảm tổn thất trên vùng điện cực điều khiển người thường tạo ra các tín hiệu điều khiển thyristor có dạng các xung hẹp. Các xung điều khiển được tính toán về độ dài xung sao cho đủ thời gian cần thiết (với một độ dự trữ nhất định) để mở van với mọi loại phụ tải có thể có khi sơ đồ làm việc. Thông thường độ dài xung nằm trong giới hạn từ $200 \mu\text{s}$ đến $600 \mu\text{s}$ ($3,6^0 \div 10,8^0$ điện với tần số nguồn xoay chiều là 50Hz).

Các hệ thống phát xung điều khiển bộ chỉnh lưu có thể phân làm 2 nhóm:

Nhóm các hệ thống điều khiển đồng bộ: Đây là nhóm các hệ thống điều khiển mà các xung điều khiển xuất hiện trên điện cực điều khiển các thyristor đúng thời điểm cần mở van với giá trị xác định của góc điều khiển và lặp đi lặp lại mang tính chu kỳ với chu kỳ thường là bằng chu kỳ nguồn xoay chiều cung cấp cho sơ đồ chỉnh lưu. Nhóm hệ thống điều khiển này đang được sử dụng phổ biến nhất hiện nay. Mục này chỉ nghiên cứu các hệ thống điều khiển thuộc nhóm này.

Nhóm các hệ thống điều khiển không đồng bộ: Các hệ thống điều khiển thuộc nhóm này tạo ra các xung điều khiển không tuân theo giá trị góc điều khiển như đã nêu ở phần trước. Các hệ thống điều khiển này phát ra chuỗi xung điều khiển với tần số thường cao hơn rất nhiều tần số nguồn xoay chiều cung cấp cho sơ đồ chỉnh lưu và trong quá trình làm việc tần số xung được tự động thay đổi để đảm bảo giữ ổn định một đại lượng đầu ra nào đó, ví dụ như U_d hay I_d . Để đạt được điều này thì người ta thực hiện khống chế tần số xung điều khiển theo sai lệch giữa tín hiệu đặt và tín hiệu ra thực tế của đại lượng cần ổn định. Như vậy các hệ thống phát xung loại này buộc phải thực hiện ở dạng hệ thống có phản hồi, tức là hệ thống kín. Các hệ thống điều khiển này tương đối phức tạp và ở đây sẽ không xét.

2.10.1.2. Các hệ thống điều khiển đồng bộ

Các mạch phát xung điều khiển bộ chỉnh lưu theo nguyên lý các hệ thống điều khiển đồng bộ hiện nay vẫn được sử dụng phổ biến. Bên cạnh các mạch được xây dựng từ các linh kiện đơn lẻ hoặc tổ hợp, các hệ thống điều khiển mới thường sử dụng các hệ vi xử lý để phát xung điều khiển các bộ chỉnh lưu. Các mạch phát xung sử dụng các linh kiện rời được thiết kế dựa trên ba nguyên tắc:

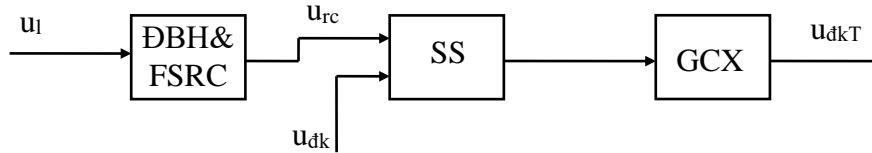
- Hệ thống điều khiển chỉnh lưu theo nguyên tắc khống chế pha đứng;
- Hệ thống điều khiển chỉnh lưu theo nguyên tắc khống chế pha ngang;
- Hệ thống điều khiển chỉnh lưu dùng đi-ốt hai cực góc (transistor một tiếp giáp).

Trong thực tế, nguyên tắc khống chế pha ngang trước đây cũng được sử dụng, nhưng hiện nay hầu như không còn được áp dụng, mạch điều khiển dùng đi-ốt hai cực góc hiện nay cũng chỉ còn tồn tại ở một số hệ thống cũ, sử dụng phổ biến và chủ yếu hiện nay là các mạch phát xung theo nguyên tắc khống chế pha đứng. Các linh kiện tổ hợp được sản xuất theo công nghệ vi điện tử dùng để phát xung điều khiển cho bộ chỉnh lưu cũng được thiết kế theo nguyên tắc khống chế pha đứng, các hệ thống điều khiển sử dụng linh kiện số và các hệ thống điều khiển sử dụng hệ vi xử lý cũng được xây dựng dựa trên nền tảng của nguyên tắc khống chế này.

2.10.2. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THEO NGUYÊN TẮC KHỐNG CHẾ PHA ĐỨNG

2.10.2.1. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển theo nguyên tắc khống chế pha đứng

Mạch phát xung điều khiển các bộ chỉnh lưu theo nguyên tắc pha đứng có thể phân chia thành 3 khối chức năng khác nhau như sơ đồ hình 2.47. Trong đó gồm:



Hình 2.47: Sơ đồ khối hệ thống điều khiển bộ chỉnh lưu theo nguyên tắc khống chế pha đứng

- Khối đồng bộ hóa và phát điện áp răng cưa (ĐBH&FSRC).
- Khối so sánh (SS).
- Khối gia công xung (TX).

- u_l : là điện áp lưới (nguồn) xoay chiều cung cấp cho sơ đồ chỉnh lưu.

- u_{rc} : điện áp tựa thường có dạng hình răng cưa lấy từ đầu ra khỏi ĐBH&FSRC.

- u_{dk} : điện áp điều khiển, đây là điện áp một chiều dùng để điều khiển giá trị góc α .

- u_{dkT} : điện áp điều khiển thyristor, là chuỗi các xung điều khiển lấy từ đầu ra hệ thống điều khiển (cũng là đầu ra của khối GCX) và được truyền đến điện cực điều khiển (G) và ka tốt (K) của các thyristor.

Nguyên lý hoạt động cơ bản của hệ thống điều khiển theo nguyên tắc pha đứng có thể tóm tắt như sau:

Tín hiệu điện áp cung cấp cho mạch động lực bộ chỉnh lưu được đưa đến mạch đồng bộ hóa của khối ĐBH&FSRC và trên đầu ra của mạch đồng bộ nhận được các điện áp thường có dạng hình sin với tần số bằng tần số điện áp nguồn cung cấp cho sơ đồ chỉnh lưu và trùng pha hoặc lệch một góc pha xác định so với điện áp nguồn. Điện áp này được gọi là điện áp đồng bộ và ký hiệu là u_{db} . Các điện áp đồng bộ được đưa vào mạch tạo điện áp tựa (điện áp tựa có thể có dạng hình răng cưa hoặc hình sin, nhưng phổ biến nhất là dạng hình răng cưa, trong mục này chỉ nghiên cứu trường hợp điện áp tựa dạng hình răng cưa), để khống chế sự làm việc của mạch điện này, kết quả là trên đầu ra mạch phát điện áp răng cưa nhận được một hệ thống các điện áp dạng hình răng cưa đồng bộ về tần số và góc pha với các điện đồng bộ, được gọi là điện áp răng cưa và ký hiệu là u_{rc} . Các điện áp răng cưa được đưa vào đầu vào khối SS, trên đầu vào khối SS còn có một tín hiệu khác là điện áp điều khiển một chiều điều chỉnh được (u_{dk}) được đưa từ ngoài vào, hai tín hiệu này được mắc với cực tính sao cho tác động của chúng lên mạch vào khối SS là ngược chiều nhau. Khối SS làm nhiệm vụ so sánh hai tín hiệu này và tại những thời điểm hai tín hiệu này có giá trị tuyệt đối bằng nhau thì đầu ra khối SS sẽ thay đổi trạng thái, tức là tạo ra một xung. Như vậy khối SS là một mạch điện hoạt động theo nguyên tắc biến đổi tương tự-số. Tín hiệu ra của mạch SS là dạng tín hiệu số: có hoặc không có. Tín hiệu trên đầu ra khối SS là các xung xuất hiện với chu kỳ bằng chu kỳ của u_{rc} , nếu thời điểm bắt đầu xuất hiện của một xung nằm trong vùng sườn xung nào của u_{rc} thì sườn xung ấy của u_{rc} được gọi là sườn sử dụng. Điều này có nghĩa rằng: Tại thời điểm $|u_{rc}| = |u_{dk}|$ ở phần sườn sử dụng trong một chu kỳ của điện áp răng cưa thì trên đầu ra khối SS sẽ bắt đầu xuất hiện một xung điện áp.

Như vậy, có thể thay đổi thời điểm xuất hiện của xung đầu ra khỏi SS bằng cách thay đổi giá trị của u_{dk} khi giữ nguyên dạng u_{rc} . Trong một số ít trường hợp đặc biệt, khi các thyristor có công suất rất bé và không yêu cầu cao về độ chính xác thời điểm mở van thì xung ra từ khối SS được đưa trực tiếp đến cực điều khiển của thyristor để điều khiển mở thyristor. Trong đa số các trường hợp thì tín hiệu ra khỏi so sánh chưa đủ các yêu cầu cần thiết đối với tín hiệu điều khiển thyristor, để có tín hiệu đủ yêu cầu cần phải thực hiện việc khuếch đại, thay đổi lại hình dạng của xung, v.v.,..., các nhiệm vụ này được thực hiện bởi một mạch điện gọi là mạch gia công xung (GCX), cuối cùng trên đầu ra khỏi GCX nhận được chuỗi xung điều khiển (u_{dkT}) có đủ các thông số yêu cầu về công suất, độ dài, độ dốc mặt đầu, v.v.,... và được truyền đến cực điều khiển thyristor để điều khiển mở thyristor. Mặc dù phải qua các phần khác nhau của khối GCX nhưng thời điểm bắt đầu xuất hiện của xung không thay đổi, nên dù là truyền trực tiếp xung đầu ra khỏi SS đến cực điều khiển của thyristor hay phải qua khâu GCX thì thời điểm bắt đầu xuất hiện của các xung trên cực điều khiển của thyristor hoàn toàn trùng với thời điểm xuất hiện xung trên đầu ra khỏi SS. Vậy thời điểm xuất hiện của tín hiệu điều khiển trên điện cực điều khiển và ka tốt của thyristor chính cũng là thời điểm xuất hiện xung đầu ra khỏi SS, tức là khối SS đóng vai trò xác định giá trị góc điều khiển α . Như đã nêu ở trên, có thể thay đổi thời điểm xuất hiện xung ra khỏi SS bằng cách thay đổi giá trị u_{dk} . Vậy, điều khiển giá trị u_{dk} sẽ điều khiển được giá trị góc điều khiển α .

Trong sơ đồ chỉnh lưu sử dụng nhiều thyristor, để tạo ra các tín hiệu điều khiển khác nhau phục vụ cho nhiều van, trong hệ thống điều khiển thường áp dụng 2 phương pháp:

- Sử dụng nhiều mạch phát xung giống hệt nhau, trong mỗi mạch đều có các khối giống nhau và chúng chỉ khác nhau tín hiệu điện áp lưới (khác pha) đặt vào mạch đồng bộ. Mỗi mạch phát xung được dùng để phát xung điều khiển cho một van hoặc một số van mắc nối tiếp hoặc song song. Mạch điều khiển loại này được gọi là mạch (hệ thống) nhiều kênh, mỗi phần mạch phát xung cho một van được gọi là một kênh điều khiển.

- Sử dụng chung một mạch đồng bộ, một mạch tạo điện áp răng cưa, một khối so sánh, như vậy xung ở đầu ra khỏi SS thường có tần số gấp n lần tần số nguồn (n thường bằng q). Lúc đó để có n đường xung khác nhau với tần số bằng tần số nguồn thì trong khối GCX phải có thêm một mạch điện làm nhiệm vụ phân chia xung chuỗi xung đầu ra khỏi SS thành n chuỗi xung riêng biệt. Mạch điều khiển loại này được gọi là mạch điều khiển một kênh (chỉ có một khối so sánh). Loại mạch điều khiển này tuy phức tạp hơn nhiều so với loại nhiều kênh nhưng xung điều khiển ở các van có độ đối xứng cao (giá trị góc điều khiển các van giống nhau) nên cũng thường được sử dụng, nhất là khi có yêu cầu cao về chất lượng đối với bộ chỉnh lưu.

Trong thực tế, như đã nêu, việc xây dựng hệ thống điều khiển một kênh cho sơ đồ chỉnh lưu nhiều pha là khá phức tạp, nhưng việc yêu cầu sự giống nhau về giá trị góc điều khiển của các van, đặc biệt là hai van cùng một pha của chỉnh lưu cầu nhiều pha (thường là 3 pha), có thể sử dụng kết hợp cả hai phương pháp trên: với hai van cùng một pha sử dụng

chung một mạch đồng bộ hóa và tạo điện áp răng cưa và một mạch so sánh (một kênh), các van của các pha khác nhau thì sử dụng các mạch tương ứng khác nhau.

Sau đây sẽ xét chi tiết các phần mạch điện của hệ thống điều khiển theo nguyên tắc không chế pha đúng. Tạm thời nghiên cứu đối với hệ thống điều khiển nhiều kênh và chỉ cần xét một kênh, các kênh còn lại tương tự.

2.10.2.2. Khối đồng bộ hóa và phát sóng răng cưa

Phần mạch điện của khối này, theo chức năng làm việc có thể chia làm hai khâu: đồng bộ hóa và tạo điện áp răng cưa.

Để tạo ra một hệ thống các xung xuất hiện lặp đi lặp lại với chu kỳ bằng chu kỳ nguồn xoay chiều cung cấp cho sơ đồ chỉnh lưu và điều khiển được thời điểm xuất hiện của chúng trong mỗi chu kỳ, các nghiên cứu đã chỉ ra rằng: tốt nhất là sử dụng các mạch phát xung mà một trong các tín hiệu điều khiển nó là tín hiệu cũng biến đổi một cách chu kỳ với chu kỳ như của tín hiệu ra, tín hiệu được gọi chung là tín hiệu tựa (điện áp tựa) và dạng hay được sử dụng nhất là dạng hình răng cưa. Vì vậy, cần phải có mạch điện để tạo ra các điện áp răng cưa và được gọi là mạch phát sóng răng cưa (FSRC). Mặt khác, kỹ thuật điện-điện tử cũng chỉ ra rằng để có điện áp dạng răng cưa có tần số và thời điểm đầu của mỗi xung răng cưa phù hợp với tần số và góc pha của nguồn xoay chiều cung cấp cho sơ đồ chỉnh lưu thì tốt nhất là sử dụng các sơ đồ tạo điện áp răng cưa được điều khiển bởi điện áp biến thiên cùng tần số. Dạng của điện áp điều khiển mạch tạo điện áp răng cưa có thể bất kỳ, trong mạch điều khiển chỉnh lưu thì thường sử dụng dạng hình sin hoặc chuỗi xung chữ nhật. Để có các điện áp này người ta sử dụng một mạch điện được gọi là mạch đồng bộ hóa (cũng gọi là mạch đồng bộ) và điện áp ra của mạch đồng bộ gọi là điện áp đồng bộ, ký hiệu là u_{db} .

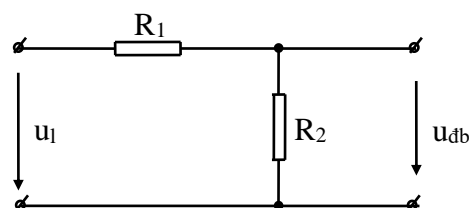
a. Mạch đồng bộ hóa

Để tạo ra điện áp đồng bộ đảm bảo yêu cầu đặt ra người ta thường sử dụng hai kiểu mạch đơn giản:

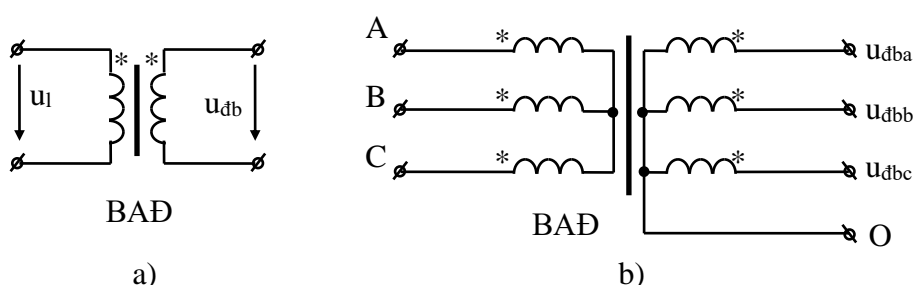
- Mạch phân áp bằng các điện trở (hình 2.48) hoặc bằng điện trở kết hợp điện dung hay điện cảm.

Trong mạch đồng bộ này điện áp đầu vào là điện áp lưới điện xoay chiều cung cấp cho sơ đồ chỉnh lưu,

điện áp ra cũng là điện áp xoay chiều hình sin cùng tần số trùng hoặc lệch một góc pha xác



Hình 2.48



Hình 2.49: Mạch đồng bộ hóa một pha (a), ba pha (b)

định. Kiểu mạch đồng bộ này ít được sử dụng vì có sự liên hệ trực tiếp về điện giữa mạch đồng lực và mạch điều khiển bộ chỉnh lưu.

- Mạch đồng bộ dùng máy biến áp (hình 2.49). Trong các sơ đồ này, sử dụng một máy biến áp công suất nhỏ thường là máy biến áp hạ áp để tạo ra điện áp đồng bộ. Điện áp lưới u_1 được đặt vào cuộn sơ cấp, còn bên thứ cấp ta lấy ra điện áp đồng bộ $u_{đb}$. Máy biến áp để tạo ra điện áp đồng bộ được gọi là máy biến áp đồng bộ và ký hiệu là BAĐ, nó có thể là loại một pha (a), hoặc nhiều pha tùy theo sơ đồ chỉnh lưu cụ thể.

b. Mạch phát sóng răng cưa

Để tạo ra điện áp dạng răng cưa làm vai trò điện áp tựa cho mạch điều khiển các van bộ chỉnh lưu có thể có rất nhiều sơ đồ khác nhau. Trong thời gian đầu, khi các bộ chỉnh lưu thyristor mới ra đời, giá thành các linh kiện bán dẫn tích cực còn rất cao, vì vậy các mạch tạo điện áp răng cưa thường sử dụng các dụng cụ đơn giản, giá thành thấp (các đi ốt) vì vậy chất lượng điện áp răng cưa cũng thấp. Với sự phát triển rất nhanh của công nghệ sản xuất các linh kiện bán dẫn và vi điện tử, hiện nay các mạch tạo điện áp răng cưa thường sử dụng các linh kiện tích cực như transistor hoặc khuếch đại thuật toán (KĐTT).

- Sơ đồ mạch phát sóng răng cưa dùng transistor và các phần tử thụ động khác

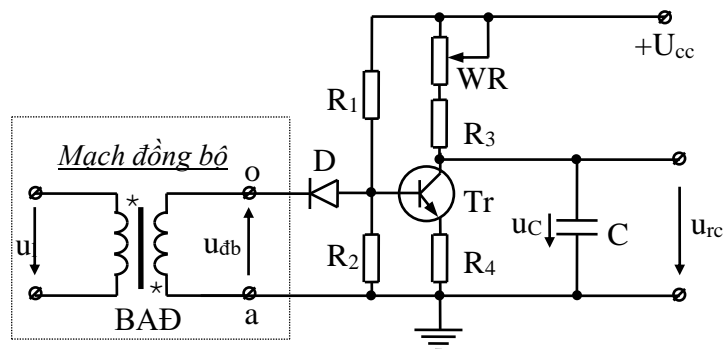
⊕ Giới thiệu sơ đồ:

Sơ đồ nguyên lý một mạch tạo điện áp răng cưa đơn giản dùng transistor được minh họa trên hình 2.50, trong sơ đồ có:

- BAĐ là máy biến áp đồng bộ để tạo ra tín hiệu đồng bộ hóa.
- Transistor Tr, đi ốt D, tụ điện C, các điện trở R_1, R_2, R_3, R_4 và biến trở WR là các phần tử của mạch phát điện áp răng cưa.
- Điện áp nguồn xoay chiều cấp cho sơ đồ chỉnh lưu u_1 , điện áp đồng bộ $u_{đb}$, điện áp một chiều cung cấp cho sơ đồ tạo sóng răng cưa U_{cc} , điện áp đầu ra của sơ đồ u_{rc} được ký hiệu như hình vẽ.

⊕ Nguyên lý làm việc:

Giả thiết rằng: thời điểm $\omega t = 0$ là thời điểm đầu một nửa chu kỳ dương của $u_{đb}$ ($u_{đb} = 0$ và bắt đầu chuyển sang dương) và tại $\omega t = 0$ điện áp trên tụ C đang bằng không ($u_c = 0$).



Hình 2.50: Sơ đồ nguyên lý mạch tạo điện áp răng cưa đơn giản dùng transistor

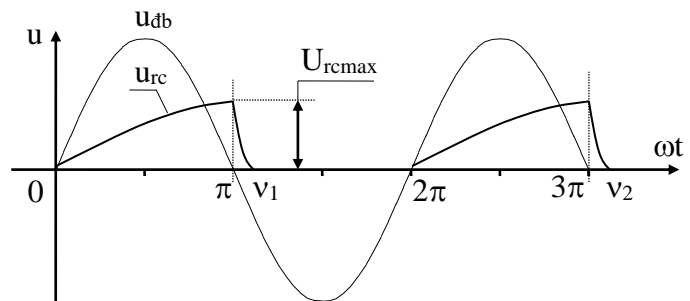
Như vậy, khi $\omega t > 0$ thì $u_{đb} > 0$ (điểm a dương hơn điểm

o) nên đi ốt D được đặt điện áp thuận, D sẽ mở dẫn đến sẽ có dòng điện từ cuộn thứ cấp BAĐ đi qua R_2 và D, nếu bỏ qua sụt điện áp rất nhỏ trên cuộn dây máy biến áp đồng bộ hóa và trên đi ốt D thì trên R_2 được đặt điện áp bằng toàn bộ s.đ.đ. thứ cấp BAĐ, tức là

u_{db} . Điện sụt trên R_2 lúc này có thể dương đặt vào cực phát Tr, còn thế âm đặt vào cực gốc Tr, do vậy mạch gốc-phát transistor của Tr bị đặt điện áp ngược và Tr khóa (không có dòng cực góp). Tr khóa thì tụ C được nạp từ nguồn một chiều cung cấp U_{cc} có giá trị ổn định qua điện trở R_3 và biến trở WR. Điện áp trên tụ tăng dần theo biểu thức sau:

$$u_C = U_{cc}(1 - e^{-t/\tau}) \text{ với } \tau = (R_3 + WR).C \text{ là hằng số thời gian mạch nạp của tụ.}$$

Đến $\omega t = \pi$ thì điện áp đồng bộ $u_{db} = 0$ và bắt đầu chuyển sang nửa chu kỳ âm (điểm a trở nên âm hơn điểm o). Điốt D bị đặt điện áp ngược và khóa lại do vậy điện áp đồng bộ không còn tác động đến mạch gốc-phát của Tr nữa, lúc này dưới tác động của nguồn cung cấp một chiều qua điện trở định thiên



Hình 2.51: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc sơ đồ hình 2.50

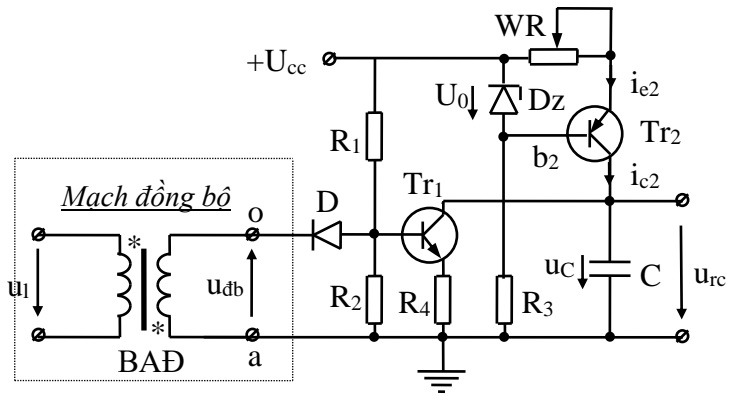
R_1 trong mạch định thiên theo kiểu phân áp gồm R_1 và R_2 nên Tr mở. Tr mở thì tụ C ngừng nạp và bắt đầu phóng điện qua mạch góp-phát của transistor Tr và điện trở bảo vệ transistor là R_4 (thường có giá trị rất nhỏ, từ 3 đến 100Ω tùy sơ đồ cụ thể). Các điện trở R_1 , R_2 được tính chọn sao cho Tr mở bảo hòa với điện trở tổng mạch cực góp là $R_3 + WR$ khi D khóa. Tụ điện C sẽ ngừng phóng khi điện áp trên tụ giảm xuống bằng sụt điện áp bảo hòa của Tr cộng với sụt áp trên R_4 gây nên bởi dòng mở bảo hòa của Tr: $u_{R4} \approx U_{cc} \cdot R_4 / (R_3 + WR)$. Sụt điện áp bảo hòa trên một transistor mở rất nhỏ nên ta có thể bỏ qua, mặt khác do việc chọn $R_4 \ll (WR + R_3)$ nên cũng có thể bỏ qua sụt áp trên R_4 (tức là $u_{R4} = 0$). Như vậy thì tụ C sẽ phóng đến điện áp bằng không (tại $\omega t = v_1$) và do Tr vẫn mở nên điện áp trên tụ giữ nguyên giá trị bằng không cho đến thời điểm $\omega t = 2\pi$. Tại $\omega t = 2\pi$ thì $u_{db} = 0$ và lại bắt đầu chuyển sang dương, điốt D lại được đặt điện áp thuận nên lại mở và Tr lại khóa, do vậy tụ C lại được nạp tương tự như từ $\omega t = 0$ và sự làm việc của sơ đồ lặp lại như chu kỳ vừa xét. Điện áp trên tụ C cũng chính là điện áp răng cưa đầu ra u_{rc} và có dạng như trên hình 2.51. Biên độ điện áp răng cưa không phụ thuộc vào biên độ điện áp đồng bộ mà được điều chỉnh nhờ biến trở WR, dạng điện áp ra khá gần với hình răng cưa nếu lựa chọn hằng số thời gian nạp tụ τ đủ lớn, độ dài sườn trước (giai đoạn nạp tụ) bằng 180° điện. Với sơ đồ này sườn sử dụng của u_{rc} là phần sườn trước. Để sườn sử dụng có dạng đường thẳng (tuyến tính) thuận lợi cho việc tính toán góc điều khiển, có thực hiện nạp tụ bởi nguồn dòng không đổi như sơ đồ sau (hình 2.52).

- Sơ đồ mạch phát sóng răng cưa dùng transistor, nạp tụ bởi dòng không đổi

⊕ Giới thiệu sơ đồ:

Sơ đồ nguyên lý mạch điện được minh họa trên hình 2.52. Phần đầu của sơ đồ tương tự như sơ đồ hình 2.50, ngoài ra, để đảm bảo trong quá trình nạp, tụ điện C được nạp với giá trị dòng không đổi, trong sơ đồ sử dụng một mạch tạo nguồn dòng dùng các phần tử

Tr_2 , điốt ổn áp Dz có giá trị điện áp ổn định là U_0 ($U_0 < U_{cc}$), điện trở R_3 và biến trở WR. Ở sơ đồ này, Tr_1 đảm nhận vai trò như của Tr ở sơ đồ hình 2.50. Các dòng điện i_{e2} , i_{c2} là dòng cực phát, cực góp của Tr_2 .



Hình 2.52: Sơ đồ nguyên lý mạch tạo điện áp rỗng dùng transistor, nạp tụ bằng dòng không đổi

⊕ Nguyên lý làm việc:

Nguyên lý của mạch tạo ra dòng điện không đổi (ồn dòng) dùng Tr_2 , Dz, R_3 và WR:

Từ sơ đồ có thể suy ra biểu thức điện áp giữa cực phát và cực gốc của Tr_2 (u_{eb2}):

$$u_{eb2} = U_0 - i_{e2}R_{WR}, \quad (R_{WR} \text{ là giá trị điện trở của biến trở WR})$$

Do sụt điện áp giữa cực phát và cực gốc của một transistor hầu như không thay đổi khi dòng cực gốc thay đổi, có thể xem: $u_{eb2} = A = \text{const}$.

Vậy:

$$i_{e2} = \frac{U_0 - u_{eb2}}{R_{WR}} = I = \text{const} \quad (2.122)$$

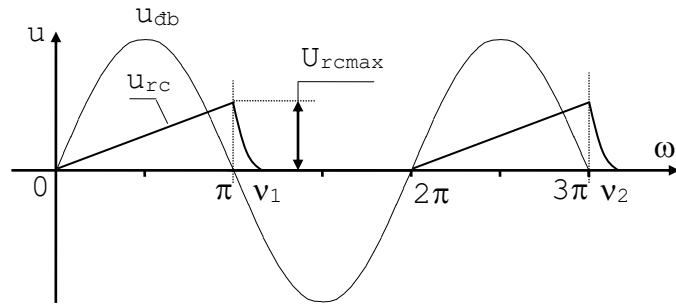
Mặt khác, với các transistor có hệ số khuếch đại dòng điện đủ lớn thì dòng cực góp xấp xỉ bằng dòng cực phát, tức là $i_{c2} \approx i_{e2} = I$, có nghĩa là dòng điện qua cực góp Tr_2 có giá trị không đổi. Như vậy, với mạch điện như đã nêu, cho phép tạo ra một dòng điện không đổi (i_{c2}), không phụ thuộc vào sự thay đổi đặc tính tải trong một phạm vi nào đó.

Nguyên lý làm việc chung của mạch: Giả thiết thời điểm $\omega t = 0$ là thời điểm đầu một nửa chu kỳ dương của điện áp đồng bộ và tại $\omega t = 0$ điện áp trên tụ C đang bằng không. Vậy sau thời điểm $\omega t = 0$ thì $u_{db} > 0$ (điểm a dương hơn điểm o) nên điốt D được đặt điện áp thuận, D sẽ mở, như đã phân tích đối với sơ đồ hình 2.50, Tr_1 sẽ khóa. Transistor Tr_1 khóa thì tụ C được nạp điện bởi dòng cực góp Tr_2 có giá trị không đổi I, biểu thức điện áp trên tụ là:

$$u_C = \frac{1}{C} \int_0^t i_C dt = \frac{1}{C} \int_0^t I dt = \frac{I}{C} \int_0^t dt = \frac{It}{C} \quad (2.123)$$

Theo (2.123), điện áp trên tụ tăng dần theo quy luật tuyến tính. Đến $\omega t = \pi$ thì điện áp đồng bộ $u_{db} = 0$ và bắt đầu chuyển sang nửa chu kỳ âm (điểm a sẽ trở nên âm hơn điểm O), điốt D bị đặt điện áp ngược và khóa lại do vậy điện áp đồng bộ không còn tác động đến mạch gốc-phát của Tr_1 nữa, lúc này dưới tác động của nguồn cung cấp một chiều qua điện trở định thiên R_1 trong mạch định thiên theo kiểu phân áp gồm R_1 và R_2 mà Tr_1 mở. Khi Tr_1 mở thì tụ ngừng nạp và bắt đầu phóng điện qua mạch góp-phát của transistor Tr_1 và

điện trở bảo vệ transistor là R_4 , các điện trở R_1 , R_2 và Tr_1 lựa chọn sao cho Tr_1 mở bão hòa với dòng điện cực góp là I . Tương tự như trường hợp trước, tụ C sẽ phóng đến điện áp xấp xỉ bằng không và giữ nguyên giá trị đó cho đến hết nửa chu kỳ âm của $u_{đb}$. Đến $\omega t = 2\pi$ thì $u_{đb} = 0$ và lại



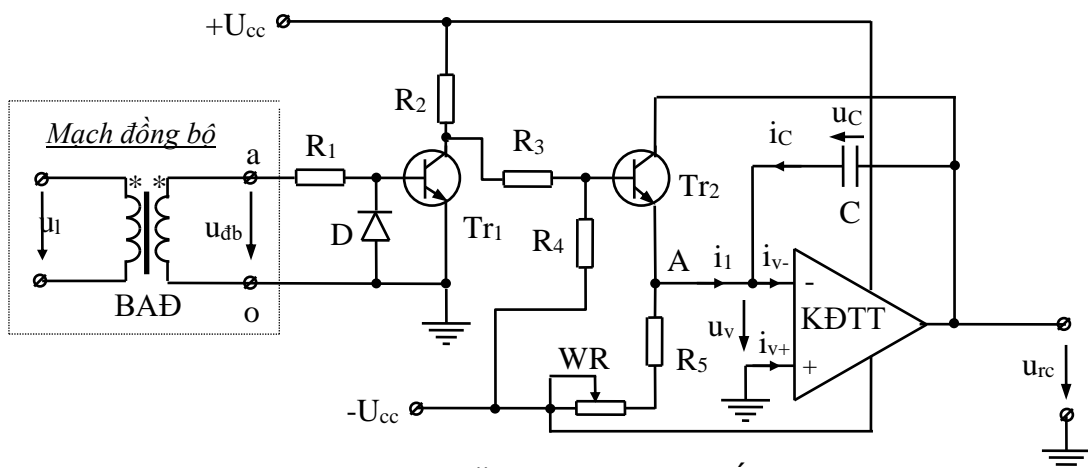
Hình 2.53: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc sơ đồ hình 2.52

bắt đầu chuyển sang nửa chu kỳ dương, điốt D lại được đặt điện áp thuận và mở, Tr_1 lại khóa, do vậy tụ C lại được nạp tương tự như từ $\omega t = 0$ và sự làm việc của sơ đồ lặp lại như chu kỳ vừa xét. Điện áp trên tụ C cũng chính là điện áp răng cưa đầu ra u_{rc} và có dạng như trên hình 2.53. Biên độ điện áp răng cưa không phụ thuộc vào biên độ điện áp đồng bộ mà phụ thuộc giá trị dòng nạp tụ I và được điều chỉnh bởi biến trở WR , dạng điện áp ra rất gần với hình răng cưa lý tưởng và độ dài sườn trước cũng bằng đến 180° điện. Với sơ đồ này sườn sử dụng của u_{rc} cũng là phần sườn trước.

- Sơ đồ mạch phát sóng răng cưa dùng vi mạch khuếch đại thuật toán (KĐTT)

⊕ Giới thiệu sơ đồ:

Sơ đồ nguyên lý mạch điện được biểu diễn trên hình 2.54. Sơ đồ gồm có máy biến áp đồng bộ BAĐ (thuộc khâu đồng bộ hóa) và mạch tạo điện áp răng cưa. Phần mạch tạo điện áp răng cưa sử dụng khuếch đại thuật toán KĐTT để tạo ra dòng nạp tụ không đổi, ngoài ra còn có các phần tử khác như điốt D , các transistor Tr_1 và Tr_2 , các điện trở $R_1 \div R_5$ và biến trở WR , tụ điện C .



Hình 2.54: Mạch tạo điện áp răng cưa dùng khuếch đại thuật toán

⊕ Nguyên lý làm việc:

Nguyên lý của mạch tạo ra dòng điện không đổi để nạp tụ C (i_c):

Để thực hiện chức năng trên, trong sơ đồ này sử dụng khuếch đại thuật toán KĐTT ghép với tụ C , các điện trở R_5 và WR thành một mạch tích phân. Nguyên lý hoạt động của

mạch này như sau: Giả thiết Tr_2 khóa thì tụ C được nạp bởi dòng đầu ra của KĐTT, từ sơ đồ, dòng nạp tụ được xác định:

$$i_C = -i_1 + i_{v-} \quad (\text{các dòng điện được quy ước như trên sơ đồ})$$

Giả thiết KĐTT là lý tưởng thì điện trở vào của nó bằng vô cùng, và hệ số khuếch đại vòng hở cũng là vô cùng lớn, nên khi KĐTT làm việc ở chế độ khuếch đại tuyến tính thì điện áp trên đầu vào cũng bằng không và điểm A trên sơ đồ được coi như nối mát (nối mát ảo), tức là:

$$i_{v+} = i_{v-} = 0; \quad u_v = 0; \quad \text{nên: } i_1 = \frac{-U_{cc}}{R_{WR} + R_5} = -I = \text{const}$$

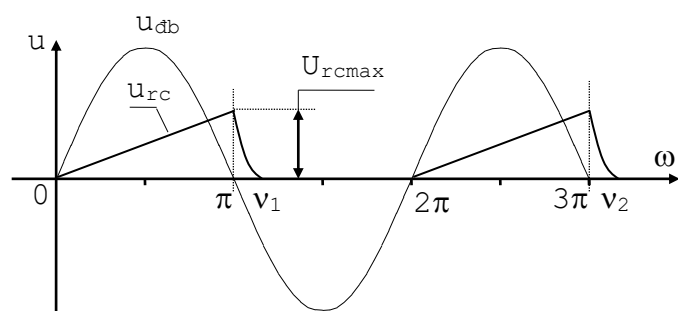
Từ đó suy ra:

$$i_C = -i_1 + i_{v-} = -i_1 = I = \text{const}$$

Tức là khi Tr_2 khóa thì tụ C được nạp bởi dòng không đổi, điện áp trên tụ tăng tuyến tính theo thời gian.

Nguyên lý làm việc chung của sơ đồ: Giả thiết thời điểm $\omega t = 0$ thì điện áp trên tụ C bằng 0 và $u_{db} = 0$ và bắt đầu chuyển sang nửa chu kỳ dương, dẫn đến Tr_1 mở bão hòa, sụt điện áp giữa cực góp và phát của Tr_1 giảm về xấp xỉ bằng không. Tác dụng lên cực gốc của Tr_2 (tức là mạch góp-phát của Tr_2) có hai điện áp là điện áp góp-phát Tr_1 thông qua điện trở R_3 và điện áp $-U_{cc}$ thông qua R_4 (thường chọn $R_3 \ll R_4$), do khi Tr_1 mở bão hòa, điện áp góp-phát của Tr_1 xấp xỉ bằng không nên tác dụng lên cực gốc Tr_2 chủ yếu do $-U_{cc}$ làm cho cực gốc Tr_2 có điện thế âm ($u_{be2} < 0$) nên Tr_2 khóa, tụ điện C được nạp bởi dòng không đổi I, điện áp trên tụ tăng dần theo quy luật tuyến tính (trương tự biểu thức 2.123). Đến $\omega t = \pi$, $u_{db} = 0$ và bắt đầu chuyển sang âm, D mở, Tr_1 khóa, điện áp trên cực góp Tr_1 tăng lên, lúc này tác động lên cực gốc Tr_2 có điện áp $+U_{cc}$ thông qua hai điện trở R_2 và R_3 mắc nối tiếp và điện áp $-U_{cc}$ thông qua điện trở R_4 , do $R_4 \gg (R_2 + R_3)$ nên cực gốc Tr_2 dương, Tr_2 mở và tụ C phóng điện nhanh qua Tr_2 đến điện áp bằng không và giữ nguyên giá trị bằng không cho đến $\omega t = 2\pi$. Tại $\omega t = 2\pi$, điện áp đồng bộ bằng không và bắt đầu chuyển sang dương, Tr_1 lại mở, Tr_2 lại khóa, tụ C lại được nạp điện như từ $\omega t = 0$.

Với giả thiết KĐTT là lý tưởng, khi KĐTT đang ở chế độ khuếch đại tuyến tính thì điểm A tương đương nối mát, tức là điện áp rãnh của đầu ra của sơ đồ bằng điện áp trên tụ C ($u_{rc} = u_C$). Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc và dạng điện áp rãnh của đầu ra của sơ đồ được biểu diễn trên hình 2.55.



Hình 2.55: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc sơ đồ hình 2.54

Do điện áp răng cưa là điện áp ra của KĐTT nên có nội trở rất nhỏ, vì vậy dạng điện áp ra hầu như không phụ thuộc vào tải mắc ở đầu ra mạch phát sóng răng cưa, đây là ưu điểm vượt trội của sơ đồ dùng KĐTT so với sơ đồ dùng transistor. Với sơ đồ này dung lượng tụ C chỉ cần rất nhỏ (thường chọn khoảng 220nF), vì vậy chọn tụ dễ dàng, mặt khác tụ phóng rất nhanh nhưng vẫn an toàn cho transistor Tr₂ và điện áp ra rất gần với dạng răng cưa lý tưởng.

2.10.2.3. Khâu so sánh

Để tạo ra một hệ thống các xung xuất hiện một cách chu kỳ với chu kỳ bằng chu kỳ điện áp răng cưa (cũng là chu kỳ nguồn xoay chiều cung cấp cho sơ đồ chỉnh lưu) và điều khiển được thời điểm xuất hiện của mỗi xung ta sử dụng các mạch so sánh. Có thể thực hiện khâu so sánh theo nhiều mạch khác nhau nhưng phổ biến nhất hiện nay là các sơ đồ dùng transistor và dùng bộ khuếch đại thuật toán bằng vi điện tử. Trong các sơ đồ mạch so sánh thường có hai tín hiệu vào là điện áp răng cưa lấy từ đầu ra khâu ĐBH-FSRC (u_{rc}) và điện áp điều khiển một chiều ($u_{đk}$). Hai điện áp này được mắc sao cho tác dụng của chúng đối với đầu vào khâu so sánh là ngược chiều nhau. Có hai cách nối các điện áp này trên đầu vào mạch so sánh:

- Mắc nối nối tiếp u_{rc} và $u_{đk}$, được gọi là tổng hợp nối tiếp.

- Mắc song song u_{rc} và $u_{đk}$ qua các điện trở tổng hợp, được gọi là tổng hợp song song.

Mỗi phương pháp tổng hợp tín hiệu có ưu nhược điểm riêng, sẽ được tổng kết vào cuối tiểu mục này.

a. Các sơ đồ mạch so sánh thường sử dụng

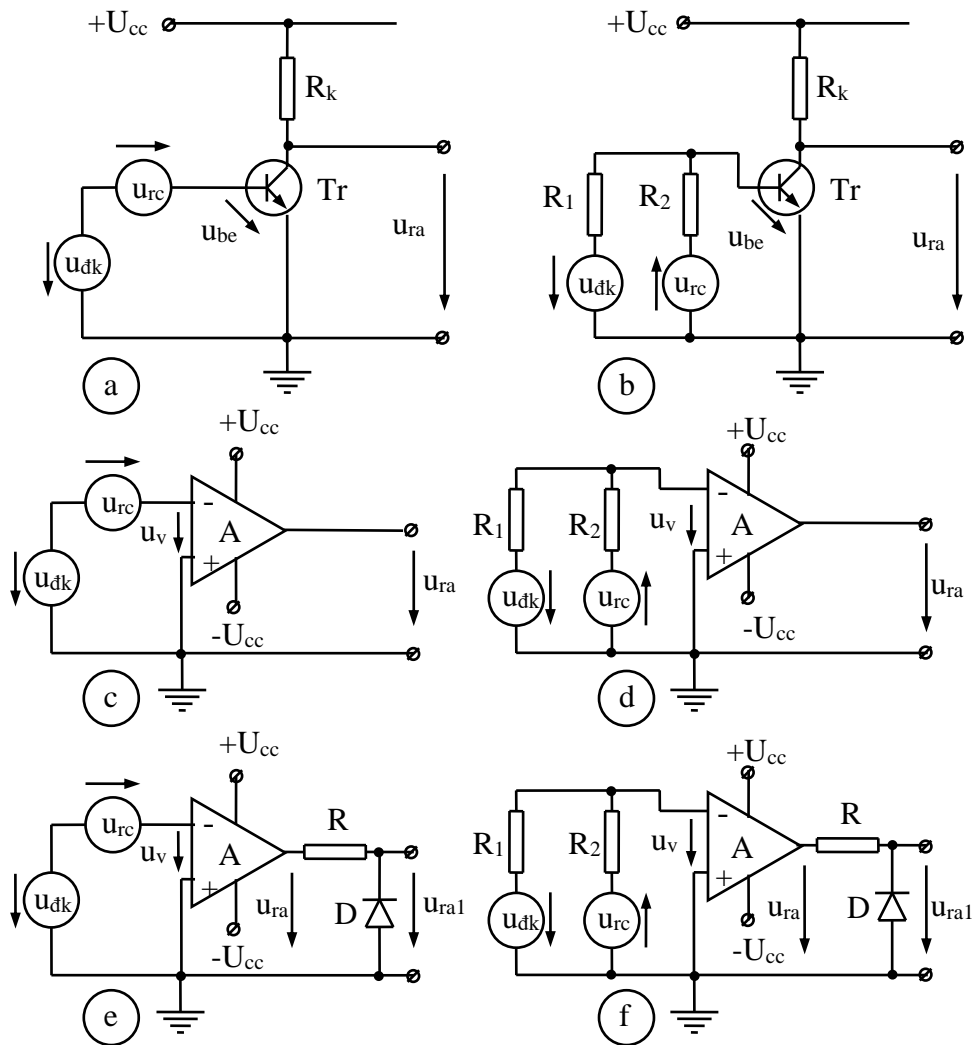
Trên hình 2.56 biểu diễn một số sơ đồ mạch điện khâu so sánh thường dùng sử dụng transistor và khuếch đại thuật toán. Hình 2.56a là sơ đồ dùng transistor thực hiện tổng hợp tín hiệu kiểu nối tiếp, hình 2.56b là sơ đồ dùng transistor thực hiện tổng hợp tín hiệu kiểu song song, hình 2.56c là sơ đồ dùng IC khuếch đại thuật toán (A) thực hiện tổng hợp tín hiệu kiểu nối tiếp, hình 2.56d là sơ đồ dùng IC khuếch đại thuật toán (A) thực hiện tổng hợp tín hiệu kiểu song song, các hình 2.56e và f là các sơ đồ hình 2.56c và d có bổ sung một số phần tử (điện trở R và đi ốt D) để có dạng điện áp đầu ra giống như các sơ đồ dùng transistor. Trên các sơ đồ đều giả thiết là các điện áp răng cưa và điện áp điều khiển đều có dạng một cực tính và các quy ước chiều trên hình vẽ ứng với các điện áp có giá trị dương.

b. Nguyên lý làm việc của các sơ đồ

- Nguyên lý làm việc sơ đồ dùng transistor (hình 2.56a, b)

Giả sử điện áp răng cưa và điện áp điều khiển có dạng như hình 2.57a. Từ sơ đồ và đồ thị các điện áp u_{rc} và $u_{đk}$ có thể thấy: Từ $\omega t = 0 \div \omega t < v_1$, điện áp góc-phát (u_{be}) của Tr có giá trị dương (với sơ đồ hình 2.56a: $u_{be} = u_{đk} - u_{rc}$, trong khoảng này $u_{đk} > u_{rc}$) dẫn đến Tr mở, giả thiết Tr mở bão hòa, điện áp giữa cực góp và cực phát của Tr xấp xỉ bằng không. Từ $\omega t = v_1 \div v_1'$, điện áp $u_{be} \leq 0$, Tr khóa, bỏ qua dòng điện đầu ra của mạch thì sụt

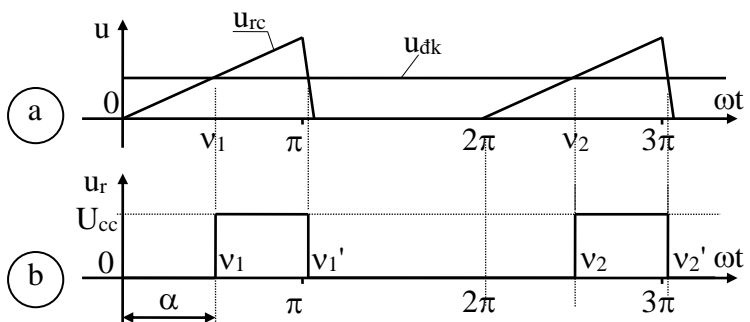
áp trên R_k bằng không, nên điện áp mạch góp-phát của Tr bằng điện áp nguồn cung cấp



Hình 2.56: Các dạng sơ đồ mạch điện khối so sánh

(nuôi) U_{cc} . Giai đoạn tiếp theo, từ $v_1' < \omega t < v_2$, $u_{be} > 0$, Tr lại mở bão hòa, điện áp giữa cực góp và cực phát của Tr

lại xấp xỉ bằng không. Từ $\omega t = v_2 \div v_2'$, $u_{be} \leq 0$, Tr lại khóa, điện áp mạch góp-phát của Tr lại tăng lên bằng điện áp nguồn cung cấp U_{cc} . Từ $\omega t > v_2' \div \omega t < v_3$ Tr lại mở bão hòa, ... Quá trình cứ lại lặp đi lặp lại mang tính chu kỳ với chu kỳ bằng chu kỳ



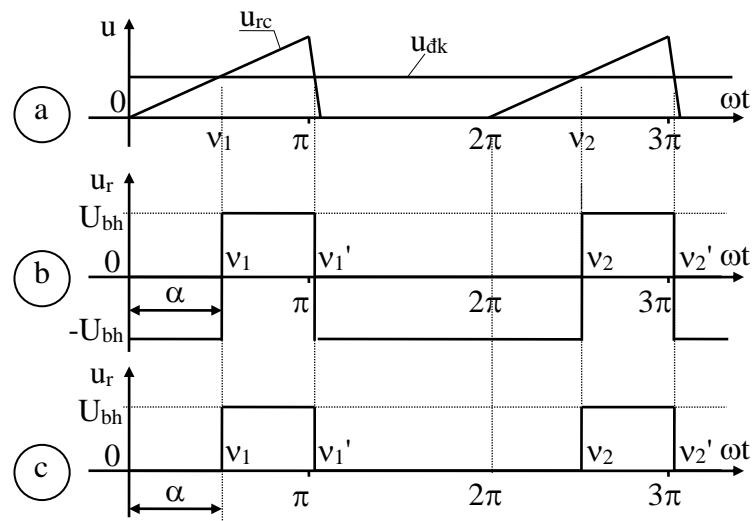
Hình 2.57: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của các sơ đồ khối so sánh dùng transistor

điện áp răng cưa (cũng chính là chu kỳ điện áp nguồn xoay chiều cấp cho sơ đồ chỉnh lưu), điện áp đầu ra của sơ đồ cũng chính là điện áp giữa cực góp và cực phát. Đồ thị điện áp ra (u_{ra}) có dạng như trên hình 2.57b.

- Nguyên lý làm việc sơ đồ dùng KĐTT (hình 2.56c, d, e, f)

Giả thiết điện áp răng cưa và điện áp điều khiển có dạng như hình 2.58a. Từ sơ đồ và đồ thị các điện áp u_{rc} và $u_{đk}$ có thể thấy: Từ $\omega t = 0 \div \omega t < v_1$, điện áp đầu vào đảo của khuếch đại thuật toán A có

giá trị dương (với hình 2.56c và e: $u_v = u_{đk} - u_{rc}$, với hình 2.56d và f: $u_v = 0,5(u_{đk} - u_{rc})$, trong khoảng này $u_{đk} > u_{rc}$, dẫn đến điện áp trên đầu ra KĐTT có giá trị bằng $-U_{bh}$ (U_{bh} là giá trị điện áp ra bão hòa của KĐTT, thương chênh so với giá trị nguồn mmột chiều cung cấp từ 1 đến 1,5V), tức là: $u_{ra} = -U_{bh}$. Trong khoảng $v_1 < \omega t < v_1'$, điện áp $u_v < 0$, điện áp trên



Hình 2.58: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của các sơ đồ khối so sánh dùng KĐTT

đầu ra KĐTT $u_{ra} = U_{bh}$. Trong khoảng, từ $v_1' < \omega t < v_2$, điện áp $u_v > 0$, điện áp đầu ra KĐTT lại có giá trị $-U_{bh}$. Trong khoảng $v_2 < \omega t < v_2'$, $u_v < 0$, điện áp đầu ra KĐTT lại đổi thành U_{bh} , ... Quá trình cứ lặp đi lặp lại mang tính với chu kỳ bằng chu kỳ điện áp răng cưa. Các thời điểm ωt bằng $v_1, v_1', v_2, v_2', \dots$ là các thời điểm điện áp trên đầu vào A bằng không, cũng là các thời điểm điện áp ra chuyển qua không. Điện áp đầu ra của KĐTT u_{ra} là điện áp đầu ra của sơ đồ hình 2.56c và d (đồ thị hình 2.58b).

Với các sơ đồ hình 2.56e và f, trên đầu ra KĐTT bố trí mạch điện gồm điện trở và đi ốt D, khi đó, nếu trên đầu ra KĐTT có điện áp âm thì D sẽ mở, bỏ qua sụt áp thuận trên D, điện áp đầu ra $u_{ra1} = 0$, còn khi trên đầu ra KĐTT có điện áp dương, D khóa, bỏ qua dòng điện mạch đầu ra của sơ đồ thì sụt áp trên R coi như bằng không, nên $u_{ra1} = u_{ra}$. Như vậy, dạng xung điện áp đầu ra của sơ đồ u_{ra1} tương tự như của sơ đồ dùng transistor. Đồ thị điện áp u_{ra1} được biểu diễn trên hình 2.58c.

Như đã nêu, dù có qua khối GCX hay không, thời điểm xuất hiện xung trên cực điều khiển thyristor trùng với thời điểm xuất hiện xung đầu ra khối so sánh. Nếu ta giả thiết rằng thời điểm mở tự nhiên của thyristor được điều khiển bởi mạch phát xung dùng khâu so sánh này là các thời điểm đầu các nửa chu kỳ dương của tín hiệu đồng bộ ($\omega t = 0; \omega t = 2\pi; \omega t = 4\pi; \dots$) thì góc điều khiển α được xác định như trên đồ thị hình 2.57 và hình 2.58. Từ đó có thể nhận thấy: điều chỉnh giá trị điện áp điều khiển $u_{đk}$ sẽ điều chỉnh được giá trị góc điều khiển α (dạng điện áp răng cưa được xem là không đổi), với sơ đồ này thì khi $u_{đk}$ tăng lên giá trị α sẽ tăng lên. Do đặc tính điều chỉnh này mà phương pháp tạo điều khiển này được gọi là phương pháp điều khiển theo nguyên tắc không chế pha đứng: thay đổi giá

trị góc điều khiển, thay đổi pha của xung điều khiển, nhờ dịch chuyển đường điện áp điều khiển theo trục tung (trục đứng).

Trong thực tế, tùy thuộc vào đặc tính của dụng cụ được sử dụng của khâu tiếp sau (khởi GCX) mà xung điện áp đầu ra của khối so sánh cần phải dương hoặc âm, mặt khác quy luật thay đổi của α theo $u_{đk}$ còn phụ thuộc vào dạng của điện áp tựa (u_{rc}).

2.10.2.4. Khối gia công xung

Để đảm bảo các yêu cầu về độ chính xác của thời điểm xuất hiện xung, sự đối xứng của xung ở các kênh khác nhau, v.v... nên khâu so sánh thường được thiết kế làm việc với công suất xung ra nhỏ, do đó xung ra của khâu so sánh thường chưa đủ các thông số yêu cầu của điện cực điều khiển thyristor. Để có xung có đủ các thông số yêu cầu cần thiết cần phải thực hiện việc khuếch đại xung, thay đổi lại độ dài xung, trong một số trường hợp cần phải phân chia các xung, và cuối cùng là truyền xung từ đầu ra của mạch phát xung đến điện cực điều khiển và ka tốt của thyristor. Vì vậy, giữa khối so sánh và cực điều khiển thyristor thường cần một số mạch điện để thực hiện các nhiệm vụ đã nêu, các mạch điện này thường gồm: mạch khuếch đại xung; mạch sửa xung; mạch phân chia xung; mạch truyền xung đến thyristor (thường được gọi là thiết bị đầu ra), đây là các phần mạch của khối gia công xung. Tùy trường hợp cụ thể mà có thể có đầy đủ các phần mạch đã nêu hoặc chỉ có một số mạch nhất định nào đó.

a. Mạch truyền xung ra đến thyristor (thiết bị đầu ra)

Trong kỹ thuật thường sử dụng hai biện pháp ghép nối đầu ra hệ thống điều khiển với cực điều khiển và ka tốt của thyristor: Ghép nối trực tiếp (truyền xung trực tiếp); Ghép nối thông qua máy biến áp xung (truyền xung qua máy biến áp xung).

- Truyền xung trực tiếp, là biện pháp ghép nối đầu ra hệ thống điều khiển với cực điều khiển và ka tốt của thyristor đơn giản nhất: dùng dây dẫn điện nối từ đầu ra mạch phát xung (thường là trên điện trở cực góp của transistor khuếch đại công suất xung) đến các điện cực G và K của thyristor. Biện pháp này rất ít được sử dụng vì nó có một số nhược điểm như sau:

⊕ Có sự liên hệ trực tiếp về điện giữa mạch lực và mạch điều khiển bộ chỉnh lưu.

⊕ Khó thực hiện việc truyền xung đồng thời đến một số thyristor mắc nối tiếp hoặc song song, đặc biệt là khi mắc nối tiếp nhiều thyristor.

⊕ Khó phối hợp tốt giữa nguồn một chiều cung cấp cho mạch khuếch đại xung với biên độ xung cần thiết trên cực điều khiển của thyristor.

- Truyền xung qua máy biến áp xung, là biện pháp truyền xung được sử dụng nhiều nhất hiện nay vì nó khắc phục tốt các nhược điểm của truyền xung trực tiếp. Để truyền xung từ đầu ra một kênh phát xung điều khiển đến một thyristor hoặc một số thyristor mắc nối tiếp hay song song người ta sử dụng một máy biến áp xung có một cuộn dây sơ cấp và một hoặc nhiều cuộn dây thứ cấp. Biện pháp truyền xung này có các ưu điểm:

⊕ Đảm bảo sự cách ly về điện giữa mạch động lực và mạch điều khiển bộ chỉnh lưu.

⊕ Dễ dàng thực hiện việc truyền đồng thời các xung đến các thyristor mắc nối tiếp hoặc song song bằng cách dùng máy biến áp xung có nhiều cuộn thứ cấp.

⊕ Dễ dàng phối hợp giữa điện áp nguồn cung cấp cho tầng khuếch đại công suất xung và biên độ xung cần thiết trên điện cực điều khiển của thyristor nhờ việc chọn tỉ số máy biến áp xung phù hợp.

Máy biến áp xung (BAX) về cơ bản có kết cấu như một máy biến áp bình thường công suất nhỏ, chỉ khác nhau trong phần tính toán mạch từ và số vòng dây. Các máy biến áp xung thường làm việc với điện áp đặt vào cuộn sơ cấp là một chiều, vì vậy tác dụng biến áp chỉ có trong quá trình quá độ, có thể xem quan hệ điện áp, dòng điện trên cuộn dây sơ cấp và thứ cấp như đối với trường hợp các cuộn dây có liên hệ hồ cảm với nhau, nhưng phải chú ý rằng hệ số hồ cảm là phi tuyến và sẽ bằng không khi từ trường lõi thép máy biến áp xung đạt giá trị bão hòa hoặc dòng qua cuộn dây sơ cấp đạt giá trị ổn định.

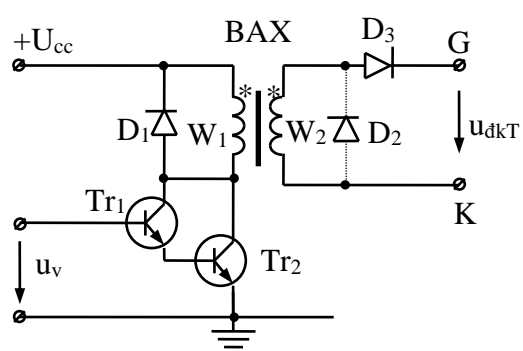
b. Mạch khuếch đại xung

Để khuếch đại công suất xung hiện nay phổ biến nhất là các sơ đồ khuếch đại xung bằng transistor và thyristor.

Các sơ đồ khuếch đại xung dùng thyristor được sử dụng khi có yêu cầu công suất xung điều khiển lớn và độ dài xung lớn, ví dụ như trong một số bộ chỉnh lưu dòng điện cực lớn cung cấp cho hệ thống mạ điện hoặc điện phân. Trong sơ đồ khuếch đại xung loại này, linh kiện sử dụng là các thyristor công suất nhỏ được điều khiển bởi xung ra của khâu so sánh hoặc xung đã qua một tầng khuếch đại bằng transistor, mạch a-nốt-ka-tốt của các thyristor làm nhiệm vụ khuếch đại xung được mắc nối tiếp với cuộn sơ cấp BAX và nguồn cung cấp. Nguồn cung cho tầng khuếch đại xung này thường là điện áp trên một tụ điện được nạp một cách chu kỳ bởi một bộ chỉnh không có phần tử lọc. Sơ đồ khuếch đại xung loại này ít gặp trong thực tế, nên mục này không xét sơ đồ cụ thể.

Các sơ đồ khuếch đại xung dùng transistor được sử dụng phổ biến hơn. Trong các sơ đồ khuếch đại này người ta thường sử dụng sơ đồ cực phát chung và có từ một đến hai tầng khuếch đại. Phần lớn các trường hợp, để đơn giản cho kết cấu mạch mà vẫn đảm bảo hệ số khuếch đại cần thiết thường sử dụng một tầng khuếch đại bằng hai transistor ghép kiểu Darlington (mắc nối tiếp hai transistor). Hình 2.59 là sơ đồ khuếch đại xung mắc theo kiểu đã nêu với đầu ra dùng máy biến áp xung BAX.

Hai transistor Tr_1 và Tr_2 ghép nối tiếp như vậy tương đương với một transistor có hệ số khuếch đại dòng điện theo sơ đồ phát chung (β) bằng tích hệ số khuếch đại dòng của hai transistor thành phần: $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$, với β_1 và β_2 là hệ số khuếch đại dòng điện theo sơ đồ cực phát chung của Tr_1 và Tr_2 .



Hình 2.59: Sơ đồ tầng khuếch đại xung dùng hai transistor mắc nối tiếp, truyền xung qua BAX

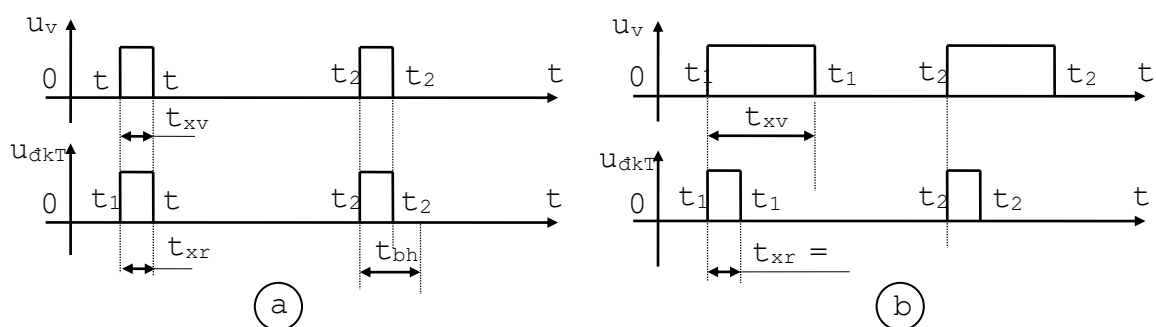
Điện áp u_v là điện áp vào của tầng khuếch đại (là điện áp ra của mạch sửa xung hoặc mạch phân chia xung, có trường hợp là điện áp ra của khâu so sánh) và điện áp $u_{đkT}$ là điện áp điều khiển thyristor (G và K là cực điều khiển và ka tốt của thyristor).

Nguyên lý hoạt động của sơ đồ hình 2.59:

Nếu gọi thời gian tồn tại của một xung điện áp đầu vào là t_{xv} , thời gian tồn tại của một xung điện áp ra là t_{xr} và thời gian tính từ lúc đóng một nguồn điện áp một chiều không đổi có giá trị bằng U_{cc} vào cuộn sơ cấp BAX cho đến lúc từ thông lõi thép máy biến áp xung đạt giá trị từ thông bão hòa hoặc đến lúc dòng qua cuộn dây sơ cấp BAX đạt giá trị ổn định (với giả thiết là không hạn chế về thời gian đóng nguồn và phía cuộn thứ cấp BAX vẫn mắc với điện cực điều khiển thyristor như trong sơ đồ hình 2.58) là t_{bh} . Với sơ đồ khuếch đại xung này có thể xảy ra hai trường hợp khác nhau:

- Trường hợp thứ nhất, khi $t_{bh} \geq t_{xv}$

Từ $t = 0 \div t < t_1$, chưa có xung vào nên hai transistor chưa làm việc, không có dòng điện nào chạy trong cuộn sơ cấp BAX nên không có xung điện áp trên cuộn thứ cấp, tức là $u_{đkT} = 0$ (chưa có tín hiệu điều khiển thyristor). Tại $t = t_1$ xuất hiện một xung điện áp vào dương, dẫn đến Tr_1 và Tr_2 đều mở, giả thiết là mở bão hòa, trên cuộn dây sơ cấp BAX đột ngột được đặt điện áp bằng U_{cc} , xuất hiện dòng điện qua cuộn dây sơ cấp W_1 của máy biến áp xung tăng dần (dòng qua W_1 đi từ phía cực tính có dấu (*) sang phía không có dấu (*)) dẫn đến trên cuộn dây thứ cấp xuất hiện một xung điện áp có cực tính dương ở phía có dấu (*). Xung trên cuộn thứ cấp đặt thuận lên D_3 và truyền qua D_3 đến điện cực điều khiển và ka tốt của thyristor. Đến $t = t_1' = t_1 + t_{xv}$, mất xung vào, hai transistor Tr_1 và Tr_2 cùng khóa lại dòng qua cuộn sơ cấp sẽ giảm về bằng không, do sự giảm của dòng cuộn sơ cấp BAX nên từ thông trong lõi thép BAX biến thiên theo hướng ngược lại so với lúc Tr_1 và Tr_2 mở dẫn đến trong các cuộn dây BAX xuất hiện xung điện áp với cực tính ngược lại. Xung trên cuộn dây thứ cấp bị D_3 ngăn không cho đến điện cực điều khiển của thyristor, tức là mất xung điều khiển thyristor, $u_{đkT} = 0$.



Hình 2.60: Đồ thị minh họa hoạt động của sơ đồ hình 2.59 với các trường hợp $t_{bh} \geq t_{xv}$ (a) và $t_{bh} < t_{xv}$ (b)

Tạm giả thiết là không có D_2 nên cuộn thứ cấp coi như hở mạch. Lúc này nếu trên cuộn sơ cấp không có đi ốt D_1 thì dòng qua cuộn sơ cấp sẽ giảm đột ngột gây nên sự đột biến từ thông BAX và làm cho biên độ xung điện áp trên các cuộn dây rất lớn. Về lý thuyết

thì $di/dt \rightarrow \infty$ nên $d\phi/dt \rightarrow \infty$ và s.đ.đ. trên các cuộn dây cũng tiến đến vô cùng lớn. Nhưng trong thực tế do điện dung ký sinh giữa các vòng dây mà di/dt không $\rightarrow \infty$ nên s.đ.đ. cảm ứng trên các cuộn dây cũng có giá trị hữu hạn, tuy vậy nó cũng đạt giá trị rất lớn (cỡ từ 5 đến 20 lần giá trị U_{cc}), xung điện áp lúc này trên cuộn sơ cấp cộng tác dụng với điện áp U_{cc} đặt toàn bộ lên các transistor để làm hỏng các transistor và chọc thủng cách điện các vòng dây của BAX. Để đảm bảo an toàn cho các transistor và BAX, trong sơ đồ sử dụng đi ốt D_1 mắc song song với cuộn sơ cấp BAX. Tác dụng của D_1 như sau: Khi mất xung vào, các transistor khóa lại và gây nên sự giảm của dòng cuộn W_1 làm xuất hiện các xung điện áp trên các cuộn dây có cực tính ngược với khi mở các transistor (trường hợp này thường gọi là các xung âm). Xung điện áp xuất hiện trên cuộn dây sơ cấp đặt thuận lên D_1 làm D_1 mở, do vậy mà dòng qua cuộn dây sơ cấp BAX không giảm đột ngột mà vẫn được duy trì qua D_1 nên xung điện áp xuất hiện trên các cuộn dây cũng có giá trị nhỏ. Trong trường hợp này, điện áp trên W_1 là tổng của sụt điện áp trên điện trở cuộn dây W_1 với s.đ.đ. cảm ứng trên W_1 , bằng sụt điện áp trên một đi ốt mở (D_1) nên có giá trị rất nhỏ, đảm bảo an toàn đối với các transistor và BAX.

Trường hợp có đi ốt D_2 , tác dụng của D_2 cũng tương tự như của D_1 : Giả sử không có D_1 mà trong sơ đồ lại có D_2 . Tại thời điểm mất xung vào, các transistor khóa lại, xuất hiện các xung điện áp âm trên các cuộn dây BAX. Như vậy cuộn sơ cấp hờ mạch nên dòng qua cuộn sơ cấp giảm đột ngột về bằng không, tuy vậy do xung trên cuộn thứ cấp lại đặt thuận lên D_2 nên sẽ có dòng khép kín qua D_2 và cuộn thứ cấp của BAX, có thể thấy rằng, trong trường hợp này dòng qua cuộn W_2 sinh ra từ trường cùng chiều với từ trường do W_1 sinh ra khi các transistor đang mở. Kết quả là từ trường lõi thép BAX giảm chậm nên xung điện áp cảm ứng trên các cuộn dây cũng có giá trị nhỏ, đảm bảo an toàn đối với các transistor và máy biến áp xung. Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ cho trường hợp giả thiết $t_{bh} \geq t_{xv}$ được biểu diễn trên hình 2.60a.

- Trường hợp thứ hai, khi $t_{bh} < t_{xv}$

Từ $t = 0 \div t < t_1$ thì chưa có xung vào nên 2 transistor chưa làm việc, không có dòng điện nào chạy trong cuộn dây sơ cấp BAX nên không có xung điện áp trên cuộn dây thứ cấp, tức là $u_{dkT} = 0$ (chưa có tín hiệu điều khiển thyristor). Tại $t = t_1$ xuất hiện một xung điện áp vào dương, dẫn đến Tr_1 và Tr_2 đều mở, giả thiết là mở bão hòa, trên cuộn dây sơ cấp BAX đột ngột được đặt điện áp bằng U_{cc} , xuất hiện dòng điện qua cuộn sơ cấp W_1 của máy biến áp xung tăng dần, dẫn đến trên cuộn thứ cấp xuất hiện một xung điện áp có cực tính dương ở phía có dấu (*). Xung trên cuộn thứ cấp đặt thuận lên D_3 và truyền qua D_3 đến điện cực điều khiển và ka tốt của thyristor. Đến $t = t_1 + t_{bh}$, từ thông trong mạch từ BAX ngừng tăng, dẫn đến mất xung điện áp cảm ứng trên các cuộn dây, mất xung điều khiển thyristor ($u_{dkT} = 0$). Đến $t = t_1' = t_1 + t_{xv}$, mất xung vào, hai transistor Tr_1 và Tr_2 cùng khóa lại dòng qua cuộn sơ cấp sẽ giảm về bằng không, Các quá trình cũng như tác dụng của các đi ốt D_1, D_2 tương tự như trường hợp trước. Như vậy trong trường hợp này thì độ

dài xung ra: $t_{xr} = t_{bh}$. Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ cho trường hợp giả thiết $t_{bh} < t_{xv}$ được biểu diễn trên hình 2.60b.

Từ nguyên lý làm việc ứng với hai trường hợp trên có thể rút ra: Để hạn chế tổn thất trên các transistor cần phải thiết kế để sơ đồ làm việc với trường hợp thứ nhất.

Chú ý: Trong một số trường hợp khi cần có xung điều khiển thyristor xuất hiện tại thời điểm khóa các transistor (tức là tại các thời điểm mất xung vào dương hoặc xuất hiện xung vào âm khi sử dụng transistor khuếch đại loại N-P-N như trên hình 2.59), lúc đó cần phải đảo lại cực tính của một trong hai cuộn dây của BAX và không được sử dụng đi ốt D_1 . Trong trường hợp đó, nếu cần khử xung điện áp âm (xung âm là các xung xuất hiện trên các cuộn dây BAX mà lúc đó xung trên cuộn thứ cấp đặt ngược lên D_3) có thể sử dụng đi ốt D_2 (chú ý rằng trong trường hợp đó nếu không có D_2 thì biên độ tối đa xung trên cuộn sơ cấp bằng U_{cc} , còn trên cuộn thứ cấp bằng U_{cc}/n , với n là tỉ số biến áp của BAX ($n=W_1/W_2$)).

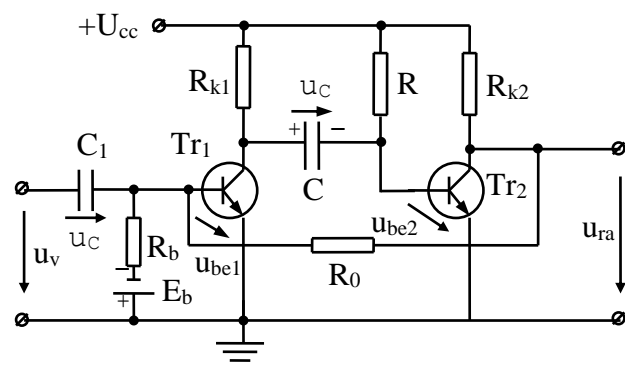
c. Mạch sửa xung

Từ nguyên lý hoạt động của khâu so sánh và mạch khuếch đại xung của khâu gia công xung, có thể thấy, khi thay đổi giá trị u_{dk} để thay đổi giá trị góc điều khiển α thì độ dài xung đầu ra khâu so sánh sẽ thay đổi. Như vậy sẽ xuất hiện tình trạng là có một số trường hợp độ dài xung quá ngắn không đảm yêu cầu đối với thyristor, ngược lại, có một số trường hợp độ dài xung lại quá lớn làm cho các transistor khuếch đại xung làm việc ở chế độ dòng cực góp lớn khi điện áp cực góp cao (khi mạch từ máy biến áp xung đã bão hòa hoặc dòng điện cuộn dây sơ cấp đạt giá trị ổn định), gây nên tổn thất lớn trên transistor khuếch đại xung và trong mạch phát xung và làm tăng kích thước mạch phát xung. Để khắc phục thường đưa vào hệ thống điều khiển một mạch điện có tác dụng thay đổi lại độ dài xung cho phù hợp với yêu cầu và được gọi là mạch sửa xung. Các mạch sửa xung hoạt động theo nguyên tắc: Khi có các xung vào với độ dài khác nhau mạch vẫn cho các xung ra có độ dài giống nhau theo yêu cầu nhưng đảm bảo thời điểm bắt đầu xuất hiện của xung ra phải trùng với thời điểm bắt đầu xuất hiện của xung vào. Tùy từng trường hợp cụ thể mà mạch sửa xung có thể có kết cấu tương đối phức tạp hoặc rất đơn giản, ví dụ có trường hợp mạch sửa xung chỉ là một mạch R-C ghép giữa khâu so sánh và mạch khuếch đại xung. Sau đây sẽ thực hiện nghiên cứu một số sơ đồ sửa xung.

Mạch sửa xung dùng hai transistor kết hợp mạch R-C:

⊕ Sơ đồ nguyên lý:

Sơ đồ nguyên lý của mạch sửa xung như hình 2.61. Tụ C và điện trở R là hai phần tử cơ bản quyết định độ dài xung ra. Tụ C_1 là tụ ghép tầng, dùng để truyền xung đến đầu vào mạch sửa xung,



Hình 2.61: Sơ đồ mạch sửa xung

C_1 được chọn với dung lượng đủ nhỏ, chỉ cần đủ để kích mở Tr_1 tại thời điểm có xung vào. E_b, R_b là nguồn thiên áp ngược và điện trở cực gốc dùng để khóa Tr_1 một cách chắc chắn. R_0 là điện trở của mạch phản hồi dương, được dùng để duy trì trạng thái mở của Tr_1 khi điện áp ra bằng U_{cc} . Ngoài ra trong sơ đồ còn có một số các phần tử khác. Toàn bộ sơ đồ được cung cấp bởi nguồn điện áp một chiều ổn định U_{cc} .

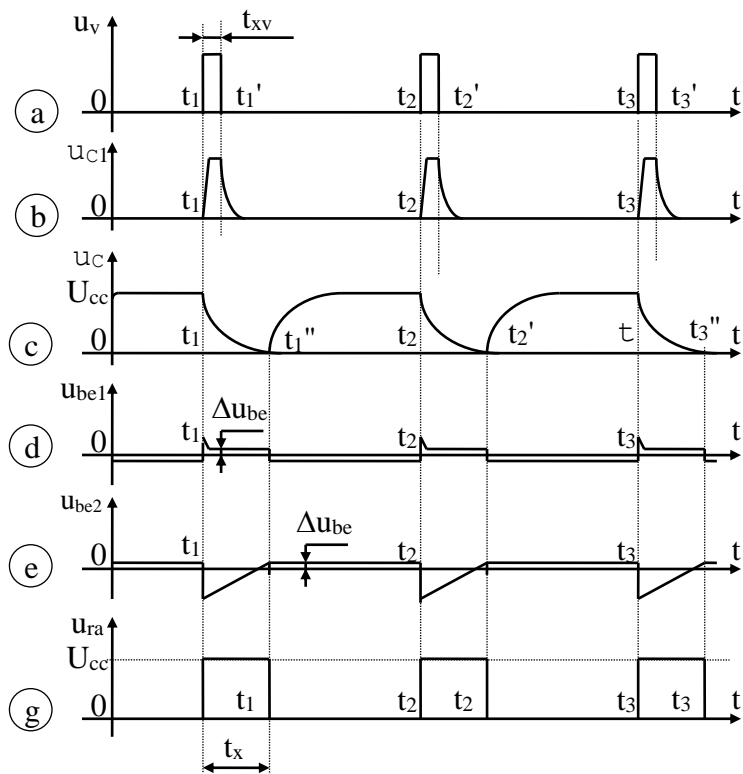
⊕ Nguyên lý hoạt động của sơ đồ:

Trong sơ đồ này việc tính chọn các giá trị của E_b, R_b, R_0, U_{cc} sao cho: Tr_1 sẽ khóa khi không có xung vào hoặc có xung vào nhưng tụ C_1 đã nạp đầy đến giá trị $u_{C1} \approx u_v$ mà khi đó $u_{ra} \approx 0$; Tr_1 sẽ mở bão hòa nếu $u_{ra} \approx U_{cc}$; Tr_1 sẽ mở bão hòa khi có xung vào mà điện áp trên tụ C_1 đang xấp xỉ bằng không bất kể lúc đó u_{ra} có giá trị bằng bao nhiêu.

Khi đảm bảo các điều kiện đã nêu, nguyên lý hoạt động của sơ đồ như sau:

Từ $t = 0 \div t < t_1$, chưa có xung điện áp vào, do điện trở định thiên R mà Tr_2 mở bão hòa nên sụt áp trên Tr_2 rất nhỏ và có thể bỏ qua (gần đúng ta xem là bằng không), do vậy điện áp ra bằng điện áp trên Tr_2 và bằng không ($u_{ra} = 0$). Do $u_{ra} = 0$, chưa có tín hiệu vào nên trên mạch gốc-phát của Tr_1 có điện áp ngược gây nên bởi nguồn thiên áp ngược E_b và Tr_1 khóa, tụ C sẽ được nạp điện bởi nguồn cung cấp một chiều U_{cc} qua điện trở R_{k1} và mạch gốc-phát của Tr_2 đến điện áp gần bằng nguồn cung cấp. Trong trường hợp này giá thiết điện áp mạch gốc-phát của các transistor khi mở là Δu_{be} và có giá trị gần như không đổi. Vậy, trong giai đoạn

này $u_{be2} = \Delta u_{be} > 0$, còn $u_{be1} < 0$. Tại $t = t_1$ xuất hiện một xung điện áp vào dương, tụ C_1 được nạp bởi xung vào và một trong hai thành phần dòng nạp tụ là xung dòng qua cực gốc Tr_1 và Tr_1 chuyển sang mở bão hòa. Transistor Tr_1 chuyển sang mở bão hòa thì sụt trên nó rất nhỏ, tụ C sẽ phóng điện qua mạch góp-phát Tr_1 , qua nguồn cung cấp một chiều U_{cc} , qua điện trở R . Do sụt áp trên Tr_1 rất nhỏ cho nên gần như toàn bộ điện áp của tụ C được đặt lên mạch gốc-phát của Tr_2 . Với cực tính điện trên tụ C lúc này như biểu diễn trên sơ đồ và đồ thị mà $u_{be2} < 0$, Tr_2 khóa. Do Tr_2 khóa, bỏ qua sụt áp trên R_{k2} bởi



Hình 2.62: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 2.61

dòng mạch tải của mạch sửa xung thường có giá trị rất nhỏ nên $u_{ra} \approx U_{cc}$, xuất hiện xung điện áp trên đầu ra. Do điện dung tụ C_1 có giá trị rất nhỏ nên chỉ một thời gian rất ngắn sau thời điểm xuất hiện xung vào thì tụ C_1 đã được nạp đầy và dòng qua tụ C_1 sẽ bằng không, xung vào không còn tác dụng đến cực gốc Tr_1 nữa nhưng Tr_1 vẫn được duy trì trạng thái mở bão hòa nhờ điện áp đầu ra lúc này là $u_{ra} \approx U_{cc}$ được đưa trở lại cực gốc Tr_1 qua R_0 . Khi điện áp trên tụ C giảm về bằng không thì trên cực gốc Tr_2 lại xuất hiện điện áp thuận bằng Δu_{be} do nguồn cung cấp tác động đến thông qua R nên Tr_2 lại mở. Transistor Tr_2 mở thì u_{ra} giảm về xấp xỉ bằng không, mặt khác lúc này tín hiệu vào còn hay không cũng không còn tác dụng đến cực gốc Tr_1 nữa (như đã nêu ở trên) do vậy transistor Tr_1 sẽ khóa lại. Khi Tr_1 khóa lại nên tụ C lại được nạp lại từ nguồn qua R_{k1} , qua mạch gốc-phát Tr_2 và sẽ nạp đến giá trị xấp xỉ bằng U_{cc} đưa sơ đồ trở về trạng thái như trước thời điểm $t = t_1$ để chuẩn bị cho lần làm việc tiếp theo. Tại thời điểm $t = t_1' = t_1 + t_{xv}$, mất xung vào, tụ C_1 sẽ phóng điện qua mạch đầu vào, E_b và điện trở R_b đến điện áp gần bằng không (coi là bằng không). Như vậy thời gian tồn tại của một xung điện áp ra (t_{xr}) bằng khoảng thời gian phóng của tụ C qua Tr_1 mở bão hòa, qua nguồn U_{cc} , qua điện trở R từ giá trị gần bằng U_{cc} đến điện áp bằng không.

Từ nguyên lý làm việc và sơ đồ có thể rút ra biểu thức điện áp trên tụ C ở giai đoạn phóng điện là:

$$u_C = U_{cc} + 2U_{cc} e^{-\frac{t-t_1}{\tau}}, \quad \text{với } \tau = R.C. \quad (2.124)$$

Khi thay $t = t_1 + t_{xr}$ biểu thức (2.124) và cho $u_C = 0$, rút ra:

$$t_{xr} = \tau \ln 2 = RC \ln 2 \quad (2.125)$$

Như vậy, độ dài một xung ra chỉ phụ thuộc vào giá trị của R và C mà hoàn toàn không phụ thuộc vào độ dài xung vào.

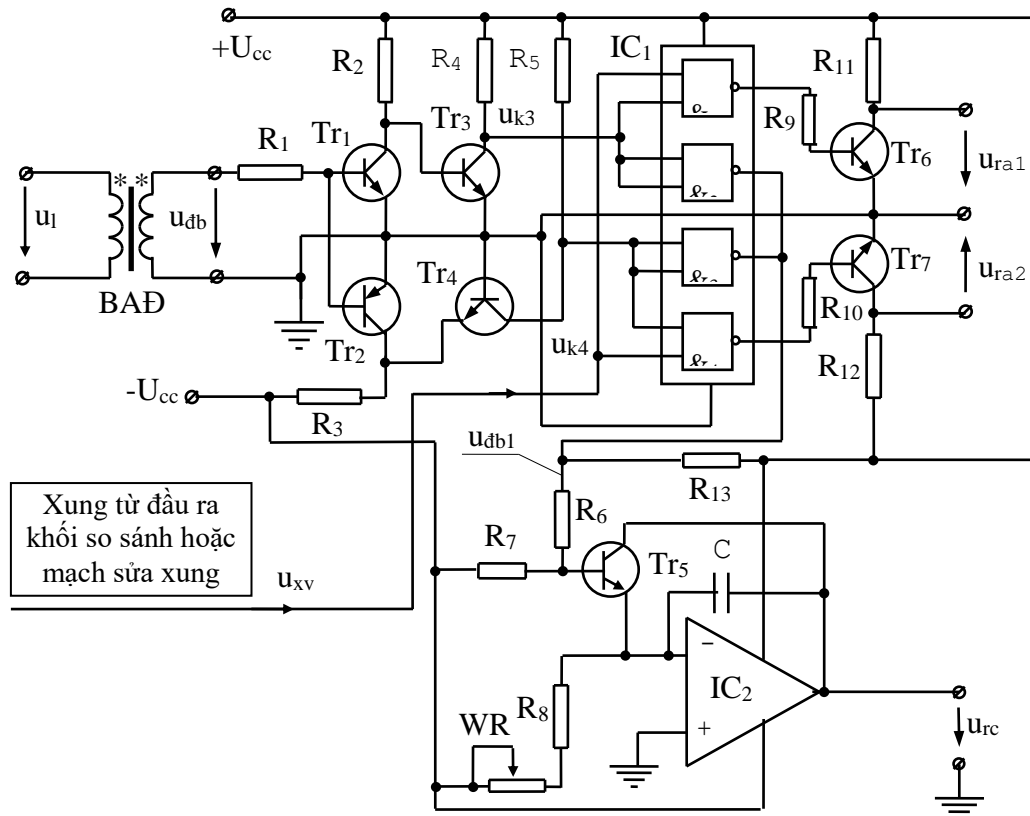
Sơ đồ này có ưu điểm là có thể giữ nguyên độ dài xung ra khi độ dài xung vào có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn t_{xr} . Tuy vậy việc phải sử dụng thêm nguồn thiên áp ngược E_b làm cho tăng độ phức tạp của mạch điện nên chỉ áp dụng khi độ dài xung vào có thể nhỏ hơn nhưng cũng có thể lớn hơn độ dài xung yêu cầu.

Trong đa số các sơ đồ khi xung vào thường có độ dài lớn hơn độ dài xung ra người ta sử dụng các mạch đơn giản hơn.

d. Mạch phân chia xung

Trong một số hệ thống điều khiển bộ chỉnh lưu, để đảm bảo sự đối xứng của tín hiệu điều khiển trên các van của sơ đồ chỉnh lưu người ta sử dụng chung một mạch ĐBH-FSRC và một khâu so sánh, xung ra của khâu so sánh có tần số lớn hơn n lần tần số nguồn xoay chiều (n là số van của sơ đồ chỉnh lưu). Trong trường hợp này, để có n đường xung điều khiển riêng biệt, với tần số mỗi chuỗi xung bằng tần số nguồn, để điều khiển n van cần có một mạch làm nhiệm vụ phân chia chuỗi xung đầu ra khỏi SS ra n chuỗi xung. Mạch điện thực hiện nhiệm vụ này được gọi là mạch phân chia xung (vừa tách xung ra nhiều đường

vừa thực hiện chức năng chia tần). Để làm chức năng mạch phân chia xung có thể sử dụng các sơ đồ khác nhau, ví dụ có thể dùng các sơ đồ bằng các mạch lật (flip-flop), các mạch đa hài có đọi, các phần tử logic cơ bản, v.v.... Ở đây sẽ phân tích một sơ đồ mạch phân chia xung đơn giản sử dụng các phần tử logic và-đảo (NAND) ứng dụng cho mạch phát xung điều khiển cho các van trong sơ đồ chỉnh lưu cầu 1 pha hoặc sơ đồ hình tia 2 pha. Sơ đồ mạch điện hình 2.63 gồm có cả mạch đồng bộ hóa và mạch sửa xung vì chúng sử dụng một linh kiện nhiều phần tử chung vỏ là IC logic 4 mạch và-không (loại K511AA1, K511AA5, hoặc 4011).



Hình 2.63: Sơ đồ nguyên lý một số khâu của mạch phát xung điều khiển bộ chỉnh hình tia 2 pha hoặc hình cầu một pha (có mạch phân chia xung)

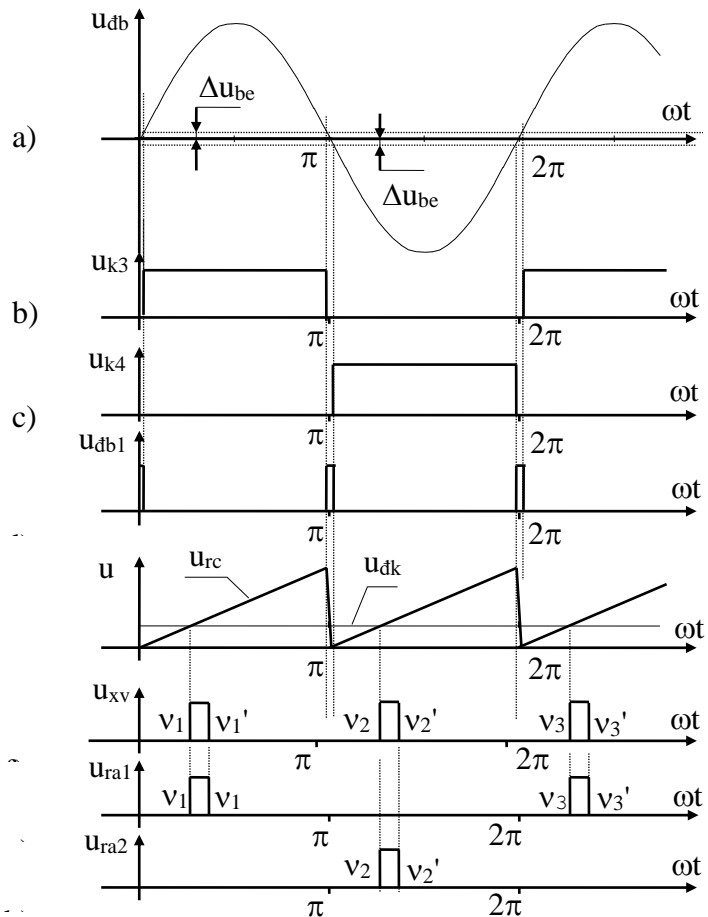
Trong sơ đồ hình 2.63 biểu diễn mạch nguyên lý một số khâu của hệ thống phát xung điều khiển bộ chỉnh lưu hình tia hai pha hoặc hình cầu một pha. Trong đó các phần tử cơ bản của mạch phân chia xung gồm: hai mạch NAND &1, &4 của IC₁, các transistor Tr₆, Tr₇, các điện trở R₉, R₁₀, R₁₁, R₁₂. Tín hiệu vào của mạch phân chia xung u_{xv} là chuỗi xung có tần số gấp đôi tần số nguồn xoay chiều cấp cho sơ đồ chỉnh lưu, được lấy từ đầu ra mạch sửa xung (có trường hợp từ đầu ra khối so sánh), đặc điểm của u_{xv} là: nếu xung thứ nhất xuất hiện tại tại điểm cần mở T₁ (xét với sơ đồ chỉnh lưu hình tia hai pha), thì xung tiếp theo xuất hiện tại thời điểm cần mở T₂ (cách xung trước một nửa chu kỳ nguồn) và xung tiếp theo lại xuất hiện tại thời điểm cần mở T₁ (ở chu kỳ sau), ... Nhiệm vụ của mạch là tách xung thứ nhất, thứ ba, ... ra một đường riêng (u_{ra1}) và các xung thứ hai, thứ tư, ... ra một đường riêng (u_{ra2}) để đảm bảo việc điều khiển hai van T₁ và T₂, không để xảy ra trường hợp trên cực điều khiển của van có xung điều khiển mà van đang bị đặt điện áp

ngược. Ngoài ra trong sơ đồ hình 2.63 còn có các phần mạch: BAĐ là máy biến áp đồng bộ dùng để tạo ra điện áp đồng bộ u_{db} ; các transistor $Tr_1, Tr_2, Tr_3, Tr_4, Tr_5$, các điện trở $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8, WR$; IC₂, các mạch NAND &₂, &₃ của IC₁ và tụ C là các phần tử của mạch tạo điện áp răng cưa. Trên thực tế thì các điện áp u_{k1} và u_{k2} cũng đồng thời là tín hiệu điều khiển mạch phân chia xung nên cũng có thể nói: các phần tử $Tr_1, Tr_2, Tr_3, Tr_4, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$ cũng nằm trong mạch phân chia xung.

Nguyên lý hoạt động của mạch phân chia xung:

Nguyên lý làm việc của mạch phân chia xung ở hình 2.63 được minh họa vắn tắt trên đồ thị trên hình 2.64. Với giả thiết đồ thị điện áp đồng bộ có dạng như hình 2.64a, thời điểm $\omega t = 0$ là thời điểm mở tự nhiên đối với van T_1 còn thời điểm $\omega t = \pi$ là thời điểm mở tự nhiên đối với van T_2 . Trong một khoảng thời gian rất ngắn ở đầu và cuối nửa chu kỳ dương và toàn bộ nửa chu kỳ âm của điện áp đồng bộ u_{db} , điện áp đặt vào cực gốc của Tr_1 âm hoặc dương nhưng nhỏ (nhỏ hơn sụt điện áp thuận trên mạch góc-phát, Δu_{be}) nên Tr_1 khóa, dẫn đến Tr_3 mở bão hòa, điện áp trên cực góp Tr_3 là u_{k3} coi như bằng không, còn

trong khoảng thời gian $u_{db} > \Delta u_{be}$ thì Tr_1 mở bão hòa và Tr_3 khóa, khi Tr_3 khóa thì $u_{k3} \approx U_{cc}$. Suy luận tương tự đối với Tr_2 và Tr_4 , đồ thị điện áp u_{k3} và u_{k4} được biểu diễn trên hình 2.64b, c. Các điện áp u_{k3} và u_{k4} được dùng để khống chế mạch tạo điện áp răng cưa, đồ thị điện áp răng cưa có dạng như hình 2.64e, tần số gấp đôi tần số nguồn. Từ nguyên lý làm việc của khâu so sánh và mạch sửa xung đã được giới thiệu, với dạng đồ thị của u_{rc} và u_{dk} như trên đồ thị hình 2.64e, có thể suy ra xung đầu ra mạch sửa xung sẽ có dạng như đồ thị hình 2.64f. Với các giả thiết đã nêu thì xung xuất hiện tại thời điểm $\omega t = v_1$ là xung điều khiển T_1 , còn xung xuất hiện tại thời điểm $\omega t = v_2$ là xung điều khiển T_2 (hai van của sơ đồ chỉnh lưu hình tia hai



Hình 2.64: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc mạch phân chia xung hình 2.63

pha như đã giả thiết), ... Mạch phân chia xung phải thực hiện chia các xung này thành hai kênh riêng biệt, tần số xung trong mỗi kênh bằng đúng tần số nguồn.

