

## **ỨNG DỤNG CHỈNH LƯU PWM CHO BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG VÀ LỌC SÓNG HÀI TRONG MẠNG ĐIỆN CỤC BỘ**

Ngô Đức Minh (*Trường ĐH Kỹ thuật công nghiệp - ĐH Thái Nguyên*)

### **1. Đặt vấn đề**

Ngày nay, số lượng các thiết bị sử dụng điện ngày càng gia tăng cả về số lượng và chủng loại. Sự gia tăng nhu cầu sử dụng điện năng kéo theo yêu cầu xây dựng mới hoặc cải tạo hệ thống truyền tải. Như đã biết, điện năng truyền tải trong các hệ thống điện thông qua việc sử dụng một sóng điện từ có tần số xác định (50 hay 60Hz) gọi là sóng cơ bản. Tuy nhiên, trong thực tế, do một số nguyên nhân như sự cố đường dây, tải phi tuyến... mà trong hệ thống điện tồn tại các sóng điện từ có tần số bằng bội số nguyên lần tần số cơ bản. Các sóng này gọi chung là *sóng hài*.

Các sóng hài có thể chia thành các thành phần thứ tự thuận, nghịch và không: Thành phần thứ tự thuận: Các sóng hài bậc 1, 4, 7,...; thành phần thứ tự nghịch: Các sóng hài bậc 2, 5, 8,...; thành phần thứ tự không: Các sóng hài bậc 3, 6, 9,...

Sự tồn tại các sóng hài trong hệ thống ảnh hưởng không tốt tới các thiết bị và hiệu quả truyền tải của hệ thống điện. Chúng gây quá áp, méo điện áp lưới, gây quá nhiệt cho các phụ tải, chiếm dụng đường truyền, giảm chất lượng điện,... Vì thế, một vấn đề quan trọng đặt ra là cần phải loại bỏ các sóng hài này trong hệ thống điện.

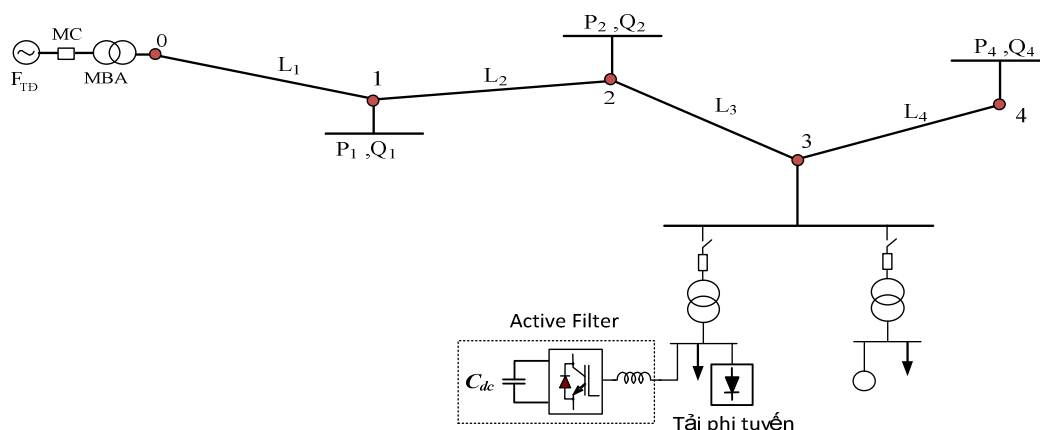
Để khử các sóng hài có hai phương pháp chính: Phương pháp thụ động (dùng bộ lọc thụ động) và phương pháp chủ động (dùng bộ lọc động). Bộ lọc sóng hài thụ động làm việc trên nguyên tắc là tạo ra một trở kháng nhỏ để thu hút sóng hài ra khỏi lưới điện hoặc tạo ra một trở kháng lớn để ngăn cản sóng hài trên đường truyền. Nhược điểm của phương pháp này là kết cấu rất cồng kềnh, tụ có thể bị nổ do quá dòng và tổn thất trong, nên có thể gây dao động hệ thống. Trong khi đó Bộ lọc động (AF: active filter) làm việc trên nguyên tắc là kiểm soát lưới, phát hiện sóng hài và triệt khử sóng hài bằng cách bơm vào lưới sóng hài đồng dạng ngược pha sao cho tổng sóng hài trên lưới là bằng không. Ngoài ra cùng một thiết bị AF còn có thêm một số chức năng khác, thường ứng dụng nhất là bù công suất phản kháng.

Bài báo xét đến một mô hình lưới điện cục bộ thực tế như sau:

- $F_{TD}$ : nguồn phát 2MW; 35 