Nguyên lý làm việc của mạch chia xung: Xung vào của mạch là u_{xv} được truyền đến các đầu vào thứ hai của $\&_1$ và $\&_4$, các đầu vào thứ nhất của chúng lần lượt được đặt tín hiệu là u_{k3} và u_{k4} . Từ $\omega t = 0$ đến $\omega t = v_1$ chưa có xung đầu vào mạch chia xung ($u_{xv} = 0$), nên trên đầu ra của cả $\&_1$ và $\&_4$ đều có mức logic 1, tín hiệu này sẽ làm cho cả hai transistor Tr_6 và Tr_7 đều mở, tín hiệu đầu ra mạch chia xung chưa có ($u_{ra1} = u_{ra2} = 0$). Tại $\omega t = v_1$, xuất hiện xung vào u_{xv} , tức là trên các đầu vào thứ hai của cả $\&_1$ và $\&_4$ đều có mức logic 1, lúc này trên đầu vào thứ nhất của $\&_1$ cũng có mức logic 1 ($u_{k3} \approx U_{cc}$) nên trên đầu ra $\&_1$ có mức logic 0, không có tín hiệu đặt vào cực gốc Tr_6 nên Tr_6 khóa, xuất hiện xung điện áp ra $u_{ra1} \approx U_{cc}$, T_1 sẽ có xung điều khiển. Do trong nửa chu kỳ dương của u_{db} thì $u_{k4} = 0$, nên trên đầu vào thứ nhất của $\&_4$ có mức logic 0, dẫn đến trên đầu ra của nó vẫn có mức logic 1, Tr_7 vẫn mở bão hòa, $u_{ra2} = 0$. Đến $\omega t = v_1'$, mất xung vào ($u_{xv} = 0$), đầu ra của cả $\&_1$ và $\&_4$ đều có mức logic 1, cả hai transistor Tr_6 và Tr_7 đều mở bão hòa nên u_{ra1} và u_{ra2} đều bằng không. Tại $\omega t = v_2$ lại xuất hiện xung vào thứ hai, lúc này chỉ có đầu ra $\&_4$ chuyển về mức logic 0 vì trên đầu vào thứ nhất của nó có mức logic 1 ($u_{k4} \approx U_{cc}$), còn đầu ra $\&_1$ vẫn giữ mức logic 1 vì trên đầu vào thứ nhất của nó lúc này có mức logic 0 ($u_{k3} = 0$), do đó Tr_7 khóa lại, xuất hiện xung trên đầu ra thứ hai ($u_{ra2} \approx U_{cc}$). Suy luận tương tự cho các khoảng thời gian tiếp theo, đồ thị xung vào và ra của mạch chia xung được biểu diễn trên các hình 2.64f, g, h.

2.10.2.5. Một sơ đồ mạch phát xung điều khiển theo pha đúng

Hình 2.65 là một sơ đồ hệ thống phát xung điều khiển cho bộ chỉnh lưu hình tia hai pha (có thể dùng điều khiển sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha). Các khâu cơ bản của sơ đồ:

- Khối ĐBH-FSRC gồm các phần tử:

⊕ Biến áp đồng bộ hóa BΔĐ dùng để tạo tín hiệu đồng bộ chung u_{db} .

⊕ Mạch tạo điện áp răng cưa gồm các transistor từ Tr_1 đến Tr_5 , các phần tử $\&_2$, $\&_3$ của vi mạch logic IC_1 , vi mạch khuếch đại thuật toán IC_2 , các điện trở từ R_1 đến R_8 biến trở WR (WR được dùng để hiệu chỉnh biên độ điện áp răng cưa đầu ra IC_2) và tụ điện C_1 .

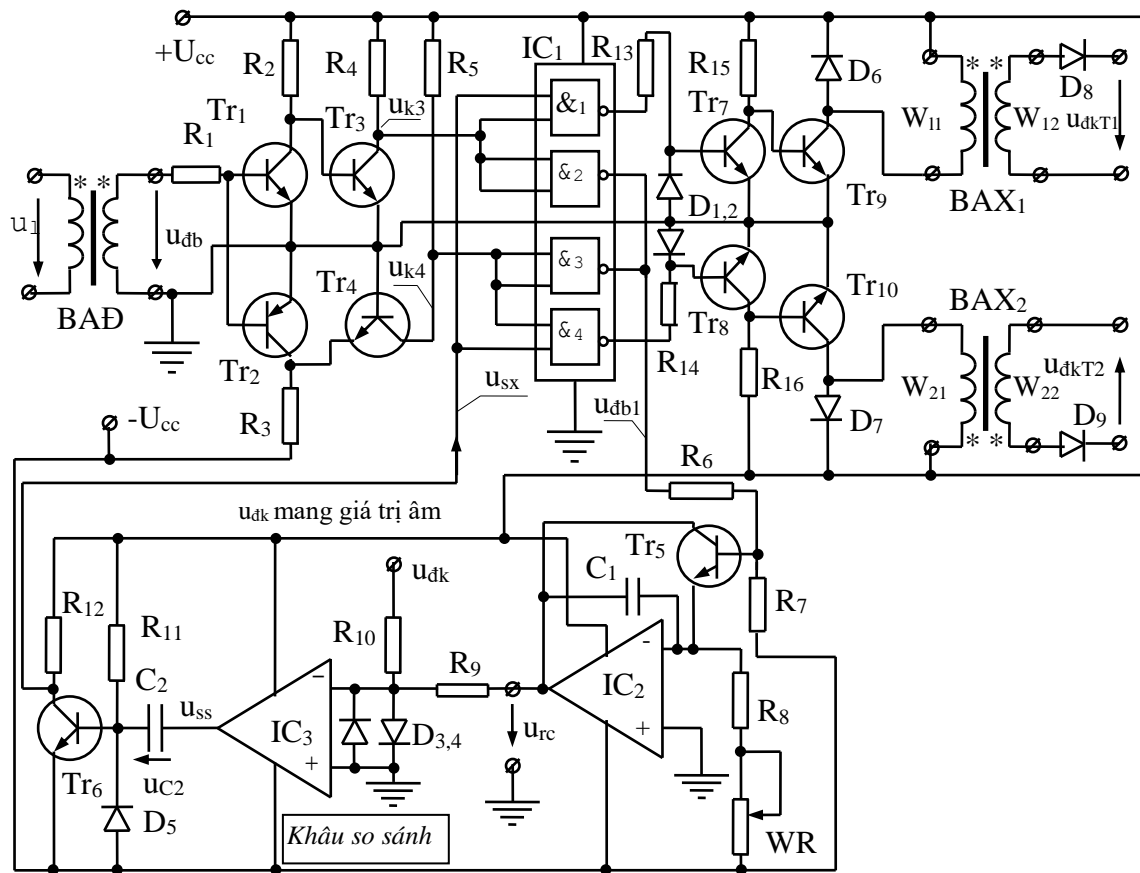
- Khối so sánh dùng vi mạch khuếch đại thuật toán IC_3 và một số phần tử: D_3 , D_4 , R_9 , R_{10} . Tín hiệu vào là điện áp răng cưa u_{rc} lấy từ đầu ra mạch tạo điện áp răng cưa và điện áp điều khiển một chiều u_{dk} có giá trị điều chỉnh được theo yêu cầu, tín hiệu ra của khâu so sánh là u_{ss} được truyền đến mạch sửa xung (của khối gia công xung).

- Khối gia công xung:

⊕ Mạch sửa xung gồm tụ C_2 ; transistor Tr_6 và các điện trở R_{11} , R_{12} . Tín hiệu vào của mạch là u_{ss} , tín hiệu xung ra sau sửa xung là u_{sx} được đưa đến đầu vào mạch chia xung.

⊕ Mạch chia xung tương tự như đã xét ở sơ đồ hình 2.63, thực hiện bằng hai phần tử NAND là $\&_1$ và $\&_4$ của IC_1 , tín hiệu không chế mạch này gồm có xung ra của mạch sửa xung u_{sx} và các tín hiệu lấy từ mạch đồng bộ u_{k3} , u_{k4} . Tín hiệu đầu ra mạch sửa xung được truyền đến bộ phận khuếch đại công suất xung và truyền xung gồm các transistor Tr_7 , Tr_8 , Tr_9 , Tr_{10} và hai máy biến áp xung BAX₁, BAX₂. Xung ra trên hai cuộn thứ cấp BAX₁,

BAX₂ là $u_{đKT1}$, $u_{đKT2}$ được truyền đến cực điều khiển của hai thyristor T₁, T₂ của sơ đồ chỉnh lưu hình tia hai pha.



Hình 2.65: Sơ đồ nguyên lý một mạch phát xung theo nguyên tắc khóa chế pha dùng dùng để điều khiển sơ đồ chỉnh lưu hình tia hai pha (hoặc cầu một pha)

Dạng đường cong điện áp trên các khâu của sơ đồ về cơ bản hoàn toàn tương tự như đồ thị hình 2.64.

2.10.3. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THEO NGUYÊN TẮC KHÓA CHẾ PHA NGANG

2.10.3.1. Khái niệm chung

Để tạo xung điều khiển cho các van chỉnh lưu trước tiên người ta tạo ra các tín hiệu điều khiển hình sin có tần số bằng tần số xung điều khiển các thyristor, tức là bằng tần số nguồn cung cấp xoay chiều và có biên độ không đổi. Các xung điều khiển các van sẽ được tạo ra tại các thời điểm bằng không và bắt đầu chuyển sang dương của các điện áp điều khiển hình sin vừa nêu. Việc thay đổi giá trị góc điều khiển α được thực hiện bằng cách thay đổi góc pha của các điện áp điều khiển hình sin.

Như vậy đối với hệ thống điều khiển này thì việc trước tiên là phải tạo ra được hệ thống điện áp điều khiển dạng hình sin với biên độ không đổi và góc pha điều khiển được. Để thực hiện nhiệm vụ này hiện nay người ta sử dụng các sơ đồ cầu dịch pha dùng điện trở, tụ điện (cầu R-C) hoặc điện trở, điện cảm (cầu R-L). Khi đã có các điện áp điều khiển dạng hình sin như đã nêu thì việc tạo ra xung điều khiển cho các thyristor tại những thời điểm bằng không và bắt đầu chuyển sang dương của các điện áp hình sin có thể thực hiện

bằng nhiều sơ đồ khác nhau, đơn giản nhất là dùng các đi ốt, ngoài ra ta có thể sử dụng các mạch biến đổi tương tự-số bằng vi mạch. Tùy thuộc vào trường hợp cụ thể mà có thể sử dụng thêm các mạch sửa xung, khuếch đại xung, ..., tương tự như các mạch đã nêu trong hệ thống điều khiển theo pha đúng.

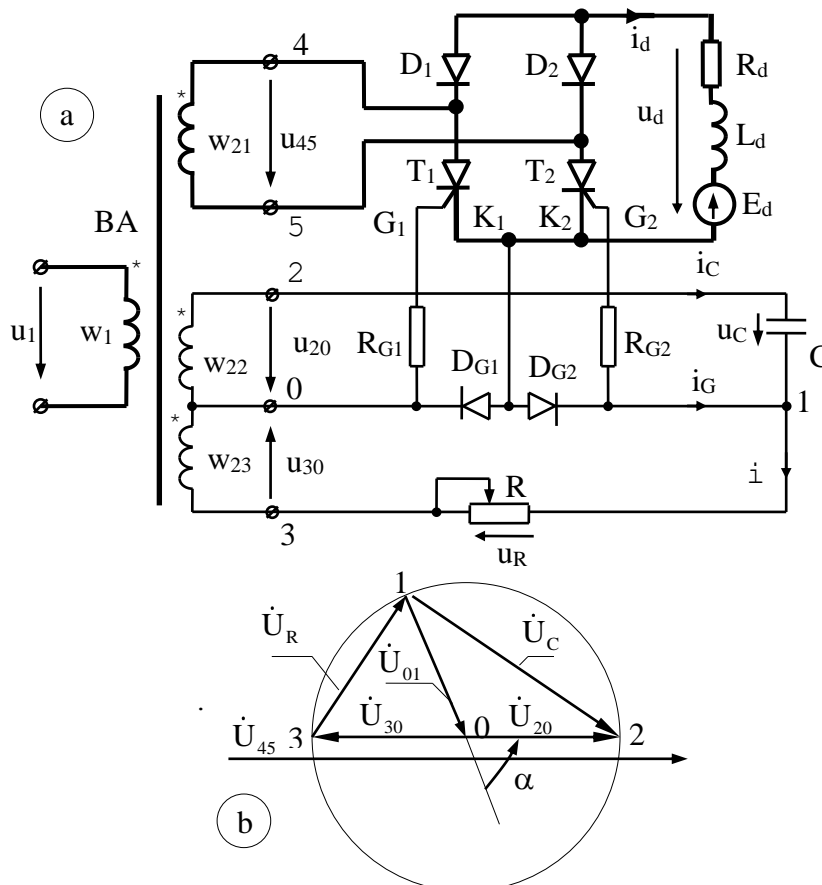
Như vậy, trong hệ thống phát xung này, việc thay đổi giá trị góc điều khiển (dịch pha xung điều khiển) được thực hiện bằng việc dịch pha điện áp điều khiển, tức là dịch chuyển đường cong điện áp điều khiển theo trục ngang, vì vậy, mạch phát xung điều khiển loại này được gọi tên là hệ thống điều khiển theo nguyên tắc không chế pha ngang.

2.10.3.2. Một sơ đồ mạch điều khiển theo nguyên tắc không chế pha ngang

Để làm rõ nguyên tắc phát xung, trong tiểu mục này sẽ tiến hành phân tích một sơ đồ phát xung điều khiển cho hai thyristor trong sơ đồ chỉnh lưu hình cầu một pha dùng 2 đi ốt và 2 thyristor như hình 2.66.

- Giới thiệu sơ đồ:

⊕ BA là máy biến áp vừa làm nhiệm vụ cung cấp cho bộ chỉnh lưu vừa cấp điện áp cho cầu dịch pha loại R-C. Điện áp cung cấp cho sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha 2 thyristor, 2 đi ốt được lấy trên cuộn thứ cấp w_{21} (giữa hai đầu 4 và 5) là u_{45} đồng pha với điện áp giữa hai đầu 2 và 0 (hai đầu cuộn dây w_{22}) là u_{20} và ngược pha với điện áp giữa hai đầu 3 và 0 (hai đầu cuộn dây w_{23}) là u_{30} . Do 2 cuộn thứ cấp còn lại là w_{22} và w_{23} có số vòng bằng nhau nên: $u_{20} = -u_{30}$.



Hình 2.66: Sơ đồ nguyên lý (a) và đồ thị vector (b) mạch điều khiển bộ chỉnh lưu cầu một pha 2T-2D áp dụng nguyên tắc không chế theo pha ngang

⊕ Mạch động lực bộ chỉnh lưu gồm các van T_1, T_2, D_1, D_2 và phụ tải gồm R_d, L_d, E_d .

⊕ Phần mạch điều khiển gồm: Cầu dịch pha để tạo ra các điện áp điều khiển hình sin như đã nêu được thực hiện bằng các phần tử: hai cuộn thứ cấp W_{22}, W_{23} trên đó lấy ra u_{20} và u_{30} ; hai nhánh còn lại là biến trở điều chỉnh được R và tụ điện C . Các phần tử biến đổi tín hiệu điều khiển hình sin thành xung (D_{G1} và D_{G2}) để điều khiển hai van T_1 và T_2 .

- Nguyên lý làm việc của sơ đồ:

Phương trình cân bằng điện áp trong mạch vòng gồm hai cuộn dây W_{22}, W_{23} , tụ C và biến trở R : $u_C + u_R = u_{20} - u_{30}$. Với điểm nút 1 có phương trình dòng điện: $i_C + i_G = i_R$. Thường tính chọn các thông số của sơ đồ sao cho $i_C \gg i_G$ và $i_R \gg i_G$ nên có thể bỏ qua i_G trong biểu thức trên, vậy: $i_C = i_R$. Điều này có nghĩa rằng dòng qua tụ C và điện trở R bằng nhau, dẫn đến điện áp trên R sẽ vượt pha điện áp trên tụ C một góc bằng 90° . Thêm vào đó $u_{20} - u_{30}$ là điện áp giữa hai điểm 2 và 3 bên thứ cấp BA, nếu điện áp nguồn là không đổi thì u_{23} cũng không đổi, vậy tổng hai điện áp u_R và u_C là một điện áp không đổi. Giả thiết các phần tử của sơ đồ là tuyến tính nên khi điện áp nguồn u_1 là hình sin thì các điện áp trên R và C cũng hình sin cùng tần số. Biểu diễn phương trình điện áp trên ở dạng đồ thị vector (hình 2.66b) với lưu ý là vector điện áp trên R vuông góc với vector điện áp trên tụ C và tổng hai vector này luôn bằng một vector không đổi là vector điện áp giữa hai điểm 2 và 3. Từ đó có thể rút ra nhận xét: khi thay đổi giá trị R hoặc C hoặc cả hai trong phạm vi vẫn bỏ qua được ảnh hưởng của i_G thì điểm nút của vector điện áp trên R (điểm 1) sẽ dịch chuyển trên một nửa đường tròn đường kính là vector điện áp u_{23} , do vậy mà vector điện áp u_{01} sẽ là vector có mô đun không thay đổi (bằng bán kính đường tròn). Từ đó suy ra, điện áp u_{01} (và cả u_{10}) là điện áp hình sin tần số bằng tần số nguồn cung cấp cho bộ chỉnh lưu và có biên độ không thay đổi. Đây là các điện áp điều khiển mà cần phải tạo ra trong mạch điều khiển theo nguyên tắc không chế pha ngang. Điện áp điều khiển kênh phát xung cho T_1 là u_{01} còn của kênh cho T_2 là u_{10} . Việc tạo ra các xung điều khiển không chế các van chỉnh lưu xuất hiện tại những thời điểm đầu nửa chu kỳ dương của các điện áp điều khiển nói trên (u_{01}, u_{10}) được thực hiện bởi các đi ốt D_{G1} và D_{G2} .

Nguyên lý chi tiết: Giả thiết thời điểm $\omega t = \omega t_0$ là thời điểm đầu một nửa chu kỳ dương của điện áp u_{45} , như vậy từ thời điểm $\omega t = \omega t_0$, T_1 bắt đầu được đặt điện áp thuận, nhưng do u_{01} chậm pha so với u_{45} một góc bằng α (đồ thị vector hình 2.66b) nên u_{01} đang âm (điểm 0 âm hơn điểm 1), nên lúc này có dòng điện đi từ điểm 1 về điểm 0 theo đường 1- R_{G2} - G_2 - K_2 - D_{G1} -0. Đi ốt D_{G1} mở, sụt áp trên nó bằng không, tức là chưa có điện áp đặt vào điện cực điều khiển T_1 , van T_1 chưa mở. Đến $\omega t_1 = \omega t_0 + \alpha$ thì $u_{01} = 0$ và bắt đầu chuyển sang dương, bắt đầu xuất hiện xung dòng qua điện cực điều khiển của T_1 theo đường từ điểm 0- R_{G1} - G_1 - K_1 - D_{G2} -1, T_1 có đủ hai điều kiện để mở, dẫn đến T_1 mở tại ωt_1 . Đến thời điểm $\omega t_2 = \omega t_0 + \pi$ thì $u_{45} = 0$ và bắt đầu chuyển sang âm, nó đặt điện áp thuận lên T_2 nhưng lúc này u_{10} đang âm, tức là u_{01} đang dương nên D_{G2} vẫn dẫn dòng, điện áp trên cực điều khiển của T_2 vẫn bằng không (chưa có tín hiệu điều khiển T_2), T_2 vẫn chưa mở. Đến $\omega t_3 = \omega t_2 + \alpha = \omega t_1 + \pi = \omega t_0 + \pi + \alpha$ thì $u_{10} = 0$ và bắt đầu chuyển sang dương, dẫn

đến xuất hiện xung dòng điều khiển T_2 theo đường: điểm 1-R_{G2}-G₂-K₂-D_{G1}-điểm 0, T_2 mở. Các chu kỳ sau sự làm việc của sơ đồ diễn ra tương tự. Từ nguyên lý hoạt động của sơ đồ như đã nêu, có thể rút ra:

⊕ Các van chỉnh lưu trong sơ đồ mở chậm so với thời điểm mở tự nhiên một góc độ điện bằng góc chậm pha α của u_{01} so với u_{20} (hoặc so với u_{45}), vậy giá trị góc chậm pha này của u_{01} là giá trị góc điều khiển bộ chỉnh lưu.

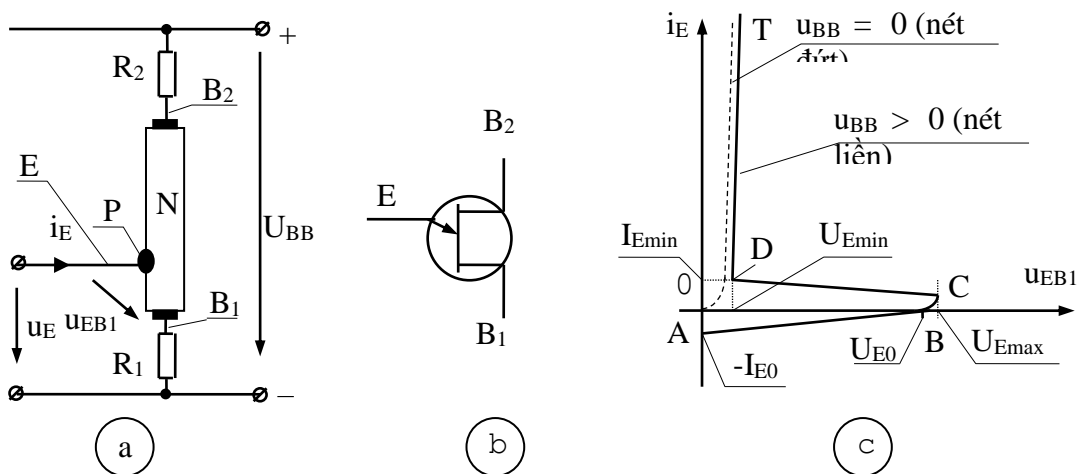
⊕ Việc đổi giá trị góc điều khiển α , tức là dịch pha u_{01} so với u_{20} được thực hiện bằng cách thay đổi tương quan giữa u_R và u_C , điều này có thể đạt được nhờ thay đổi hoặc giá trị R hoặc C, hoặc cả R và C. Trong thực tế, khi cần phạm vi thay đổi của α hẹp thì giữ $C = \text{const}$ và thay đổi tron giá trị R nhờ dùng biến trở điều chỉnh tron, khi cần phạm vi điều khiển rộng thì kết hợp thêm việc thay đổi giá trị C theo một số cấp.

⊕ Hệ thống điều khiển này có một số nhược điểm như: phạm vi thay đổi của α không rộng; rất nhạy với sự thay đổi dạng của điện áp nguồn; khó tổng hợp nhiều tín hiệu điều khiển;..., nên rất ít được sử dụng.

2.10.4. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN BỘ CHỈNH LƯU SỬ DỤNG ĐI ỚT HAI CỰC GÓC

2.10.4.1. Giới thiệu sơ lược đi ốt hai cực góc (còn gọi là transistor một tiếp giáp-UJT)

Trên hình 2.67a là sơ đồ cấu trúc đi ốt hai cực góc (UJT) cùng cách đấu các điện áp vào đi ốt để xây dựng đặc tính V-A và khi làm việc. Đi ốt được cấu tạo bởi một tiếp giáp bán dẫn P-N: khi đưa tạp chất vào một phần của phiến bán dẫn si lic ban đầu loại N tạo nên một vùng bán dẫn loại P và hình thành một tiếp giáp P-N. Vùng chuyển tiếp P-N chia khối bán dẫn N làm hai phần không đều nhau. Hai đầu của phiến bán dẫn N được lấy ra hai điện cực là hai cực góc, ký hiệu là B_1 và B_2 (hình vẽ). Điện cực thứ 3 lấy ra từ vùng bán dẫn loại P vừa hình thành là cực phát E. Hình 2.67b là ký hiệu qui ước đi ốt 2 cực góc trên sơ đồ nguyên lý mạch điện. Hình 2.67c là đặc tính V-A của đi ốt.



Hình 2.67: Cấu tạo (a), ký hiệu (b) và đặc tính V-A (c) của đi ốt hai cực góc

Hoạt động của UJT: Khi đặt lên hai cực góc một điện áp U_{BB} có cực tính như hình 2.67a (U_{BB} được gọi là điện áp thiên áp) thì qua phiến bán dẫn N có một dòng điện rất nhỏ

đi từ B_2 sang B_1 và dòng điện này được gọi là dòng định thiên. Do R_1 cũng có giá trị nhỏ nên sụt áp trên nó gây nên bởi dòng định thiên có thể bỏ qua. Khi nguồn u_E (được gọi nguồn điện áp phát) bằng không thì qua cực phát E có một dòng điện ngược có giá trị bằng I_{E0} rất nhỏ (lúc đó $u_{EB1} = u_E - u_{R1} = u_E = 0$). Khi cho một giá trị $u_E > 0$ nhưng nhỏ thì dòng ngược cực phát giảm, tăng u_E thì dòng ngược cực phát tiếp tục giảm và khi u_E đạt giá trị U_{E0} thì $i_E = 0$. Nếu tiếp tục tăng u_E thì xuất hiện dòng thuận qua cực phát, chừng nào mà u_E còn nhỏ hơn $U_{E_{max}}$ (tức là u_{EB1} cũng nhỏ hơn $U_{E_{max}}$ vì đang bỏ qua sụt áp trên R_1 đang rất nhỏ) thì dòng cực phát vẫn có giá trị rất nhỏ. Khi tăng u_E đạt đến giá trị $U_{E_{max}}$ thì trong UJT xảy ra quá trình đột biến: dòng qua cực phát UJT tăng còn điện áp giữa E và B_1 giảm, UJT chuyển sang làm việc trên đoạn đặc tính DT với điện áp u_{EB1} nhỏ còn dòng qua cực phát E và cực gốc B_1 lớn. Khi UJT làm việc trên đoạn đặc tính này thì gần như toàn bộ điện áp u_E đặt lên R_1 , lúc này UJT được xem là ở trạng thái mở. Còn khi UJT làm việc trên đoạn đặc tính A-B-C thì dòng qua cực phát và cực gốc B_1 không đáng kể, có thể bỏ qua và xem như bằng không và trạng thái làm việc này được gọi là trạng thái khóa (chưa mở) của UJT. Khi UJT đang làm việc trên đoạn đặc tính DT, nếu tác động giảm dần điện áp nguồn phát u_E thì dòng i_E và điện áp u_{EB1} cũng đều giảm, song điện giảm rất ít, khi điểm làm việc tiến gần đến điểm D thì dòng qua cực phát và cực gốc B_1 giảm xuống rất nhỏ, lúc này sụt điện áp trên R_1 rất nhỏ có thể bỏ qua, vậy trong trường hợp đó thì $u_{EB1} \approx u_E$. Tiếp tục giảm u_E xuống bằng $U_{E_{min}}$ thì điểm làm việc của UJT là điểm D, nếu giảm tiếp u_E xuống nhỏ hơn $U_{E_{min}}$ thì điểm làm việc của UJT sẽ chuyển sang đoạn đặc tính AB và UJT chuyển từ trạng thái mở sang trạng thái khóa.

Nhận xét:

- Khi UJT đang ở trạng thái khóa, muốn chuyển UJT sang trạng thái mở cần tăng điện áp u_E đến giá trị $U_{E_{max}}$.

- Khi UJT đã ở trạng thái mở, muốn chuyển UJT sang trạng thái khóa thì phải giảm điện áp u_E xuống $U_{E_{min}}$.

Theo các tài liệu thì:

$U_{E_{max}} = \eta \cdot U_{BB} + \Delta U$, với η là hệ số cấu tạo của UJT, $\eta = 0,45 \div 0,9$; ΔU là sụt điện áp trên một tiếp giáp P-N của bán dẫn si-lic cỡ $0,5 \div 0,7V$.

$U_{E_{min}}$ cỡ 1,5 đến 2 V, nhưng khi xét nguyên lý hoạt động thì để cho đơn giản trong nhiều trường hợp thường giả thiết là $U_{E_{min}} = 0$.

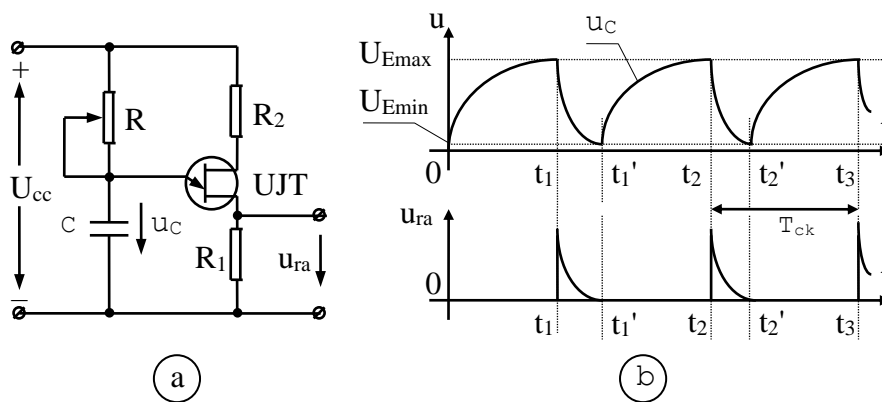
Khi không đặt điện áp thiên áp hoặc $U_{BB} = 0$ thì đặc tính V-A của UJT giống như của điốt thường (đường nét đứt trên hình 2.67c). Thông thường với các UJT hiện nay thì nguồn U_{BB} nằm trong khoảng từ 15V đến 30V.

2.10.4.2. Nguyên lý phát xung dùng UJT

Hình 2.68 giới thiệu một sơ đồ một mạch phát xung đơn giản dùng UJT (hình 2.68a) và đồ thị minh họa sự làm việc của sơ đồ (hình 2.68b).

Nguyên lý làm việc của sơ đồ: Giả thiết tại $t = 0$ bắt đầu đóng nguồn U_{cc} (trước đó thì $u_C = 0$), UJT được cấp điện áp định thiên, đồng thời tụ C cũng được nạp điện bởi U_{cc} qua điện trở R . Điện áp trên tụ C tăng dần theo quy luật $u_C = U_{cc}(1 - e^{-t/RC})$, mà điện áp trên C đặt vào cực phát và gốc B_1 qua R_1 , như vậy u_C đóng vai trò nguồn u_E , nên khi u_C đạt đến giá trị $U_{E_{max}}$ thì UJT mở và tụ C sẽ phóng điện qua mạch cực phát E và cực gốc B_1 , qua R_1 . Do UJT đang mở nên điện áp u_{EB1} rất nhỏ, lúc đó trên R_1 ta có một xung điện áp ra $u_{ra} = u_C - u_{EB1} \approx u_C$. Khi điện áp trên tụ giảm xuống bằng $u_{E_{min}}$ thì UJT khóa lại, mất điện áp ra ($u_{ra} = 0$) và tụ C lại được nạp. Quá trình cứ diễn ra lặp đi lặp lại như vậy mang tính chất chu kỳ với thời gian một chu kỳ:

$$T_{ck} \approx RC \ln \frac{1}{1 - \eta} \quad (2.126)$$



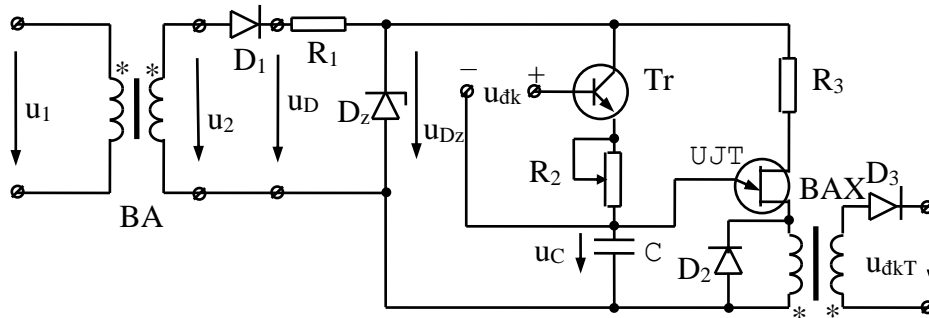
Hình 2.68: Sơ đồ một mạch phát xung dùng UJT (a) và đồ thị minh họa (b)

Để sơ đồ có thể tự do dao động thì phải đảm bảo điều kiện: $R_{min} < R < R_{max}$

trong đó: $R_{min} = (U_{cc} - U_{E_{min}}) / I_{E_{min}}$ và $R_{max} = (U_{cc} - U_{E_{max}}) / I_{E1}$, với I_{E1} là giá trị dòng cực phát tương ứng với điểm C trên đặc tính V-A của đi ốt, thường từ 0,5 đến 20 μA .

Nhận xét: Mạch phát xung này tương đối đơn giản, xung ra có công suất đủ để điều khiển mở các thyristor công suất nhỏ. Tuy nhiên, với sơ đồ trên thì chưa thể áp dụng để điều khiển bộ chỉnh lưu vì tần số xung phụ thuộc vào thông số các linh kiện trong sơ đồ, thời điểm xuất hiện xung đầu tiên phụ thuộc vào thời điểm đóng nguồn cung cấp cho mạch phát xung. Với đặc điểm làm việc của sơ đồ hình 2.68, có thể thấy rằng, nếu cung cấp cho sơ đồ bởi một nguồn điện áp dạng xung mà tốt nhất là xung nguồn hình chữ nhật với tần số bằng tần số nguồn cung cấp cho bộ chỉnh lưu, thời điểm đầu của mỗi xung nguồn trùng hoặc lệch một góc xác định so với thời điểm mở tự nhiên của van sẽ được điều khiển từ mạch phát xung này thì thời điểm xuất hiện xung ra đầu tiên trong mỗi chu kỳ xung nguồn (cũng là chu kỳ nguồn cung cấp cho bộ chỉnh lưu) cũng sẽ lệch một góc xác định so với thời điểm mở tự nhiên đối với van chỉnh lưu và có thể điều chỉnh được góc lệch nhờ điều chỉnh thông số sơ đồ hoặc dòng nạp tụ. Trong thực tế để tạo ra các xung nguồn dạng chữ nhật như đã nêu tương đối phức tạp, nhưng người ta có thể tạo ra các xung nguồn gần dạng hình thang một cách dễ dàng (sơ đồ sau), và dạng nguồn này cũng có thể sử dụng được.

2.10.4.3. Một sơ đồ phát xung điều khiển dùng đi ốt 2 cực góc



Hình 2.69: Một kênh phát xung điều khiển bộ chỉnh lưu dùng UJT

- Giới thiệu sơ đồ:

⊕ BA là máy biến áp dùng để cấp nguồn cho mạch phát xung và đồng thời đảm nhận chức năng đồng bộ hóa: Điện u_2 bên thứ cấp BA được sử dụng để tạo ra nguồn cung cấp có dạng xung như đã nêu ở tiểu mục 2.10.4.3.

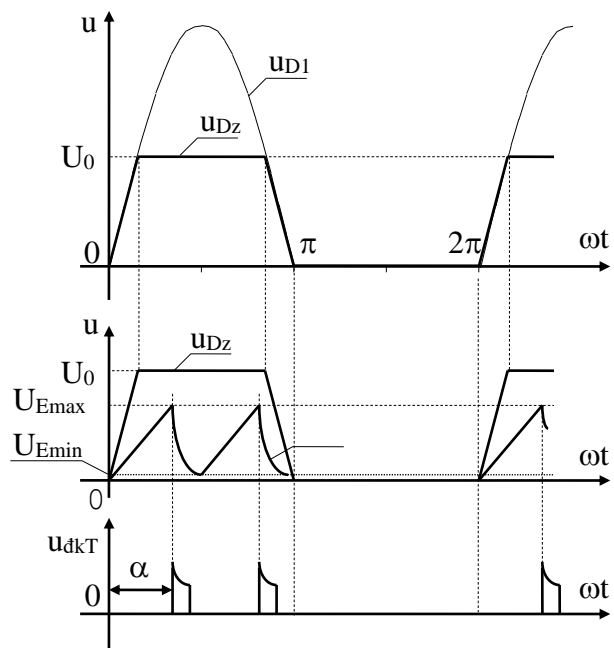
⊕ Khâu tạo nguồn dạng xung vừa đảm nhận chức năng nguồn nuôi, vừa đảm nhận chức năng đồng bộ hóa gồm đi ốt D_1 , điện trở hạn chế R_1 và đi ốt ổn áp D_z .

⊕ Mạch phát xung dùng UJT gồm: UJT, transistor Tr, tụ điện C, biến trở R_2 , điện trở R_3 . Khác với sơ đồ hình 2.68a, trong sơ đồ này, để điều khiển dòng điện nạp cho tụ C không sử dụng biến trở R mà dùng mạch tạo dòng nạp ổn định và điều khiển được bởi điện áp điều khiển $u_{đk}$, mạch này gồm Tr, biến trở hiệu chỉnh R_2 , nguồn điện áp điều khiển $u_{đk}$.

⊕ Mạch truyền xung dùng máy biến áp xung BAX, trong mạch còn có hai đi ốt: D_2 để bảo vệ, D_3 để ngăn xung âm không truyền đến cực điều khiển thyristor.

- Nguyên lý hoạt động của sơ đồ:

⊕ Nguyên lý tạo nguồn cung cấp dạng xung: Giả thiết, thời điểm $\omega t = 0$ là thời điểm đầu nửa chu kỳ dương của u_2 ($u_2 = 0$ và bắt đầu chuyển sang dương), D_1 mở và trên đầu ra của mạch chỉnh lưu xuất hiện điện áp $u_{D1} = u_2$. Trong một giai đoạn ngắn ở đầu nửa chu kỳ dương, do $u_2 < U_0$ (U_0 là giá trị điện áp ổn áp của D_z) nên D_z chưa làm việc, dòng điện qua mạch phát xung còn rất nhỏ nên có thể bỏ qua sụt điện áp trên điện trở hạn chế R_1 , do đó điện áp trên ổn áp D_z bằng điện áp u_{D1} . Khi u_2 tăng bằng và sau đó vượt quá giá trị U_0 , D_z bắt đầu làm việc, giữ cho điện áp trên nó bằng giá trị không đổi U_0 , đến gần cuối nửa



Hình 2.70: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 2.68

chu kỳ dương của u_2 , u_2 lại giảm nhỏ hơn U_0 nên Dz khóa lại, $u_{Dz} = u_{D1} = u_2$. Trong thời gian nửa chu kỳ âm của u_2 , van D_1 khóa và điện áp đầu ra của ổn áp $u_{Dz} = u_{D1}$. Dạng điện áp cấp cho mạch phát xung (u_{Dz}) được biểu diễn như trên đồ thị thứ nhất của hình 2.70, đây là điện áp dạng xung cần thiết đối với sơ đồ phát xung sử dụng đi ốt hai cực góc để điều khiển bộ chỉnh lưu.

⊕ Nguyên lý làm việc của mạch phát xung: Tại $\omega t = 0$, xuất hiện điện áp cấp cho mạch phát xung, tụ điện C bắt đầu được nạp bởi dòng điện có giá trị ổn định nên điện áp trên tụ tăng theo qui luật tuyến tính. Khi $u_C = U_{Emax}$ thì UJT mở, tụ C phóng điện qua UJT và cuộn sơ cấp BAX làm xuất hiện xung bên thứ cấp BAX và nó được truyền qua D_3 đến điện cực điều khiển của thyristor. Sự phóng điện của tụ qua UJT mở làm cho điện áp trên tụ giảm, khi u_C giảm xuống bằng U_{Emin} thì UJT khóa lại, tụ C ngừng phóng điện và lại được nạp, ..., đi ốt D_2 được dùng để khử xung điện áp âm xuất hiện khi UJT chuyển sang khóa. Tùy thuộc giá trị dòng nạp tụ mà trong thời gian một xung điện áp nguồn (một nửa chu kỳ điện áp xoay chiều) có thể xuất hiện một hoặc một số xung đầu ra. Nếu thời điểm mở tự nhiên của thyristor được điều khiển bằng xung ra của sơ đồ trùng với thời điểm đầu nửa chu kỳ dương của u_2 thì góc điều khiển bằng khoảng thời gian từ điểm đầu nửa chu kỳ dương của u_2 đến thời điểm xuất hiện ra đầu tiên trong nửa chu kỳ đó (hình 2.70).

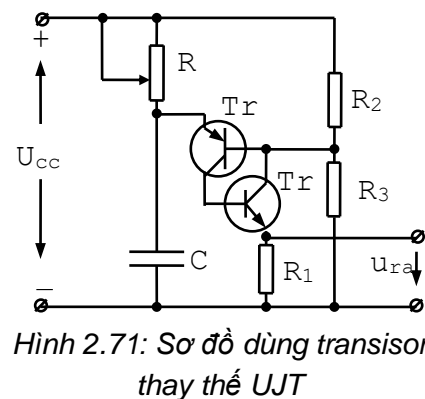
Với mạch phát xung trên đây thì phạm vi thay đổi của góc điều khiển nhỏ hơn 180° vì xung ra chỉ có đủ chất lượng khi nó nằm trong vùng điện áp $u_{D2} \geq U_0$.

2.10.4.4. Mạch điện thay thế UJT bằng transistor

Trong một số trường hợp khi không có UJT thay thế ta có thể dùng hai transistor khác loại đấu theo sơ đồ hình 2.71.

Trong sơ đồ này Tr_1 là loại transistor P-N-P (thuận), còn Tr_2 là transistor loại N-P-N (ngược).

Với sơ đồ này cần phải tính chọn các điện trở để đảm bảo được sự tương đương ở mức nhất định.



Hình 2.71: Sơ đồ dùng transistor thay thế UJT

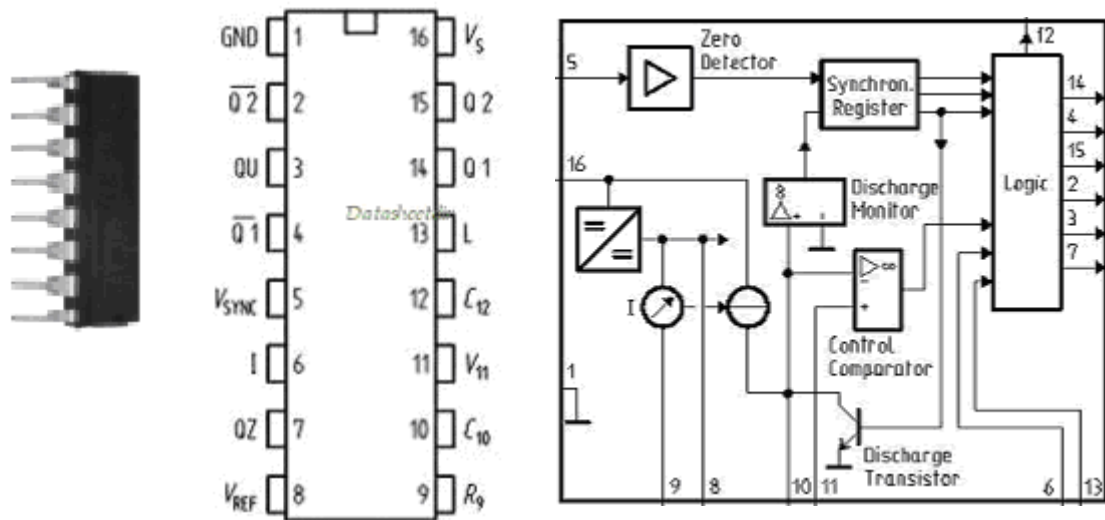
2.10.5. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN BỘ CHỈNH LƯU DÙNG LINH KIỆN TỔ HỢP

Trong những giai đoạn đầu, khi mới xuất hiện các bộ chỉnh lưu điều khiển dùng thyristor, các mạch điều khiển cơ bản được xây dựng bằng các phần tử bán dẫn rời rạc và các IC khuếch đại thuật toán với ba nguyên tắc thiết kế như đã nêu. Khi công nghệ sản xuất mạch vi điện tử phát triển, nhằm mục tiêu giảm nhỏ kích thước và giá thành, tăng chất lượng của các mạch phát xung điều khiển bộ chỉnh lưu và một số loại bộ biến đổi khác, một số hãng lớn đã sản xuất các linh kiện tổ hợp phục vụ cho việc thiết kế các mạch điều khiển. Đối với việc điều khiển bộ chỉnh lưu, các linh kiện tổ hợp thường được thiết kế dựa trên cơ sở hệ thống điều khiển theo nguyên tắc khống chế pha đúng.

2.10.5.1. Một số linh kiện tổ hợp dùng trong hệ thống điều khiển bộ chỉnh lưu

a. TCA 780, TCA 785

Đây là các IC do hãng Siemens sản xuất, hình dáng và cách bố trí chân của hai IC này là giống nhau, chỉ khác nhau về giá trị một số thông số như là dòng điện đầu ra. Sau đây sẽ giới thiệu về hình dạng, cách bố trí chân và bảng thông số của TCA 785 là loại có tính năng tốt hơn.



Hình 2.72: Hình dạng, sơ đồ bố trí chân và cấu trúc bên trong của TCA785

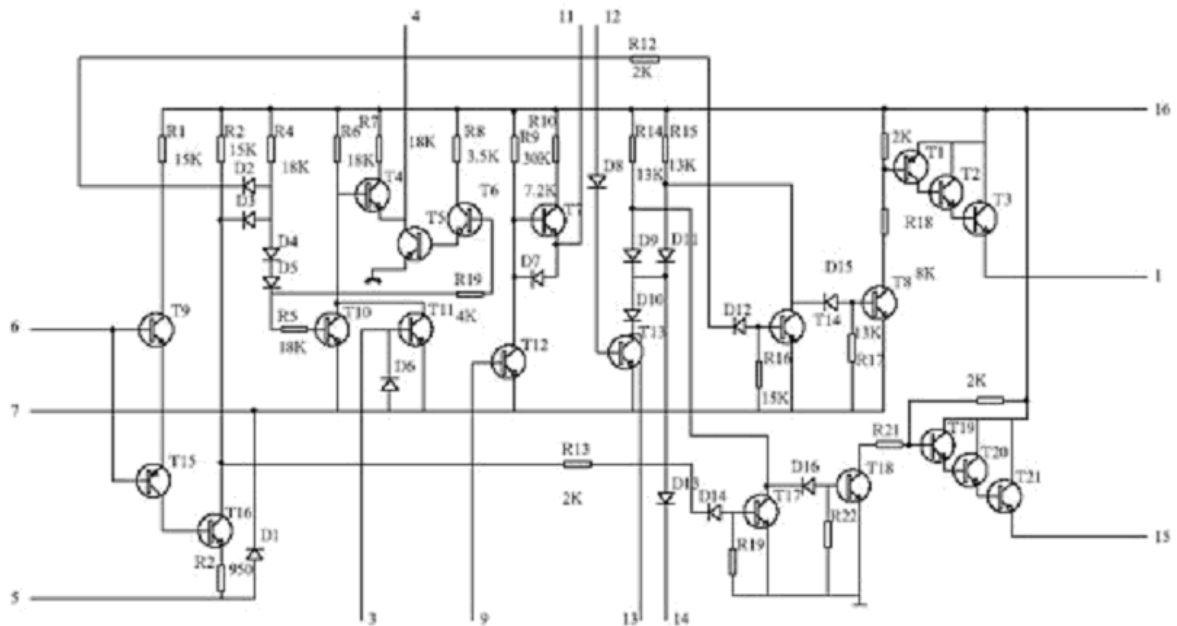
Bảng 2.1: Chức năng các chân của TCA785

| Chân | Ký hiệu | Chức năng | Chân | Ký hiệu | Chức năng |
|------|-------------------|------------------|------|-----------------|---------------------------------|
| 1 | GND | Nối đất (mát) | 9 | R ₉ | Điện trở tạo răng cưa |
| 2 | $\overline{Q2}$ | Đảo của đầu ra 2 | 10 | C ₁₀ | Tụ điện tạo răng cưa |
| 3 | QU | Đầu ra U | 11 | V ₁₁ | Điện áp điều khiển ($u_{đk}$) |
| 4 | $\overline{Q1}$ | Đảo của đầu ra 1 | 12 | C ₁₂ | Tụ sửa xung |
| 5 | V _{SYNC} | Điện áp đồng bộ | 13 | L | Xung dài |
| 6 | I | Cắm, ngắt, chặn | 14 | Q1 | Đầu ra 1 |
| 7 | QZ | Đầu ra Z | 15 | Q2 | Đầu ra 2 |
| 8 | V _{REF} | Điện áp ổn định | 16 | V _S | Điện áp cung cấp |

b. KJ004

KJ004 là một vi mạch do Trung Quốc sản xuất, nó có tính năng gần tương tự như TCA785. Hình dạng bên ngoài của KJ004 cũng giống TCA785, nhưng khác nhau về sơ đồ chức năng các chân của vi mạch. Chức năng của các đầu ra cơ bản của KJ004:

Nối đất (mát): chân số 7; điện áp cung cấp: chân số 16; đầu ra 1: chân số 1; đầu ra 2: chân số 15; điện áp răng cưa: chân số 3; mạch tạo điện áp răng cưa gồm điện trở nối vào chân số 3 ($30 \div 100 \text{ K}\Omega$) và tụ điện ($0,047\mu\text{F}$) nối giữa hai chân 3 và 4; điện áp điều khiển nối và chân số 9.

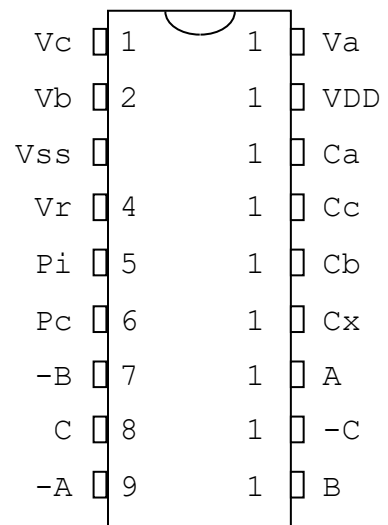


Hình 2.73: Cấu tạo bên trong của KJ004

c. TC787/TC788

Vi mạch TC787, TC788 là các loại vi mạch tổ hợp dùng để phát xung điều khiển cho sáu van của sơ đồ chỉnh lưu hình cầu ba pha, hoặc sơ đồ chỉnh lưu hình tia sáu pha và cả bộ biến đổi xoay chiều - xoay chiều ba pha dùng sáu thyristor. Vi mạch cho phép tạo ra hệ thống xung điều khiển cho các van với độ đối xứng về góc điều khiển rất cao, nên áp dụng cho việc điều khiển bộ biến đổi xoay chiều - xoay chiều ba pha đạt chất lượng tốt.

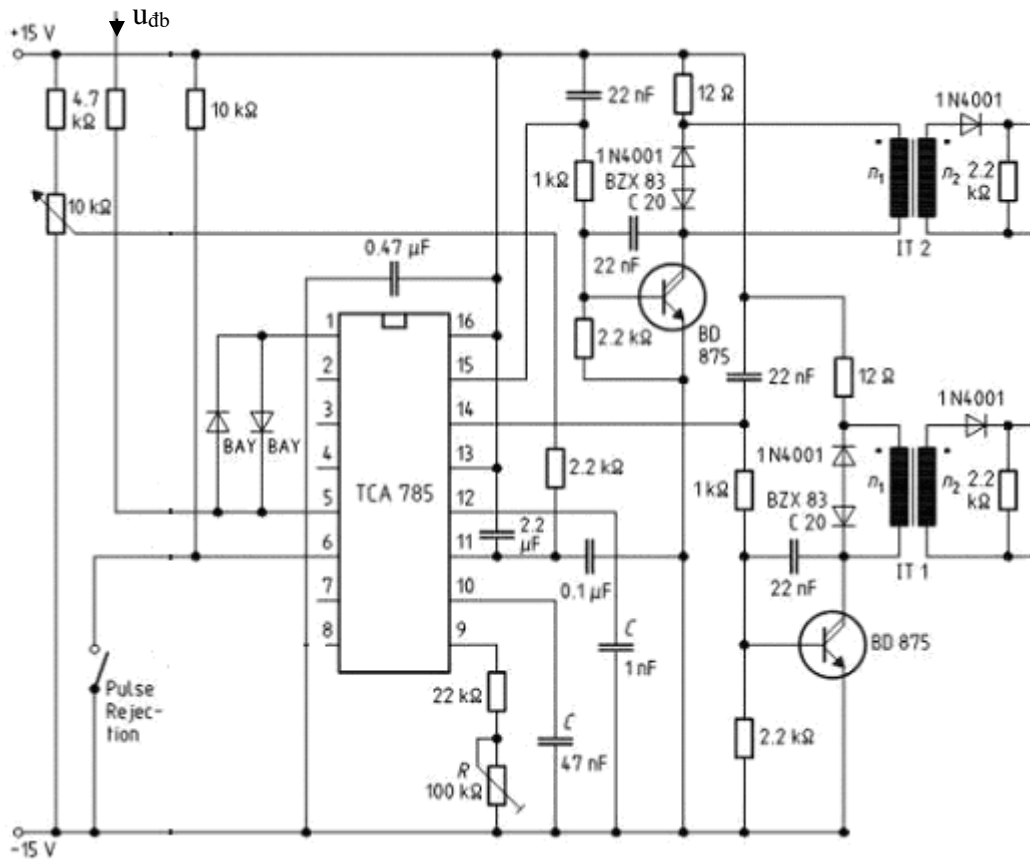
Hình 2.74 là sơ đồ bố trí chân của TC787. Các chân Va (18), Vb (2) và Vc (1) là các đầu vào tín hiệu đồng bộ của các pha a, b, c; chân 17: nguồn cung cấp; chân 3: nối đất; chân 6: nối điện trở điều khiển biên độ răng cưa (nối đến nguồn cung cấp); chân 4: tín hiệu điều khiển (u_{dk}); các đầu Ca (16), Cb (14), Cc (15) nối các tụ cho mạch tạo răng cưa các pha a, b, c; các đầu ra xung là A (12), -A (9), B (10), -B (7), C (8), -C (11), các xung này sẽ được khuếch đại công suất và truyền qua máy biến áp xung đến cực điều khiển các van của sơ đồ chỉnh lưu cầu ba pha theo thứ tự T₁, T₄, T₃, T₆, T₅, T₂.



Hình 2.74: Sơ đồ bố trí chân của TC787

2.10.5.2. Một số sơ đồ ứng dụng linh kiện tổ hợp để điều khiển bộ chỉnh lưu

a. Ứng dụng TCA 785 để điều khiển bộ chỉnh lưu hình tia hai pha hoặc cầu một pha

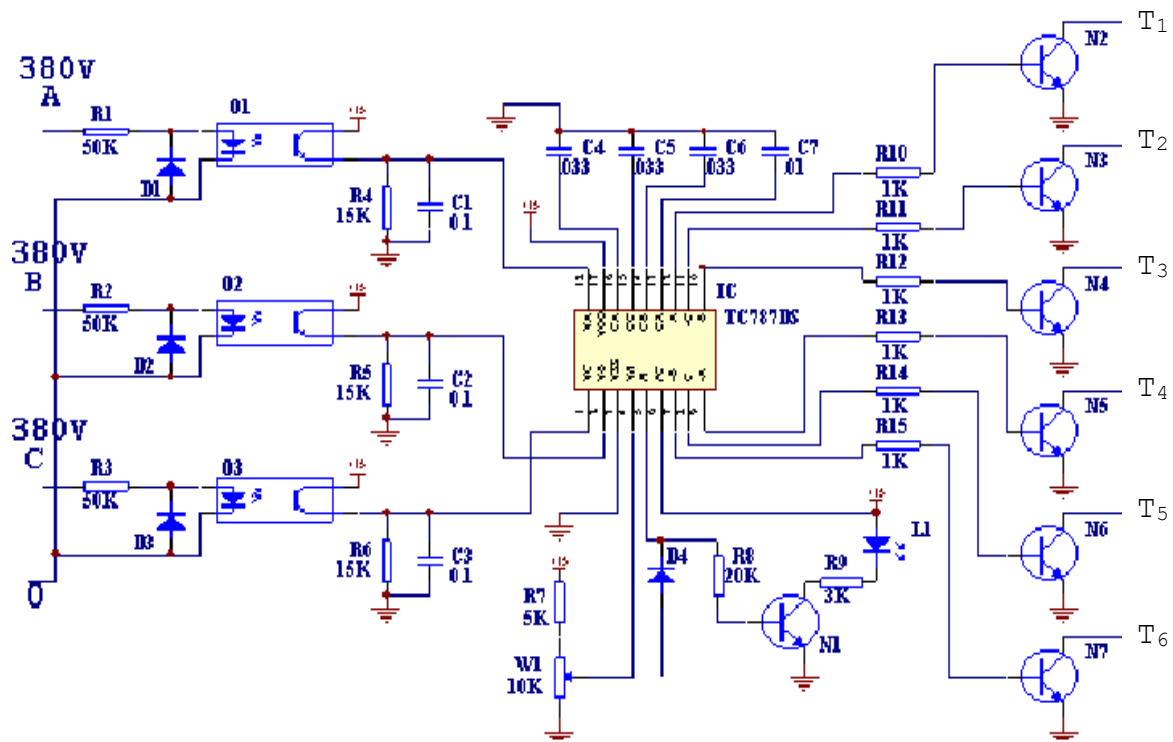


Hình 2.75: Ứng dụng TCA785 để điều khiển bộ chỉnh lưu

Hình 2.75 là sơ đồ mạch mạch phát xung điều khiển dùng TCA785 để điều khiển bộ chỉnh lưu hình tia hai pha hoặc hai van trong một pha của sơ đồ chỉnh lưu cầu ba pha. Các thông số linh kiện trên sơ đồ là giá trị thường hay sử dụng, độ dài xung ra cỡ $600\mu s$. Ưu điểm của sơ đồ này là mạch điện có kết cấu gọn hơn so với việc sử dụng các linh kiện rời rạc, độ đối xứng của xung đầu ra rất cao (góc lệch giữa xung ra hai kênh xấp xỉ 180^0 điện). Sơ đồ trên cũng có thể sử dụng để điều khiển bộ chỉnh lưu hình cầu một pha, với sơ đồ cầu một pha điều khiển hoàn toàn hoặc sơ đồ có điốt không thì chỉ cần sử dụng các máy biến áp xung có hai cuộn thứ cấp cách ly nhau về điện, với sơ đồ bán điều khiển thì kết cấu mạch điều khiển trên là đủ.

b. Ứng dụng TC 787 để điều khiển bộ chỉnh lưu hình cầu ba pha

Sơ đồ hình 2.76 là một trong những sơ đồ ứng dụng linh kiện tổ hợp để điều khiển bộ chỉnh lưu. Sơ đồ này dùng vi mạch TC787, mạch đồng bộ hóa sử dụng các phần tử quang bán dẫn (phototransistor), vừa có kết cấu gọn nhưng vẫn đảm sự cách ly về điện giữa mạch điều khiển và mạch lực của bộ biến đổi.



Hình 2.76: Sử dụng TC787 để điều khiển bộ chỉnh lưu cầu ba pha

2.10.6. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN BỘ CHỈNH LƯU SỬ DỤNG LINH KIỆN SỐ

2.10.6.1. Khái niệm

Hiện nay, các mạch phát xung điều khiển bộ chỉnh lưu thường dùng các hệ vi xử lý. Để có thể hiểu rõ được nguyên lý và cách lập trình điều khiển cho loại mạch phát xung đó, trước tiên cần hiểu rõ nguyên lý làm việc của mạch phát xung dùng linh kiện điện tử số. Các mạch phát xung này thường dựa trên cơ sở chung như sau: Trong mạch có mạch phát ra chuỗi xung có tần số điều chỉnh được theo điện áp điều khiển (có thể sử dụng các mạch dao động có điều khiển bằng các phần tử bán dẫn thông thường hoặc một bộ chuyển đổi điện áp - tần số bằng vi mạch; một bộ đếm xung với giá trị đếm cho trước; mạch nhớ; ngoài cũng cần có tín hiệu đồng bộ, mạch sửa xung và khuếch đại xung như các sơ đồ đã nêu ở các mục trước.

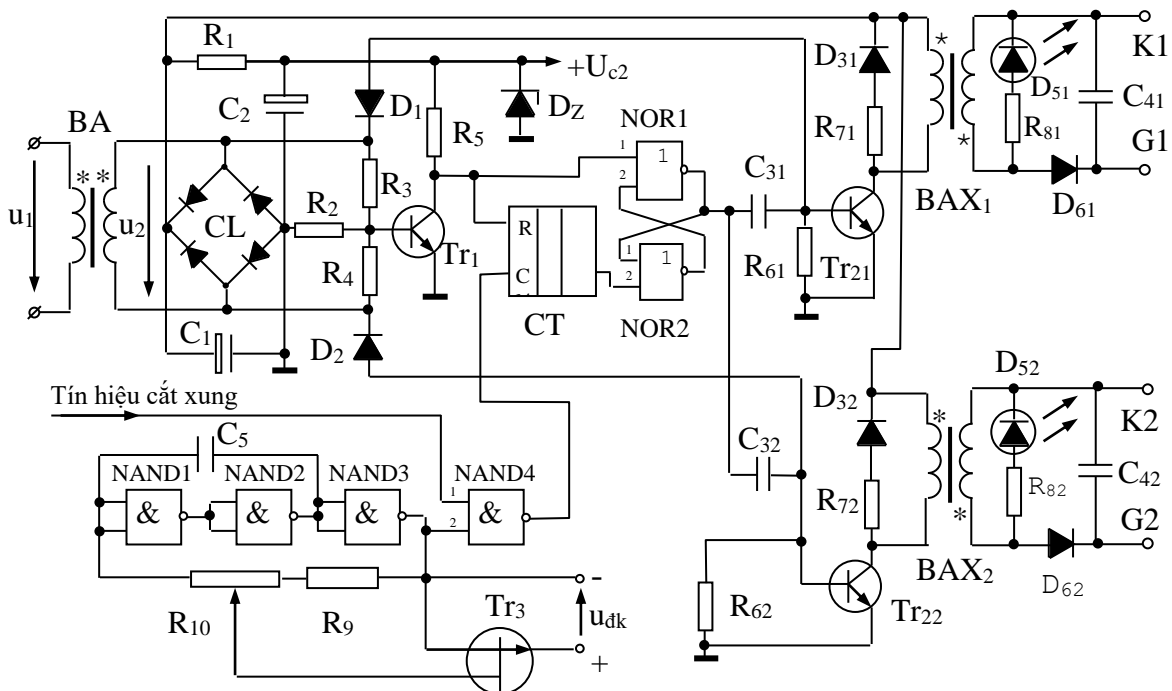
2.10.6.2. Một số sơ đồ mạch phát xung dùng linh kiện điện tử số

a. Giới thiệu sơ đồ

Hình 2.77 là sơ đồ một mạch phát xung điều khiển bộ chỉnh lưu hình tia hai pha (hoặc sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha) sử dụng phần tử điện tử số. Các khâu của sơ đồ gồm:

- Mạch tự dao động có điều khiển gồm các phần tử và-đảo NAND1, NAND2, NAND3, tụ C5, transistor trường loại JFET Tr3, điện trở R9, chiết áp R10 và tín hiệu điều khiển tần số dao động u_{dk} (điện áp điều khiển);

- Máy biến áp BA và một số phần tử liên quan như bộ chỉnh lưu cầu một pha không điều khiển CL, các điện trở $R_1 \div R_5$, các tụ lọc C_1 và C_2 , đi ốt ổn áp D_Z , transistor Tr_1 vừa làm chức năng của khâu đồng bộ hóa và tạo nguồn nuôi cho mạch phát xung;
- Phần tử và-đảo NAND4 làm chức năng bảo vệ, ngắt xung ra để bảo vệ bộ biến đổi trong một số trường hợp, ví dụ như quá tải, ngắn mạch tải, ...
- Các đi ốt D_1, D_2 phối hợp với máy biến áp BA và bộ chỉnh lưu CL đóng vai trò các phần tử chính của mạch phân chia xung;
- Bộ đếm xung CT, đây là phần tử xác định thời điểm xuất hiện xung đầu ra (tương đương như vai trò của khối so sánh trong sơ đồ phát xung theo nguyên tắc không chế pha đứng). giá trị đặt của CT trong sơ đồ này là 64 (tùy theo từng loại bộ đếm được sử dụng: bộ đếm được gọi là bộ đếm chia n thì giá trị đặt của nó là $n/2$);
- Bộ nhớ là một mạch lật R-S bằng hai phần tử hoặc-đảo NOR1 và NOR2, có tác dụng chuyển chuỗi xung ra từ bộ đếm trong mỗi nửa chu kỳ nguồn thành một xung dài;
- Phần cuối của sơ đồ là mạch sửa xung, chia xung và khuếch đại công suất xung.

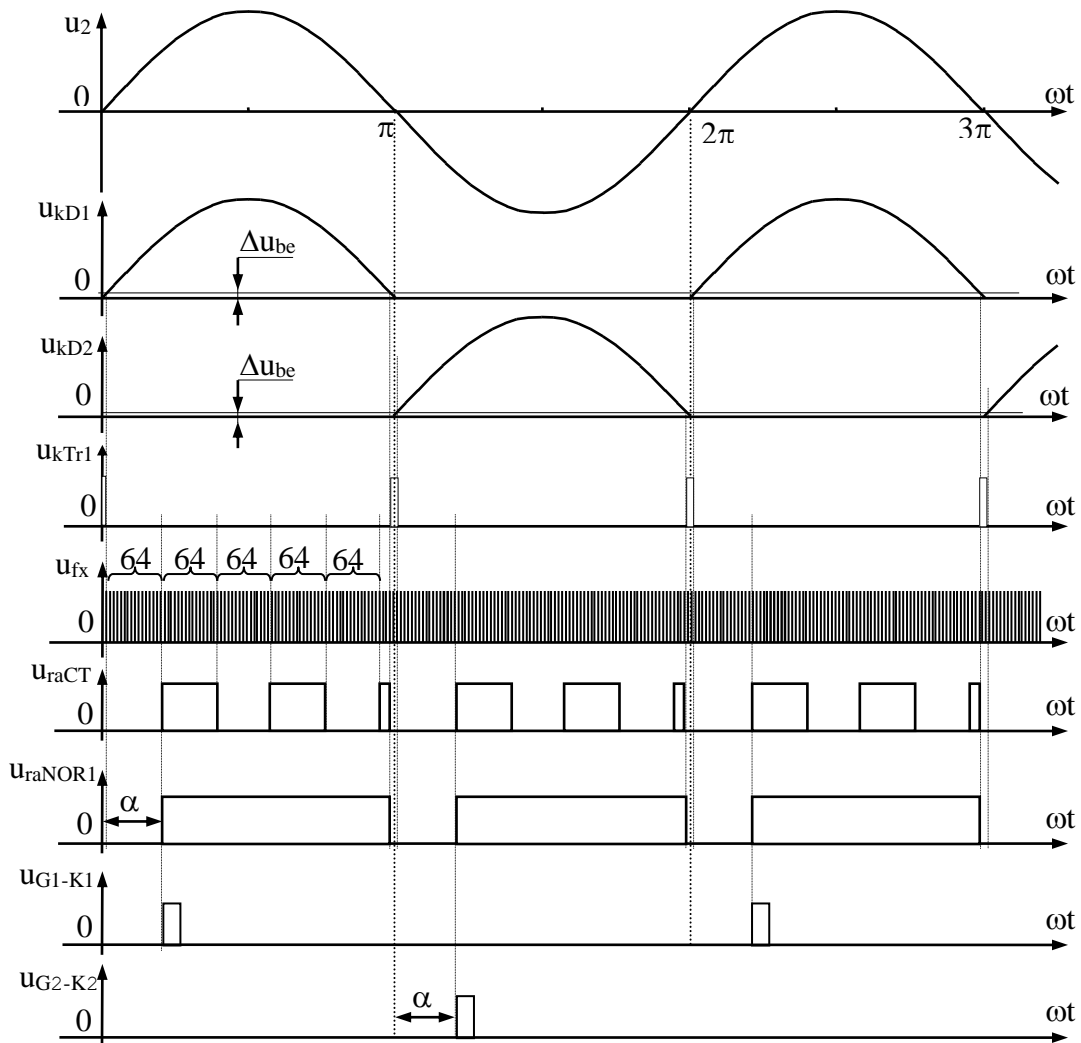


Hình 2.77: Mạch phát xung sử dụng các phần tử điện tử số

b. Nguyên lý làm việc

- Nguyên lý làm việc mạch đồng bộ hóa và tạo nguồn nuôi:

Điện áp u_2 bên thứ cấp máy biến áp BA là điện áp xoay chiều hình sin đồng bộ với nguồn cung cấp cho các van của sơ đồ chỉnh lưu (giả thiết điểm đầu nửa chu kỳ dương của u_2 trùng với thời điểm mở tự nhiên của van T_1 trong sơ đồ chỉnh lưu hình tia hai pha) được chỉnh lưu bởi bộ chỉnh lưu cầu một pha không điều khiển CL. Điện áp chỉnh lưu đầu ra của CL được lọc bằng tụ C_1 dùng để cấp cho mạch khuếch đại công suất xung, điện áp này được ổn áp bởi một mạch ổn áp thông số bằng điện trở hạn chế R_1 và đi ốt ổn áp D_Z , rồi



Hình 2.78: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc sơ đồ hình 2.77

lọc bằng tụ C_2 cho điện áp một chiều ổn định U_{c2} dùng để cấp cho Tr_1 và các phần tử logic và bộ đếm. Điện áp đầu ra của CL cũng được dùng để điều khiển sự làm việc của Tr_1 (xem đồ thị), cho phép tạo ra các xung hẹp xuất hiện xung quanh thời điểm đầu của mỗi nửa chu kỳ điện áp u_2 (u_{kTr1}), đây là các tín hiệu đồng bộ cần thiết, được dùng để làm tín hiệu xóa bộ đếm và mạch nhớ.

- Nguyên lý mạch tự dao động có điều khiển:

Đây là một mạch tự dao động, cho phép tạo ra chuỗi xung chữ nhật có tần số f_x có thể điều chỉnh được: điều chỉnh nhờ biến trở R_{10} hoặc nhờ điện áp điều khiển u_{dk} đặt vào cực G và S của transistor trường Tr_3 . Tần số dao động của mạch được tính toán cho các trường hợp cụ thể như sau:

⊕ Khi $u_{dk} = 0$, nếu điều chỉnh cơ trượt của chiết áp $10R$ từ tận cùng bên trái sang tận cùng bên phải thì f_x thay đổi từ xấp xỉ 6 KHz đến 1 Mhz.

⊕ Khi cố định vị trí của con trượt R_{10} ở tận cùng bên trái, điều chỉnh tăng dần u_{dk} từ 0V đến 6V thì f_x cũng thay đổi từ xấp xỉ 6 KHz đến 1 Mhz.

- Nguyên lý hoạt động của mạch phát xung bằng bộ đếm CT và mạch nhớ:

Lên cận trước và sau thời điểm đầu mỗi nửa chu kỳ, như đã nêu, trên cực góp Tr_1 có một xung điện áp dương, đủ mức logic 1 đối với các phần tử logic trong sơ đồ. Như vậy, tại $\omega t = 0$, trên đầu vào R của CT và đầu vào thứ nhất của NOR1 (cũng là đầu vào R của mạch lật R-S được sử dụng làm phần tử nhớ) có mức logic 1, nên các đầu ra của bộ đếm và đầu ra mạch mạch nhớ (đầu ra của NOR1) có mức logic 0 (bộ đếm và mạch lật bị reset. Sau khi mất xung xóa trên đầu R (lên cận sau $\omega t = 0$), bộ đếm bắt đầu thực hiện nhiệm vụ đếm các xung từ mạch tự dao động truyền đến thông qua phần tử đảo có điều khiển NAND4 (điều kiện để xung truyền qua là trên đầu vào số 1 của NAND4 có mức logic 1). Sau khi xuất hiện số lượng xung bằng giá trị đặt (64 xung) trên đầu vào CT thì đầu ra CT chuyển từ mức logic 0 sang mức logic 1, kéo theo đầu ra mạch nhớ cũng chuyển từ mức logic 0 sang mức logic 1, tức là xuất hiện xung ra của mạch phát xung. Tiếp theo, khi xuất hiện thêm trên đầu số lượng xung bằng giá trị đặt, đầu ra CT chuyển từ mức logic 1 sang mức logic 0, tuy nhiên do đặc tính nhớ của mạch lật R-S nên lúc này đầu ra NOR1 vẫn có mức logic 1 (vẫn tồn tại xung ra), ... Đến cuối nửa chu kỳ dương của u_2 ($\omega t = \pi$), trên cực góp Tr_1 lại có xung điện áp dương, Các đầu R của Ct và nạch ns lại có mức logic 1 nên các đầu ra của chúng chuyển về mức logic 0, mất xung ra. Lặn cân sau thời điểm $\omega t = \pi$, mất xung trên cực góp Tr_1 , bộ đếm và mạch nhớ lại hoạt động tương tự như đã nêu. Hoạt động của mạch được mô tả bằng các đồ thị số 5, 6, 7 của hình 2.78. Như vậy, trong một chu kỳ nguồn, trên đầu ra xuất hiện hai xung, mỗi xung ở một nửa chu kỳ và các xung xuất hiện chậm sau thời điểm đầu mỗi nửa chu kỳ một khoảng thời gian giống nhau và có thể xem là bằng giá trị đặt của bộ đếm nhân với thời gian một chu kỳ của chuỗi xung đầu ra mạch tự dao động.

- Nguyên lý hoạt động của mạch phân chia xung, sửa xung và khuếch đại xung:

Trong thời nửa chu kỳ dương của u_2 thì $u_{KD1} = u_2 > 0$, còn $u_{KD2} = 0$, do vậy, khi có xung trên đầu ra mạch nhớ thì chỉ có Tr_{21} làm việc và có xung trên các đầu ra G1 và K1 (có xung điều khiển T_1), còn ở nửa chu kỳ âm của u_2 thì $u_{KD1} = 0$, còn $u_{KD2} = -u_2 > 0$, nên khi có xung đầu ra mạch nhớ thì chỉ có Tr_{22} làm việc và chỉ có xung trên các đầu ra G2 và K2 (có xung điều khiển T_2). Thời gian tồn tại mỗi xung ra tùy thuộc vào dung lượng các tụ C_{31} , C_{32} và các phần tử liên quan.

- Góc điều khiển α :

Giá trị góc điều khiển được xác định như trên đồ thị, có thể tính toán gần chính xác giá trị góc điều khiển bằng biểu thức sau (khi chấp nhận độ dài xung trên cực góp transistor Tr_1 là vô cùng nhỏ):

$$\alpha = n \frac{T_x}{T} 360^\circ = n \frac{f}{f_x} 360^\circ = 64 \frac{f}{f_x} 360^\circ \quad (2.127)$$

trong đó: n là giá trị đặt của bộ đếm CT (ở đây $n = 64$); T_x , T là chu kỳ của chuỗi xung đầu ra mạch dao động và chu kỳ nguồn xoay chiều; f_x , f là tần số của chuỗi xung đầu ra mạch dao động và tần số nguồn xoay chiều.

Như vậy điều chỉnh tần số xung của mạch tự dao động sẽ thay đổi được giá trị góc điều khiển α , trong sơ đồ được thực hiện nhờ chiết áp R_{10} hoặc điện áp điều khiển u_{dk} .

Trong thực tế, thường sử dụng các vi mạch chuyển điện áp tần số để thay cho mạch tự dao động của sơ đồ trên.

2.10.7. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN BỘ CHỈNH LƯU HỆ VI XỬ LÝ

Hiện nay, ngoài các mạch phát xung điều khiển chỉnh lưu thông thường như đã xét, các mạch phát xung điều khiển chỉnh lưu bằng hệ vi xử lý đang được áp dụng ngày càng nhiều và dần thay thế các mạch phát xung truyền thống. Nguyên tắc cơ bản của các mạch phát xung điều khiển bộ chỉnh lưu bằng hệ vi xử lý rất giống với nguyên tắc phát xung dùng linh kiện điện tử số, nhưng khác là các thuật toán được xây dựng bằng phần mềm.

2.10.8. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN BỘ BIẾN ĐỔI CÓ ĐẢO DÒNG

2.10.8.1. Hệ thống điều khiển bộ biến đổi có đảo dòng điều khiển độc lập

a. Giới thiệu chung

Như đã biết, đối với phương pháp điều khiển độc lập bộ biến đổi có đảo dòng thì mạch phát xung điều khiển có cấu trúc và yêu cầu hoàn toàn tương tự như mạch phát xung cho bộ chỉnh lưu thông thường, chỉ cần lưu ý rằng trong trường hợp này có hai sơ đồ chỉnh lưu nên số van gấp đôi và khi bộ biến đổi làm việc chỉ có các van của một sơ đồ được cấp xung điều khiển. Việc chuyển đổi sự làm việc giữa hai sơ đồ khi cần đảo chiều dòng tải được thực hiện bởi mạch logic đảo chiều. Mạch phát xung cho hai sơ đồ có thể được thiết kế theo một trong hai dạng sau:

- Dùng hai hệ thống phát xung riêng rẽ cho hai sơ đồ chỉnh lưu.

- Dùng hệ thống phát xung với phần chủ yếu ban đầu chung (đồng bộ hóa, tạo điện áp răng cưa, so sánh, sửa xung, phân chia xung), chỉ tách riêng nhau phần cuối: mạch khuếch công suất xung và truyền xung. Dạng mạch phát xung này hay được sử dụng hơn vì kết cấu mạch gọn hơn mà chất lượng vẫn đảm bảo.

Mạch logic đảo chiều có thể được thiết kế theo nhiều dạng khác nhau, tuy nhiên chúng phải đảm bảo một số yêu cầu cơ bản như sau:

- Điều kiện để thực hiện chuyển mạch, cắt xung của sơ đồ đang làm việc cần khóa và chuẩn bị cấp xung cho các van của sơ đồ cần đưa vào làm việc:

⊕ Có sự thay đổi mức logic của tín hiệu yêu cầu đảo chiều dòng tải u_M , có thể quy định: khi giá trị đặt dòng tải là dương ($u_i^* < 0$, cần dòng theo chiều thuận) thì u_M đạt mức logic 1, khi giá trị đặt dòng tải là âm ($u_i^* > 0$, cần dòng tải theo chiều ngược) thì u_M đạt mức logic 0. Khi có sự thay đổi mức logic của u_M từ 1 về 0 là lúc cần đổi chiều dòng tải từ thuận sang ngược, còn khi có sự thay đổi mức logic của u_M từ 0 lên 1 là lúc cần đổi chiều

dòng tải từ ngược sang thuận. (Chú ý: việc chọn $u_i^* < 0$ hay $u_i^* > 0$ khi giá trị đặt dòng tải là dương là do mạch điện cụ thể).

⊕ Dòng điện của van dẫn dòng sau cùng của sơ đồ cần khóa đã giảm về bằng không (bắt đầu khóa), sử dụng tín hiệu u_z để thể hiện trạng thái này, cụ thể: u_z đạt mức logic 0 thì vẫn còn van dẫn dòng, u_z đạt mức logic 1 khi tất cả các van đều đã ngừng dẫn dòng (khóa).

⊕ Mất xung đầu ra mạch sửa xung (yêu cầu này không bắt buộc, tùy thuộc vào từng trường hợp có thể sử dụng hoặc không sử dụng tín hiệu này).

- Điều kiện để cấp xung cho sơ đồ cần đưa vào làm việc khi thực hiện đổi chiều dòng tải: Để đảm bảo quá trình đổi chiều dòng tải an toàn, tránh ngắn mạch sơ đồ do sự tự mở trở lan của van vừa khóa khi chưa đủ thời gian phục hồi tính chất khóa, tín hiệu hiệu cho phép cấp xung cho sơ đồ cần được đưa vào làm việc phải chậm hơn thời điểm đảm bảo điều kiện chuyển mạch của mạch logic đảo chiều một khoảng thời gian lớn hơn thời gian phục hồi tính chất khóa của van với một độ dự trữ cần thiết.

b. Một ví dụ về mạch logic đảo chiều

Hình 2.79 là một mạch logic đảo chiều áp dụng cho bộ biến đổi có đảo dòng dùng hai sơ đồ chỉnh lưu ba pha (tia hoặc cầu). Các bộ phận chính của sơ đồ:

- Mạch kiểm tra trạng thái khóa của van và tạo ra tín hiệu thông báo u_z (phần trong khung nét đứt) gồm: các bộ chỉnh lưu cầu một pha không điều khiển $CL_1 \div CL_3$; các photo-triac $TO_1 \div TO_3$; các transistor Tr_1, Tr_2 và các điện trở liên quan.

- Khối xử lý và tạo tín hiệu u_M dùng khuếch đại thuật toán IC_1 .

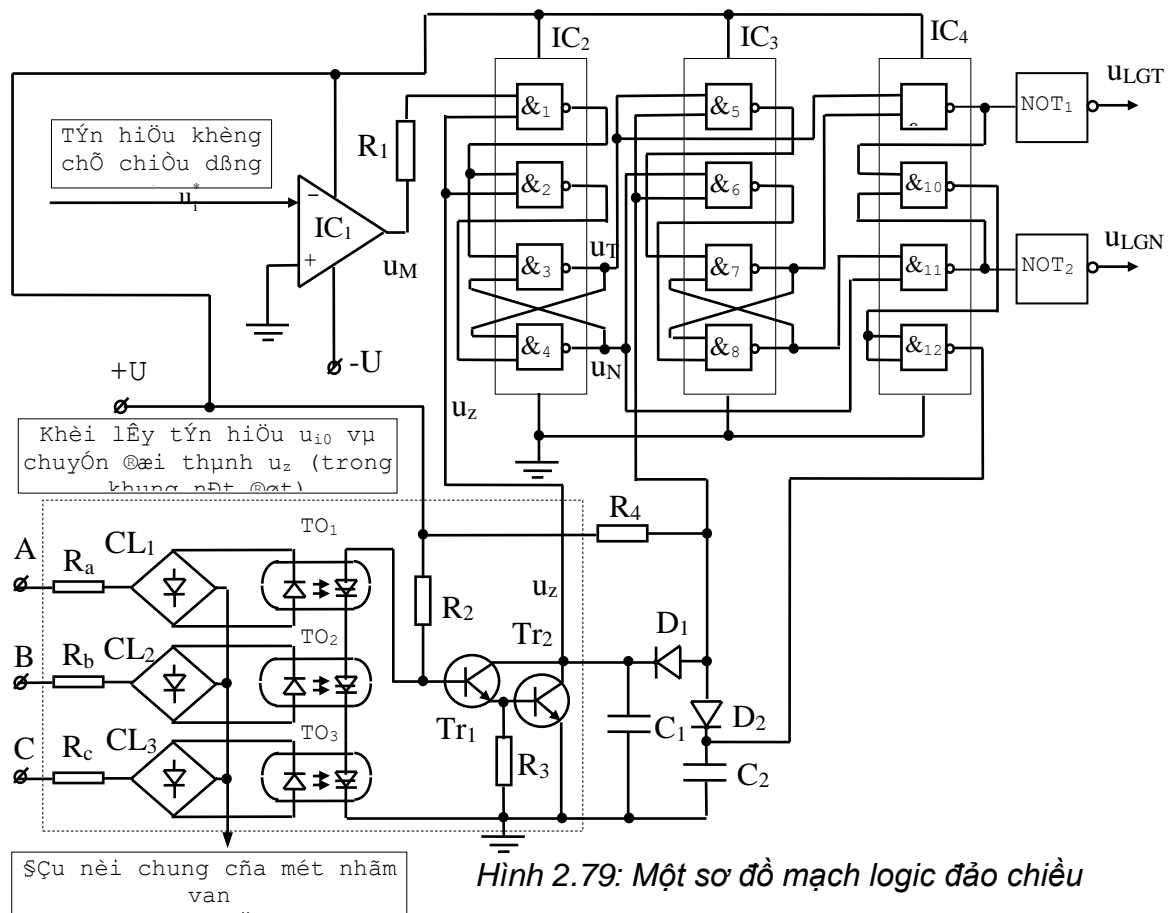
- Khối xử lý logic chính: mạch lật D cấu tạo bằng bộ phận tử VÀ-ĐẢO của IC_1 .

- Các thiết bị còn lại đảm nhận các chức năng làm trễ, phối hợp và liên động để đảm bảo điều kiện đổi chiều dòng an toàn và nhanh nhất.

Nguyên lý hoạt động của mạch: Giả thiết, sơ đồ chỉnh lưu 1 của bộ biến đổi đang làm việc, khi đó tín hiệu $u_i^* < 0, u_M > 0$ (mức logic 1), $u_z = 0$ (mức logic 0), u_T đạt mức logic 1, u_N có mức logic 0, điện áp trên tụ C_2 cũng bằng không, nên hai đầu ra của &5, &6 đều có mức logic 1, đầu ra của &7 có mức logic 1 còn &8 có mức logic 0 (do quá trình chuyển mạch trước), dẫn đến đầu ra &9 có mức 0 nên đầu ra NOT_1 có mức 1 ($u_{LGT} > 0$, cho phép mạch phát xung sơ đồ 1 làm việc), đầu ra &11 có mức 1 nên đầu ra NOT_2 có mức 0 ($u_{LGN} = 0$, không cho phép mạch phát xung sơ đồ 2 làm việc), đầu ra &10 có mức 1 nên đầu ra &12 có mức logic 0, tụ C_2 không được nạp, đảm bảo tín hiệu trên các đầu vào thứ hai của &5, &6 đều có mức logic 0.

Khi tác động đảo chiều dòng tải từ thuận sang ngược (khóa các van sơ đồ chỉnh lưu 1 và tiếp đến là cấp xung để đưa các van sơ đồ 2 vào làm việc), khi đó tín hiệu đầu vào hệ thống thay đổi, dẫn đến $u_i^* > 0, u_M < 0$ (mức logic 0), chuẩn bị cho quá trình chuyển mạch của mạch lật D. Do tác động của sự thay đổi dấu của tín hiệu đặt ở đầu vào hệ thống mà góc điều khiển sơ đồ chỉnh lưu 1, sau một khoảng thời gian ngắn thì dòng qua các van sơ

đồ chỉnh lưu 1 giảm về không (điều kiện mất dòng), khi đó các transistor Tr_1, Tr_2 khóa lại,



Hình 2.79: Một sơ đồ mạch logic đảo chiều

xuất hiện điện áp cao trên cực góp của chúng, tức là u_z có mức logic 1, mạch lật D chuyển mạch, u_T chuyển về mức logic 1, u_N đạt mức logic 1, do điện áp trên tụ C_2 vẫn bằng không nên tín hiệu đầu ra của &5, &6, &7, &8 chưa thay đổi. Do tín hiệu u_T chuyển về ứng với mức logic 0 nên tín hiệu đầu ra của &9 chuyển từ mức logic 0 lên mức logic 1, dẫn đến đầu ra phần tử NOT1 chuyển về mức không, mạch phát xung cho sơ đồ thuận ngừng cấp xung cho các van. Đầu ra &9 và &11 đều có mức logic 1, nên đầu ra &10 có mức 0 dẫn đến đầu ra &12 chuyển lên mức logic 1, xuất hiện điện áp nạp cho tụ C_2 , do nội trở của các phần tử logic mà điện áp trên tụ tăng từ từ, khi điện áp trên C_2 đạt mức logic 1 của các phần tử logic thì các phần tử logic của IC2 sẽ thay đổi trạng thái: đầu ra của &6 chuyển về mức 0 nên đầu ra của &8 sẽ lên mức 1, còn &7 chuyển về 0. Do đầu ra &8 có mức 1 nên đầu ra &11 sẽ chuyển về mức 0 và đầu ra NOT2 sẽ chuyển lên 1 ($u_{LGN} > 0$, cho phép mạch phát xung sơ đồ 2 làm việc), đầu ra &9 vẫn có mức 1 và đầu ra NOT1 vẫn giữ mức 0 ($u_{LGT} = 0$, không cho phép mạch phát xung sơ đồ 1 làm việc), quá trình đảo chiều dòng điện tải đã được thực hiện. Do đầu ra &11 chuyển về mức 0 nên đầu ra &10 sẽ có mức 1 và đầu ra &12 lại về mức 0, tụ C_2 phóng nhanh đến điện áp bằng 0. Điện áp trên C_2 bằng 0, tức là các đầu vào thứ hai của &5, &6 đều có mức logic 0, dẫn đến đầu ra của chúng đều có mức 1, nên mạch lật RS bằng &7 và &8 giữ nguyên trạng thái: đầu ra &7 có mức 0 và đầu ra &8 có mức 1 cho đến khi nào xuất hiện yêu cầu đổi lại chiều dòng tải.

2.10.8.2. Hệ thống điều khiển bộ biến đổi có đảo dòng điều khiển phối hợp tuyến tính

a. Giới thiệu sơ đồ

Như đã biết, khi bộ biến đổi có đảo dòng áp dụng phương pháp điều khiển phối hợp tuyến tính làm việc thì góc điều khiển của các van hai sơ đồ tuân theo quy luật:

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ$$

Để thực hiện quy luật trên có thể sử dụng nhiều biện pháp khác nhau, khi áp dụng phương pháp thiết kế mạch điều khiển theo nguyên tắc khống chế pha đứng thường hay sử dụng biện pháp:

Sử dụng điện áp tựa hình răng cưa với phần sườn sử dụng cắt trực hoành ở điểm chậm sau thời điểm mở tự nhiên của van một góc 90° điện (thực hiện bằng cách phối hợp điện áp răng cưa thông thường với một điện áp dịch một chiều có giá trị phù hợp: thường bằng một nửa biên độ điện áp răng cưa) và quan hệ giữa điện áp điều khiển của sơ đồ thuận ($u_{đkth}$) và sơ đồ ngược ($u_{đkng}$) tuân theo quy luật:

$$u_{đkth} = -u_{đkng} \quad (2.128)$$

Ngoài ra cũng có thể sử dụng biện pháp tạo ra điện áp tựa dạng hình tam giác cân, với độ dài một chu kỳ điện áp tựa (một xung tam giác) bằng đúng chu kỳ nguồn xoay chiều, hoặc các biện pháp khác.

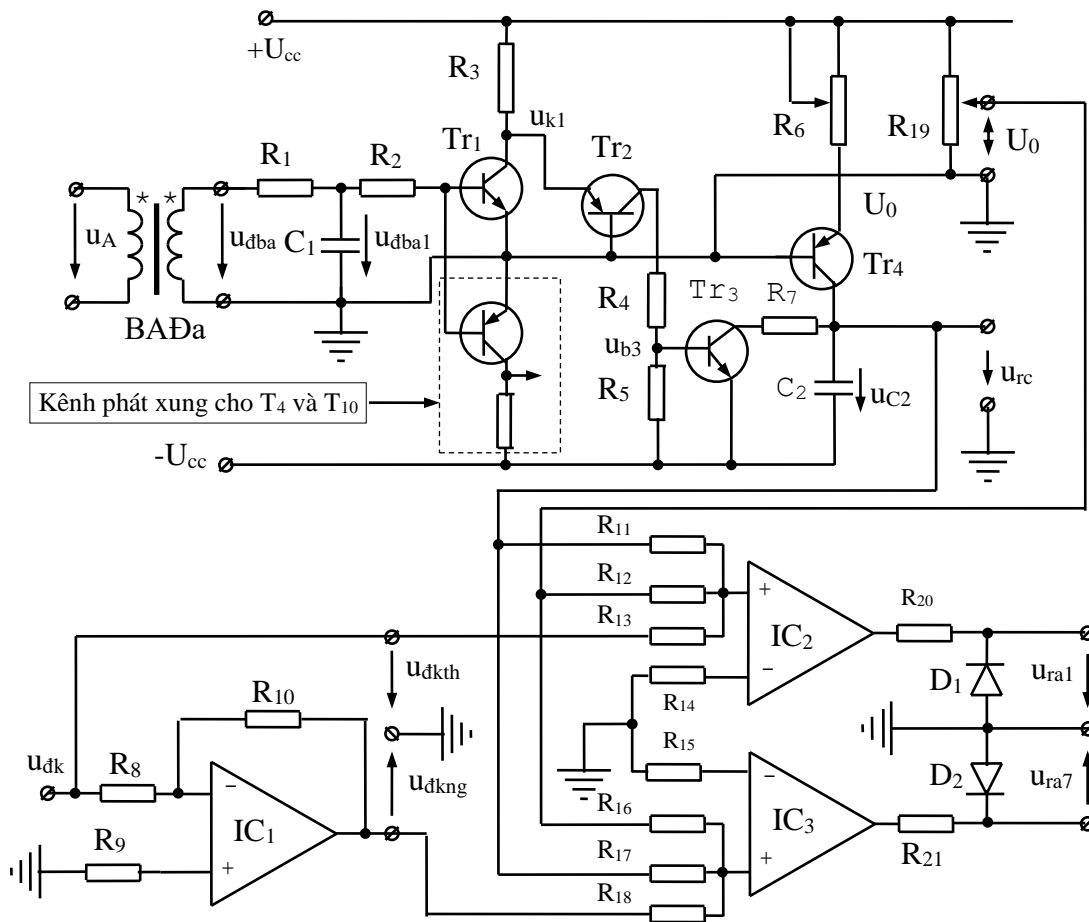
Trong nội dung mục này sẽ giới thiệu một sơ đồ thực hiện mạch phát xung điều khiển cho hai van T_1 và T_7 của bộ biến đổi có đảo dòng dùng hai sơ đồ chỉnh lưu cầu ba pha điều khiển phối hợp tuyến tính (hình 2.41b).

Sơ đồ phần đầu mạch điều khiển hai van T_1 và T_7 của bộ biến đổi có đảo dòng hình 2.41b được biểu diễn trên hình 2.80, ở đây chỉ biểu diễn phần mạch khối đồng bộ hóa - tạo điện áp răng cưa và khối so sánh, còn các phần mạch còn lại cơ bản tương tự các mạch điều khiển BBD không đảo chiều nên ở đây không đưa ra. Để phối hợp về góc pha đầu của tín hiệu đồng bộ với thời điểm mở tự nhiên của van, trong sơ đồ sử dụng mạch dịch pha R-C bằng R_1 , R_2 , C_1 để dịch điện áp lấy bên cuộn dây thứ cấp máy biến áp đồng bộ BAĐa đi một góc 30° , do vậy, điện áp $u_{đba1}$ sẽ có thời điểm đầu nửa chu kỳ dương trùng với thời điểm mở tự nhiên đối với T_1 và T_7 trong sơ đồ mạch động lực (hình 2.41b). Nguyên lý hoạt động của sơ đồ này như sau:

Ta giả thiết là tại $\omega t = 0$ thì $u_{đba1} = 0$ và bắt đầu chuyển sang dương, chỉ sau thời điểm này một khoảng thời gian rất ngắn thì $u_{đba1}$ đạt giá trị bằng sụt áp trên tiếp giáp góc-phát khi mở của transistor Tr_1 , Tr_1 sẽ mở bão hòa. Tr_1 mở, dẫn đến Tr_2 khóa nên Tr_3 cũng khóa, tụ C_2 sẽ được nạp bởi dòng cực góp của Tr_4 . Do cách mắc Tr_4 như sơ đồ, dòng cực góp Tr_4 sẽ có giá trị không đổi ($i_{k4} \approx U_{cc}/R_6 = \text{const}$), nên điện áp trên C_2 tăng theo qui luật tuyến tính. Đến $\omega t \approx \pi$ thì $u_{đba1}$ không đủ làm mở Tr_1 , Tr_1 khóa lại, dẫn đến Tr_2 mở làm cho Tr_3 mở, tụ C_2 sẽ phóng điện qua Tr_3 đến điện áp bằng không và sẽ duy trì giá trị bằng không cho đến đầu nửa chu kỳ dương tiếp theo của $u_{đba1}$, khi đó Tr_1 lại mở và tụ C_2 lại được nạp. Trong sơ đồ này giá trị R_6 thường được hiệu chỉnh để cho biên độ điện áp trên

C_2 bằng U_{cc} . Điện áp răng cưa là điện áp giữa cực góp Tr_4 so với điểm chung (mát) và nó bằng:

$$u_{rc} = -U_{cc} + u_{C2} \quad (2.129)$$

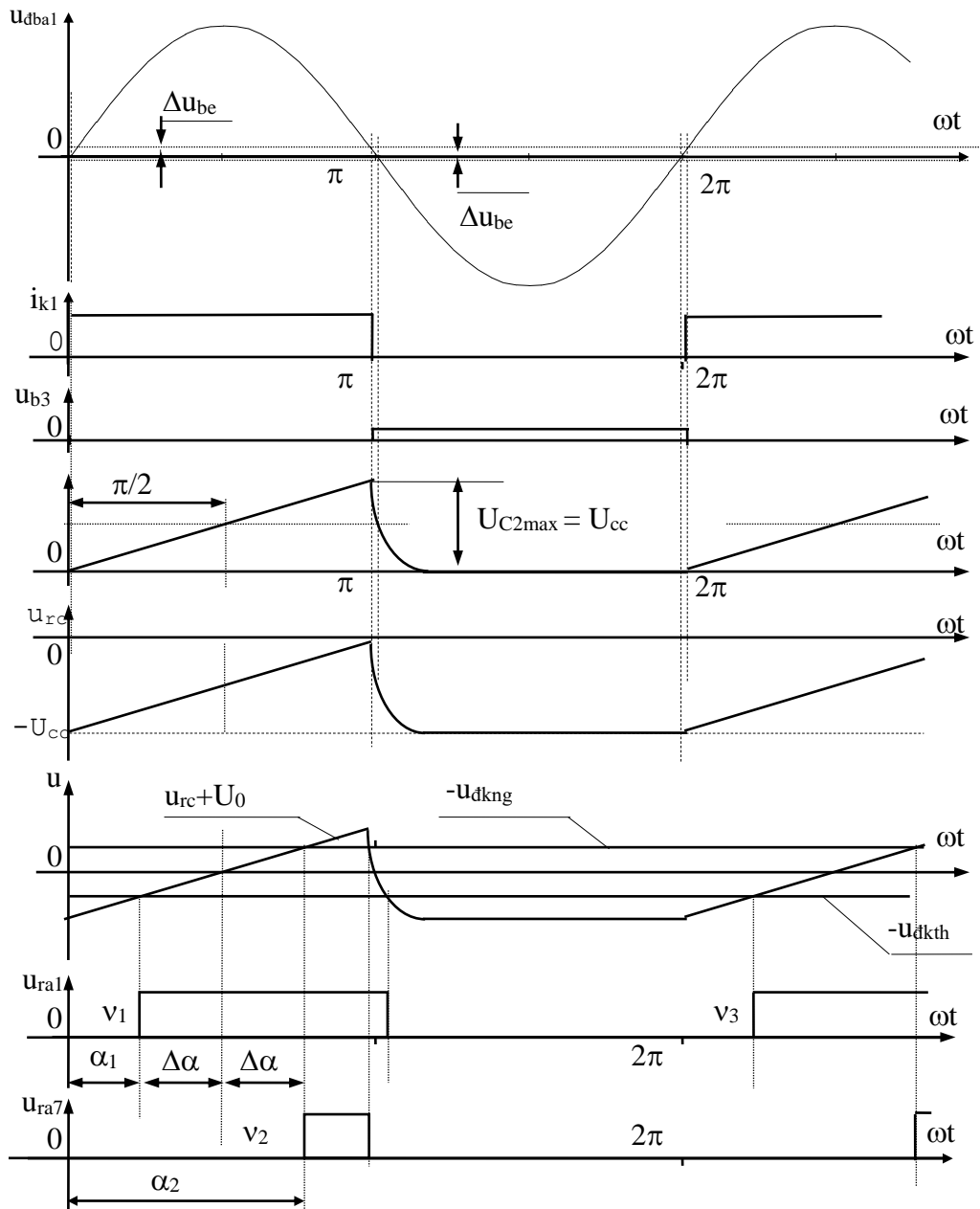


Hình 2.80: Sơ đồ khối đồng bộ hóa và khối so sánh kênh tạo xung điều khiển hai van T_1 và T_7 của bộ biến đổi có đảo dòng dùng hai sơ đồ chỉnh lưu cầu ba pha điều khiển phối hợp tuyến tính

Do thời điểm mở tự nhiên của cả hai van T_1 và T_7 giống nhau nên điện áp răng cưa trên được sử dụng chung cho cả hai kênh phát xung cho T_1 và T_7 trong BBĐ đảo chiều, nó được đưa vào cả hai mạch so sánh bằng IC_2 (cho T_1) và IC_3 (cho T_7). Trên đầu vào các mạch so sánh còn được đặt một điện áp ổn định U_0 lấy từ mạch phân áp bằng R_{19} và các điện áp điều khiển, giá trị U_0 được điều chỉnh bằng một nửa biên độ điện áp răng cưa để cho đường cong điện áp tổng hợp trên đầu vào mạch so sánh khi điện áp điều khiển bằng không cắt trục hoành tại $\omega t = \pi/2, 5\pi/2, \dots$. Điện áp điều khiển các kênh phát xung cho sơ đồ chỉnh lưu thuận $u_{đkth}$ và sơ đồ chỉnh lưu ngược $u_{đkng}$ tuân theo quan hệ: $u_{đkth} = -u_{đkng}$. Để thực hiện quan hệ trên, trong sơ đồ sử dụng bộ khuếch đại đảo dấu bằng khuếch đại thuật toán IC_1 (bộ khuếch đại đảo với hệ số khuếch đại bằng 1), khi đó:

$$u_{đkth} = u_{đk}; \quad u_{đkng} = -u_{đk}.$$

Trên hình 2.81, biểu diễn các đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của mạch. Từ đồ thị có thể nhận thấy:



Hình 2.81: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc hình 2.80

- Nếu: $u_{dk} > 0$ (tức là $-u_{@th} = -u_{@k} < 0$) thì: $\alpha_1 = \frac{\pi}{2} - \Delta\alpha < \frac{\pi}{2}$, $\alpha_2 = \frac{\pi}{2} + \Delta\alpha > \frac{\pi}{2}$.
- Nếu: $u_{dk} < 0$ (tức là $-u_{@th} = -u_{@k} > 0$) thì: $\alpha_1 = \frac{\pi}{2} + \Delta\alpha > \frac{\pi}{2}$, $\alpha_2 = \frac{\pi}{2} - \Delta\alpha < \frac{\pi}{2}$

Luôn đảm bảo quan hệ $\alpha_1 + \alpha_2 = \pi$, có nghĩa rằng tín hiệu điều khiển van của hai sơ đồ chỉnh lưu thuận và ngược tuân theo đúng qui luật của phương pháp điều khiển phối hợp tuyến tính bộ biến đổi có đảo dòng. Mạch phát xung cho các cặp van khác ta cũng có cấu trúc tương tự, chỉ khác nhau về pha của điện áp đồng bộ.

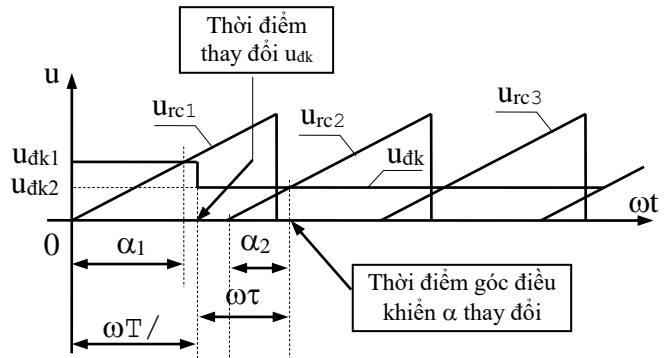
2.11. HÀM SỐ TRUYỀN CỦA BỘ CHỈNH LƯU

Trong thực tế, quan hệ vào/ra của bộ chỉnh lưu ($U_d = f(u_{dk})$) thường là phi tuyến, để đơn giản cho tính toán các hệ thống có sử dụng bộ chỉnh lưu, thường coi gần đúng bộ

chỉnh lưu là khâu tuyến tính và xem rằng trong chế độ tĩnh, điện áp (thực chất là sức điện động) chỉnh lưu trung bình U_d tỉ lệ với điện áp điều khiển mạch phát xung $u_{đk}$ qua một hệ số hằng K_T (cũng thường ký hiệu là K_b) được gọi là hệ số khuếch đại của bộ chỉnh lưu:

$$U_d = K_T u_{đk} \quad (2.130)$$

Phân tích sự làm việc của sơ đồ chỉnh lưu trong chế độ động có thể thấy rằng: Khi tác động thay đổi nhảy cấp tín hiệu điều khiển mạch phát xung $u_{đk}$ để điều chỉnh điện áp đầu ra, thông thường góc điều khiển của bộ chỉnh lưu thay đổi chậm sau thời điểm thay đổi $u_{đk}$ một thời gian τ nào đó (xem hình 2.82). Mặt khác, khi góc điều khiển thay đổi thì điện áp đầu ra mới thay đổi, điều đó có nghĩa là: Tín hiệu đầu ra của bộ biến đổi thay đổi chậm sau thời điểm thay đổi tín hiệu vào một khoảng thời gian τ , theo lý thuyết điều khiển tự động, bộ chỉnh lưu có đặc tính của một khâu chậm sau và hàm truyền sẽ là:



Hình 2.82: Đồ thị điện áp vào các mạch so sánh của mạch phát xung điều khiển dùng để xác định đặc tính động học của bộ chỉnh lưu

$$W_T = K_T e^{-\tau s} \quad (2.131)$$

với T là thời gian một chu kỳ nguồn xoay chiều (khi $f = 50\text{Hz}$, $T = 0.02\text{s}$).

Thực hiện khai triển thành phần $e^{-\tau s}$ ra dạng chuỗi và lấy gần đúng hai số hạng đầu của chuỗi, rút ra:

$$W_T = K_T e^{-\tau s} = \frac{K_T}{1 + \tau s} \quad (2.132)$$

Giá trị của τ phụ thuộc vào giá trị tính hiệu điều khiển trước khi thay đổi ($u_{đk1}$), hướng thay đổi (tăng hay giảm) và giá trị tín hiệu điều khiển mới ($u_{đk2}$). Giá trị của τ nằm trong khoảng hai giá τ_{\max} và τ_{\min} , với $\tau_{\max} = T/q$ và $\tau_{\min} = 0$. Trong tính toán thường chọn giá trị của τ bằng trung bình cộng giữa giá trị τ_{\max} và τ_{\min} , do vậy:

$$\tau = \frac{T}{2q} \quad (2.133)$$

2.12. BẢO VỆ BỘ CHỈNH LƯU

2.12.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Sơ đồ chỉnh lưu có điều khiển cũng là một thiết bị điện, khi sơ đồ hoạt động cũng có thể phát sinh các trường hợp sự cố và đòi hỏi phải có các trang thiết bị bảo vệ. Ngoài ra do những đặc trưng riêng của các phần tử sử dụng trong bộ chỉnh lưu, nhất là các van chỉnh lưu có điều khiển nên cần thiết phải trang bị thêm một số loại bảo riêng cho bộ chỉnh lưu.

Đối với sơ đồ chỉnh lưu, các tác nhân có thể gây hỏng van và ảnh hưởng đến sự làm việc bình thường của sơ đồ là:

- Nhiệt độ các van quá giá trị cho phép.

- Quá giá trị dòng điện qua van do quá tải hay ngắn mạch hoặc quá tốc độ tăng của dòng qua van.

- Quá điện áp trên van về giá trị hoặc tốc độ tăng.

Để đảm bảo sự làm việc bình thường của sơ đồ chỉnh lưu cần phải trang bị các thiết bị bảo vệ để tránh hoặc hạn chế các tác động nêu trên.

2.12.2. BẢO VỆ QUÁ NHIỆT VÀ QUÁ DÒNG

2.12.2.1. Bảo vệ quá nhiệt

Khi các van chỉnh lưu làm việc, với dòng qua mạch a nốt-ka tốt lớn và trên van có một sụt điện áp nên sẽ có một tổn thất công suất. Toàn bộ tổn thất công suất trên van được biến thành nhiệt và nung nóng cấu trúc bán dẫn của van làm tăng nhiệt độ của nó. Để cho các van không bị phát nóng quá nhiệt độ cho phép ta sử dụng các biện pháp truyền nhiệt sinh ra trong cấu trúc của van ra môi trường xung quanh (thường gọi là tản nhiệt hay làm mát) bằng một số biện pháp sau:

- Dùng cánh tản nhiệt bằng nhôm hoặc bằng đồng (thường dùng nhôm vì rẻ và nhẹ) đối với các trường hợp dòng nhỏ.

- Dùng cánh tản nhiệt bằng nhôm hoặc đồng kết hợp quạt gió làm mát cho các trường hợp dòng nhỏ và trung bình.

- Dùng cánh tản nhiệt bằng nhôm hoặc đồng kết hợp bơm chất lỏng làm mát cho các trường hợp dòng trung bình và lớn, chất lỏng được sử dụng có thể là nước cất khi điện áp làm việc thấp hoặc là dầu cách điện khi điện áp làm việc cao.

2.12.2.2. Bảo vệ quá dòng

a. Bảo vệ quá tải

Trang bị bảo vệ quá tải cho bộ chỉnh lưu cũng tương tự như các thiết bị điện khác: sử dụng rơ le nhiệt hoặc áp tô mát có cơ cấu cắt theo nhiệt. Trong một số sơ đồ có thể bố trí các thiết bị quá tải hoạt động theo nguyên tắc: Phát hiện quá tải đến mức quá cho phép, thiết bị bảo vệ sẽ phát lệnh cắt xung điều khiển các van chỉnh lưu.

b. Bảo vệ ngắn mạch

Với các van bán dẫn công suất dùng trong bộ chỉnh lưu, khả năng chịu quá dòng kém hơn các thiết bị điện tử, vì vậy, để bảo vệ ngắn mạch cho bộ chỉnh lưu cần phải sử dụng các thiết bị bảo vệ có độ nhạy và độ tác động nhanh cao: cầu chì tác động nhanh (cắt nhanh) hoặc áp tô mát cắt nhanh (có cơ cấu điện tử độ nhạy cao).

c. Bảo vệ quá tốc độ tăng của dòng qua van khi mở van

Với các van chỉnh lưu, đặc biệt các thyristor, tốc độ tăng của dòng điện (di/dt) qua van cần phải giới hạn ở một mức nhất định, đảm bảo phù hợp với tốc độ lan truyền vùng

dẫn của cấu trúc bán dẫn trong van. Nếu xảy ra quá tốc độ tăng dòng qua van sẽ gây hỏng van do phát sinh nhiệt cục bộ quá mức cho phép ở một vị trí nào đó trong cấu trúc van và cần phải trang bị các thiết bị để hạn chế. Thông thường, để thực hiện bảo vệ này chỉ cần mắc nối tiếp với mỗi van một điện cảm nhỏ hoặc mắc các điện cảm nối tiếp với các pha nguồn xoay chiều cung cấp cho sơ đồ chỉnh lưu. Nếu sơ đồ chỉnh lưu có sử dụng biến áp cung cấp thì chỉ cần chọn máy biến áp có điện áp ngắn mạch phần trăm lớn (từ 7% đến 10%), khi đó điện cảm tản các cuộn dây máy biến áp đủ khả năng hạn chế tốc độ tăng dòng qua van dưới giá trị cho phép.

2.12.3. BẢO VỆ QUÁ ĐIỆN ÁP CHO BỘ CHỈNH LƯU

2.12.3.1. Các nguyên nhân gây nên quá áp cho các van

a. Các quá điện áp phát sinh từ bên ngoài bộ biến đổi

Đây là các quá điện áp phát sinh do tác động của các thiết bị đóng cắt và bảo vệ lưới điện, các hiện tượng môi trường (sét). Các nghiên cứu đã cho thấy rằng trong các lưới điện 220-380V có thể phát sinh quá áp đến 4÷5 lần điện áp lưới, còn ở các lưới điện có điện áp cao hơn có thể xuất hiện quá áp đến 3 lần điện áp lưới.

b. Các quá điện áp bên trong có đặc trưng không lặp lại

Đây là các quá điện áp xuất hiện liên quan đến sự làm việc của bộ biến đổi nhưng không lặp đi lặp lại. Các quá điện áp này thường do một số nguyên nhân sau:

- Do đóng máy biến áp cung cấp cho bộ biến đổi vào lưới điện xoay chiều trong trường hợp điện áp định mức bên sơ cấp lớn hơn nhiều so với bên thứ cấp.

- Khi đóng nguồn xoay chiều vào bộ biến đổi (do tốc độ tăng của điện áp và các dao động ký sinh gây nên).

- Cắt máy biến áp cung cấp cho bộ biến đổi ở chế độ không tải hoặc tải nhỏ (do sự biến đổi nhanh của từ trường khi mất dòng từ hóa đột ngột).

- Tác động của các thiết bị bảo vệ dòng khi quá tải hoặc ngắn mạch.

c. Các quá điện áp bên trong có đặc trưng lặp lại

Đây cũng là các quá điện áp xuất hiện liên quan đến sự làm việc của bộ biến đổi nhưng lặp đi lặp lại mang tính chu kỳ, nó thường do:

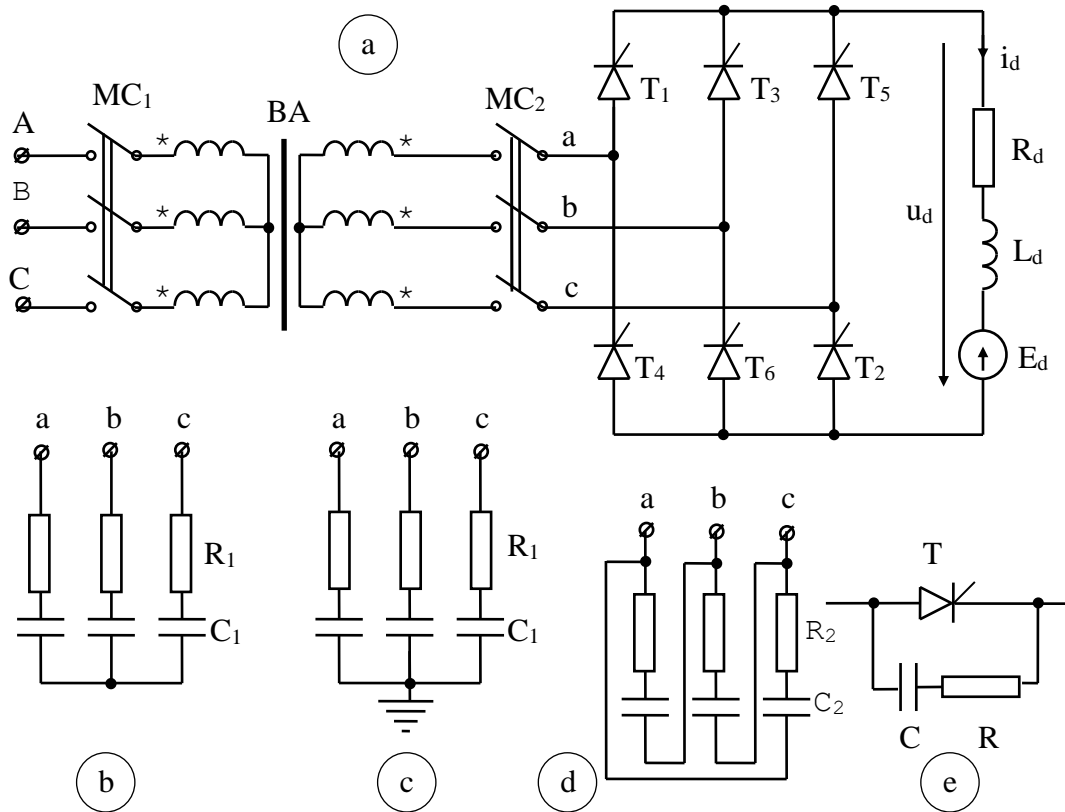
- Quá áp do cộng hưởng: Khi trong sơ đồ bộ biến đổi có một mạch vòng nào đó có tần số cộng hưởng riêng trùng với tần số một sóng hài nào đó của dòng tải hoặc nguồn sẽ xuất hiện hiện tượng cộng hưởng và gây quá áp cho các van.

- Quá áp do quá trình chuyển mạch dòng điện các van: Quá điện áp dạng này có thể xuất hiện cả khi mở và khóa van và mang tính chu kỳ. Đây là dạng quá áp phát sinh trong tất cả mọi sơ đồ và mọi chế độ làm việc, chúng có thể gây quá áp cả về giá trị cũng như tốc độ thay đổi (du/dt).

2.12.3.2. Tác động của quá điện áp đối với các van chỉnh lưu

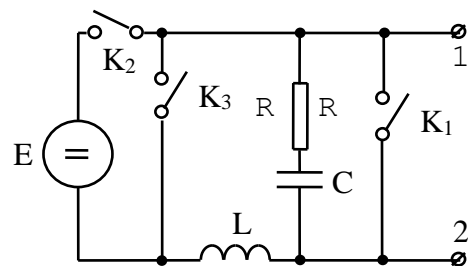
Đối với các van bán dẫn, đặc biệt là các van có điều khiển (thyristor) thì sự vượt quá giá trị cho phép cả về trị số và tốc độ thay đổi của điện áp trên van đều có thể gây nên hỏng van, ngay cả khi thời gian quá áp là rất ngắn (cỡ μs). Do vậy trong sơ đồ bộ biến đổi buộc phải trang bị các thiết bị bảo vệ quá áp để đảm bảo sự làm việc bình thường của các van.

2.12.3.3. Các phương pháp mắc thiết bị bảo vệ quá áp và tính toán



Hình 2.83: Sơ đồ bố trí các phần tử bảo vệ quá điện áp cho các van của bộ chỉnh lưu

Trên hình 2.83 biểu diễn mạch lực của một sơ đồ chỉnh lưu cầu ba pha và các phương pháp nối thiết bị bảo vệ quá áp. Để bảo vệ quá điện áp cho các van trong sơ đồ chỉnh lưu người ta sử dụng các mạch R-C mắc theo một số sơ đồ khác nhau. Để tính toán giá trị của R và C người sử dụng sơ đồ thay thế hình 2.84. Trong sơ đồ thay thế hình 2.84 thì E là nguồn s.đ.đ sử dụng để tính toán và trong một số trường hợp thì E là quá áp phát sinh bên ngoài truyền vào BBĐ; L là tổng điện cảm trong mạch vòng gây nên quá áp, L thay đổi tùy từng trường hợp quá áp; các công tắc K_1, K_2, K_3 là các khóa để đóng hoặc cắt phục vụ cho tính toán trong từng trường hợp cụ thể, ví dụ để tính toán với trường hợp quá áp do thiết bị bảo vệ ngắn mạch tác động thì ta thực hiện cho K_2 kín, K_3 hở, đóng K_1 để dòng trong mạch (qua K_1) tăng lên, khi dòng đạt giá trị tác động của thiết bị bảo vệ dòng ngắn mạch thì đồng thời cắt K_1, K_2 và đóng K_3 và



Hình 2.84: Sơ đồ thay thế để tính toán thiết bị bảo vệ quá điện áp cho các van chỉnh lưu

bắt đầu tính toán với mốc thời gian $t = 0$ từ thời điểm này. Điện áp giữa hai điểm 1 và 2 là điện áp đặt lên van.

Các giá trị R và C tính được từ sơ đồ thay thế hình 2.83 tương ứng với trường hợp mạch bảo vệ R-C mắc theo sơ đồ hình 2.83e (mắc song song với mỗi van).

Khi sử dụng sơ đồ mắc các mạch R-C kiểu khác hình 2.83^e, giá trị các phần tử được tính toán lại theo các công thức sau:

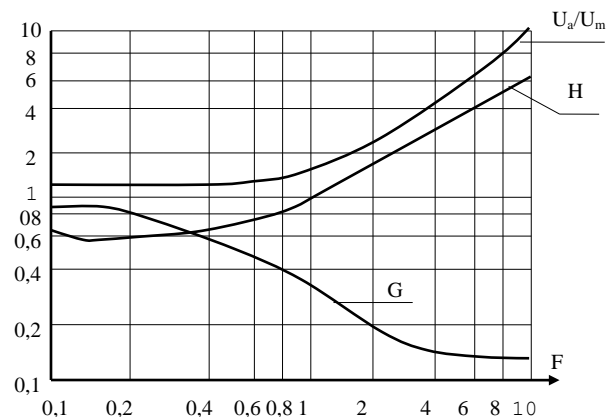
$$\text{Hình 2.83b, c: } R_1 = \frac{R}{2}; \quad C_1 = 2C. \quad \text{Hình 2.83d: } R_1 = \frac{3R}{2}; \quad C_1 = \frac{2C}{3}.$$

Các giá trị R và C có thể tìm trong các tài liệu tham khảo khác nhau. Trong một số trường hợp người ta có thể áp dụng các công thức kinh nghiệm, tuy kết quả không chính xác lắm nhưng cũng có thể chấp nhận được mà quá trình tính toán lại đơn giản.

Chú ý:

- Trừ hai trường hợp quá áp do nối BBD với lưới dòng xoay chiều và do quá trình chuyển mạch thì tất cả các quá điện áp do các nguyên nhân khác có thể sử dụng một trong 3 sơ đồ mắc mạch bảo vệ là hình 2.74b, d hoặc e. Quá áp do nối bộ chỉnh lưu với lưới điện xoay chiều thì phải sử dụng các mạch R-C mắc theo sơ đồ hình 2.74c (mắc hình sao có trung tính nối đất).

- Quá áp do quá trình chuyển mạch thì phải sử dụng các mạch R-C mắc song song với mỗi van (hình 2.74e). Các thông số R và C với trường hợp này đã được tối ưu hóa, bằng máy tính điện tử người ta đã lập ra một số quan hệ cho phép xác định giá trị tối ưu của R và C (hình 2.85).



Hình 2.85: Đồ thị dùng để tính thông số R và C của mạch bảo vệ quá áp

Đồ thị biểu diễn các quan hệ: U_a/U_m , $G = b/\omega_0$, $H = \omega_0 U_k$ phụ thuộc vào F , được biểu diễn bởi các đường

cong hình 2.85. Trong đó: với $F = \frac{I\sqrt{L/C}}{U_k}$, $b = \frac{R}{2L}$, U_k là trị số điện áp chuyển mạch tại

thời điểm bắt đầu diễn ra chuyển mạch và $U_k \leq U_m$, còn I là giá trị dòng qua tải tại thời điểm diễn ra chuyển mạch, U_a biên độ quá áp, U_m biên độ điện áp nguồn.

Từ giá trị quá áp cho phép lặp lại U_{π} , thực hiện chọn U_a/U_m , theo hình 2.85 ta tìm được F và từ giá trị của F tìm được G , H .

Cuối cùng xác định được:

$$C = L (I/U_m F)^2; \quad R = 2G \sqrt{\frac{L}{C}}; \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad \frac{du_T}{dt} = H U_m \omega_0.$$

BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN ÁP XOAY CHIỀU - XOAY CHIỀU **(Bộ biến đổi điện áp pha)**

3.1. KHÁI NIỆM CHUNG

3.1.1. KHÁI NIỆM

Trong kỹ thuật điện có những trường hợp cần phải biến đổi một điện áp xoay chiều giá trị không đổi thành điện áp xoay chiều có giá trị khác, điều chỉnh được. Để biến đổi một điện áp xoay chiều thành điện áp xoay chiều cùng tần số nhưng có giá trị khác thì phổ biến nhất là dùng máy biến áp. Máy biến áp có ưu điểm là kết cấu gọn, làm việc tin cậy, độ bền cao và nếu điện áp nguồn có dạng hình sin thì điện áp ra cũng có dạng hình sin. Tuy vậy máy biến áp cũng có nhược điểm là khó thực hiện thay đổi tron điện áp ra, nhất là trong trường hợp công suất trung bình và lớn, điều này cũng hạn chế khả năng sử dụng máy biến áp trong một số trường hợp. Khi yêu cầu điều chỉnh tron điện áp ra trong phạm vi rộng, đặc biệt là khi công suất trung bình và lớn thì người ta sử dụng một bộ biến đổi (BBĐ) khác được gọi là BBĐ xoay chiều - xoay chiều hay BBĐ điện áp pha. BBĐ xoay chiều - xoay chiều là thiết bị biến đổi điện năng sử dụng các dụng cụ bán dẫn có điều khiển. Nguyên tắc hoạt động của BBĐ là sử dụng tính chất có điều khiển của các dụng cụ bán dẫn để cắt đi một phần trong mỗi nửa chu kỳ của điện áp nguồn xoay chiều hình sin làm cho điện áp ra có giá trị hiệu dụng nhỏ hơn điện áp nguồn.

BBĐ xoay chiều - xoay chiều có ưu điểm là kết cấu gọn, hiệu suất cao, làm việc tin cậy, có khả năng điều chỉnh tron điện áp ra trong phạm vi rộng với dải công suất khá rộng. Nhưng BBĐ này cũng có một số nhược điểm là độ tin cậy kém hơn so với máy biến áp, thiết bị điều khiển tương đối phức tạp, bị hạn chế về công suất do khả năng chịu dòng và áp của các dụng cụ bán dẫn bị giới hạn, và đặc biệt là khi điện áp nguồn hình sin thì điện áp ra không còn dạng hình sin nữa.

Các BBĐ xoay chiều - xoay chiều được ứng dụng trong một số trường hợp như sau:

- Điều khiển tốc độ của các động cơ xoay chiều không đồng bộ công suất nhỏ bằng phương pháp thay đổi điện áp nguồn cung cấp cho mạch stator của động cơ.
- Khởi động các động cơ xoay chiều không đồng bộ rotor lồng sóc công suất trung bình và lớn, đặc biệt là trong các hệ thống bơm.
- Là một bộ phận quan trọng của bộ nguồn một chiều điện áp cao có điều chỉnh, dùng để cấp cho một số thiết bị: lò tần số dùng đèn phát điện tử loại 3 cực chân không, các hệ thống lọc bụi tĩnh điện.

3.1.2. PHÂN LOẠI BỘ BIẾN ĐỔI XOAY CHIỀU - XOAY CHIỀU

Các BBĐ xoay chiều - xoay chiều có thể được phân loại theo số pha điện áp vào/ra, theo loại dụng cụ được sử dụng.

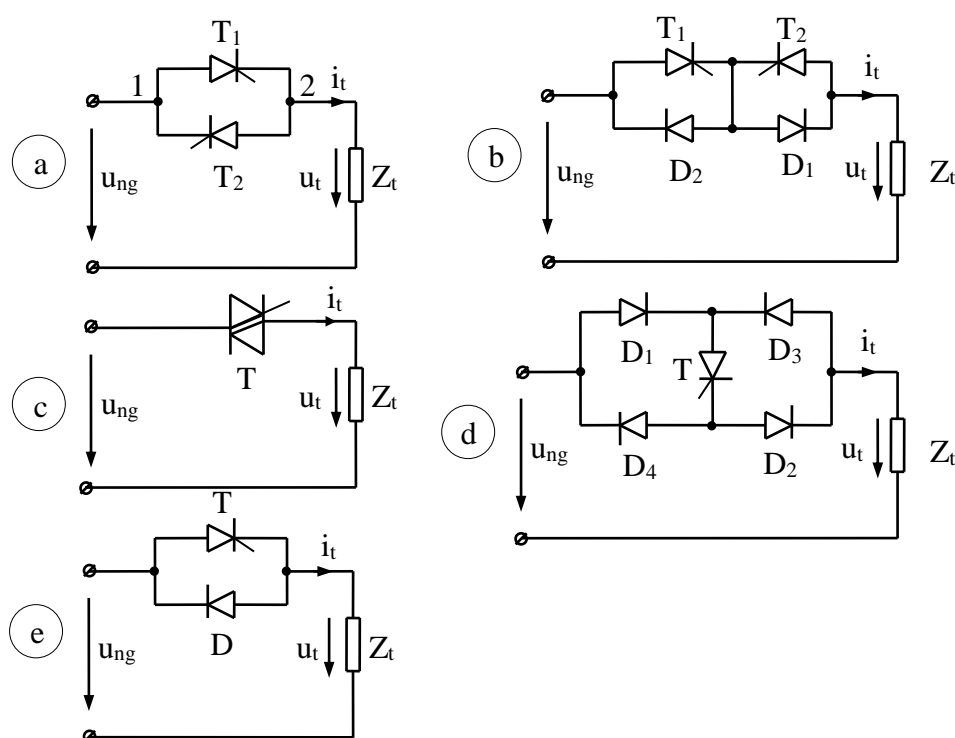
Phân loại theo số pha: BBĐ một pha và ba pha.

Phân loại theo dụng cụ bán dẫn công suất được sử dụng: BBD sử dụng thyristor, BBD sử dụng triac, ...

3.2. BỘ BIẾN ĐỔI XOAY CHIỀU - XOAY CHIỀU MỘT PHA

3.2.1. CÁC SƠ ĐỒ BỘ BIẾN ĐỔI XOAY CHIỀU - XOAY CHIỀU MỘT PHA

Trên các hình 3.1 là các sơ đồ mạch lực BBD xoay chiều - điện áp xoay chiều một pha (BBD điện áp pha một pha). Hình 3.1a là sơ đồ dùng hai thyristor mắc song song ngược, hình 3.1b là sơ đồ dùng hai đi ốt và hai thyristor, hình 3.1c là sơ đồ dùng triac, hình 3.1e là sơ đồ BBD xoay chiều - xoay chiều một pha không đối xứng dùng một thyristor và một đi ốt.



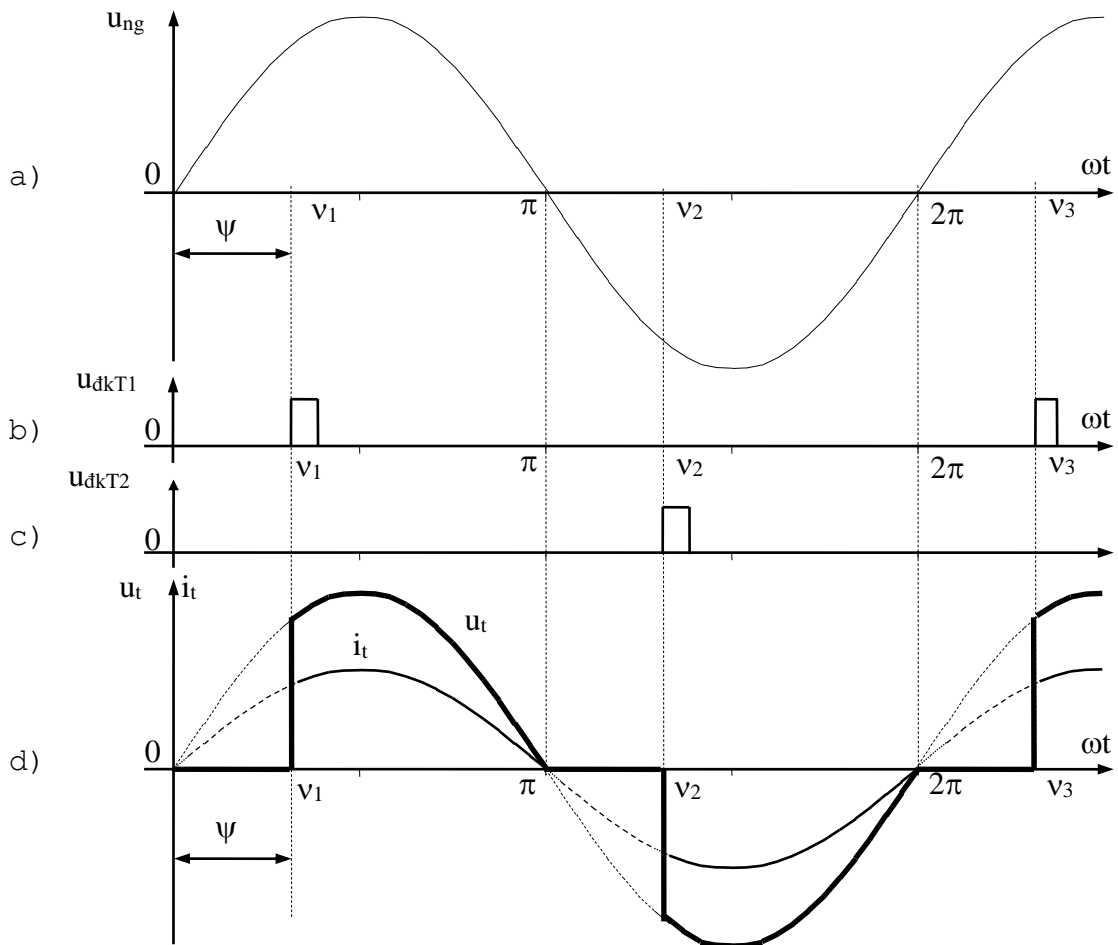
Hình 3.1: Các sơ đồ (phần lực) bộ biến đổi xoay chiều - xoay chiều một pha

Để hiểu rõ nguyên lý làm việc của BBD ta xét nguyên lý hoạt động của một sơ đồ (ví dụ: sơ đồ hình 3.1a) trong trường hợp đơn giản nhất là khi tải thuần trở.

Giả thiết điện áp nguồn như đồ thị hình 3.2a, đồ thị tín hiệu điều khiển của T_1 và T_2 như hình 3.2b và hình 3.2c.

Từ các đồ thị u_{ng} , $u_{đkT1}$, $u_{đkT2}$ có thể mô tả vắn tắt nguyên lý làm việc của sơ đồ như sau: Từ $\omega t = 0$ đến $\omega t = \psi$ (ψ được gọi là góc điều chỉnh hay điều khiển của BBD xoay chiều - xoay chiều), điện áp nguồn u_{ng} dương đặt điện áp thuận lên T_1 và ngược lên T_2 , do T_1 chưa có tín hiệu điều khiển nên T_1 chưa mở, như vậy cả hai van T_1 và T_2 đều khóa, dòng qua tải bằng không ($i_t = 0$), điện áp trên tải cũng bằng không ($u_t = R_t \cdot i_t = 0$). Đến thời điểm $\omega t = \psi$, xuất hiện tín hiệu điều khiển trên cực điều khiển của T_1 (có $u_{đkT1}$), T_1 mở và xuất hiện dòng điện tải ($i_t = u_{ng} / R_t$) và điện áp trên tải $u_t = u_{ng}$ (bỏ qua sụt áp trên T_1 mở). Đến $\omega t = \pi$, u_{ng} giảm về bằng không và bắt đầu chuyển sang nửa chu kỳ âm, nên $i_t = 0$ và có

xu hướng đổi chiều, do thyristor chỉ dẫn dòng theo một chiều nên T_1 khóa lại, T_2 chưa có tín hiệu điều khiển nên chưa mở, tức là cả hai van T_1, T_2 đều khóa, dòng và áp trên tải đều bằng không. Đến $\omega t = \pi + \psi$, van T_2 có tín hiệu điều khiển và lúc này $u_{T2} = -u_{ng} > 0$, dẫn đến T_2 mở, lại xuất hiện dòng qua tải và điện áp trên tải ($i_t = u_{ng} / R_t, u_t = u_{ng}$). Đến $\omega t = 2\pi$, điện áp nguồn lại bằng không và bắt đầu đổi sang nửa chu kỳ dương, có xu hướng chống lại dòng qua T_2 và đặt thuận lên T_1 , van T_2 khóa lại, còn T_1 vẫn khóa. Đến $\omega t = 2\pi + \psi$, T_1 lại có tín hiệu điều khiển, T_1 lại mở và sơ đồ lặp lại trạng thái làm việc như từ $\omega t = \psi$. Đồ thị điện áp và dòng điện trên tải được biểu diễn trên hình 3.2d (u_t nét đậm, i_t nét mảnh).



Hình 3.2: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 3.1a khi tải thuần trở

Từ đồ thị điện áp trên tải, có thể rút ra: Với việc điều khiển cho các van mở chậm hơn thời điểm mở tự nhiên một góc điều khiển ψ làm cho điện áp trên tải bị mất đi một phần trong mỗi nửa chu kỳ so với điện áp nguồn, kết quả là điện áp trên tải vẫn là điện áp xoay chiều cùng tần số với điện áp nguồn nhưng dạng khác hình sin và có giá trị hiệu dụng khác (nhỏ hơn) điện áp nguồn. Góc điều khiển ψ tăng thì giá trị hiệu dụng điện áp trên tải giảm, giới hạn thay đổi của ψ là từ 0^0 đến 180^0 tương ứng điện áp trên tải thay đổi từ U_{ng} đến không. Với việc điều chỉnh tron được giá trị ψ , cho phép điều chỉnh tron được điện áp đầu ra của BBD, kể cả khi BBD đầy tải. Mặt khác, từ đồ thị có thể thấy, điện áp trên tải khác điện áp nguồn khi dòng qua tải gián đoạn (có các khoảng bằng không).

3.2.2. DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN ÁP TRÊN TẢI CỦA BBD XOAY CHIỀU - XOAY CHIỀU MỘT PHA

3.2.2.1. Biểu thức dòng tải tổng quát

Để nghiên cứu dòng và áp trên tải có thể sử dụng sơ đồ hình 3.1a (sơ đồ dùng hai thyristor mắc song song ngược).

Từ nhận xét ở mục trước, điện áp trên tải là điện áp xoay chiều, điện áp trên tải chỉ khác điện áp nguồn khi dòng tải gián đoạn, tức là tại thời điểm mở một van thì dòng tải đang bằng không. Do những đặc điểm trên nên trong mọi chế độ, dòng áp trên tải có tính đối xứng, vì vậy, chỉ cần xét dòng tải trong thời gian một nửa chu kỳ là đủ.

Để thiết lập biểu thức dòng tải, ta giả thiết:

- Sơ đồ BBD đang làm việc với một góc điều chỉnh (điều khiển) ψ ;

- Mốc thời gian xét $\omega t = 0$ là thời điểm truyền xung điều khiển đến mở một van của sơ đồ và van mở ngay, cụ thể, trong trường hợp này $\omega t = 0$ là thời điểm mở T_1 ;

- Sụt điện áp trên van khi mở bằng không.

Với các giả thiết trên, có thể thành lập được phương trình cân bằng điện áp sau:

$$R_t i_t + L_t \frac{di_t}{dt} = U_m \sin(\omega t + \psi) \quad (3.1)$$

trong đó: U_m là biên độ điện áp nguồn hình sin; ω là tần số góc của nguồn; ψ là góc điều khiển bộ biến đổi; R_t và L_t là điện trở và điện cảm phụ tải.

Để giải phương trình vi phân (3.1), đặt:

$$\left. \begin{aligned} I_m &= \frac{U_m}{R_t} \\ i^* &= \frac{i_t}{I_m} = \frac{R_t i_t}{U_m} \\ \tau &= \frac{L_t}{R_t} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

trong đó i^* là giá trị tương đối dòng phụ tải; I_m là giá trị cực đại dòng tải khi $L_t = 0$, nó được chọn làm đại lượng cơ bản của dòng điện; τ là hằng số thời gian mạch tải. Thay (3.2) vào (3.1) và biến đổi, nhận được:

$$i^* + \tau \frac{di^*}{dt} = \sin(\omega t + \psi) \quad (3.3)$$

Trong mục trước đã có nhận xét: Nếu muốn điện áp trên tải khác điện áp nguồn thì BBD phải làm việc ở chế độ dòng điện tải gián đoạn. Nếu dòng qua tải là liên tục thì hai van trong sơ đồ sẽ luân phiên thay nhau dẫn dòng, khi đó điện áp giữa hai điểm 1 và 2 của sơ đồ hình 3.1a luôn luôn bằng không (vì luôn có một trong hai van dẫn dòng), do vậy điện áp trên tải luôn luôn bằng điện áp nguồn. Như vậy loại trừ trường hợp điện áp ra trùng với

điện áp nguồn thì chế độ làm việc của BBĐ điện áp xoay chiều - xoay chiều là chế độ dòng gián đoạn và điều kiện đầu của phương trình (3.3) là:

$$i_0^* = i_{|\omega t=0}^* = 0 \quad (3.4)$$

Giải phương trình (3.3) với điều kiện đầu bằng không, thu được:

$$i^* = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega\tau)^2}} [\sin(\omega t + \psi - \arctg\omega\tau) - \sin(\psi - \arctg\omega\tau).e^{-t/\tau}] \quad (3.5)$$

Đặt $\varphi = \arctg\omega\tau$, φ là góc lệch pha của sóng hài bậc nhất dòng và áp trên tải. Chuyển về đơn vị tuyệt đối, biểu thức dòng tải của BBĐ có dạng:

$$i_t = \frac{U_m}{R_t \sqrt{1+(\omega\tau)^2}} [\sin(\omega t + \psi - \varphi) - \sin(\psi - \varphi).e^{-t/\tau}] \quad (3.6)$$

Đây là biểu thức tổng quát dòng qua phụ tải của BBĐ điện áp xoay chiều - xoay chiều một pha với điều kiện: khi bắt đầu có xung điều khiển để mở một van thì dòng qua tải bằng không.

3.2.2.2. Biểu thức dòng điện tải khi tải thuần trở

Khi phụ tải thuần trở hoặc khi $R_t \gg \omega L_t$ thì $\varphi \rightarrow 0$ và $\tau \rightarrow 0$, do vậy biểu thức dòng tải có dạng đơn giản như sau:

$$i_t = \frac{U_m}{R_t} \sin(\omega t + \psi) \quad (3.7)$$

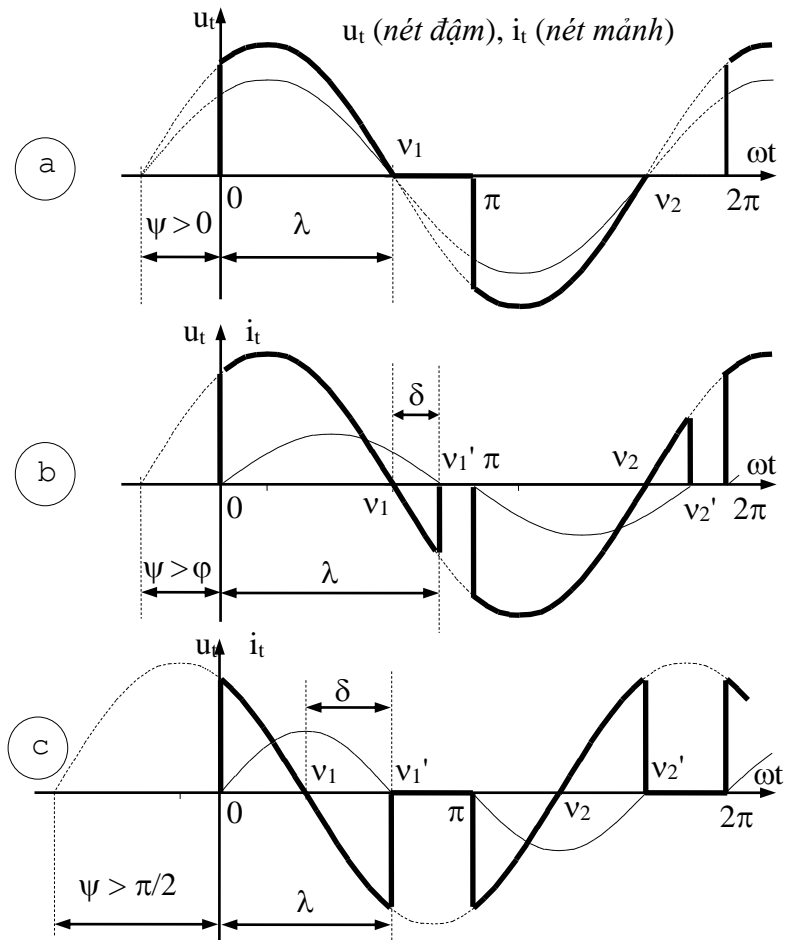
3.2.2.3. Biểu thức dòng điện tải khi tải thuần cảm

Trong trường hợp phụ tải thuần cảm hoặc khi $R_t \ll \omega L_t$, khi đó $\varphi \rightarrow \pi/2$ và $\tau \rightarrow \infty$ và do vậy $e^{-t/\tau} \rightarrow 1$, thay các giá trị này vào biểu thức (3.6) sẽ được biểu thức dòng điện khi tải thuần cảm:

$$i_t = \frac{U_m}{\omega L_t} [\sin(\omega t + \psi - \frac{\pi}{2}) - \sin(\psi - \frac{\pi}{2})] = \frac{U_m}{\omega L_t} [\cos\psi - \cos(\omega t + \psi)] \quad (3.8)$$

Đồ thị u_t và i_t được biểu diễn trên hình 3.3, trong đó: hình 3.3a là trường hợp phụ tải thuần trở, hình 3.3b là trường hợp phụ tải điện trở - điện cảm, hình 3.3c là trường hợp phụ tải thuần cảm. Nếu gọi khoảng thời gian dẫn dòng của một van trong một chu kỳ điện áp nguồn qui ra góc độ điện là góc dẫn của van và ký hiệu là λ thì λ được biểu diễn như trên đồ thị. Khi tải thuần trở $\lambda = \pi - \psi$, khi tải thuần cảm thì $\lambda = 2(\pi - \psi)$, còn trường hợp tải điện trở - điện cảm ($R_t - L_t$) thì góc λ nằm trong khoảng giới hạn bởi hai trường hợp trên.

Từ biểu thức (3.6) và đồ thị hình 3.3b, thể thấy, với phụ tải điện trở-điện cảm (R_t-L_t), tại thời điểm điện áp nguồn u_{ng} bằng không và bắt đầu đổi dấu, van làm việc ở giai đoạn trước chưa khóa lại mà vẫn tiếp tục dẫn dòng nhờ sức điện động (s.đ.đ.) tự cảm trong điện cảm phụ tải L_t , do vậy mà góc dẫn của van trong trường hợp này lớn hơn khi tải thuần trở nếu cùng làm việc với một góc điều khiển ψ như nhau. Khoảng thời gian từ thời điểm điện áp nguồn đổi dấu đến thời điểm dòng qua van đang làm việc giảm về bằng không qui ra góc độ điện là δ (góc δ được minh



Hình 3.3: Đồ thị áp và dòng trên tải của BBD xoay chiều - xoay chiều một pha: a) khi tải thuần trở, b) khi tải điện trở - điện cảm, c) khi tải thuần cảm

họa như trên đồ thị). Giá trị góc δ thay đổi khi tương quan giữa R_t và L_t thay đổi, tức là đặc tính tải của BBD thay đổi, kéo theo sự thay đổi giá trị hiệu dụng điện áp ra của BBD khi cùng một giá trị góc điều khiển ψ .

Với một bộ tham số cố định của R_t và L_t , góc δ sẽ tăng dần khi giảm giá trị góc điều khiển ψ . Khi $\psi \rightarrow \varphi$ ($\psi = \varphi$), góc δ đạt giá trị cực đại và bằng φ , góc dẫn của van cũng đạt giá trị cực đại $\lambda = \lambda_{max} = \pi$, có nghĩa rằng mỗi van sẽ dẫn dòng một khoảng bằng một nửa chu kỳ trong thời gian một chu kỳ điện áp nguồn, trong trường hợp này hai van luân phiên thay nhau làm việc, điện áp trên tải lặp lại hoàn toàn điện áp nguồn (không bị cắt).

Phân tích sự hoạt động của sơ đồ khi tải điện trở - điện cảm với $\varphi > \psi \geq 0$ có thể thấy: khi phát tín hiệu điều khiển mở một van, khi đó dòng điện tải vẫn còn và đang khép qua van kia (nhờ s.đ.đ. tự cảm trong điện cảm mạch tải) nên van có xung vẫn chưa mở, nếu độ dài của xung điều khiển đủ lớn ($\omega t_x \geq \varphi$), đến thời điểm dòng tải giảm về bằng không và có xu hướng đổi chiều thì van vẫn đủ điều khiển để mở, van sẽ mở, dòng tải đổi chiều, trong trường hợp này điện áp trên tải và dòng điện qua tải hoàn toàn tương tự như trường hợp tải $\psi = \varphi$, góc dẫn của van vẫn là $\lambda = \lambda_{max} = \pi$. Như vậy, khi $\varphi \geq \psi \geq 0$, điện áp và

dòng điện trên tải có dạng hình sin, các van của BBD lúc này đóng vai trò như một công tắc không tiếp điểm mà không còn tác dụng điều chỉnh điện áp trên tải, điện áp tải hoàn toàn bằng điện áp nguồn. Từ phân tích trên có thể suy ra: để điều khiển được điện áp trên tải thì góc điều khiển của BBD phải thỏa mãn điều kiện: $180^{\circ} > \psi > \varphi$.

3.2.2.4. Điện áp trên phụ tải của BBD xoay chiều - xoay chiều

Giá trị tức thời của điện áp trên tải được xác định như sau: khi có một van nào đó trong hai van dẫn dòng thì $u_t = u_{ng}$, khi cả hai van đều khóa thì $u_t = 0$. Vậy trong thời gian một chu kỳ nguồn cung cấp (giả thiết bắt đầu tính từ lúc mở T_1):

- Từ $\omega t = 0 \div \omega t = \lambda$: T_1 mở nên $u_t = u_{ng}$.
- Từ $\omega t = \lambda \div \omega t = \pi$: T_1 và T_2 đều khóa nên $u_t = 0$.
- Từ $\omega t = \pi \div \omega t = \pi + \lambda$: T_2 mở nên $u_t = u_{ng}$.
- Từ $\omega t = \pi + \lambda \div \omega t = 2\pi$: T_1 và T_2 đều khóa nên $u_t = 0$.

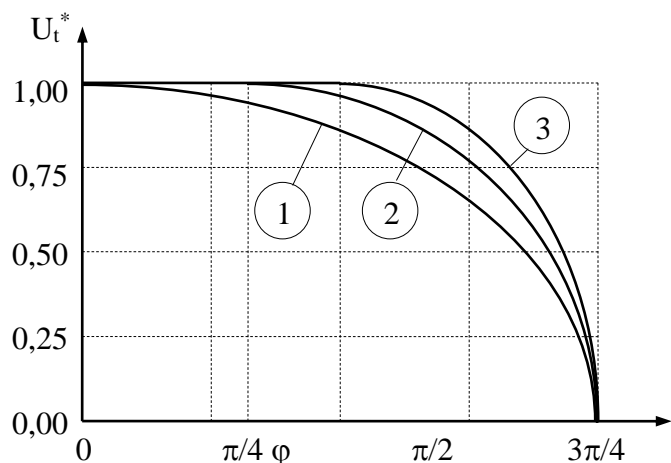
Giá trị hiệu dụng của điện áp trên tải, ký hiệu là U_t , được xác định theo biểu thức:

$$U_t = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\lambda} U_m^2 \sin^2(\omega t + \psi) d(\omega t)} \quad (3.9)$$

trong đó: U_m là biên độ điện áp nguồn cung cấp cho BBD.

Dựa vào đặc tính cũng như giá trị các phần tử phụ tải và giá trị góc điều khiển ψ để xác định được giá trị góc λ và thay vào biểu thức (3.9) sẽ tìm được giá trị hiệu dụng điện áp trên tải. Quan hệ giữa giá trị tương đối của điện áp hiệu dụng trên tải $U_t^* = \frac{U_t}{U_{ng}}$

với góc điều khiển ψ biểu diễn bằng đồ thị hình 3.4 (với U_{ng} là giá trị hiệu dụng điện áp nguồn).



Hình 3.4: Đặc tính điều chỉnh của BBD xoay chiều - xoay chiều một pha

Đường số 1 ứng với tải thuần trở; đường số 2 là khi tải điện trở - điện cảm có giá trị $\arctg(\omega L_i/R_i) = \varphi$, còn đường số 3 là trường hợp tải thuần cảm ($\varphi = \pi/2$).

3.2.3. TÍNH CHỌN VAN CHO BỘ BIẾN ĐỔI XOAY CHIỀU - XOAY CHIỀU

Việc chọn và kiểm tra các van (thyristor, triac) cho BBD xoay chiều - xoay chiều cũng tương tự như đối với BBD xoay chiều - một chiều đã nghiên cứu trong chương trước. Các giá trị dòng, áp trên van dùng để lựa chọn van được xác định theo các biểu thức sau:

- Giá trị trung bình dòng qua van:

$$I_{Ttb} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\lambda i_t(\omega t) d(\omega t) \quad (3.10)$$

- Giá trị hiệu dụng dòng qua van:

$$I_T = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\lambda i_t^2(\omega t) d(\omega t)} \quad (3.11)$$

Khi tính chọn van cần phải lấy giá trị dòng qua van ở chế độ nặng nề nhất, tức tương ứng khi góc dẫn của van là cực đại ($\lambda = \lambda_{\max} = \pi$), lúc đó giá trị trung bình và hiệu dụng cực đại của dòng các van là:

$$I_{Ttb\max} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I_{\max}; \quad I_{T\max} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (3.12)$$

Trong đó: I_{\max} là giá trị hiệu dụng cực đại của dòng tải ứng với trường hợp $U_t^* = 1$.

- Điện áp lớn nhất trên van theo chiều thuận và ngược đều bằng biên độ điện áp nguồn xoay chiều:

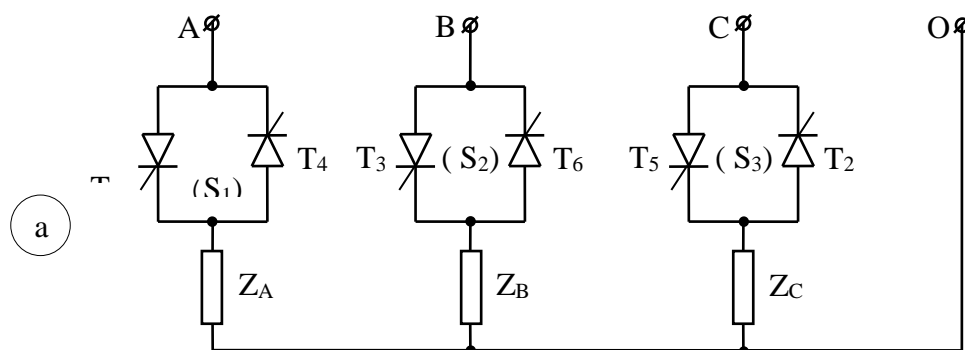
$$U_{Tth\max} = U_{Tng\max} = U_m = \sqrt{2} U_{ng} \quad (3.13)$$

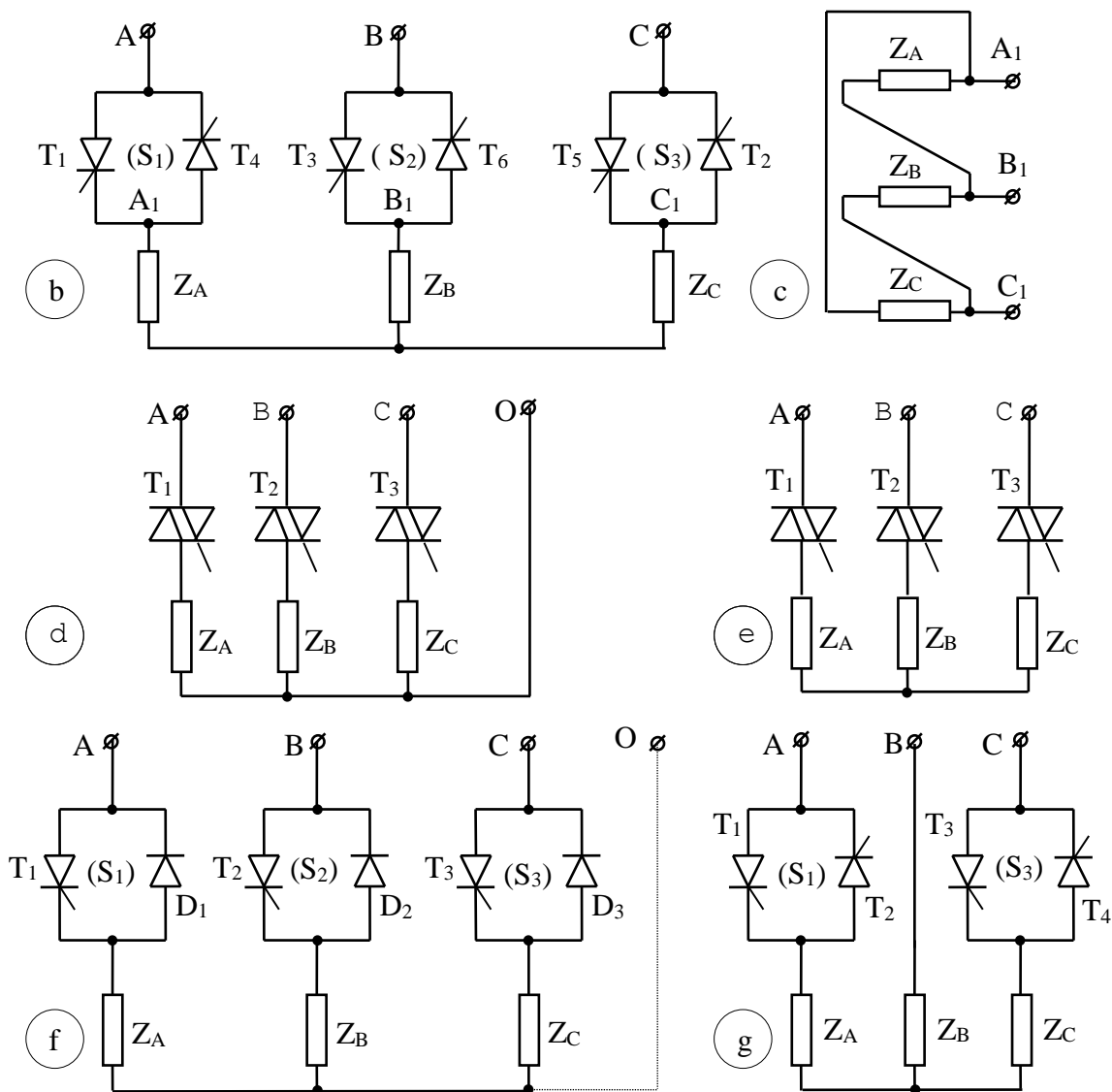
Các điều kiện chọn và kiểm tra cũng tương tự như trường hợp chọn van và kiểm tra van cho sơ đồ chỉnh lưu đã trình bày ở chương hai.

3.3. BỘ BIẾN ĐỔI XOAY CHIỀU - XOAY CHIỀU BA PHA

3.3.1. CÁC SƠ ĐỒ ĐẦU DÂY BỘ ĐỔI XOAY CHIỀU - XOAY CHIỀU BA PHA

Các dạng khác nhau của BBĐ điện áp xoay chiều - xoay chiều 3 pha tùy thuộc vào phụ tải và dụng cụ sử dụng được minh họa trên các sơ đồ hình 3.5. Sơ đồ hình 3.5a và hình 3.5b là các sơ đồ dùng 3 cặp thyristor mắc song song ngược có dây trung tính và không có dây trung tính với tải nối sao, phụ tải cũng có thể nối dạng tam giác như hình 3.5c. Hình 3.5d và hình 3.5e là các sơ đồ dùng triac có và không có dây trung tính. Hình 3.5f và hình 3.5g là một số sơ đồ BBĐ không đối xứng, các sơ đồ này chỉ dùng để điều chỉnh điện áp cung cấp cho các phụ tải vừa có thể sử dụng nguồn xoay chiều đồng thời cũng có thể sử dụng nguồn cung cấp một chiều (ví dụ tải điện trở).





Hình 3.5: Các dạng sơ đồ BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha

3.3.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA BỘ ĐÔI XOAY CHIỀU - XOAY CHIỀU BA PHA

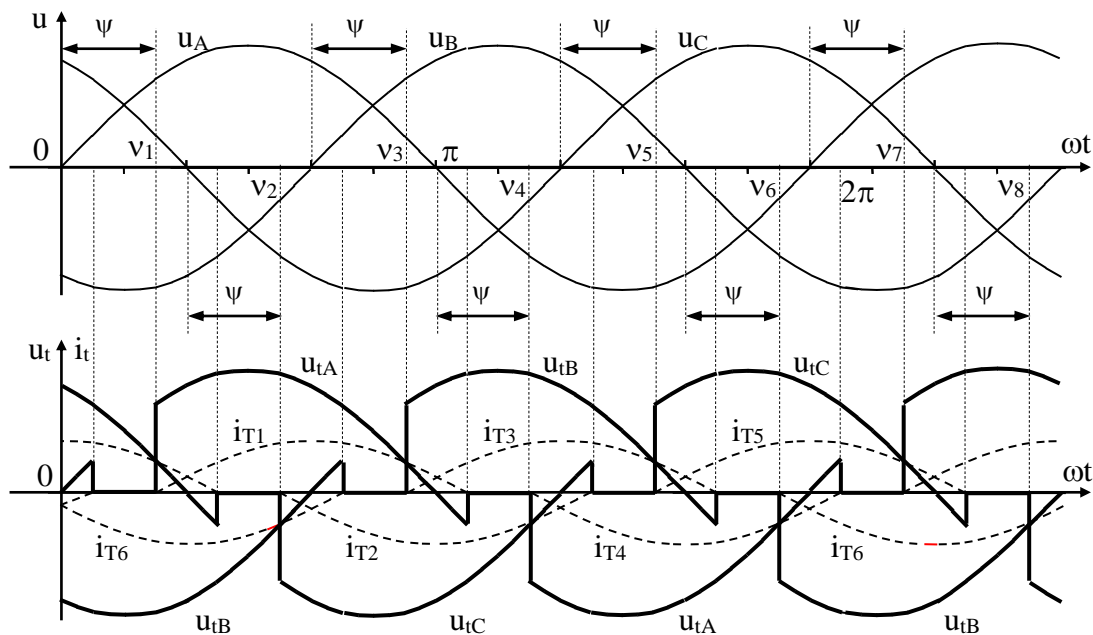
3.3.2.1. Nguyên lý làm việc của các sơ đồ đối xứng tải đầu sao có dây trung tính

Nguyên lý hoạt động của sơ đồ BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha có dây trung tính (sơ đồ hình 3.5a hoặc hình 3.5d) hoàn toàn giống như nguyên lý hoạt động của ba BBD xoay chiều - xoay chiều một pha làm việc độc lập với phụ tải từng pha. Đồ thị dòng áp trên tải mỗi pha và các đặc điểm cơ bản hoàn toàn tương tự như đối với BBD xoay chiều - xoay chiều một pha. Hình 3.6 biểu diễn điện áp nguồn, điện áp và dòng điện trên tải $R_L - L_L$ đầu sao có dây trung tính với một góc điều khiển $\psi > \varphi$.

3.3.2.2. Nguyên lý làm việc của các sơ đồ đối xứng tải đầu sao không có dây trung tính

Nguyên lý hoạt động của sơ đồ không có trung tính hoặc trường hợp phụ tải nối dạng tam giác phức tạp hơn so với trường hợp tải đầu sao có dây trung tính. Trong trường hợp này, ở những giai đoạn trong sơ đồ có ba van ở ba pha cùng làm việc, điện áp trên mỗi phụ

tải là điện áp pha của pha nguồn tương ứng; còn ở những giai đoạn trong sơ đồ chỉ có hai



Hình 3.6: Dòng áp trên tải BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha với tải điện trở-điện cảm đấu hình sao có dây trung tính với $\psi > 0$

van ở hai pha cùng làm việc, điện áp trên phụ tải mắc ở pha không có van nào làm việc sẽ bằng không, điện áp trên hai phụ tải còn lại bằng một nửa hiệu điện áp hai pha (điện áp dây) nối với các van đang làm việc.

Trong BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha, mốc tính góc điều khiển cho mỗi van là thời điểm đầu mỗi nửa chu kỳ của điện áp pha nguồn tương ứng, điều này khác với chỉnh lưu điều khiển ba pha: mốc tính góc điều khiển là thời điểm mở tự nhiên đối với van và thời điểm này chậm sau thời điểm đầu mỗi nửa chu kỳ các pha nguồn một góc 30^0 ($\pi/6$).

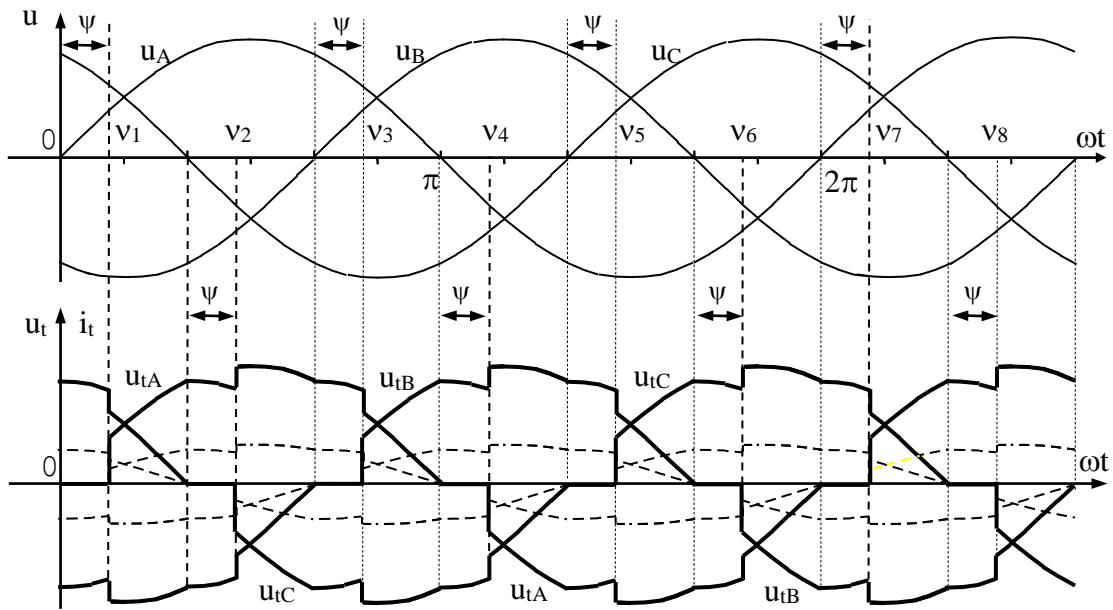
Nguyên lý làm việc, dạng dòng và áp trên tải của sơ đồ BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha cũng phụ thuộc vào tính chất tải (thuần trở, điện trở-điện cảm hay thuần cảm) và phụ thuộc cả vào từng phạm vi thay đổi của góc điều khiển.

a. Trường hợp tải thuần trở

Nguyên lý làm việc của BBD đối xứng với tải thuần trở, đấu sao không có dây trung tính (hình 3.5b hoặc hình 3.5e) được minh họa bởi đồ thị điện áp và dòng điện trên tải (hình 3.7) ứng với một giá trị góc điều khiển ψ khác không ($\psi > 0$). Điện áp và dòng điện trên tải có dạng hoàn toàn giống nhau.

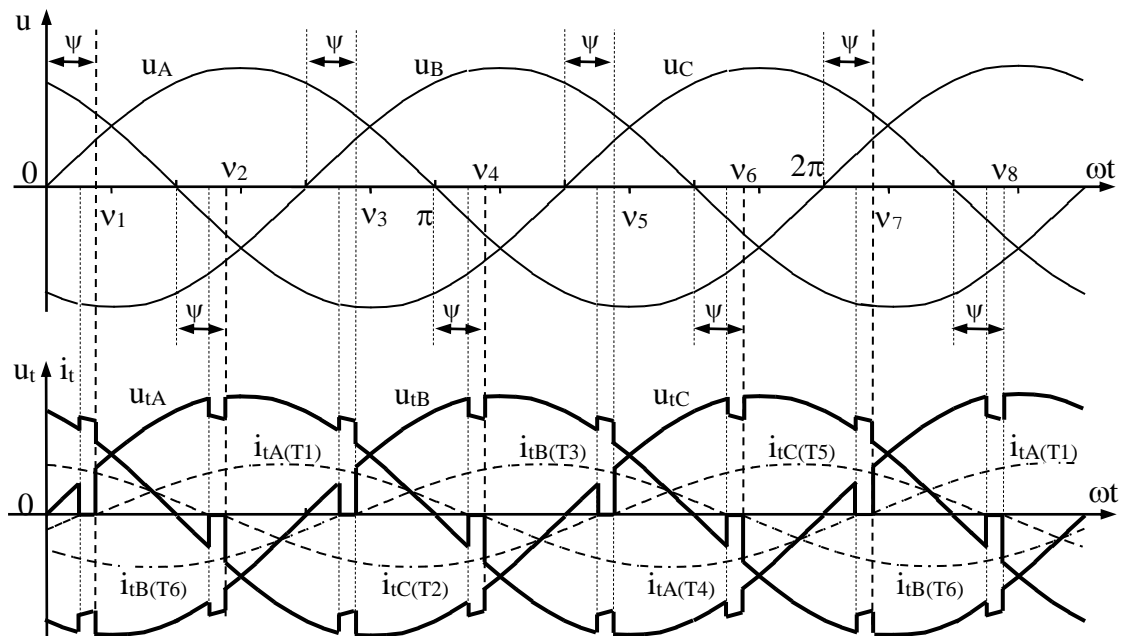
b. Trường hợp tải điện trở - điện cảm

Nguyên lý làm việc, dạng điện áp và dòng điện trên tải của BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha với tải điện trở - điện cảm có những điểm khác với trường hợp tải thuần trở khi cùng một giá trị góc điều khiển ψ , bởi vì điện cảm có đặc điểm là làm cho dòng điện bị kéo dài thêm sau khi điện áp trên tải bằng không và đổi dấu. Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của BBD khi phụ tải của bộ biến đổi có đặc tính điện trở - điện cảm với một số giá trị góc điều khiển ψ lớn hơn góc lệch pha của sóng hài bậc nhất dòng và áp trên tải φ



Hình 3.7: Dòng áp trên tải BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha với tải điện trở thuần đấu hình sao không có dây trung tính với $\psi > 0$

được biểu diễn trên các hình 3.8, hình 3.9 và hình 3.10. Hình 3.8 ứng với trường hợp góc



Hình 3.8: Dòng áp trên tải BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha với tải điện trở - điện cảm đấu hình sao không có dây trung tính với $\varphi < \psi \leq \pi/6$

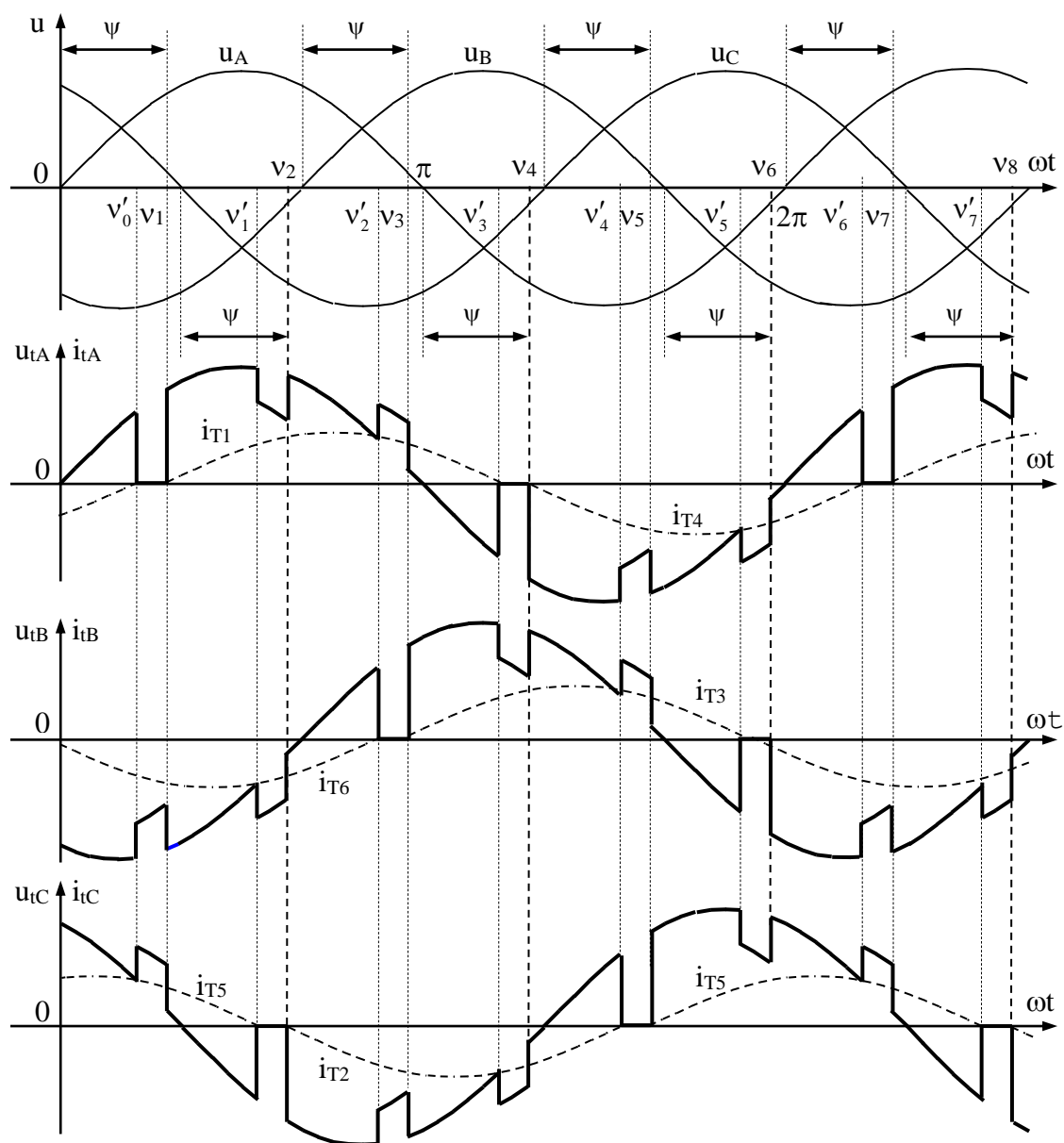
điều khiển $0 < \psi < \pi/6$, hình 3.9 là trường hợp góc điều khiển $\pi/6 < \varphi < \psi \leq \pi/3$, còn đồ thị hình 3.10 là trường hợp $\psi > \pi/2$ và $\varphi > \pi/3$.

Nguyên lý hoạt động của sơ đồ trong một chu kỳ điện áp nguồn (xét với trường hợp $\pi/6 < \varphi < \psi \leq \pi/3$ - ứng với đồ thị hình 3.9) như sau:

- Tại $\omega t = v_1$, T_1 có tín hiệu điều khiển và mở (trước đó van T_4 đã khóa), lúc này trong sơ đồ có các van T_1, T_5 và T_6 cùng dẫn dòng cho đến $\omega t = v'_1$, trong trường hợp này điện áp trên mỗi tải bằng điện áp pha nguồn tương ứng: $u_{tA} = u_A, u_{tB} = u_B, u_{tC} = u_C$;

- Tại $\omega t = v'_1$, T_5 khóa lại, bây giờ trong sơ đồ chỉ còn các van T_1 và T_6 cùng dẫn dòng cho đến $\omega t = v_2$, trong khoảng này điện áp trên tải pha C bằng không, điện áp trên tải pha A và B bằng một nửa hiệu điện áp hai pha A và B: $u_{tA} = u_{AB}/2, u_{tB} = u_{BA}/2 = -u_{AB}/2, u_{tC} = 0$;

- Tại $\omega t = v_2$, T_2 có tín hiệu điều khiển và mở, lúc này trong sơ đồ có các van T_1, T_2 và T_6 cùng dẫn dòng cho đến $\omega t = v'_2$, điện áp trên mỗi tải bằng điện áp pha nguồn tương



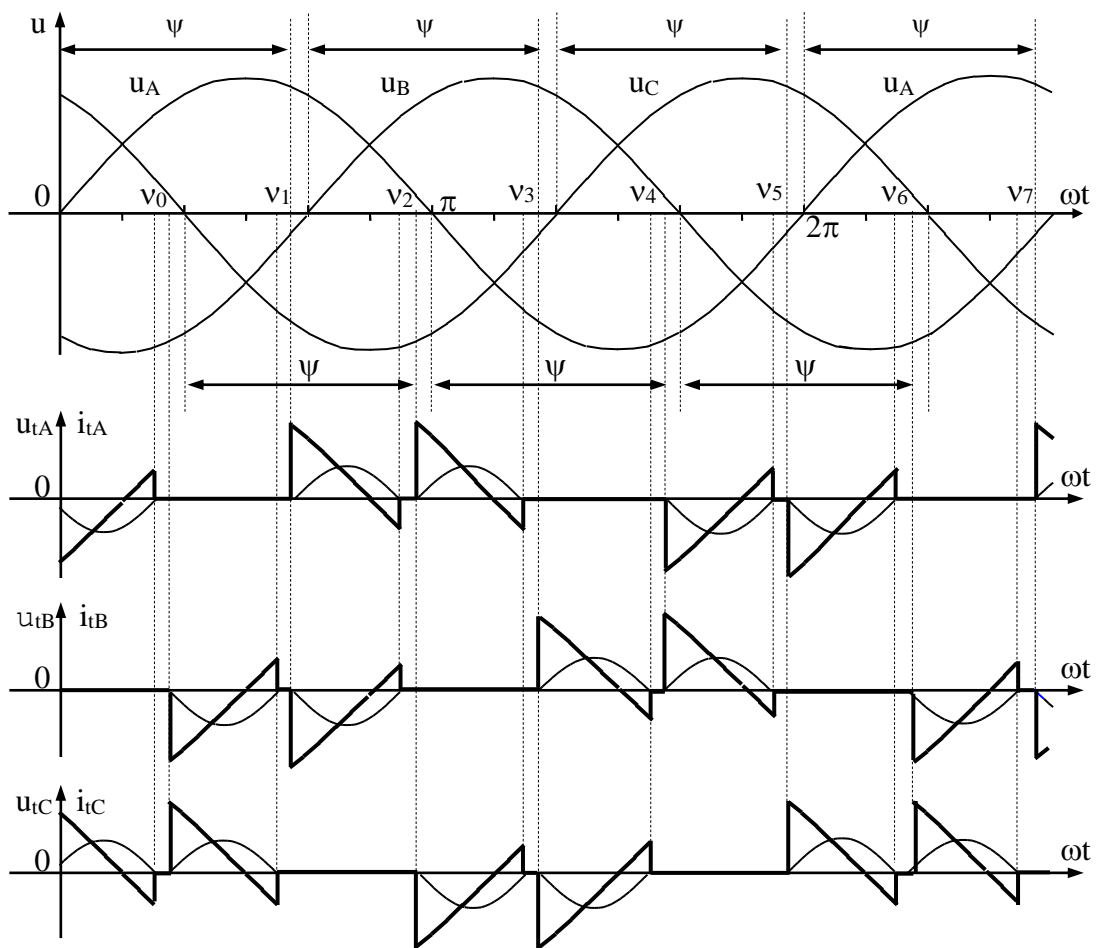
Hình 3.9: Dòng áp trên tải BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha với tải điện trở - điện cảm đấu hình sao không có dây trung tính với $\pi/6 < \varphi < \psi \leq \pi/3$

ứng: $u_{tA} = u_A, u_{tB} = u_B, u_{tC} = u_C$;

- Tại $\omega t = v'_2$, T_6 khóa lại, từ thời điểm này cho đến $\omega t = v_3$, trong sơ đồ chỉ còn các van T_1 và T_2 cùng dẫn dòng, điện áp trên tải pha B bằng không, điện áp trên tải pha A và C bằng một nửa hiệu điện áp hai pha A và C: $u_{tA} = u_{AC}/2, u_{tB} = 0, u_{tC} = u_{CA}/2 = -u_{AC}/2$;

- Tại $\omega t = v_3$, T_3 có tín hiệu điều khiển và mở, lúc này trong sơ đồ có các van T_1, T_2 và T_3 cùng dẫn dòng cho đến $\omega t = v'_3$, điện áp trên mỗi tải bằng điện áp pha nguồn tương ứng: $u_{tA} = u_A, u_{tB} = u_B, u_{tC} = u_C$;

- Tại $\omega t = v'_3$, T_1 khóa lại, từ thời điểm này cho đến $\omega t = v_4$, trong sơ đồ chỉ còn các van T_2 và T_3 cùng dẫn dòng, điện áp trên tải pha A bằng không, điện áp trên tải pha B và C bằng một nửa hiệu điện áp hai pha B và C: $u_{tA} = 0, u_{tB} = u_{BC}/2, u_{tC} = u_{CB}/2 = -u_{BC}/2$;



Hình 3.10: Dòng áp trên tải BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha với tải điện trở - điện cảm đấu hình sao không có dây trung tính với $\psi > \pi/2$

- Tại $\omega t = v_4$, T_4 có tín hiệu điều khiển và mở, lúc này trong sơ đồ có các van T_2, T_3 và T_4 cùng dẫn dòng cho đến $\omega t = v'_4$, điện áp trên mỗi tải bằng điện áp pha nguồn tương ứng: $u_{tA} = u_A, u_{tB} = u_B, u_{tC} = u_C$;

- Tại $\omega t = v'_4$, T_2 khóa lại, từ thời điểm này cho đến $\omega t = v_5$, trong sơ đồ chỉ còn các van T_3 và T_4 cùng dẫn dòng, điện áp trên tải pha C bằng không, điện áp trên tải pha A và B bằng một nửa hiệu điện áp hai pha A và B: $u_{tA} = u_{AB}/2$, $u_{tB} = u_{BA}/2 = -u_{AB}/2$, $u_{tC} = 0$;

- Tại $\omega t = v_5$, T_5 có tín hiệu điều khiển và mở, từ thời điểm này cho đến $\omega t = v'_5$ trong sơ đồ có các van T_3 , T_4 và T_5 cùng dẫn dòng, điện áp trên mỗi tải bằng điện áp pha nguồn tương ứng: $u_{tA} = u_A$, $u_{tB} = u_B$, $u_{tC} = u_C$;

- Tại $\omega t = v'_5$, T_3 khóa lại, từ thời điểm này cho đến $\omega t = v_6$, trong sơ đồ chỉ còn các van T_4 và T_5 cùng dẫn dòng, điện áp trên tải pha C bằng không, điện áp trên tải pha A và B bằng một nửa hiệu điện áp hai pha A và B: $u_{tA} = u_{AB}/2$, $u_{tB} = u_{BA}/2 = -u_{AB}/2$, $u_{tC} = 0$;

- Tại $\omega t = v_6$, T_6 có tín hiệu điều khiển và mở, từ thời điểm này cho đến $\omega t = v'_6$ trong sơ đồ có các van T_4 , T_5 và T_6 cùng dẫn dòng, điện áp trên mỗi tải bằng điện áp pha nguồn tương ứng: $u_{tA} = u_A$, $u_{tB} = u_B$, $u_{tC} = u_C$;

- Tại $\omega t = v'_6$, T_4 khóa lại, từ thời điểm này cho đến $\omega t = v_7$, trong sơ đồ chỉ còn các van T_5 và T_6 cùng dẫn dòng, điện áp trên tải pha A bằng không, điện áp trên tải pha B và C bằng một nửa hiệu điện áp hai pha B và C: $u_{tA} = 0$, $u_{tB} = u_{BC}/2$, $u_{tC} = u_{CB}/2 = -u_{BC}/2$;

- Tại $\omega t = v_7$, T_1 lại có tín hiệu điều khiển và lại mở, từ $\omega t = v_7$ đến $\omega t = v'_7$ sơ đồ lặp lại trạng thái làm việc như từ $\omega t = v_1$ đến $\omega t = v'_1$, các van T_1 , T_5 và T_6 cùng dẫn dòng, điện áp trên mỗi tải bằng điện áp pha nguồn tương ứng: $u_{tA} = u_A$, $u_{tB} = u_B$, $u_{tC} = u_C$;

Quá trình làm việc lặp đi, lặp lại mang tính chất chu kỳ, đồ thị điện áp và dòng điện minh họa sự làm việc của sơ đồ trong trường hợp này được biểu diễn trên hình 3.9.

Trường hợp tải có $\varphi > \pi/3$, với $\psi > \pi/2$, dạng điện áp và dòng tải được minh họa trên hình 3.10. Trong trường hợp này, xen giữa các khoảng chỉ có hai van dẫn dòng là các khoảng không có van nào làm việc.

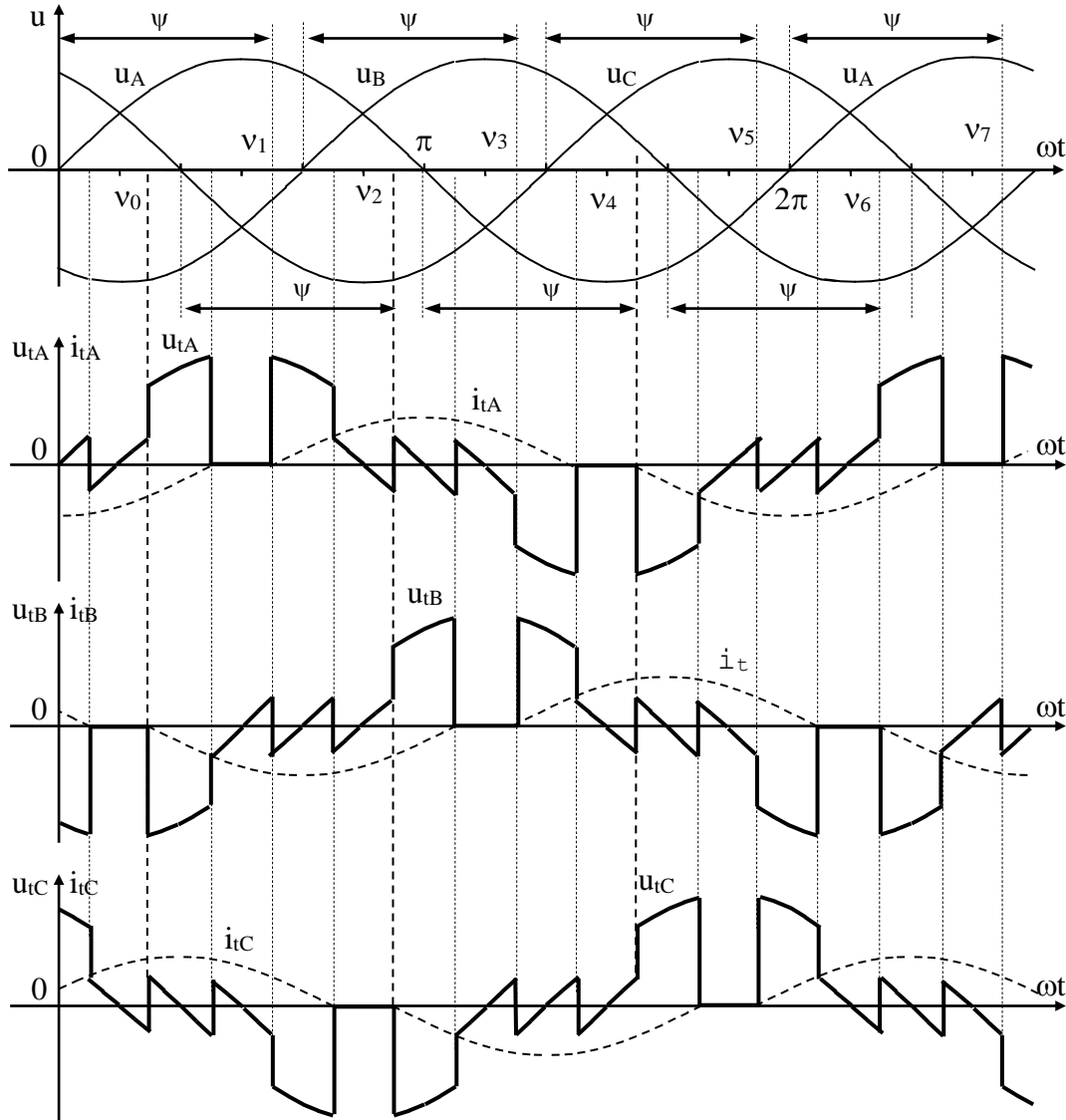
c. Trường hợp tải thuần cảm

Cũng tương tự như đối với BBD một pha, góc điều khiển phải lớn hơn $\pi/2$ thì điện áp trên tải mới khác điện áp nguồn. Nguyên lý làm việc, dạng điện áp và dòng điện trên tải của BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha tải thuần cảm đấu sao không có dây trung tính được minh họa trên đồ thị hình 3.11. Nhìn vào đồ thị dạng điện áp và dòng điện trên tải có thể nhận thấy: công suất tác dụng trên tải bằng không, đúng bản chất của tải thuần cảm.

d. Nhận xét

Từ đồ thị điện áp và dòng điện trên tải ứng với các loại tải và giá trị góc điều khiển khác nhau, có thể thấy dạng điện áp trên tải phức tạp hơn rất nhiều so với trường hợp tải đấu sao có dây trung tính. Khác với trường hợp BBD một pha hoặc BBD ba pha tải đấu sao có dây trung tính, điện áp trên tải sẽ có giá trị hiệu dụng bằng giá trị hiệu dụng điện áp nguồn khi $0 \leq \psi \leq \varphi$, còn khi góc điều khiển ψ tăng từ giá trị bằng φ đến $5\pi/6$ (150°) thì giá trị hiệu dụng điện áp trên tải giảm dần từ giá trị hiệu dụng điện áp nguồn đến bằng

không. Một đặc điểm quan trọng cần lưu ý, khi BBD bắt đầu khởi động cũng tương tự như chỉnh lưu cầu ba pha, BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha tải đầu tam giác hoặc đầu sao không có dây trung tính yêu cầu xung điều khiển các van phải có độ dài lớn hơn 60° điện. Mặt khác, như đã biết khi nghiên cứu BBD xoay chiều - xoay chiều một pha tải điện trở - điện cảm, nếu phát xung điều khiển với góc điều khiển $\psi = 0$, tại thời điểm có xung van chưa mở, đến thời điểm chậm sau thời điểm có xung một góc độ điện bằng φ van mới bắt đầu mở với điều kiện vẫn còn xung điều khiển. Điều đó có nghĩa là xung điều khiển cần



Hình 3.11: Dòng áp trên tải BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha với tải thuần cảm đầu hình sao không có dây trung tính với $\psi > \pi/2$

phải có độ dài lớn hơn góc lệch pha của sóng hài bậc nhất dòng và áp trên tải. Với tải thuần cảm, góc $\varphi = \pi/2$, như vậy, để đảm bảo BBD xoay chiều - xoay chiều làm việc bình thường với tất cả các dạng đặc tính tải, xung điều khiển các van của BBD cần có độ dài trên 90° điện ($\pi/2$).

3.4. MẠCH ĐIỀU KHIỂN BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN ÁP XOAY CHIỀU - XOAY CHIỀU

3.4.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Cũng như BBD xoay chiều - một chiều, trong BBD xoay chiều - xoay chiều cũng sử dụng các van bán dẫn có điều khiển. Vì vậy, để cho BBD có thể làm việc theo yêu cầu cũng cần phải sử dụng mạch phát tín hiệu điều khiển cho các van. Dù là sơ đồ dùng hai thyristor mắc song song ngược hay sơ đồ dùng triac thì trong một chu kỳ nguồn ta cũng phải tạo ra hai tín hiệu điều khiển lệch nhau một góc độ điện là 180^0 tương tự như tín hiệu điều khiển các van trong sơ đồ chỉnh lưu hình tia hai pha. Do vậy về lý thuyết thì có thể sử dụng tất cả các mạch phát xung điều khiển cho bộ chỉnh lưu hình tia hai pha hoặc cầu một pha để phát xung điều khiển cho BBD xoay chiều - xoay chiều một pha, tương tự, có thể sử dụng mạch phát xung điều khiển sơ đồ chỉnh lưu cầu ba pha dùng để phát xung điều khiển cho BBD xoay chiều - xoay chiều 3 pha. Tuy nhiên cũng cần lưu ý:

- Đối với sơ đồ chỉnh lưu, sự đối xứng của xung điều khiển các van cũng quan trọng nhưng không yêu cầu quá khắt khe. Còn đối với BBD xoay chiều - xoay chiều, sự đối xứng của xung điều khiển các van, đặc biệt là của hai van song song ngược trong cùng một pha khi phụ tải của BBD là thiết bị chỉ làm việc được với nguồn cung cấp xoay chiều, ví dụ như các động cơ điện xoay chiều hoặc các máy biến áp, ..., đòi hỏi có độ đối xứng rất cao. Đó là vì, khi góc điều khiển của hai van trong cùng một pha không hoàn toàn giống nhau, trong đường cong điện áp trên tải sẽ xuất hiện thành phần một chiều, tổng tổng trở phụ tải đối với thành phần điện áp một chiều lại rất nhỏ nên thành phần dòng một chiều qua tải sẽ rất lớn. Điều này ảnh hưởng đến sự làm việc của phụ tải và BBD, tăng tổn thất phụ và khi sự không đối xứng của tín hiệu điều khiển vượt quá một giới hạn nhất định nào đó (phụ thuộc trường hợp cụ thể), dòng một chiều trong mạch sẽ rất lớn, thiết bị bảo vệ sẽ ngắt BBD ra khỏi nguồn cung cấp.

- Như đã phân tích trong mục trước, để đảm bảo cho sơ đồ làm việc bình thường trong mọi chế độ, tùy đặc tính tải, xung điều khiển các van cần có thời gian tồn tại thích hợp, tốt nhất là lớn hơn 90^0 điện (khi góc điều khiển nhỏ). Để đáp ứng yêu cầu này, nhưng lại không làm tăng kích thước máy biến áp xung, có một giải pháp thường được sử dụng là chuyển xung điều khiển có độ dài lớn thành nhiều xung hẹp với độ dài rất ngắn (tạo xung chùm), biện pháp này cho phép truyền một xung dài (đã chia thành chuỗi nhiều xung) với kích thước máy biến áp xung không nhưng không tăng, mà còn có thể giảm.

Như vậy, có thể ứng dụng tất cả các nguyên tắc và các sơ đồ phát xung điều khiển cho BBD xoay chiều - một chiều hình cầu một pha hoặc ba pha để phát xung điều khiển cho BBD xoay chiều - xoay chiều một pha hoặc ba pha với các lưu ý trên, do vậy trong phần này sẽ không xét các mạch điều khiển loại đó nữa.

Trong một số trường hợp khi không đòi hỏi chất lượng cao của tín hiệu điều khiển, phạm vi thay đổi góc điều khiển không yêu cầu rộng, có thể sử dụng các mạch điều khiển đơn giản để giảm giá thành và kích thước BBD.

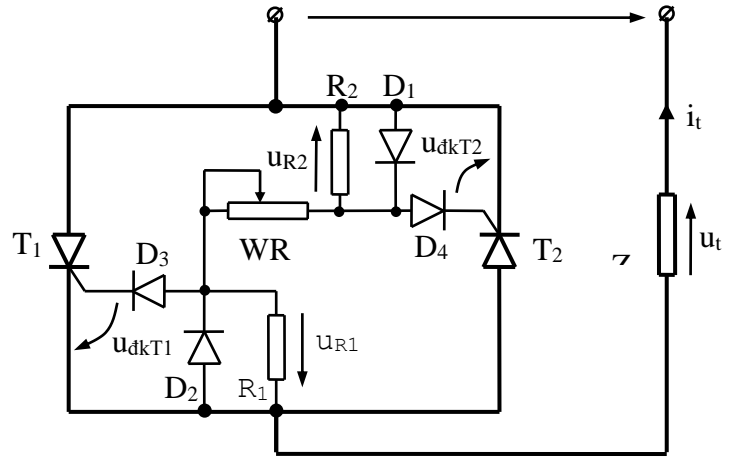
3.4.2. CÁC MẠCH PHÁT XUNG ĐIỀU KHIỂN ĐƠN GIẢN

3.4.2.1. Sơ đồ dùng biến trở và đi ốt

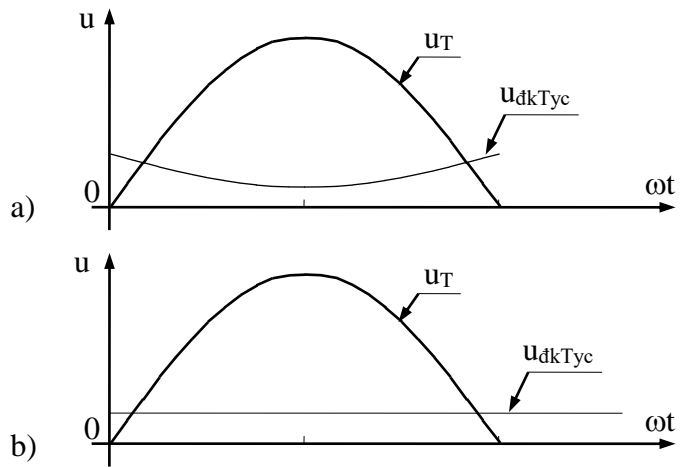
Hoạt động của sơ đồ

Từ đặc tính V-A của thyristor có thể thấy: Khi giữa a nốt và ka tốt của thyristor đ có một giá trị điện áp u_T thuận nhất định, nếu đặt vào điện cực điều khiển và ka tốt của nó một điện áp điều khiển có giá trị từ một trị số nào đó trở lên thì thyristor sẽ chuyển từ trạng thái khóa sang trạng thái mở.

Giá trị điện áp điều khiển nhỏ nhất có thể làm mở thyristor khi ứng với một trị số điện áp thuận được gọi là điện áp điều khiển yêu cầu đối với trị số điện áp thuận đó, giả thiết ký hiệu là $u_{đkTyc}$. Do đó, khi trên van có một điện áp thuận nhất định, nếu giữa cực điều khiển và ka tốt có điện áp điều khiển $u_{đk} \geq u_{đkTyc}$ tương ứng với trị số điện áp thuận đó thì van sẽ mở, còn nếu không có hoặc có $u_{đk}$ nhưng $u_{đk} < u_{đkTyc}$, van không mở. Điện áp thuận trên



Hình 3.12: BBD xoay chiều - xoay chiều một pha, mạch điều khiển đơn giản bằng điện trở - đi ốt



Hình 3.13: Minh họa điện áp điều khiển yêu cầu đối với các thyristor

van thay đổi thì giá trị $u_{đkTyc}$ cũng thay đổi theo: Điện áp thuận trên van tăng thì giá trị $u_{đkTyc}$ giảm và ngược lại, nếu điện áp thuận trên van có dạng nửa hình sin thì đồ thị $u_{đkTyc}$ có dạng như trên hình 3.13a. Để đơn giản cho việc xét nguyên lý làm việc của sơ đồ, tạm giả thiết điện áp điều khiển yêu cầu không phụ thuộc vào trị số điện áp thuận trên van như hình 3.13b. Giả thiết như vậy tuy không phù hợp với thực tế nhưng không ảnh hưởng đến việc phân tích nguyên lý hoạt động của sơ đồ nên có thể chấp nhận được trong trường hợp này. Chọn mốc thời gian xét $\omega t=0$ là thời điểm đầu nửa chu kỳ dương của u_{ng} và giả thiết tải thuần trở. Do giả thiết tải thuần trở, nên tại $\omega t = 0$, dòng tải cũng bằng không, lúc đó

van T_2 vừa khóa và T_1 bắt đầu có điện áp thuận, khi T_1 còn chưa mở, có một dòng điện đi theo mạch: D_1 - WR - R_1 - R_t (đã giả thiết tải là R_t), dòng điện này gây nên trên R_1 một sụt điện áp, điện áp trên R_1 sẽ được đưa qua đi ốt D_3 đến điện cực điều khiển của T_1 . Vậy nếu bỏ qua sụt áp trên D_3 mở, điện áp điều khiển van T_1 là: $u_{đkT1} = u_{R1}$.

Đồ thị hình 3.14 cho thấy, khi $\psi > \omega t \geq 0$: $u_{đkT1} < u_{đkTyc}$, T_1 chưa mở, tại $\omega t = \psi$ thì $u_{đkT1} = u_{đkTyc}$, T_1 bắt đầu mở và sẽ dẫn dòng cho đến $\omega t = \pi$. Tại $\omega t = \pi$, $u_{ng} = 0$ và bắt đầu đổi dấu nên dòng qua T_1 giảm về bằng không và có xu hướng đổi chiều, T_1 khóa lại và T_2 bắt đầu được đặt điện áp thuận. Khi $u_{ng} < 0$ và T_2 chưa mở, qua mạch R_t - D_2 - WR - R_2 sẽ có dòng điện do nguồn cung cấp tạo nên. Sụt điện áp trên R_2 bởi dòng điện này sẽ được truyền qua D_4 đến điện cực điều khiển T_2 , khi bỏ qua điện áp trên D_4 mở, điện áp điều khiển van T_2 là: $u_{đkT2} = u_{R2}$. Từ sơ đồ và nguyên lý hoạt động đã nêu, có thể thấy:

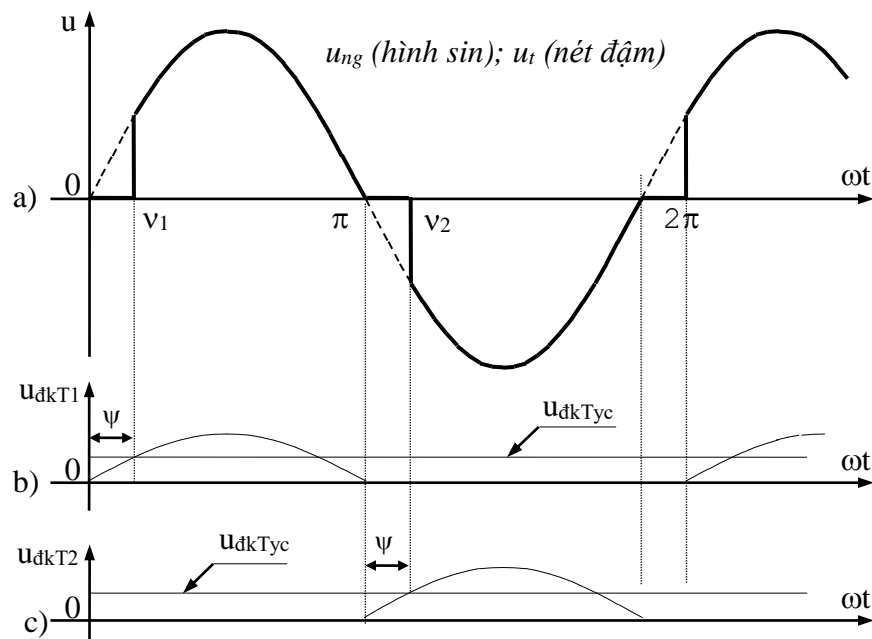
$$\text{Khi } u_{ng} > 0: u_{đkT1} = u_{R1} = u_{ng} \cdot R_1 / (R_1 + WR + R_t) \approx u_{ng} \cdot R_1 / (R_1 + WR);$$

$$\text{khi } u_{ng} < 0: u_{đkT2} = u_{R2} = -u_{ng} \cdot R_2 / (R_2 + WR + R_t) \approx -u_{ng} \cdot R_2 / (R_2 + WR);$$

do $R_t \ll WR$, $R_t \ll R_2$ và $R_1 = R_2$ nên: $u_{đkT2} \approx -u_{ng} \cdot R_1 / (R_1 + WR)$.

Vì vậy, thời điểm $u_{đkT2}$ đạt giá trị $u_{đkTyc}$ là thời điểm $\omega t = \pi + \psi$ và tại thời điểm này T_2 bắt đầu mở cho đến $\omega t = 2\pi$. Trong các chu kỳ tiếp theo sơ đồ làm việc tương tự. Cả 2

van trong sơ đồ đều mở với một giá trị góc điều khiển là ψ như nhau. Từ nguyên lý hoạt động đã nêu kết hợp với đồ thị hình 3.14, có thể thấy rằng, để thay đổi góc điều khiển ψ thực hiện thay đổi biên độ của điện áp điều khiển bằng cách điều chỉnh giá trị

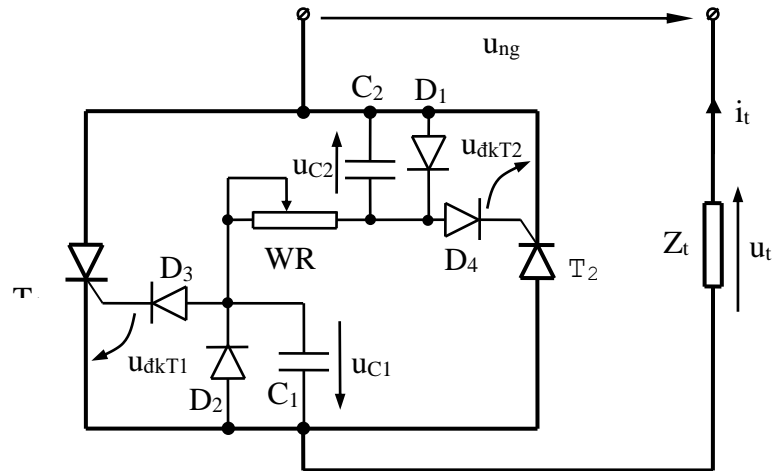


Hình 3.14: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 3.13

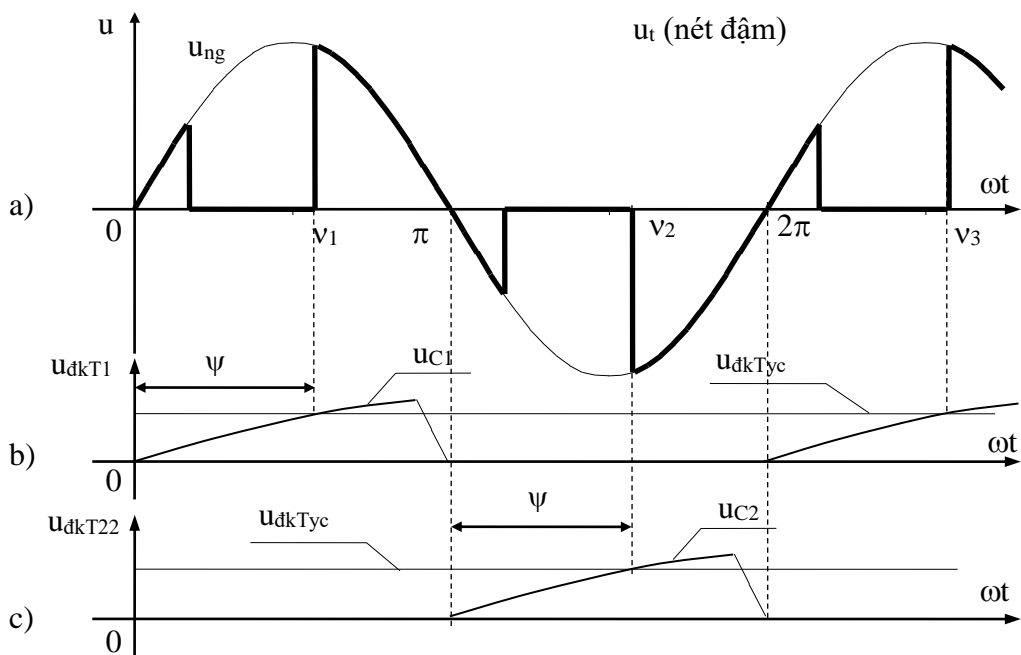
biến trở WR . Với mạch điều khiển này thì góc điều khiển tối đa $\psi_{max} = \pi/2$. Do vậy, mạch điều khiển này không dùng được cho trường hợp BBD làm việc với phụ tải thuần cả. Trường hợp tỉ số điện cảm trên điện trở lớn cũng không nên sử dụng vì lúc đó phạm vi thay đổi của góc điều khiển ψ rất hẹp.

3.4.2.2. Sơ đồ dùng D-R-C

Để để mở rộng phạm vi thay đổi của góc điều khiển ψ , có thể sử dụng sơ đồ hình 3.15, đây thực chất là sự cải tiến sơ đồ hình 3.12 bằng cách thay vào vị trí các điện trở R_1 và R_2 bởi hai tụ C_1 và C_2 . Nguyên lý làm việc của sơ đồ được minh họa trên đồ thị hình



Hình 3.15: Sơ đồ hình 3.13 khi thay R_1, R_2 bằng các tụ điện C_1, C_2 để tăng phạm vi góc điều khiển



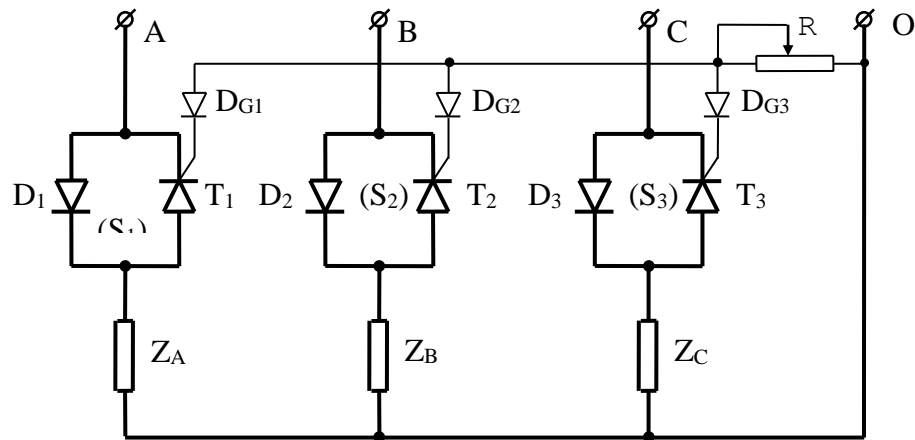
Hình 3.16: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 3.15

3.16. Từ đồ thị có thể nhận thấy, với việc sử dụng các tụ cho phép tăng phạm vi thay đổi của góc điều khiển, góc điều khiển cực đại có thể đạt giá trị tương đối lớn.

3.4.2.3. Mạch điều khiển đơn giản áp dụng cho BBD ba pha không đối xứng

Trong một số ứng dụng cụ thể, ví dụ như, điều khiển nhiệt độ các lò điện trở, ... Trong những trường hợp này, tải của các BBD là điện trở thuần, là loại tải có thể làm việc bình thường với cả điện áp nguồn là xoay chiều hoặc một chiều, mặt khác, một số trường hợp phạm vi điều chỉnh không yêu cầu rộng, không yêu cầu về việc tự động ổn định, khi đó có thể sử dụng các BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha không đối xứng với phần mạch điều

khởi rất đơn giản (biến trở - đi ốt) như hình 3.17. Nguyên lý hoạt động của mạch điều khiển trên hình 3.18 (phần nét mảnh) cũng gần tương tự với mạch điều khiển biến trở - đi ốt của BBD một pha đã xét. Chỉ khác là BBD trong sơ đồ này chỉ có 3 thyristor nên kết cấu



Hình 3.17: Sơ đồ BBD xoay chiều - xoay chiều ba pha với mạch điều khiển đơn giản dùng biến trở - đi ốt

mạch gọn hơn. Chú ý là sơ đồ BBD này không được sử dụng để cung cấp cho động cơ xoay chiều hoặc cấp cho cuộn sơ cấp máy biến áp.

3.4.3. MỘT SỐ SƠ ĐỒ MẠCH TẠO XUNG CHÙM

3.4.3.1. Đặt vấn đề

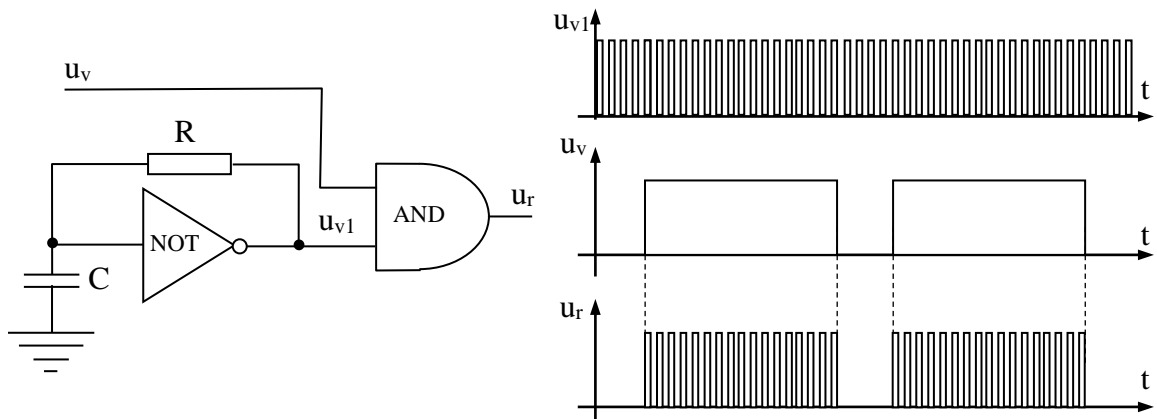
Từ nguyên lý hoạt động của các BBD xoay chiều - xoay chiều dùng thyristor hoặc triac với tải $R_t - L_t$, để BBD có thể làm việc bình thường với các góc điều khiển từ 0 cho đến xấp xỉ φ , yêu cầu xung điều khiển có độ dài lớn hơn hoặc bằng φ , với tải thuần cảm thì độ dài xung cần đạt $\pi/2$ (nếu $\psi \approx 0$). Với việc sử dụng máy biến áp xung để truyền xung, nếu độ dài xung quá lớn như yêu cầu trên, kích thước máy biến áp xung sẽ rất lớn. Để giảm nhỏ kích thước máy biến áp xung mà vẫn đảm bảo yêu cầu về độ dài xung, biện pháp thường được sử dụng nhất là chuyển xung có độ dài lớn thành một chuỗi xung có độ dài ngắn (chùm xung), truyền chuỗi xung này qua máy biến áp xung và sau đó khôi phục lại xung dài bằng một mạch đơn giản: đi ốt - tụ điện. Mạch điện có nhiệm vụ chuyển đổi một xung có độ dài lớn thành một chuỗi xung có độ dài ngắn được gọi là mạch tạo xung chùm.

3.4.3.2. Một số sơ đồ mạch tạo xung chùm

a. Sơ đồ 1

Sơ đồ nguyên lý mạch điện và đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ được biểu diễn trên hình 3.18. Trong sơ đồ sử dụng một mạch tự dao động bằng phần tử “ĐẢO” (NOT) và mạch R-C, khi đóng nguồn cung cấp, mạch này sẽ tự dao động và tạo nên trên đầu ra (u_{v1}) một chuỗi xung hình chữ nhật với chu kỳ phụ thuộc vào tham số của R và C. Chu kỳ tự dao động của mạch thường được chọn khá cao, cỡ 6 KHz. Tín hiệu xung có độ dài lớn (thường là xung ra của khâu so sánh khi sử dụng mạch phát xung theo nguyên tắc không chế pha đứng), ký hiệu là u_v được đưa vào một đầu vào của phần tử “VÀ” (AND)

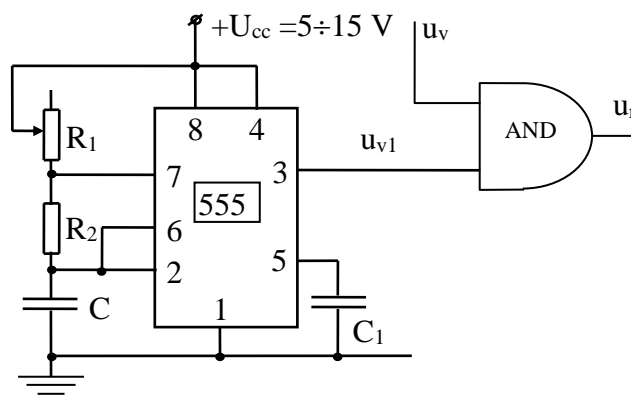
hai đầu vào, đầu vào còn lại của mạch VÀ được đặt tín hiệu u_{v1} lấy từ đầu ra mạch tự dao động. Kết quả, khi tín hiệu $u_v = 0$ (chưa có xung từ mạch phát xung điều khiển đưa đến) thì điện áp đầu ra của mạch AND cũng chưa có ($u_r = 0$), khi xuất hiện xung vào u_v , trên đầu ra mạch AND xuất hiện chuỗi xung lặp lại chuỗi xung đầu ra mạch tự dao động ($u_r = u_{v1}$).



Hình 3.18: Sơ đồ nguyên lý và đồ thị điện áp của mạch phát xung chùm sử dụng phần tử AND và mạch dao động bằng phần tử NOT với mạch R-C

Dạng các tín hiệu được minh họa bằng đồ thị trên hình 3.18, ứng với một xung đầu vào u_v , trên đầu ra của mạch có một chùm xung hẹp, mất xung vào thì xung ra cũng mất. Để đảm bảo công suất xung đủ mức điều khiển mở các van và khôi phục lại độ dài xung cần sử dụng thêm mạch khuếch đại công suất (tương tự như các mạch khuếch đại xung đã nêu ở chương hai) và mạch khôi phục (thường dùng một tụ điện có điện dung nhỏ mắc song song với tiếp giáp điều khiển của van).

b. Sơ đồ 2



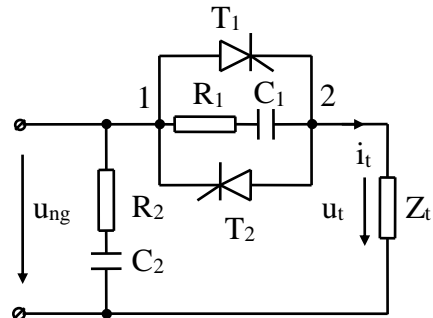
Hình 3.19 Sơ đồ nguyên lý mạch phát xung chùm sử dụng phần tử AND kết hợp với mạch dao động bằng vi mạch 555

Sơ đồ nguyên lý mạch điện được biểu diễn trên hình 3.19. Tương tự như sơ đồ ở hình 3.18, trong sơ đồ này cũng dùng một phần tử logic AND để thực hiện biến đổi mỗi xung dài thành một chùm các xung hẹp, điểm khác duy nhất là mạch tự dao động tạo ra chuỗi xung tần số cao ở đây sử dụng vi mạch 555. Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ này cũng giống như đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ trước (hình 3.18).

3.5. BẢO VỆ BỘ BIẾN ĐỔI XOAY CHIỀU - XOAY CHIỀU

Các BBD xoay chiều - xoay chiều khi làm việc cũng thường xảy ra các hiện tượng quá điện áp và dòng điện do nhiều nguyên nhân khác nhau. Các nguyên nhân gây nên quá điện áp và quá dòng điện cho các phần tử trong BBD xoay chiều - xoay chiều, mà đặc biệt là các van, cũng tương tự như đối với sơ đồ chỉnh lưu và các biện pháp hạn chế và bảo vệ được áp dụng cũng tương tự như vậy. Cụ thể:

Việc bảo vệ quá nhiệt cho các van của BBD trong quá trình làm việc cũng sử dụng cánh tản nhiệt, cánh tản nhiệt kết hợp quạt gió hoặc cánh tản nhiệt kết hợp bơm chất lỏng (nước sạch) để làm mát. Để bảo vệ quá tải, ngăn mạch thường sử dụng áp tô mát, hoặc rơ le dòng, rơ le nhiệt kết hợp với các công tắc tơ. Để bảo vệ quá điện áp về biên độ và tốc độ biến thiên của điện áp cho các van vẫn thường sử dụng các mạch R-C mắc song song với điện áp nguồn xoay chiều, mắc song song với từng van hình 3.20), ngoài ra cũng thường hay sử dụng các điện trở ổn áp. Việc tính toán các thiết bị bảo vệ thực hiện tương tự như đối với BBD xoay chiều - một chiều (chỉnh lưu).



Hình 3.20: Sơ đồ mắc thiết bị bảo vệ quá áp cho các van

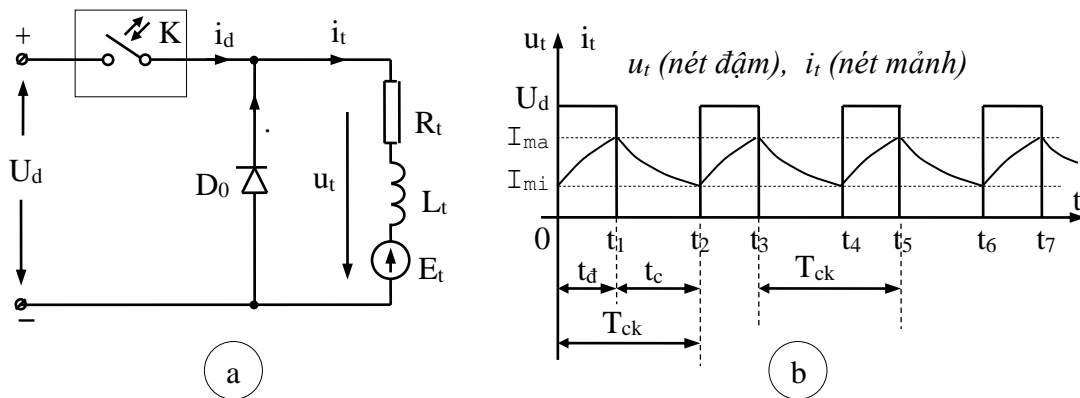
BỘ BIẾN ĐỔI MỘT CHIỀU - MỘT CHIỀU
(Bộ biến đổi xung điện áp)

4.1. KHÁI NIỆM CHUNG

4.1.1. KHÁI NIỆM, NGUYÊN TẮC CHUNG VÀ PHÂN LOẠI

4.1.1.1. Khái niệm và nguyên tắc hoạt động của bộ biến đổi

Trong thực tế kỹ thuật, nhiều trường hợp nguồn điện là một chiều, ví dụ như hệ thống ắc quy, hệ thống pin mặt trời, v.v... Nếu phụ tải điện là các thiết bị làm việc với nguồn một chiều có yêu cầu điều chỉnh giá trị điện áp, trong trường hợp này cần có các BBD thực hiện nhiệm vụ biến đổi điện áp một chiều không đổi thành điện áp một chiều có giá trị điều chỉnh được. Để thực hiện biến đổi điện áp một chiều có giá trị không đổi thành điện áp một chiều giá trị khác có nhiều phương pháp thực hiện khác nhau, trong đó phương pháp thực hiện biến đổi điện áp một chiều không đổi thành một chuỗi xung với biên độ bằng nhau và độ dài các xung có thể điều khiển được là phương pháp được áp dụng phổ biến nhất, đặc biệt là khi công suất trung bình và lớn, vì phương pháp này cho hiệu suất cao, có khả năng điều chỉnh tron điện áp một chiều đầu ra trong giới hạn rộng. BBD áp dụng phương trên được gọi là BBD một chiều - một chiều hay còn gọi là BBD xung điện áp. Để làm rõ, sau đây sẽ giới thiệu nguyên tắc hoạt động của một dạng BBD thiết kế theo phương pháp này (BBD một chiều - một chiều giảm áp, không đảo chiều). Sơ đồ dùng để giới thiệu nguyên tắc hoạt động của BBD được mô tả trên hình 4.1.



Hình 4.1: Sơ đồ nguyên tắc chung (a) và dạng điện áp, dòng điện trên tải (b) của BBD một chiều - một chiều

Trong sơ đồ, khóa đóng cắt K đặc trưng cho phần cơ bản của BBD một chiều - một chiều; phụ tải gồm các phần tử: s.đ.đ phụ tải E_t (còn được gọi là sức phản điện động), điện trở tải R_t và điện cảm phụ tải L_t (thường gồm tự cảm của tải, ví dụ như điện cảm cuộn dây phần ứng động cơ một chiều, và điện cảm của cuộn kháng đưa thêm vào mạch để san bằng dòng tải); điốt ngược D_0 (còn gọi là điốt không). Điện áp nguồn một chiều cung cấp cho BBD ký hiệu là U_d thường có giá trị không đổi. Dòng qua khóa đóng cắt K đồng thời là dòng nguồn ký hiệu là i_d . Dòng qua điốt ngược ký hiệu là i_{D_0} . Dòng và áp trên tải ký hiệu là i_t và u_t . Điện áp trên D_0 là $u_{D_0} = -u_t$ giống như điốt không trong sơ đồ chỉnh lưu.

Nguyên tắc hoạt động của BBD trong chế độ xác lập như sau: Người ta điều khiển đóng - cắt khóa K theo một chu kỳ nào đó. Ví dụ trong khoảng từ $t = 0$ đến $t = t_1$ đóng K, trên tải sẽ được đặt điện áp bằng U_d và có dòng từ nguồn qua khóa K và qua tải. Phương trình vi phân để xác định dòng qua tải trong giai đoạn này là:

$$R_t i_t + L_t \frac{di_t}{dt} + E_t = U_d \quad (4.1)$$

Dòng qua tải sẽ tăng từ giá trị I_{\min} đến bằng I_{\max} tại $t = t_1$, trong khoảng thời gian này trên D_0 có điện áp ngược và D_0 không làm việc. Tại thời điểm $t = t_1$, thực hiện cắt khóa K, điện áp nguồn một chiều U_d được tách khỏi mạch tải, s.đ.đ. tự cảm xuất hiện trong điện cảm phụ tải L_t sẽ làm mở van D_0 và dòng tải sẽ được duy trì qua D_0 . Phụ thuộc vào chế độ làm việc cũng như thông số các phần tử phụ tải mà có thể xảy ra 2 chế độ làm việc tương tự như với sơ đồ chỉnh lưu.

Nếu giá trị L_t đủ lớn, giá trị dòng tải không quá nhỏ thì năng lượng tích lũy được trong L_t ở giai đoạn K đóng đủ để duy trì dòng tải trong giai đoạn K cắt và đến thời điểm đóng lại khóa K ($t = t_2$) dòng tải vẫn còn, đây là chế độ dòng điện tải liên tục. Trong giai đoạn K cắt, dòng tải sẽ giảm dần từ I_{\max} xuống bằng I_{\min} ở thời điểm $t = t_2$. Tại $t = t_2$, điều khiển đóng lại khóa K, nguồn một chiều U_d lại được đấu vào phụ tải, dòng tải lại tăng, quá trình sẽ tiếp diễn lặp đi lặp lại mang tính chất chu kỳ, đồ thị dòng và áp trên tải của trường hợp này được minh họa trên hình 4.1b.

Trường hợp do L_t quá nhỏ, hoặc do dòng tải quá nhỏ (tải nhỏ hoặc không tải) thì năng lượng tích lũy trong L_t không đủ để duy trì dòng tải đến thời điểm đóng lại khóa K, chế độ dòng điện tải là gián đoạn. Khi sơ đồ làm việc ở chế độ dòng tải gián đoạn, dòng tải khi cắt K sẽ giảm dần đến bằng không tại một thời điểm t_1' nào đó ($t_1' < t_2$). Trong giai đoạn $t = t_1' \div t = t_2$, D_0 dẫn dòng, bỏ qua sụt áp trên đi-ốt mở, $u_t = -u_{D_0} = 0$; trong giai đoạn từ $t = t_1'$ đến $t = t_2$, dòng tải bằng không, van D_0 khóa, điện áp trên tải giai đoạn này bằng s.đ.đ. phụ tải ($u_t = E_t$). Phương trình vi phân để tìm dòng tải khi van D_0 dẫn dòng là:

$$R_t i_t + L_t \frac{di_t}{dt} + E_t = 0 \quad (4.2)$$

Các phụ tải một chiều nói chung thường chỉ làm việc tốt khi dòng tải liên tục, vì vậy cần phải phải tính toán sao cho khi BBD làm việc bình thường (dòng trung bình của tải từ 0,2 giá trị định mức trở lên), chế độ dòng điện tải là liên tục. Do vậy ta chủ yếu nghiên cứu sự làm việc của BBD ở chế độ dòng tải liên tục.

Với sơ đồ hình 4.1, để thực hiện chức năng khóa đóng cắt K thường sử dụng dụng cụ bán dẫn công suất, có thể là dụng cụ điều khiển không hoàn toàn (chỉ có khả năng điều khiển mở, không điều khiển khóa được) hoặc dụng cụ điều khiển hoàn toàn (có khả năng điều khiển cả mở và khóa).

4.1.1.2. Phân loại các BBD một chiều - một chiều

a. Phân loại theo hướng thay đổi của điện áp ra

- Bộ biến đổi một chiều - một chiều giảm áp: Điện áp đầu ra BBD chỉ điều chỉnh được từ giá trị điện áp nguồn (U_d) trở xuống.

- Bộ biến đổi một chiều - một chiều tăng áp: Điện áp đầu ra BBD chỉ điều chỉnh được từ giá trị điện áp nguồn (U_d) trở lên.

b. Phân loại theo loại dụng cụ được sử dụng

- Sử dụng các dụng cụ điều khiển hoàn toàn: GTO, transistor các loại.

- Sử dụng các dụng cụ điều khiển không hoàn toàn: thyristor.

c. Phân loại theo cực tính điện áp và dòng điện đầu ra (dòng và áp trên tải)

- BBD không đảo chiều.

- BBD có đảo chiều.

4.1.1.3. Điện áp trên tải khi BBD làm việc với chế độ dòng liên tục

Khi BBD làm việc ở chế độ dòng điện tải liên tục, đồ thị điện áp và dòng điện trên tải được minh họa trên hình 4.1b, từ đồ thị có thể tính được giá trị trung bình của điện áp trên tải như sau:

$$U_{tb} = \frac{1}{T_{ck}} \int_0^{t_d} u_t dt = \frac{U_d t_d}{T_{ck}} \quad (4.3a)$$

Trong đó: t_d là thời gian một lần đóng khóa K, t_c là thời gian một lần cắt của khóa K, T_{ck} là thời gian một chu kỳ đóng cắt của khóa K. Nếu đặt $\gamma = t_d/T_{ck}$, γ được gọi là độ rộng xung (còn gọi là tỉ số phân áp); $f = 1/T_{ck}$ là tần số xung thì biểu thức điện áp trung bình trên tải có thể viết:

$$U_{tb} = \gamma \cdot U_d = U_d \cdot t_d \cdot f \quad (4.3b)$$

4.1.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN BBD MỘT CHIỀU - MỘT CHIỀU

Từ các biểu thức (4.3a) và (4.3b) cho thấy: Muốn điều chỉnh giá trị trung bình điện áp trên tải có thể thực hiện bằng việc điều chỉnh giá trị t_d , hoặc điều chỉnh T_{ck} , hoặc điều chỉnh đồng thời cả t_d và T_{ck} . Phụ thuộc vào đại lượng được điều chỉnh, có ba phương pháp điều khiển sau:

- Phương pháp điều chỉnh độ rộng xung hay còn gọi là điều chế độ rộng xung và viết tắt từ tiếng Anh là PWM (Pulse Width Modulation): Giữ nguyên thời gian một chu kỳ đóng cắt $T_{ck} = t_d + t_c$ và điều chỉnh thời gian đóng t_d , tức là điều chỉnh độ rộng xung γ . BBD áp dụng phương pháp điều khiển này thường được gọi là BBD PWM

- Phương pháp điều chỉnh tần số xung hay còn gọi là điều chế tần số xung và viết tắt từ tiếng Anh là PFM (Pulse Frequency Modulation): Giữ nguyên thời gian đóng t_d , điều chỉnh thời gian chu kỳ T_{ck} , cũng tức là điều chỉnh tần số đóng cắt f .

- Điều khiển kiểu hai điểm: Đây là phương pháp điều khiển giữ cho dòng tải chỉ dao động trong một giới hạn xác định tùy vào chế độ làm việc cụ thể. Khi dòng điện phụ tải nhỏ hơn một giá trị giới hạn dưới nào đó điều khiển đóng K, dẫn đến dòng điện tải sẽ tăng và khi

dòng điện tải đạt tăng đạt tới một giá trị giới hạn trên nào đó, thực hiện cắt K, dòng tải giảm, và khi dòng tải giảm xuống bằng giá trị giới hạn dưới lại điều khiển đóng lại K, Thời gian đóng, thời gian cắt và tần số đóng cắt của K thay đổi theo giá trị dòng tải và đặc tính tải.

4.2. DÒNG VÀ ÁP TRÊN PHỤ TẢI CỦA BBD PWM

4.2.1. BIỂU THỨC DÒNG TẢI TRONG CHẾ ĐỘ XÁC LẬP

Khi BBD PWM làm việc ở chế độ xác lập, dòng và áp trên tải sẽ lặp đi lặp lại mang tính chất chu kỳ, với chu kỳ bằng T_{ck} . Vì vậy, để khảo sát dòng tải chỉ cần khảo sát trong một chu kỳ đóng cắt là đủ. Để thuận tiện cho việc tính toán và khảo sát, nên chọn mốc thời gian xét ($t = 0$) là thời điểm bắt đầu thay đổi trạng thái của khóa K, trong trường hợp này chọn mốc $t = 0$ là thời điểm bắt đầu đóng K. Một chu kỳ đóng cắt được chia ra làm hai giai đoạn chính: giai đoạn K đóng và giai đoạn K cắt. Sau đây sẽ thực hiện tính toán, xây dựng biểu thức dòng tải cho từng giai đoạn.

4.2.1.1. Giai đoạn khóa K đóng

Biến đổi phương trình phương trình cân bằng điện áp trên tải của BBD PWM trong giai đoạn khóa K đóng (4.1) về dạng sau (dòng tải giai đoạn K đóng được ký hiệu là i_{td}):

$$\frac{di_{td}}{dt} + ai_{td} = \frac{1}{L_t}(U_d - E_t) \quad (4.4)$$

với: $a = (R_t / L_t)$.

Biến đổi Laplace phương trình (4.4), nhận được:

$$sI_d(s) - i_{td}(0) + aI_d(s) = \frac{1}{L_t} \frac{U_d - E_t}{s} \quad (4.5)$$

trong đó:

- s là toán tử Laplace; $I_d(s)$ là ảnh Laplace của dòng tải trong giai đoạn K đóng i_{td} ;

- $i_{td}(0)$ là giá trị dòng tải tại thời điểm đầu của giai đoạn đóng khóa K, trong chế độ xác lập giá trị dòng tải tại thời điểm đầu của khoảng K đóng bằng giá trị dòng tải tại thời điểm cuối của khoảng K cắt và được ký hiệu là I_{min} (hình 4.1), tức là $i_{td}(0) = I_{min}$.

Thực hiện biến đổi biểu thức (4.5) để rút ra $I_d(s)$:

$$I_d(s) = \frac{U_d - E_t}{sL_t(s + a)} + \frac{i_{td}(0)}{s + a} = \frac{U_d - E_t}{sL_t(s + a)} + \frac{I_{min}}{s + a} \quad (4.6a)$$

hay:

$$I_d(s) = \frac{U_d - E_t}{R_t} \frac{a}{s(s + a)} + I_{min} \frac{1}{s + a} \quad (4.6b)$$

Biến đổi Laplace ngược biểu thức (4.6b), nhận được kết quả:

$$i_{td} = \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at}) + I_{min} e^{-at} \quad (4.7)$$

Biểu thức (4.7) là biểu thức dòng tải trong giai đoạn đóng K, biểu thức chỉ xác định trong khoảng thời gian từ $t = 0$ đến $t = t_d$. Trong biểu thức còn một yếu tố chưa biết là I_{\min} , sẽ được xác định sau.

4.2.1.2. Giai đoạn khóa K cắt

Phương trình vi phân mô tả quan hệ dòng và áp trên tải giai đoạn khóa K cắt là phương trình (4.2). Để phân biệt với giai đoạn K đóng, dòng tải của giai đoạn K cắt được ký hiệu là i_{tc} . Thời điểm K cắt ứng với $t = t_d$, để thuận tiện khi xây dựng biểu thức toán học, thay biến thời gian t bằng t' , với $t' = t - t_d$, khi đó, thời điểm đầu của giai đoạn K cắt ứng với $t' = 0$.

Biến đổi biểu thức (4.2) với lưu ý là đã thay i_t bằng i_{tc} và biến thời gian là t' :

$$\frac{di_{tc}}{dt'} + ai_{tc} = -\frac{E_t}{L_t} \quad (4.8)$$

Biến đổi Laplace biểu thức (4.8):

$$sI_c(s) - i_{tc}(0) + aI_d(s) = -\frac{E_t}{sL_t} \quad (4.9)$$

trong đó:

- $I_c(s)$ là ảnh Laplace của dòng tải trong giai đoạn K cắt i_{tc} ;
- $i_{tc}(0)$ là giá trị dòng tải tại thời điểm đầu của giai đoạn cắt khóa K (tại $t' = 0$), trong chế độ xác lập giá trị dòng tải tại thời điểm đầu của khoảng K cắt bằng giá trị dòng tải tại thời điểm cuối của khoảng K đóng và được ký hiệu là I_{\max} (hình 4.1), tức là $i_{tc}(0) = I_{\max}$.

Thực hiện biến đổi biểu thức (4.9) để rút ra $I_c(s)$:

$$I_d(s) = -\frac{E_t}{sL_t(s+a)} + \frac{i_{tc}(0)}{s+a} = -\frac{E_t}{sL_t(s+a)} + \frac{I_{\max}}{s+a} \quad (4.10a)$$

hay:

$$I_d(s) = -\frac{E_t}{R_t} \frac{a}{s(s+a)} + I_{\max} \frac{1}{s+a} \quad (4.10b)$$

Biến đổi Laplace ngược biểu thức (4.10b), nhận được:

$$i_{tc} = -\frac{E_t}{R_t}(1 - e^{-at'}) + I_{\max}e^{-at'} = -\frac{E_t}{R_t}(1 - e^{-a(t-t_d)}) + I_{\max}e^{-a(t-t_d)} \quad (4.11)$$

Biểu thức (4.11) là biểu thức dòng tải trong giai đoạn đóng K, biểu thức chỉ xác định trong khoảng thời gian từ $t' = 0$ đến $t' = t_c$ hay từ $t = t_d$ đến $t = T_{ck}$. Trong biểu thức cũng còn một yếu tố chưa biết là I_{\max} , sẽ được xác định sau.

4.2.1.3. Xác định các giá trị I_{\min} và I_{\max}

Các biểu thức (4.7) và (4.11) là biểu thức dòng tải trong 2 giai đoạn của một chu kỳ đóng cắt khóa K, trong các biểu thức này còn có I_{\min} và I_{\max} là các giá trị chưa biết. Vì vậy, cần phải xác định các giá trị I_{\min} và I_{\max} .

Như đã nêu, trong chế độ xác lập, nếu dòng tải là liên tục, I_{\min} bằng giá trị dòng tải tại thời điểm cuối khoảng cắt của K, tức là giá trị của i_{tc} (tính theo biểu thức (4.11)) tại $t' = t_c$ hay $t = T_{ck} = t_d + t_c$; còn I_{\max} là giá trị dòng tải cuối khoảng đóng của K, tương ứng là giá trị biểu thức (4.7) khi cho $t = t_d$. Từ đó, có thể suy ra các biểu thức để xác định I_{\min} và I_{\max} :

$$I_{\max} = \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at_d}) + I_{\min} e^{-at_d} \quad (4.12a)$$

$$I_{\min} = -\frac{E_t}{R_t} (1 - e^{-at_c}) + I_{\max} e^{-at_c} \quad (4.12b)$$

Đặt:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at_d}); & B &= -\frac{E_t}{R_t} (1 - e^{-at_c}); \\ C &= e^{-at_d}; & D &= e^{-at_c}. \end{aligned} \right\} \quad (4.13)$$

Thay (4.13) vào (4.12) và biến đổi:

$$I_{\max} - C.I_{\min} = A \quad (4.14a)$$

$$I_{\min} - D.I_{\max} = B \quad (4.14b)$$

Giải hệ (4.14a, b), thu được:

$$I_{\max} = \frac{A+BC}{1-CD}; \quad I_{\min} = \frac{AD+B}{1-CD}. \quad (4.15)$$

4.2.1.4. Dòng điện tải trong chế độ dòng gián đoạn

Chế độ dòng điện tải gián đoạn xuất hiện khi năng lượng tích lũy trong điện cảm phụ tải không đủ khả năng duy trì dòng tải trong toàn bộ khoảng thời gian cắt của khóa K. Khi đó, dòng tải sẽ bằng không trước thời điểm $t = T_{ck}$, như vậy đến đầu chu kỳ sau (thời điểm đóng lại K) thì dòng tải đang bằng không, tức là $I_{\min} = 0$, do đó:

$$i_{td} = \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at}) \quad (4.16a)$$

$$\rightarrow I_{\max} = \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at_d}), \text{ nên:}$$

$$\left. \begin{aligned} i_{tc} &= -\frac{E_t}{R_t} (1 - e^{-at'}) + \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at_d}) e^{-at'} \\ \text{hay: } i_{tc} &= -\frac{E_t}{R_t} (1 - e^{-a(t-t_d)}) + \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at_d}) e^{-a(t-t_d)} \end{aligned} \right\} \quad (4.16b)$$

Các biểu thức (4.16a), (4.16b) biểu diễn dòng điện tải ở chế độ dòng gián đoạn. Gọi khoảng thời gian van D_0 dẫn dòng trong một chu kỳ đóng cắt khóa K là t_0 , có thể tìm t_0 bằng cách thay $t' = t_0$ vào biểu thức (4.16b) và cho vế trái biểu thức bằng không ($t_0 < t_c$).

4.2.2. ĐIỆN ÁP TRÊN TẢI TRONG CHẾ ĐỘ XÁC LẬP

4.2.2.1. Chế độ dòng tải liên tục

Như đã nêu khi dòng tải liên tục thì điện áp tức thời trên tải sẽ là:

- Giai đoạn K đóng : $u_t = U_d$;
- Giai đoạn K cắt (D_0 dẫn dòng) : $u_t = 0$.

Điện áp trung bình (thành phần một chiều) trên phụ tải (các biểu thức 4.3a và b):

$$U_{tb} = \gamma \cdot U_d = U_d \cdot t_d \cdot f$$

4.2.2.2. Chế độ dòng tải gián đoạn

Khi BBD làm việc ở chế độ dòng điện tải gián đoạn:

- Giai đoạn khóa K đóng điện áp tải vẫn giống như ở chế độ dòng tải liên tục, tức là khi K đóng thì $u_t = U_d$.

- Giai đoạn khóa K cắt được phân làm hai gian đoạn nhỏ:

+. Từ thời điểm bắt đầu cắt K cho đến thời điểm dòng tải vừa giảm xuống bằng không ($t = 0 \div t = t_0$): van D_0 làm việc: $u_t = 0$;

+. Từ thời điểm dòng tải giảm về bằng không ($t = t_0$: D_0 khóa) cho đến thời điểm đóng lại khóa K (trong khoảng $t = t_0 \div t = t_c$): $u_t = E_t$.

Vậy ta có thể xác định biểu thức tính điện áp trung bình trên tải trong chế độ dòng điện tải gián đoạn như sau:

$$U_{tb} = \frac{1}{T_{ck}} \int_0^{T_{ck}} u_t dt = \frac{1}{T_{ck}} \left[\int_0^{t_d} U_d \cdot dt + \int_{t_d+t_0}^{t_d+t_c} E_t \cdot dt \right] = \frac{1}{T_{ck}} [t_d \cdot U_d + (t_c - t_0) \cdot E_t] \quad (4.17)$$

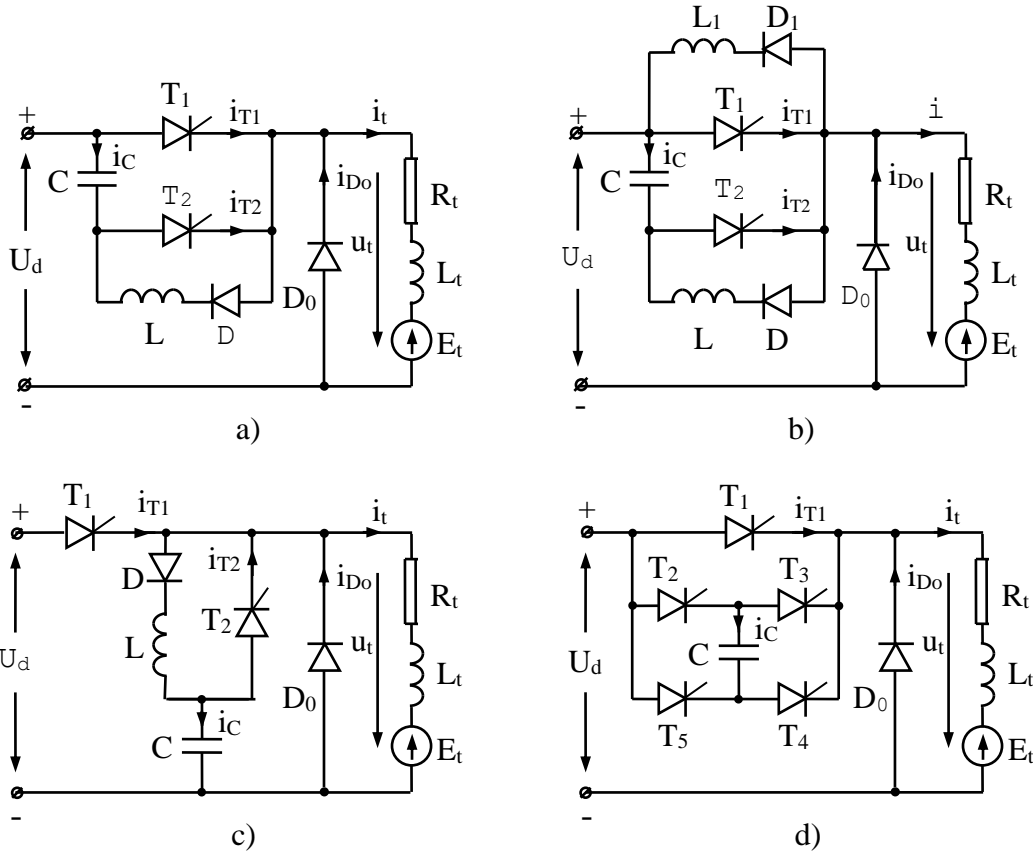
4.3. MỘT SỐ SƠ ĐỒ BBD MỘT CHIỀU - MỘT CHIỀU DÙNG THYRISTOR

Như đã nêu, các BBD một chiều - một chiều thường sử dụng các dụng cụ bán dẫn công suất để làm nhiệm vụ khóa đóng cắt K. Các dụng cụ thường được sử dụng gồm: Các thyristor, các GTO, các loại transistor lưỡng cực và MOSFET công suất và trong những năm gần đây là các IGBT. Trong số các loại dụng cụ bán dẫn công suất nêu trên, duy nhất có thyristor là loại dụng cụ điều khiển không hoàn toàn (chỉ có thể điều khiển mở, không khóa được bằng tín hiệu điều khiển), tuy có nhược điểm như đã nêu, nhưng thyristor lại có ưu điểm là có khả năng chịu được dòng điện lớn và điện áp cao nên khi công suất BBD lớn chúng vẫn được sử dụng. Cũng do đặc điểm không điều khiển khóa được nên việc khóa thyristor trong BBD một chiều - một chiều là vấn đề phức tạp và có ảnh hưởng đến độ phức tạp cũng như đặc tính làm việc của BBD. Trong mục này sẽ giới thiệu và phân tích một số sơ đồ BBD không đảo chiều sử dụng thyristor.

4.3.1. CÁC SƠ ĐỒ

Trên hình 4.2 biểu diễn bốn sơ đồ BBD một chiều - một chiều sử dụng khóa đóng cắt bằng các thyristor. Chức năng, nhiệm vụ của các phần tử trong các sơ đồ:

- T_1 là thyristor chính, đóng vai trò khóa đóng cắt K, T_1 mở tương đương với khóa K



Hình 4.2: Một số sơ đồ mạch lực BBD một chiều - một chiều sử dụng thyristor

kín mạch (K đóng), T_1 khóa tương đương với khóa K hở mạch (K cắt);

- Phụ tải của BBD gồm E_t , R_t , L_t ;

- D_0 là đi ốt ngược;

- Các phần tử còn lại trong các sơ đồ là các phần tử chuyển mạch (chuyển đổi), chúng được sử dụng để khóa van T_1 tại những thời điểm cần thiết. Các phần tử chuyển mạch của sơ đồ 1 (hình 4.2a) và sơ đồ 3 (hình 4.2c) là tụ điện C, điện cảm L, đi ốt D và thyristor phụ T_2 . Các phần tử chuyển mạch của sơ đồ 2 (hình 4.2b) gồm tụ điện C, các điện cảm L_1 , L_2 , các đi ốt D_1 , D_2 và thyristor phụ T_2 . Các phần tử chuyển mạch của sơ đồ 4 (hình 4.2d) gồm tụ điện C và các thyristor phụ T_2 , T_3 , T_4 , T_5 .

4.3.2. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA CÁC SƠ ĐỒ

4.3.2.1. Nguyên lý hoạt động của sơ đồ 1 (hình 4.2a)

Sơ đồ BBD một chiều - một chiều hình 4.2a được biểu diễn lại trên hình 4.3 với việc bổ sung một số ký hiệu về điện áp trên tụ C và trên thyristor phụ T_1 . Trên sơ đồ, dòng và áp trên tụ điện chuyển mạch C được ký hiệu là u_C và i_C ; còn u_{T1} , i_{T1} là điện áp và dòng điện mạch anôt-katôt thyristor chính T_1 ; u_t , i_t và i_{D0} là điện áp trên tải, dòng qua tải và đi ốt ngược D_0 .

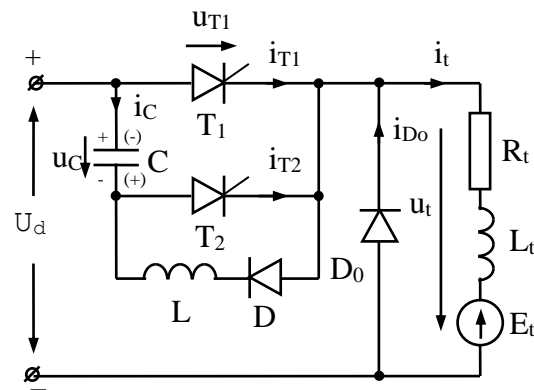
Để đảm bảo cho sơ đồ hoạt động bình thường sau khi khởi động với bất cứ tình huống nào, cần phải nạp điện trước cho tụ C đến giá trị cần thiết (thường bằng giá trị điện áp nguồn U_d), cực tính điện áp nạp ban đầu cho tụ có thể bất kỳ. Việc nạp điện cho tụ C có thể thực hiện nhờ một nguồn điện bên ngoài hoặc sử dụng ngay điện áp U_d cung cấp cho BBD.

Việc nạp điện cho tụ C bằng nguồn (U_d) cung cấp cho BBD thường được thiết kế để thực hiện một cách tự động như sau:

Khi thiết kế lắp đặt BBD, điện cực điều khiển của T_2 được nối trực tiếp đến đầu ra mạch phát xung mở cho T_2 , còn điện cực điều khiển của T_1 được nối đến đầu ra mạch phát xung mở cho T_1 qua tiếp điểm thường mở của rơ le khởi động BBD. Khi đóng nguồn cung cấp cho mạch động lực thì đồng thời mạch phát xung điều khiển cũng sẽ được cấp nguồn và làm việc. Nếu giả thiết, điện áp trên tụ đang bằng không, tại thời điểm nào đó thực hiện đóng nguồn cung cấp cho BBD để chuẩn bị làm việc thì tại thời điểm đó mạch điều khiển của BBD (trong phần này chưa nghiên cứu đến mạch điều khiển và tạm giả thiết là mạch điều khiển BBD làm việc bình thường đúng theo yêu cầu đặt ra) cũng được cấp nguồn và làm việc. Do đó, tại một thời điểm nào đó lân cận ngay sau thời điểm cấp nguồn cho BBD, trên T_2 sẽ xuất hiện tín hiệu điều khiển đầu tiên (tính từ thời điểm cấp nguồn cho BBD), do điện áp trên T_2 đang thuận (vì $u_C = 0$ và giả thiết điện áp trên tải cũng đang bằng không), nên khi có tín hiệu điều khiển T_2 sẽ mở và xuất hiện dòng nạp cho tụ theo đường $(+U_d) - C - T_2 -$ phụ tải $- (-U_d)$ và điện áp tụ sẽ tăng dần. Khi điện áp tụ tăng đạt giá trị U_d với cực tính như ghi trên sơ đồ (ngoài dấu ngoặc, tức là $u_C = U_d$), dòng nạp tụ giảm về bằng không, có nghĩa rằng dòng qua T_2 cũng bằng không và T_2 tự khóa lại. Do chưa khởi động BBD nên điện cực điều khiển T_1 chưa được nối với mạch phát xung điều khiển, van T_1 chưa được cấp tín hiệu điều khiển và chưa làm việc. Đối với T_2 , nếu có tiếp các xung điều khiển sau xung đầu tiên thì T_2 vẫn khóa do tụ C đã nạp đầy nên điện áp trên T_2 đang bằng không, vì vậy điện áp tụ C sẽ được giữ nguyên giá trị và cực tính như vậy để chuẩn bị quá trình khóa T_1 khi BBD làm việc.

Khởi động và đưa BBD vào làm việc:

Tại $t = t_0$, ấn nút điều khiển khởi động BBD, lúc đó rơ le khởi động sẽ tác động và điện cực điều khiển T_1 được nối đến đầu ra mạch phát xung điều khiển. Tại một thời điểm nào đó sau t_0 ($t = t_0'$), trên điện cực điều khiển T_1 xuất hiện xung điều khiển đầu tiên, do đang có điện áp thuận nên T_1 sẽ mở và xuất hiện dòng điện từ cực dương nguồn qua van T_1 qua phụ tải về cực âm nguồn. Van T_1 mở, bỏ qua sụt áp trên T_1 mở, điện áp trên tải sẽ bằng điện áp nguồn ($u_t = U_d$), mặt khác T_1 mở sẽ tạo đường phóng điện cho tụ C, tụ sẽ phóng điện theo đường $C - T_1 - D - L - C$. Nếu ta bỏ qua sụt áp trên T_1 và D đang dẫn dòng



Hình 4.3: Sơ đồ 1

thì mạch vòng phóng điện của tụ là một mạch vòng dao động cộng hưởng không có tổn thất. Theo lý thuyết mạch điện, quá trình phóng điện của tụ trong vòng dao động cộng hưởng sẽ là: ban đầu dòng phóng của tụ tăng dần đồng thời điện áp trên tụ giảm dần, khi điện áp trên tụ giảm xuống bằng không thì dòng qua tụ và điện cảm đạt giá trị lớn nhất. Sau đó tụ sẽ được nạp theo chiều ngược lại, giá trị điện áp trên tụ tăng dần thì dòng qua tụ và điện cảm cũng giảm dần. Khi điện áp trên tụ đạt giá trị bằng trước lúc bắt đầu phóng và cực tính ngược lại (cực tính như ghi trên sơ đồ, trong dấu ngoặc, tức là $u_C = -U_d$), dòng qua tụ bằng không và có xu hướng đổi chiều (tụ có xu hướng phóng điện ngược lại), nhưng do tính dẫn dòng một chiều của đi ốt D mà sự phóng điện theo chiều ngược lại không xảy ra và điện áp trên tụ sẽ được giữ nguyên giá trị và cực tính như vậy ($u_C = -U_d$) cho đến thời điểm mở T_2 . Đến thời điểm $t_1 = t_0' + t_d$, cần khóa van T_1 (cắt khóa K), mạch phát xung sẽ cấp một xung điều khiển đến T_2 , T_2 sẽ mở và tụ C phóng điện qua T_2 theo mạch: T_2 - tải - nguồn cung cấp U_d - C. Bỏ qua sụt áp trên T_2 mở thì toàn bộ điện áp trên tụ C sẽ đặt lên T_1 , vậy điện áp trên T_1 sẽ là $u_{T1} = u_C$, tức là tại thời điểm T_2 mở thì T_1 bị đặt điện áp ngược và khóa lại. Khi điện áp trên tụ vẫn âm thì u_{T1} vẫn âm và T_1 phục hồi tính chất điều khiển. Quá trình phóng điện làm cho giá trị điện áp trên tụ giảm dần, khi trị số điện áp trên tụ giảm về bằng không thì tụ sẽ được nạp theo chiều ngược lại bởi nguồn cung cấp U_d của BBD và điện áp trên tụ lại tăng dần theo chiều ngược lại. Khi giá trị điện áp trên tụ đạt đến U_d thì điện áp trên tải bằng không và s.đ.đ. tự cảm sinh ra trong L_t sẽ làm mở D_0 và dòng tải sẽ được duy trì qua đi ốt ngược, bỏ qua sụt áp trên D_0 mở, $u_t = 0$, điện áp tụ cân bằng với điện áp nguồn (tụ nạp đầy) và dòng qua tụ sẽ giảm về bằng không, nên dòng T_2 cũng bằng không và van T_2 tự khóa lại, điện áp trên tụ được giữ nguyên giá trị và cực tính như vậy (ngoài dấu ngoặc) cho đến lúc T_1 mở lại. Tại $t = t_1 + t_c = t_0' + T_{ck}$, van T_1 lại có tín hiệu điều khiển, T_1 lại mở, $u_t = U_d$ và D_0 bị đặt điện áp ngược khóa lại. Khi T_1 mở, qua T_1 lại có dòng tải và dòng phóng của tụ C, sự làm việc của sơ đồ lặp lại như từ thời điểm t_0' .

Với việc điều khiển mở T_1 và T_2 theo qui luật nhất định đã thực hiện không chế được quá trình mở - khóa của T_1 đúng theo qui luật cần thiết. Chu kỳ làm việc của 2 van T_1 và T_2 bằng nhau và đúng bằng chu kỳ của điện áp trên tải. Thời gian một khoảng đóng của khóa K bằng thời gian một khoảng mở của T_1 và bằng khoảng thời gian từ thời điểm xuất hiện một xung điều khiển trên T_1 đến thời điểm xuất hiện xung điều khiển trên T_2 gần nhất tiếp sau xung xuất hiện trên T_1 .

4.3.2.2. Nguyên lý hoạt động của các sơ đồ hình 4.2b, c, d

a. Sơ đồ 2 (hình 4.2b)

Từ sơ đồ hình 4.2b gần tương tự như sơ đồ 1, chỉ khác là có thêm một mạch vòng phóng điện thứ hai của tụ khi mở T_2 , nó có tác dụng giảm ảnh hưởng của dòng tải đến thời gian phóng điện của tụ để mở rộng phạm vi làm việc của dòng tải. Sơ đồ này cũng yêu cầu phải nạp điện cho tụ C trước khi khởi động BBD và biện pháp nạp điện ban đầu cho tụ cũng tương tự như sơ đồ 1. Quá trình mở T_1 hoàn toàn tương tự như sơ đồ 1, còn khi mở T_2 để khóa T_1 thì tụ C phóng điện theo 2 đường: đường phóng thứ nhất tương tự như sơ đồ

1 (qua T_2 - tải - nguồn cung cấp $U_d - C$), đường phóng thứ hai gồm $C - T_2 - D_1 - L_1$. Đường phóng điện thứ hai của tụ C khi mở T_2 là đường phóng có các tham số cố định, nó được tính toán để đảm bảo ảnh hưởng của dòng tải đến thời gian phóng và nạp lại của tụ là không đáng kể nhằm duy trì chế độ làm việc bình thường của BBĐ cả khi tải nhỏ và khi quá tải, để đạt được điều đó thường dung lượng của tụ chuyển mạch cần lớn hơn nhiều so với sơ đồ 1.

b. Sơ đồ 3 (hình 4.2c)

Sơ đồ này không yêu cầu phải nạp điện ban đầu cho tụ, đây là ưu điểm của sơ đồ này so với các sơ đồ khác. Nguyên lý làm việc của sơ đồ có thể được mô tả như sau:

Giả thiết, tại $t = 0$ là thời điểm bắt đầu khởi động sơ đồ và trước đó điện áp trên tụ đang bằng không. Ở thời điểm $t = t_0$ sẽ xuất hiện xung điều khiển đầu tiên trên T_1 và van T_1 sẽ mở vì đang có điện áp thuận do nguồn cung cấp một chiều U_d đặt lên. Van T_1 mở, sụt áp trên T_1 giảm về bằng không và trên tải được đặt điện áp nguồn cung cấp ($u_t = U_d$), đồng thời sẽ xuất hiện dòng nạp cho tụ C theo mạch vòng: $(+U_d) - T_1 - D - L - C - (-U_d)$. Nếu bỏ qua sụt áp trên T_1 và D đang dẫn dòng thì đây là một mạch vòng cộng hưởng không tổn thất, theo lý thuyết mạch điện thì tụ C sẽ nạp điện với qui luật thay đổi của điện áp dạng hàm sin, còn dòng qua tụ thay đổi theo qui luật hàm cosin. Khi đặt $t' = t - t_0$ thì thời điểm tụ bắt đầu nạp - tức là bắt đầu mở T_1 : $t' = 0$ và biểu thức dòng và áp tụ C sẽ là:

$$\left. \begin{aligned} u_C &= 2U_d \sin \omega_0 t' \\ i_C &= I_m \cos \omega_0 t' \end{aligned} \right\} \quad (4.18)$$

Với $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ là tần số góc cộng hưởng, $I_m = \frac{2U_d}{\omega_0 L}$ là biên độ dòng qua tụ điện C

và cuộn kháng L khi tụ C nạp điện. Như vậy khi $\omega_0 t' = \pi/2$ thì $u_C = 2U_d$, còn dòng qua tụ thì bằng không và bắt đầu có xu hướng đổi chiều, do tính dẫn dòng một chiều của D , mặt khác T_2 còn khóa nên quá trình đổi chiều dòng qua tụ chưa xảy ra. Điện áp trên tụ lúc đó có giá trị bằng $2U_d$ và cực tính dương ở bản cực phía trên trong sơ đồ hình 4.2c và sẽ được giữ nguyên như vậy cho tới lúc mở T_2 . Tại $t = t_1 = t_0 + t_d$, cần khóa van T_1 , thực hiện cấp tín hiệu điều khiển đến mở T_2 , van T_2 sẽ mở do điện áp trên nó đang thuận, tụ C sẽ phóng điện qua T_2 - qua phụ tải. Sự phóng điện của tụ C qua T_2 gây nên trên T_1 một điện áp ngược (khi T_2 mở thì $u_{T1} = U_d - u_C$ mà tại thời điểm bắt đầu mở T_2 thì $u_C = 2U_d$ nên $u_{T1} < 0$), do vậy T_1 khóa lại. Khi tụ phóng đến điện áp bằng không thì D_0 sẽ mở và dẫn dòng nhờ s.đ.đ. tự cảm sinh ra trong L_t , khi đó dòng qua tụ và T_2 giảm về bằng không, dẫn đến T_2 tự khóa lại. Đến $t = t_2 = t_1 + t_c = t_0 + T_{ck}$, T_1 lại có xung điều khiển, T_1 lại mở và sự làm việc của sơ đồ sẽ diễn ra tương tự như chu kỳ vừa xét.

c. Sơ đồ 4 (hình 4.2d)

Sơ đồ này cũng cần phải nạp điện trước cho tụ C , giả thiết là tụ đã nạp điện trước đến điện áp bằng U_d và cực tính dương ở bản cực phía trên. Khởi động sơ đồ, giả thiết tại $t = t_0$ xuất hiện xung điều khiển thứ nhất trên T_1 , van này mở và qua nó sẽ có dòng điện tải do

nguồn cung cấp tạo nên, $u_t = U_d$. Tại $t = t_1 = t_0 + t_d$, để khóa T_1 , thực hiện truyền xung điều khiển đến mở T_3 và T_5 , hai van này mở, tụ điện C sẽ phóng điện qua hai van này, qua phụ tải và nguồn cung cấp gây nên trên T_1 một điện áp ngược làm cho T_1 khóa lại. Sau khi phóng đến điện áp bằng không thì C sẽ được nạp theo chiều ngược lại và khi điện áp trên C đạt giá trị bằng U_d với cực tính ngược lại (dương ở bản cực phía dưới) thì D_0 mở và dòng nạp tụ giảm về bằng không, nên T_3 và T_5 khóa lại. Tại $t_2 = t_1 + t_c$, T_1 lại có xung điều khiển (xung thứ hai), van T_1 lại mở. Đến $t_3 = t_2 + t_d$, thực hiện cấp xung điều khiển để mở hai van T_2 và T_4 , hai van T_2 và T_4 sẽ mở do đang có điện áp thuận, tụ C sẽ phóng điện qua hai van này, qua phụ tải và nguồn cung cấp và cũng tạo nên trên T_1 một điện áp ngược làm cho T_1 khóa lại. Tụ điện C sau khi phóng đến điện áp bằng không thì lại được nạp theo chiều ngược lại bởi nguồn cung cấp U_d qua T_2, T_4 cho đến khi giá trị điện áp trên tụ bằng U_d và cực tính như trước khi khởi động sơ đồ (dương ở bản cực phía trên), khi đó D_0 sẽ mở và hai van T_2, T_4 khóa lại. Tại $t = t_4 = t_3 + t_c$, van T_1 lại có tín hiệu điều khiển và lại mở, đến thời điểm $t_5 = t_4 + t_d$, hai van T_3 và T_5 lại có tín hiệu điều khiển, hai van này lại mở, tụ C phóng điện qua chúng và g làm khóa T_1 . Quá trình tiếp theo trong sơ đồ diễn ra tương tự, và lặp đi lặp lại mang tính chu kỳ. Trong sơ đồ này, có bốn thyristor phụ dùng để chuyển mạch T_1 và được chia làm hai cặp T_2, T_4 và T_3, T_5 , chu kỳ xuất hiện của tín hiệu điều khiển trên các thyristor phụ bằng hai lần chu kỳ làm việc của van T_1 .

4.3.2.3. Dòng áp các phần tử của BBD ở chế độ xác lập trong một chu kỳ đóng cắt

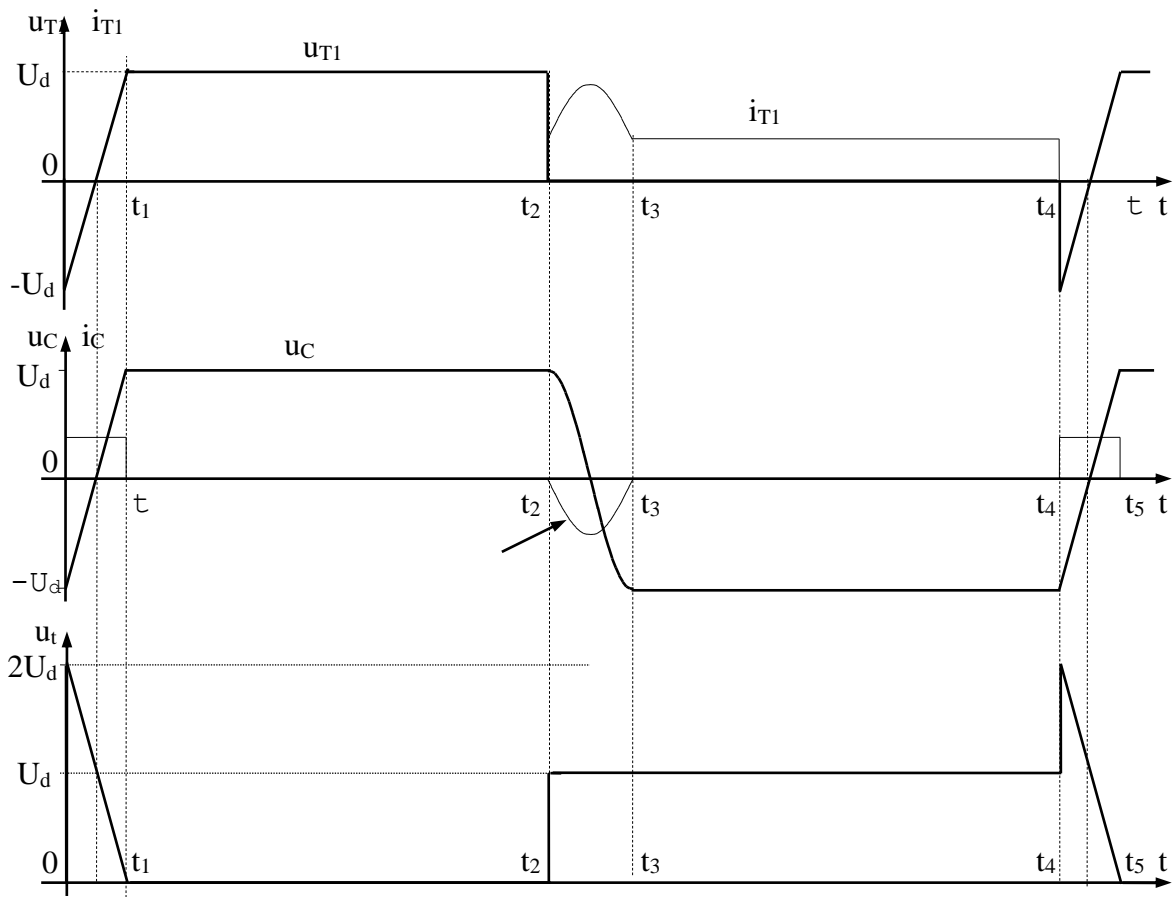
Việc xác định dòng áp trên các phần tử của BBD, đặc biệt trên các phần tử chuyển mạch là rất cần thiết và là cơ sở để lựa chọn các phần tử này. Trong tiểu mục này sẽ nghiên cứu dòng áp trên các phần tử của BBD của sơ đồ 1 (hình 4.2a hoặc hình 4.3). Từ nguyên lý làm việc đã nêu ở mục trước có thể thấy, một chu kỳ làm việc của BBD được chia ra thành 4 giai đoạn. Chọn mốc bắt đầu xét ($t = 0$) là thời điểm truyền xung điều khiển đến mở T_2 để khóa T_1 và giả thiết rằng trước đó sơ đồ đã làm việc ở chế độ xác lập, có thể xây dựng được các biểu thức dòng và áp các phần tử của sơ đồ trong các giai đoạn làm việc như sau:

a. Giai đoạn 1: Từ $t = 0$ ÷ $t = t_1$ (t_1 là thời điểm kết thúc sự phóng và nạp ngược lại của tụ C qua mạch vòng $C - T_2 -$ tải - $U_d - C$)

Lân cận trước thời điểm $t = 0$, van T_1 đang dẫn dòng và phụ tải đang được đặt điện áp bằng U_d , tụ C đã nạp đến điện áp bằng $-U_d$. Tại thời điểm $t = 0$, T_2 nhận được tín hiệu điều khiển và T_2 mở, T_1 bị đặt điện áp ngược khóa lại, tụ C phóng điện qua T_2 , qua tải và nguồn cung cấp, dòng phóng của tụ bằng dòng tải, để đơn giản cho việc nghiên cứu, giả thiết rằng trong giai đoạn phóng và nạp lại của tụ C thì dòng tải không thay đổi (thực tế thì giả thiết này hoàn toàn có thể chấp nhận được vì thời gian phóng và nạp lại của tụ C rất ngắn so với thời gian một chu kỳ của điện áp ra và nếu tải có điện cảm khá lớn thì trong thời gian đó dòng tải thay đổi không đáng kể) và bằng I_{max} . Vậy, trong giai đoạn 1:

$$\left. \begin{aligned} i_{T_1} &= 0; \quad u_{T_1} = u_C; \\ i_C &= i_t = I_{\max}; \quad u_C = -U_d + I_{\max} \frac{t}{C}; \\ i_{T_2} &= i_C; \quad u_t = U_d - u_C. \end{aligned} \right\} \quad (4.19)$$

Theo biểu thức (4.19), trong giai đoạn này điện áp trên C thay đổi theo qui luật tuyến tính. Từ $t = 0$ đến $t = t_1/2$ thì u_C thay đổi từ $-U_d$ về bằng không, đây là khoảng thời gian T_1 được đặt điện áp ngược để phục hồi tính chất điều khiển. Từ $t = t_1/2$ đến $t = t_1$, u_C tăng dần từ không lên bằng U_d , khi $u_C = U_d$, i_{T_2} giảm về không và T_2 tự khóa lại, kết thúc giai đoạn thứ nhất.



Hình 4.4: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ 1 ở chế độ xác lập

b. *Giai đoạn 2:* Từ $t = t_1 \div t = t_2$ (t_2 là thời điểm kết thúc khoảng thời gian cắt và bắt đầu mở van T_1 trong chu kỳ đang xét), lúc này T_2 khóa và van D_0 mở, dòng qua tụ bằng không, dòng tải được duy trì qua D_0 (dòng qua D_0 giai đoạn này bằng dòng tải):

$$\left. \begin{aligned} i_{T_1} &= 0; \quad u_{T_1} = U_d; \quad i_{D_0} = i_t; \\ i_C &= 0; \quad u_C = U_d; \\ i_{T_2} &= 0; \quad u_t = 0. \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

c. *Giai đoạn 3:* Từ $t = t_2 \div t = t_3$ (t_3 là thời điểm kết thúc sự phóng và nạp ngược lại của C qua mạch vòng dao động cộng hưởng). Trong giai đoạn này tụ điện C phóng điện và nạp

ngược lại theo mạch vòng: C - T₁ - D - L - C, khi điện áp trên tụ giảm về bằng không thì tụ sẽ được nạp theo chiều ngược lại nhờ tính chất dao động cộng hưởng của mạch vòng phóng điện. Trong thời gian này, van D₀ bị đặt điện áp ngược và khóa, qua T₁ có 2 thành phần dòng điện là dòng tải và dòng phóng nạp của tụ.

Các biểu thức dòng áp trên các phần tử giai đoạn 3:

$$\left. \begin{aligned} i_{T_1} &= i_t - i_C; \quad u_{T_1} = 0; \quad i_{D_0} = 0; \\ i_C &= -I_m \sin[\omega_0(t - t_2)]; \quad I_m = U_d \sqrt{\frac{C}{L}}; \\ u_C &= U_d \cos[\omega_0(t - t_2)]; \\ i_{T_2} &= 0; \quad u_{T_2} = -u_C; \quad u_t = U_d. \end{aligned} \right\} \quad (4.21)$$

d. Giai đoạn 4: Từ $t = t_3 \div t = t_4$ (t_4 là thời điểm kết thúc sự dẫn dòng của van T₁ (đây là thời điểm kết thúc thời gian một chu kỳ xét, tại thời điểm này T₂ lại có tín hiệu điều, van T₂ lại mở, tụ C lại phóng điện qua mạch qua T₂ để khóa T₁). Trong giai đoạn này, dòng điện trong sơ đồ chỉ đi từ nguồn qua T₁ và phụ tải, van D₀ vẫn bị đặt điện áp ngược và khóa:

$$\left. \begin{aligned} i_{T_1} &= i_t; \quad u_{T_1} = 0; \quad i_{D_0} = 0; \\ i_C &= 0; \quad u_C = -U_d; \\ i_{T_2} &= 0; \quad u_{T_2} = U_d. \end{aligned} \right\} \quad (4.22)$$

Hình 4.4 biểu diễn dạng dòng điện, điện áp trên T₁, trên tụ C và điện áp trên tải trong một chu kỳ làm việc với các giả thiết đã nêu.

4.3.2.4. Tính chọn các phần tử của BBD một chiều - một chiều dùng thyristor

BBD một chiều - một chiều dùng thyristor có nhiều dạng sơ đồ khác nhau, số lượng phần tử và cách bố trí cũng không hoàn toàn giống nhau và mỗi sơ đồ lại có những đặc điểm riêng nên việc tính chọn các phần tử cũng không hoàn toàn giống nhau. Tuy vậy, việc tính chọn thông số các phần tử cũng không khác nhau nhiều, vì vậy, trong tiểu mục này chỉ giới thiệu việc tính chọn sơ bộ các phần tử của sơ đồ 1 (hình 4.2a).

a. Chọn các van

Việc tính chọn các van trong BBD này cũng tương tự như việc tính chọn các van trong các BBD khác, giá trị tính toán về áp và dòng đối với T₁ và T₂ trong sơ đồ 1 được xác định theo đồ thị hình 4.4.

Điện áp ngược lớn nhất trên các van là:

$$U_{T1ngmax} = U_{T2ngmax} = U_d. \quad (4.23)$$

Dòng trung bình các van được xác định theo chế độ nặng nề nhất, đối với T₁ là khi dòng tải trung bình đạt giá trị quá tải lớn nhất cho phép I_{tmax} và ứng với chế độ có $t_d = T_{ck}$ (tức là khi $\gamma = 1$):

$$I_{T1tbmax} = I_{tmax}. \quad (4.24)$$

Trong một chu kỳ T_2 dẫn dòng một khoảng thời gian bằng khoảng thời gian để tụ phóng và nạp lại bởi dòng tải từ giá trị $u_C = -U_d$ đến $u_C = U_d$ (bằng t_1), từ đồ thị hình 4.4 có thể xác định được:

$$t_1 = 2 \cdot U_d \cdot C / I_{\text{tmax}}. \quad (4.25)$$

Vậy dòng trung bình lớn nhất qua T_2 :

$$I_{T2\text{tbmax}} = I_{\text{tmax}} \cdot t_1 / T_{\text{ck}} = 2 \cdot U_d \cdot C / T_{\text{ck}}. \quad (4.26)$$

Các biểu thức tính chọn:

$$\left. \begin{aligned} [I_{T\text{tb}}] &\geq K_{I_T} \cdot I_{T\text{tbmax}}; \\ [U_{T\text{ng}}] &\geq K_{U_T} \cdot U_{T\text{ngmax}} = K_{U_T} \cdot U_d; \\ [U_{T\text{th}}] &\geq K_{U_T} \cdot U_{T\text{thmax}} = K_{U_T} \cdot U_d. \end{aligned} \right\} \quad (4.27)$$

Các hệ số dự trữ về dòng K_{I_T} và áp K_{U_T} có thể lấy như với sơ đồ chỉnh lưu.

Đi ốt chuyển mạch có số liệu chọn tương tự như đối với T_2 ; thông số để tính chọn D_0 tương tự như T_1 (không có phần điện áp thuận lớn nhất).

b. Chọn tụ điện và điện cảm chuyển mạch

- Chọn tụ chuyển mạch C:

Tụ điện C được tính chọn về điện dung đủ để đảm bảo thời gian phục hồi tính chất điều khiển của T_1 . Đồ thị điện áp trên T_1 và trên tụ C ở hình 4.4 cho thấy, khoảng thời gian để T_1 phục hồi tính chất điều khiển bằng thời gian để tụ C phóng từ $-U_d$ đến bằng không, tức là bằng $\frac{t_1}{2}$, tương ứng chế độ dòng tải nặng nề nhất: $\frac{t_1}{2} = \frac{CU_d}{I_{\text{tmax}}}$. Vậy giá trị nhỏ nhất

của tụ điện chuyển mạch để đảm bảo T_1 phục hồi được tính chất điều khiển là:

$$C_{\text{min}} = \frac{I_{\text{tmax}} t_k}{U_d} \quad (4.28)$$

Với t_k là thời gian phục hồi tính chất điều khiển của T_1 (bảng tra số liệu van).

Thông thường, để đảm bảo sự chuyển mạch an toàn trong mọi trường hợp, thường chọn giá trị điện dung của tụ bằng hai lần giá trị nhỏ nhất tính theo biểu thức (4.28):

$$C = 2C_{\text{min}} = 2 \frac{I_{\text{tmax}} t_k}{U_d} \quad (4.29)$$

Điện áp trên tụ khi làm việc thường là $\pm U_d$, để đảm bảo độ tin cậy thường chọn điện áp tính toán của tụ $\geq 1,5 \cdot U_d$

- Chọn điện cảm chuyển mạch L:

Giá trị của điện cảm chuyển mạch ảnh hưởng đến biên độ dòng phóng của tụ qua T_1 , theo quan điểm hạn chế biên độ xung dòng qua T_1 thì L càng lớn càng tốt. Nhưng giá trị L cũng ảnh hưởng đến chu kỳ cộng hưởng riêng của vòng L-C, mà thời gian để tụ phóng và nạp lại đến điện áp bằng giá trị ban đầu trước khi phóng bằng một nửa chu kỳ cộng hưởng,

vậy yêu cầu thời gian đóng nhỏ nhất phải lớn hơn một nửa chu kỳ dao động cộng hưởng của vòng L-C, tức là: $t_{\text{dmin}} > \frac{LC}{\pi}$. Thêm vào đó, giá trị L càng nhỏ thì biên độ dòng phóng nạp của tụ C qua L sẽ càng lớn. Xuất phát từ những đặc điểm trên, để cho sơ đồ hoạt động bình thường trong phạm vi điều chỉnh yêu cầu và đảm bảo van T_1 không bị hỏng bởi biên độ cũng như tốc độ tăng của dòng khi mở van mà giá trị L được lựa chọn:

$$L_{\text{min}} < L < L_{\text{max}} \quad (4.30)$$

Với:
$$L_{\text{min}} = \frac{CU_d^2}{([I_{T\text{max}}] - I_{t0})} ; L_{\text{max}} = \frac{(\pi t_{\text{dmin}})^2}{C}$$
 . $[I_{T\text{max}}]$ là giá trị biên độ cực

đại cho phép của dòng qua T_1 , I_{t0} là giá trị dòng tải tại thời điểm mở T_1 , C là điện dung của tụ được chọn theo (4.29).

4.3. BỘ BIẾN ĐỔI MỘT CHIỀU - MỘT CHIỀU DÙNG TRANSISTOR

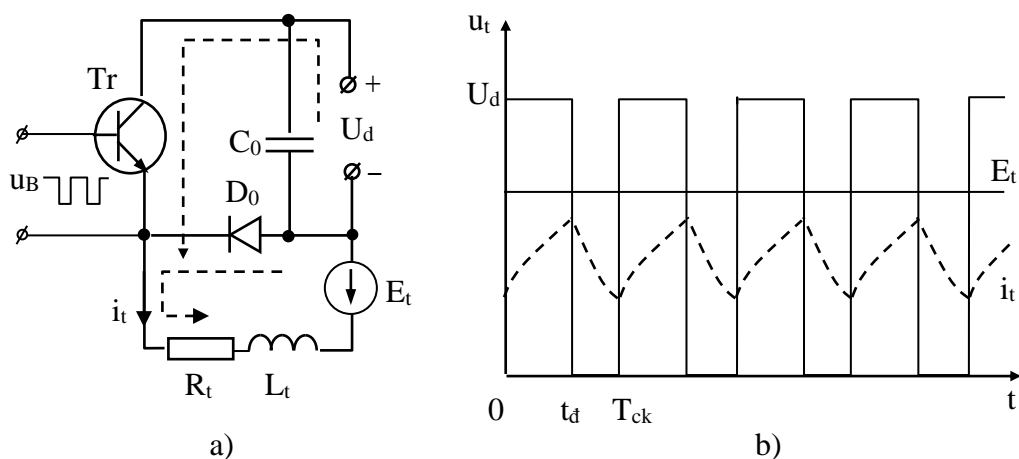
Các BBD một chiều - một chiều dùng van điều khiển không hoàn toàn (thyristor) có một số nhược điểm:

- Cần các thiết bị phụ trợ để khóa thyristor;
- Tần số đóng cắt thấp, dẫn đến chất lượng điện áp đầu ra không cao.

Để khắc phục các nhược điểm trên, có thể sử dụng các van điều khiển hoàn toàn như GTO, các transistor, MOSFET công suất, và hiện nay các nhà sản xuất thiết bị biến đổi thường sử dụng loại transistor tổ hợp có tên viết tắt là IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

4.3.1. SƠ ĐỒ BBD KHÔNG ĐẢO CHIỀU

4.3.1.1. Sơ đồ dùng một transistor

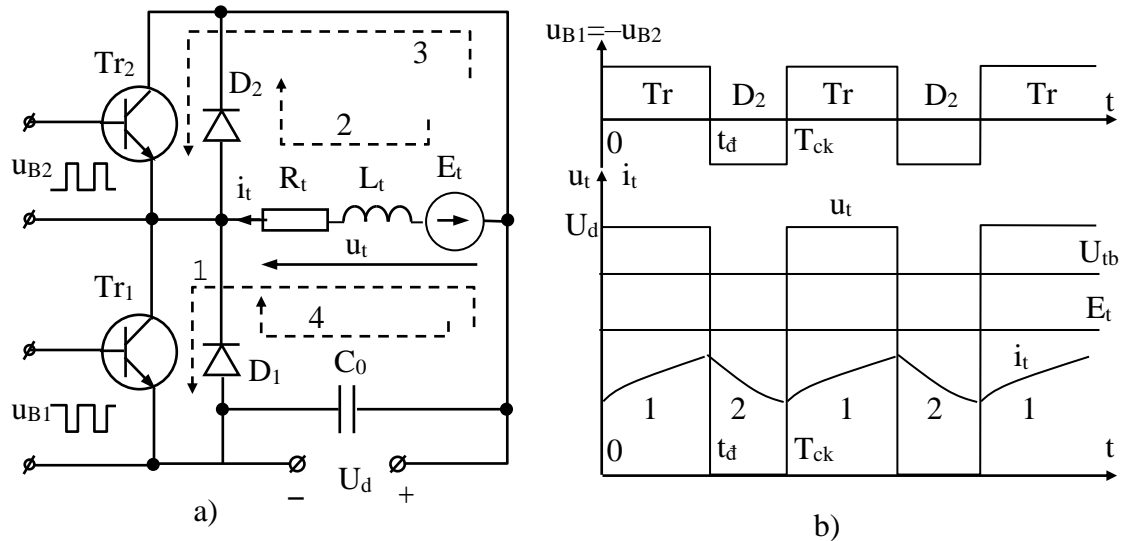


Hình 4.5: Mạch điện hệ thống bộ biến đổi PWM không đảo chiều đơn giản
a) Sơ đồ nguyên lý; b) Đồ thị dòng điện và điện áp

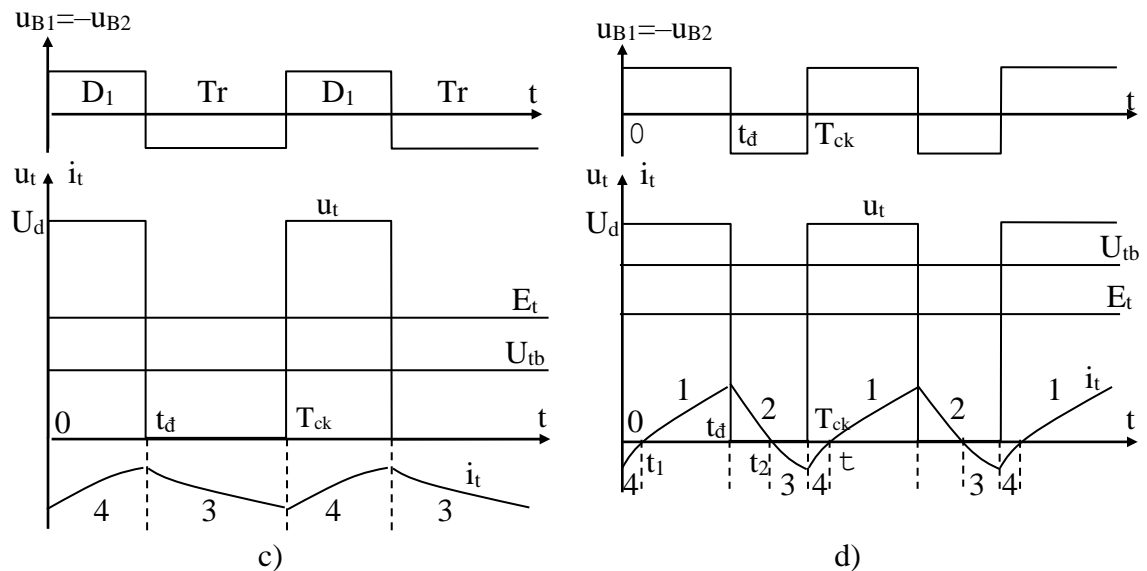
Sơ đồ nguyên lý và đồ thị dòng áp trên tải được minh họa trên hình 4.5. Đặc điểm của sơ đồ này là điện áp trên tải chỉ có một cực tính (không đảo chiều điện áp) và dòng

điện tải không đổi chiều được (các đường đi của dòng điện được biểu diễn bằng các đường nét đứt trên sơ đồ). Do đặc tính dòng điện không thể đổi chiều gây ảnh hưởng xấu đối với chế độ làm việc của phụ tải, đặc biệt khi tải là động cơ một chiều kích từ độc lập (xuất hiện chế độ dòng gián đoạn khi tải nhỏ và động cơ không thể chuyển sang chế độ hãm).

4.3.1.2. Sơ đồ dùng hai transistor



Sơ đồ hình 4.6a sử dụng hai transistor, tín hiệu điều khiển hai van này luôn ngược nhau: khi Tr_1 có xung điều khiển dương để mở thì Tr_2 có xung điều khiển âm để đảm bảo khóa chắc chắn ($u_{B1} = -u_{B2}$). Các đồ thị hình 4.6b, c, d biểu diễn dạng điện áp và dòng điện trên tải dạng điện - điện cảm - sức điện động ứng với một số chế độ làm việc: hình 4.6b là trường hợp dòng tải lớn, năng lượng tích lũy trong điện cảm tải đủ để duy trì dòng tải qua



Hình 4.6: Mạch điện bộ biến đổi PWM không đảo chiều dùng hai transistor
 a) Sơ đồ nguyên lý; b, c, d) Đồ thị điện áp và dòng điện tải trong một số chế độ với tải điện trở - điện cảm - sức điện động

điốt D_2 (đường 2) trong suốt khoảng thời gian cắt t_c (thời gian khóa Tr_1) của chu kỳ đóng cắt; hình 4.6c là trường hợp sức điện động tải lớn hơn giá trị trung bình của điện ra (ví dụ

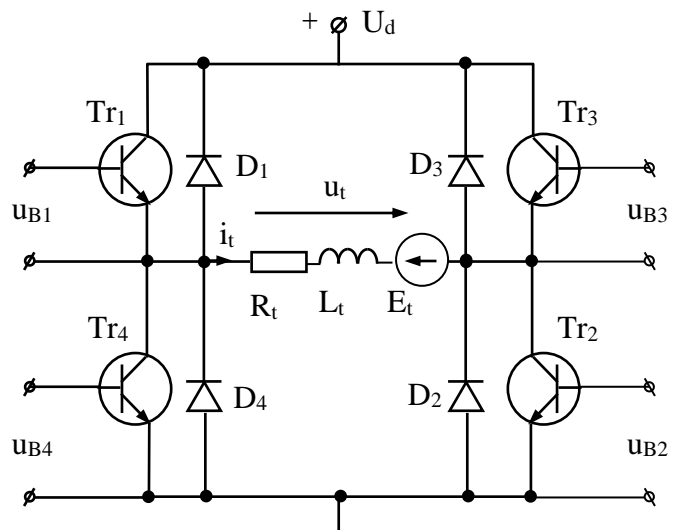
như tải là động cơ một chiều làm việc trong chế độ hãm), khi đó dòng tải do sức điện động tải tạo ra ở khoảng thời gian cắt t_c (đường 3, qua Tr_2) và trong khoảng thời gian đóng t_d dòng tải được duy trì qua đi ốt D_1 nhờ năng lượng tích lũy trong điện cảm tải (đường 4); hình 4.6d ứng với trường hợp BBD làm việc với chế độ dòng tải nhỏ, năng lượng tích lũy trong L_t đến thời điểm kết thúc thời gian đóng chỉ đủ duy trì dòng tải qua đi ốt D_2 trong phần của khoảng thời gian cắt (từ $t = t_d$ đến $t = t_2$), tại t_2 dòng tải bằng không và sẽ đổi chiều nhờ sức điện động tải và khép vòng qua Tr_2 .

Từ các đồ thị có thể nhận thấy, dù bất cứ chế độ làm việc nào, nếu tải có sức điện động khác không thì dòng tải là một đường liên tục (không có chế độ dòng gián đoạn) và dòng tải có thể đổi chiều. Đặc điểm làm việc này cho phép cải thiện chất lượng làm việc của hệ thống (BBD và tải), đặc biệt khi tải là động cơ một chiều kích từ độc lập trong hệ thống điều tốc: BBD PWM - động cơ một chiều.

4.3.2. SƠ ĐỒ BBD CÓ ĐẢO CHIỀU

4.3.2.1. Sơ đồ nguyên lý

Để đảo chiều được cả dòng và áp trên tải (ví dụ: ứng dụng trong hệ truyền động có đảo chiều động cơ điện một chiều kích từ độc lập), khi không sử dụng các thiết bị chuyên đổi cách đấu nối đầu ra BBD với tải, bắt buộc phải sử dụng các BBD có đảo chiều. Sơ đồ nguyên lý mạch lực BBD một chiều - một chiều có đảo chiều dùng transistor có hai dạng: H và T. Hình 6.7 biểu diễn sơ đồ BBD dạng H, được tạo bởi 4 transistor và 4



Hình 6.7: Mạch điện bộ biến đổi PWM có đảo

đi ốt mắc theo sơ đồ cầu. BBD dạng T phải dùng nguồn kép nên ít được sử dụng hơn. Tùy thuộc vào từng yêu cầu cụ thể, có thể áp dụng các phương thức điều khiển khác nhau. Với BBD áp dụng phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM), có 3 phương thức điều khiển BBD hình 6.7: điều khiển kiểu hai cực, kiểu một cực và kiểu một cực bị hạn chế.

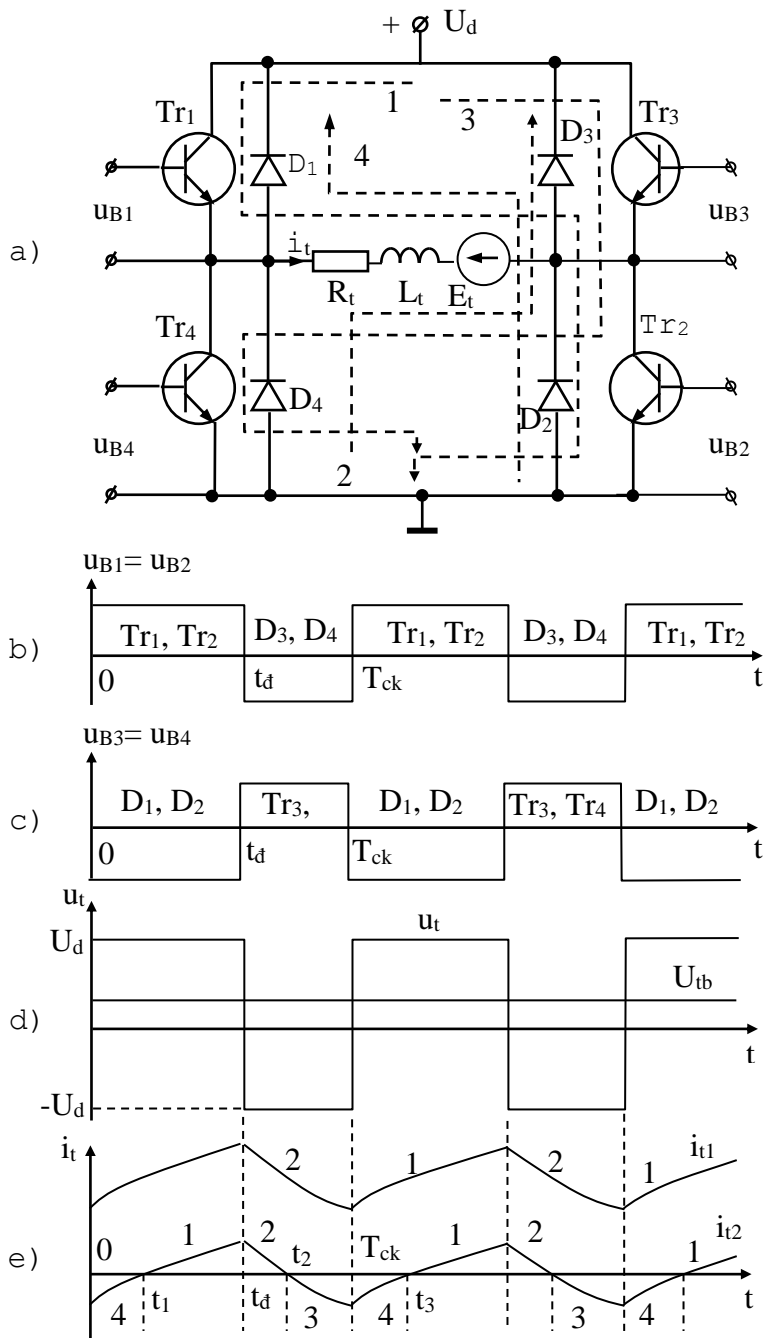
4.3.2.2. Phương thức điều khiển kiểu hai cực

Bốn transistor trong sơ đồ hình 6.7 được chia thành hai nhóm Tr_1, Tr_2 và Tr_3, Tr_4 . Hai transistor Tr_1 và Tr_2 làm việc đồng thời, điện áp khống chế cực gốc của chúng là $u_{B1} = u_{B2}$; hai transistor Tr_3 và Tr_4 cũng làm việc đồng thời, điện áp khống chế cực gốc của chúng là $u_{B3} = u_{B4}$.

Sau đây sẽ thực hiện phân tích nguyên lý làm việc của BBD trong trường hợp điện áp và dòng trung bình của tải mang giá dương.

a. Khi dòng tải lớn

Trong khoảng thời gian $0 \leq t < t_d$, u_{B1} và u_{B2} dương, Tr_1, Tr_2 mở bão hoà, còn u_{B3} và u_{B4} âm, Tr_3 và Tr_4 bị khoá, điện áp trên tải $u_t = U_d$, dòng điện mạch tải i_t khép theo đường số 1; trong khoảng $t_d \leq t < T_{ck}$, u_{B1} và u_{B2} chuyển sang âm Tr_1 và Tr_2 khoá lại, u_{B3} và u_{B4} chuyển sang dương, nhưng Tr_3 và Tr_4 chưa mở, điện cảm mạch tải giải phóng năng lượng và duy trì dòng tải theo chiều dương và i_{t1} khép qua D_4 và D_3 theo đường số 2, lúc này điện áp trên tải $u_t = -U_d$. Trong một chu kỳ trị số âm và dương của u_t bằng nhau, đây là đặc trưng của bộ biến đổi PWM kiểu đi ốt. Đồ thị điện áp, dòng điện của sơ đồ được mô tả trên hình 6.8d, e, có thể nhận thấy: điện áp trên tải có hai cực tính, dòng tải i_{t1} luôn dương.



Hình 6.8: Đường đi dòng điện phần mạch lực, đồ thị dòng áp của BBD đảo chiều PWM dạng H điều khiển kiểu hai cực (kiểu đi ốt)

b. Khi dòng tải nhỏ

Khi dòng tải trung bình có giá trị nhỏ, khi đó trong một chu kỳ làm việc của BBD, dòng tải có thể đổi chiều, đồ thị dòng tải trong trường hợp này được minh họa trên hình 6.8e, đường i_{t2} .

Sự làm việc của BBD trong chế độ này có thể được mô tả như sau:

- Gần trước thời điểm $t = t_d$, hai transistor Tr_1 và Tr_2 đang mở và dẫn dòng, dòng trong sơ đồ đi theo đường số 1 (hình 6.a).

- Tại $t = t_d$, hai transistor Tr_1 và Tr_2 có tín hiệu khóa và khóa lại, hai transistor Tr_3 và Tr_4 có tín hiệu điều khiển để mở nhưng chúng vẫn chưa mở, lúc này L_t giải phóng năng

lượng tích lũy và duy trì dòng tải theo chiều dương cho đến $t = t_2$, dòng tải giai đoạn $t_d \div t_2$ khép qua hai đi ốt ngược D_3 và D_4 (đường số 2).

- Tại $t = t_2 < T_{ck}$, do năng lượng tích lũy trong điện cảm tải nhỏ (do dòng tải nhỏ) nên năng lượng trong L_t được giải phóng hết, dòng tải giảm về bằng không. Mặt khác tải có sức điện động nên dòng tải sẽ đổi chiều và khép vòng qua hai transistor Tr_3 và Tr_4 nhờ sức điện động tải (đường số 3 trên hình 6.8a). Dòng tải lúc này âm và có trị số tăng dần.

Đến $t = T_{ck}$, transistor Tr_1 và Tr_2 lại có tín hiệu điều khiển để mở, còn hai transistor Tr_3 và Tr_4 có tín hiệu điều khiển khóa, Tr_3 và Tr_4 khóa lại, nhưng Tr_1 và Tr_2 chưa mở, năng lượng tích lũy trong L_t ở giai đoạn Tr_3 và Tr_4 được giải phóng và tiếp tục duy trì dòng tải âm cho đến thời điểm $t = t_3$. Trong khoảng này ($T_{ck} \div t_3$) dòng tải khép qua các đi ốt ngược D_1 và D_2 (theo đường số 4)

Tại $t = t_3$, năng lượng tích lũy trong L_t lại giải phóng hết, Tr_1 và Tr_2 và dòng tải đổi chiều và lại khép theo đường số 1.

Khoảng $0 \leq t < t_1$, dòng điện tải cũng giống giai đoạn $T_{ck} \leq t < t_3$.

Mặc dù dòng tải trong một chu kỳ có 4 khoảng và đi theo 4 đường khác nhau, nhưng nếu bỏ qu sụt áp trên các van khi mở thì điện áp trên tải vẫn như trường hợp dòng tải lớn: giai đoạn $0 \leq t < t_d$: $u_t = U_d$; giai đoạn $t_d \leq t < T_{ck}$: $u_t = -U_d$.

Dự đảo chiều điện áp trung bình trên tải phụ thuộc vào độ dài các khoảng thời gian đóng và cắt. Khi độ rộng xung dương lớn, ứng với $t_d > T_{ck}/2$, điện áp trung bình trên tải là dương. Khi độ rộng xung dương hẹp, ứng với $t_d < T_{ck}/2$, điện áp trung bình trên tải có giá trị âm. Nếu độ rộng xung dương và âm bằng nhau, $t_d = T_{ck}/2$, điện áp trung bình bằng không.

Điện áp trung bình đầu ra của bộ biến đổi PWM (điện áp trên tải) đảo chiều kiểu đi ốt được biểu thị bằng công thức:

$$U_{TB} = \frac{t_d}{T_{ck}} U_d - \frac{T_{ck} - t_d}{T_{ck}} U_d = \left(\frac{2t_d}{T_{ck}} - 1 \right) U_d \quad (4.31)$$

Vẫn lấy $\gamma = U_{tb}/U_d$ là hệ số phân áp của PWM, quan hệ giữa γ và t_d sẽ khác với sơ đồ BBĐ không đảo chiều, cụ thể, trong trường hợp này:

$$\gamma = \frac{2t_d}{T_{ck}} - 1 \quad (4.32)$$

Khi điều chỉnh, phạm vi thay đổi của γ trở thành $-1 < \gamma < 1$. Khi $\gamma > 0$ điện áp trung bình trên tải dương (thuận), còn $\gamma < 0$ điện áp trung bình trên tải âm (ngược), khi $\gamma = 0$ điện áp trung bình trên tải bằng không. Khi sử dụng BBĐ PWM cung cấp cho mạch phản ứng động cơ một chiều kích từ độc lập trong hệ thống điều tốc động cơ một chiều, trường hợp $\gamma=0$, mặc dù động cơ không quay vì điện áp trung bình đặt vào động cơ bằng không, nhưng điện áp tức thời ở hai đầu mạch rotor và dòng điện không phải bằng 0 mà chỉ có thành phần xoay chiều, nên tổn hao công suất trên động cơ vẫn còn. Tuy vậy điều đó cũng có lợi là làm cho động cơ dao động nhẹ cao tần, có tác dụng “bôi trơn động lực”, loại bỏ khu vực chết ma sát tĩnh khi đổi chiều quay.

Ưu điểm của bộ biến đổi PWM điều khiển kiểu hai cực (kiểu đi ốt) như sau:

(1) Dòng điện tải liên tục;

(2) Khi ứng dụng vào hệ điều tốc động cơ một chiều có ưu điểm:

- Cho phép cho động cơ có thể làm việc ở 4 góc phần tư hệ tọa độ;

- Lúc động cơ ngừng quay vẫn có dao động nhỏ của dòng điện, có thể loại bỏ vùng chết ma sát tĩnh;

- Khi làm việc ở tốc độ thấp, xung không chế cực gốc của các transistor đều khá rộng, tạo thuận lợi cho các transistor chắc chắn được mở;

- Chất lượng động của hệ thống tốt;

- Tính ổn định tốt ở tốc độ thấp, phạm vi điều tốc đạt tới khoảng 20000:1.

Nhược điểm của bộ biến đổi PWM điều khiển kiểu hai cực (kiểu đi ốt) như sau:

Trong quá trình làm việc, 4 transistor công suất thay nhau làm việc, tổn hao công suất mở khóa lớn, dễ sinh ra sự cố hai transistor cùng phía (ví dụ Tr_1 và Tr_3 đồng thời mở gây ngắn mạch nguồn, làm giảm độ tin cậy của thiết bị. Để khắc phục sự cố này thường phải tăng độ phức tạp của phần điều khiển.

4.3.2.3. Phương thức điều khiển kiểu một cực và một cực bị hạn chế

Để khắc phục khuyết điểm trên đây của BBD điều khiển kiểu hai cực, đối với những hệ thống có yêu cầu chất lượng động và tĩnh tương đối thấp, có thể dùng bộ biến đổi PWM kiểu một cực hoặc một cực bị hạn chế. Sơ đồ mạch điện phân cực của BBD vẫn là sơ hình 6.7, chỉ khác nhau ở chỗ tín hiệu xung điều khiển cực gốc các transistor.

a. BBD PWM điều khiển kiểu một cực

Trong trường hợp này, xung điều khiển cực gốc hai transistor phía trái $u_{B1} = -u_{B4}$, có đồ thị xung cực tính thay đổi ngược nhau như kiểu đi ốt, làm cho Tr_1 và Tr_4 có thể thay nhau mở; còn tín hiệu điều khiển cực gốc của hai transistor phía phải Tr_3 và Tr_2 thì khác, chuyển thành tín hiệu một chiều khác nhau tùy thuộc yêu cầu chiều điện áp trên tải. Khi cần điện áp trung bình trên tải dương, điện áp u_{B3} luôn âm, còn u_{B2} luôn dương, khi đó Tr_3 luôn khoá, còn Tr_2 luôn có tín hiệu để mở. Khi cần điện áp trung bình trên tải âm thì cho u_{B3} luôn dương, còn u_{B2} luôn âm, nên Tr_3 luôn có tín hiệu để mở, còn Tr_2 luôn khoá. Sự thay đổi tín hiệu điều khiển đã làm cho tình trạng mở khóa các transistor ở các giai đoạn và đường đi của dòng điện trong mạch sẽ có sự thay đổi so với ở bộ biến đổi kiểu đi ốt. Tình trạng mở khóa của các transistor, dạng điện áp mạch rotor và chiều dòng điện khi tải lớn không thay đổi, đã được mô tả trong bảng 4.1, (ở đây để tiện so sánh, đã nêu ra cả kiểu một cực và kiểu đi ốt). Lúc non tải, dòng điện trong một chu kỳ cũng sẽ đổi chiều và vẫn đảm bảo tính liên tục của dòng điện tải.

Do trong hai transistor Tr_3 và Tr_2 của bộ biến đổi một cực bao giờ cũng có một luôn mở, một luôn khoá, do đó tổn hao do mở khóa ở đây đã giảm so với ở bộ biến đổi hai cực.

Bảng 4.1: So sánh bộ biến đổi PWM đảo chiều hai cực và một cực (khi chịu tải lớn)

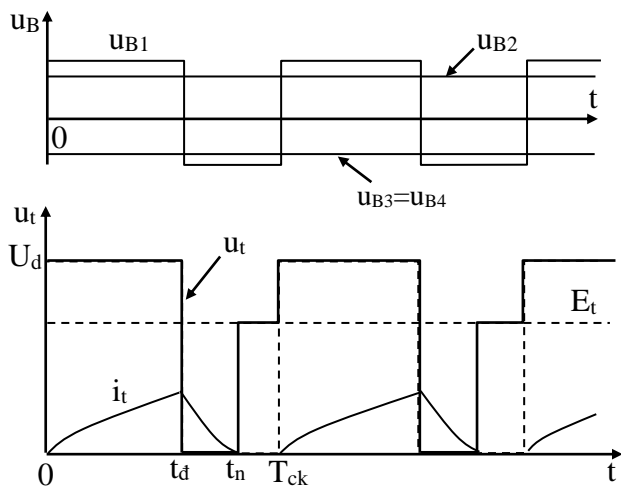
| Phương thức | Điện áp trung | $0 \leq t < t_d$ | $t_d \leq t < T_{ck}$ | Phạm vi thay đổi của hệ số phân áp |
|-------------|---------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | | |

| điều khiển | biên trên tải | Trạng thái mở khóa | u_t | Trạng thái mở khóa | u_t | |
|--------------|---------------|---|--------|--|--------|-------------------------|
| Kiểu hai cực | dương | Tr_1, Tr_2 mở Tr_4, Tr_3 khoá | $+U_d$ | Tr_1, Tr_2 khoá D_4, D_3 mở | $-U_d$ | $0 \leq \gamma \leq 1$ |
| | âm | D_1, D_2 mở Tr_4, Tr_3 khoá | $+U_d$ | Tr_1, Tr_2 khoá Tr_4, Tr_3 mở | $-U_d$ | $-1 \leq \gamma \leq 0$ |
| Kiểu một cực | dương | Tr_1, Tr_2 mở Tr_4, Tr_3 khoá | $+U_d$ | Tr_2 mở, D_4 mở; Tr_1, Tr_3 khoá Tr_4 không mở | 0 | $0 \leq \gamma \leq 1$ |
| | âm | Tr_3 mở, D_1 mở Tr_2, Tr_4 khoá Tr_1 không mở | 0 | Tr_4, Tr_3 mở Tr_1, Tr_2 khoá | $-U_d$ | $-1 \leq \gamma \leq 0$ |

Do trong hai transistor Tr_3 và Tr_2 của bộ biến đổi một cực bao giờ cũng có một luôn mở, một luôn khoá, do đó tổn hao do mở khóa ở đây đã giảm so với ở bộ biến đổi hai cực.

b. BBD PWM điều khiển kiểu một cực bị hạn chế

Bộ biến đổi điều khiển kiểu một cực so với bộ biến đổi điều khiển kiểu hai cực về mặt tiêu hao công suất đóng cắt và độ tin cậy có nhiều ưu điểm, nhưng vẫn còn yêu cầu hai transistor Tr_1 và Tr_4 thay nhau mở khóa, vẫn có thể gây ra ngắn mạch nguồn điện. Để khắc phục, có thể sử dụng điều khiển kiểu một cực bị hạn chế, trường hợp cần điện áp trung bình trên tải dương, hai transistor Tr_3 và Tr_4 luôn có điện áp điều khiển âm và luôn khoá, Tr_2 luôn có tín hiệu điều khiển dương để mở, chỉ điều khiển đóng cắt mỗi mình Tr_1 , do đó, trong khoảng thời gian $0 \leq t < t_d$, Tr_1 và Tr_2 mở, trong khoảng $t_d \leq t < T_{ck}$, dòng điện tải đi qua D_4 . Tương tự như vậy, khi cần điện áp trung bình trên tải âm, cho u_{B1} và u_{B2} luôn âm, Tr_1 và Tr_2 luôn bị khoá. Như thế sẽ không sinh ra sự cố làm cho Tr_1, Tr_4 cùng mở. Bộ biến đổi đảo chiều điều khiển kiểu một cực bị hạn chế khi non tải sẽ xuất hiện chế độ dòng điện tải gián đoạn, khi đó điện áp trên tải tăng đột ngột lên bằng s.d.đ. tải ($u_t = E_t$), như trên hình 4.9. Hiện tượng dòng điện gián đoạn khi tải nhẹ này sẽ làm cho đặc tính ngoài của bộ biến đổi bị mềm đi, nó làm cho tính năng ở trạng thái tĩnh và động của hệ thống bị xấu đi, nhưng đổi lại độ tin cậy được tăng lên.



Hình 4.9: Đồ thị áp và dòng khi non tải của BBD điều khiển kiểu một cực bị hạn chế

Ở chế độ dòng điện gián đoạn, việc nâng cao điện áp tải đã làm tăng điện áp trung bình theo quan hệ:

$$U_{tb} = \gamma U_d + \frac{T_{ck} - t_n}{T_{ck}} E_t \quad (4.33)$$

với $\gamma = t_d/T_{ck}$ được tính như trường hợp BBD không đảo chiều và $\gamma = (0 \div 1)$.

4.4. MẠCH ĐIỀU KHIỂN BBD MỘT CHIỀU - MỘT CHIỀU

4.4.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Cũng như các BBD khác, trong BBD một chiều - một chiều ta cũng sử dụng các dụng cụ bán dẫn có điều khiển, vì vậy để BBD có thể làm việc đúng theo yêu cầu cần phải tạo ra các tín hiệu điều khiển để khống chế các van. Mạch điện để tạo ra các tín hiệu điều khiển này được gọi là mạch điều khiển của BBD một chiều - một chiều. Từ nguyên lý hoạt động của mạch lực, có thể nhận thấy, tần số làm việc của BBD phụ thuộc vào tần số tín hiệu điều khiển trên điện cực điều khiển các van. Điều này hoàn toàn khác so với các BBD được cấp bởi nguồn xoay chiều, ví dụ tín hiệu điều khiển các van chỉnh lưu xuất hiện với tần số bằng tần số nguồn cung cấp cho BBD. Như vậy trong mạch điều khiển BBD này cần phải có mạch phát sóng chuẩn, nó quyết định tần số xung điều khiển các van, tức là quyết định tần số điện áp ra. Ngoài ra phụ thuộc vào phương pháp điều chỉnh điện áp ra mà cần phải có các mạch điện khác để thực hiện các nhiệm vụ cần thiết để đảm bảo được qui luật điều chỉnh nhất định. Mặt khác, phụ thuộc vào loại dụng cụ bán dẫn được sử dụng, kiểu sơ đồ BBD mà tín hiệu điều khiển cũng có những yêu cầu cụ thể khác nhau. Trong chương trình môn học chỉ nghiên cứu phương pháp điều chỉnh điện áp ra là phương pháp điều chỉnh độ rộng xung.

4.4.2. MẠCH ĐIỀU KHIỂN CÁC BBD PWM DÙNG THYRISTOR

4.4.2.1. Sơ đồ khối mạch điều khiển BBD PWM dùng thyristor

Các BBD một chiều - một chiều dùng thyristor không đảo chiều thường gồm một thyristor chính (T_1) đóng vai trò khóa đóng cắt và một hoặc một số thyristor phụ có nhiệm vụ khóa thyristor chính. Để đơn giản, thực xây dựng mạch điều khiển cho sơ đồ có một thyristor phụ. Từ nguyên lý hoạt động phần mạch lực của các sơ đồ BBD dạng này, có thể đưa ra nhận xét sau:

- Tần số (hoặc chu kỳ) của chuỗi xung điều khiển cả hai thyristor là như nhau và bằng tần số yêu cầu của chuỗi xung điện áp đầu ra BBD.

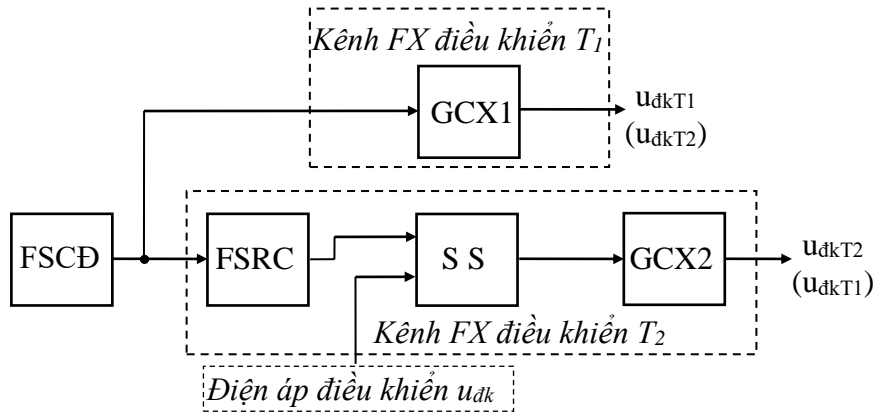
- Thời gian đóng (t_d) là khoảng thời gian tính từ thời điểm xuất hiện xung điều khiển trên thyristor chính (mở T_1 - đóng K) đến thời điểm xuất hiện xung điều khiển trên thyristor phụ (T_2) tiếp sau đó (khóa T_1 - cắt K). Thời gian cắt (t_c) là khoảng thời gian tính từ thời điểm xuất hiện xung điều khiển trên thyristor phụ (khóa T_2 - cắt K) đến thời điểm xuất hiện xung điều khiển trên thyristor chính (T_1) tiếp sau đó (mở T_1 - đóng K).

Từ các nhận xét trên có thể xây dựng được cấu trúc điều khiển BBD:

- Sử dụng một mạch tạo chuỗi xung có tần số không đổi và bằng tần số yêu cầu của chuỗi xung điện áp đầu ra BBD. Các mạch này là các mạch tự dao động có thể xây dựng từ các kinh kiện bán dẫn rời rạc hoặc các vi mạch và được gọi là mạch phát sóng chủ đạo.

- Có thể chọn chuỗi xung đầu ra của mạch phát sóng chủ đạo làm xung điều khiển cho một thyristor (tất nhiên là phải thực hiện sửa lại dạng xung và khuếch đại để đảm bảo công suất), còn xung điều khiển thyristor kia sẽ được tạo bằng cách dịch thời điểm xuất hiện xung của chuỗi xung đầu ra mạch phát xung chủ đạo đi một không thời gian cần thiết.

Việc sửa dạng xung, khuếch đại công suất xung hoàn toàn có thể sử dụng các sơ đồ đã giới thiệu ở phần điều khiển bộ chỉnh lưu. Việc dịch thời điểm xuất hiện của xung cũng có thể áp dụng các nguyên tắc như đã nghiên cứu ở chương 2.



Hình 4.10: Sơ đồ khối hệ thống điều khiển BBD PWM

Hình 4.10 là sơ đồ khối mạch phát xung điều khiển cho BBD một chiều - một chiều PWM sử dụng thyristor, trong đó:

- Khối khối phát sóng chủ đạo (FSCĐ): có nhiệm vụ tạo ra chuỗi xung điện áp thường có dạng hình chữ nhật với tần số bằng tần số của chuỗi xung điện áp đầu ra BBD. Khối này thường sử dụng các mạch tự dao động;

- Kênh phát xung điều khiển T_1 chỉ có khối gia công xung thứ nhất (GCX1), có nhiệm vụ thay đổi độ dài hoặc dạng xung (sửa xung) đầu ra FSCĐ, khuếch đại công suất xung sau khi sửa xung để đảm bảo xung ra có đủ công suất điều khiển mở T_1 và truyền xung đến cực điều khiển của T_1 ;

- Kênh phát xung điều khiển T_2 gồm các khối FSRC, SS và GCX2:

⊕ Khâu phát sóng răng cưa (FSRC): có nhiệm vụ tạo ra hệ thống điện áp hình răng cưa với chu kỳ đúng bằng chu kỳ xung ra của khối FSCĐ, thời điểm đầu mỗi xung răng trùng với thời điểm xuất hiện xung điều khiển T_1 .

⊕ Khâu so sánh (SS): có làm nhiệm vụ quyết định thời điểm xuất hiện xung điều khiển thyristor phụ T_2 trên cơ sở so sánh xung răng cưa đầu ra khâu FSRC với tín hiệu điều khiển $u_{đk}$ (tín hiệu quyết định độ rộng xung điện áp ra). Nguyên lý hoạt động của khâu tương tự như khâu cùng tên trong hệ thống điều khiển các bộ chỉnh lưu sử dụng nguyên tắc không chế pha đứng.

⊕ Khâu gia công xung thứ hai (GCX2): chức năng tương tự như GCX1, khâu này cũng thực hiện thay đổi độ dài hoặc dạng xung ra của khối so sánh, tiếp theo thực hiện khuếch đại và truyền xung ra đến cực điều khiển T_2 .

Các phần tử trong mạch phát xung được cung cấp (nuôi) bằng các nguồn điện áp một chiều. Điện áp điều khiển dùng để điều chỉnh điện áp đầu ra BĐĐ là $u_{đk}$, đây là điện áp một chiều. Các xung điều khiển các van ký hiệu là $u_{đkT1}$ và $u_{đkT2}$.

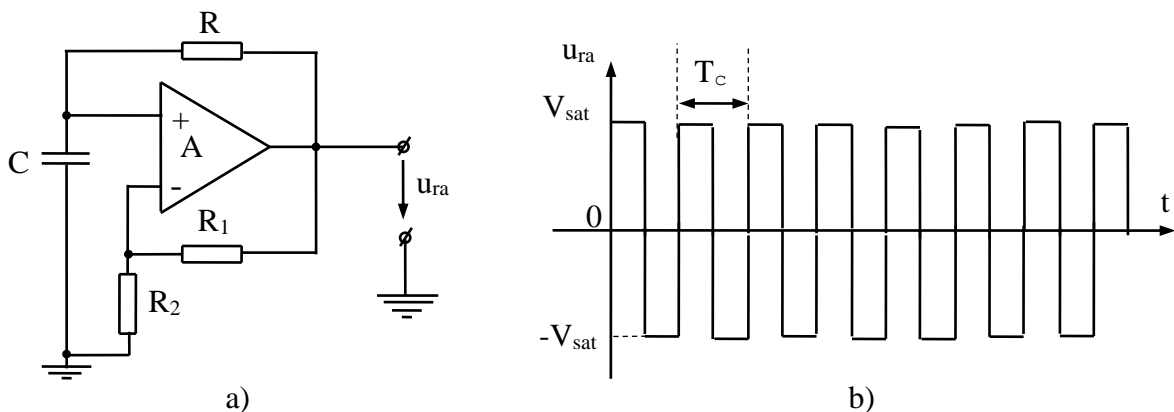
**Chú ý:* Có thể chuyển đổi kênh phát xung điều khiển thyristor chính T_1 để phát xung điều khiển cho thyristor phụ T_2 và ngược lại, khi đó qui luật thay đổi của điện áp ra theo điện áp điều khiển sẽ bị đảo lại.

4.4.2.2. Khởi phát sóng chủ đạo

Như đã nêu, đây là mạch điện quyết định chu kỳ tín hiệu điều khiển, tức là quyết định chu kỳ làm việc của BĐĐ. Mạch này có nhiệm vụ phát ra một dãy xung với chu kỳ xác định, xung ra có thể là xung vuông hoặc dạng khác. Có rất nhiều sơ đồ phát xung khác nhau có thể sử dụng cho mục đích này, sau đây sẽ giới thiệu một số mạch phát xung ứng dụng các IC thông dụng.

a. Mạch phát sóng chủ đạo dùng vi mạch khuếch đại thuật toán

Sơ đồ nguyên lý mạch phát xung sử dụng khuếch đại thuật toán được biểu diễn trên hình 4.11a, trong đó mạch điện gồm vi mạch khuếch đại thuật toán A và 2 điện trở R_1, R_2 tạo thành một trigger smit, khi thêm tụ điện C và điện trở R mắc như trong sơ đồ ta có mạch tự dao động, dạng điện áp ra của sơ đồ được biểu diễn trên hình 4.11b. Điện áp đầu ra của sơ đồ là các xung 2 cực tính (điện áp xoay chiều) với chu kỳ lặp lại là T_{ck} được xác định theo công thức sau:



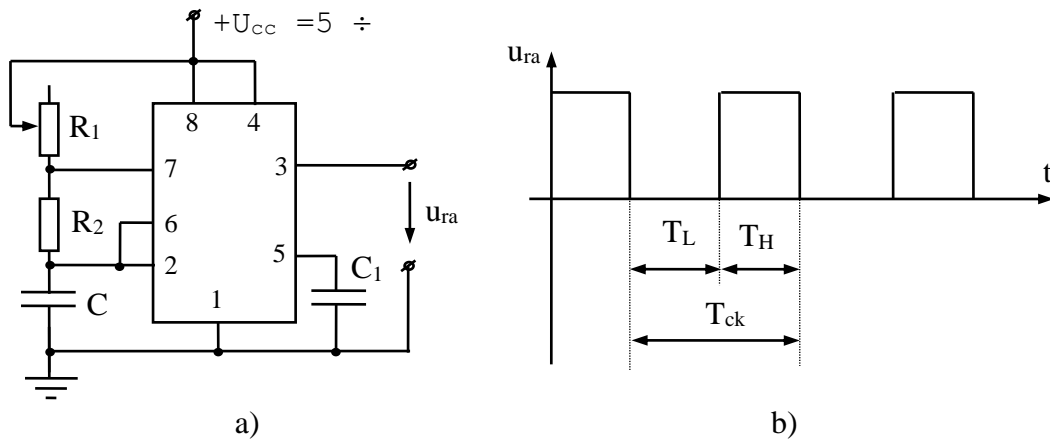
Hình 4.11: Sơ đồ nguyên lý mạch FSCĐ dùng KĐTT và đồ thị xung điện áp ra

$$T_{ck} = 2RC \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \quad (4.34)$$

Nếu ta chọn $R_2 \approx 0,86.R_1$ thì $\ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \approx 1$, khi đó: $T_{ck} = 2.R.C$.

Trị số biên độ các xung đầu ra bằng giá trị điện áp ra bão hoà của khuếch đại thuật toán và được ký hiệu là V_{sat} (hoặc U_{bh}).

b. Mạch phát sóng chủ đạo dùng vi mạch số 555



Hình 4.12: Sơ đồ nguyên lý mạch phát xung dùng vi mạch 555 và đồ thị điện áp ra

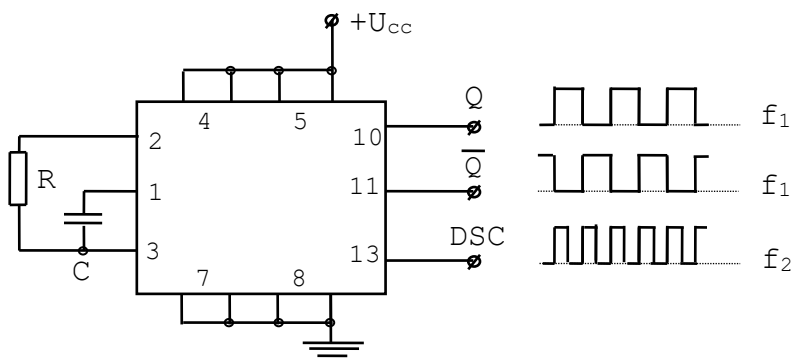
Sơ đồ mạch tạo xung dùng chip 555 như 4.12a. Đây là một sơ đồ đa hài phiếm định, nguồn cung cấp cho sơ đồ là $+U_{cc}$ có thể nằm trong khoảng từ 5 ÷ 15V một chiều. Điện trở điều chỉnh R_1 trong sơ đồ được dùng để điều chỉnh chu kỳ xuất hiện của xung điện áp ra, giá trị của R_1 có thể thay đổi từ 10 ÷ 1000 kΩ. Giá trị tụ điện C phải từ 0,1μF trở lên. Dạng điện áp ra là các xung vuông một cực tính được biểu diễn trên hình 4.12b. Chu kỳ của xung ra được xác định như sau:

$$T_{ck} = T_H + T_L .$$

Trong đó T_H được gọi là thời gian mức cao và $T_H = 0,693(R_1 + R_2)C$; còn T_L được gọi là thời gian mức thấp và $T_L = 0,693R_2C$.

c. Mạch phát xung chủ đạo dùng IC số 4044

Trong trường hợp cần các xung điều khiển với chu kỳ khác nhau, ví dụ khi sử dụng sơ đồ 4, có thể sử dụng mạch phát xung chủ đạo như hình 4.13. Trong sơ đồ này có 3 đầu ra, hai đầu Q và \bar{Q} có các xung cùng tần số là f_1 với cực tính ngược nhau, các xung này có thể dùng để



Hình 4.13: Sơ đồ mạch phát xung dùng vi mạch số 4044 và dạng các tín hiệu đầu ra

khống chế mạch phát xung cho các thyristor phụ ($T_2 \div T_4$, sơ đồ hình 4.2d). Đầu ra thứ ba (đầu ra DSC) có các xung với tần số f_2 gấp hai lần tần số hai kênh kia ($f_2 = 2f_1$), xung ở đầu ra này có thể dùng để làm tín hiệu khống chế kênh phát xung cho thyristor chính T_1 . Tần số xung đầu ra của sơ đồ xác định theo các biểu thức sau:

$$f_1 = \frac{1}{4,4RC}; \quad f_2 = \frac{1}{2,2RC} \quad (4.35)$$

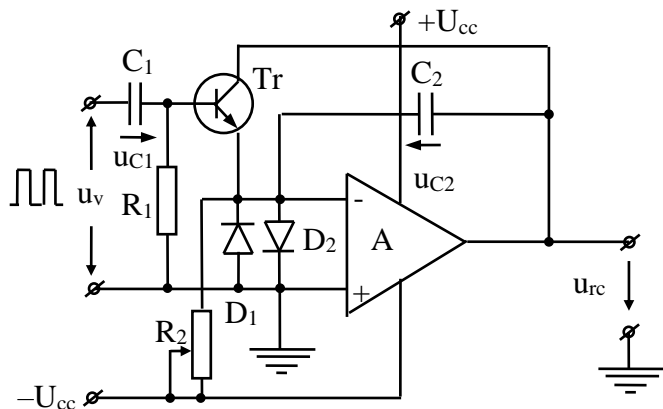
Ngoài các sơ đồ trên ta có thể sử dụng rất nhiều sơ đồ phát xung khác mà trong giới hạn của chương trình môn học ta chưa xét đến.

4.4.2.3. Khâu phát sóng răng cưa

Các mạch phát sóng răng cưa trong hệ thống điều khiển này về cơ bản cũng giống các mạch tạo điện áp răng cưa của hệ thống phát xung điều khiển bộ chỉnh lưu và bộ biến đổi điện áp xoay chiều sử dụng nguyên tắc không chế pha đứng. Tín hiệu đóng vai trò tín hiệu đồng bộ là xung ra của khối phát xung chủ đạo. Có nhiều sơ đồ khác nhau có thể dùng làm mạch phát điện áp răng cưa, sau đây là một sơ đồ trong số đó.

a. Sơ đồ nguyên lý

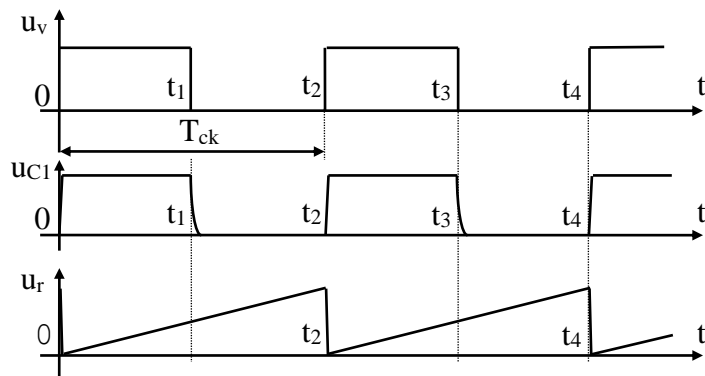
Hình 4.14 biểu diễn sơ đồ nguyên lý mạch tạo điện áp răng cưa bằng vi mạch khuếch đại thuật toán A. Tín hiệu không chế sự làm việc của sơ đồ là xung điện áp đầu ra của mạch phát sóng chủ đạo, nó được đưa qua mạch vi phân bằng C_1 rồi đến cực gốc Transistor Tr. Các đi ốt D_1, D_2 dùng để bảo vệ đầu vào khuếch đại thuật toán. Các phần tử còn lại tương tự như các mạch tạo điện áp răng cưa đã xét.



Hình 4.14: Sơ đồ mạch tạo sóng răng cưa

b. Nguyên lý hoạt động của sơ đồ

Giả thiết, thời điểm $t = 0$ là thời điểm bắt đầu xuất hiện một xung điện áp đầu ra của khối phát sóng chủ đạo và trước đó điện áp trên tụ C_1 đang bằng không. Xung điện áp vào sẽ truyền qua C_1 làm mở Tr, tức C_2 sẽ phóng điện nhanh qua Tr mở (nếu trên C_2 đang có điện áp) đến điện áp bằng không. Do tụ C_1 có điện dung rất nhỏ nên transistor Tr hầu như chỉ mở trong một khoảng thời gian rất ngắn khi bắt đầu xuất hiện xung vào, sau đó do tụ C_1 được nạp đầy nên Tr khóa lại. Khi Tr khóa lại, tụ C_2 sẽ được nạp bởi dòng không đổi (giả thiết khuếch đại thuật toán là lý tưởng), dòng nạp tụ được xác định theo biểu thức:



Hình 4.15: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 4.14

$$u_{C_2} = \frac{1}{C_2} \int_0^t I d\tau = \frac{It}{C_2} = \frac{U_{cc}}{R_2 C_2} t, \quad (I = \frac{U_{cc}}{R_2}) \quad (4.36)$$

Do nạp bằng dòng không đổi nên điện áp trên tụ tăng tuyến tính theo thời gian. Đến thời điểm $t = t_1$ (t thường bằng $0,5T_{ck}$), mát xung đầu ra khỏi phát sóng chủ đạo, tức là mát xung đầu vào mạch tạo điện áp răng cưa, tụ C_1 sẽ phóng điện qua điện trở R_1 đến bằng không để chuẩn bị cho sự mở lần tiếp theo của Tr khi xuất hiện xung vào tiếp theo. Đến thời điểm $t_2 = T_{ck}$, lại xuất hiện xung vào tiếp theo và tụ C_1 lại được nạp, Tr lại mở nên tụ C_2 phóng nhanh qua Tr đến điện áp bằng không, sau đó Tr khóa lại tụ C_2 lại được nạp. Các chu kỳ tiếp theo sự làm việc của sơ đồ diễn ra tương tự. Điện áp răng cưa đầu ra của sơ đồ bằng điện áp trên tụ C_2 . Đồ thị dạng điện áp vào ra minh họa sự làm việc của sơ đồ được

4.4.2.4. Mạch điện các khâu khác

Để có một mạch phát xung điều khiển đầy đủ thì ngoài các mạch phát sóng chủ đạo, mạch tạo điện áp răng cưa như đã nêu ta cần phải có một số mạch điện khác như: mạch so sánh; mạch sửa xung; mạch khuếch đại và truyền xung. Các phần mạch này có nguyên tắc hoạt động hoàn toàn tương tự như các mạch sử dụng trong hệ thống điều khiển bộ chỉnh lưu và BBD xoay chiều - xoay chiều, vì vậy trong mục này sẽ giới thiệu nữa.

4.4.2.5. Một ví dụ về hệ thống điều khiển BBD PWM

a. Sơ đồ nguyên lý

Hình 4.16 là một sơ đồ mạch điện hệ thống điều khiển BBD một chiều - một chiều điều chế độ rộng xung dùng hai thyristor (thyristor chính T_1 và thyristor phụ T_2). Trong sơ đồ sử dụng sơ đồ phát sóng chủ đạo bằng vi mạch số 555. Tín hiệu ra của mạch phát sóng chủ đạo u_{x1} được chia làm 2 đường:

- Đường thứ nhất đưa đến khối chế khối gia công xung thứ nhất GCX1 để tạo xung điều khiển T_1 (gồm: mạch sửa xung bằng Tr1, Tr2, tụ C_5 và các phần tử liên quan; mạch khuếch đại xung và truyền xung dùng Tr3, máy biến áp xung BAX₁);

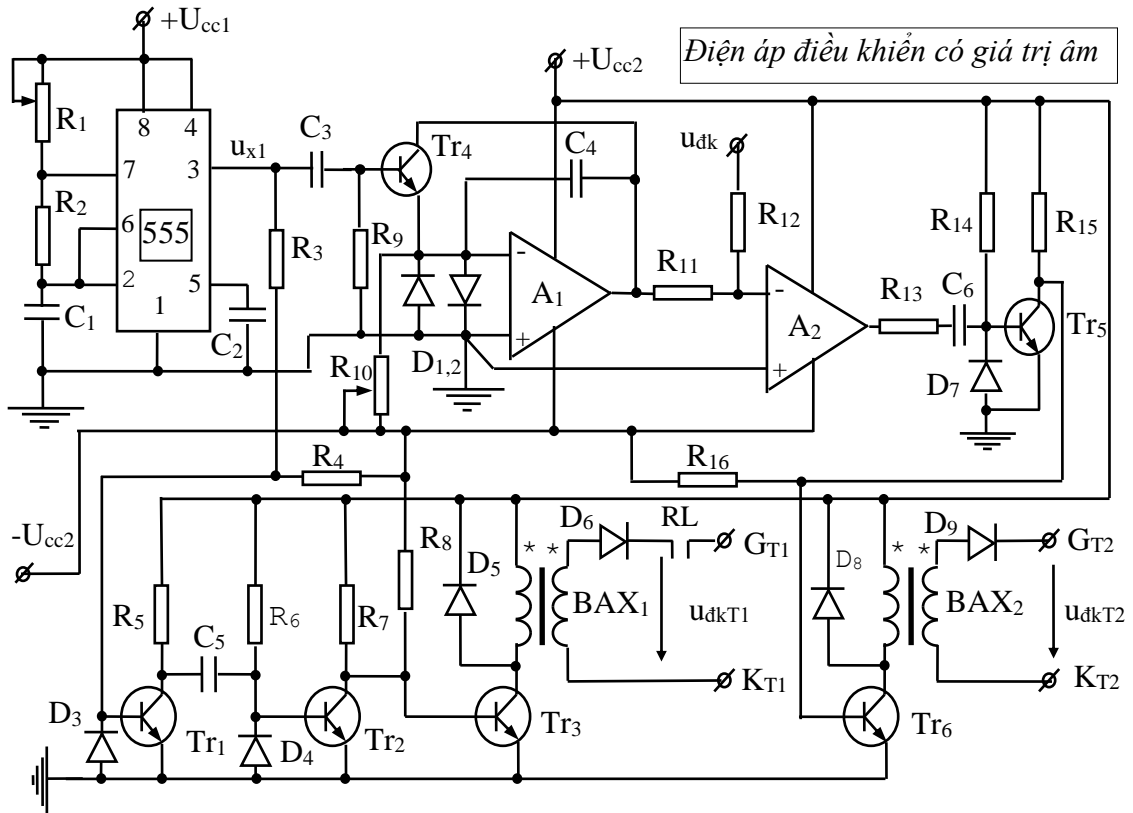
- Đường thứ hai đưa đến kênh phát xung cho thyristor phụ T_2 gồm: mạch tạo điện áp răng cưa dùng khuếch đại thuật toán A_1 , transistor Tr4 và các phần tử thụ động khác (C_3, C_4, R_9, R_{10}); mạch so sánh dùng khuếch đại thuật toán A_2 ; khối gia công xung thứ hai GCX2 gồm mạch sửa xung dùng mạch $R_{13}-C_6$ kết hợp với transistor Tr5, mạch khuếch đại và truyền xung dùng transistor Tr6, máy biến áp xung BAX₂.

Tiếp điểm thường mở của rơ le RL (rơ le khởi động hệ thống) mắc nối tiếp giữa thứ cấp máy biến áp xung BAX₁ và cực điều khiển của thyristor chính T_1 được sử dụng để khởi động BBD và có tác dụng không chế quá trình nạp điện ban đầu cho tụ điện chuyên mạch.

b. Nguyên lý làm việc

- Nguyên lý làm việc của kênh điều khiển thyristor T_1 :

Khi chưa có xung ra của FSCĐ (ví dụ lân cận trước $t = 0$), Tr_1 khóa, tụ C_5 được nạp



Hình 4.16: Sơ đồ một mạch tạo xung điều khiển BĐ PWM dùng thyristor

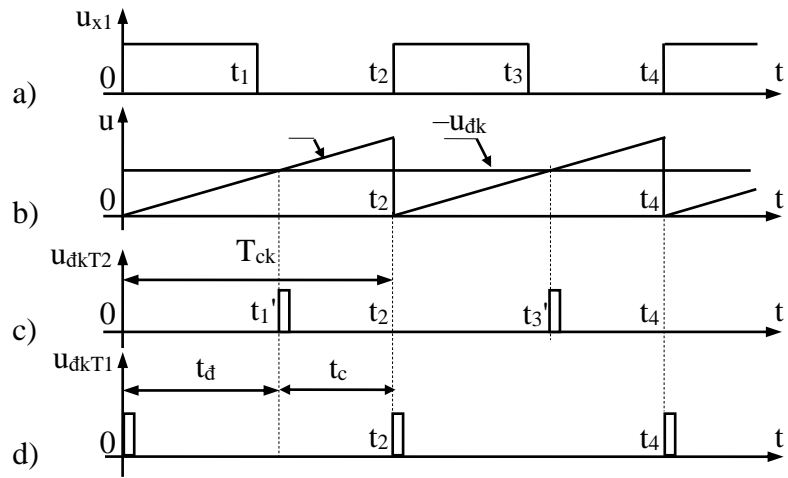
bởi nguồn điện áp $+U_{cc2}$ đến đây (có giá trị xấp xỉ U_{cc2}) qua mạch $R_5 - C_5$ - mạch góc, phát Tr_2 , Tr_2 mở bão hòa nên Tr_3 khóa và chưa có xung điều khiển T_1 . Tại thời điểm bắt đầu xuất hiện một xung điện áp đầu ra khỏi phát sóng chủ đạo (ví dụ tại thời điểm $t = 0$), xung này được truyền qua R_3 đến cực gốc Tr_1 làm mở, do Tr_1 mở nên tụ C_5 phóng điện qua Tr_1 làm khóa Tr_2 , Tr_2 khóa làm xuất hiện xung không chế mở Tr_3 và có xung trên cuộn thứ cấp máy biến áp xung BAX_1 (xuất hiện $u_{đkT1}$). Quá trình phóng điện qua Tr_1 làm cho điện áp trên tụ C_5 giảm dần, khi điện áp trên C_5 bằng không, Tr_2 mở trở lại nhờ điện trở định thiên R_6 , Tr_2 mở làm cho Tr_3 khóa lại, mất xung điều T_1 . Đến $t = t_1$, mất xung ra khỏi FSCĐ, Tr_1 khóa lại, tụ C_5 lại được nạp để chuẩn bị cho quá trình khóa Tr_2 , mở Tr_3 ở đầu chu kỳ tiếp theo. Đến $t = T_{ck}$, xuất hiện xung ra tiếp theo của khối FSCĐ, Tr_1 lại mở, dẫn đến Tr_2 khóa lại và Tr_3 lại mở, xuất hiện xung điều khiển T_1 .

- Nguyên lý làm việc của kênh điều khiển thyristor T_2 :

⊕ Nguyên lý mạch điện áp răng cưa: Khi chưa có xung ra của FSCĐ (ví dụ lân cận trước $t = 0$), Tr_4 khóa, tụ C_4 đang được nạp điện. Tại $t = 0$, xuất hiện xung ra khỏi FSCĐ. Tín hiệu u_{x1} được truyền qua tụ C_3 làm mở Tr_4 , tụ C_4 phóng nhanh qua Tr_4 đến điện áp bằng không trước khi Tr_4 khóa lại. Như đã biết, do tụ C_3 có dung lượng rất nhỏ nên nhanh chóng được nạp đầy bởi điện áp u_{x1} và Tr_4 khóa lại, tụ C_4 được nạp bởi dòng không đổi và điện áp trên tụ thay đổi theo quy luật đường thẳng. Đến $t = t_1$, mất xung ra của khối FSCĐ ($u_{x1} = 0$), tụ C_3 phóng điện đến điện áp bằng không, chuẩn bị điều kiện để mở lại Tr_4 khi

xuất hiện xung ra khỏi FSCĐ. Đến $t = t_2 = T_{ck}$, lại xuất hiện xung ra khỏi FSCĐ, Tr_4 mở và C_4 lại phóng điện qua Tr_4 , ... Quá trình diễn ra lặp đi lặp lại mang tính chu kỳ, đồ thị điện áp rãnh cửa (điện áp đầu ra A_1) được minh họa trên hình 4.17b.

⊕ Nguyên lý làm việc khối so sánh, sửa xung, khuếch đại và truyền xung: Từ $t = 0$ đến $t < t_1'$, điện áp trên đầu vào khối so sánh bằng khuếch đại thuật toán A_2 âm do trị số tuyệt đối của điện áp điều khiển u_{dk} lớn hơn u_{rc} (u_{dk} là điện áp âm), nên trên đầu ra A_2 có điện áp bằng U_{bh} (điện áp



Hình 4.17: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 4.16

ra bão hòa của KĐTT A_2), điện áp này sẽ nạp cho tụ C_6 đến đầy, đồng thời trong khoảng thời gian này Tr_5 mở bão hòa nhờ dòng định thiên qua điện trở R_{14} , nên T_6 khóa, chưa có xung bên thứ cấp của BAX_2 (chưa có xung điều khiển T_2). Đến thời điểm $t = t_1'$, u_{rc} tăng lên bằng trị tuyệt đối của u_{dk} và sau đó trở nên lớn hơn, điện áp trên đầu vào A_2 bằng không và sau đó đổi sang dương, do vậy, trên đầu ra A_2 điện áp cũng đổi dấu và nhanh chóng thay đổi (gần như tức thời) từ U_{bh} sang $-U_{bh}$. Sự thay đổi của điện áp trên đầu ra khối so sánh làm cho tụ C_6 phóng điện theo mạch: $A_2 - (-U_{cc2}) -$ mát - D_7 , tạo nên trên mạch gốc-phát Tr_5 một điện áp ngược làm cho Tr_5 khóa lại, dẫn đến Tr_6 mở và xuất hiện xung điều khiển T_2 (xuất hiện u_{dkT2}). Tụ C_6 sau khi phóng đến điện áp bằng không sẽ được nạp ngược lại theo mạch vòng đó và điện áp trên nó đổi dấu và tăng dần, khi điện áp trên tụ đạt đến một trị số nào đó (tùy thuộc trị số nguồn nuôi và tham số các phần tử trong sơ đồ) thì Tr_5 lại mở, Tr_6 khóa lại, kết thúc độ dài xung điều khiển T_2 . Đến thời điểm $t = t_2 = T_{ck}$, u_{rc} giảm về không, điện áp trên đầu vào A_2 lại chuyển về âm, điện áp trên đầu ra A_2 thay đổi thành U_{bh} , tụ C_6 phóng điện qua mạch gốc-phát Tr_5 , nguồn U_{cc2} và A_2 rồi được nạp lại đến điện áp xấp xỉ U_{bh} để chuẩn bị cho việc khóa Tr_5 ở chu kỳ làm việc tiếp theo (tại $t = t_2'$). Đồ thị xung điều khiển T_1 và T_2 được biểu diễn trên hình 4.17. Từ đồ thị có thể xác định được thời gian một chu kỳ đóng cắt T_{ck} , thời gian một lần đóng t_d , thời gian một lần cắt t_c . Cũng từ đồ thị suy ra: việc điều chỉnh t_d (hay điều chỉnh γ) được thực hiện bằng cách thay đổi độ lớn của điện áp điều khiển một chiều u_{dk} : $|u_{dk}|$ tăng dẫn đến t_d tăng và ngược lại.

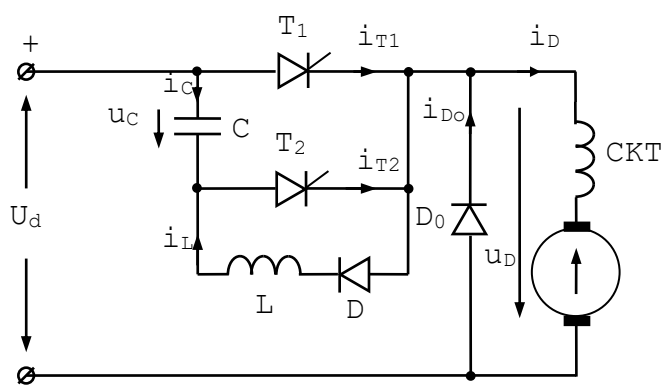
4.5. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA BBD MỘT CHIỀU - MỘT CHIỀU

4.5.1. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

Hiện nay các hệ điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều sử dụng BBD một chiều - một chiều rất phổ biến. Trong lĩnh vực công suất nhỏ và trung bình chủ yếu sử dụng các BBD một chiều - một chiều dùng transistor. Ở phạm vi công suất lớn, đặc biệt là công suất rất lớn thường vẫn sử dụng các BBD dùng thyristor. Trong mục này chỉ giới thiệu một số ứng dụng dùng BBD bằng thyristor.

4.5.1.1. Sơ đồ động cơ làm việc ở chế độ động cơ

Sơ đồ nguyên lý hệ phân mạch lực của hệ thống được minh họa trên hình 4.18. Trong sơ đồ, động cơ điện là động cơ một chiều kích từ nối tiếp, nó có đặc điểm là cuộn dây kích từ có điện cảm lớn mắc nối tiếp trong mạch phản ứng, điều này sẽ cho phép giảm giá trị điện cảm đưa vào mạch tải BBD (giảm được khối lượng và giá thành) và trong một số trường hợp có thể



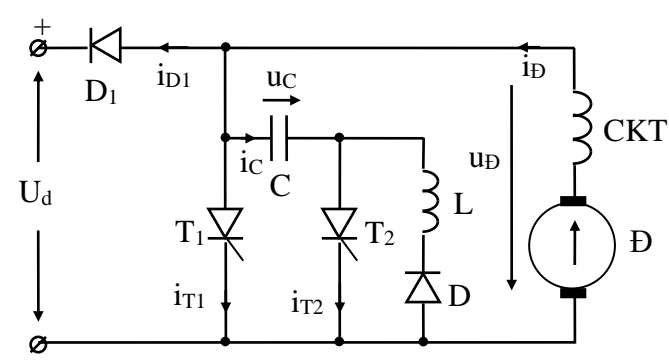
Hình 4.18: Sơ đồ động cơ làm việc ở chế độ động cơ

không phải dùng thêm điện cảm. BBD đối là dạng BBD một chiều không đảo chiều dùng thyristor. Hoạt động của BBD trong trường hợp này hoàn toàn như khi làm việc với phụ tải tổng quát chung đã xét. Nhờ điều chỉnh được giá trị trung bình của điện áp trên phần ứng động cơ dẫn đến điều chỉnh được tốc độ động cơ.

***Chú ý:** Có thể sử dụng các loại động cơ một chiều khác: động cơ kích từ độc lập hoặc hỗn hợp.

4.5.1.2 Sơ đồ động cơ làm việc ở chế độ hãm tái sinh

Trong hệ thống truyền động xung điện áp - động cơ một chiều (XĐA-Đ), ngay cả khi sử dụng BBD bằng thyristor không đảo chiều dòng, ở điều kiện phù hợp, có thể thay đổi cách đấu nối giữa BBD và động cơ để chuyển động cơ từ chế độ động cơ sang các chế độ hãm, trong đó có chế độ hãm tái sinh. Sơ đồ nguyên lý mạch lực hệ thống để thực hiện hãm tái sinh động cơ được biểu diễn trên hình 4.9, trong trường hợp này cần có thêm đi ốt D₁ trong mạch nguồn một chiều mắc như hình vẽ.

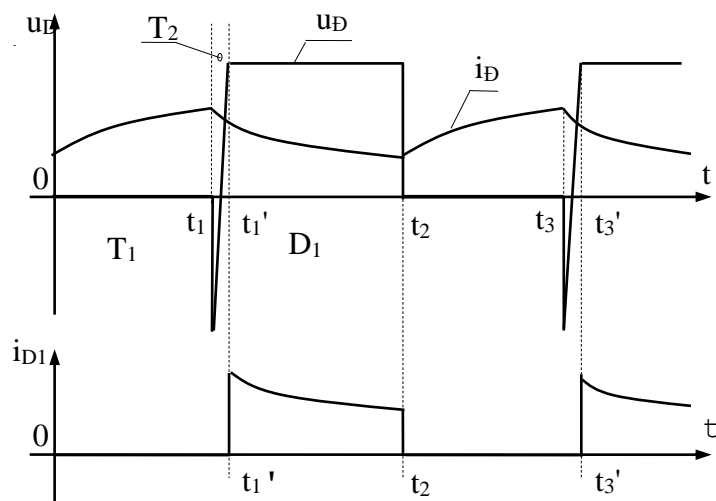


Hình 4.19: Sơ đồ động cơ làm việc ở chế độ hãm tái sinh

Nguyên lý làm việc của sơ đồ: Trong trường hợp này s.đ.đ. động cơ là yếu tố tạo nên dòng điện trong sơ đồ. Giả thiết từ $t = 0$ đến $t = t_1$ thì thyristor T₁ mở, s.đ.đ. động cơ được

nối kín mạch qua van T_1 và tổng trở mạch phản ứng (điện trở phần phản ứng R_σ và tổng điện cảm mạch phản ứng L_D gồm điện cảm của cuộn kích từ động cơ CKT, điện cảm cuộn dây phản ứng và trong các trường hợp khác còn có thể có thêm điện cảm được đưa vào để san bằng dòng phản ứng động cơ), nên dòng điện qua phần ứng động cơ, điện cảm L_D và van T_1 sẽ tăng dần, trong điện cảm L_D sẽ tích lũy thêm một năng lượng. Đồng thời, trong khoảng thời gian đó, tụ điện C cũng đã được nạp đến điện áp: $u_C = -U_d$. Tại $t = t_1$ van T_2 nhận được xung điều khiển và T_2 sẽ mở. Van T_2 mở, tụ điện C phóng điện qua T_2 và qua phần ứng động cơ điện áp trên C tạo nên gây nên điện áp ngược trên van T_1 làm cho T_1 khóa lại. Tụ điện C sau khi phóng đến điện áp bằng không thì sẽ được nạp ngược lại nhờ s.đ.đ. động cơ và s.đ.đ. tự cảm trong điện cảm tổng của mạch phản ứng động cơ (L_D), nên điện áp trên C sẽ tăng dần theo chiều dương. Điện áp trên tụ vượt qua giá trị s.đ.đ. động cơ (thông thường $E_D < U_d$) và tiếp tục tăng thêm (nhờ s.đ.đ. tự cảm sinh ra trong L_D). Đến thời

điểm $t = t_1'$ thì $u_C = U_d$ và có xu hướng lớn hơn, dẫn đến D_1 được phân cực thuận và mở. Điốt D_1 mở, xuất hiện dòng điện từ phía động cơ đi qua D_1 và nguồn một chiều U_d , với chiều dòng qua nguồn như đã nêu thì nguồn U_d tiếp nhận một năng lượng điện từ phía động cơ chuyển sang. Khi D_1 dẫn dòng thì điện áp trên động cơ bằng U_d và lúc này tụ điện C sẽ ngừng nạp và giữ nguyên giá trị điện áp như vậy ($u_C = U_d$), dòng qua C và T_2 sẽ



Hình 4.20: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 4.19

giảm về không, van T_2 tự khóa lại. Trong giai đoạn D_1 dẫn dòng thì do tác dụng ngược chiều của U_d mà dòng qua phần ứng động cơ sẽ giảm dần. Đến thời điểm $t = t_2 = T_{ck}$, bắt đầu chu kỳ đóng cắt mới, van T_1 lại nhận được tín hiệu điều khiển, van T_1 lại mở, mạch phản ứng động cơ lại được nối kín mạch qua T_1 nên $u_D = u_{T1} = 0$, dẫn đến D_1 bị đặt điện áp ngược nên khóa lại. Van T_1 mở thì tụ C sẽ phóng điện qua T_1 - qua D - qua L và sau đó sẽ được nạp theo chiều ngược lại đến $u_C = -U_d$. Quá trình trong sơ đồ cứ diễn ra lặp đi lặp lại mang tính chất chu kỳ. Trong một chu kỳ làm việc của BĐĐ quá trình biến đổi năng lượng trong mạch diễn ra qua 2 giai đoạn chính:

- Trong giai đoạn T_1 mở thì động cơ phát ra điện năng và phần lớn điện năng này được nạp vào điện cảm tổng trong mạch phản ứng động cơ (trừ đi phần tổn hao trên điện trở R_σ và trên van T_1).

- Trong giai đoạn T_1 khóa và D_1 mở thì động cơ cũng phát ra điện năng, đồng thời năng lượng tích lũy trong điện cảm tổng ở mạch phản ứng động cơ cũng được giải phóng

và phần lớn năng lượng đó được chuyển vào nguồn điện áp một chiều U_d (trừ đi phần tổn hao trên điện trở R_r và trên van D_1).

Như vậy, trong trường hợp này, thông qua sự làm việc của BBD một chiều - một chiều mà động cơ đã thực hiện quá trình biến cơ năng trên trục động cơ (thế năng của phụ tải cơ học hoặc động năng tích lũy được trong hệ thống truyền động) thành điện năng chuyển vào nguồn cung cấp một chiều. Điều này có nghĩa rằng động cơ một chiều làm việc ở chế độ hãm tái sinh.

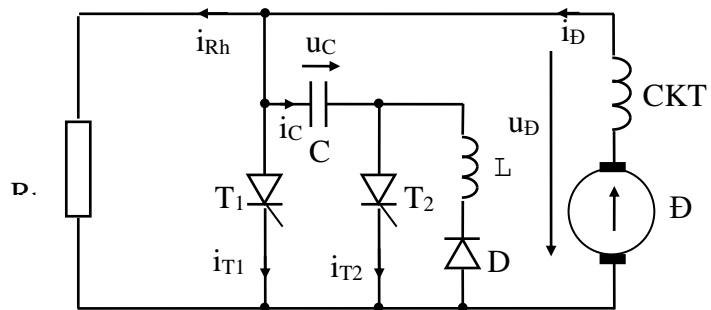
Từ hoạt động của sơ đồ cho thấy: với việc đấu nối và điều khiển sự làm việc của hệ thống truyền động điện XĐA-Đ một cách phù hợp, có thể thực hiện được quá trình hãm tái sinh động cơ một chiều trong hệ thống trên, kể cả khi động cơ điện là động cơ một chiều kích từ nối tiếp, là loại động cơ mà về mặt lý thuyết không có chế độ hãm tái sinh nếu đấu nối động cơ theo sơ đồ thông thường.

***Chú ý:** Do dòng phản ứng động cơ trong chế độ hãm ngược chiều với chế độ động cơ nên khi sử dụng động cơ một chiều kích từ nối tiếp, để động cơ làm việc ở chế độ hãm cần phải thay đổi cực tính cuộn kích thích phù hợp đảm bảo chiều s.đ.đ. động cơ được giữ không đổi.

4.5.1.3. Sơ đồ động cơ làm việc ở chế độ hãm động năng

Để tăng hiệu quả hãm động năng động cơ một chiều người ta ứng dụng BBD một chiều - một chiều và mắc theo sơ đồ như hình 4.21.

Nguyên lý hoạt động của sơ đồ trong một chu kỳ làm việc của BBD có thể được mô tả như sau: Giả thiết, thời điểm $t = 0$, T_1 nhận được xung điều khiển và mở, s.đ.đ. động cơ tạo ra dòng điện qua điện cảm tổng trong mạch phản ứng và van T_1 (trước đó trên tụ điện C đã được nạp điện áp xấp xỉ giá trị s.đ.đ. động cơ), đồng thời tụ điện C cũng phóng điện qua T_1 - qua D - qua L và sau đó được nạp ngược lại để chuẩn bị cho quá trình khóa T_1 khi mở T_2 . Đến $t = t_1 = t_d$, T_2 nhận được xung điều khiển và mở. Van T_2 mở, tụ điện C sẽ phóng điện qua T_2 và mạch song song gồm phần ứng động cơ và điện trở hãm, điện áp trên tụ đặt ngược lên T_1 làm cho T_1 khóa lại. Khi C phóng đến điện áp bằng không thì sẽ được nạp ngược lại (điện áp trên C chuyển sang dương) và khi điện áp trên C đạt giá trị sức điện động động cơ thì quá trình nạp ngược lại của tụ kết thúc, dòng qua tụ và van T_2 bằng không, T_2 tự khóa. Khi T_2 khóa, trong mạch chỉ còn lại dòng điện qua điện trở hãm R_h do s.đ.đ. động cơ tạo ra. Đến $t = t_2 = T_{ck}$, van T_1 lại nhận được tín hiệu điều khiển và lại mở, sơ đồ chuyển sang chu kỳ làm việc tiếp theo. Với hoạt động của sơ đồ như đã nêu, rõ ràng động cơ làm việc ở chế độ hãm động năng trong tất cả các giai



Hình 4.21: Sơ đồ động cơ làm việc ở chế độ hãm động năng

đoạn làm việc của BBD, tuy nhiên, khi bỏ qua khoảng thời gian phóng và nạp ngược lại của tụ điện C qua T₂ mở, có thể chia một chu làm việc của BBD ra hai giai đoạn: giai đoạn T₁ mở, điện trở hãm động năng coi như bằng không và giai đoạn T₁ khóa, điện trở hãm bằng R_h. Như vậy, sự kết hợp giữa BBD một chiều - một chiều và điện trở hãm R_h tạo nên điện trở hãm dạng xung, và điện trở hãm tương đương có thể xác định theo biểu thức:

$$R_{htd} = \frac{t_c}{T_{ck}} = \frac{T_{ck} - t_d}{T_{ck}} R_h = (1 - \gamma) R_h \quad (4.37)$$

với $\gamma = \frac{t_d}{T_{ck}}$.

Như vậy, BBD một chiều - một chiều và điện trở hãm R_h tương đương như một mạch xung điện trở. Khi điều chỉnh sự làm việc của BBD một cách thích hợp sẽ cho phép ta thay đổi được điện trở và sẽ nhận được dòng hãm yêu cầu khi s.đ.đ. động cơ thay đổi (do tốc độ động cơ thay đổi).

4.5.2. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ XOAY CHIỀU KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA BẰNG PHƯƠNG PHÁP XUNG ĐIỆN TRỞ TRONG MẠCH ROTOR

4.5.2.1 Sơ đồ nguyên lý

Sơ đồ nối động cơ và BBD như hình 4.22, trong sơ đồ có:

⊕ ĐK là động cơ xoay chiều không đồng bộ ba pha rotor dây quấn.

⊕ CL là cầu chỉnh lưu ba pha không điều khiển dùng để biến s.đ.đ. xoay chiều mạch rotor động cơ thành điện áp một chiều đặt lên BBD một chiều - một chiều.

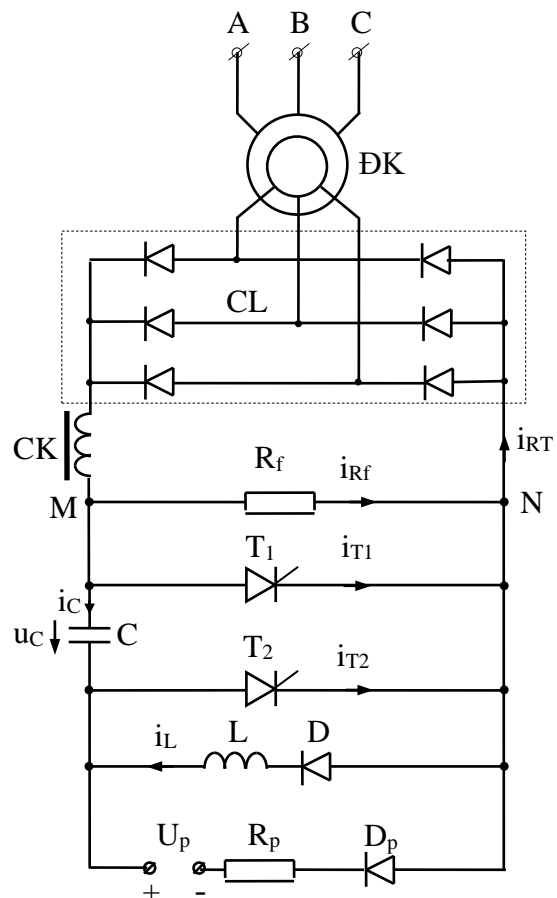
⊕ CK là cuộn kháng dùng để san bằng (lọc) dòng chỉnh lưu.

⊕ R_f là điện trở phụ.

⊕ Các phần tử BBD một chiều - một chiều gồm T₁, T₂, C, L, D và mạch nạp phụ cho tụ điện C gồm nguồn một chiều phụ U_p, điện trở R_p và đi ốt D_p.

4.5.2.2 Nguyên lý điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK

Sự hoạt động của BBD một chiều - một chiều trong sơ đồ này cũng hoàn toàn tương tự như các sơ đồ đã xét. Chỉ phải lưu ý



Hình 4.17: Sơ đồ điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ ba pha (ĐK) rotor dây quấn bằng phương pháp xung điện trở mạch rotor

một vấn đề là điện áp nạp cho tụ C trong trường hợp chung là nguồn cung cấp cho BBĐ và ở đây là điện áp đầu ra của cầu chỉnh lưu không điều khiển. Vì vậy khi tốc độ của động cơ cao (gần bằng tốc độ đồng bộ) thì s.đ.đ. mạch rotor rất nhỏ nên điện áp chỉnh lưu cũng rất nhỏ không đủ điều kiện để T_1 phục hồi tính chất điều khiển. Để đảm bảo cho sơ đồ làm việc bình thường thì trong sơ đồ này cần bố trí thêm một mạch nạp phụ cho tụ điện C.

Nguyên lý điều chỉnh tốc độ động cơ như sau:

Nếu gọi điện trở giữa 2 điểm M và N là r_{MN} thì: trong khoảng thời gian T_1 mở (tương ứng khóa K đóng), điện trở $r_{MN} = 0$; còn trong khoảng thời gian T_1 khóa (tương ứng khóa K cắt), điện trở tương đương $r_{MN} = R_f$. Vậy giá trị trung bình của điện trở giữa 2 điểm M và N là:

$$R_{MNtb} = \frac{t_c}{T_{ck}} R_f = \frac{T_{ck} - t_d}{T_{ck}} R_f = (1 - \gamma) R_f \quad (4.38)$$

Như vậy điện trở tương đương trong mỗi pha mạch rotor động cơ sẽ là:

$$R_{fR} = k_{sd} \cdot R_{MNtb} = k_{sd} \cdot R_f \cdot (1 - \gamma) \quad (4.39)$$

Trong đó k_{sd} là hệ số phụ thuộc sơ đồ chỉnh lưu. Từ đó có thể thấy rằng, khi điều chỉnh chế độ làm việc của BBĐ, tức là điều chỉnh γ sẽ điều chỉnh được giá trị điện trở tương đương trong mỗi pha mạch rotor và như vậy sẽ điều chỉnh được tốc độ động cơ ĐK.

Ưu điểm của phương pháp này so với phương pháp điều chỉnh điện trở phụ thông thường là cho phép điều chỉnh trơn tốc độ động cơ và có khả năng áp dụng hệ thống kín (hệ có phản hồi) để cải thiện chất lượng hệ thống.

BỘ BIẾN ĐỔI MỘT CHIỀU - MỘT CHIỀU

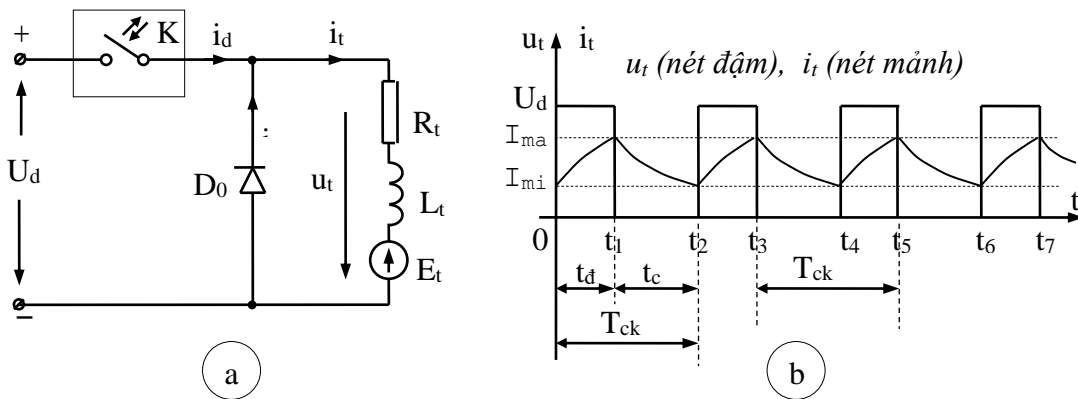
(Bộ biến đổi xung điện áp)

4.1. KHÁI NIỆM CHUNG

4.1.1. KHÁI NIỆM, NGUYÊN TẮC CHUNG VÀ PHÂN LOẠI

4.1.1.1. Khái niệm và nguyên tắc hoạt động của bộ biến đổi

Trong thực tế kỹ thuật, nhiều trường hợp nguồn điện là một chiều, ví dụ như hệ thống ắc quy, hệ thống pin mặt trời, v.v... Nếu phụ tải điện là các thiết bị làm việc với nguồn một chiều có yêu cầu điều chỉnh giá trị điện áp, trong trường hợp này cần có các BBD thực hiện nhiệm vụ biến đổi điện áp một chiều không đổi thành điện áp một chiều có giá trị điều chỉnh được. Để thực hiện biến đổi điện áp một chiều có giá trị không đổi thành điện áp một chiều giá trị khác có nhiều phương pháp thực hiện khác nhau, trong đó phương pháp thực hiện biến đổi điện áp một chiều không đổi thành một chuỗi xung với biên độ bằng nhau và độ dài các xung có thể điều khiển được là phương pháp được áp dụng phổ biến nhất, đặc biệt là khi công suất trung bình và lớn, vì phương pháp này cho hiệu suất cao, có khả năng điều chỉnh tron điện áp một chiều đầu ra trong giới hạn rộng. BBD áp dụng phương trên được gọi là BBD một chiều - một chiều hay còn gọi là BBD xung điện áp. Để làm rõ, sau đây sẽ giới thiệu nguyên tắc hoạt động của một dạng BBD thiết kế theo phương pháp này (BBD một chiều - một chiều giảm áp, không đảo chiều). Sơ đồ dùng để giới thiệu nguyên tắc hoạt động của BBD được mô tả trên hình 4.1.



Hình 4.1: Sơ đồ nguyên tắc chung (a) và dạng điện áp, dòng điện trên tải (b) của BBD một chiều - một chiều

Trong sơ đồ, khóa đóng cắt K đặc trưng cho phần cơ bản của BBD một chiều - một chiều; phụ tải gồm các phần tử: s.đ.đ phụ tải E_t (còn được gọi là sức phản điện động), điện trở tải R_t và điện cảm phụ tải L_t (thường gồm tự cảm của tải, ví dụ như điện cảm cuộn dây phần ứng động cơ một chiều, và điện cảm của cuộn kháng đưa thêm vào mạch để san bằng dòng tải); điốt ngược D_0 (còn gọi là điốt không). Điện áp nguồn một chiều cung cấp cho BBD ký hiệu là U_d thường có giá trị không đổi. Dòng qua khóa đóng cắt K đồng thời là

dòng nguồn ký hiệu là i_d . Dòng qua điốt ngược ký hiệu là i_{D_0} . Dòng và áp trên tải ký hiệu là i_t và u_t . Điện áp trên D_0 là $u_{D_0} = -u_t$ giống như đi ốt không trong sơ đồ chỉnh lưu.

Nguyên tắc hoạt động của BBD trong chế độ xác lập như sau: Người ta điều khiển đóng - cắt khóa K theo một chu kỳ nào đó. Ví dụ trong khoảng từ $t = 0$ đến $t = t_1$ đóng K, trên tải sẽ được đặt điện áp bằng U_d và có dòng từ nguồn qua khóa K và qua tải. Phương trình vi phân để xác định dòng qua tải trong giai đoạn này là:

$$R_t i_t + L_t \frac{di_t}{dt} + E_t = U_d \quad (4.1)$$

Dòng qua tải sẽ tăng từ giá trị I_{\min} đến bằng I_{\max} tại $t = t_1$, trong khoảng thời gian này trên D_0 có điện áp ngược và D_0 không làm việc. Tại thời điểm $t = t_1$, thực hiện cắt khóa K, điện áp nguồn một chiều U_d được tách khỏi mạch tải, s.đ.đ. tự cảm xuất hiện trong điện cảm phụ tải L_t sẽ làm mở van D_0 và dòng tải sẽ được duy trì qua D_0 . Phụ thuộc vào chế độ làm việc cũng như thông số các phần tử phụ tải mà có thể xảy ra 2 chế độ làm việc tương tự như với sơ đồ chỉnh lưu.

Nếu giá trị L_t đủ lớn, giá trị dòng tải không quá nhỏ thì năng lượng tích lũy được trong L_t ở giai đoạn K đóng đủ để duy trì dòng tải trong giai đoạn K cắt và đến thời điểm đóng lại khóa K ($t = t_2$) dòng tải vẫn còn, đây là chế độ dòng điện tải liên tục. Trong giai đoạn K cắt, dòng tải sẽ giảm dần từ I_{\max} xuống bằng I_{\min} ở thời điểm $t = t_2$. Tại $t = t_2$, điều khiển đóng lại khóa K, nguồn một chiều U_d lại được đấu vào phụ tải, dòng tải lại tăng, quá trình sẽ tiếp diễn lặp đi lặp lại mang tính chất chu kỳ, đồ thị dòng và áp trên tải của trường hợp này được minh họa trên hình 4.1b.

Trường hợp do L_t quá nhỏ, hoặc do dòng tải quá nhỏ (tải nhỏ hoặc không tải) thì năng lượng tích lũy trong L_t không đủ để duy trì dòng tải đến thời điểm đóng lại khóa K, chế độ dòng điện tải là gián đoạn. Khi sơ đồ làm việc ở chế độ dòng tải gián đoạn, dòng tải khi cắt K sẽ giảm dần đến bằng không tại một thời điểm t_1' nào đó ($t_1' < t_2$). Trong giai đoạn $t = t_1 \div t = t_1'$, D_0 dẫn dòng, bỏ qua sụt áp trên đi ốt mở, $u_t = -u_{D_0} = 0$; trong giai đoạn từ $t = t_1'$ đến $t = t_2$, dòng tải bằng không, van D_0 khóa, điện áp trên tải giai đoạn này bằng s.đ.đ. phụ tải ($u_t = E_t$). Phương trình vi phân để tìm dòng tải khi van D_0 dẫn dòng là:

$$R_t i_t + L_t \frac{di_t}{dt} + E_t = 0 \quad (4.2)$$

Các phụ tải một chiều nói chung thường chỉ làm việc tốt khi dòng tải liên tục, vì vậy cần phải phải tính toán sao cho khi BBD làm việc bình thường (dòng trung bình của tải từ 0,2 giá trị định mức trở lên), chế độ dòng điện tải là liên tục. Do vậy ta chủ yếu nghiên cứu sự làm việc của BBD ở chế độ dòng tải liên tục.

Với sơ đồ hình 4.1, để thực hiện chức năng khóa đóng cắt K thường sử dụng dụng cụ bán dẫn công suất, có thể là dụng cụ điều khiển không hoàn toàn (chỉ có khả năng điều khiển mở, không điều khiển khóa được) hoặc dụng cụ điều khiển hoàn toàn (có khả năng điều khiển cả mở và khóa).

4.1.1.2. Phân loại các BBD một chiều - một chiều

a. Phân loại theo hướng thay đổi của điện áp ra

- Bộ biến đổi một chiều - một chiều giảm áp: Điện áp đầu ra BBD chỉ điều chỉnh được từ giá trị điện áp nguồn (U_d) trở xuống.

- Bộ biến đổi một chiều - một chiều tăng áp: Điện áp đầu ra BBD chỉ điều chỉnh được từ giá trị điện áp nguồn (U_d) trở lên.

b. Phân loại theo loại dụng cụ được sử dụng

- Sử dụng các dụng cụ điều khiển hoàn toàn: GTO, transistor các loại.

- Sử dụng các dụng cụ điều khiển không hoàn toàn: thyristor.

c. Phân loại theo cực tính điện áp và dòng điện đầu ra (dòng và áp trên tải)

- BBD không đảo chiều.

- BBD có đảo chiều.

4.1.1.3. Điện áp trên tải khi BBD làm việc với chế độ dòng liên tục

Khi BBD làm việc ở chế độ dòng điện tải liên tục, đồ thị điện áp và dòng điện trên tải được minh họa trên hình 4.1b, từ đồ thị có thể tính được giá trị trung bình của điện áp trên tải như sau:

$$U_{tb} = \frac{1}{T_{ck}} \int_0^{t_d} u_t dt = \frac{U_d t_d}{T_{ck}} \quad (4.3a)$$

Trong đó: t_d là thời gian một lần đóng khóa K, t_c là thời gian một lần cắt của khóa K, T_{ck} là thời gian một chu kỳ đóng cắt của khóa K. Nếu đặt $\gamma = t_d/T_{ck}$, γ được gọi là độ rộng xung (còn gọi là tỉ số phân áp); $f = 1/T_{ck}$ là tần số xung thì biểu thức điện áp trung bình trên tải có thể viết:

$$U_{tb} = \gamma \cdot U_d = U_d \cdot t_d \cdot f \quad (4.3b)$$

4.1.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN BBD MỘT CHIỀU - MỘT CHIỀU

Từ các biểu thức (4.3a) và (4.3b) cho thấy: Muốn điều chỉnh giá trị trung bình điện áp trên tải có thể thực hiện bằng việc điều chỉnh giá trị t_d , hoặc điều chỉnh T_{ck} , hoặc điều chỉnh đồng thời cả t_d và T_{ck} . Phụ thuộc vào đại lượng được điều chỉnh, có ba phương pháp điều khiển sau:

- Phương pháp điều chỉnh độ rộng xung hay còn gọi là điều chế độ rộng xung và viết tắt từ tiếng Anh là PWM (Pulse Width Modulation): Giữ nguyên thời gian một chu kỳ đóng cắt $T_{ck} = t_d + t_c$ và điều chỉnh thời gian đóng t_d , tức là điều chỉnh độ rộng xung γ . BBD áp dụng phương pháp điều khiển này thường được gọi là BBD PWM

- Phương pháp điều chỉnh tần số xung hay còn gọi là điều chế tần số xung và viết tắt từ tiếng Anh là PFM (Pulse Frequency Modulation): Giữ nguyên thời gian đóng t_d , điều chỉnh thời gian chu kỳ T_{ck} , cũng tức là điều chỉnh tần số đóng cắt f .

- Điều khiển kiểu hai điểm: Đây là phương điều khiển giữ cho dòng tải chỉ dao động trong một giới hạn xác định tùy vào chế độ làm việc cụ thể. Khi dòng điện phụ tải nhỏ hơn một giá trị giới hạn dưới nào đó điều khiển đóng K, dẫn đến dòng điện tải sẽ tăng và khi dòng điện tải đạt tăng đạt tới một giá trị giới hạn trên nào đó, thực hiện cắt K, dòng tải giảm, và khi dòng tải giảm xuống bằng giá trị giới hạn dưới lại điều khiển đóng lại K, Thời gian đóng, thời gian cắt và tần số đóng cắt của K thay đổi theo giá trị dòng tải và đặc tính tải.

4.2. DÒNG VÀ ÁP TRÊN PHỤ TẢI CỦA BBD PWM

4.2.1. BIỂU THỨC DÒNG TẢI TRONG CHẾ ĐỘ XÁC LẬP

Khi BBD PWM làm việc ở chế độ xác lập, dòng và áp trên tải sẽ lặp đi lặp lại mang tính chất chu kỳ, với chu kỳ bằng T_{ck} . Vì vậy, để khảo sát dòng tải chỉ cần khảo sát trong một chu kỳ đóng cắt là đủ. Để thuận tiện cho việc tính toán và khảo sát, nên chọn mốc thời gian xét ($t = 0$) là thời điểm bắt đầu thay đổi trạng thái của khóa K, trong trường hợp này chọn mốc $t = 0$ là thời điểm bắt đầu đóng K. Một chu kỳ đóng cắt được chia ra làm hai giai đoạn chính: giai đoạn K đóng và giai đoạn K cắt. Sau đây sẽ thực hiện tính toán, xây dựng biểu thức dòng tải cho từng giai đoạn.

4.2.1.1. Giai đoạn khóa K đóng

Biến đổi phương trình phương trình cân bằng điện áp trên tải của BBD PWM trong giai đoạn khóa K đóng (4.1) về dạng sau (dòng tải giai đoạn K đóng được ký hiệu là i_{td}):

$$\frac{di_{td}}{dt} + ai_{td} = \frac{1}{L_t}(U_d - E_t) \quad (4.4)$$

với: $a = (R_t / L_t)$.

Biến đổi Laplace phương trình (4.4), nhận được:

$$sI_d(s) - i_{td}(0) + aI_d(s) = \frac{1}{L_t} \frac{U_d - E_t}{s} \quad (4.5)$$

trong đó:

- s là toán tử Laplace; $I_d(s)$ là ảnh Laplace của dòng tải trong giai đoạn K đóng i_{td} ;

- $i_{td}(0)$ là giá trị dòng tải tại thời điểm đầu của giai đoạn đóng khóa K, trong chế độ xác lập giá trị dòng tải tại thời điểm đầu của khoảng K đóng bằng giá trị dòng tải tại thời điểm cuối của khoảng K cắt và được ký hiệu là I_{min} (hình 4.1), tức là $i_{td}(0) = I_{min}$.

Thực hiện biến đổi biểu thức (4.5) để rút ra $I_d(s)$:

$$I_d(s) = \frac{U_d - E_t}{sL_t(s+a)} + \frac{i_{td}(0)}{s+a} = \frac{U_d - E_t}{sL_t(s+a)} + \frac{I_{min}}{s+a} \quad (4.6a)$$

hay:
$$I_d(s) = \frac{U_d - E_t}{R_t} \frac{a}{s(s+a)} + I_{min} \frac{1}{s+a} \quad (4.6b)$$

Biến đổi Laplace ngược biểu thức (4.6b), nhận được kết quả:

$$i_{td} = \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at}) + I_{\min} e^{-at} \quad (4.7)$$

Biểu thức (4.7) là biểu thức dòng tải trong giai đoạn đóng K, biểu thức chỉ xác định trong khoảng thời gian từ $t = 0$ đến $t = t_d$. Trong biểu thức còn một yếu tố chưa biết là I_{\min} , sẽ được xác định sau.

4.2.1.2. Giai đoạn khóa K cắt

Phương trình vi phân mô tả quan hệ dòng và áp trên tải giai đoạn khóa K cắt là phương trình (4.2). Để phân biệt với giai đoạn K đóng, dòng tải của giai đoạn K cắt được ký hiệu là i_{tc} . Thời điểm K cắt ứng với $t = t_d$, để thuận tiện khi xây dựng biểu thức toán học, thay biến thời gian t bằng t' , với $t' = t - t_d$, khi đó, thời điểm đầu của giai đoạn K cắt ứng với $t' = 0$.

Biến đổi biểu thức (4.2) với lưu ý là đã thay i_t bằng i_{tc} và biến thời gian là t' :

$$\frac{di_{td}}{dt'} + ai_{td} = -\frac{E_t}{L_t} \quad (4.8)$$

Biến đổi Laplace biểu thức (4.8):

$$sI_c(s) - i_{tc}(0) + aI_d(s) = -\frac{E_t}{sL_t} \quad (4.9)$$

trong đó:

- $I_c(s)$ là ảnh Laplace của dòng tải trong giai đoạn K cắt i_{tc} ;

- $i_{tc}(0)$ là giá trị dòng tải tại thời điểm đầu của giai đoạn cắt khóa K (tại $t' = 0$), trong chế độ xác lập giá trị dòng tải tại thời điểm đầu của khoảng K cắt bằng giá trị dòng tải tại thời điểm cuối của khoảng K đóng và được ký hiệu là I_{\max} (hình 4.1), tức là $i_{tc}(0) = I_{\max}$.

Thực hiện biến đổi biểu thức (4.9) để rút ra $I_c(s)$:

$$I_d(s) = -\frac{E_t}{sL_t(s+a)} + \frac{i_{tc}(0)}{s+a} = -\frac{E_t}{sL_t(s+a)} + \frac{I_{\max}}{s+a} \quad (4.10a)$$

hay:
$$I_d(s) = -\frac{E_t}{R_t} \frac{a}{s(s+a)} + I_{\max} \frac{1}{s+a} \quad (4.10b)$$

Biến đổi Laplace ngược biểu thức (4.10b), nhận được:

$$i_{tc} = -\frac{E_t}{R_t} (1 - e^{-at'}) + I_{\max} e^{-at'} = -\frac{E_t}{R_t} (1 - e^{-a(t-t_d)}) + I_{\max} e^{-a(t-t_d)} \quad (4.11)$$

Biểu thức (4.11) là biểu thức dòng tải trong giai đoạn đóng K, biểu thức chỉ xác định trong khoảng thời gian từ $t' = 0$ đến $t' = t_c$ hay từ $t = t_d$ đến $t = T_{ck}$. Trong biểu thức cũng còn một yếu tố chưa biết là I_{\max} , sẽ được xác định sau.

4.2.1.3. Xác định các giá trị I_{\min} và I_{\max}

Các biểu thức (4.7) và (4.11) là biểu thức dòng tải trong 2 giai đoạn của một chu kỳ đóng cắt khóa K, trong các biểu thức này còn có I_{\min} và I_{\max} là các giá trị chưa biết. Vì vậy, cần phải xác định các giá trị I_{\min} và I_{\max} .

Như đã nêu, trong chế độ xác lập, nếu dòng tải là liên tục, I_{\min} bằng giá trị dòng tải tại thời điểm cuối khoảng cắt của K, tức là giá trị của i_{tc} (tính theo biểu thức (4.11)) tại $t' = t_c$ hay $t = T_{ck} = t_d + t_c$; còn I_{\max} là giá trị dòng tải cuối khoảng đóng của K, tương ứng là giá trị biểu thức (4.7) khi cho $t = t_d$. Từ đó, có thể suy ra các biểu thức để xác định I_{\min} và I_{\max} :

$$I_{\max} = \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at_d}) + I_{\min} e^{-at_d} \quad (4.12a)$$

$$I_{\min} = -\frac{E_t}{R_t} (1 - e^{-at_c}) + I_{\max} e^{-at_c} \quad (4.12b)$$

Đặt:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at_d}); & B &= -\frac{E_t}{R_t} (1 - e^{-at_c}); \\ C &= e^{-at_d}; & D &= e^{-at_c}. \end{aligned} \right\} \quad (4.13)$$

Thay (4.13) vào (4.12) và biến đổi:

$$I_{\max} - C.I_{\min} = A \quad (4.14a)$$

$$I_{\min} - D.I_{\max} = B \quad (4.14b)$$

Giải hệ (4.14a, b), thu được:

$$I_{\max} = \frac{A+BC}{1-CD}; \quad I_{\min} = \frac{AD+B}{1-CD}. \quad (4.15)$$

4.2.1.4. Dòng điện tải trong chế độ dòng gián đoạn

Chế độ dòng điện tải gián đoạn xuất hiện khi năng lượng tích lũy trong điện cảm phụ tải không đủ khả năng duy trì dòng tải trong toàn bộ khoảng thời gian cắt của khóa K. Khi đó, dòng tải sẽ bằng không trước thời điểm $t = T_{ck}$, như vậy đến đầu chu kỳ sau (thời điểm đóng lại K) thì dòng tải đang bằng không, tức là $I_{\min} = 0$, do đó:

$$i_{td} = \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at}) \quad (4.16a)$$

$$\rightarrow I_{\max} = \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at_d}), \text{ nên :}$$

$$\left. \begin{aligned} i_{tc} &= -\frac{E_t}{R_t} (1 - e^{-at'}) + \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at_d}) e^{-at'} \\ \text{hay: } i_{tc} &= -\frac{E_t}{R_t} (1 - e^{-a(t-t_d)}) + \frac{U_d - E_t}{R_t} (1 - e^{-at_d}) e^{-a(t-t_d)} \end{aligned} \right\} \quad (4.16b)$$

Các biểu thức (4.16a), (4.16b) biểu diễn dòng điện tải ở chế độ dòng gián đoạn. Gọi khoảng thời gian van D_0 dẫn dòng trong một chu kỳ đóng cắt khóa K là t_0 , có thể tìm t_0 bằng cách thay $t' = t_0$ vào biểu thức (4.16b) và cho vế trái biểu thức bằng không ($t_0 < t_c$).

4.2.2. ĐIỆN ÁP TRÊN TẢI TRONG CHẾ ĐỘ XÁC LẬP

4.2.2.1. Chế độ dòng tải liên tục

Như đã nêu khi dòng tải liên tục thì điện áp tức thời trên tải sẽ là:

- Giai đoạn K đóng : $u_t = U_d$;
- Giai đoạn K cắt (D_0 dẫn dòng) : $u_t = 0$.

Điện áp trung bình (thành phần một chiều) trên phụ tải (các biểu thức 4.3a và b):

$$U_{tb} = \gamma \cdot U_d = U_d \cdot t_d \cdot f$$

4.2.2.2. Chế độ dòng tải gián đoạn

Khi BBD làm việc ở chế độ dòng điện tải gián đoạn:

- Giai đoạn khóa K đóng điện áp tải vẫn giống như ở chế độ dòng tải liên tục, tức là khi K đóng thì $u_t = U_d$.

- Giai đoạn khóa K cắt được phân làm hai gian đoạn nhỏ:

+. Từ thời điểm bắt đầu cắt K cho đến thời điểm dòng tải vừa giảm xuống bằng không ($t = 0 \div t = t_0$): van D_0 làm việc: $u_t = 0$;

+. Từ thời điểm dòng tải giảm về bằng không ($t = t_0$: D_0 khóa) cho đến thời điểm đóng lại khóa K (trong khoảng $t = t_0 \div t = t_c$): $u_t = E_t$.

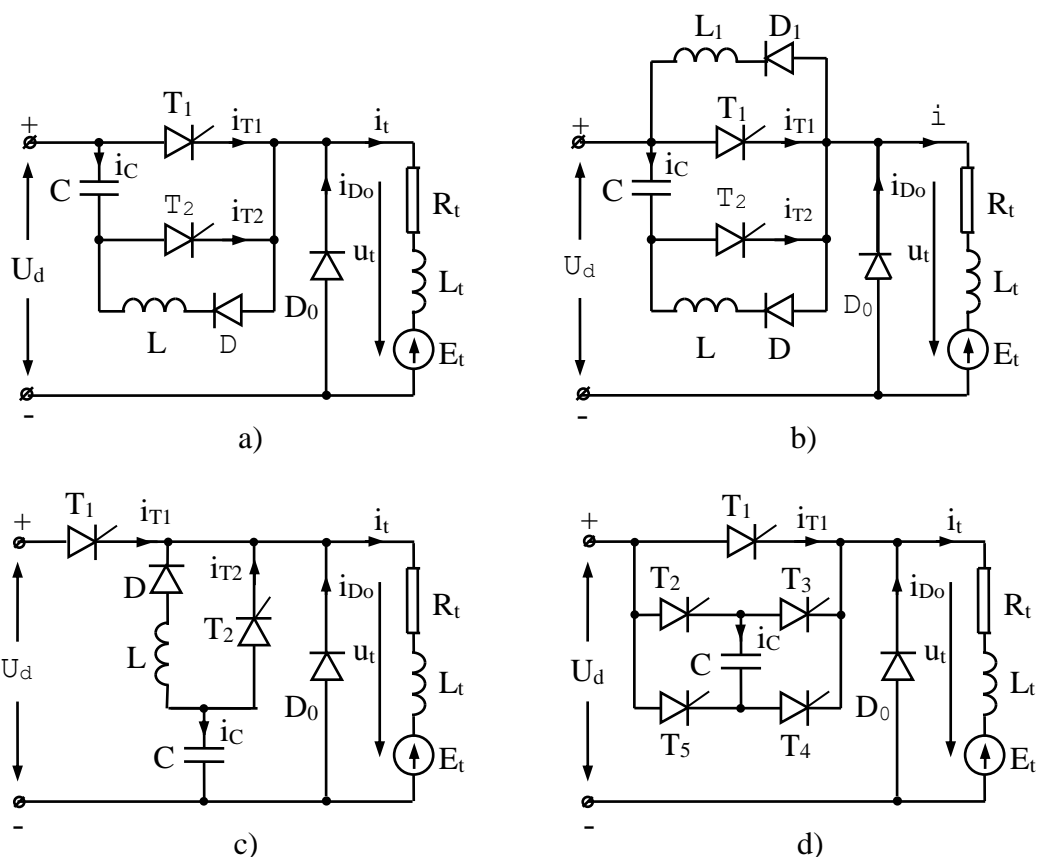
Vậy ta có thể xác định biểu thức tính điện áp trung bình trên tải trong chế độ dòng điện tải gián đoạn như sau:

$$U_{tb} = \frac{1}{T_{ck}} \int_0^{T_{ck}} u_t dt = \frac{1}{T_{ck}} \left[\int_0^{t_d} U_d \cdot dt + \int_{t_d+t_0}^{t_d+t_c} E_t \cdot dt \right] = \frac{1}{T_{ck}} [t_d \cdot U_d + (t_c - t_0) \cdot E_t] \quad (4.17)$$

4.3. MỘT SỐ SƠ ĐỒ BBD MỘT CHIỀU - MỘT CHIỀU DÙNG THYRISTOR

Như đã nêu, các BBD một chiều - một chiều thường sử dụng các dụng cụ bán dẫn công suất để làm nhiệm vụ khóa đóng cắt K. Các dụng cụ thường được sử dụng gồm: Các thyristor, các GTO, các loại transistor lưỡng cực và MOSFET công suất và trong những năm gần đây là các IGBT. Trong số các loại dụng cụ bán dẫn công suất nêu trên, duy nhất có thyristor là loại dụng cụ điều khiển không hoàn toàn (chỉ có thể điều khiển mở, không khóa được bằng tín hiệu điều khiển), tuy có nhược điểm như đã nêu, nhưng thyristor lại có ưu điểm là có khả năng chịu được dòng điện lớn và điện áp cao nên khi công suất BBD lớn chúng vẫn được sử dụng. Cũng do đặc điểm không điều khiển khóa được nên việc khóa thyristor trong BBD một chiều - một chiều là vấn đề phức tạp và có ảnh hưởng đến độ phức tạp cũng như đặc tính làm việc của BBD. Trong mục này sẽ giới thiệu và phân tích một số sơ đồ BBD không đảo chiều sử dụng thyristor.

4.3.1. CÁC SƠ ĐỒ



Hình 4.2: Một số sơ đồ mạch lực BBD một chiều - một chiều sử dụng thyristor

Trên hình 4.2 biểu diễn bốn sơ đồ BBD một chiều - một chiều sử dụng khóa đóng cắt bằng các thyristor. Chức năng, nhiệm vụ của các phần tử trong các sơ đồ:

- T_1 là thyristor chính, đóng vai trò khóa đóng cắt K, T_1 mở tương đương với khóa K kín mạch (K đóng), T_1 khóa tương đương với khóa K hở mạch (K cắt);

- Phụ tải của BBD gồm E_t , R_t , L_t ;

- D_0 là đi ốt ngược;

- Các phần tử còn lại trong các sơ đồ là các phần tử chuyển mạch (chuyển đổi), chúng được sử dụng để khóa van T_1 tại những thời điểm cần thiết. Các phần tử chuyển mạch của sơ đồ 1 (hình 4.2a) và sơ đồ 3 (hình 4.2c) là tụ điện C, điện cảm L, đi ốt D và thyristor phụ T_2 . Các phần tử chuyển mạch của sơ đồ 2 (hình 4.2b) gồm tụ điện C, các điện cảm L_1 , L_2 , các đi ốt D_1 , D_2 và thyristor phụ T_2 . Các phần tử chuyển mạch của sơ đồ 4 (hình 4.2d) gồm tụ điện C và các thyristor phụ T_2 , T_3 , T_4 , T_5 .

4.3.2. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA CÁC SƠ ĐỒ

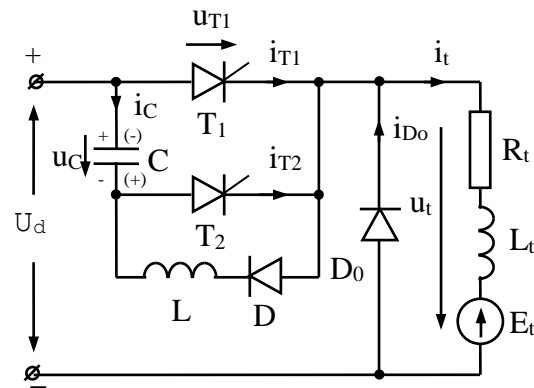
4.3.2.1. Nguyên lý hoạt động của sơ đồ 1 (hình 4.2a)

Sơ đồ BBD một chiều - một chiều hình 4.2a được biểu diễn lại trên hình 4.3 với việc bổ sung một số ký hiệu về điện áp trên tụ C và trên thyristor phụ T_1 . Trên sơ đồ, dòng và áp trên tụ điện chuyển mạch C được ký hiệu là u_C và i_C ; còn u_{T1} , i_{T1} là điện áp và dòng điện

mạch anôt-katôt thyristor chính T_1 ; u_t , i_t và i_{D_0} là điện áp trên tải, dòng qua tải và đi ốt ngược D_0 .

Để đảm bảo cho sơ đồ hoạt động bình thường sau khi khởi động với bất cứ tình huống nào, cần phải nạp điện trước cho tụ C đến giá trị cần thiết (thường bằng giá trị điện áp nguồn U_d), cực tính điện áp nạp ban đầu cho tụ có thể bất kỳ. Việc nạp điện cho tụ C có thể thực hiện nhờ một nguồn điện bên ngoài hoặc sử dụng ngay điện áp U_d cung cấp cho BBD.

Việc nạp điện cho tụ C bằng nguồn (U_d) cung cấp cho BBD thường được thiết kế để thực hiện một cách tự động như sau:



Hình 4.3: Sơ đồ 1

Khi thiết kế lắp đặt BBD, điện cực điều khiển của T_2 được nối trực tiếp đến đầu ra mạch phát xung mở cho T_2 , còn điện cực điều khiển của T_1 được nối đến đầu ra mạch phát xung mở cho T_1 qua tiếp điểm thường mở của rơ le khởi động BBD. Khi đóng nguồn cung cấp cho mạch động lực thì đồng thời mạch phát xung điều khiển cũng sẽ được cấp nguồn và làm việc. Nếu giả thiết, điện áp trên tụ đang bằng không, tại thời điểm nào đó thực hiện đóng nguồn cung cấp cho BBD để chuẩn bị làm việc thì tại thời điểm đó mạch điều khiển của BBD (trong phần này chưa nghiên cứu đến mạch điều khiển và tạm giả thiết là mạch điều khiển BBD làm việc bình thường đúng theo yêu cầu đặt ra) cũng được cấp nguồn và làm việc. Do đó, tại một thời điểm nào đó lân cận ngay sau thời điểm cấp nguồn cho BBD, trên T_2 sẽ xuất hiện tín hiệu điều khiển đầu tiên (tính từ thời điểm cấp nguồn cho BBD), do điện áp trên T_2 đang thuận (vì $u_c = 0$ và giả thiết điện áp trên tải cũng đang bằng không), nên khi có tín hiệu điều khiển T_2 sẽ mở và xuất hiện dòng nạp cho tụ theo đường $(+U_d) - C - T_2 -$ phụ tải $- (-U_d)$ và điện áp tụ sẽ tăng dần. Khi điện áp tụ tăng đạt giá trị U_d với cực tính như ghi trên sơ đồ (ngoài dấu ngoặc, tức là $u_c = U_d$), dòng nạp tụ giảm về bằng không, có nghĩa rằng dòng qua T_2 cũng bằng không và T_2 tự khóa lại. Do chưa khởi động BBD nên điện cực điều khiển T_1 chưa được nối với mạch phát xung điều khiển, van T_1 chưa được cấp tín hiệu điều khiển và chưa làm việc. Đối với T_2 , nếu có tiếp các xung điều khiển sau xung đầu tiên thì T_2 vẫn khóa do tụ C đã nạp đầy nên điện áp trên T_2 đang bằng không, vì vậy điện áp tụ C sẽ được giữ nguyên giá trị và cực tính như vậy để chuẩn bị quá trình khóa T_1 khi BBD làm việc.

Khởi động và đưa BBD vào làm việc:

Tại $t = t_0$, ấn nút điều khiển khởi động BBD, lúc đó rơ le khởi động sẽ tác động và điện cực điều khiển T_1 được nối đến đầu ra mạch phát xung điều khiển. Tại một thời điểm nào đó sau t_0 ($t = t_0'$), trên điện cực điều khiển T_1 xuất hiện xung điều khiển đầu tiên, do đang có điện áp thuận nên T_1 sẽ mở và xuất hiện dòng điện từ cực dương nguồn qua van

T_1 qua phụ tải về cực âm nguồn. Van T_1 mở, bỏ qua sụt áp trên T_1 mở, điện áp trên tải sẽ bằng điện áp nguồn ($u_t = U_d$), mặt khác T_1 mở sẽ tạo đường phóng điện cho tụ C , tụ sẽ phóng điện theo đường $C - T_1 - D - L - C$. Nếu ta bỏ qua sụt áp trên T_1 và D đang dẫn dòng thì mạch vòng phóng điện của tụ là một mạch vòng dao động cộng hưởng không có tổn thất. Theo lý thuyết mạch điện, quá trình phóng điện của tụ trong vòng dao động cộng hưởng sẽ là: ban đầu dòng phóng của tụ tăng dần đồng thời điện áp trên tụ giảm dần, khi điện áp trên tụ giảm xuống bằng không thì dòng qua tụ và điện cảm đạt giá trị lớn nhất. Sau đó tụ sẽ được nạp theo chiều ngược lại, giá trị điện áp trên tụ tăng dần thì dòng qua tụ và điện cảm cũng giảm dần. Khi điện áp trên tụ đạt giá trị bằng trước lúc bắt đầu phóng và cực tính ngược lại (cực tính như ghi trên sơ đồ, trong dấu ngoặc, tức là $u_C = -U_d$), dòng qua tụ bằng không và có xu hướng đổi chiều (tụ có xu hướng phóng điện ngược lại), nhưng do tính dẫn dòng một chiều của điốt D mà sự phóng điện theo chiều ngược lại không xảy ra và điện áp trên tụ sẽ được giữ nguyên giá trị và cực tính như vậy ($u_C = -U_d$) cho đến thời điểm mở T_2 . Đến thời điểm $t_1 = t_0' + t_d$, cần khóa van T_1 (cắt khóa K), mạch phát xung sẽ cấp một xung điều khiển đến T_2 , T_2 sẽ mở và tụ C phóng điện qua T_2 theo mạch: $T_2 - tải - nguồn$ cung cấp $U_d - C$. Bỏ qua sụt áp trên T_2 mở thì toàn bộ điện áp trên tụ C sẽ đặt lên T_1 , vậy điện áp trên T_1 sẽ là $u_{T1} = u_C$, tức là tại thời điểm T_2 mở thì T_1 bị đặt điện áp ngược và khóa lại. Khi điện áp trên tụ vẫn âm thì u_{T1} vẫn âm và T_1 phục hồi tính chất điều khiển. Quá trình phóng điện làm cho giá trị điện áp trên tụ giảm dần, khi trị số điện áp trên tụ giảm về bằng không thì tụ sẽ được nạp theo chiều ngược lại bởi nguồn cung cấp U_d của BBD và điện áp trên tụ lại tăng dần theo chiều ngược lại. Khi giá trị điện áp trên tụ đạt đến U_d thì điện áp trên tải bằng không và s.đ.đ. tự cảm sinh ra trong L_t sẽ làm mở D_0 và dòng tải sẽ được duy trì qua điốt ngược, bỏ qua sụt áp trên D_0 mở, $u_t = 0$, điện áp tụ cân bằng với điện áp nguồn (tụ nạp đầy) và dòng qua tụ sẽ giảm về bằng không, nên dòng T_2 cũng bằng không và van T_2 tự khóa lại, điện áp trên tụ được giữ nguyên giá trị và cực tính như vậy (ngoài dấu ngoặc) cho đến lúc T_1 mở lại. Tại $t = t_1 + t_c = t_0' + T_{ck}$, van T_1 lại có tín hiệu điều khiển, T_1 lại mở, $u_t = U_d$ và D_0 bị đặt điện áp ngược khóa lại. Khi T_1 mở, qua T_1 lại có dòng tải và dòng phóng của tụ C , sự làm việc của sơ đồ lặp lại như từ thời điểm t_0' .

Với việc điều khiển mở T_1 và T_2 theo qui luật nhất định đã thực hiện không chế được quá trình mở - khóa của T_1 đúng theo qui luật cần thiết. Chu kỳ làm việc của 2 van T_1 và T_2 bằng nhau và đúng bằng chu kỳ của điện áp trên tải. Thời gian một khoảng đóng của khóa K bằng thời gian một khoảng mở của T_1 và bằng khoảng thời gian từ thời điểm xuất hiện một xung điều khiển trên T_1 đến thời điểm xuất hiện xung điều khiển trên T_2 gần nhất tiếp sau xung xuất hiện trên T_1 .

4.3.2.2. Nguyên lý hoạt động của các sơ đồ hình 4.2b, c, d

a. Sơ đồ 2 (hình 4.2b)

Từ sơ đồ hình 4.2b gần tương tự như sơ đồ 1, chỉ khác là có thêm một mạch vòng phóng điện thứ hai của tụ khi mở T_2 , nó có tác dụng giảm ảnh hưởng của dòng tải đến thời

gian phóng điện của tụ để mở rộng phạm vi làm việc của dòng tải. Sơ đồ này cũng yêu cầu phải nạp điện cho tụ C trước khi khởi động BBD và biện pháp nạp điện ban đầu cho tụ cũng tương tự như sơ đồ 1. Quá trình mở T₁ hoàn toàn tương tự như sơ đồ 1, còn khi mở T₂ để khóa T₁ thì tụ C phóng điện theo 2 đường: đường phóng thứ nhất tương tự như sơ đồ 1 (qua T₂ - tải - nguồn cung cấp U_d - C), đường phóng thứ hai gồm C - T₂ - D₁ - L₁. Đường phóng điện thứ hai của tụ C khi mở T₂ là đường phóng có các tham số cố định, nó được tính toán để đảm bảo ảnh hưởng của dòng tải đến thời gian phóng và nạp lại của tụ là không đáng kể nhằm duy trì chế độ làm việc bình thường của BBD cả khi tải nhỏ và khi quá tải, để đạt được điều đó thường dung lượng của tụ chuyển mạch cần lớn hơn nhiều so với sơ đồ 1.

b. Sơ đồ 3 (hình 4.2c)

Sơ đồ này không yêu cầu phải nạp điện ban đầu cho tụ, đây là ưu điểm của sơ đồ này so với các sơ đồ khác. Nguyên lý làm việc của sơ đồ có thể được mô tả như sau:

Giả thiết, tại t = 0 là thời điểm bắt đầu khởi động sơ đồ và trước đó điện áp trên tụ đang bằng không. Ở thời điểm t = t₀ sẽ xuất hiện xung điều khiển đầu tiên trên T₁ và van T₁ sẽ mở vì đang có điện áp thuận do nguồn cung cấp một chiều U_d đặt lên. Van T₁ mở, sụt áp trên T₁ giảm về bằng không và trên tải được đặt điện áp nguồn cung cấp (u_t = U_d), đồng thời sẽ xuất hiện dòng nạp cho tụ C theo mạch vòng: (+U_d) - T₁ - D - L - C - (-U_d). Nếu bỏ qua sụt áp trên T₁ và D đang dẫn dòng thì đây là một mạch vòng cộng hưởng không tổn thất, theo lý thuyết mạch điện thì tụ C sẽ nạp điện với qui luật thay đổi của điện áp dạng hàm sin, còn dòng qua tụ thay đổi theo qui luật hàm cosin. Khi đặt t' = t - t₀ thì thời điểm tụ bắt đầu nạp - tức là bắt đầu mở T₁: t' = 0 và biểu thức dòng và áp tụ C sẽ là:

$$\left. \begin{aligned} u_C &= 2U_d \sin \omega_0 t' \\ i_C &= I_m \cos \omega_0 t' \end{aligned} \right\} \quad (4.18)$$

Với $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ là tần số góc cộng hưởng, $I_m = \frac{2U_d}{\omega_0 L}$ là biên độ dòng qua tụ điện C

và cuộn kháng L khi tụ C nạp điện. Như vậy khi $\omega_0 t' = \pi/2$ thì u_C = 2U_d, còn dòng qua tụ thì bằng không và bắt đầu có xu hướng đổi chiều, do tính dẫn dòng một chiều của D, mặt khác T₂ còn khóa nên quá trình đổi chiều dòng qua tụ chưa xảy ra. Điện áp trên tụ lúc đó có giá trị bằng 2U_d và cực tính dương ở bản cực phía trên trong sơ đồ hình 4.2c và sẽ được giữ nguyên như vậy cho tới lúc mở T₂. Tại t = t₁ = t₀ + t_d, cần khóa van T₁, thực hiện cấp tín hiệu điều khiển đến mở T₂, van T₂ sẽ mở do điện áp trên nó đang thuận, tụ C sẽ phóng điện qua T₂ - qua phụ tải. Sự phóng điện của tụ C qua T₂ gây nên trên T₁ một điện áp ngược (khi T₂ mở thì u_{T1} = U_d - u_C mà tại thời điểm bắt đầu mở T₂ thì u_C = 2U_d nên u_{T1} < 0), do vậy T₁ khóa lại. Khi tụ phóng đến điện áp bằng không thì D₀ sẽ mở và dẫn dòng nhờ s.đ.đ. tự cảm sinh ra trong L_t, khi đó dòng qua tụ và T₂ giảm về bằng không, dẫn đến T₂ tự khóa lại. Đến t = t₂ = t₁ + t_c = t₀ + T_{ck}, T₁ lại có xung điều khiển, T₁ lại mở và sự làm việc của sơ đồ sẽ diễn ra tương tự như chu kỳ vừa xét.

c. Sơ đồ 4 (hình 4.2d)

Sơ đồ này cũng cần phải nạp điện trước cho tụ C, giả thiết là tụ đã nạp điện trước đến điện áp bằng U_d và cực tính dương ở bản cực phía trên. Khởi động sơ đồ, giả thiết tại $t = t_0$ xuất hiện xung điều khiển thứ nhất trên T_1 , van này mở và qua nó sẽ có dòng điện tải do nguồn cung cấp tạo nên, $u_t = U_d$. Tại $t = t_1 = t_0 + t_d$, để khóa T_1 , thực hiện truyền xung điều khiển đến mở T_3 và T_5 , hai van này mở, tụ điện C sẽ phóng điện qua hai van này, qua phụ tải và nguồn cung cấp gây nên trên T_1 một điện áp ngược làm cho T_1 khóa lại. Sau khi phóng đến điện áp bằng không thì C sẽ được nạp theo chiều ngược lại và khi điện áp trên C đạt giá trị bằng U_d với cực tính ngược lại (dương ở bản cực phía dưới) thì D_0 mở và dòng nạp tụ giảm về bằng không, nên T_3 và T_5 khóa lại. Tại $t_2 = t_1 + t_c$, T_1 lại có xung điều khiển (xung thứ hai), van T_1 lại mở. Đến $t_3 = t_2 + t_d$, thực hiện cấp xung điều khiển để mở hai van T_2 và T_4 , hai van T_2 và T_4 sẽ mở do đang có điện áp thuận, tụ C sẽ phóng điện qua hai van này, qua phụ tải và nguồn cung cấp và cũng tạo nên trên T_1 một điện áp ngược làm cho T_1 khóa lại. Tụ điện C sau khi phóng đến điện áp bằng không thì lại được nạp theo chiều ngược lại bởi nguồn cung cấp U_d qua T_2 , T_4 cho đến khi giá trị điện áp trên tụ bằng U_d và cực tính như trước khi khởi động sơ đồ (dương ở bản cực phía trên), khi đó D_0 sẽ mở và hai van T_2 , T_4 khóa lại. Tại $t = t_4 = t_3 + t_c$, van T_1 lại có tín hiệu điều khiển và lại mở, đến thời điểm $t_5 = t_4 + t_d$, hai van T_3 và T_5 lại có tín hiệu điều khiển, hai van này lại mở, tụ C phóng điện qua chúng và g làm khóa T_1 . Quá trình tiếp theo trong sơ đồ diễn ra tương tự, và lặp đi lặp lại mang tính chu kỳ. Trong sơ đồ này, có bốn thyristor phụ dùng để chuyển mạch T_1 và được chia làm hai cặp T_2 , T_4 và T_3 , T_5 , chu kỳ xuất hiện của tín hiệu điều khiển trên các thyristor phụ bằng hai lần chu kỳ làm việc của van T_1 .

4.3.2.3. Dòng áp các phần tử của BBD ở chế độ xác lập trong một chu kỳ đóng cắt

Việc xác định dòng áp trên các phần tử của BBD, đặc biệt trên các phần tử chuyển mạch là rất cần thiết và là cơ sở để lựa chọn các phần tử này. Trong tiêu mục này sẽ nghiên cứu dòng áp trên các phần tử của BBD của sơ đồ 1 (hình 4.2a hoặc hình 4.3). Từ nguyên lý làm việc đã nêu ở mục trước có thể thấy, một chu kỳ làm việc của BBD được chia ra thành 4 giai đoạn. Chọn mốc bắt đầu xét ($t = 0$) là thời điểm truyền xung điều khiển đến mở T_2 để khóa T_1 và giả thiết rằng trước đó sơ đồ đã làm việc ở chế độ xác lập, có thể xây dựng được các biểu thức dòng và áp các phần tử của sơ đồ trong các giai đoạn làm việc như sau:

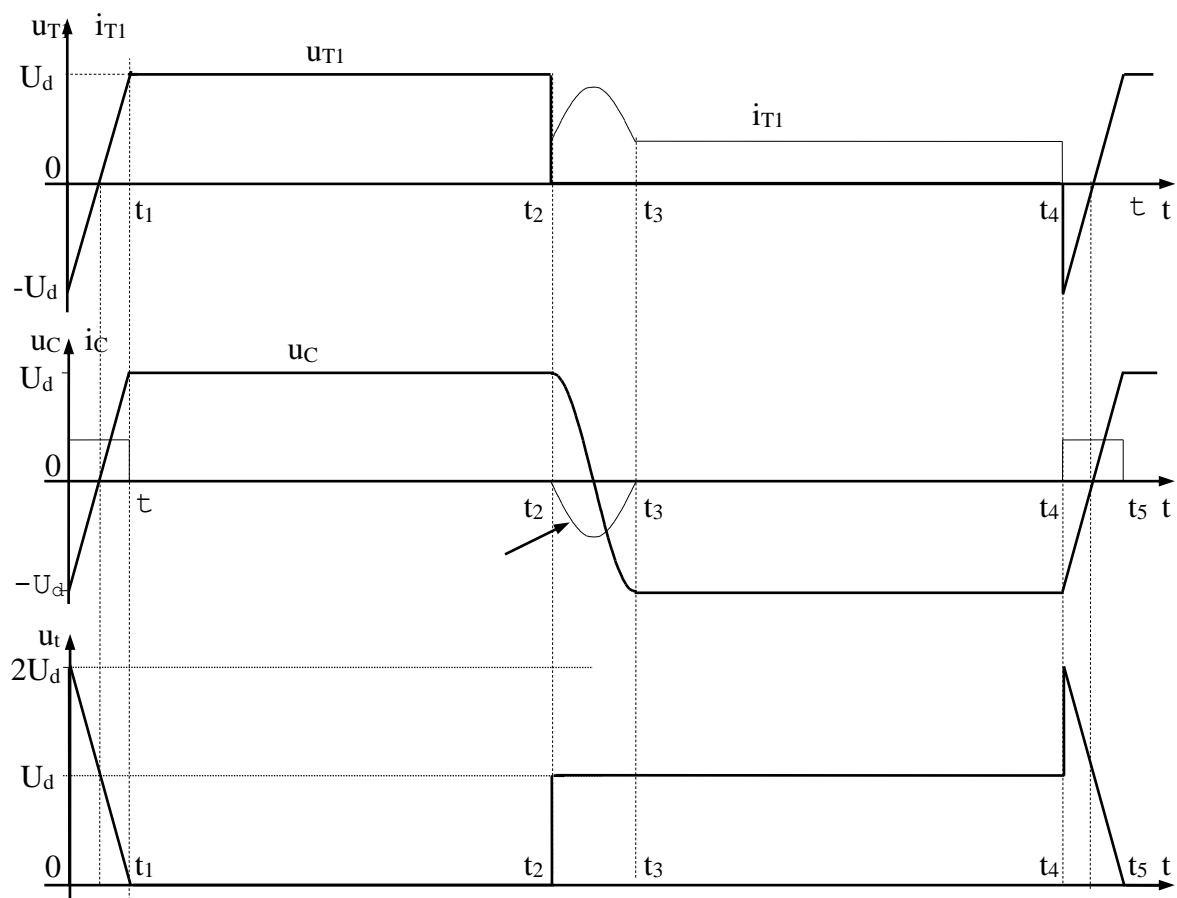
a. *Giai đoạn 1*: Từ $t = 0 \div t = t_1$ (t_1 là thời điểm kết thúc sự phóng và nạp ngược lại của tụ C qua mạch vòng C - T_2 - tải - U_d - C)

Lân cận trước thời điểm $t = 0$, van T_1 đang dẫn dòng và phụ tải đang được đặt điện áp bằng U_d , tụ C đã nạp đến điện áp bằng $-U_d$. Tại thời điểm $t = 0$, T_2 nhận được tín hiệu điều khiển và T_2 mở, T_1 bị đặt điện áp ngược khóa lại, tụ C phóng điện qua T_2 , qua tải và nguồn cung cấp, dòng phóng của tụ bằng dòng tải, để đơn giản cho việc nghiên cứu, giả thiết rằng trong giai đoạn phóng và nạp lại của tụ C thì dòng tải không thay đổi (thực tế thì giả thiết này hoàn toàn có thể chấp nhận được vì thời gian phóng và nạp lại của tụ C rất ngắn so với

thời gian một chu kỳ của điện áp ra và nếu tải có điện cảm khá lớn thì trong thời gian đó dòng tải thay đổi không đáng kể) và bằng I_{\max} . Vậy, trong giai đoạn 1:

$$\left. \begin{aligned} i_{T_1} &= 0; \quad u_{T_1} = u_C; \\ i_C &= i_t = I_{\max}; \quad u_C = -U_d + I_{\max} \frac{t}{C}; \\ i_{T_2} &= i_C; \quad u_t = U_d - u_C. \end{aligned} \right\} \quad (4.19)$$

Theo biểu thức (4.19), trong giai đoạn này điện áp trên C thay đổi theo qui luật tuyến tính. Từ $t = 0$ đến $t = t_1/2$ thì u_C thay đổi từ $-U_d$ về bằng không, đây là khoảng thời gian T_1 được đặt điện áp ngược để phục hồi tính chất điều khiển. Từ $t = t_1/2$ đến $t = t_1$, u_C tăng dần từ không lên bằng U_d , khi $u_C = U_d$, i_{T_2} giảm về không và T_2 tự khóa lại, kết thúc giai đoạn thứ nhất.



Hình 4.4: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ 1 ở chế độ xác lập

b. Giai đoạn 2: Từ $t = t_1$ ÷ $t = t_2$ (t_2 là thời điểm kết thúc khoảng thời gian cắt và bắt đầu mở van T_1 trong chu kỳ đang xét), lúc này T_2 khóa và van D_0 mở, dòng qua tụ bằng không, dòng tải được duy trì qua D_0 (dòng qua D_0 giai đoạn này bằng dòng tải):

$$\left. \begin{aligned} i_{T_1} &= 0; \quad u_{T_1} = U_d; \quad i_{D_0} = i_t; \\ i_C &= 0; \quad u_C = U_d; \\ i_{T_2} &= 0; \quad u_t = 0. \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

c. *Giai đoạn 3*: Từ $t = t_2 \div t = t_3$ (t_3 là thời điểm kết thúc sự phóng và nạp ngược lại của C qua mạch vòng dao động cộng hưởng). Trong giai đoạn này tụ điện C phóng điện và nạp ngược lại theo mạch vòng: C - T₁ - D - L - C, khi điện áp trên tụ giảm về bằng không thì tụ sẽ được nạp theo chiều ngược lại nhờ tính chất dao động cộng hưởng của mạch vòng phóng điện. Trong thời gian này, van D₀ bị đặt điện áp ngược và khóa, qua T₁ có 2 thành phần dòng điện là dòng tải và dòng phóng nạp của tụ.

Các biểu thức dòng áp trên các phần tử giai đoạn 3:

$$\left. \begin{aligned} i_{T_1} &= i_t - i_C; \quad u_{T_1} = 0; \quad i_{D_0} = 0; \\ i_C &= -I_m \sin[\omega_0(t - t_2)]; \quad I_m = U_d \sqrt{\frac{C}{L}}; \\ u_C &= U_d \cos[\omega_0(t - t_2)]; \\ i_{T_2} &= 0; \quad u_{T_2} = -u_C; \quad u_t = U_d. \end{aligned} \right\} \quad (4.21)$$

d. *Giai đoạn 4*: Từ $t = t_3 \div t = t_4$ (t_4 là thời điểm kết thúc sự dẫn dòng của van T₁ (đây là thời điểm kết thúc thời gian mộ chu kỳ xét, tại thời điểm này T₂ lại có tín hiệu điều, van T₂ lại mở, tụ C lại phóng điện qua mạch qua T₂ để khóa T₁). Trong giai đoạn này, dòng điện trong sơ đồ chỉ đi từ nguồn qua T₁ và phụ tải, van D₀ vẫn bị đặt điện áp ngược và khóa:

$$\left. \begin{aligned} i_{T_1} &= i_t; \quad u_{T_1} = 0; \quad i_{D_0} = 0; \\ i_C &= 0; \quad u_C = -U_d; \\ i_{T_2} &= 0; \quad u_{T_2} = U_d. \end{aligned} \right\} \quad (4.22)$$

Hình 4.4 biểu diễn dạng dòng điện, điện áp trên T₁, trên tụ C và điện áp trên tải trong một chu kỳ làm việc với các giả thiết đã nêu.

4.3.2.4. Tính chọn các phần tử của BBD một chiều - một chiều dùng thyristor

BBD một chiều - một chiều dùng thyristor có nhiều dạng sơ đồ khác nhau, số lượng phần tử và cách bố trí cũng không hoàn toàn giống nhau và mỗi sơ đồ lại có những đặc điểm riêng nên việc tính chọn các phần tử cũng không hoàn toàn giống nhau. Tuy vậy, việc tính chọn thông số các phần tử cũng không khác nhau nhiều, vì vậy, trong tiểu mục này chỉ giới thiệu việc tính chọn sơ bộ các phần tử của sơ đồ 1 (hình 4.2a).

a. Chọn các van

Việc tính chọn các van trong BBD này cũng tương tự như việc tính chọn các van trong các BBD khác, giá trị tính toán về áp và dòng đối với T₁ và T₂ trong sơ đồ 1 được xác định theo đồ thị hình 4.4.

Điện áp ngược lớn nhất trên các van là:

$$U_{T1ngmax} = U_{T2ngmax} = U_d. \quad (4.23)$$

Dòng trung bình các van được xác định theo chế độ nặng nề nhất, đối với T_1 là khi dòng tải trung bình đạt giá trị quá tải lớn nhất cho phép I_{tmax} và ứng với chế độ có $t_d = T_{ck}$ (tức là khi $\gamma = 1$):

$$I_{T1tbmax} = I_{tmax}. \quad (4.24)$$

Trong một chu kỳ T_2 dẫn dòng một khoảng thời gian bằng khoảng thời gian để tụ phóng và nạp lại bởi dòng tải từ giá trị $u_C = -U_d$ đến $u_C = U_d$ (bằng t_1), từ đồ thị hình 4.4 có thể xác định được:

$$t_1 = 2.U_d.C/I_{tmax}. \quad (4.25)$$

Vậy dòng trung bình lớn nhất qua T_2 :

$$I_{T2tbmax} = I_{tmax}.t_1/T_{ck} = 2.U_d.C/T_{ck}. \quad (4.26)$$

Các biểu thức tính chọn:

$$\left. \begin{aligned} [I_{Ttb}] &\geq K_{I_T} \cdot I_{Ttbmax}; \\ [U_{Tng}] &\geq K_{U_T} \cdot U_{Tngmax} = K_{U_T} \cdot U_d; \\ [U_{Th}] &\geq K_{U_T} \cdot U_{Thmax} = K_{U_T} \cdot U_d. \end{aligned} \right\} \quad (4.27)$$

Các hệ số dự trữ về dòng K_{I_T} và áp K_{U_T} có thể lấy như với sơ đồ chỉnh lưu.

Điốt chuyển mạch có số liệu chọn tương tự như đối với T_2 ; thông số để tính chọn D_0 tương tự như T_1 (không có phần điện áp thuận lớn nhất).

b. Chọn tụ điện và điện cảm chuyển mạch

- Chọn tụ chuyển mạch C:

Tụ điện C được tính chọn về điện dung đủ để đảm bảo thời gian phục hồi tính chất điều khiển của T_1 . Đồ thị điện áp trên T_1 và trên tụ C ở hình 4.4 cho thấy, khoảng thời gian để T_1 phục hồi tính chất điều khiển bằng thời gian để tụ C phóng từ $-U_d$ đến bằng không, tức là bằng $\frac{t_1}{2}$, tương ứng chế độ dòng tải nặng nề nhất: $\frac{t_1}{2} = \frac{CU_d}{I_{tmax}}$. Vậy giá trị nhỏ nhất của tụ điện chuyển mạch để đảm bảo T_1 phục hồi được tính chất điều khiển là:

$$C_{min} = \frac{I_{tmax} t_k}{U_d} \quad (4.28)$$

Với t_k là thời gian phục hồi tính chất điều khiển của T_1 (bảng tra số liệu van).

Thông thường, để đảm bảo sự chuyển mạch an toàn trong mọi trường hợp, thường chọn giá trị điện dung của tụ bằng hai lần giá trị nhỏ nhất tính theo biểu thức (4.28):

$$C = 2C_{min} = 2 \frac{I_{tmax} t_k}{U_d} \quad (4.29)$$

Điện áp trên tụ khi làm việc thường là $\pm U_d$, để đảm bảo độ tin cậy thường chọn điện áp tính toán của tụ $\geq 1,5.U_d$

- Chọn điện cảm chuyển mạch L:

Giá trị của điện cảm chuyển mạch ảnh hưởng đến biên độ dòng phóng của tụ qua T_1 , theo quan điểm hạn chế biên độ xung dòng qua T_1 thì L càng lớn càng tốt. Nhưng giá trị L cũng ảnh hưởng đến chu kỳ cộng hưởng riêng của vòng L-C, mà thời gian để tụ phóng và nạp lại đến điện áp bằng giá trị ban đầu trước khi phóng bằng một nửa chu kỳ cộng hưởng, vậy yêu cầu thời gian đóng nhỏ nhất phải lớn hơn một nửa chu kỳ dao động cộng hưởng của vòng L-C, tức là: $t_{dmin} > \frac{LC}{\pi}$. Thêm vào đó, giá trị L càng nhỏ thì biên độ dòng phóng nạp của tụ C qua L sẽ càng lớn. Xuất phát từ những đặc điểm trên, để cho sơ đồ hoạt động bình thường trong phạm vi điều chỉnh yêu cầu và đảm bảo van T_1 không bị hỏng bởi biên độ cũng như tốc độ tăng của dòng khi mở van mà giá trị L được lựa chọn:

$$L_{min} < L < L_{max} \quad (4.30)$$

Với:
$$L_{min} = \frac{CU_d^2}{([I_{Tmax}] - I_{t0})^2}; L_{max} = \frac{(\pi t_{dmin})^2}{C}. [I_{Tmax}] \text{ là giá trị biên độ cực}$$

đại cho phép của dòng qua T_1 , I_{t0} là giá trị dòng tải tại thời điểm mở T_1 , C là điện dung của tụ được chọn theo (4.29).

4.3. BỘ BIẾN ĐỔI MỘT CHIỀU - MỘT CHIỀU DÙNG TRANSISTOR

Các BBD một chiều - một chiều dùng van điều khiển không hoàn toàn (thyristor) có một số nhược điểm:

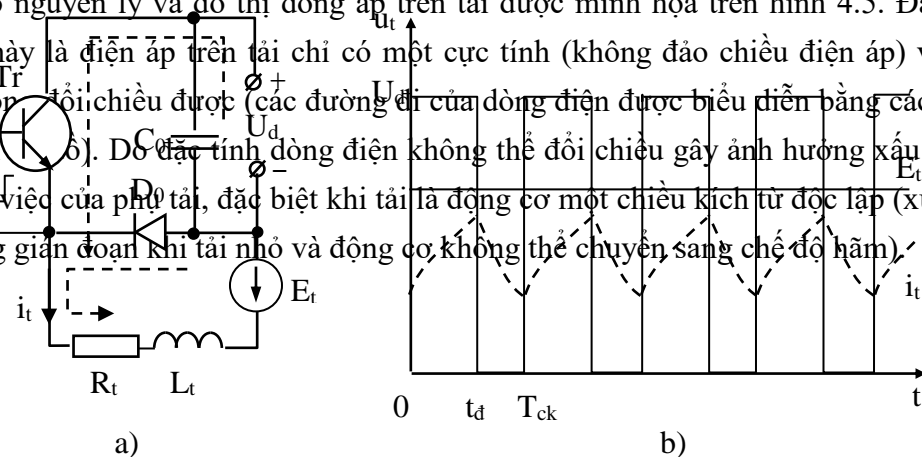
- Cần các thiết bị phụ trợ để khóa thyristor;
- Tần số đóng cắt thấp, dẫn đến chất lượng điện áp đầu ra không cao.

Để khắc phục các nhược điểm trên, có thể sử dụng các van điều khiển hoàn toàn như GTO, các transistor, MOSFET công suất, và hiện nay các nhà sản xuất thiết bị biến đổi thường sử dụng loại transistor tổ hợp có tên viết tắt là IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

4.3.1. SƠ ĐỒ BBD KHÔNG ĐẢO CHIỀU

4.3.1.1. Sơ đồ dùng một transistor

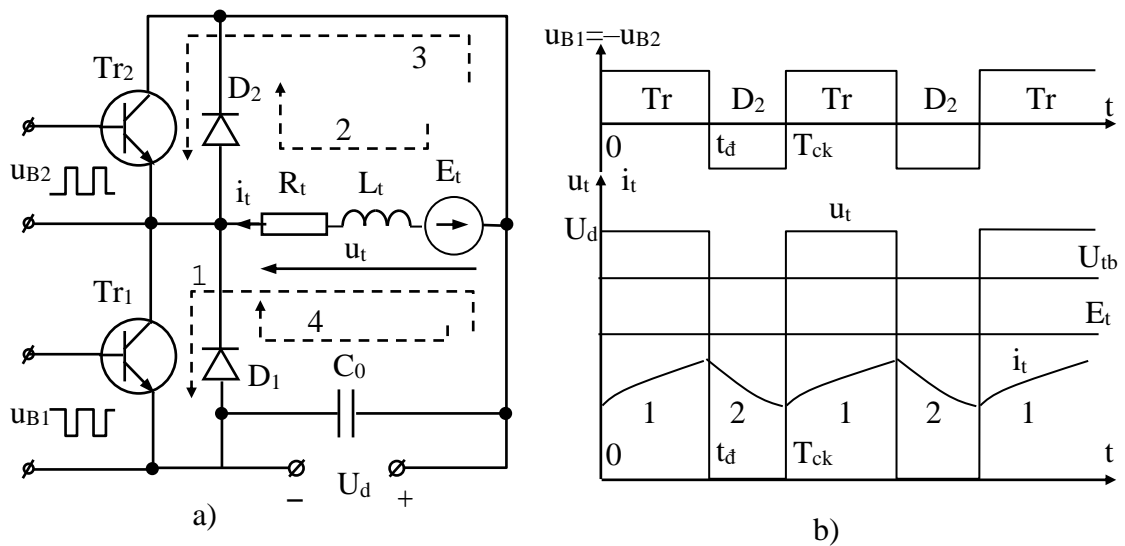
Sơ đồ nguyên lý và đồ thị dòng áp trên tải được minh họa trên hình 4.5. Đặc điểm của sơ đồ này là điện áp trên tải chỉ có một cực tính (không đảo chiều điện áp) và dòng điện tải không đổi chiều được (các đường đi của dòng điện được biểu diễn bằng các đường nét đứt trên đồ thị). Do đặc tính dòng điện không thể đổi chiều gây ảnh hưởng xấu đối với chế độ làm việc của phụ tải, đặc biệt khi tải là động cơ một chiều kích từ độc lập (xuất hiện chế độ dòng gián đoạn khi tải nhỏ và động cơ không thể chuyển sang chế độ hãm).



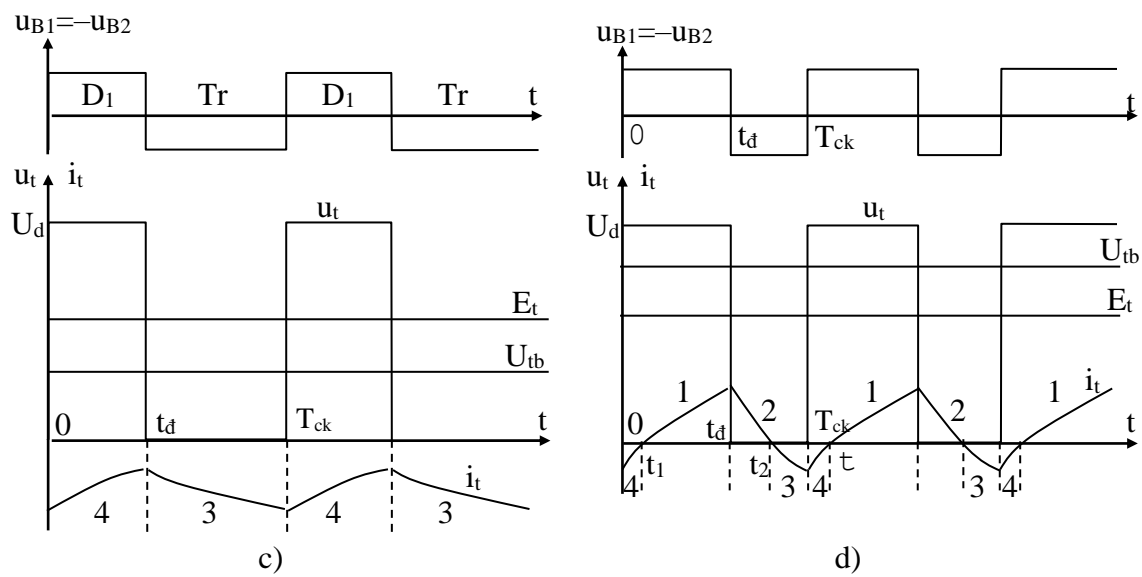
Hình 4.5: Mạch điện hệ thống bộ biến đổi PWM không đảo chiều đơn giản 186
 a) Sơ đồ nguyên lý; b) Đồ thị dòng điện và điện áp

4.3.1.2. Sơ đồ dùng hai transistor

Sơ đồ hình 4.6a sử dụng hai transistor, tín hiệu điều khiển hai van này luôn ngược nhau: khi Tr_1 có xung điều khiển dương để mở thì Tr_2 có xung điều khiển âm để đảm bảo khóa chắc chắn ($u_{B1} = -u_{B2}$). Các đồ thị hình 4.6b, c, d biểu diễn dạng điện áp và dòng điện trên tải dạng điện - điện cảm - sức điện động ứng với một số chế độ làm việc: hình 4.6b là trường hợp dòng tải lớn, năng lượng tích lũy trong điện cảm tải đủ để duy trì dòng tải qua đi ốt D_2 (đường 2) trong suốt khoảng thời gian cắt t_c (thời gian khóa Tr_1) của chu kỳ đóng cắt; hình 4.6c là trường hợp sức điện động tải lớn hơn giá trị trung bình của điện ra (ví dụ như tải là động cơ một chiều làm việc trong chế độ hãm), khi đó dòng tải do sức điện động tải tạo ra ở khoảng thời gian cắt t_c (đường 3, qua Tr_2) và trong khoảng thời gian đóng t_d dòng tải được duy trì qua đi ốt D_1 nhờ năng lượng tích lũy trong điện cảm tải (đường 4); hình 4.6d ứng với trường hợp BBD làm việc với chế độ dòng tải nhỏ, năng lượng tích lũy



trong L_t đến thời điểm kết thúc thời gian đóng chỉ đủ duy trì dòng tải qua đi ốt D_2 trong phần của khoảng thời gian cắt (từ $t = t_d$ đến $t = t_2$), tại t_2 dòng tải bằng không và sẽ đổi chiều nhờ sức điện động tải và khép vòng qua Tr_2 .



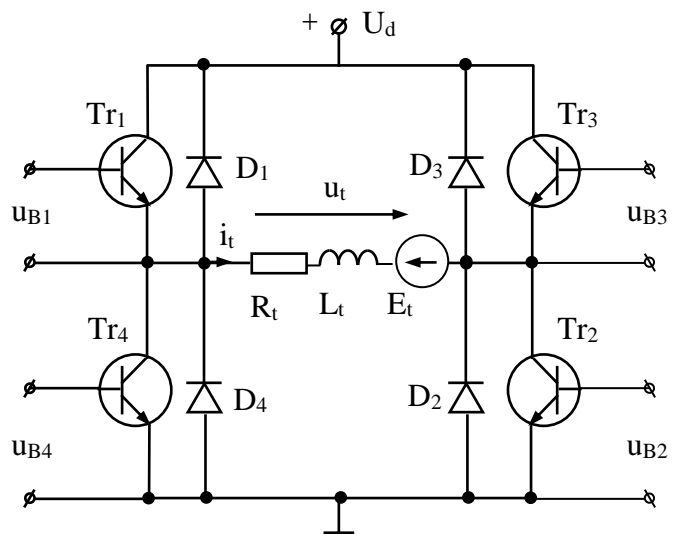
Hình 4.6: Mạch điện bộ biến đổi PWM không đảo chiều dùng hai transistor
a) Sơ đồ nguyên lý; b, c, d) Đồ thị điện áp và dòng điện tải trong một số chế độ với tải điện trở - điện cảm - sức điện động

Từ các đồ thị có thể nhận thấy, dù bất cứ chế độ làm việc nào, nếu tải có sức điện động khác không thì dòng tải là một đường liên tục (không có chế độ dòng gián đoạn) và dòng tải có thể đổi chiều. Đặc điểm làm việc này cho phép cải thiện chất lượng làm việc của hệ thống (BBĐ và tải), đặc biệt khi tải là động cơ một chiều kích từ độc lập trong hệ thống điều tốc: BBĐ PWM - động cơ một chiều.

4.3.2. SƠ ĐỒ BBĐ CÓ ĐẢO CHIỀU

4.3.2.1. Sơ đồ nguyên lý

Để đảo chiều được cả dòng và áp trên tải (ví dụ: ứng dụng trong hệ truyền động có đảo chiều động cơ điện một chiều kích từ độc lập), khi không sử dụng các thiết bị chuyển đổi cách đầu nối đầu ra BBĐ với tải, bắt buộc phải sử dụng các BBĐ có đảo chiều. Sơ đồ nguyên lý mạch lực BBĐ một chiều - một chiều có đảo chiều dùng transistor có hai dạng: H và T. Hình 6.7 biểu diễn sơ đồ BBĐ dạng H, được tạo bởi 4 transistor và 4



Hình 6.7: Mạch điện bộ biến đổi PWM có đảo

điốt mắc theo sơ đồ cầu. BBĐ dạng T phải dùng nguồn kép nên ít được sử dụng hơn. Tùy thuộc vào từng yêu cầu cụ thể, có thể áp dụng các phương thức điều khiển khác nhau. Với BBĐ áp dụng phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM), có 3 phương thức điều khiển BBĐ hình 6.7: điều khiển kiểu hai cực, kiểu một cực và kiểu một cực bị hạn chế.

4.3.2.2. Phương thức điều khiển kiểu hai cực

Bốn transistor trong sơ đồ hình 6.7 được chia thành hai nhóm Tr_1, Tr_2 và Tr_3, Tr_4 . Hai transistor Tr_1 và Tr_2 làm việc đồng thời, điện áp không chế cực gốc của chúng là $u_{B1} = u_{B2}$; hai transistor Tr_3 và Tr_4 cũng làm việc đồng thời, điện áp không chế cực gốc của chúng là $u_{B3} = u_{B4}$.

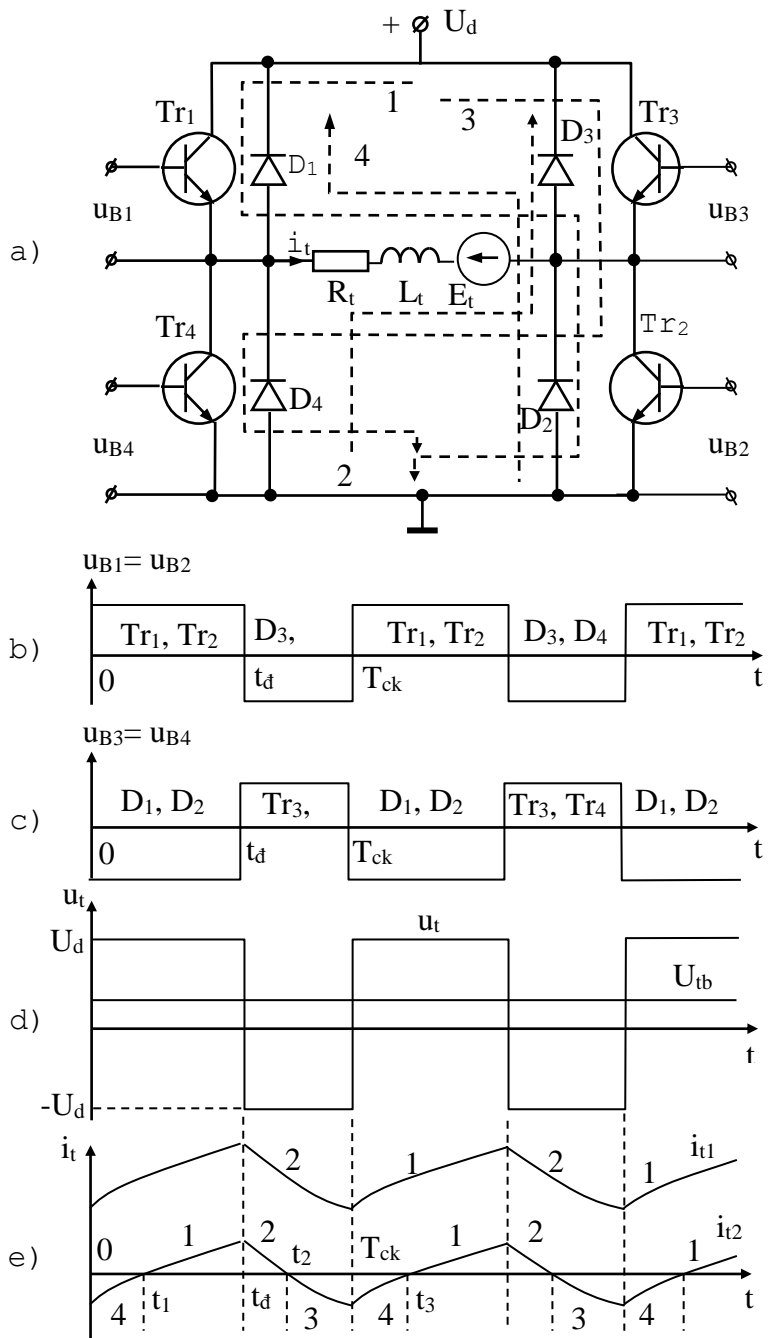
Sau đây sẽ thực hiện phân tích nguyên lý làm việc của BĐĐ trong trường hợp điện áp và dòng trung bình của tải mang giá dương.

a. Khi dòng tải lớn

Trong khoảng thời gian $0 \leq t < t_d$, u_{B1} và u_{B2} dương, Tr_1, Tr_2 mở bão hoà, còn u_{B3} và u_{B4} âm, Tr_3 và Tr_4 bị khoá, điện áp trên tải $u_t = U_d$, dòng điện mạch tải i_t khép theo đường số 1; trong khoảng $t_d \leq t < T_{ck}$, u_{B1} và u_{B2} chuyển sang âm Tr_1 và Tr_2 khoá lại, u_{B3} và u_{B4} chuyển sang dương, nhưng Tr_3 và Tr_4 chưa mở, điện cảm mạch tải giải phóng năng lượng và duy trì dòng tải theo chiều dương

và i_{t1} khép qua D_4 và D_3 theo đường số 2, lúc này điện áp trên tải $u_t = -U_d$. Trong một chu kỳ trị số âm và dương của u_t bằng nhau, đây là đặc trưng của bộ biến đổi PWM kiểu đi ốt. Đồ thị điện áp, dòng điện của sơ đồ được mô tả trên hình 6.8d, e, có thể nhận thấy: điện áp trên tải có hai cực tính, dòng tải i_{t1} luôn dương.

b. Khi dòng tải nhỏ



Hình 6.8: Đường đi dòng điện phần mạch lực, đồ thị dòng áp của BĐĐ đảo chiều PWM dạng H điều khiển kiểu hai cực (kiểu đi ốt)

Khi dòng tải trung bình có giá trị nhỏ, khi đó trong một chu kỳ làm việc của BBĐ, dòng tải có thể đổi chiều, đồ thị dòng tải trong trường hợp này được minh họa trên hình 6.8e, đường i_{t2} .

Sự làm việc của BBĐ trong chế độ này có thể được mô tả như sau:

- Lần cận trước thời điểm $t = t_d$, hai transistor Tr_1 và Tr_2 đang mở và dẫn dòng, dòng trong sơ đồ đi theo đường số 1 (hình 6.a).

- Tại $t = t_d$, hai transistor Tr_1 và Tr_2 có tín hiệu khóa và khóa lại, hai transistor Tr_3 và Tr_4 có tín hiệu điều khiển để mở nhưng chúng vẫn chưa mở, lúc này L_t giải phóng năng lượng tích lũy và duy trì dòng tải theo chiều dương cho đến $t = t_2$, dòng tải giai đoạn $t_d \div t_2$ khép qua hai đi ốt ngược D_3 và D_4 (đường số 2).

- Tại $t = t_2 < T_{ck}$, do năng lượng tích lũy trong điện cảm tải nhỏ (do dòng tải nhỏ) nên năng lượng trong L_t được giải phóng hết, dòng tải giảm về bằng không. Mặt khác tải có sức điện động nên dòng tải sẽ đổi chiều và khép vòng qua hai transistor Tr_3 và Tr_4 nhờ sức điện động tải (đường số 3 trên hình 6.8a). Dòng tải lúc này âm và có trị số tăng dần.

Đến $t = T_{ck}$, transistor Tr_1 và Tr_2 lại có tín hiệu điều khiển để mở, còn hai transistor Tr_3 và Tr_4 có tín hiệu điều khiển khóa, Tr_3 và Tr_4 khóa lại, nhưng Tr_1 và Tr_2 chưa mở, năng lượng tích lũy trong L_t ở giai đoạn Tr_3 và Tr_4 được giải phóng và tiếp tục duy trì dòng tải âm cho đến thời điểm $t = t_3$. Trong khoảng này ($T_{ck} \div t_3$) dòng tải khép qua các đi ốt ngược D_1 và D_2 (theo đường số 4)

Tại $t = t_3$, năng lượng tích lũy trong L_t lại giải phóng hết, Tr_1 và Tr_2 và dòng tải đổi chiều và lại khép theo đường số 1.

Khoảng $0 \leq t < t_1$, dòng điện tải cũng giống giai đoạn $T_{ck} \leq t < t_3$.

Mặc dù dòng tải trong một chu kỳ có 4 khoảng và đi theo 4 đường khác nhau, nhưng nếu bỏ qu sụt áp trên các van khi mở thì điện áp trên tải vẫn như trường hợp dòng tải lớn: giai đoạn $0 \leq t < t_d$: $u_t = U_d$; giai đoạn $t_d \leq t < T_{ck}$: $u_t = -U_d$.

Dự đảo chiều điện áp trung bình trên tải phụ thuộc vào độ dài các khoảng thời gian đóng và cắt. Khi độ rộng xung dương lớn, ứng với $t_d > T_{ck}/2$, điện áp trung bình trên tải là dương. Khi độ rộng xung dương hẹp, ứng với $t_d < T_{ck}/2$, điện áp trung bình trên tải có giá trị âm. Nếu độ rộng xung dương và âm bằng nhau, $t_d = T_{ck}/2$, điện áp trung bình bằng không.

Điện áp trung bình đầu ra của bộ biến đổi PWM (điện áp trên tải) đảo chiều kiểu đi ốt được biểu thị bằng công thức:

$$U_{TB} = \frac{t_d}{T_{ck}} U_d - \frac{T_{ck} - t_d}{T_{ck}} U_d = \left(\frac{2t_d}{T_{ck}} - 1 \right) U_d \quad (4.31)$$

Vẫn lấy $\gamma = U_{tb}/U_d$ là hệ số phân áp của PWM, quan hệ giữa γ và t_d sẽ khác với sơ đồ BBĐ không đảo chiều, cụ thể, trong trường hợp này:

$$\gamma = \frac{2t_d}{T_{ck}} - 1 \quad (4.32)$$

Khi điều chỉnh, phạm vi thay đổi của γ trở thành $-1 < \gamma < 1$. Khi $\gamma > 0$ điện áp trung bình trên tải dương (thuận), còn $\gamma < 0$ điện áp trung bình trên tải âm (ngược), khi $\gamma = 0$ điện áp trung bình trên tải bằng không. Khi sử dụng BBD PWM cung cấp cho mạch phần ứng động cơ một chiều kích từ độc lập trong hệ thống điều tốc động cơ một chiều, trường hợp $\gamma=0$, mặc dù động cơ không quay vì điện áp trung bình đặt vào động cơ bằng không, nhưng điện áp tức thời ở hai đầu mạch rotor và dòng điện không phải bằng 0 mà chỉ có thành phần xoay chiều, nên tổn hao công suất trên động cơ vẫn còn. Tuy vậy điều đó cũng có lợi là làm cho động cơ dao động nhẹ cao tần, có tác dụng “bôi trơn động lực”, loại bỏ khu vực chết ma sát tĩnh khi đổi chiều quay.

Ưu điểm của bộ biến đổi PWM điều khiển kiểu hai cực (kiểu đi ốt) như sau:

(1) Dòng điện tải liên tục;

(2) Khi ứng dụng vào hệ điều tốc động cơ một chiều có ưu điểm:

- Cho phép cho động cơ có thể làm việc ở 4 góc phần tư hệ tọa độ;

- Lúc động cơ ngừng quay vẫn có dao động nhỏ của dòng điện, có thể loại bỏ vùng chết ma sát tĩnh;

- Khi làm việc ở tốc độ thấp, xung không chế cực góc của các transistor đều khá rộng, tạo thuận lợi cho các transistor chắc chắn được mở;

- Chất lượng động của hệ thống tốt;

- Tính ổn định tốt ở tốc độ thấp, phạm vi điều tốc đạt tới khoảng 20000:1.

Nhược điểm của bộ biến đổi PWM điều khiển kiểu hai cực (kiểu đi ốt) như sau:

Trong quá trình làm việc, 4 transistor công suất thay nhau làm việc, tổn hao công suất mở khóa lớn, dễ sinh ra sự cố hai transistor cùng phía (ví dụ Tr_1 và Tr_3 đồng thời mở gây ngắn mạch nguồn, làm giảm độ tin cậy của thiết bị. Để khắc phục sự cố này thường phải tăng độ phức tạp của phần điều khiển.

4.3.2.3. Phương thức điều khiển kiểu một cực và một cực bị hạn chế

Để khắc phục khuyết điểm trên đây của BBD điều khiển kiểu hai cực, đối với những hệ thống có yêu cầu chất lượng động và tĩnh tương đối thấp, có thể dùng bộ biến đổi PWM kiểu một cực hoặc một cực bị hạn chế. Sơ đồ mạch điện phần lực của BBD vẫn là sơ hình 6.7, chỉ khác nhau ở chỗ tín hiệu xung điều khiển cực góc các transistor.

a. BBD PWM điều khiển kiểu một cực

Trong trường hợp này, xung điều khiển cực góc hai transistor phía trái $u_{B1} = -u_{B4}$, có đồ thị xung cực tính thay đổi ngược nhau như kiểu đi ốt, làm cho Tr_1 và Tr_4 có thể thay nhau mở; còn tín hiệu điều khiển cực góc của hai transistor phía phải Tr_3 và Tr_2 thì khác, chuyển thành tín hiệu một chiều khác nhau tùy thuộc yêu cầu chiều điện áp trên tải. Khi cần điện áp trung bình trên tải dương, điện áp u_{B3} luôn âm, còn u_{B2} luôn dương, khi đó Tr_3

luôn khoá, còn Tr_2 luôn có tín hiệu để mở. Khi cần điện áp trung bình trên tải âm thì cho u_{B3} luôn dương, còn u_{B2} luôn âm, nên Tr_3 luôn có tín hiệu để mở, còn Tr_2 luôn khoá. Sự thay đổi tín hiệu điều khiển đã làm cho tình trạng mở khoá các transistor ở các giai đoạn và đường đi của dòng điện trong mạch sẽ có sự thay đổi so với ở bộ biến đổi kiểu đi ốt. Tình trạng mở khoá của các transistor, dạng điện áp mạch rotor và chiều dòng điện khi tải lớn không thay đổi, đã được mô tả trong bảng 4.1, (ở đây để tiện so sánh, đã nêu ra cả kiểu một cực và kiểu đi ốt). Lúc non tải, dòng điện trong một chu kỳ cũng sẽ đổi chiều và vẫn đảm bảo tính liên tục của dòng điện tải.

Do trong hai transistor Tr_3 và Tr_2 của bộ biến đổi một cực bao giờ cũng có một luôn mở, một luôn khoá, do đó tổn hao do mở khoá ở đây đã giảm so với ở bộ biến đổi hai cực.

Bảng 4.1: So sánh bộ biến đổi PWM đảo chiều hai cực và một cực (khi chịu tải lớn)

| Phương thức điều khiển | Điện áp trung bình trên tải | $0 \leq t < t_d$ | | $t_d \leq t < T_{ck}$ | | Phạm vi thay đổi của hệ số phân áp |
|------------------------|-----------------------------|---|--------|--|--------|------------------------------------|
| | | Trạng thái mở khoá | u_t | Trạng thái mở khoá | u_t | |
| Kiểu hai cực | dương | Tr_1, Tr_2 mở Tr_4, Tr_3 khoá | $+U_d$ | Tr_1, Tr_2 khoá D_4, D_3 mở | $-U_d$ | $0 \leq \gamma \leq 1$ |
| | âm | D_1, D_2 mở Tr_4, Tr_3 khoá | $+U_d$ | Tr_1, Tr_2 khoá Tr_4, Tr_3 mở | $-U_d$ | $-1 \leq \gamma \leq 0$ |
| Kiểu một cực | dương | Tr_1, Tr_2 mở Tr_4, Tr_3 khoá | $+U_d$ | Tr_2 mở, D_4 mở; Tr_1, Tr_3 khoá Tr_4 không mở | 0 | $0 \leq \gamma \leq 1$ |
| | âm | Tr_3 mở, D_1 mở Tr_2, Tr_4 khoá Tr_1 không mở | 0 | Tr_4, Tr_3 mở Tr_1, Tr_2 khoá | $-U_d$ | $-1 \leq \gamma \leq 0$ |

Do trong hai transistor Tr_3 và Tr_2 của bộ biến đổi một cực bao giờ cũng có một luôn mở, một luôn khoá, do đó tổn hao do mở khoá ở đây đã giảm so với ở bộ biến đổi hai cực.

b. BBD PWM điều khiển kiểu một cực bị hạn chế

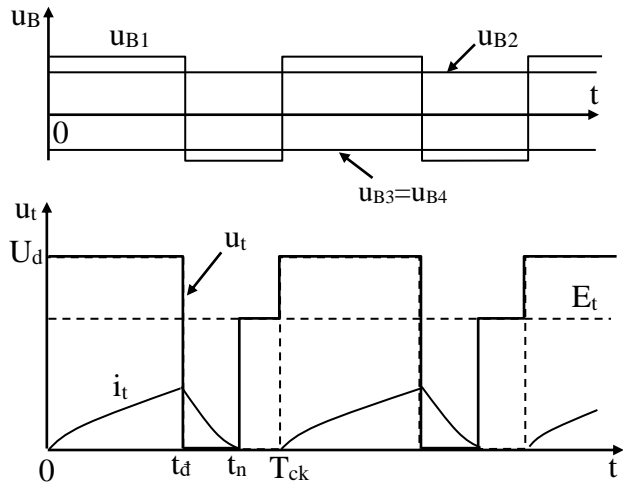
Bộ biến đổi điều khiển kiểu một cực so với bộ biến đổi điều khiển kiểu hai cực về mặt tiêu hao công suất đóng cắt và độ tin cậy có nhiều ưu điểm, nhưng vẫn còn yêu cầu hai transistor Tr_1 và Tr_4 thay nhau mở khoá, vẫn có thể gây ra ngắn mạch nguồn điện. Để khắc phục, có thể sử dụng điều khiển kiểu một cực bị hạn chế, trường hợp cần điện áp trung bình trên tải dương, hai transistor Tr_3 và Tr_4 luôn có điện áp điều khiển âm và luôn khoá, Tr_2 luôn có tín hiệu điều khiển dương để mở, chỉ điều khiển đóng cắt mỗi mình Tr_1 , do đó, trong khoảng thời gian $0 \leq t < t_d$, Tr_1 và Tr_2 mở, trong khoảng $t_d \leq t < T_{ck}$, dòng điện tải đi qua D_4 . Tương tự như vậy, khi cần điện áp trung bình trên tải âm, cho u_{B1} và u_{B2} luôn âm, Tr_1 và Tr_2 luôn bị khoá. Như thế sẽ không sinh ra sự cố làm cho Tr_1, Tr_4 cùng mở. Bộ biến đổi đảo chiều điều khiển kiểu một cực bị hạn chế khi non tải sẽ xuất hiện chế độ dòng điện tải gián đoạn, khi đó điện áp trên tải tăng đột ngột lên bằng s.đ.đ. tải ($u_t = E_t$), như trên hình

4.9. Hiện tượng dòng điện gián đoạn khi tải nhẹ này sẽ làm cho đặc tính ngoài của bộ biến đổi bị mềm đi, nó làm cho tính năng ở trạng thái tĩnh và động của hệ thống bị xấu đi, nhưng đôi lại độ tin cậy được tăng lên.

Ở chế độ dòng điện gián đoạn, việc nâng cao điện áp tải đã làm tăng điện áp trung bình theo quan hệ:

$$U_{tb} = \gamma U_d + \frac{T_{ck} - t_n}{T_{ck}} E_t$$

với $\gamma = t_d/T_{ck}$ được tính như trường hợp BBD không đảo chiều và $\gamma = (0 \div 1)$.



Hình 4.9: Đồ thị áp và dòng khi non tải của BBD điều khiển kiểu một cực bị hạn chế (4.33)

4.4. MẠCH ĐIỀU KHIỂN BBD MỘT CHIỀU - MỘT CHIỀU

4.4.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Cũng như các BBD khác, trong BBD một chiều - một chiều ta cũng sử dụng các dụng cụ bán dẫn có điều khiển, vì vậy để BBD có thể làm việc đúng theo yêu cầu cần phải tạo ra các tín hiệu điều khiển để khống chế các van. Mạch điện để tạo ra các tín hiệu điều khiển này được gọi là mạch điều khiển của BBD một chiều - một chiều. Từ nguyên lý hoạt động của mạch lực, có thể nhận thấy, tần số làm việc của BBD phụ thuộc vào tần số tín hiệu điều khiển trên điện cực điều khiển các van. Điều này hoàn toàn khác so với các BBD được cấp bởi nguồn xoay chiều, ví dụ tín hiệu điều khiển các van chỉnh lưu xuất hiện với tần số bằng tần số nguồn cung cấp cho BBD. Như vậy trong mạch điều khiển BBD này cần phải có mạch phát sóng chuẩn, nó quyết định tần số xung điều khiển các van, tức là quyết định tần số điện áp ra. Ngoài ra phụ thuộc vào phương pháp điều chỉnh điện áp ra mà cần phải có các mạch điện khác để thực hiện các nhiệm vụ cần thiết để đảm bảo được qui luật điều chỉnh nhất định. Mặt khác, phụ thuộc vào loại dụng cụ bán dẫn được sử dụng, kiểu sơ đồ BBD mà tín hiệu điều khiển cũng có những yêu cầu cụ thể khác nhau. Trong chương trình môn học chỉ nghiên cứu phương pháp điều chỉnh điện áp ra là phương pháp điều chỉnh độ rộng xung.

4.4.2. MẠCH ĐIỀU KHIỂN CÁC BBD PWM DÙNG THYRISTOR

4.4.2.1. Sơ đồ khối mạch điều khiển BBD PWM dùng thyristor

Các BBD một chiều - một chiều dùng thyristor không đảo chiều thường gồm một thyristor chính (T_1) đóng vai trò khóa đóng cắt và một hoặc một số thyristor phụ có nhiệm vụ khóa thyristor chính. Để đơn giản, thực xây dựng mạch điều khiển cho sơ đồ có một thyristor phụ. Từ nguyên lý hoạt động phần mạch lực của các sơ đồ BBD dạng này, có thể đưa ra nhận xét sau:

- Tần số (hoặc chu kỳ) của chuỗi xung điều khiển cả hai thyristor là như nhau và bằng tần số yêu cầu của chuỗi xung điện áp đầu ra BBD.

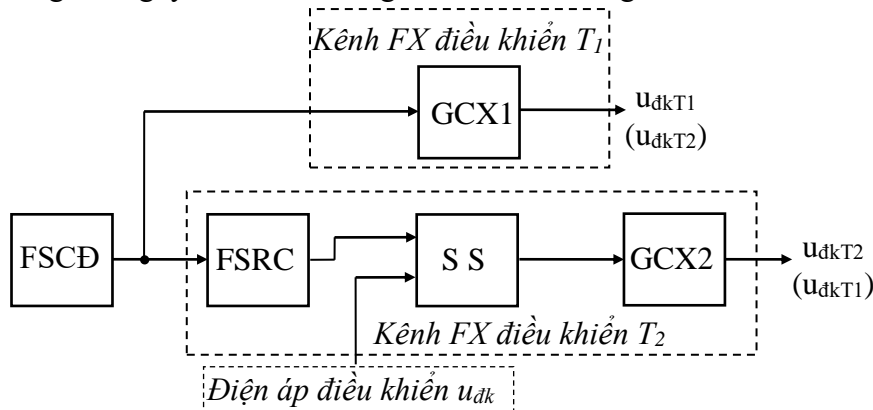
- Thời gian đóng (t_d) là khoảng thời gian tính từ thời điểm xuất hiện xung điều khiển trên thyristor chính (mở T_1 - đóng K) đến thời điểm xuất hiện xung điều khiển trên thyristor phụ (T_2) tiếp sau đó (khóa T_1 - cắt K). Thời gian cắt (t_c) là khoảng thời gian tính từ thời điểm xuất hiện xung điều khiển trên thyristor phụ (khóa T_2 - cắt K) đến thời điểm xuất hiện xung điều khiển trên thyristor chính (T_1) tiếp sau đó (mở T_1 - đóng K).

Từ các nhận xét trên có thể xây dựng được cấu trúc điều khiển BBD:

- Sử dụng một mạch tạo chuỗi xung có tần số không đổi và bằng tần số yêu cầu của chuỗi xung điện áp đầu ra BBD. Các mạch này là các mạch tự dao động có thể xây dựng từ các linh kiện bán dẫn rời rạc hoặc các vi mạch và được gọi là mạch phát sóng chủ đạo.

- Có thể chọn chuỗi xung đầu ra của mạch phát sóng chủ đạo làm xung điều khiển cho một thyristor (tất nhiên là phải thực hiện sửa lại dạng xung và khuếch đại để đảm bảo công suất), còn xung điều khiển thyristor kia sẽ được tạo bằng cách dịch thời điểm xuất hiện xung của chuỗi xung đầu ra mạch phát xung chủ đạo đi một khoảng thời gian cần thiết.

Việc sửa dạng xung, khuếch đại công suất xung hoàn toàn có thể sử dụng các sơ đồ đã giới thiệu ở phần điều khiển bộ chỉnh lưu. Việc dịch thời điểm xuất hiện của xung cũng có thể áp dụng các nguyên tắc như đã nghiên cứu ở chương 2.



Hình 4.10: Sơ đồ khối hệ thống điều khiển BBD PWM

Hình 4.10 là sơ đồ khối mạch phát xung điều khiển cho BBD một chiều - một chiều PWM sử dụng thyristor, trong đó:

- Khối khối phát sóng chủ đạo (FSCĐ): có nhiệm vụ tạo ra chuỗi xung điện áp thường có dạng hình chữ nhật với tần số bằng tần số của chuỗi xung điện áp đầu ra BBD. Khối này thường sử dụng các mạch tự dao động;

- Kênh phát xung điều khiển T_1 chỉ có khối gia công xung thứ nhất (GCX1), có nhiệm vụ thay đổi độ dài hoặc dạng xung (sửa xung) đầu ra FSCĐ, khuếch đại công suất xung sau khi sửa xung để đảm bảo xung ra có đủ công suất điều khiển mở T_1 và truyền xung đến cực điều khiển của T_1 ;

- Kênh phát xung điều khiển T_2 gồm các khối FSRC, SS và GCX2:

⊕ Khâu phát sóng răng cưa (FSRC): có nhiệm vụ tạo ra hệ thống điện áp hình răng cưa với chu kỳ đúng bằng chu kỳ xung ra của khối FSCĐ, thời điểm đầu mỗi xung răng trùng với thời điểm xuất hiện xung điều khiển T_1 .

⊕ Khâu so sánh (SS): có làm nhiệm vụ quyết định thời điểm xuất hiện xung điều khiển thyristor phụ T_2 trên cơ sở so sánh xung răng cưa đầu ra khâu FSRC với tín hiệu điều khiển u_{dk} (tín hiệu quyết định độ rộng xung điện áp ra). Nguyên lý hoạt động của khâu tương tự như khâu cùng tên trong hệ thống điều khiển các bộ chỉnh lưu sử dụng nguyên tắc không chế pha đứng.

⊕ Khâu gia công xung thứ hai (GCX2): chức năng tương tự như GCX1, khâu này cũng thực hiện thay đổi độ dài hoặc dạng xung ra của khối so sánh, tiếp theo thực hiện khuếch đại và truyền xung ra đến cực điều khiển T_2 .

Các phần tử trong mạch phát xung được cung cấp (nuôi) bằng các nguồn điện áp một chiều. Điện áp điều khiển dùng để điều chỉnh điện áp đầu ra BĐĐ là u_{dk} , đây là điện áp một chiều. Các xung điều khiển các van ký hiệu là u_{dkT1} và u_{dkT2} .

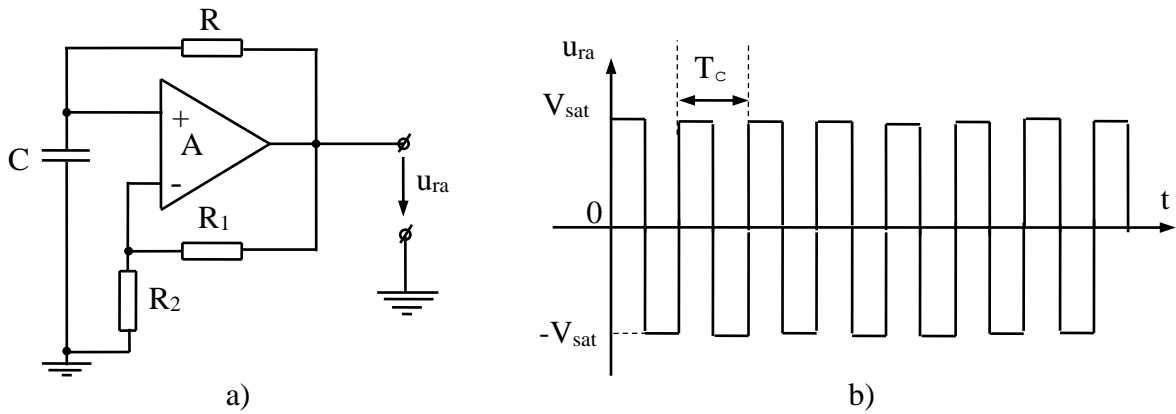
**Chú ý:* Có thể chuyển đổi kênh phát xung điều khiển thyristor chính T_1 để phát xung điều khiển cho thyristor phụ T_2 và ngược lại, khi đó qui luật thay đổi của điện áp ra theo điện áp điều khiển sẽ bị đảo lại.

4.4.2.2. Khối phát sóng chủ đạo

Như đã nêu, đây là mạch điện quyết định chu kỳ tín hiệu điều khiển, tức là quyết định chu kỳ làm việc của BĐĐ. Mạch này có nhiệm vụ phát ra một dãy xung với chu kỳ xác định, xung ra có thể là xung vuông hoặc dạng khác. Có rất nhiều sơ đồ phát xung khác nhau có thể sử dụng cho mục đích này, sau đây sẽ giới thiệu một số mạch phát xung ứng dụng các IC thông dụng.

a. Mạch phát sóng chủ đạo dùng vi mạch khuếch đại thuật toán

Sơ đồ nguyên lý mạch phát xung sử dụng khuếch đại thuật toán được biểu diễn trên hình 4.11a, trong đó mạch điện gồm vi mạch khuếch đại thuật toán A và 2 điện trở R_1 , R_2 tạo thành một trigger smit, khi thêm tụ điện C và điện trở R mắc như trong sơ đồ ta có mạch tự dao động, dạng điện áp ra của sơ đồ được biểu diễn trên hình 4.11b. Điện áp đầu ra của sơ đồ là các xung 2 cực tính (điện áp xoay chiều) với chu kỳ lặp lại là T_{ck} được xác định theo công thức sau:



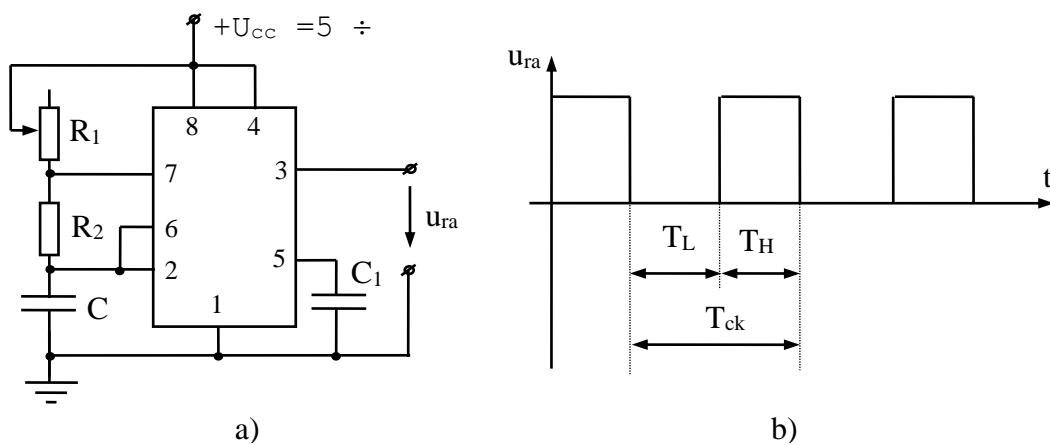
Hình 4.11: Sơ đồ nguyên lý mạch FSCĐ dùng KĐT và đồ thị xung điện áp ra

$$T_{ck} = 2RC \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \quad (4.34)$$

Nếu ta chọn $R_2 \approx 0,86 \cdot R_1$ thì $\ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \approx 1$, khi đó: $T_{ck} = 2 \cdot R \cdot C$.

Trị số biên độ các xung đầu ra bằng giá trị điện áp ra bão hoà của khuếch đại thuật toán và được ký hiệu là V_{sat} (hoặc U_{bh}).

b. Mạch phát sóng chủ đạo dùng vi mạch số 555



Hình 4.12: Sơ đồ nguyên lý mạch phát xung dùng vi mạch 555 và đồ thị điện áp ra

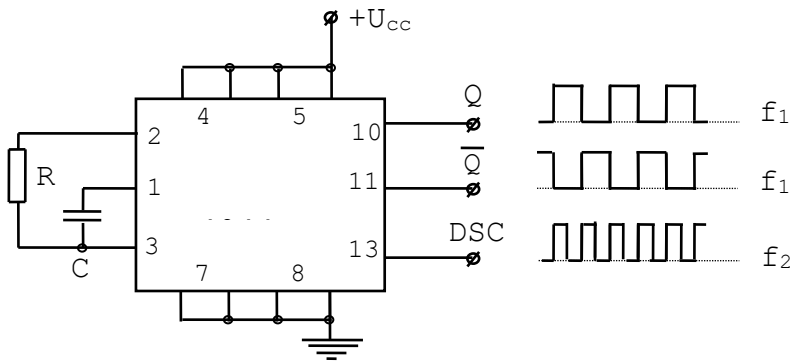
Sơ đồ mạch tạo xung dùng chip 555 như 4.12a. Đây là một sơ đồ đa hài phiếm định, nguồn cung cấp cho sơ đồ là $+U_{cc}$ có thể nằm trong khoảng từ 5 ÷ 15V một chiều. Điện trở điều chỉnh R_1 trong sơ đồ được dùng để điều chỉnh chu kỳ xuất hiện của xung điện áp ra, giá trị của R_1 có thể thay đổi từ 10 ÷ 1000 kΩ. Giá trị tụ điện C phải từ 0,1μF trở lên. Dạng điện áp ra là các xung vuông một cực tính được biểu diễn trên hình 4.12b. Chu kỳ của xung ra được xác định như sau:

$$T_{ck} = T_H + T_L .$$

Trong đó T_H được gọi là thời gian mức cao và $T_H = 0,693(R_1 + R_2)C$; còn T_L được gọi là thời gian mức thấp và $T_L = 0,693R_2C$.

c. Mạch phát xung chủ đạo dùng IC số 4044

Trong trường hợp cần các xung điều khiển với chu kỳ khác nhau, ví dụ khi sử dụng sơ đồ 4, có thể sử dụng mạch phát xung chủ đạo như hình 4.13. Trong sơ đồ này có 3 đầu ra, hai đầu Q và \bar{Q} có các xung cùng tần số là f_1 với cực tính ngược nhau, các xung này có thể dùng để



Hình 4.13: Sơ đồ mạch phát xung dùng vi mạch số 4044 và dạng các tín hiệu đầu ra

khống chế mạch phát xung cho các thyristor phụ ($T_2 \div T_4$, sơ đồ hình 4.2d). Đầu ra thứ ba (đầu ra DSC) có các xung với tần số f_2 gấp hai lần tần số hai kênh kia ($f_2 = 2f_1$), xung ở đầu ra này có thể dùng để làm tín hiệu khống chế kênh phát xung cho thyristor chính T_1 . Tần số xung đầu ra của sơ đồ xác định theo các biểu thức sau:

$$f_1 = \frac{1}{4,4RC}; \quad f_2 = \frac{1}{2,2RC} \quad (4.35)$$

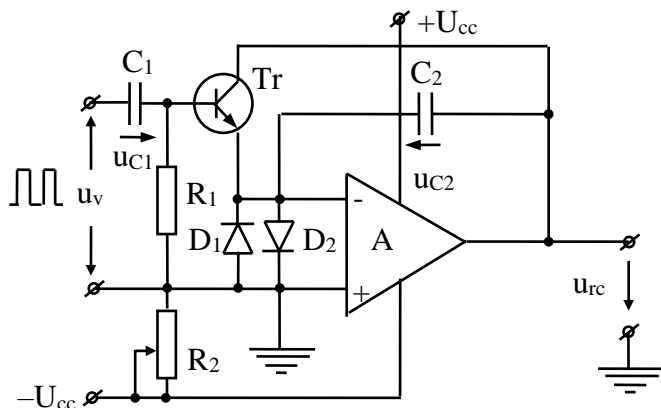
Ngoài các sơ đồ trên ta có thể sử dụng rất nhiều sơ đồ phát xung khác mà trong giới hạn của chương trình môn học ta chưa xét đến.

4.4.2.3. Khâu phát sóng răng cưa

Các mạch phát sóng răng cưa trong hệ thống điều khiển này về cơ bản cũng giống các mạch tạo điện áp răng cưa của hệ thống phát xung điều khiển bộ chỉnh lưu và bộ biến đổi điện áp xoay chiều sử dụng nguyên tắc khống chế pha đúng. Tín hiệu đóng vai trò tín hiệu đồng bộ là xung ra của khối phát xung chủ đạo. Có nhiều sơ đồ khác nhau có thể dùng làm mạch phát điện áp răng cưa, sau đây là một sơ đồ trong số đó.

a. Sơ đồ nguyên lý

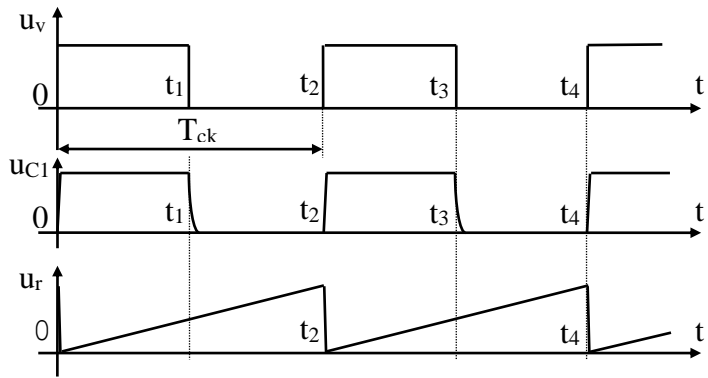
Hình 4.14 biểu diễn sơ đồ nguyên lý mạch tạo điện áp răng cưa bằng vi mạch khuếch đại thuật toán A. Tín hiệu khống chế sự làm việc của sơ đồ là xung điện áp đầu ra của mạch phát sóng chủ đạo, nó được đưa qua mạch vi phân bằng C_1 rồi đến cực gốc Transistor Tr . Các đi ốt D_1, D_2 dùng để bảo vệ đầu vào khuếch đại thuật toán. Các phần tử còn lại tương tự như các mạch tạo điện áp răng cưa đã xét.



Hình 4.14: Sơ đồ mạch tạo sóng răng cưa

b. Nguyên lý hoạt động của sơ đồ

Giả thiết, thời điểm $t = 0$ là thời điểm bắt đầu xuất hiện một xung điện áp đầu ra của khối phát sóng chủ đạo và trước đó điện áp trên tụ C_1 đang bằng không. Xung điện áp vào sẽ truyền qua C_1 làm mở Tr, tức C_2 sẽ phóng điện nhanh qua Tr mở (nếu trên C_2 đang có điện áp) đến điện áp bằng không. Do tụ C_1 có điện dung rất nhỏ nên transistor Tr hầu như chỉ mở trong một khoảng thời gian rất ngắn khi bắt đầu xuất hiện xung vào, sau đó do tụ C_1 được nạp đầy nên Tr khóa lại. Khi Tr khóa lại, tụ C_2 sẽ được nạp bởi dòng không đổi (giả thiết khuếch đại thuật toán là lý tưởng), dòng nạp tụ được xác định theo biểu thức:



Hình 4.15: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 4.14

$$u_{C_2} = \frac{1}{C_2} \int_0^t I d\tau = \frac{I t}{C_2} = \frac{U_{cc}}{R_2 C_2} t, \quad (I = \frac{U_{cc}}{R_2}) \quad (4.36)$$

Do nạp bằng dòng không đổi nên điện áp trên tụ tăng tuyến tính theo thời gian. Đến thời điểm $t = t_1$ (t thường bằng $0,5T_{ck}$), mất xung đầu ra khối phát sóng chủ đạo, tức là mất xung đầu vào mạch tạo điện áp răng cưa, tụ C_1 sẽ phóng điện qua điện trở R_1 đến bằng không để chuẩn bị cho sự mở lần tiếp theo của Tr khi xuất hiện xung vào tiếp theo. Đến thời điểm $t_2 = T_{ck}$, lại xuất hiện xung vào tiếp theo và tụ C_1 lại được nạp, Tr lại mở nên tụ C_2 phóng nhanh qua Tr đến điện áp bằng không, sau đó Tr khóa lại tụ C_2 lại được nạp. Các chu kỳ tiếp theo sự làm việc của sơ đồ diễn ra tương tự. Điện áp răng cưa đầu ra của sơ đồ bằng điện áp trên tụ C_2 . Đồ thị dạng điện áp vào ra minh họa sự làm việc của sơ đồ được

4.4.2.4. Mạch điện các khâu khác

Để có một mạch phát xung điều khiển đầy đủ thì ngoài các mạch phát sóng chủ đạo, mạch tạo điện áp răng cưa như đã nêu ta cần phải có một số mạch điện khác như: mạch so sánh; mạch sửa xung; mạch khuếch đại và truyền xung. Các phần mạch này có nguyên tắc hoạt động hoàn toàn tương tự như các mạch sử dụng trong hệ thống điều khiển bộ chỉnh lưu và BBD xoay chiều - xoay chiều, vì vậy trong mục này sẽ giới thiệu nữa.

4.4.2.5. Một ví dụ về hệ thống điều khiển BBD PWM

a. Sơ đồ nguyên lý

Hình 4.16 là một sơ đồ mạch điện hệ thống điều khiển BBD một chiều - một chiều điều chế độ rộng xung dùng hai thyristor (thyristor chính T_1 và thyristor phụ T_2). Trong sơ đồ sử dụng sơ đồ phát sóng chủ đạo bằng vi mạch số 555. Tín hiệu ra của mạch phát sóng chủ đạo u_{x1} được chia làm 2 đường:

- Đường thứ nhất đưa đến không chế khối gia công xung thứ nhất GCX1 để tạo xung điều khiển T_1 (gồm: mạch sửa xung bằng Tr_1, Tr_2 , tụ C_5 và các phần tử liên quan; mạch khuếch đại xung và truyền xung dùng Tr_3 , máy biến áp xung BAX_1);

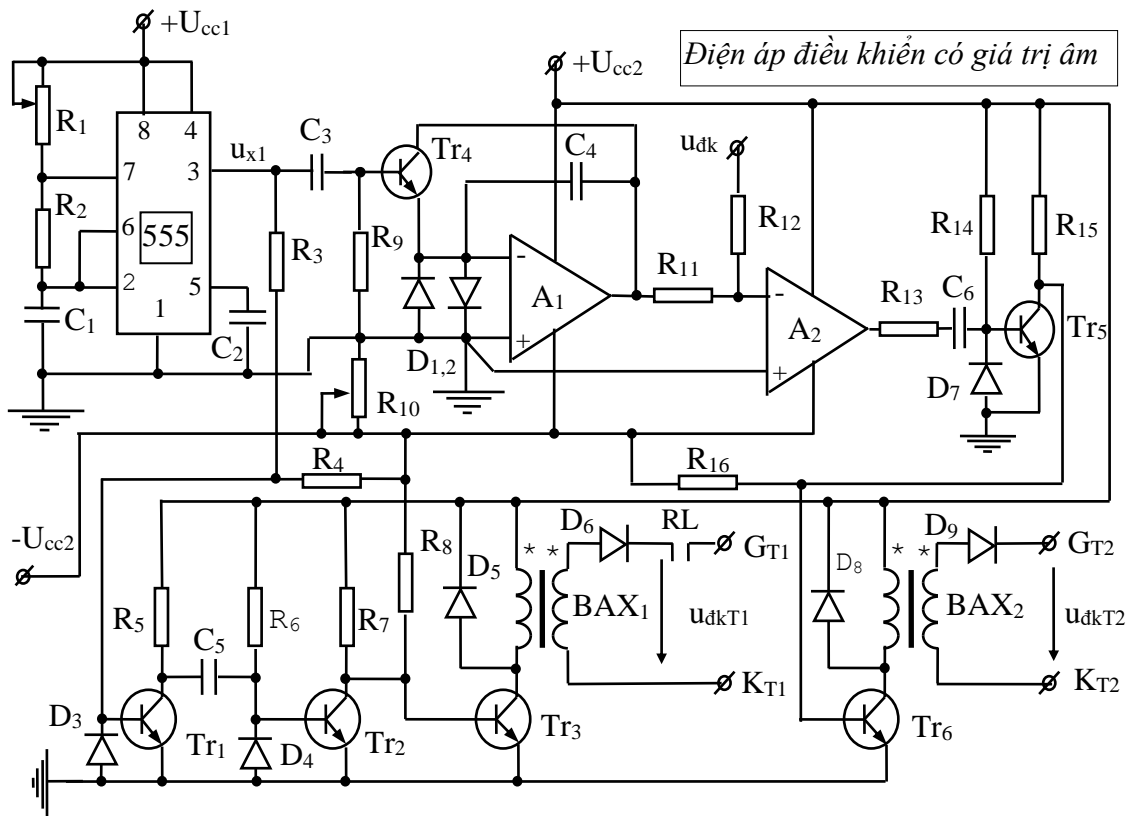
- Đường thứ hai đưa đến kênh phát xung cho thyristor phụ T_2 gồm: mạch tạo điện áp răng cưa dùng khuếch đại thuật toán A_1 , transistor Tr_4 và các phần tử thụ động khác (C_3, C_4, R_9, R_{10}); mạch so sánh dùng khuếch đại thuật toán A_2 ; khối gia công xung thứ hai GCX2 gồm mạch sửa xung dùng mạch $R_{13}-C_6$ kết hợp với transistor Tr_5 , mạch khuếch đại và truyền xung dùng transistor Tr_6 , máy biến áp xung BAX_2 .

Tiếp điểm thường mở của rơ le RL (rơ le khởi động hệ thống) mắc nối tiếp giữa thứ cấp máy biến áp xung BAX_1 và cực điều khiển của thyristor chính T_1 được sử dụng để khởi động BBD và có tác dụng không chế quá trình nạp điện ban đầu cho tụ điện chuyển mạch.

b. Nguyên lý làm việc

- Nguyên lý làm việc của kênh điều khiển thyristor T_1 :

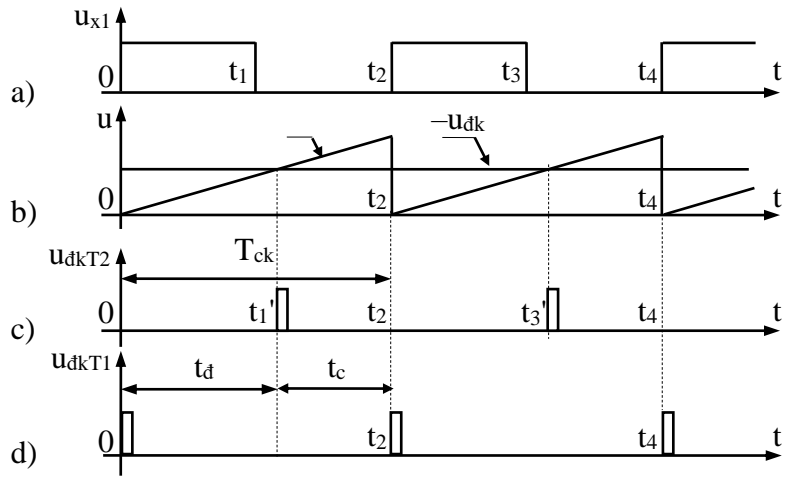
Khi chưa có xung ra của FSCĐ (ví dụ lân cận trước $t = 0$), Tr_1 khóa, tụ C_5 được nạp



Hình 4.16: Sơ đồ một mạch tạo xung điều khiển BBD PWM dùng thyristor

bởi nguồn điện áp $+U_{cc2}$ đến đầy (có giá trị xấp xỉ U_{cc2}) qua mạch $R_5 - C_5$ - mạch gốc, phát Tr_2 , Tr_2 mở bão hòa nên Tr_3 khóa và chưa có xung điều khiển T_1 . Tại thời điểm bắt đầu xuất hiện một xung điện áp đầu ra khỏi phát sóng chủ đạo (ví dụ tại thời điểm $t = 0$), xung này được truyền qua R_3 đến cực gốc Tr_1 làm mở, do Tr_1 mở nên tụ C_5 phóng điện qua Tr_1 làm khóa Tr_2 , Tr_2 khóa làm xuất hiện xung không chế mở Tr_3 và có xung trên cuộn thứ cấp máy biến áp xung BAX_1 (xuất hiện $u_{đkT1}$). Quá trình phóng điện qua Tr_1 làm cho điện áp

trên tụ C_5 giảm dần, khi điện áp trên C_5 bằng không, Tr_2 mở trở lại nhờ điện trở định thiên R_6 , Tr_2 mở làm cho Tr_3 khóa lại, mất xung điều T_1 . Đến $t = t_1$, mất xung ra khỏi FSCĐ, Tr_1 khóa lại, tụ C_5 lại được nạp để chuẩn bị cho quá trình khóa Tr_2 , mở Tr_3 ở đầu chu kỳ tiếp theo. Đến $t = T_{ck}$, xuất hiện xung ra tiếp theo của khối FSCĐ, Tr_1 lại mở, dẫn đến Tr_2 khóa lại và Tr_3 lại mở, xuất hiện xung điều khiển T_1 .



Hình 4.17: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 4.16

- Nguyên lý làm việc của kênh điều khiển thyristor T_2 :

⊕ Nguyên lý mạch điện áp răng cưa: Khi chưa có xung ra của FSCĐ (ví dụ lân cận trước $t = 0$), Tr_4 khóa, tụ C_4 đang được nạp điện. Tại $t = 0$, xuất hiện xung ra khỏi FSCĐ. Tín hiệu u_{x1} được truyền qua tụ C_3 làm mở Tr_4 , tụ C_4 phóng nhanh qua Tr_4 đến điện áp bằng không trước khi Tr_4 khóa lại. Như đã biết, do tụ C_3 có dung lượng rất nhỏ nên nhanh chóng được nạp đầy bởi điện áp u_{x1} và Tr_4 khóa lại, tụ C_4 được nạp bởi dòng không đổi và điện áp trên tụ thay đổi theo quy luật đường thẳng. Đến $t = t_1$, mất xung ra của khối FSCĐ ($u_{x1} = 0$), tụ C_3 phóng điện đến điện áp bằng không, chuẩn bị điều kiện để mở lại Tr_4 khi xuất hiện xung ra khỏi FSCĐ. Đến $t = t_2 = T_{ck}$, lại xuất hiện xung ra khỏi FSCĐ, Tr_4 mở và C_4 lại phóng điện qua Tr_4 , ... Quá trình diễn ra lặp đi lặp lại mang tính chu kỳ, đồ thị điện áp răng cưa (điện áp đầu ra A_1) được minh họa trên hình 4.17b.

⊕ Nguyên lý làm việc khối so sánh, sửa xung, khuếch đại và truyền xung: Từ $t = 0$ đến $t < t'_1$, điện áp trên đầu vào khối so sánh bằng khuếch đại thuật toán A_2 âm do trị số tuyệt đối của điện áp điều khiển u_{dk} lớn hơn u_{rc} (u_{dk} là điện áp âm), nên trên đầu ra A_2 có điện áp bằng U_{bh} (điện áp ra bão hòa của KĐTT A_2), điện áp này sẽ nạp cho tụ C_6 đến đầy, đồng thời trong khoảng thời gian này Tr_5 mở bão hòa nhờ dòng định thiên qua điện trở R_{14} , nên T_6 khóa, chưa có xung bên thứ cấp của BAX₂ (chưa có xung điều khiển T_2). Đến thời điểm $t = t'_1$, u_{rc} tăng lên bằng trị tuyệt đối của u_{dk} và sau đó trở nên lớn hơn, điện áp trên đầu vào A_2 bằng không và sau đó đổi sang dương, do vậy, trên đầu ra A_2 điện áp cũng đổi dấu và nhanh chóng thay đổi (gần như tức thời) từ U_{bh} sang $-U_{bh}$. Sự thay đổi của điện áp trên đầu ra khối so sánh làm cho tụ C_6 phóng điện theo mạch: $A_2 - (-U_{cc2})$ - mát - D_7 , tạo nên trên mạch góc-phát Tr_5 một điện áp ngược làm cho Tr_5 khóa lại, dẫn đến Tr_6 mở và xuất hiện xung điều khiển T_2 (xuất hiện u_{dkT2}). Tụ C_6 sau khi phóng đến điện áp bằng không sẽ được nạp ngược lại theo mạch vòng đó và điện áp trên nó đổi dấu và tăng dần,

khi điện áp trên tụ đạt đến một trị số nào đó (tùy thuộc trị số nguồn nuôi và tham số các phần tử trong sơ đồ) thì Tr_5 lại mở, Tr_6 khóa lại, kết thúc độ dài xung điều khiển T_2 . Đến thời điểm $t = t_2 = T_{ck}$, u_{rc} giảm về không, điện áp trên đầu vào A_2 lại chuyển về âm, điện áp trên đầu ra A_2 thay đổi thành U_{bh} , tụ C_6 phóng điện qua mạch gốc-phát Tr_5 , nguồn U_{cc2} và A_2 rồi được nạp lại đến điện áp xấp xỉ U_{bh} để chuẩn bị cho việc khóa Tr_5 ở chu kỳ làm việc tiếp theo (tại $t = t'_2$). Đồ thị xung điều khiển T_1 và T_2 được biểu diễn trên hình 4.17. Từ đồ thị có thể xác định được thời gian một chu kỳ đóng cắt T_{ck} , thời gian một lần đóng t_d , thời gian một lần cắt t_c . Cũng từ đồ thị suy ra: việc điều chỉnh t_d (hay điều chỉnh γ) được thực hiện bằng cách thay đổi độ lớn của điện áp điều khiển một chiều u_{dk} : $|u_{dk}|$ tăng dẫn đến t_d tăng và ngược lại.

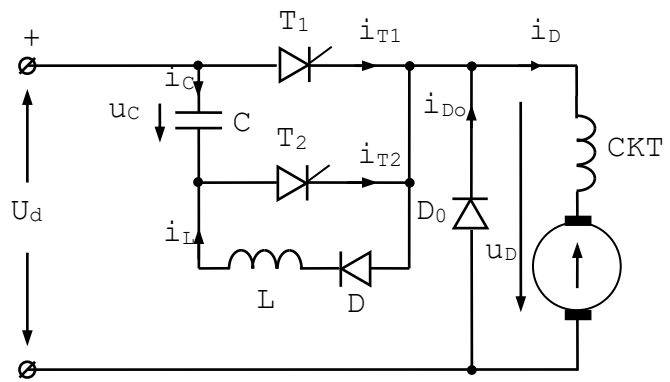
4.5. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA BBD MỘT CHIỀU - MỘT CHIỀU

4.5.1. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

Hiện nay các hệ điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều sử dụng BBD một chiều - một chiều rất phổ biến. Trong lĩnh vực công suất nhỏ và trung bình chủ yếu sử dụng các BBD một chiều - một chiều dùng transistor. Ở phạm vi công suất lớn, đặc biệt là công suất rất lớn thường vẫn sử dụng các BBD dùng thyristor. Trong mục này chỉ giới thiệu một số ứng dụng dùng BBD bằng thyristor.

4.5.1.1. Sơ đồ động cơ làm việc ở chế độ động cơ

Sơ đồ nguyên lý hệ phân mạch lực của hệ thống được minh họa trên hình 4.18. Trong sơ đồ, động cơ điện là động cơ một chiều kích từ nối tiếp, nó có đặc điểm là cuộn dây kích từ có điện cảm lớn mắc nối tiếp trong mạch phản ứng, điều này sẽ cho phép giảm giá trị điện cảm đưa vào mạch tải BBD (giảm được khối lượng và giá thành) và trong một số trường hợp có thể



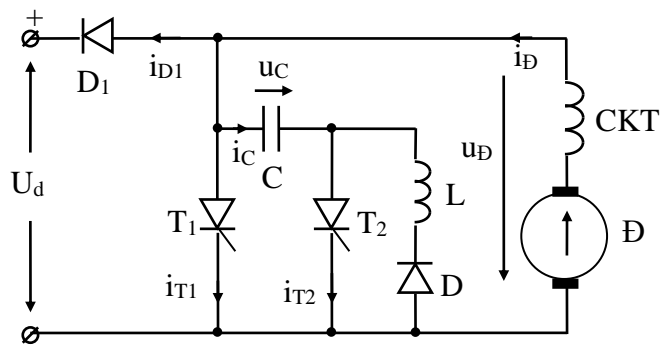
Hình 4.18: Sơ đồ động cơ làm việc ở chế độ động cơ

không phải dùng thêm điện cảm. BBD đổi là dạng BBD một chiều không đảo chiều dùng thyristor. Hoạt động của BBD trong trường hợp này hoàn toàn như khi làm việc với phụ tải tổng quát chung đã xét. Nhờ điều chỉnh được giá trị trung bình của điện áp trên phần ứng động cơ dẫn đến điều chỉnh được tốc độ động cơ.

***Chú ý:** Có thể sử dụng các loại động cơ một chiều khác: động cơ kích từ độc lập hoặc hỗn hợp.

4.5.1.2 Sơ đồ động cơ làm việc ở chế độ hãm tái sinh

Trong hệ thống truyền động xung điện áp - động cơ một chiều (XĐA-Đ), ngay cả khi sử dụng BBD bằng thyristor không đảo chiều dòng, ở điều kiện phù hợp, có thể thay đổi cách đấu nối giữa BBD và động cơ để chuyển động cơ từ chế độ động cơ sang các chế độ hãm, trong đó có chế độ hãm tái sinh. Sơ đồ nguyên lý mạch lực hệ thống để

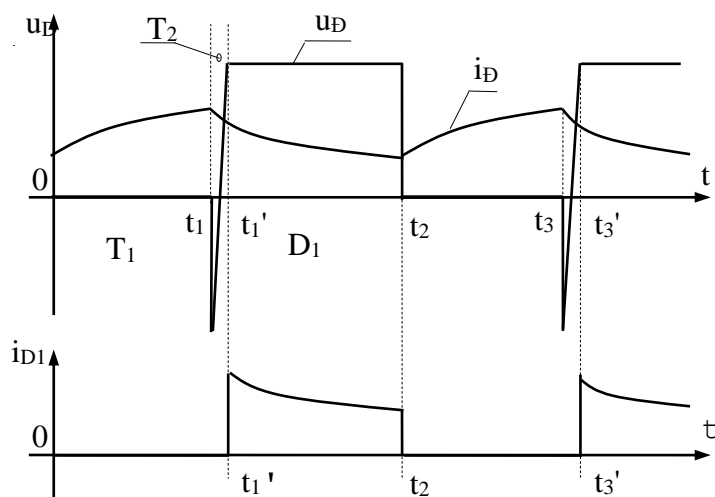


Hình 4.19: Sơ đồ động cơ làm việc ở chế độ hãm tái sinh

thực hiện hãm tái sinh động cơ được biểu diễn trên hình 4.9, trong trường hợp này cần có thêm đi ốt D_1 trong mạch nguồn một chiều mắc như hình vẽ.

Nguyên lý làm việc của sơ đồ: Trong trường hợp này s.đ.đ. động cơ là yếu tố tạo nên dòng điện trong sơ đồ. Giả thiết từ $t = 0$ đến $t = t_1$ thì thyristor T_1 mở, s.đ.đ. động cơ được nối kín mạch qua van T_1 và tổng trở mạch phần ứng (điện trở phần phần ứng R_r và tổng điện cảm mạch phần ứng L_D gồm điện cảm của cuộn kích từ động cơ CKT, điện cảm cuộn dây phần ứng và trong các trường hợp khác còn có thể có thêm điện cảm được đưa vào để san bằng dòng phần ứng động cơ), nên dòng điện qua phần ứng động cơ, điện cảm L_D và van T_1 sẽ tăng dần, trong điện cảm L_D sẽ tích lũy thêm một năng lượng. Đồng thời, trong khoảng thời gian đó, tụ điện C cũng đã được nạp đến điện áp: $u_C = -U_d$. Tại $t = t_1$ van T_2 nhận được xung điều khiển và T_2 sẽ mở. Van T_2 mở, tụ điện C phóng điện qua T_2 và qua phần ứng động cơ điện áp trên C tạo nên gây nên điện áp ngược trên van T_1 làm cho T_1 khóa lại. Tụ điện C sau khi phóng đến điện áp bằng không thì sẽ được nạp ngược lại nhờ s.đ.đ. động cơ và s.đ.đ. tự cảm trong điện cảm tổng của mạch phần ứng động cơ (L_D), nên

điện áp trên C sẽ tăng dần theo chiều dương. Điện áp trên tụ vượt qua giá trị s.đ.đ. động cơ (thông thường $E_D < U_d$) và tiếp tục tăng thêm (nhờ s.đ.đ. tự cảm sinh ra trong L_D). Đến thời điểm $t = t_1'$ thì $u_C = U_d$ và có xu hướng lớn hơn, dẫn đến D_1 được phân cực thuận và mở. Đi ốt D_1 mở, xuất hiện dòng điện từ phía động cơ đi qua D_1 và nguồn một chiều U_d , với chiều dòng qua nguồn như đã nêu thì nguồn U_d tiếp nhận một năng lượng điện từ phía động cơ chuyển sang. Khi D_1 dẫn dòng thì điện áp trên động cơ bằng U_d và lúc này tụ



Hình 4.20: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 4.19

điện C sẽ ngừng nạp và giữ nguyên giá trị điện áp như vậy ($u_C = U_d$), dòng qua C và T_2 sẽ giảm về không, van T_2 tự khóa lại. Trong giai đoạn D_1 dẫn dòng thì do tác dụng ngược chiều của U_d mà dòng qua phần ứng động cơ sẽ giảm dần. Đến thời điểm $t = t_2 = T_{ck}$, bắt đầu chu kỳ đóng cắt mới, van T_1 lại nhận được tín hiệu điều khiển, van T_1 lại mở, mạch phần ứng động cơ lại được nối kín mạch qua T_1 nên $u_D = u_{T1} = 0$, dẫn đến D_1 bị đặt điện áp ngược nên khóa lại. Van T_1 mở thì tụ C sẽ phóng điện qua T_1 - qua D - qua L và sau đó sẽ được nạp theo chiều ngược lại đến $u_C = -U_d$. Quá trình trong sơ đồ cứ diễn ra lặp đi lặp lại mang tính chất chu kỳ. Trong một chu kỳ làm việc của BBD quá trình biến đổi năng lượng trong mạch diễn ra qua 2 giai đoạn chính:

- Trong giai đoạn T_1 mở thì động cơ phát ra điện năng và phần lớn điện năng này được nạp vào điện cảm tổng trong mạch phần ứng động cơ (trừ đi phần tổn hao trên điện trở R_r và trên van T_1).

- Trong giai đoạn T_1 khóa và D_1 mở thì động cơ cũng phát ra điện năng, đồng thời năng lượng tích lũy trong điện cảm tổng ở mạch phần ứng động cơ cũng được giải phóng và phần lớn năng lượng đó được chuyển vào nguồn điện áp một chiều U_d (trừ đi phần tổn hao trên điện trở R_r và trên van D_1).

Như vậy, trong trường hợp này, thông qua sự làm việc của BBD một chiều - một chiều mà động cơ đã thực hiện quá trình biến cơ năng trên trục động cơ (thế năng của phụ tải cơ học hoặc động năng tích lũy được trong hệ thống truyền động) thành điện năng chuyển vào nguồn cung cấp một chiều. Điều này có nghĩa rằng động cơ một chiều làm việc ở chế độ hãm tái sinh.

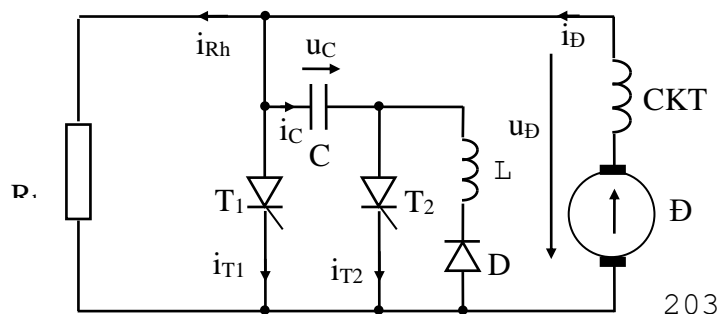
Từ hoạt động của sơ đồ cho thấy: với việc đấu nối và điều khiển sự làm việc của hệ thống truyền động điện XĐA-Đ một cách phù hợp, có thể thực hiện được quá trình hãm tái sinh động cơ một chiều trong hệ thống trên, kể cả khi động cơ điện là động cơ một chiều kích từ nối tiếp, là loại động cơ mà về mặt lý thuyết không có chế độ hãm tái sinh nếu đấu nối động cơ theo sơ đồ thông thường.

***Chú ý:** Do dòng phần ứng động cơ trong chế độ hãm ngược chiều với chế độ động cơ nên khi sử dụng động cơ một chiều kích từ nối tiếp, để động cơ làm việc ở chế độ hãm cần phải thay đổi cực tính cuộn kích thích phù hợp đảm bảo chiều s.đ.đ. động cơ được giữ không đổi.

4.5.1.3. Sơ đồ động cơ làm việc ở chế độ hãm động năng

Để tăng hiệu quả hãm động năng động cơ một chiều người ta ứng dụng BBD một chiều - một chiều và mắc theo sơ đồ như hình 4.21.

Nguyên lý hoạt động của sơ đồ trong một chu kỳ làm việc của BBD có thể được mô tả như sau:



Hình 4.21: Sơ đồ động cơ làm việc ở chế độ hãm động năng

Giả thiết, thời điểm $t = 0$, T_1 nhận được xung điều khiển và mở, s.đ.đ. động cơ tạo ra dòng điện qua điện cảm tổng trong mạch phản ứng và van T_1 (trước đó trên tụ điện C đã được nạp điện áp xấp xỉ giá trị s.đ.đ. động cơ), đồng thời tụ điện C cũng phóng điện qua T_1 - qua D - qua L và sau đó được nạp ngược lại để chuẩn bị cho quá trình khóa T_1 khi mở T_2 . Đến $t = t_1 = t_d$, T_2 nhận được xung điều khiển và mở. Van T_2 mở, tụ điện C sẽ phóng điện qua T_2 và mạch song song gồm phản ứng động cơ và điện trở hãm, điện áp trên tụ đặt ngược lên T_1 làm cho T_1 khóa lại. Khi C phóng đến điện áp bằng không thì sẽ được nạp ngược lại (điện áp trên C chuyển sang dương) và khi điện áp trên C đạt giá trị sức điện động động cơ thì quá trình nạp ngược lại của tụ kết thúc, dòng qua tụ và van T_2 bằng không, T_2 tự khóa. Khi T_2 khóa, trong mạch chỉ còn lại dòng điện qua điện trở hãm R_h do s.đ.đ. động cơ tạo ra. Đến $t = t_2 = T_{ck}$, van T_1 lại nhận được tín hiệu điều khiển và lại mở, sơ đồ chuyển sang chu kỳ làm việc tiếp theo. Với hoạt động của sơ đồ như đã nêu, rõ ràng động cơ làm việc ở chế độ hãm động năng trong tất cả các giai đoạn làm việc của BBD, tuy nhiên, khi bỏ qua khoảng thời gian phóng và nạp ngược lại của tụ điện C qua T_2 mở, có thể chia một chu kỳ làm việc của BBD ra hai giai đoạn: giai đoạn T_1 mở, điện trở hãm động năng coi như bằng không và giai đoạn T_1 khóa, điện trở hãm bằng R_h . Như vậy, sự kết hợp giữa BBD một chiều - một chiều và điện trở hãm R_h tạo nên điện trở hãm dạng xung, và điện trở hãm tương đương có thể xác định theo biểu thức:

$$R_{htd} = \frac{t_c}{T_{ck}} = \frac{T_{ck} - t_d}{T_{ck}} R_h = (1 - \gamma) R_h \quad (4.37)$$

với $\gamma = \frac{t_d}{T_{ck}}$.

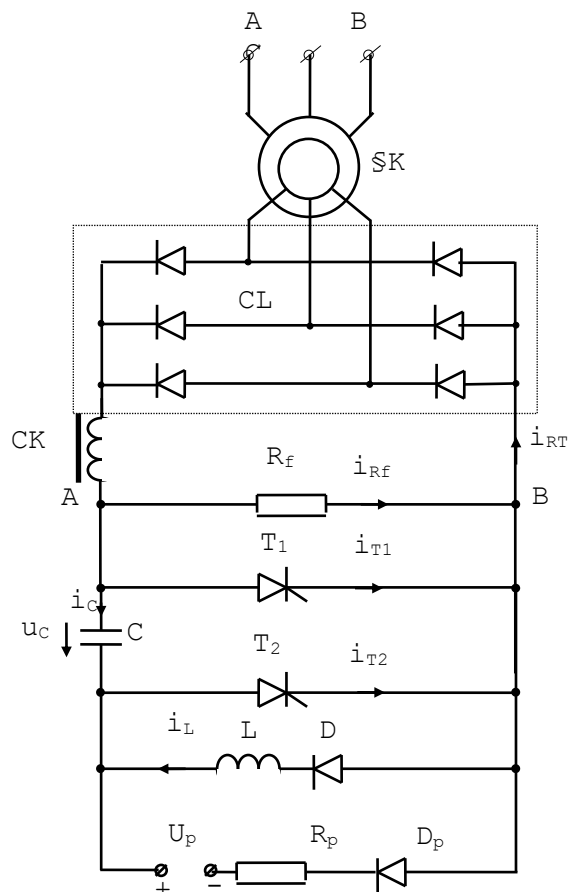
Như vậy, BBD một chiều - một chiều và điện trở hãm R_h tương đương như một mạch xung điện trở. Khi điều chỉnh sự làm việc của BBD một cách thích hợp sẽ cho phép ta thay đổi được điện trở và sẽ nhận được dòng hãm yêu cầu khi s.đ.đ. động cơ thay đổi (do tốc độ động cơ thay đổi).

4.5.2. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ XOAY CHIỀU KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA BẰNG PHƯƠNG PHÁP XUNG ĐIỆN TRỞ TRONG MẠCH ROTOR

IV.5.2.1 Sơ đồ nguyên lý

Sơ đồ nối động cơ và BBD như hình 4.17. Trong sơ đồ này:

- -ĐK là động cơ xoay chiều không đồng bộ ba pha rô to dây quấn.
- -CL là cầu chỉnh lưu ba pha không điều khiển dùng để biến s.đ.đ. xoay chiều mạch rô to động cơ thành điện áp một chiều đặt lên BBD một chiều - một chiều.
- -CK là cuộn kháng dùng để san bằng (lọc) dòng chỉnh lưu.
- - R_f là điện trở phụ.
- -Các phần tử BBD một chiều - một chiều gồm T_1 , T_2 , C, L, D và mạch nạp phụ cho tụ C gồm nguồn một chiều phụ U_p , điện trở R_p và đi ốt D_p



Hình 4.17

IV.5.2.2 Nguyên lý điều chỉnh tốc độ động cơ ĐK

Sự hoạt động của BBD một chiều - một chiều trong sơ đồ này cũng hoàn toàn tương tự như các sơ đồ đã xét. Chỉ phải lưu ý một vấn đề là điện áp nạp cho tụ C trong trường hợp chung là nguồn cung cấp cho BBD và ở đây là điện áp đầu ra của cầu chỉnh lưu không điều khiển. Vì vậy khi tốc độ của động cơ cao (gần bằng tốc độ đồng bộ) thì s.đ.đ. mạch rô to rất nhỏ nên điện áp chỉnh lưu cũng rất nhỏ không đủ điều kiện để T_1 phục hồi tính chất điều khiển. Để đảm bảo cho sơ đồ làm việc bình thường thì trong sơ đồ này ta bố trí thêm một mạch nạp phụ cho tụ C.

- Nguyên lý điều chỉnh tốc độ động cơ như sau:

Nếu ta gọi điện trở giữa 2 điểm A và B là R_{AB} thì ta có: Trong khoảng thời gian T_1 mở (tương ứng khóa K đóng) thì $R_{AB}=0$, còn trong khoảng thời gian T_1 khóa (tương ứng khóa K cắt) thì $R_{AB}=R_f$. Vậy giá trị trung bình của điện trở giữa 2 điểm A và B là: $R_{ABtb} = R_f \cdot t_c / T_{ck} = R_f \cdot (T_{ck} - t_d) / T_{ck} = R_f \cdot (1 - \gamma)$

Như vậy điện trở tương đương trong mỗi pha mạch rô to động cơ sẽ là:

$$R_{fR} = k_{sd} \cdot R_{ABtb} = k_{sd} \cdot R_f \cdot (1 - \gamma)$$

Trong đó k_{sd} là hệ số phụ thuộc sơ đồ chỉnh lưu. Từ đó ta thấy rằng khi thay đổi chế độ làm việc của BBD, tức là thay đổi γ thì ta sẽ điều chỉnh được giá trị điện trở tương đương trong mỗi pha mạch rô to và như vậy sẽ điều chỉnh được tốc độ động cơ ĐK.

NGHỊCH LƯU VÀ BỘ BIẾN ĐỔI TẦN SỐ

5.1. KHÁI NIỆM CHUNG VÀ PHÂN LOẠI

5.1.1. KHÁI NIỆM VỀ NGHỊCH LƯU

Trong chương hai đã trình bày về BBD năng lượng điện xoay chiều thành năng lượng điện một chiều, BBD đó còn được gọi bộ chỉnh lưu. Trong kỹ thuật điện, nhiều trường hợp phải thực quá trình biến đổi năng lượng điện ngược lại, tức là biến đổi năng lượng điện một chiều thành năng lượng điện xoay chiều. Để thực hiện nhiệm vụ trên, với phạm vi công suất từ hàng KW trở lên thường có hai loại thiết bị được sử dụng là các bộ phát giao động dùng đèn điện tử hoặc transistor công suất và BBD dùng các dụng cụ điện tử công suất làm việc theo chế độ đóng-cắt (mở-khóa) và thường được gọi là bộ nghịch lưu. Các bộ phát dao động dùng đèn điện tử hoặc transistor công suất bị giới hạn về mặt công suất và hiệu suất thấp, thường chỉ sử dụng ở lĩnh vực tần số cao. Trong phạm vi tần số thấp và trung bình (đến vài chục KHz) chủ yếu dùng các bộ nghịch lưu. Trong nội dung chương này chỉ tập trung nghiên cứu các bộ nghịch lưu dùng thyristor và transistor. Phần cuối của chương đề cập sơ lược về các bộ biến đổi tần số.

5.1.2. PHÂN LOẠI CÁC BỘ NGHỊCH LƯU

5.1.2.1. Phân loại theo dụng cụ bán dẫn công suất được sử dụng

- Nghịch lưu dùng thyristor
- Nghịch lưu dùng transistor

5.1.2.2. Phân loại theo tính chất của nguồn cung cấp và đặc tính tải

- Nghịch lưu điện áp: là BBD một chiều-xoay chiều mà nguồn cung cấp là nguồn điện áp và phụ tải không có tính chất dao động cộng hưởng hoặc nếu có tính chất dao động cộng hưởng thì tần số cộng hưởng f_0 nhỏ hơn tần số điện áp ra f của BBD (f cũng là tần số làm việc của BBD). Trong thực tế, nguồn một chiều cung cấp cho bộ nghịch lưu thường chưa thỏa mãn tính chất nguồn áp (duy trì điện áp ổn định trên đầu cực của nguồn khi dòng nguồn thay đổi, tức là nội trở nguồn bằng không; có tính dẫn dòng hai chiều), để nguồn có tính chất gần với nguồn áp lý tưởng thường mắc song song với 2 cực nguồn một tụ C_0 có giá trị đủ lớn (ý nghĩa của từ đủ lớn là tùy thuộc vào chế độ và tần số làm việc, độ chính xác yêu cầu mà lựa chọn giá trị cần thiết của C_0). Tụ C_0 có tác dụng duy trì cho điện áp trên 2 cực nguồn không thay đổi khi BBD làm việc, đồng thời đảm bảo tính dẫn dòng 2 chiều của nguồn.

- Nghịch lưu dòng điện: là BBD một chiều-xoay chiều mà nguồn cung cấp là nguồn dòng điện và phụ tải không có tính chất dao động cộng hưởng hoặc nếu có tính chất dao động cộng hưởng thì tần số cộng hưởng f_0 nhỏ hơn tần số dòng điện đầu ra f của BBD. Trong thực tế, nguồn một chiều cung cấp cho bộ nghịch lưu thường chưa thỏa mãn tính chất nguồn dòng (duy trì dòng nguồn không đổi không phụ thuộc vào tổng trở mạch tải, tức là nội trở nguồn vô cùng lớn), để nguồn có tính chất gần với nguồn dòng thường sử

dụng một điện cảm L_0 có giá trị đủ lớn mắc nối tiếp giữa nguồn và tải, (ý nghĩa của từ đủ lớn là tùy thuộc vào chế độ và tần số làm việc, độ chính xác yêu cầu mà lựa chọn giá trị cần thiết của L_0). Điện cảm L_0 có tác dụng duy trì cho dòng điện nguồn không thay đổi khi BBD làm việc, đồng thời đảm bảo tổng trở lớn của nguồn.

- Nghịch lưu cộng hưởng: là BBD một chiều-xoay chiều mà nguồn cung cấp có thể có tính chất nguồn điện áp hoặc nguồn dòng điện nhưng phụ tải phải có tính chất dao động cộng hưởng với tần số cộng hưởng f_0 lớn hơn tần số điện áp hoặc dòng điện ra f của BBD. Trong thực tế thì để có tính chất dao động cộng hưởng mạch tải phải có các phần tử điện cảm và điện dung, ngoài ra để đặc trưng cho sự tiêu thụ công suất tác dụng của tải thì tải phải có một giá trị điện trở tương đương nào đó. Từ đó ta thấy rằng quá trình dao động cộng trong mạch tải của BBD này là một quá trình tắt dần. Phụ thuộc vào cách nối các phần tử mạch tải mà loại BBD này có thể được chia ra các loại khác nhau.

5.1.2.3. Phân loại theo số pha của điện áp hoặc dòng điện đầu ra

- Nghịch lưu một pha
- Nghịch lưu ba pha

5.1.2.4. Phân loại theo thiết bị chuyển mạch các van

Với nghịch lưu dùng thyristor, để chuyển mạch (khóa) các van cần phải có các thiết bị tương tự như việc khóa các van trong BBD một chiều - một chiều. Sơ đồ mạch điện cũng như các phần tử dùng để chuyển mạch các thyristor rất đa dạng và có thể sử dụng để phân loại các bộ nghịch nhóm này.

Trong thực tế, tên gọi một sơ đồ nghịch lưu thường kèm theo một số cách phân loại khác nhau, ví dụ: Nghịch dòng điện ba pha, chuyển mạch bằng tụ, có đi ốt ngăn cách, trong tên gọi vừa có phân loại theo tính chất nguồn và tải, theo số pha đầu ra, theo thiết bị chuyển mạch, v.v...

5.2. CÁC BỘ NGHỊCH LƯU DÙNG THYRISTOR

5.2.1. NGHỊCH LƯU ĐIỆN ÁP MỘT PHA

5.2.1.1. Nguyên tắc không chế

Nghịch lưu điện áp một pha có thể thực hiện bằng nhiều sơ đồ khác nhau. Sau đây sẽ sử dụng sơ đồ nghịch lưu cầu một pha là sơ đồ phổ biến nhất để xét nguyên tắc tạo ra điện áp xoay chiều một pha trên tải khi nguồn cung cấp cho BBD là một chiều. Trên hình 5.1 là sơ đồ mạch lực của bộ nghịch lưu (còn thiếu thiết bị chuyển mạch).

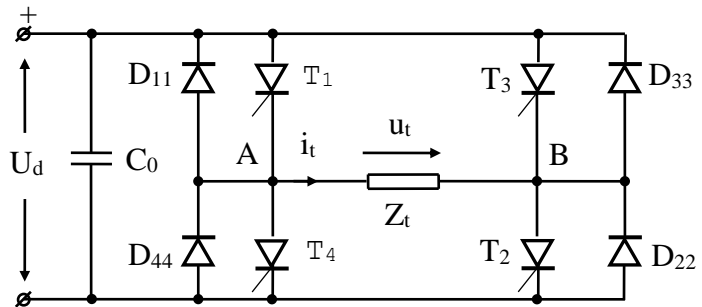
Trong sơ đồ hình 5.1:

- U_d là nguồn điện áp một chiều cung cấp cho BBD, trong công nghiệp thì thường là điện áp ra của sơ đồ chỉnh lưu.

- Tụ C_0 có tác dụng làm cho nguồn cung cấp có tính chất nguồn điện áp. Tụ C_0 đảm bảo cho điện áp trên 2 cực nguồn không thay đổi và đảm bảo tính dẫn dòng hai chiều của nguồn.

- T_1, T_2, T_3, T_4 là các thyristor chính dùng để thực hiện quá trình biến đổi điện áp một chiều thành điện áp xoay chiều.

- $D_{11}, D_{22}, D_{33}, D_{44}$ là các điốt ngược, chúng được mắc thành một sơ đồ cầu và được gọi là cầu điốt ngược, nó cho phép phụ tải có tính cảm kháng trả lại năng lượng phản kháng cho nguồn.



Hình 5.1: Sơ đồ mạch lực của nghịch lưu áp một pha dạng cầu (thiếu thiết bị chuyển mạch)

- Z_t là phụ tải xoay chiều của BĐ, trong trường hợp tổng quát, Z_t có thể có đầy đủ các phần tử như: điện trở R_t , điện cảm L_t , điện dung C_t và sức phản điện động E_t . Thông thường chỉ xét loại phụ tải điện trở-điện cảm (R_t-L_t) là loại tải xoay chiều hay gặp nhất, vì ngay cả động cơ xoay chiều không đồng bộ cũng có thể thay thế tương đương bằng dạng tải này.

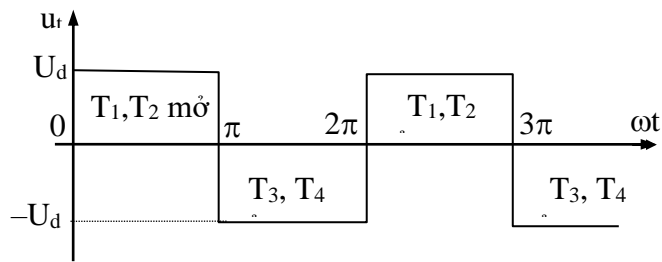
Nguyên tắc khống chế:

Để tạo ra điện áp xoay chiều trên tải Z_t người phải thực hiện khống các thyristor chính của BĐ làm việc theo qui luật như sau:

- Trong các khoảng thời gian cần có nửa chu kỳ dương của điện áp trên tải, thực hiện khống chế mở hai van T_1, T_2 và khoá hai van T_3, T_4 . Khi đó điện áp trên tải (cũng là điện áp giữa 2 điểm A và B) sẽ là: $u_t = U_d$.

- Trong các khoảng thời gian cần có nửa chu kỳ âm của điện áp trên tải, thực hiện khống chế mở hai van T_3, T_4 và khoá hai van T_1, T_2 . Khi đó điện áp trên tải sẽ là: $u_t = -U_d$.

Với việc khống chế sự làm việc của các van theo quy luật như trên và lặp đi lặp lại với chu kỳ bằng chu kỳ điện áp ra yêu cầu, kết quả nhận được điện áp trên tải là



Hình 5.2: Đồ thị điện áp ra của sơ đồ hình 5.1 theo nguyên tắc khống chế đã nêu

điện áp xoay chiều có dạng hình chữ nhật (còn gọi là dạng sin chữ nhật). Đồ thị điện áp trên tải khi cho các van làm việc theo qui luật trên được minh họa trên hình 5.2.

5.2.1.2. Nguyên lý làm việc của sơ đồ khi có xét đến các điốt ngược với tải $R_t - L_t$

a. Nguyên lý làm việc của sơ đồ khi có xét đến các điốt ngược với tải R_t-L_t

Giả thiết là sơ đồ đã làm việc ở chế độ xác lập trước thời điểm bắt đầu xét (thời điểm mốc bắt đầu xét $\omega t = 0$ là thời điểm truyền xung điều khiển đến mở 2 van T_1 và T_2). Như vậy lân cận trước $\omega t = 0$, trong sơ đồ đang có 2 van là T_3 và T_4 đang dẫn dòng, dòng điện trong sơ đồ khép kín theo mạch: $(+U_d) - T_3 - Z_t - T_4 - (-U_d)$, do đó điện áp trên tải $u_t = -U_d$,

còn dòng tải mang giá trị âm. Tại $\omega t = 0$, không chế khoá 2 van T_3, T_4 (nhờ thiết bị chuyển mạch hay còn gọi là mạch chuyển đổi) và truyền tín hiệu điều khiển đến mở T_1 và T_2 . Hai van T_3, T_4 khoá lại nhưng do tải có điện cảm L_t nên dòng qua tải không thể đổi chiều ngay, tức là dòng tải chưa khép qua T_1, T_2 . Khi hai van T_3, T_4 khoá lại làm cho dòng tải giảm và có xu hướng đổi chiều, trong L_t xuất hiện s.đ.đ. tự cảm chống lại quá trình này và tiếp tục duy trì dòng tải theo chiều cũ một khoảng thời gian nữa và lúc này dòng tải được khép kín theo mạch: $Z_t - D_{11} - U_d - D_{22} - Z_t$. Như vậy tuy dòng tải chưa đổi chiều nhưng điện áp trên tải đã đổi chiều ($u_t = U_d$), còn dòng qua nguồn lúc này ngược chiều với điện áp nguồn, tức là trong giai đoạn này nguồn một chiều thu công suất. Về mặt năng lượng thì ở giai đoạn này năng lượng tích lũy trong điện cảm phụ tải L_t ở giai đoạn T_3 và T_4 dẫn dòng (cũng được gọi là năng lượng phản kháng) được giải phóng ra và chuyển trả cho nguồn cung cấp một chiều. Khi toàn bộ năng lượng tích lũy trong L_t ở giai đoạn T_3 và T_4 làm việc trước đó được giải phóng hết thì dòng tải bằng không và bắt đầu đổi chiều (tại $\omega t = \omega t_1$) và sẽ khép mạch qua T_1 và T_2 . Vậy giai đoạn từ $\omega t = \omega t_1 \div \omega t = \pi$ thì T_1 và T_2 làm việc, dòng tải khép kín theo mạch: $(+U_d) - T_1 - Z_t - T_2 - (-U_d)$, điện áp trên tải $u_t = U_d$. Tại $\omega t = \pi$, không chế khoá T_1, T_2 và mở T_3, T_4 . Cũng tương tự như tại $\omega t = 0$, sau khi khóa T_1 và T_2 , s.đ.đ. tự cảm sinh ra trong L_t sẽ làm cho dòng tải tiếp tục được duy trì theo chiều cũ (tức là i_t vẫn dương) và khép kín theo mạch: $Z_t - D_{33} - U_d - D_{44} - Z_t$, điện áp tải thì đổi chiều: $u_t = -U_d$. Đến $\omega t = \omega t_2 = \omega t_1 + \pi$, dòng tải giảm về bằng không và bắt đầu đổi chiều và sẽ khép theo mạch: $(+U_d) - T_3 - Z_t - T_4 - (-U_d)$, trong giai đoạn này $u_t = -U_d$. Đến $\omega t = 2\pi$, không chế khóa T_3, T_4 và mở T_1, T_2 , sự làm việc của sơ đồ lặp lại như từ $\omega t = 0$.

b. Dòng qua tải R_t-L_t

Từ nguyên lý hoạt động vừa nêu có thể thấy, trong nửa chu kỳ từ $\omega t = 0$ đến $\omega t = \pi$, điện áp trên tải $u_t = U_d$, còn nửa chu kỳ tiếp sau thì $u_t = -U_d$. Do tính chất đối xứng của 2 nửa chu kỳ nên chỉ cần xác định biểu thức dòng tải của một nửa chu kỳ là đủ. Xét cho giai đoạn $\omega t = 0$ đến $\omega t = \pi$, phương trình vi phân mô tả quan hệ dòng áp của sơ đồ trong giai đoạn này là:

$$R_t i_t + L_t \frac{di_t}{dt} = U_d \quad (5.1)$$

Biến đổi (5.1) sang dạng toán tử Laplace, nhận được:

$$R_t I_t(s) + sL_t I_t(s) - L_t i_t(0) = \frac{U_d}{s} \quad (5.2)$$

Trong đó: $I_t(s)$ là ảnh Laplace của i_t , còn $i_t(0)$ là giá trị dòng tải tại thời điểm $\omega t = 0$, khi BBĐ đã làm việc ở chế độ xác lập, với tính đối xứng của 2 nửa chu kỳ điện áp và dòng điện trên tải ta suy ra $i_t(0)$ cũng bằng giá trị i_t tại $\omega t = 2\pi$ và bằng nhưng ngược dấu với dòng tải tại $\omega t = \pi$, ký hiệu giá trị dòng tải tại $\omega t = \pi$ là I_m thì: $i_t(0) = -I_m$.

Đặt $R_t/L_t = a$, giải phương trình (5.2) được kết quả:

$$I_t(s) = \frac{aU_d}{sR_t(a+s)} - \frac{I_m}{(a+s)} \quad (5.3)$$

Biến đổi ngược Laplace (5.3), đưa về dạng hàm gốc, được:

$$i_t = \frac{U_d}{R_t}(1 - e^{-at}) - I_m e^{-at} \quad (5.4)$$

Dựa vào tính chất của dòng và áp đầu ra trong chế độ xác lập, theo biểu thức (5.4) có thể xác định được I_m khi cho $t = 0,5T = \pi/\omega$ (T là chu kỳ điện áp ra, $f=1/T$ là tần số điện áp ra, $\omega = 2\pi f$ là tần số góc của điện áp ra):

$$I_m = \frac{U_d}{R_t} \frac{1 - e^{-0,5aT}}{1 + e^{-0,5aT}} \quad (5.5)$$

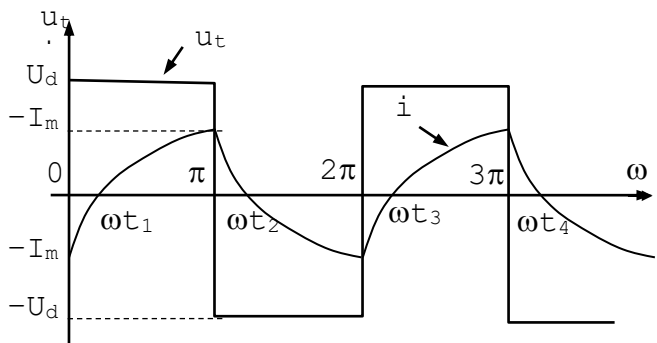
Thay (5.5) vào (5.4) và biến đổi, cuối cùng nhận được:

$$i_t = \frac{U_d}{R_t} \frac{1 + e^{-0,5aT} - 2e^{-at}}{1 + e^{-0,5aT}} \quad (5.6)$$

Dạng đồ thị dòng điện và điện áp trên tải được biểu diễn trên hình 5.3. Giá trị t_1 có thể xác định bằng cách thay $t = t_1$ vào biểu thức dòng i_t (5.4) và cho về trái bằng không:

$$t_1 = \frac{L_t}{R_t} \ln \frac{U_d + R_t I_m}{U_d} \quad (5.7)$$

Từ đồ thị có thể rút ra: Các thyristor trong thời gian một chu kỳ của điện áp ra (T) dẫn dòng một khoảng bằng $(0,5T - t_1)$, còn các đi ốt ngược thì dẫn dòng một khoảng đúng bằng t_1 . Xuất phát từ nhận xét này có thể xác định được giá trị trung bình của dòng qua các van để phục vụ cho việc chọn và kiểm tra các van.



Hình 5.3: Đồ thị điện áp và dòng điện đầu ra của sơ đồ hình 5.1 với tải $R_t - L_t$

- Dòng trung bình qua thyristor:

$$I_{Ttb} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{0,5T} i_t dt = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{0,5T} \frac{U_d}{R_t} \frac{1 + e^{-0,5aT} - 2e^{-at}}{1 + e^{-0,5aT}} dt \quad (5.8)$$

- Dòng trung bình qua đi ốt ngược:

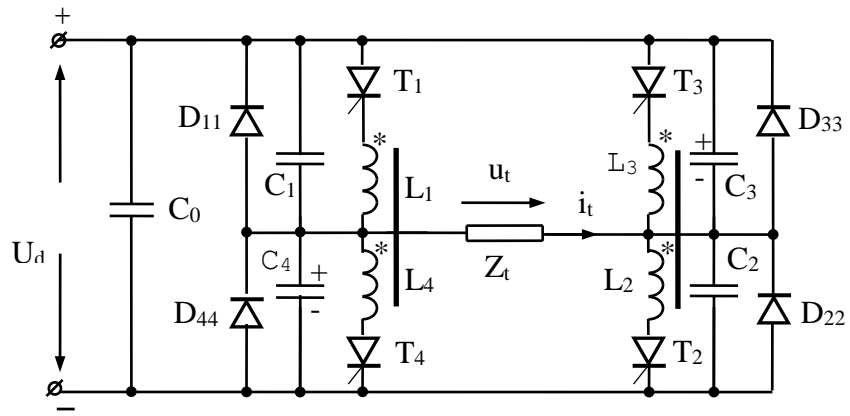
$$I_{Dtb} = -\frac{1}{T} \int_0^{t_1} i_t dt = -\frac{1}{T} \int_0^{t_1} \frac{U_d}{R_t} \frac{1 + e^{-0,5aT} - 2e^{-at}}{1 + e^{-0,5aT}} dt \quad (5.9)$$

5.2.1.3. Một số sơ đồ nghịch lưu điện áp một pha và nguyên lý làm việc

a. Sơ đồ 1

- Sơ đồ nguyên lý:

Sơ đồ nguyên lý mạch lực của BBD được biểu diễn trên hình 5.5, trong sơ đồ này ngoài các phần tử giống như sơ đồ hình 5.1 còn có thêm các phần tử chuyển mạch (mạch để khoá các thyristor chính). Các phần tử của thiết bị chuyển mạch gồm: L_1 , L_4 , C_1 , C_4 là các phần tử chuyển mạch của 2 van T_1 và T_4 ; còn L_2 , L_3 , C_2 , C_3 là các phần tử chuyển mạch của 2 van T_2 và T_3 . Các điện cảm chuyển mạch có giá trị nhỏ và bằng nhau, mặt khác từng cặp L_1 và L_4 , L_2 và L_3 có liên hệ hỗ cảm với nhau (ghép kiểu biến áp) với hệ số liên hệ bằng 1.



Hình 5.4: Sơ đồ nghịch lưu áp một pha dạng cầu chuyển mạch phụ thuộc theo nhánh (theo pha)

- Nguyên lý hoạt động của sơ đồ:

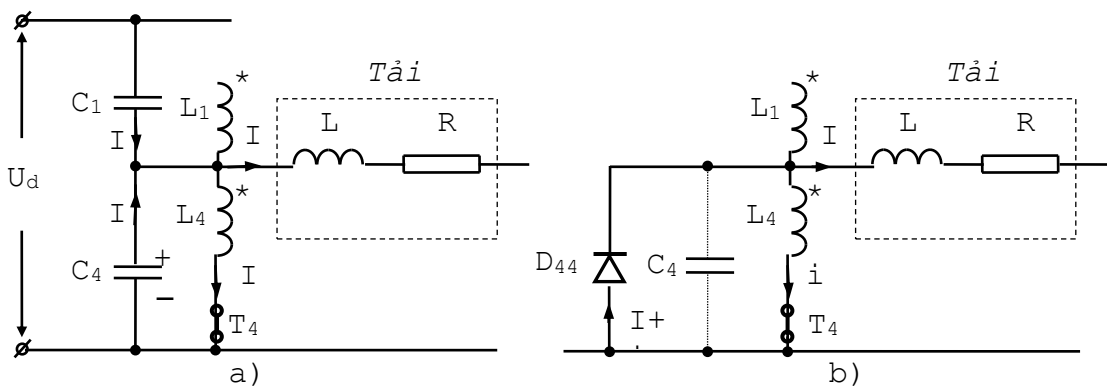
Để xét nguyên lý làm việc mà quan trọng nhất là sự chuyển mạch của các van trong sơ đồ chỉ cần xét quá trình khoá một van của sơ đồ, ví dụ, xét quá trình khoá T_1 . Giả thiết, sơ đồ đang làm việc và hai van T_1 và T_2 đang dẫn dòng, sụt điện áp bởi dòng tải trên L_1 và L_2 bỏ qua vì không đáng kể, $u_{T1} = u_{T2} = 0$, và do vậy mà các tụ C_3 và C_4 sẽ nạp đến giá trị bằng U_d với cực tính như ghi trên sơ đồ hình 5.4, còn điện áp trên C_1 và C_2 bằng không. Tại thời điểm $t = t_0$, cần khoá T_1 , T_2 và mở T_3 , T_4 , chỉ cần cấp xung điều khiển mở cho hai van T_3 , T_4 thì quá trình khoá T_1 , T_2 sẽ được thực hiện.

Nguyên lý hoạt động của sơ đồ trong quá trình khoá T_1 , như sau:

Khi T_4 có tín hiệu điều khiển thì T_4 mở vì trên nó đang được đặt điện áp thuận bằng điện áp trên tụ C_4 và lúc đó tụ C_4 sẽ phóng điện qua điện cảm L_4 và van T_4 , do sụt điện áp trên T_4 mở bỏ qua ($u_{T4} = 0$) nên trên L_4 được đặt điện áp bằng điện áp trên C_4 , ($u_{L4} = u_{C4}$). Mặt khác do sự liên hệ kiểu biến áp của L_1 và L_4 mà trên L_1 cũng sẽ cảm ứng một điện áp bằng điện áp trên L_4 : $u_{L1} = u_{L4}$. Với cực tính các cuộn dây như trên sơ đồ thì tại thời điểm T_4 mở thì trên L_1 và L_4 xuất hiện điện áp bằng $2U_d$ với cực tính dương đặt vào ka tốt T_1 và âm đặt vào a nốt T_4 , do đó mà trên van T_1 sẽ có điện áp ngược bằng hai lần giá trị điện áp nguồn cung cấp ($u_{T1} = U_d - 2U_d = -U_d$), T_1 sẽ khoá lại, tiếp theo, khi điện áp trên tụ C_4 còn lớn hơn một nửa điện áp nguồn thì T_1 vẫn có điện áp ngược để phục hồi tính chất điều khiển. Đồng thời với sự phóng điện của C_4 là sự nạp điện của tụ C_1 , mạch vòng phóng điện của tụ C_4 (liên quan đến cả sự nạp điện của C_1) là một mạch vòng dao động cộng hưởng (xem hình 5.5). Tuy nhiên, do có đi ốt D_{44} nên khi điện áp trên tụ C_4 giảm về bằng không không diễn ra quá trình nạp ngược lại của C_4 vì D_{44} sẽ mở. Khi điện áp trên C_4 giảm về bằng không thì điện áp trên tụ C_1 tăng lên bằng U_d . Với phụ tải có đặc tính điện trở-điện

cảm thì dòng tải trong giai đoạn đầu sau khi tác động mở T_3, T_4 và khóa T_1, T_2 chưa đổi chiều ngay, ban đầu khi điện áp trên C_4 chưa bằng không, dòng tải được duy trì nhờ một phần dòng phóng của C_4 và dòng nạp của C_1 , khi tụ C_4 phóng hết và C_1 nạp đầy thì dòng tải được duy trì nhờ năng lượng tích lũy trong L_t và khép qua D_{44} và D_{33} về nguồn cung cấp, lúc đó van T_4 (và cả T_3) tiếp tục dẫn dòng một khoảng thời gian ngắn để năng lượng tích lũy trong L_4 (L_3) được tiêu tán hết trên D_{44} và T_4 (D_{33} và T_3) và sẽ tạm thời khoá lại. Khi năng lượng tích lũy trong L_t được giải phóng hết thì dòng tải bằng không và có xu hướng đổi chiều, do xung điều khiển trên cực điều khiển của hai van T_4 và T_3 vẫn được duy trì nên hai van này lại mở và dòng tải đổi chiều. Quá trình khoá của T_2 khi T_3 mở có thể suy luận tương tự, việc mở T_3, T_4 và khóa T_1, T_2 diễn ra đồng thời. Quá trình khoá các van T_3 và T_4 ở nửa chu kỳ tiếp sau sẽ diễn ra khi cấp xung điều khiển mở T_1, T_2 và nguyên lý làm việc của sơ đồ trong giai đoạn đó cũng có thể suy luận từ nguyên lý làm việc giai đoạn khóa T_1, T_2 vừa xét.

Tính toán các phần tử chuyển mạch:



Hình 5.5: Sơ đồ thay thế minh họa một số giai đoạn khi thực hiện khóa T_1 :
a) Thời điểm đầu khi khóa T_1 ; b) Giai đoạn từ lúc C_1 nạp đến khi T_4 khóa

Giả thiết: phụ tải điện trở-điện cảm với điện cảm L_t của phụ tải lớn hơn rất nhiều so với điện cảm chuyển mạch L ($L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = L \ll L_t$); bỏ qua các tổn thất trong sơ đồ; trong thời gian chuyển mạch dòng qua tải không thay đổi và bằng dòng tải tại thời điểm bắt đầu chuyển mạch và bằng I . Lân cận trước thời điểm chuyển mạch thì dòng qua L_1 bằng I , còn dòng qua L_4 bằng không nên năng lượng tích lũy tổng trong L_1 và L_2 bằng $L.I^2/2$. Ngay sau khi T_4 bắt đầu dẫn điện thì phân bố dòng điện được biểu diễn trên hình 5.5a, do sự liên tục của năng lượng từ trường trong các điện cảm L_1 và L_4 nên khi dòng qua L_1 bằng không thì dòng qua L_4 phải bằng I để đảm bảo năng lượng từ trường trong chúng vẫn là $L.I^2/2$. Trong sơ đồ lúc này hình thành mạch vòng dao động gồm C_1, C_4 và L_4 mắc song song với tần số góc cộng hưởng:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{2LC}} \quad (5.10)$$

trong đó C điện dung của một tụ chuyển mạch.

Dòng tổng của C_1 và C_4 phải bằng $2I$ vì gồm dòng phóng qua tải và qua L_4 . Khi điện áp trên tụ C_4 hoặc trên L_4 giảm xuống còn một nửa giá trị ban đầu thì điện áp trên T_1 bằng không và bắt đầu chuyển sang dương. Khoảng thời gian tụ C_4 phóng từ U_d xuống còn $0,5U_d$ là thời gian để T_1 phục hồi tính chất điều khiển. Sau khi điện áp trên tụ C_4 giảm xuống bằng không thì D_{44} mở và dòng điện của L_4 sẽ khép qua điốt này, tổn thất thực tế trên T_4 , D_{44} và L_4 sẽ tiêu tán hết năng lượng dư trong L_4 và dòng qua T_4 , L_4 sẽ triệt tiêu. Giai đoạn tiêu tán năng lượng dư trong L_4 được biểu diễn trên hình 5.5b. Theo các phân tích trên, dòng qua L_4 trong khoảng thời gian đầu của quá trình chuyển mạch là:

$$i = (I_{\max} + I) \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi) - I \quad (5.11)$$

Với I_{\max} là giá trị dòng cực đại qua L_4 và T_4 khi chuyển mạch, để tránh các tổn hao quá lớn khi chuyển mạch ta thường chọn $I_{\max} = 1,5I$. Góc φ được xác định từ điều kiện: tại thời điểm đầu của quá trình chuyển mạch ($t = 0$) thì i bằng I , vậy:

$$\varphi = \arcsin \frac{2I}{I_{\max} + I} \quad (5.12)$$

Trong giai đoạn đầu quá trình chuyển mạch thì $u_{C4} = u_{L4}$, để cho điện áp trên L_4 giảm xuống bằng một nửa giá trị ban đầu cũng có nghĩa là di/dt cũng giảm xuống còn một nửa giá trị ban đầu, khoảng thời gian này (ký hiệu là t_1) tối thiểu phải bằng thời gian khôi phục tính chất điều khiển của thyristor t_k . Tạm lấy $t_1 = t_k$, suy ra:

$$\omega_0 t_k = \arccos \frac{\cos \varphi}{2} - \varphi \quad (5.13)$$

Từ (5.13) tìm được ω_0 theo φ và t_k , giả thiết đặt $\omega_0 = A$. Dòng điện qua nguồn một chiều $i_d = 0,5(I_{\max} + I) \sin(\omega_0 t + \varphi)$. Khi $(\omega_0 t + \varphi) = \pi/2$ thì điện áp trên tụ C_4 bằng không và dòng qua cuộn dây L_4 đạt giá trị cực đại bằng I_{\max} . Năng lượng lấy từ nguồn trong khoảng từ $\omega_0 t = 0$ đến $(\omega_0 t + \varphi) = \pi/2$ là:

$$W_d = \int_0^{\frac{\pi}{2} - \varphi} \frac{1}{2} U_d (I_{\max} + I) \sin(\omega_0 t + \varphi) d(\omega_0 t) \quad (5.14)$$

Điện áp trên tải khi đồng thời diễn ra quá trình khoá T_1 và T_2 có thể xác định theo mạch vòng qua nguồn, hai van T_3 và T_4 và hai điện cảm chuyển mạch L_3 , L_4 :

$$u_t = 2L \frac{di}{dt} - U_d \quad (5.15)$$

Vậy năng lượng nguồn chuyển cho tải trong giai đoạn này là :

$$W_t = \int_0^{\frac{\pi}{2} - \varphi} [2L(I_{\max} + I)\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) - U_d] I_d d(\omega_0 t) \quad (5.16)$$

Năng lượng mất đi trong C_4 được chuyển vào C_1 . Năng lượng tích lũy thêm của L_4 trong khoảng thời gian chuyển mạch từ thời điểm đầu cho đến thời điểm điện áp trên C_4 bằng không là:

$$W_L = 0,5L(I_{\max}^2 - I^2) \quad (5.17)$$

Cân bằng năng lượng trong giai đoạn này, rút ra:

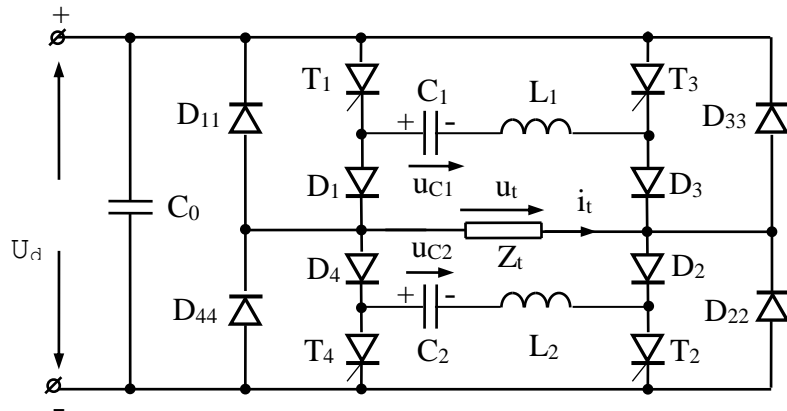
$$W_d = W_t + W_L \quad (5.18)$$

Sử dụng các biểu thức (5.14) ÷ (5.18) sẽ xác định được giá trị cần thiết của L, sau đó dựa vào biểu thức (5.10) sẽ xác định được giá trị của C ($C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C$). Trị số chọn của C thường lấy bằng 2 lần tính toán.

b. Sơ đồ 2 (Nghịch lưu cầu một pha chuyển mạch theo nhóm van, có đi ốt cắt)

- Sơ đồ nguyên lý:

Sơ đồ nguyên lý phần mạch lực được mô tả trên hình 5.6, trong sơ đồ này, các phần tử chuyển mạch dùng để khoá các thyristor chính gồm có C_1 , L_1 (khoá nhóm van anôt chung T_1 , T_3) và C_2 , L_2 (khoá nhóm van Ka tốt chung T_2 , T_4). Ngoài ra, trong sơ đồ còn có thêm các đi ốt $D_1 \div D_4$ được gọi là các đi ốt cắt (ngăn cách).



Hình 5.6: Sơ đồ nghịch lưu áp một pha dạng cầu chuyển mạch theo nhóm van, có đi ốt ngăn cách (đi ốt cắt)

- Nguyên lý làm việc của sơ đồ khi khoá một thyristor chính:

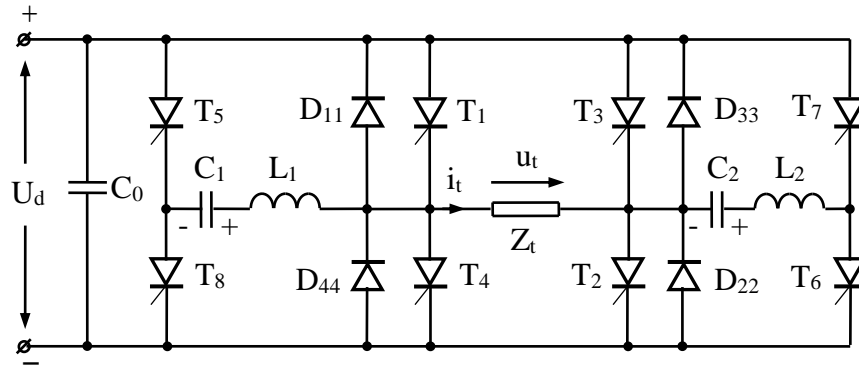
Giả thiết là 2 van T_1 và T_2 đang làm việc, các tụ C_1 và C_2 đã được nạp điện đến giá trị bằng U_d với cực tính như hình vẽ. Tại $t = t_0$ nào đó, muốn khoá T_1 và T_2 , đồng thời mở T_3 và T_4 , khi đó cần cấp tín hiệu điều khiển cho T_3 và T_4 . Khi T_3 và T_4 có tín hiệu điều khiển, hai van này sẽ mở, các tụ C_1 và C_2 sẽ phóng điện qua các van này. Tụ C_1 phóng điện qua D_1 - qua D_{11} - qua T_3 - qua L_1 - về C_1 tạo nên trên T_1 một điện áp ngược nhỏ (bằng hai lần sụt điện áp trên một đi ốt mở) và T_1 khoá lại. Đối với T_2 quá trình khoá cũng tương tự: tụ C_2 phóng điện qua T_4 - qua D_{22} - qua D_2 - qua L_2 - về C_2 tạo nên trên T_2 một điện áp ngược nhỏ và T_2 khoá lại. Ngoài các đường phóng trên thì các tụ còn phóng qua mạch tải và trong giai đoạn đầu 2 đi ốt D_3 và D_4 còn bị đặt điện áp ngược nên chưa dẫn dòng. Sau khi năng lượng tích lũy trong L_t được giải phóng hết thì dòng tải đổi chiều và khép vòng qua T_3 , D_3 , D_4 , T_4 . Các tụ C_1 và C_2 sau khi phóng hết sẽ được nạp theo chiều ngược lại để chuẩn bị cho quá trình khoá T_3 và T_4 khi mở T_1 và T_2 .

c. Sơ đồ 3

- Sơ đồ nguyên lý:

Hình 5.7 biểu diễn sơ đồ nguyên lý mạch lực bộ nghịch lưu điện áp cầu một pha với thiết bị chuyển mạch sử dụng các thyristor phụ. Các phần tử C_1 , L_1 và các thyristor phụ T_5 ,

T₈ được dùng để khoá 2 van T₁, T₄, còn C₂, L₂ và các thyristor phụ T₆, T₇ dùng để khoá 2 van T₂, T₃.



Hình 5.7: Sơ đồ nghịch lưu áp một pha dạng cầu, thiết bị chuyển mạch sử dụng các thyristor phụ

Nguyên lý làm việc:

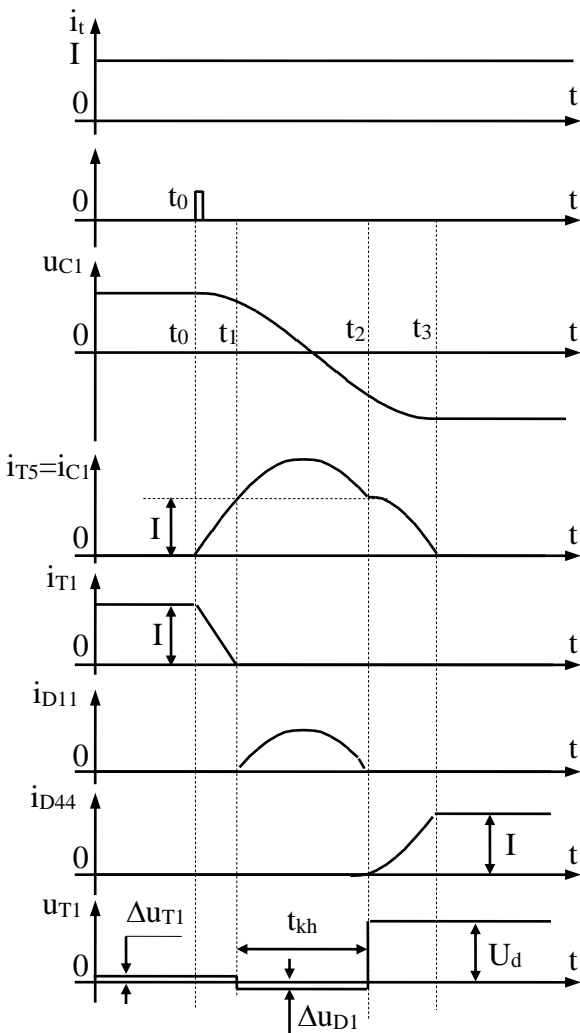
Để nghiên cứu nguyên lý hoạt động của sơ đồ chỉ cần xét quá trình khoá một van, ví dụ xét quá trình khoá T₁.

Giả thiết:

- Tải có điện cảm khá lớn nên trong khoảng chuyển mạch dòng tải coi như không thay đổi và bằng I.

- BBD đang làm việc bình thường, hai van T₁ và T₂ đang dẫn dòng, các tụ điện C₁ và C₂ đã được nạp đầy với cực tính như trên sơ đồ hình 5.7.

Tại thời điểm $t = t_0$, để khoá các van T₁, T₂. thực hiện cấp tín hiệu điều khiển cho van T₅ và T₆. Khi T₁ đang dẫn dòng, điện áp trên C₁ có cực tính như ghi trên sơ đồ hình 5.7, nếu T₅ có tín hiệu điều khiển, T₅ sẽ mở. Khi T₅ mở, tụ điện C₁ sẽ phóng điện, trong giai đoạn đầu dòng phóng của tụ đi qua tải, như đã giả thiết là dòng qua tải trong khoảng chuyển mạch không thay đổi và bằng I nên dòng phóng của tụ tăng thì dòng qua T₁ giảm, đến thời điểm $t = t_1$, dòng i_{C1} tăng lên bằng I ($i_{C1} = I$), van T₁ khoá lại (vì dòng qua nó bằng không và có xu hướng đổi chiều). Dòng của tụ tiếp tục tăng và một phần được khép qua D₁₁ (hình 5.8). Khi điện áp trên tụ đổi chiều thì dòng qua tụ C₁ và van T₅ sẽ giảm dần. Tại $t = t_2$, i_{C1} lại giảm về bằng I và sau đó sẽ nhỏ hơn dẫn đến D₁₁



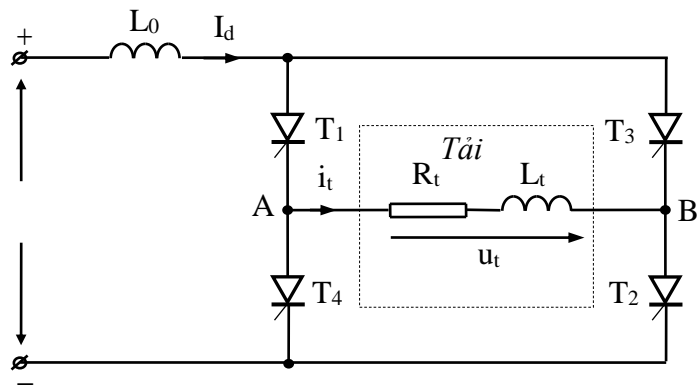
Hình 5.8: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 5.7

khóa lại và D_{44} mở, một phần dòng tải đi qua D_{44} , bây giờ mạch C_1-L_1 được nối trực tiếp vào nguồn điện một chiều, tính chất cộng hưởng của mạch sẽ làm cho điện áp trên C_1 có trị số sẽ vượt quá giá trị U_d (cực tính ngược lại trên sơ đồ hình 5.7). Sự chuyển mạch sẽ kết thúc khi dòng qua tụ C_1 và T_5 giảm về bằng không và có xu hướng đổi chiều, thyristor phụ T_5 sẽ khóa lại (thời điểm $t = t_3$), dòng tải lúc này sẽ khép hoàn toàn qua đi ốt D_{44} dưới tác dụng của s.đ.đ. tự cảm sinh ra trong điện cảm phụ tải L_t cho đến khi năng lượng tích lũy trong L_t được giải phóng hết. Quá trình chuyển mạch các van khác trong sơ đồ có thể suy luận từ quá trình chuyển mạch của van T_1 .

5.2.2. NGHỊCH LƯU DÒNG ĐIỆN MỘT PHA

5.2.2.1. Nguyên tắc khống chế

Để nghiên cứu nguyên tắc tạo ra dòng điện xoay chiều một pha khi nguồn cung cấp là một chiều, ở đây sẽ sử dụng sơ đồ nghịch lưu một pha mắc theo kiểu cầu. Sơ đồ mạch lực BBĐ (còn thiếu thiết bị chuyển mạch) được mô tả trên hình 5.9. Trong sơ đồ, các thyristor chính $T_1 \div T_4$ làm nhiệm vụ biến đổi dòng một chiều I_d thành dòng xoay chiều i_t ,



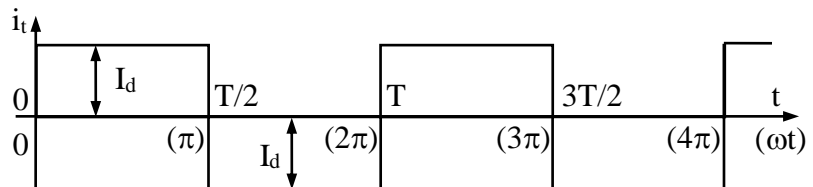
Hình 5.9: Sơ đồ mạch lực nghịch lưu dòng điện một pha kiểu cầu (thiếu thiết bị chuyển mạch)

để tạo ra nguồn có đặc tính nguồn dòng điện (gần đúng), có thể thực hiện mắc nối tiếp với mạch nguồn một điện cảm lớn L_0 , tải của BBĐ có thể là thuần trở, hoặc điện trở - điện cảm, (hoặc điện trở - điện cảm - điện dung), ở đây thực hiện nghiên cứu với loại phụ tải phổ biến nhất là tải điện trở điện cảm ($R_t - L_t$).

Nguyên tắc khống chế:

Để tạo ra dòng điện xoay chiều trên phụ tải cần thực hiện khống chế hai cặp van là cặp van T_1, T_2 và cặp van T_3, T_4 làm việc lệch nhau một nửa chu kỳ (tức là lệch nhau 180° điện). Ví dụ, trong

khoảng $t = 0 \div t = T/2$ ($\omega t = 0 \div \omega t = \pi$) khống chế mở T_1, T_2 và khóa T_3, T_4 , do vậy trong mạch sẽ có dòng điện đi theo đường



Hình 5.10: Đồ thị dòng điện đầu ra của sơ đồ hình 5.9

($+U_d$) - L_0 - T_1 - tải - T_2 - ($-U_d$), và $i_t = I_d$; trong khoảng $t = T/2 \div t = T$ ($\omega t = \pi \div \omega t = 2\pi$) khống chế khóa T_1, T_2 và mở T_3, T_4 , có dòng điện trong mạch sẽ đi theo đường ($+U_d$) - L_0 - T_3 - tải - T_4 - ($-U_d$): $i_t = -I_d$. Các chu kỳ tiếp theo khống chế các van làm việc với quy luật như đã nêu, kết quả nhận được dòng điện trên tải như đồ thị hình 5.10.

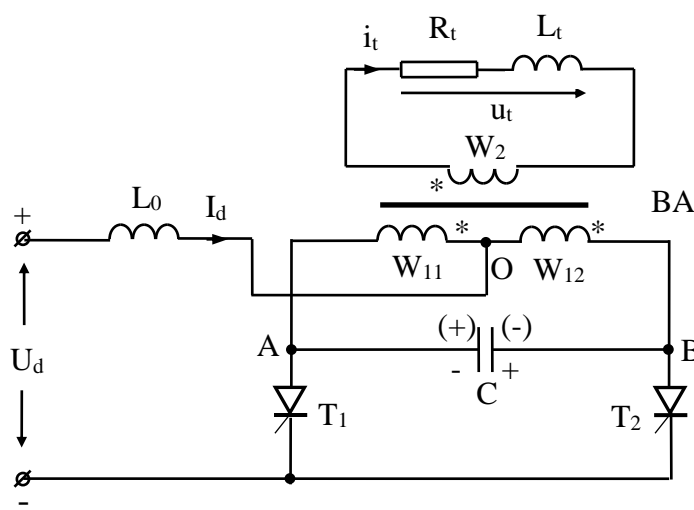
Dạng đồ thị dòng điện tải cho thấy, dòng tải là dòng xoay chiều không hình sin, với sóng hài bậc nhất dòng điện có tần số bằng tần số không chế BBD (tần số không chế các van) và các thành phần sóng hài bậc cao. Việc xác định điện áp trên tải có thể ứng dụng nguyên lý xếp chồng: $u_t = u_1 + \sum u_n$, trong đó u_1 là thành phần sóng hài bậc nhất của điện áp trên tải, u_n là thành phần sóng hài bậc n ($n > 1$ và nguyên) của điện áp trên tải.

Chú ý: Do nguồn cung cấp là nguồn dòng điện một chiều nên dòng mạch nguồn không đổi chiều, vì vậy nghịch lưu dòng thường không sử dụng các điốt ngược.

5.2.2.2. Một số sơ đồ nghịch lưu dòng một pha và nguyên lý làm việc

a. Sơ đồ dùng máy biến áp có điểm không (có trung tính)

Sơ đồ nguyên lý mạch lực BBD được biểu diễn trên hình hình 5.11. Trong sơ đồ chỉ sử dụng 2 thyristor T_1 và T_2 . Thiết bị chuyển sử dụng tụ điện C mắc song song với các cuộn sơ cấp máy biến áp ra BA (cũng có thể mắc tụ chuyển mạch song song với cuộn thứ cấp BA). Máy biến áp ra BA của BBD có 2 cuộn sơ cấp có số vòng giống nhau và được đấu như trên sơ đồ. Nhờ sử dụng máy biến áp có điểm không (điểm trung tính) nên giảm được số van có điều khiển của BBD.



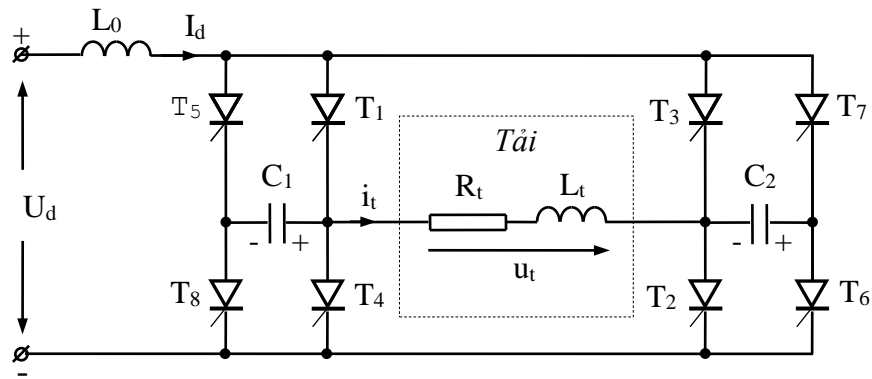
Hình 5.11: Sơ đồ nghịch lưu dòng một pha dùng máy biến áp có điểm không (trung tính)

Nguyên lý làm việc:

Để nắm được nguyên lý hoạt động của sơ đồ chỉ cần làm rõ nguyên lý quá trình khóa (chuyển mạch) của một van trong sơ đồ, ví dụ, nghiên cứu nguyên lý quá trình khóa van T_1 . Giả thiết là van T_1 đang làm việc, xuất hiện dòng điện đi theo vòng $(+U_d) - 0 - W_{11} - A - T_1 - (-U_d)$. Trên mạch tải sẽ có nửa chu kỳ dương của dòng tải. Trong khoảng T_1 dẫn dòng sẽ có sự nạp điện cho tụ C bởi tổng điện áp trên 2 cuộn sơ cấp, trên C sẽ có điện áp với cực tính như ghi trên sơ đồ ở ngoài dấu ngoặc. Tại thời điểm $t = t_0$ nào đó, cần khoá T_1 và mở T_2 để tạo ra nửa chu kỳ âm của dòng tải, thực hiện cấp xung điều khiển mở T_2 . Van T_2 có xung điều khiển sẽ mở, tụ C phóng điện qua T_2 và đặt toàn bộ điện áp trên nó lên T_1 với cực tính dương đặt vào katốt, tức là T_1 bị đặt điện áp ngược nên khoá lại. Tụ C sau khi phóng đến điện áp bằng không sẽ được nạp theo chiều ngược lại để chuẩn bị cho quá trình khóa T_2 khi cấp xung điều khiển mở T_1 (tại $t = t_0 + T/2$).

b. Sơ đồ sử dụng các thyristor phụ

Sơ đồ nguyên mạch lực của BBD được biểu diễn trên hình 5.12. Trong sơ đồ, ngoài các thyristor chính, còn có bốn thyristor phụ ($T_5 \div T_8$), chúng kết hợp với hai tụ điện C_1 và C_2 tạo thành thiết bị chuyển mạch để khóa các thyristor chính.



Hình 5.12: Sơ đồ nghịch lưu dòng một pha kiểu cầu, thiết bị chuyển mạch dùng tụ điện và các thyristor phụ

Nguyên lý hoạt động:

Để làm rõ nguyên lý hoạt động của sơ đồ, chỉ cần tiến hành nghiên cứu quá trình khoá của một hoặc một cặp van, ví dụ, nghiên cứu quá trình khoá T_1 và T_2 . Giả thiết T_1 và T_2 đang dẫn dòng, do quá trình chuyển mạch ở giai đoạn trước mà các tụ C_1 và C_2 đã được nạp điện với cực tính như hình vẽ. Tại $t = t_0$, cần khoá T_1, T_2 , đồng thời cần mở T_3, T_4 , thực hiện cấp xung điều khiển cho bốn van T_3, T_4, T_5, T_6 . Khi có xung điều khiển, ban đầu có hai van T_5, T_6 cùng mở, khi đó, các tụ C_1, C_2 sẽ phóng điện qua hai van này - qua phụ tải - qua nguồn cung cấp gây nên điện áp ngược trên T_1 và T_2 làm cho T_1, T_2 khoá lại. Trong giai đoạn đầu của quá trình chuyển mạch dòng điện từ T_1, T_2 sang T_3, T_4 , dòng tải được duy trì theo chiều cũ ($i_t > 0$) nhờ quá trình phóng của các tụ qua nguồn và sự giải phóng năng lượng tích lũy trong L_t ; tiếp theo, khi điện áp trên các tụ giảm về bằng không thì diễn ra quá trình nạp ngược lại cho tụ, khi năng lượng tích lũy trong điện cảm tải L_t ở giai đoạn T_1 và T_2 dẫn dòng được giải phóng hết, dòng tải bằng không và đổi chiều, lúc này dòng tải sẽ đi qua hai van T_3 và T_4 . Khi điện áp trên các tụ tăng đạt giá trị biên độ (với cực tính ngược với trên hình vẽ) thì T_5 và T_6 khoá lại, quá trình chuyển mạch dòng điện từ T_1, T_2 sang T_3, T_4 kết thúc. Điện áp trên các tụ được giữ nguyên (cực tính và giá trị) để chuẩn bị cho quá trình khoá T_3 và T_4 khi ta mở T_7, T_8 .

5.2.3. NGHỊCH LƯU ĐIỆN ÁP BA PHA

5.2.3.1. Nguyên tắc không chế

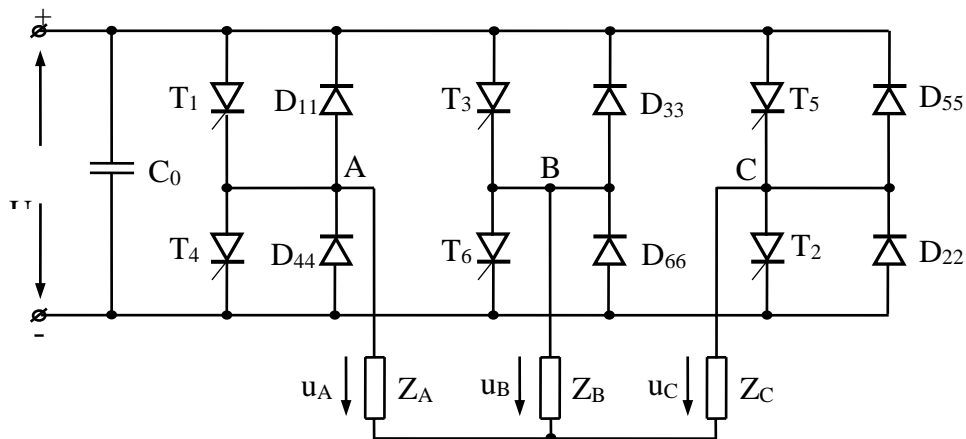
Để tạo ra hệ thống điện áp xoay chiều ba pha khi nguồn cung cấp một chiều có thể sử dụng:

- Ba bộ nghịch lưu điện áp một pha làm việc thứ tự lệch nhau một phần ba chu kỳ.
- Bộ nghịch lưu điện áp ba pha.

Với trường hợp sử dụng ba bộ nghịch lưu điện áp một pha, nguyên tắc không chế và nguyên lý hoạt động của mỗi bộ nghịch lưu hoàn toàn tương tự như sơ đồ nghịch lưu điện

áp một pha đã nghiên cứu, chỉ cần chú ý đến việc đảm bảo cho ba sơ đồ nghịch lưu điện áp một pha làm việc với chu kỳ bằng nhau và thứ tự làm việc lệch nhau đúng một phần ba chu kỳ. Trong tiểu mục này chỉ nghiên cứu nguyên tắc tạo ra điện áp xoay chiều ba pha đối với sơ đồ nghịch lưu điện áp ba pha.

Có rất nhiều kiểu sơ đồ nghịch lưu điện áp ba pha và nguyên lý hoạt động của các sơ đồ cũng khác nhau ít nhiều. Sơ đồ nghịch lưu điện áp ba pha mắc theo kiểu sơ đồ cầu còn được gọi là sơ đồ Lariônôp (gọi tắt là nghịch lưu điện áp cầu ba pha) là dạng sơ đồ đặc trưng nhất và được sử dụng phổ biến nhất nên sẽ được chọn để nghiên cứu nguyên tắc tạo ra hệ thống điện áp xoay chiều ba pha (nguyên tắc không chế). Sơ đồ nguyên lý phần mạch lực của bộ nghịch lưu này (còn thiếu thiết bị chuyển mạch) được biểu diễn trên hình 5.13. Trong sơ đồ này, các thyristor chính $T_1 \div T_6$ có nhiệm vụ biến đổi điện áp nguồn một chiều U_d thành điện áp xoay chiều ba pha u_A, u_B, u_C đặt lên phụ tải xoay chiều ba pha Z_A, Z_B, Z_C .



Hình 5.13: Sơ đồ mạch lực nghịch lưu điện áp ba pha dạng cầu (còn thiếu các phần tử chuyển mạch)

Các thyristor này hình thành hai nhóm van: nhóm van ka tốt chung (nhóm có chỉ số chẵn) gồm T_2, T_4, T_6 ; nhóm van a tốt chung (nhóm có chỉ số lẻ) gồm T_1, T_3, T_5 . Phụ tải ba pha trong trường hợp này nối hình sao (Y), cũng có thể nối phụ tải dạng tam giác (Δ). Trong sơ đồ cũng sử dụng một cầu đi ốt ngược gồm các van $D_{11} \div D_{66}$ để chuyển trả năng lượng phản kháng từ tải về nguồn. Tụ C_0 là khâu lọc, nó có tác dụng tạo cho nguồn cung cấp cho BBD (U_d) có đặc tính nguồn áp.

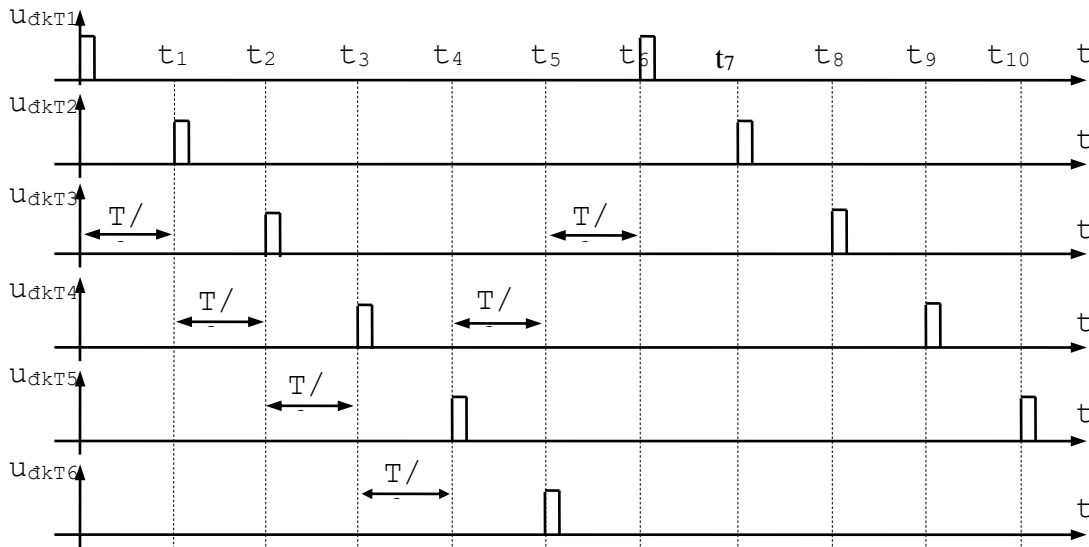
Nguyên tắc không chế:

Để tạo ra điện áp xoay chiều ba pha trên phụ tải ba pha Z_A, Z_B, Z_C thực hiện không chế các thyristor chính $T_1 \div T_6$ làm việc theo qui luật như sau :

- Các van trong cùng một pha (pha A là T_1, T_4 ; pha B là T_3, T_6 ; pha C là T_2, T_5) làm việc lệch nhau một nửa chu kỳ, tức là lệch nhau 180° điện.

- Các van trong cùng một nhóm làm việc thứ tự lệch nhau một phần ba chu kỳ, tức là lệch nhau 120° điện.

Theo các nguyên tắc nêu trên, nếu giả thiết chu kỳ làm việc của BBD là T và thời điểm $t = 0$ là thời điểm phát xung điều khiển mở van T_1 thì qui luật xuất hiện tín hiệu điều khiển trên các thyristor thứ tự theo biểu đồ trên hình 5.14.



Hình 5.14: Đồ thị hệ thống xung điều khiển các thyristor chính của bộ nghịch điện áp cầu ba pha

Điện áp trên phụ tải của nghịch lưu điện áp ba pha:

Để xác định điện áp trên phụ tải nghịch lưu điện áp ba pha người ta có thể sử dụng các phương pháp khác nhau. Chính xác hơn cả là dựa vào khoảng dẫn dòng của mỗi van trong một chu kỳ làm việc của BBD kết hợp với qui luật làm việc của các van như đã nêu ở phần nguyên tắc khống chế. Cũng như các BBD khác, người ta gọi khoảng thời gian dẫn dòng của mỗi van trong một chu kỳ làm việc của BBD quy ra góc độ điện là góc dẫn của van, ký hiệu là λ . Nếu thời gian dẫn dòng của mỗi van trong một chu kỳ lớn hơn hoặc bằng một phần ba chu kỳ (tức là $\lambda \geq 120^\circ$) thì ta có thể xây dựng các biểu thức được sau:

Gọi điện áp giữa các điểm A, B, C so với điểm cực âm của nguồn cung cấp một chiều là u_{A0} , u_{B0} , u_{C0} và điện áp trên các phụ tải Z_A , Z_B , Z_C là u_A , u_B , u_C ; điện áp dây phụ tải (điện áp giữa hai pha) là u_{AB} , u_{BC} , u_{CA} . Các điện áp u_{A0} , u_{B0} , u_{C0} được xác định như sau:

- * $u_{A0} = U_d$ khi T_1 mở, $u_{A0} = 0$ khi T_4 mở, $u_{A0} = U_d/2$ khi T_1 , T_4 cùng khoá;
- * $u_{B0} = U_d$ khi T_3 mở, $u_{B0} = 0$ khi T_6 mở, $u_{B0} = U_d/2$ khi T_3 , T_6 cùng khoá;
- * $u_{C0} = U_d$ khi T_5 mở, $u_{C0} = 0$ khi T_2 mở, $u_{C0} = U_d/2$ khi T_5 , T_2 cùng khoá.

Từ sơ đồ và các quy ước trên có thể rút ra các phương trình:

$$u_A + u_B + u_C = 0 \tag{5.19}$$

$$u_{AB} = u_{A0} - u_{B0} \tag{5.20a}$$

$$u_{BC} = u_{B0} - u_{C0} \tag{5.20b}$$

$$u_{CA} = u_{C0} - u_{A0} \tag{5.20c}$$

$$u_{AB} = u_A - u_B \tag{5.21a}$$

$$u_{BC} = u_B - u_C \quad (5.21b)$$

$$u_{CA} = u_C - u_A \quad (5.21c)$$

Giải hệ các phương trình (5.19), (5.20), (5.21) thu được :

$$u_A = \frac{1}{3}(2u_{A0} - u_{B0} - u_{C0}) \quad (5.22a)$$

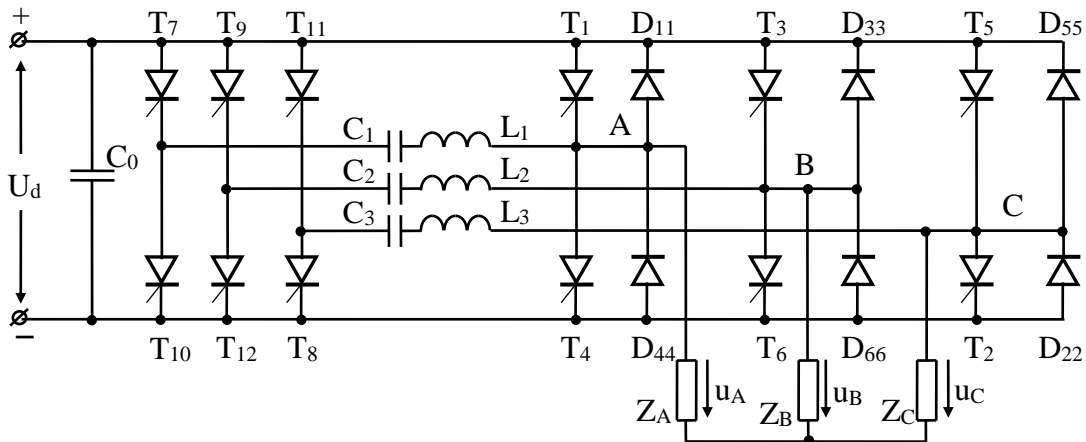
$$u_B = \frac{1}{3}(2u_{B0} - u_{C0} - u_{A0}) \quad (5.22b)$$

$$u_C = \frac{1}{3}(2u_{C0} - u_{A0} - u_{B0}) \quad (5.22c)$$

Các biểu thức (5.22) cho phép ta xác định điện áp trên phụ tải của sơ đồ nghịch lưu điện áp ba pha khi biết góc dẫn của van. Đối với nghịch lưu điện áp thì góc dẫn của van có thể thay đổi trong phạm vi rộng, giá trị góc dẫn cực đại khi không xét đến thời gian chuyển mạch là: $\lambda_{\max} = \pi$.

5.2.3.2. Một sơ đồ mạch lực đầy đủ của nghịch lưu áp ba pha và nguyên lý làm việc

Các sơ đồ mạch lực nghịch lưu áp ba pha với đầy đủ thiết bị chuyển mạch rất đa dạng, các kiểu thiết bị chuyển mạch của nghịch lưu điện áp một pha cũng hoàn toàn có thể sử dụng cho nghịch lưu điện áp ba pha. Sau đây ta sẽ giới thiệu một trong các sơ đồ thường dùng. Đó là sơ đồ với mạch chuyển đổi dùng các thyristor phụ:



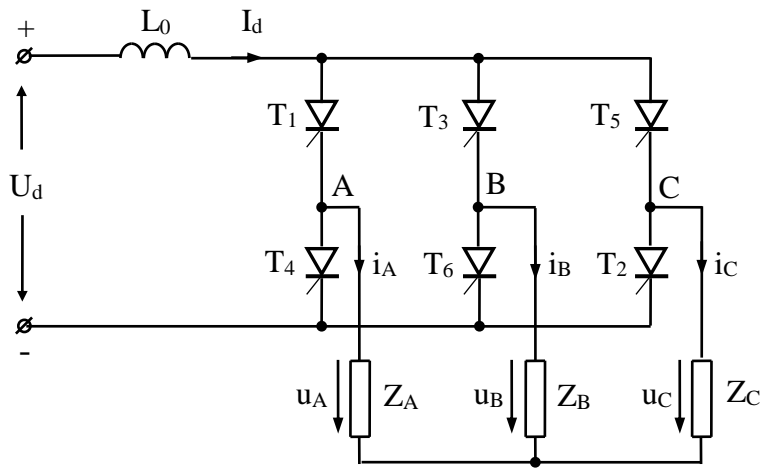
Hình 5.15: Sơ đồ mạch lực nghịch lưu điện áp ba pha dạng cầu, thiết bị chuyển mạch sử dụng các thyristor phụ

Sơ đồ nguyên lý như hình 5.15, trong sơ đồ này ngoài các phần tử như trong sơ đồ hình 5.13 còn có thêm các phần tử chuyển mạch gồm: các thyristor phụ $T_7 \div T_{12}$ và các mạch L_1-C_1 , L_2-C_2 , L_3-C_3 . Nguyên lý hoạt động để khoá một van nào đó (ví dụ T_1) trong sơ đồ hoàn toàn tương tự như trong sơ đồ một pha ở hình 5.7 đã giới thiệu.

5.2.4. NGHỊCH LƯU DÒNG ĐIỆN BA PHA

5.2.4.1. Mạch động lực và nguyên tắc khống chế

Cũng tương tự như với nghịch lưu điện áp, để tạo ra hệ thống dòng điện xoay chiều ba pha từ nguồn cung cấp là nguồn dòng một chiều có thể sử dụng ba nghịch lưu dòng điện một pha làm việc cùng tần số và thứ tự lệch nhau một phần ba chu kỳ hoặc dùng một BBD ba pha. Trong tiểu mục này cũng sử dụng sơ đồ nghịch lưu dạng sơ đồ cầu ba pha để giới thiệu nguyên tắc tạo ra hệ thống dòng xoay chiều ba pha. Sơ đồ BBD chưa có các

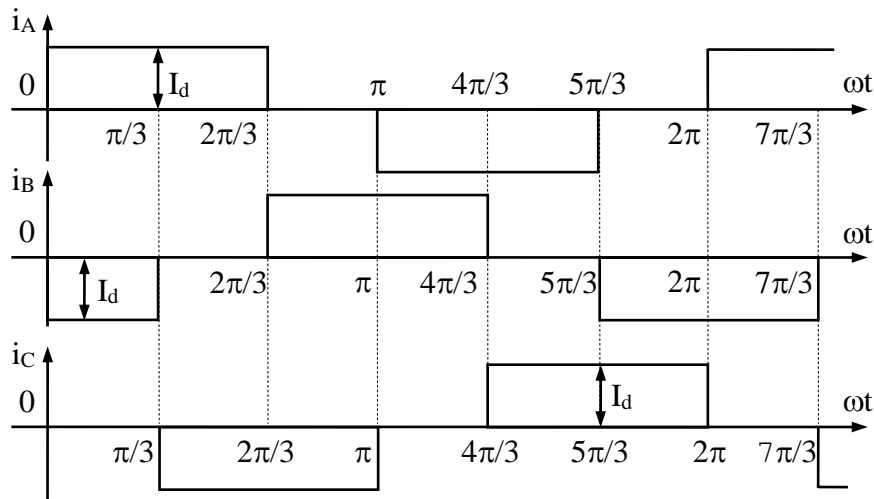


Hình 5.16: Sơ đồ mạch lực nghịch lưu dòng điện ba pha dạng cầu (chưa có thiết bị chuyển mạch)

phần tử chuyển mạch như hình 5.16. Trong sơ đồ cũng sử dụng 6 thyristor chia làm 2 nhóm van như nghịch lưu áp, để nguồn cung cấp có đặc trưng nguồn dòng thường sử dụng một điện cảm lớn L_0 mắc nối tiếp với nguồn, trong sơ đồ hình 5.16 tải đấu sao (Y).

Nguyên tắc khống chế:

Hoàn toàn tương tự trường hợp nghịch lưu điện áp ba pha, đồ thị xung điều khiển các van cũng tuân theo qui luật như hình 5.14.



Hình 5.17: Đồ thị dòng điện của nghịch lưu dòng điện ba pha hình 5.16 (chưa xét ảnh hưởng của quá trình chuyển mạch)

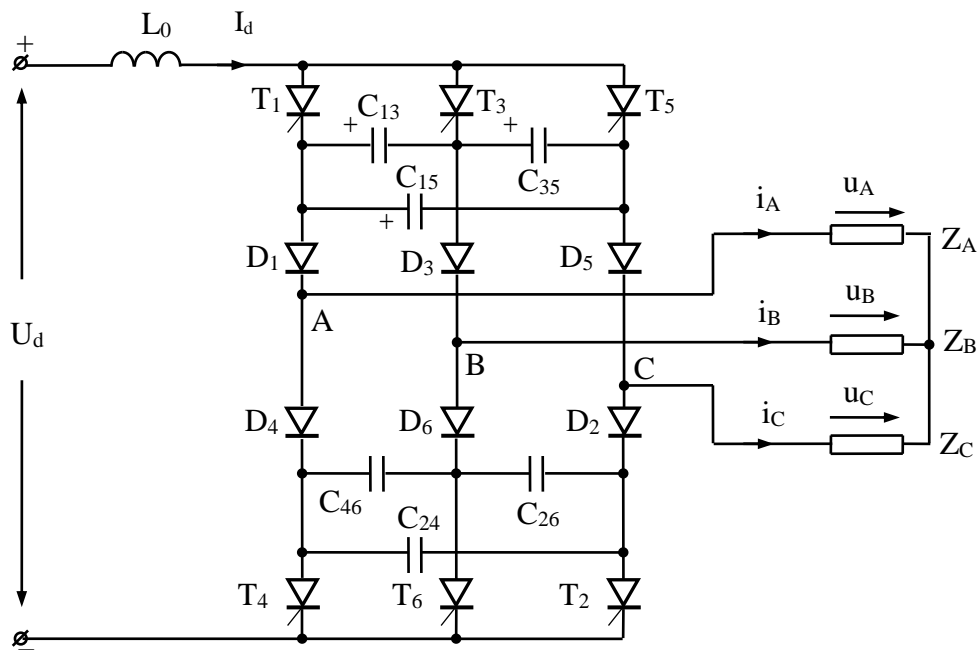
Do đặc điểm dòng nguồn liên tục và không đổi, liên hệ với sự hoạt động của sơ đồ chỉnh lưu cầu ba pha khi dòng mạch một chiều (tải) là liên tục thì mỗi van trong một chu kỳ chỉ dẫn dòng một khoảng thời gian bằng một phần ba chu kỳ, suy ra: Trong sơ đồ nghịch lưu dòng cầu ba pha thì mỗi van trong sơ đồ chỉ dẫn dòng một khoảng thời gian bằng một phần ba chu kỳ của dòng điện ra trên tải, tức là góc dẫn của mỗi van là: $\lambda = 2\pi/3$.

Từ đó có thể suy ra đồ thị dòng tải của bộ biến đổi như hình 5.17 (khi chưa xét đến ảnh hưởng của các thiết bị chuyển mạch). Dòng qua tải là dòng điện xoay chiều không hình sin và có phổ sóng hài giống như trường hợp dòng điện qua lưới điện đối với sơ đồ chỉnh lưu cầu ba pha làm việc với tải có $L_d \rightarrow \infty$.

5.2.4.2. Một sơ đồ mạch lực đầy đủ của nghịch lưu dòng điện ba pha

a. Sơ đồ nguyên lý

Cũng như nghịch lưu áp ba pha, nghịch lưu dòng ba pha có rất nhiều sơ đồ khác nhau, sự khác nhau cơ bản giữa các sơ đồ thường là ở thiết bị chuyển mạch. Để làm rõ nguyên lý hoạt động của bộ nghịch và thiết bị chuyển mạch, trong tiểu mục này sẽ xét một sơ đồ trong số đó: Sơ đồ chuyển mạch bằng tụ có sử dụng các điốt ngăn cách.



Hình 5.18: Sơ đồ nguyên lý mạch lực của nghịch lưu dòng điện ba pha chuyển mạch bằng tụ có điốt ngăn cách

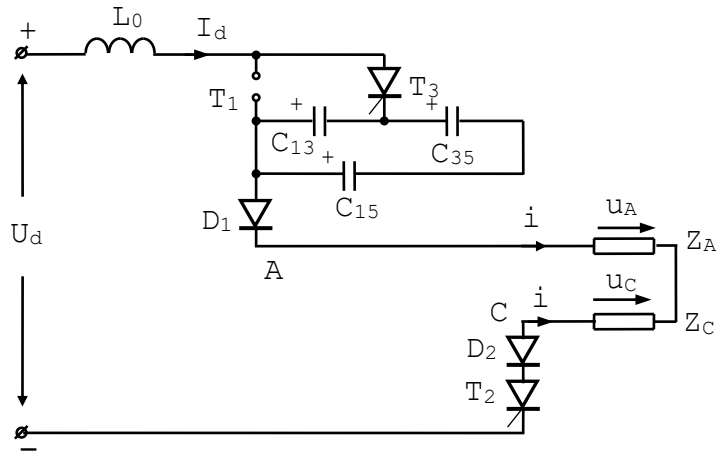
Sơ đồ mạch lực BBD như hình 5.18, các tụ C_{13}, C_{15}, C_{35} được dùng để chuyển mạch dòng điện các van nhóm a nốt chung, còn để chuyển mạch các van nhóm Ka tốt chung sử dụng các tụ C_{24}, C_{26}, C_{46} . Các điốt $D_1 \div D_6$ có tác dụng ngăn cách dòng phóng của tụ với tải để giảm nhỏ ảnh hưởng của tải tới thời gian phóng điện của các tụ, tức là giảm ảnh hưởng của tải đến thời gian để phục hồi tính chất điều khiển của các thyristor từ $T_1 \div T_6$.

b. Nguyên lý chuyển mạch

Giả thiết rằng van T_1 và T_2 đang làm việc, ở thời điểm $t = t_0$, cần khoá T_1 và mở T_3 . Khi T_1 dẫn dòng thì tụ C_{13}, C_{35} và C_{15} được nạp điện với cực tính điện áp trên các tụ như ghi trên sơ đồ. Tại $t = t_0$, truyền xung điều khiển đến T_3 và quá trình chuyển mạch dòng điện từ T_1 sang T_3 diễn ra qua các giai đoạn như sau:

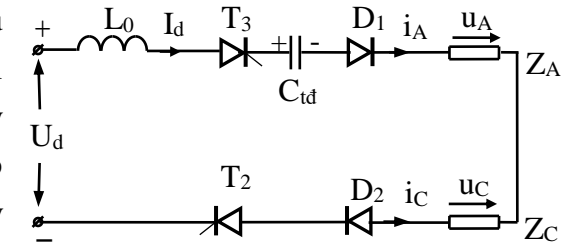
- Giai đoạn 1:

Các tụ C_{13} , C_{15} , C_{35} phóng và nạp theo mạch vòng như hình 5.19, lúc này tụ C_{15} được xem như mắc nối tiếp với tụ C_{35} và chúng lại mắc song song với tụ C_{13} , toàn bộ được xem như là một tụ tương đương có điện dung bằng $2/3$ điện dung mỗi tụ ($C_{td} = (2/3)C$). Tụ tương đương phóng điện theo mạch vòng: $C_{td} - D_1 - Z_A - Z_C - D_2 - T_2 - U_d - L_0 - T_3 - C_{td}$. Sự phóng điện của các tụ qua T_3 tạo nên điện áp ngược



Hình 5.19: Giai đoạn đầu quá trình chuyển mạch khóa van T_1 và mở van T_3

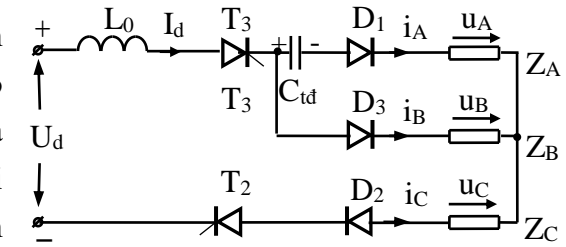
trên thyristor T_1 làm cho T_1 khoá lại. Sơ đồ tương đương của giai đoạn này có thể biểu diễn lại như trên hình hình 5.20. Trong giai đoạn này dòng tải pha A vẫn tiếp tục được duy trì, điện áp trên các tụ đang tạo nên điện áp ngược trên D_3 nên D_3 chưa làm việc, do vậy chưa có dòng qua tải pha B.



Hình 5.20

- Giai đoạn 2:

Khi điện áp trên các tụ thay đổi và giảm nhỏ hơn điện áp pha A, trên D_3 bắt đầu có điện áp thuận và D_3 mở, mặt khác dòng qua D_1 và Z_A vẫn còn, sơ đồ tương đương của giai đoạn này như trên hình 5.21. Trong giai đoạn này các tụ tiếp tục phóng và sau đó được nạp ngược lại cho đến đầy để chuẩn bị cho quá trình chuyển mạch của van T_3 ở một phần ba chu kỳ sau. Khi tụ C_{td} nạp đầy thì dòng qua dòng T_1 , C_{td} , D_1 và tải pha A giảm về bằng không, van T_1 khoá lại, quá trình chuyển mạch dòng từ T_1 sang T_3 (từ pha A sang pha B) kết thúc. Quá trình khoá các van khác diễn ra tương tự.



Hình 5.21

5.2.5. NGHỊCH LƯU CỘNG HƯỞNG

5.2.5.1. Khái niệm chung

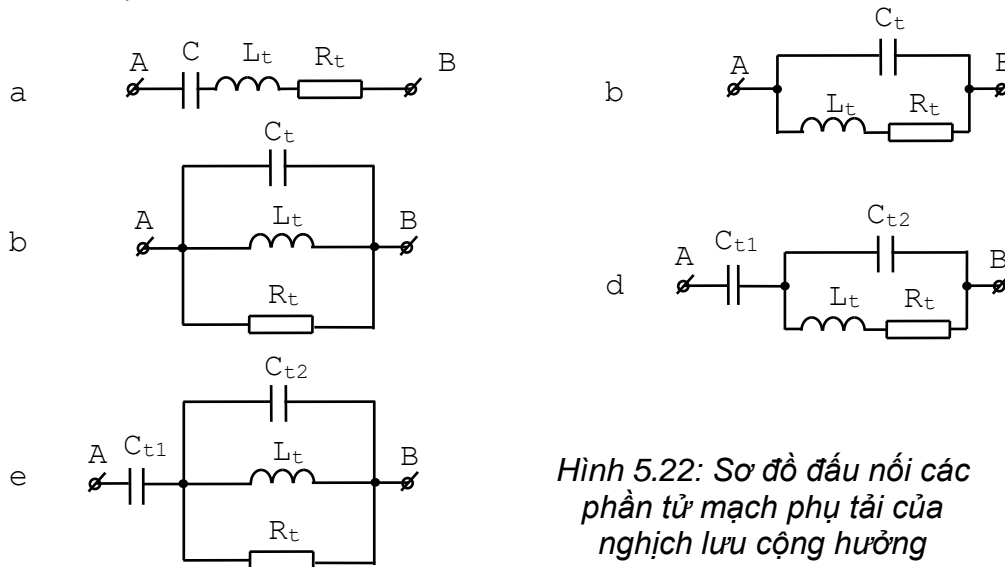
Như đã nêu trong trong tiểu mục 5.1.2.2, nghịch lưu cộng hưởng là một BBD một chiều-xoay chiều mà nguồn cung cấp có thể là nguồn hoặc nguồn dòng, nhưng tải phải dao động cộng hưởng với tần số lớn hơn tần số làm việc của BBD. Khi nguồn cung cấp là dạng nguồn áp BBD được gọi là nghịch lưu cộng hưởng có đầu vào hở; còn khi nguồn cung cấp là dạng nguồn dòng, BBD được gọi là nghịch lưu cộng hưởng có đầu vào kín. Trong BBD này, sự dao động cộng hưởng của phụ tải làm ngắt dòng qua van để khoá van khoá nên

không phải sử dụng các phần tử chuyển mạch như nghịch lưu áp hoặc dòng đã nghiên cứu. Để mạch tải có tính chất dao động cộng hưởng người ta có thể sử dụng các phần tử R-L-C mắc theo các sơ đồ khác nhau và BBĐ thường được phân loại theo cách mắc mạch tải:

- Nghịch lưu cộng hưởng nối tiếp: có các phần tử phụ tải mắc nối tiếp theo sơ đồ hình 5.22a.

- Nghịch lưu cộng hưởng song song: có các phần tử phụ tải mắc song song theo sơ đồ hình 5.22b hoặc hình 5.22c.

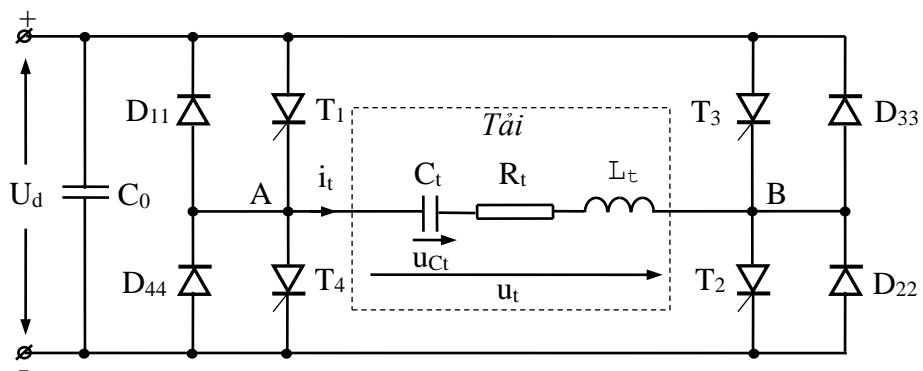
- Nghịch lưu cộng hưởng nối tiếp-song song: có các phần tử phụ tải mắc theo sơ đồ hình 5.22d hoặc hình 5.22e.



Hình 5.22: Sơ đồ đấu nối các phần tử mạch phụ tải của nghịch lưu cộng hưởng

5.2.5.2. Nghịch lưu cộng hưởng nguồn áp

a. Sơ đồ nguyên lý



Hình 5.23: Sơ đồ mạch lực nghịch lưu cộng hưởng nối tiếp nguồn áp

Trên hình 5.23 biểu diễn sơ đồ nguyên lý mạch lực của một bộ nghịch lưu cộng hưởng nguồn áp với tải mắc nối tiếp (nghịch lưu cộng hưởng nối tiếp nguồn áp), trong đó: Các thyristor $T_1 \div T_4$ dùng để biến đổi năng lượng điện của nguồn một chiều thành năng lượng điện xoay chiều trên phụ tải gồm 3 phần tử là R_t , L_t và C_t mắc nối tiếp, giá trị của các phần tử phụ tải được lựa chọn sao cho chúng có tính chất dao động cộng hưởng với tần

số cộng hưởng $f_0 > f$ là tần số làm việc của BBD. Với cách đấu mạch tải như trên, tần số cộng hưởng mạch tải là:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad (5.23a)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_*^2 - b^2}, \quad \text{với: } \omega_* = \frac{1}{\sqrt{L_t \cdot C_t}} \quad \text{và } b = \frac{R_t}{2L_t} \quad (5.23b)$$

Tần số làm việc của BBD cũng chính là tần số sóng hài cơ của dòng và áp đầu ra, $f = \frac{\omega}{2\pi}$. Trong sơ đồ này cũng sử dụng các đi ốt ngược $D_{11} \div D_{44}$ để trả năng lượng phản kháng từ tải về nguồn (tương tự như với nghịch lưu áp một pha)..

b. Nguyên lý làm việc

Tuỳ thuộc quan hệ giữa f và f_0 mà có thể xảy ra 2 chế độ khác nhau của dòng tải: Chế độ dòng tải gián đoạn và chế độ dòng tải liên tục.

- Chế độ dòng tải gián đoạn:

Chế độ làm việc này của BBD xảy ra khi $f_0 > 2f$. Nguyên lý làm việc của sơ đồ trong trường hợp này như sau: Giả thiết rằng tại $\omega t = 0$, hai van T_1 và T_2 nhận được xung điều khiển và mở, hai van này bắt đầu dẫn dòng và cũng bắt đầu xuất hiện quá trình dao động trong mạch tải. Dòng qua tải tăng từ không (tạm giả thiết dòng tải đang bằng không tại thời điểm mở cặp van T_1 và T_2) đến giá trị cực đại rồi giảm về bằng không tại $\omega t = \omega t_1 = \nu_1$ (với $\omega t_1 = \pi$) và bắt đầu đổi chiều. Do các van không cho dòng đi ngược chiều nên T_1 và T_2 tự khoá lại, dòng tải sẽ khép kín qua các đi ốt ngược D_{11} , D_{22} và qua nguồn cung cấp. Đến thời điểm $\omega t = \omega t_2 = \nu_2 = 2\omega t_1$ (ta có $\omega t_2 = 2\pi$) thì dòng tải lại bằng không và có xu hướng đổi chiều nên D_{11} , D_{22} khoá lại.

Mặt khác các thyristor T_1 , T_2 đã khoá từ trước nên dòng tải sẽ giữ bằng không. Tại thời điểm $\omega t = \pi$, hai van T_3 và T_4 nhận được xung điều khiển, hai van này sẽ mở và quá trình dao động của dòng mạch tải lại bắt đầu. Trên hình 5.24a biểu diễn một số đồ thị minh hoạ nguyên lý hoạt động của sơ đồ trong chế độ dòng tải gián đoạn.

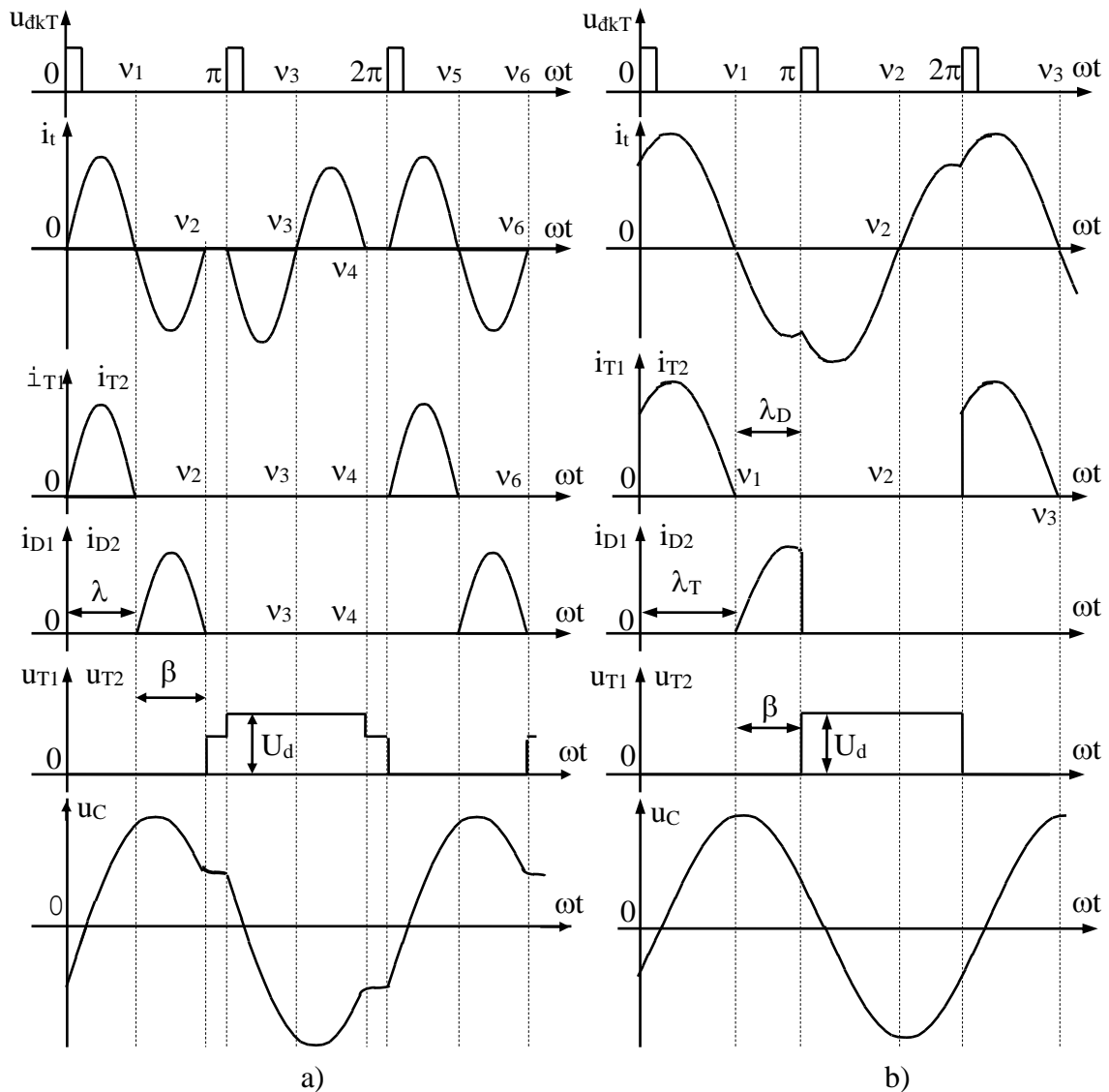
Góc dẫn của các đi ốt bằng góc dẫn của các thyristor (ký hiệu là λ). Góc khoá van trong trường hợp này là: $\beta = \lambda$, hay thời gian khoá của thyristor là:

$$t_k = \frac{\lambda}{\omega} = \frac{\pi}{\omega_0} \quad (5.24)$$

- Chế độ dòng điện tải liên tục:

Khi BBD làm việc với tần số cộng hưởng f_0 thoả mãn: $f < f_0 < 2f$ thì dòng qua tải là liên tục. Nguyên lý hoạt động của sơ đồ như sau:

Giả thiết tại $\omega t = 0$, cặp xung điều khiển cho T_1 và T_2 , hai van này mở và bắt đầu dẫn dòng và bắt đầu xuất hiện quá trình dao động của mạch R-L-C (tải) khi được đóng vào nguồn một chiều. Dòng qua tải tăng từ I_0 (do chế độ dòng tải là liên tục nên tại thời điểm mở một cặp van có điều khiển thì dòng tải đang có một giá trị nào đó, tạm ký hiệu là I_0) đến giá trị cực đại rồi giảm về bằng không tại thời điểm $\omega t = \omega t_1 = v_1$ và bắt đầu đổi chiều. Do tính chất dẫn dòng một chiều của các van nên T_1 và T_2 tự khoá lại, dòng tải sẽ khép kín qua các đi ốt ngược D_{11}, D_{22} và qua nguồn cung cấp, lúc này nguồn cung cấp tác động ngược chiều dòng tải, dòng tải tồn tại là do tính chất dao động của mạch tải. Đến thời điểm



Hình 5.24: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của bộ nghịch lưu cộng hưởng nối tiếp nguồn áp: a) chế độ dòng tải gián đoạn, b) chế độ dòng tải liên tục

$\omega t = \pi$ thì dòng tải bằng $-I_0$, khi đó, hai van T_3 và T_4 nhận được xung điều khiển, hai van này sẽ mở, dòng tải sẽ chuyển từ các đi ốt ngược D_{11}, D_{22} sang các thyristor T_3, T_4 , nguồn một chiều tác động cùng chiều dòng tải, dẫn đến dòng tải tăng và một quá trình dao động với mạch R-L-C được đóng vào nguồn một chiều lại bắt đầu (tương tự như tại $\omega t = 0$). Trên hình 5.24b biểu diễn một số đồ thị minh họa nguyên lý hoạt động của sơ đồ trong chế

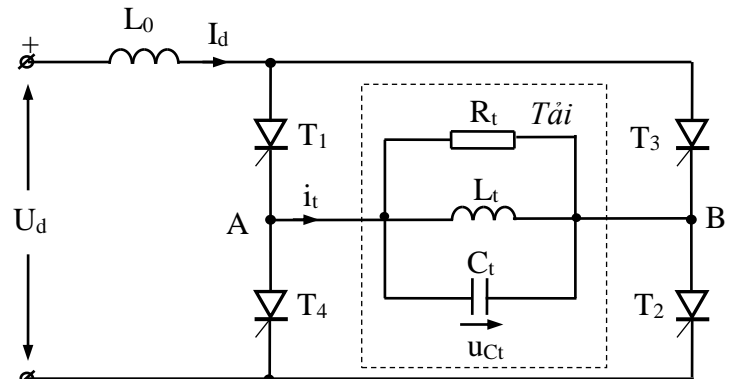
độ dòng tải liên tục. Trong trường hợp này điện áp trên tụ C_t có dạng hình sin, góc dẫn của các thyristor khác góc dẫn của đi ốt ($\lambda_T \neq \lambda_D$). Góc khoá của các thyristor trong trường hợp này là: $\beta = \lambda_D$.

Các sơ đồ nghịch lưu cộng hưởng nguồn cung cấp là nguồn áp và có đi ốt ngược có thể mắc mạch tải theo tất cả các kiểu (nối tiếp; song song; nối tiếp-song song). Ưu điểm của sơ đồ này là điện áp ngược trên các thyristor nhỏ. Nhưng có nhược điểm là tốc độ tăng của dòng qua thyristor thường rất lớn.

5.2.5.3. Nghịch lưu cộng hưởng nguồn dòng

a. Sơ đồ nguyên lý

Trên sơ đồ hình 5.25 biểu diễn sơ đồ mạch lực một bộ nghịch lưu cộng hưởng nguồn cung cấp dạng nguồn dòng với phụ tải gồm ba phần tử R_t , L_t , C_t đấu song song (nghịch lưu cộng hưởng song song nguồn dòng). Điện cảm L_0 trong mạch nguồn (để cho nguồn có đặc trưng gần với dạng nguồn dòng) của các sơ đồ nghịch lưu cộng hưởng thường có giá trị nhỏ hơn rất nhiều so với nghịch lưu dòng điện cùng công suất và tần số làm việc. Với mạch gồm ba phần tử mắc song song như trên, tần số cộng hưởng của mạch được xác định theo biểu thức sau:



Hình 5.25: Sơ đồ mạch lực nghịch lưu cộng hưởng song song nguồn dòng

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{L_0 + L_t}{L_0 L_t C_t} - \frac{1}{4R_t^2 C_t^2}} \quad (5.25)$$

ba. Nguyên lý làm việc

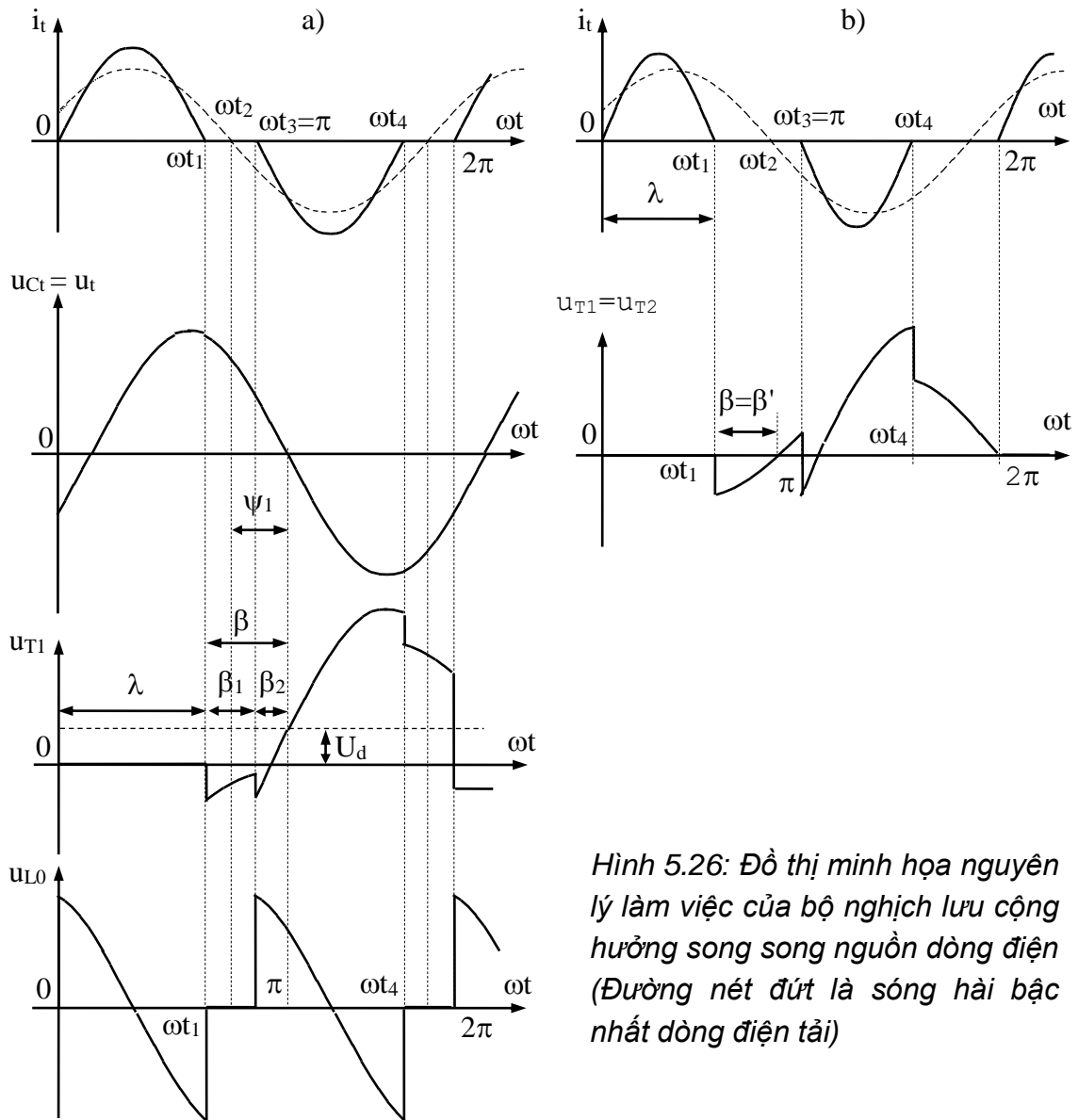
Giả thiết tại $\omega t = 0$, truyền xung điều khiển để mở hai van T_1 và T_2 (giả thiết lân cận trước thời điểm $\omega t = 0$ dòng tổng mạch tải $i_t = 0$), hai van T_1 , T_2 mở và trong sơ đồ xảy ra dao động cộng hưởng. Dòng qua các thyristor và tải biến thiên theo quy luật hình sin có biên độ giảm dần theo hàm số mũ (tắt dần), vì khoảng xét chỉ diễn ra trong thời gian một chu kỳ cộng hưởng nên có thể bỏ qua hiện tượng tắt dần và có thể xem dòng điện các van lúc này thay đổi theo biểu thức:

$$i_{T1} = i_{T2} = I_m \sin \omega_0 t \quad (5.26)$$

Đến $\omega t = \omega t_1$ (tương ứng với $t_1 = \pi/\omega_0$) thì dòng các van giảm về bằng không và có xu hướng đổi chiều nên các thyristor khoá lại, $i_t=0$, các van T_1 , T_2 được đặt điện áp ngược bởi điện áp trên tụ và phục hồi tính chất điều khiển. Điện áp trên các van T_1 , T_2 trong

khoảng này bằng: $u_{T1} = u_{T2} = \frac{U_d - u_{Ct}}{2}$. Trong giai đoạn các thyristor đều khoá (từ $\omega t = \omega t_1$ đến $\omega t = \omega t_3 = \pi$) thì tụ C_t vẫn tiếp tục phóng điện qua L_t và R_t nên điện áp trên nó giảm dần, do vậy điện áp ngược trên T_1, T_2 cũng giảm dần. Phụ thuộc vào thông số phụ tải mà có thể xảy ra các trường hợp sau:

- Điện áp trên C_t giảm chậm, hoặc giai đoạn $\omega t_1 \div \omega t_3$ ngắn nên $u_{T1} = u_{T2}$ vẫn mang giá trị âm trước khi mở T_3, T_4 (hình 5.26a).



Hình 5.26: Đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của bộ nghịch lưu cộng hưởng song song nguồn dòng điện (Đường nét đứt là sóng hài bậc nhất dòng điện tải)

- Điện áp trên C_t giảm nhanh, hoặc giai đoạn $\omega t_1 \div \omega t_3$ dài nên $u_{T1} = u_{T2}$ sẽ chuyển sang dương trước khi mở T_3, T_4 (hình 5.26b).

Tại $\omega t = \omega t_3 = \pi$, các van T_3, T_4 nhận được xung điều khiển, hai van này mở, lại xuất hiện dòng tải tổng nhưng theo chiều ngược lại. Quá trình dao động trong mạch ở giai đoạn này cũng tương tự như nửa chu kỳ trước. Khi hai van T_3 và T_4 mở thì điện áp trên T_1 và T_2 sẽ là: $u_{T1} = u_{T2} = -u_t = -u_{Ct}$. Việc phân tích một cách tương đối chính xác sự làm việc của

BBĐ này là tương đối phức tạp, ở một mức độ gần đúng chấp nhận được có thể giả thiết điện áp trên tụ C_t , tức là điện áp trên tải biến thiên theo qui luật hình sin (tức là chỉ tính đến sóng hài bậc nhất của điện áp trên tải) thì đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ như hình 5.36.

- Góc dẫn của mỗi thyristor: $\lambda = \frac{\omega}{\omega_0} \pi$

- Góc khoá (góc độ điện để van phục hồi tính chất có điều khiển tính tương ứng với tần số sóng hài bậc nhất dòng điện) của mỗi thyristor:

+ Trường hợp tương ứng với hình 5.26a:

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 = \psi_1 + \frac{\pi - \lambda}{2}$$

+ Trường hợp tương ứng với hình 5.26b:

$$\beta = \beta' = \psi_1 + \frac{\pi - \lambda}{2} - \arcsin \frac{U_d}{U_{tmax}}$$

Trong đó: ψ_1 là góc lệch pha của sóng hài bậc nhất dòng và áp trên tải; U_{tmax} là biên độ điện áp trên tải; U_t là giá trị hiệu dụng điện áp trên tải.

Giá trị lớn nhất của điện áp trên các thyristor theo chiều thuận và ngược là:

$$U_{Tthmax} = \sqrt{2} U_t$$

$$U_{Tngmax} = \sqrt{2} U_t \sin \beta_2.$$

5.3. ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP VÀ CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG ĐIỆN ÁP RA CỦA NGHỊCH LƯU ĐIỆN ÁP DÙNG THYRISTOR

5.3.1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong nhiều trường hợp, cần phải điều chỉnh giá trị điện áp đầu ra của các bộ nghịch lưu dùng thyristor, ví dụ như khối nghịch lưu của bộ biến đổi tần số dùng trong hệ thống điều chỉnh tốc độ động cơ xoay chiều bằng phương pháp điều chỉnh tần số điện áp cấp cho động cơ, ... Mặt khác, do đặc tính của thyristo là chỉ có khả năng điều khiển mở, không khóa được bằng tín hiệu điều khiển, tần số đóng cắt không cao, nên thường thiết kế mỗi van chỉ mở, khóa một lần trong một chu kỳ làm việc của BBĐ. Do vậy mà điện áp và dòng điện xoay chiều đầu ra của nghịch lưu có dạng không hình sin với nhiều sóng hài bậc cao có biên độ khá lớn so với sóng bậc nhất (sóng cơ bản) gây ảnh hưởng lớn đến nhiều thiết bị sử dụng điện và cũng gây tác động xấu lên hệ thống điện. Để nâng cao hiệu suất thiết bị giảm các ảnh hưởng xấu đã nêu, cần phải tìm biện pháp cải thiện, tức là tìm biện pháp loại bỏ hoặc giảm biên độ các sóng hài bậc cao trong điện áp, dòng điện đầu ra bộ nghịch lưu.

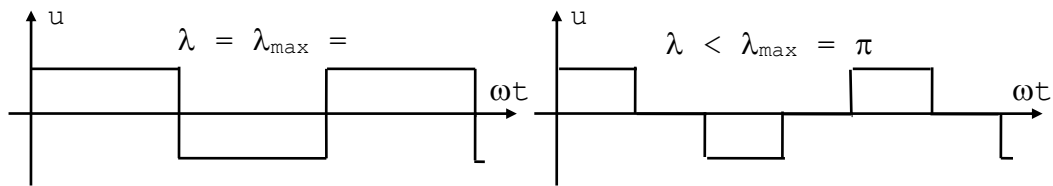
5.3.2. ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP ĐẦU RA NGHỊCH LƯU

5.3.2.1. Điều chỉnh điện áp một chiều cung cấp cho nghịch lưu

Đây là một biện pháp tương đối đơn giản nhưng cho kết quả khá tốt. Việc điều chỉnh giá trị điện áp xoay chiều trên tải được thực hiện bởi việc điều chỉnh giá trị điện áp một chiều cấp cho bộ nghịch lưu nhờ việc sử dụng các bộ chỉnh lưu có điều khiển hoặc tổ hợp thiết bị gồm một bộ chỉnh lưu không điều khiển kết hợp với một BBD một chiều-một chiều (xung điện áp). Với phương pháp điều chỉnh này, các van trong sơ đồ nghịch lưu làm việc với góc dẫn lớn nhất $\lambda = \lambda_{\max} = \pi$ nên thành phần sóng hài điện áp vẫn không thay đổi.

5.3.2.2. Điều chỉnh góc dẫn của các van nghịch lưu

Trong phương pháp điều chỉnh này, điện áp nguồn cấp cho nghịch lưu (U_d) không thay đổi, để điều chỉnh điện áp đầu ra nghịch lưu thực hiện điều chỉnh khoảng thời gian

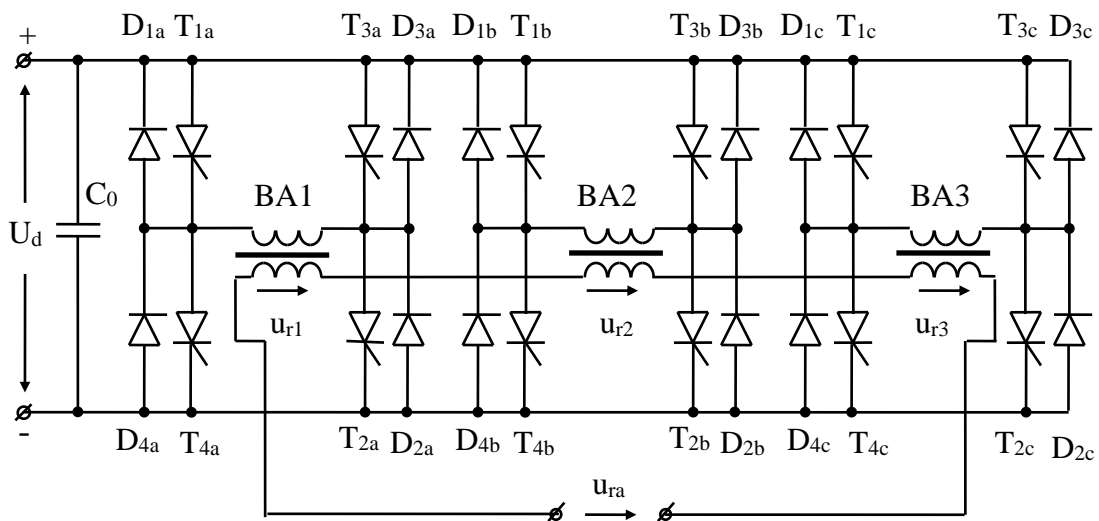


Hình 5.27: Đồ thị minh họa việc điều chỉnh góc dẫn của van để điều chỉnh điện áp ra nghịch lưu

dẫn dòng của van nghịch lưu trong mỗi chu kỳ làm việc (điều chỉnh góc dẫn của van), kết quả là dạng điện áp đầu ra thay đổi và giá trị hiệu dụng cũng như biên độ của sóng hài bậc nhất điện áp ra thay đổi theo. Phương pháp điều chỉnh này có thể làm tăng độ phức tạp của thiết bị chuyển mạch các van và làm thay đổi tỉ lệ các thành phần sóng hài của đường cong điện áp ra.

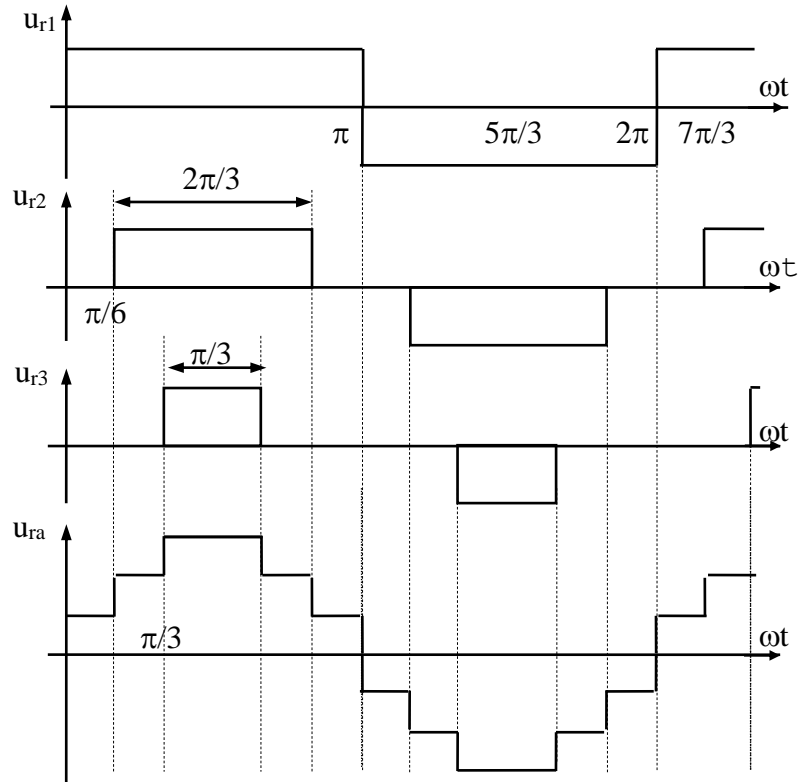
5.3.3. CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG ĐIỆN ÁP XOAY CHIỀU ĐẦU RA

Nếu đường cong điện áp trên tải là các xung hình chữ nhật có độ dài giống nhau trong mỗi nửa chu kỳ thì các sóng hài bậc cao trong đường cong điện áp sẽ có biên độ đáng kể so với thành phần sóng hài bậc nhất. Điều này sẽ ảnh hưởng rất nhiều đến sự làm việc của phụ tải BBD. Để cải thiện chất lượng điện áp ra ta phải tìm cách giảm nhỏ các sóng hài bậc cao hoặc tốt nhất là làm triệt tiêu được các sóng hài tần số thấp trong các sóng hài bậc



Hình 5.28: Sơ đồ BBD thực hiện cộng điện áp ra của 3 bộ nghịch lưu áp một pha

cao. Người ta đã tìm ra một số biện pháp để nâng cao chất lượng điện áp ra nghịch lưu. Đối với nghịch lưu dùng thyristor, có hai biện pháp hay được sử dụng là dùng bộ lọc hoặc tạo ra điện áp là chuỗi xung nhiều bậc bằng cách cộng điện áp của nhiều sơ đồ nghịch lưu làm việc cùng tần số nhưng có góc dẫn của van khác nhau. Hình 5.28 là một ví dụ thực hiện cộng điện áp ra của ba sơ đồ nghịch lưu nhờ máy biến áp đầu ra. Để điện áp tổng đầu ra đạt chất lượng theo yêu cầu, cần tính chọn thời điểm mở và góc dẫn của van cho phù hợp. Trên hình 5.29 là đồ thị minh họa nguyên lý làm việc của sơ đồ hình 5.28.



Hình 5.29: Đồ thị điện áp ra của sơ đồ hình 5.28

5.4. CÁC BỘ NGHỊCH LƯU DÙNG TRANSISTOR

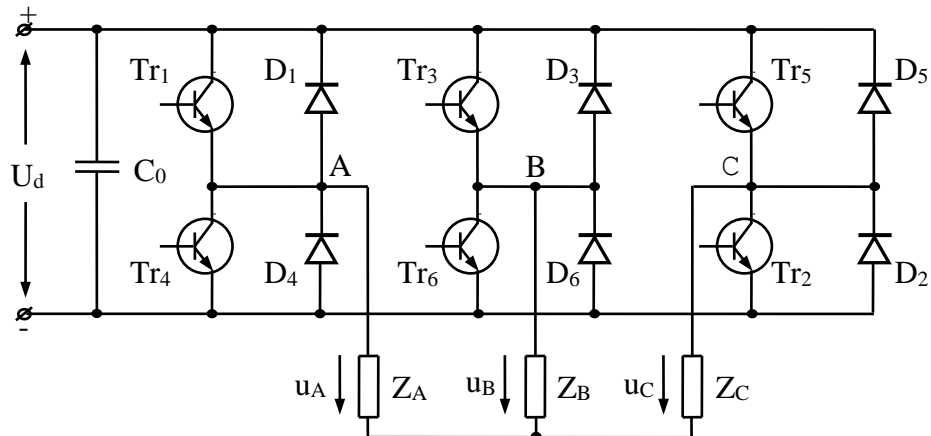
5.4.1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các bộ nghịch lưu dùng thyristor cho chất lượng đường cong điện áp và dòng điện đầu ra xấu, kể cả khi đã áp dụng biện pháp cải thiện chất lượng như đã nêu ở mục trước. Dòng điện tải khác xa hình sin, có nhiều sóng hài bậc cao với biên độ khá lớn so với sóng cơ bản gây ra nhiều ảnh hưởng xấu cho phụ tải của BBD. Mặt khác, việc điều chỉnh điện áp ra cũng tương đối khó khăn. Các tồn tại trên là do thyristor chỉ có khả năng điều khiển mở và tần số đóng cắt thấp. Để khắc phục các nhược điểm trên, có thể sử dụng các bộ nghịch lưu bằng dụng cụ điều khiển hoàn toàn như GTO hoặc các loại transistor. Xuất phát từ các đòi hỏi của thực tế kỹ thuật, các nhà sản xuất dụng cụ đã không ngừng tìm các biện pháp nâng cao chất lượng các transistor, hiện nay, đã có nhiều loại transistor chịu được điện áp cao, dòng điện lớn cho phép thay thế thyristor trong nhiều sơ đồ bộ biến đổi. Bên cạnh khả năng điều khiển được cả quá trình mở và khóa (điều khiển hoàn toàn) với công

suất điều khiển rất bé, các transistor công suất lớn này còn cho phép làm việc với tần số đóng cắt cao (cỡ 20000 Hz).

Nhờ khả năng điều khiển hoàn toàn và tần số đóng cắt cao mà các bộ nghịch lưu dùng transistor cho phép kết hợp việc điều chỉnh điện áp và cải thiện chất lượng dòng điện đầu ra, giảm nhỏ kích thước đồng thời tăng chất lượng của thiết bị biến đổi.

5.4.2. SƠ ĐỒ MẠCH LỰC CỦA NGHỊCH LƯU ÁP BA PHA DẠNG CẦU



Hình 5.30: Sơ đồ mạch lực nghịch lưu điện áp ba pha dạng cầu sử dụng transistor

Hình 5.30 là sơ đồ mạch lực của BBD, thay cho các thyristor trong sơ đồ hình 5.13 là các transistor $Tr_1 \div Tr_6$. Trong sơ đồ cũng sử dụng các điốt ngược từ $D_1 \div D_6$. Nguyên lý hoạt động cơ bản vẫn tương tự như BBD dùng thyristor, tuy nhiên, do các transistor là van điều khiển hoàn toàn nên không phải sử dụng các phần tử chuyển mạch. Thêm nữa, các transistor thường có khả năng chịu được tần số đóng cắt cao (cỡ 20 KHz với IGBT) nên có cho phép điều khiển mở khóa các transistor nhiều lần trong một chu kỳ điện áp ra của bộ nghịch lưu, điều này cho phép sử dụng các thuật toán điều khiển phức tạp để điều chỉnh và cải thiện chất lượng điện áp và dòng điện đầu ra.

5.4.3. NGHỊCH LƯU ĐIỀU CHẾ ĐỘ RỘNG XUNG HÌNH SIN (SPWM)

Như đã nêu, khi sử dụng các dụng cụ điều khiển hoàn toàn có tần số đóng cắt cho phép cao (các transistor công suất, IGBT, ...), có thể áp dụng các thuật toán điều khiển phức tạp cho phép cải thiện chất lượng của các sơ đồ nghịch lưu.

Việc điều chỉnh giá trị điện áp hoặc dòng điện đầu ra theo tần số, tạo ra đường cong dòng điện qua tải có dạng gần hình sin là những yêu cầu hết sức quan trọng đối với các bộ nghịch lưu. Bộ nghịch lưu điều chế độ rộng xung hình sin (SPWM) là một trong các bộ nghịch lưu có thể đạt được cả hai yêu cầu trên.

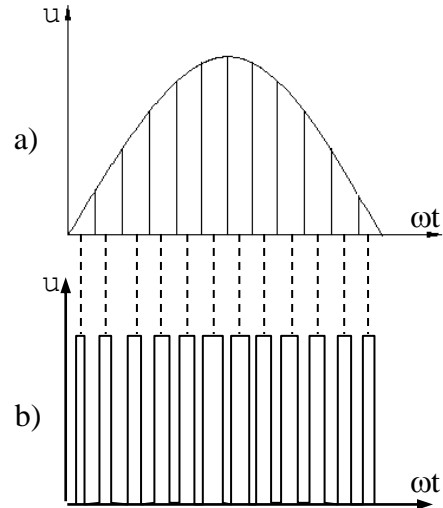
Để tạo ra chuỗi xung điện áp trên tải có đặc tính của chuỗi xung SPWM (chuỗi xung có biên độ bằng nhau, độ dài khác nhau đảm bảo dòng qua tải R-L gần hình sin và có biên độ sóng hài bậc nhất theo yêu cầu), có thể chia thời gian nửa chu kỳ hình sin (được xem là sóng hài bậc nhất cần có của điện áp ra khỏi nghịch lưu) ra N phần bằng nhau, như trên hình 5.31a (trong đó $N = 12$) sau đó thay thế một phần đường cong hình sin bằng một xung

hình chữ nhật với chiều cao xác định và có diện tích bằng diện tích bao bởi trục hoành và phần đường cong hình sin được thay thế, trung điểm của xung hình chữ nhật trùng với trọng tâm của mỗi một phần trên sóng hình sin (hình 5.31b). Như vậy đồ thị sóng do N xung hình chữ nhật cùng biên độ nhưng khác nhau về chiều rộng đã thay thế (tương đương) cho một nửa chu kỳ hình sin. Tương tự, ở các nửa chu kỳ khác của sóng hình sin cũng được thay thế theo phương pháp như vậy.

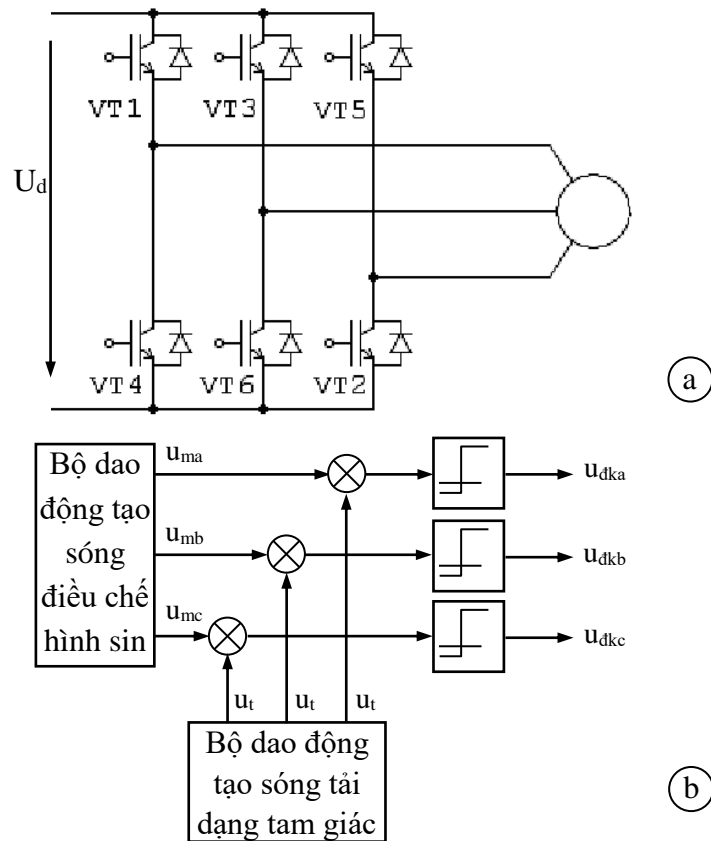
Chuỗi xung trên hình 5.31b chính là đồ thị điện áp đầu ra của bộ nghịch lưu SPWM. Có thể thấy rằng do biên độ bằng nhau của các xung nên khối nghịch lưu có thể cung cấp bởi nguồn điện áp một chiều không đổi, tức là có thể dùng chỉnh lưu điôt không điều khiển. Giá trị biên độ của xung đầu ra khối nghịch lưu chính là điện áp đầu ra của khối chỉnh lưu. Khi khối nghịch lưu làm việc ở trạng thái lý tưởng, tín hiệu điều khiển sự mở khóa của van bán dẫn công suất tương ứng cũng sẽ có dạng là một chuỗi xung tương tự như trên hình 5.31b. Về mặt lý thuyết mà nói độ rộng của các xung này có thể dùng phương pháp tính để tìm. Nhưng biện pháp thường dùng trong thực tế là sử dụng phương pháp “điều chế” tương tự như trong kỹ thuật thông tin, đồ thị sóng mong muốn (ở đây là sóng hình sin) làm sóng điều chế (Modulating wave), còn tín hiệu chịu sự điều khiển của nó gọi là sóng mang (Carrier wave). Trong nghịch lưu SPWM thường dùng sóng tam giác cân làm sóng mang, bởi vì sóng tam giác cân là hình sóng tuyến tính có độ rộng trên dưới đối xứng nhau. Ở thời điểm sóng điều chế giao với sóng mang sẽ bắt đầu xuất hiện hoặc mất tín hiệu điều khiển van bán dẫn công suất, có nghĩa rằng, đầu ra bộ điều chế nhận được chuỗi xung hình chữ nhật điều khiển các van tương tự như chuỗi xung trên hình 8.11b, đó chính là kết quả cần thiết của bộ PWM.

5.4.3.1. Nguyên lý làm việc

Hình 5.32a là mạch điện chính của bộ biến tần SPWM, trong hình $VT_1 \div VT_6$ là 6 van công suất điều khiển hoàn toàn có các đi ốt song song ngược của khối nghịch lưu (ở đây là IGBT), khối nghịch lưu được cung cấp điện áp một chiều lấy từ đầu ra khối chỉnh lưu đi ốt mắc theo sơ đồ cầu 3 pha và lọc bằng tụ C. Hình 5.32b là mạch điều khiển của nó, một nhóm tín hiệu điện áp hình sin (được gọi là sóng điều chế - Modulating wave) ba pha đối xứng u_{ma} , u_{mb} , u_{mc} do bộ phát các tín hiệu điều chế cung cấp, tần số của nó xác định bởi tần số sóng cơ bản đầu ra bộ nghịch lưu (f_1), cần phải điều khiển được trong phạm vi tần số đầu ra yêu cầu. Giá trị biên độ của tín hiệu điều chế cũng có thể thay đổi trong phạm vi nhất định, nhằm xác định độ lớn của điện áp đầu ra. Tín hiệu sóng tải u_c (sóng mang-carrier wave) dạng tam giác cân do mạch phát sóng tải tạo ra và dùng chung cho các kênh



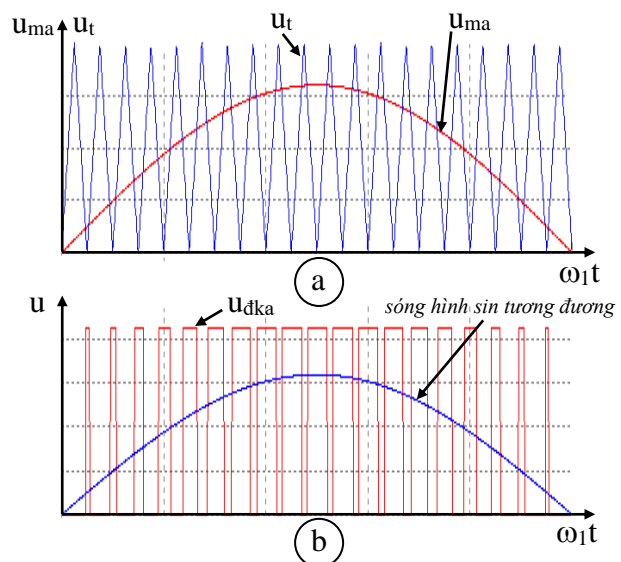
Hình 5.31: Thứ tự sắp xếp các xung hình chữ nhật cùng biên độ tương đương với sóng hình sin: a) sóng hình sin; b) đồ thị sóng tương đương của SPWM



Hình 5.32: Sơ đồ nguyên lý mạch điện bộ nghịch lưu SPWM

a) Mạch lực; b) Sơ đồ khối mạch khống chế

điều khiển. Sóng điều chế mỗi kênh được đưa vào so sánh với sóng tải, đầu ra mạch so sánh là chuỗi các xung của SPWM u_{dka} , u_{dkb} , u_{dkc} được dùng làm tín hiệu điều khiển các van bán dẫn công suất trong ba pha của khối nghịch lưu. Phương thức điều khiển có thể là một cực, hoặc hai cực. Lúc sử dụng điều khiển một cực trong mỗi nửa chu kỳ hình sin mỗi pha chỉ có một công tắc đóng-cắt (mở-khóa), ví dụ, trong nửa chu kỳ dương của u_{ma} chỉ có VT₁ của pha A đóng cắt, còn VT₄ không làm việc, hình 5.33 biểu diễn trạng thái điều chế của trường hợp này. Lúc điện áp điều chế u_{ma} cao hơn điện áp sóng tam giác u_t thì điện áp đầu ra u_{dka} của

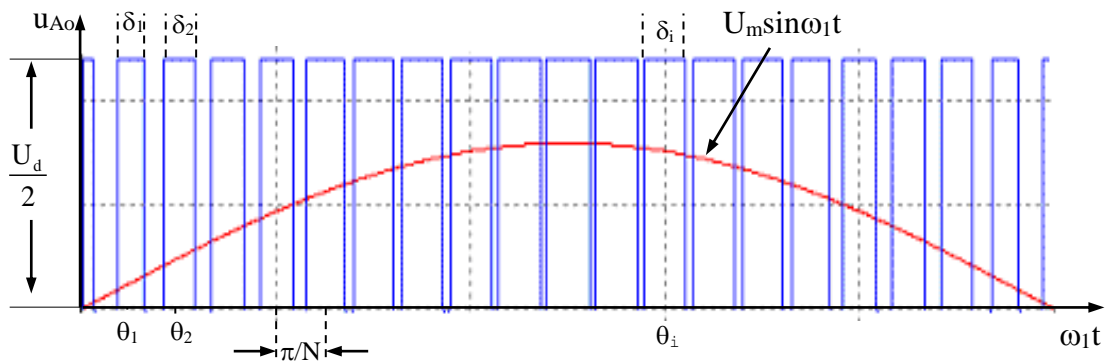


Hình 5.33: Phương pháp điều chế độ rộng xung và đồ thị với trường hợp điều chế một cực

a) Sóng mang tam giác và sóng điều chế hình sin
b) Đồ thị sóng đầu ra SPWM

bộ so sánh tương ứng là "dương", ngược lại sẽ là "0". Khi giá trị cực đại của sóng điều chế hình sin thấp hơn biên độ của sóng tam giác, kết quả điều chế từ hình 5.33a sẽ hình thành

sóng điều chế độ rộng xung $u_{dka} = f(t)$ của bộ SPWM là một chuỗi xung khác nhau về chiều rộng, bằng nhau về biên độ như trên hình 5.33b. Nửa chu kỳ âm cũng dùng phương pháp tương tự như thế sau khi điều chế nghịch đảo mà thành.



Hình 5.34: Đồ thị xung điện áp đầu ra của SPWM khi điều khiển một cực

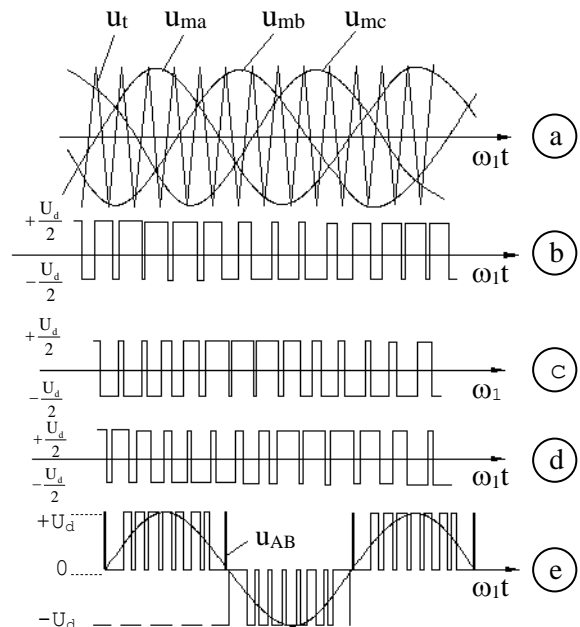
Trong mạch điện chính (mạch lực) hình 5.32a, hai giá trị "dương" và "0" của u_{dka} ở đầu ra bộ so sánh lần lượt tương ứng với hai trạng thái mở và khóa của VT_1 , tương ứng với trạng thái đóng và cắt của công tắc. Do VT_1 liên tục đóng cắt trong nửa chu kỳ dương, đầu ra của bộ nghịch lưu có thể nhận được điện áp pha $u_{A0} = f(t)$ của bộ SPWM tái hiện hình dạng u_{dka} , với biên độ xung là $U_d/2$, độ rộng xung biến đổi theo quy luật hình sin tương ứng, xem hình 5.34. Đồng thời với nó, tất yếu phải xuất hiện nửa chu kỳ âm của pha B và C (VT_6 hoặc VT_2 mở), biên độ xung u_{B0} hoặc u_{C0} là $-U_d/2$. Nửa chu kỳ âm của $u_{A0} = f(t)$ được tạo nên nhờ việc mở và khóa của VT_4 . Còn hai pha khác cũng tương tự như vậy chỉ khác là góc pha lệch nhau 120° .

Hình 5.35 biểu diễn đồ thị điện áp đầu ra của khối nghịch lưu SPWM làm việc theo phương thức điều khiển hai cực.

Phương pháp điều chế của nó giống như ở một cực, tần số và độ lớn của sóng cơ bản điện áp đầu ra cũng thay đổi theo tần số và biên độ của tín hiệu điều chế hình sin, chỉ khác là trạng thái đóng mở của các công tắc bán dẫn công suất là khác nhau.

Khi điều khiển hai cực, trong mỗi pha, hai van ở hai nhóm của cầu thay nhau làm việc, ví dụ, nếu VT_1 mở thì VT_4 khóa và ngược lại.

Như trong hình 5.35b, $u_{A0} = f(t)$ là chuỗi xung hai cực tính, nó dao động giữa $+U_d/2$ và $-U_d/2$, khi $u_{ma} > u_t$, VT_1 mở, $u_{A0} = U_d/2$; còn khi $u_{ma} < u_t$, thì T_4



Hình 5.35: Đồ thị sóng đầu ra 3 pha khối nghịch lưu SPWM kiểu hai cực
 a) sóng điều chế 3 pha và sóng tải tam giác;
 b) $u_{A0} = f(t)$; c) $u_{B0} = f(t)$; d) $u_{C0} = f(t)$;
 e) điện áp dây $u_{AB} = f(t)$

mở, $u_{A0} = -U_d/2$. Cũng tương tự như vậy, hai van VT_3 và VT_6 luân phiên thay nhau làm việc tạo ra u_{B0} (hình 5.35c), hai van VT_5 và VT_2 luân phiên nhau làm việc tạo ra u_{C0} (hình 8.15d). Đồ thị điện áp dây hai pha A và B ($u_{AB} = f(t)$) trên đầu ra của bộ nghịch lưu là hiệu số của u_{A0} hoặc u_{B0} (hình 5.35e), dao động giữa hai giá trị $+U_d$ và $-U_d$.

5.5. CÁC BỘ BIẾN ĐỔI TẦN SỐ

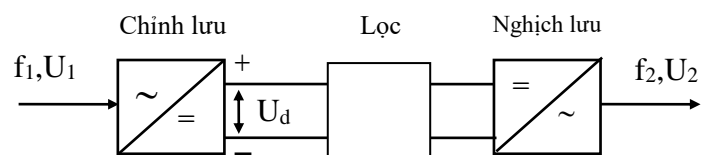
Trong thực tế sản xuất, nguồn điện cung cấp cho các xí nghiệp công nghiệp thường là hệ thống điện áp xoay chiều hình sin ba pha có tần số cố định (tần số công nghiệp) và điện áp không đổi. Trong khi đó nhiều trường hợp cần phải tạo ra nguồn điện xoay chiều có tần số thay đổi được. Thiết bị dùng để biến đổi điện áp xoay chiều công nghiệp dạng hình sin với tần số không đổi thành điện áp xoay chiều có tần số điều chỉnh được gọi là bộ biến đổi tần số, còn gọi tắt là bộ biến tần.

Về mặt cấu trúc mà nói, bộ biến tần dùng các dụng cụ điện tử công suất được chia thành hai loại là biến tần trực tiếp và biến tần gián tiếp. Bộ biến tần gián tiếp trước tiên phải biến đổi điện áp xoay chiều của mạng điện thành điện áp một chiều nhờ bộ chỉnh lưu, sau đó lại qua bộ nghịch lưu biến đổi điện áp một chiều thành điện áp xoay chiều có tần số và điện áp điều khiển được, vì vậy còn được gọi là bộ biến tần gián tiếp có khâu trung gian một chiều. Bộ biến tần trực tiếp thực hiện biến đổi điện áp xoay chiều của mạng trực tiếp thành điện áp xoay chiều có tần số và điện áp điều khiển được, không có khâu trung gian một chiều. Hiện nay trên thực tế các bộ biến tần gián tiếp được dùng nhiều hơn.

5.5.1. Bộ biến tần gián tiếp (thiết bị biến tần xoay chiều-một chiều-xoay chiều)

Bộ biến tần gián tiếp có khâu trung gian một chiều có thể có các cấu trúc khác nhau, cấu trúc chung được mô tả như hình 5.36. Về cơ bản có thể có ba khâu chính: Chỉnh lưu, lọc và nghịch lưu. Phụ thuộc vào việc điều chỉnh điện áp đầu ra mà có thể có ba dạng sau: Bộ biến tần dùng chỉnh lưu có điều

khiển, bộ biến tần dùng chỉnh lưu không điều khiển nhưng thêm bộ biến đổi xung áp một chiều, bộ biến tần dùng chỉnh lưu không điều khiển với nghịch lưu thực hiện điều chế độ rộng xung (PWM).

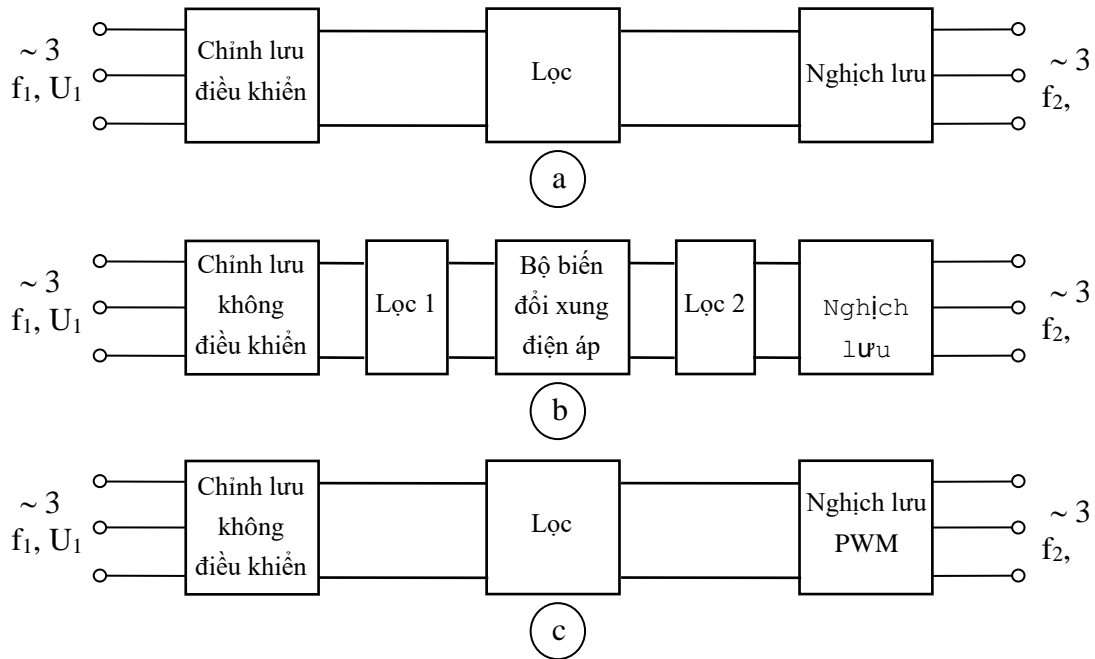


Hình 5.36: Thiết bị biến tần gián tiếp

5.5.1.1. Bộ biến tần gián tiếp dùng chỉnh lưu điều khiển

Bộ biến tần này có cấu trúc như trên hình 5.36a, điện áp xoay chiều lưới điện được biến đổi thành điện áp một chiều có điều chỉnh nhờ chỉnh lưu điều khiển tiristor, khâu lọc có thể là bộ lọc điện dung hoặc điện cảm phụ thuộc vào dạng nghịch lưu sử dụng, khâu nghịch lưu có thể sử dụng các tiristor hoặc transistor. Việc điều chỉnh giá trị điện áp ra U_2 được thực hiện bằng việc điều khiển góc điều khiển bộ chỉnh lưu, việc điều chỉnh tần số tiến hành bởi khâu nghịch lưu, tuy nhiên quá trình điều khiển được phối hợp trên cùng một mạch điện điều khiển. Cấu trúc của bộ biến tần loại này đơn giản, dễ điều khiển nhưng do khâu biến đổi điện áp xoay chiều thành một chiều (đầu vào) sử dụng chỉnh lưu điều khiển tiristor nên khi điện áp ra thấp thì hệ số công suất giảm thấp; khâu biến đổi điện áp hoặc

dòng điện một chiều thành xoay chiều (đầu ra) thường dùng nghịch áp 3 pha bằng tiristor nên sóng hài bậc cao trong điện áp xoay chiều đầu ra thường có biên độ khá lớn. Đây là nhược điểm chủ yếu của loại bộ biến tần này.



Hình 5.37: Bộ biến tần gián tiếp có khâu trung gian một chiều

- Biến tần dùng chỉnh lưu điều khiển bằng tiristor
- Biến tần dùng chỉnh lưu không điều khiển có thêm bộ biến đổi xung điện áp
- Biến tần dùng chỉnh lưu không điều khiển với nghịch lưu điều chế PWM

5.5.1.2. Biến tần dùng chỉnh lưu không điều khiển có thêm bộ biến đổi xung điện áp

Bộ biến tần gián tiếp dùng bộ chỉnh lưu không điều khiển kết hợp với bộ biến đổi xung điện áp một chiều để điều chỉnh điện áp một chiều ở đầu vào khối nghịch lưu được biểu diễn trên hình 5.37b.

Việc biến đổi điện áp xoay chiều thành một chiều để cấp cho khối nghịch lưu sử dụng bộ chỉnh lưu điôt không điều khiển. Khối nghịch lưu chỉ có nhiệm vụ biến đổi điện áp một chiều thành xoay chiều với tần số điều chỉnh được mà không có khả năng điều chỉnh điện áp ra của nghịch lưu nên giữa khối chỉnh lưu và nghịch lưu bố trí thêm bộ biến đổi xung điện áp một chiều để điều chỉnh giá trị điện áp một chiều cấp cho nghịch lưu nhằm thực hiện nhiệm vụ điều chỉnh giá trị hiệu dụng điện áp xoay chiều đầu ra nghịch lưu U₂. Mặc dù bộ biến tần này đã phải thêm một khâu (chưa kể phải thêm khâu lọc) nhưng hệ số công suất đầu vào khá cao, khắc phục được nhược điểm của bộ biến tần thứ nhất trên hình 5.37a. Khối nghịch lưu đầu ra không thay đổi nên vẫn tồn tại nhược điểm sóng hài khá lớn, mặt khác do phải thêm bộ biến đổi xung điện áp nên số phần tử và giá thành tăng.

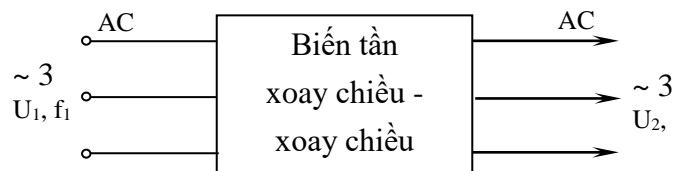
5.5.1.3. Bộ biến tần dùng bộ chỉnh lưu không điều khiển với bộ nghịch lưu SPWM

Bộ biến đổi tần số gián tiếp dùng bộ chỉnh lưu không điều khiển kết hợp với bộ nghịch lưu SPWM được mô tả trên hình 5.37c.

Bộ chỉnh lưu là loại không điều khiển bằng các đi ốt có độ bền cao và hệ số công suất khá cao. Điện áp đầu ra của chỉnh lưu sau khi qua bộ lọc được dùng để cấp cho khối nghịch lưu. Khối nghịch lưu ngoài nhiệm vụ biến đổi điện áp một chiều thành xoay chiều với tần số điều chỉnh được còn phải đảm nhận được chức năng là điều chỉnh giá trị điện áp đầu ra, để thực hiện các nhiệm vụ này, ở đây sử dụng khối nghịch lưu điều chế độ rộng xung hình sin (SPWM, viết tắt của Sinusoidal Pulse Width Modulation) bằng các dụng cụ điều khiển hoàn toàn như IGBT hoặc GTO. Khối nghịch lưu này có ưu điểm nổi bật là giảm được sóng hài bậc cao trong điện áp xoay chiều đầu ra, nâng cao chất lượng hệ thống điều tốc. Như vậy đã khắc phục được cả hai nhược điểm của thiết bị hình 5.37a. Mức độ giảm sóng hài phụ thuộc vào tần số đóng cắt, tần số đóng cắt càng cao càng có khả năng tạo ra dòng điện gần với đường cong hình sin, với việc dùng các IGBT có thể cho phép nghịch lưu PWM làm việc với tần số đóng cắt thường từ 2,5 đến 10 KHz (có thể đạt được tần số đóng cắt đến 20KHz) nên đồ thị dòng đầu ra rất gần với dạng hình sin chính xác, đây là một dạng cấu trúc được sử dụng phổ biến hiện nay.

5.5.2. Bộ biến tần trực tiếp (xoay chiều - xoay chiều)

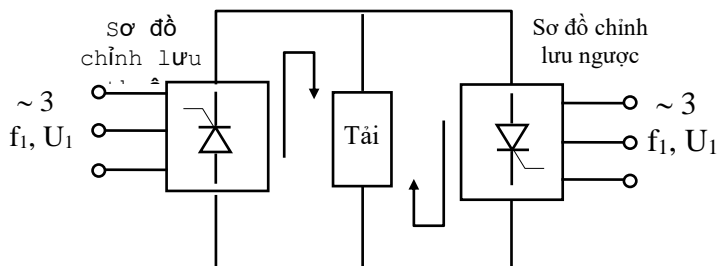
Cấu trúc của thiết bị biến tần trực tiếp như trên hình 5.38. Bộ biến đổi này chỉ dùng một khâu biến đổi là có thể biến đổi nguồn điện xoay chiều có điện áp và tần số không đổi thành điện áp xoay chiều có điện áp và tần số điều



Hình 5.38: Thiết bị biến tần trực tiếp (xoay chiều - xoay chiều)

chỉnh được. Do quá trình biến đổi không phải qua khâu trung gian nên được gọi là bộ biến tần trực tiếp, còn được gọi là bộ biến đổi sóng cố định (Cycloconverter).

Mỗi một pha đầu ra của bộ biến tần trực tiếp đều được tạo bởi mạch điện mắc song song ngược hai sơ đồ chỉnh lưu tiristor (hình 5.39). Hai sơ đồ chỉnh lưu thuận ngược luân lượt được điều khiển làm việc theo chu kỳ nhất định. Trên phụ tải sẽ nhận được điện áp ra biến thiên u_t . Biên độ của nó phụ thuộc vào góc điều khiển α , còn tần số của nó phụ thuộc vào tần số không chế quá trình chuyển đổi sự làm việc của hai sơ đồ

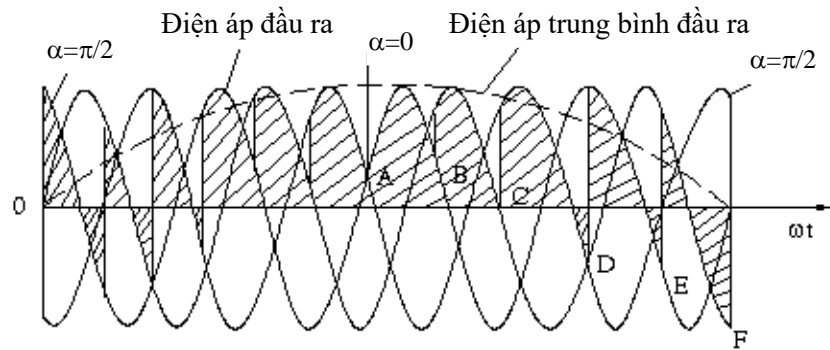


Hình 5.39: Sơ đồ nguyên lý bộ biến tần trực tiếp

chỉnh lưu mắc song song ngược. Nếu góc điều khiển α không thay đổi thì điện áp trung bình đầu ra có giá trị không đổi trong mỗi nửa chu kỳ điện áp đầu ra. Muốn nhận được điện áp đầu ra có dạng gần hình sin hơn cần phải liên tục thay đổi góc điều khiển các van của mỗi sơ đồ chỉnh lưu trong thời gian làm việc của nó (mỗi nửa chu kỳ điện áp ra); chẳng hạn ở nửa chu kỳ làm việc của sơ đồ thuận, thực hiện thay đổi góc điều khiển α từ $\pi/2$ (ứng với điện áp trung bình bằng không) giảm dần tới 0 (ứng với điện áp trung bình là

cực đại), sau đó lại tăng dần α từ 0 lên tới $\pi/2$ thì điện áp trung bình đầu ra của sơ đồ chỉnh lưu lại từ giá trị cực đại giảm về 0, tức là làm cho góc α thay đổi trong phạm vi $\pi/2 \div 0 \div \pi/2$, để điện áp biến đổi theo quy luật gần hình sin, như trên hình 5.40. Trong đó, tại điểm A có $\alpha = 0$, điện áp chỉnh lưu trung bình cực đại, sau đó tại các điểm B, C, D, E góc α tăng dần lên, điện áp trung bình giảm xuống dần, cho đến điểm F với $\alpha = \pi/2$ điện áp trung bình là 0. Điện áp trung bình trong nửa chu kỳ là hình sin, trong hình vẽ thể hiện bằng nét đứt. Việc điều khiển sơ đồ ngược trong nửa chu kỳ âm điện áp ra cũng tương tự như thế.

Trên đây đã phân tích đầu ra một pha biến tần xoay chiều - xoay chiều (trực tiếp), đối với phụ tải ba pha, hai pha khác cũng dùng mạch điện đảo chiều mắc song song ngược, điện áp trung bình



Hình 5.40: Đồ thị điện áp đầu ra của thiết bị biến tần xoay chiều xoay chiều hình sin

đầu ra có góc pha lệch nhau 120^0 . Như vậy, nếu mỗi một sơ đồ chỉnh lưu đều dùng loại sơ đồ cầu ba pha thì bộ biến tần ba pha sẽ cần tổng cộng tới 36 tiristor (mỗi nhánh cầu chỉ dùng một tiristor), nếu dùng loại sơ đồ tia ba pha, cũng phải dùng tới 18 tiristor. Vì vậy thiết bị biến tần trực tiếp tuy về mặt cấu trúc chỉ dùng một khâu biến đổi, nhưng số lượng linh kiện lại tăng lên rất nhiều, kích thước tổng tăng lên rất lớn. Do những thiết bị này đều tương tự như thiết bị của bộ biến đổi có đảo dòng thường dùng trong hệ thống điều tốc một chiều có đảo chiều nên quá trình chuyển mạch dòng điện được thực hiện giống như trong sơ đồ chỉnh lưu có điều khiển (chuyển mạch tự nhiên), đối với các linh kiện không có các yêu cầu gì đặc biệt. Ngoài ra, từ hình 5.40 có thể thấy, lúc điện áp đổi chiều đồ thị hình sin của điện áp nguồn cũng có thể biến đổi theo rất nhanh chóng, vì vậy tần số đầu ra lớn nhất cũng không vượt quá $1/3 \div 1/2$ tần số mạng điện (tùy theo số pha chỉnh lưu), nếu không, đồ thị đầu ra sẽ thay đổi rất lớn, sẽ ảnh hưởng tới sự làm việc bình thường của hệ thống điều tốc biến tần. Do số lượng linh kiện tăng lên nhiều, tần số đầu ra giảm xuống, phạm vi thay đổi tần số đầu ra của bộ biến tần hẹp (vì cũng bị giới hạn cả tần số thấp nhất) nên hệ điều tốc này ít được dùng, chỉ trong một số lĩnh vực công suất lớn và cần tốc độ làm việc thấp, chẳng hạn như máy cán thép, máy nghiền bi, lò xi măng, Những loại máy này khi dùng động cơ tốc độ thấp được cấp điện bởi biến tần trực tiếp có thể bỏ được hộp giảm tốc rất cồng kềnh và thường dùng tiristor mắc song song mới thoả mãn được yêu cầu công suất đầu ra. Bộ biến tần trực tiếp tuy có một số nhược điểm là số lượng phần tử nhiều, phạm vi thay đổi tần số không rộng, chất lượng điện áp ra thấp, nhưng có ưu điểm là hiệu suất cao hơn so với các bộ biến tần gián tiếp, điều này đặc biệt có ý nghĩa khi công suất hệ thống

điều tốc cực lớn (các hệ thống dùng động cơ công suất đến 16.000 KW). Bảng so sánh 5.1 được dùng để làm rõ đặc điểm của hai loại thiết bị biến tần nói trên.

Bảng 5.1: So sánh đặc điểm chủ yếu của thiết bị biến tần gián tiếp và trực tiếp dùng tiristor

| Loại Các đặc tính | Bộ biến tần gián tiếp | Bộ biến tần trực tiếp |
|------------------------------------|---|--|
| Hình thức chuyển đổi năng lượng | Hai lần chuyển đổi năng lượng, hiệu suất hơi thấp | Chuyển đổi năng lượng một lần, hiệu suất khá cao |
| Phương thức chuyển đổi dòng điện | Đổi chiều cưỡng bức hoặc dùng phương pháp dao động phụ tải để đổi chiều | Điện áp nguồn đổi chiều |
| Số lượng linh kiện của thiết bị | Số lượng linh kiện tương đối ít | Số lượng linh kiện khá nhiều |
| Phạm vi điều tần | Phạm vi điều chỉnh tần số rộng | Nói chung tần số lớn nhất ở đầu ra nằm trong phạm vi $1/3 \div 1/2$ của tần số nguồn |
| Hệ số công suất mạng điện | Khi điều áp dùng chỉnh lưu điều khiển nên hệ số công suất khá thấp khi điện áp thấp; khi điều áp bằng bộ xung điện áp hoặc dùng phương thức PWM hệ số công suất cao | Tương đối thấp |
| Phạm vi sử dụng | Có thể dùng để truyền động cho các loại thiết bị với điện áp và tần số nguồn ổn định, điện nguồn không bị cắt | Rất thích hợp với truyền động công suất lớn tốc độ thấp. |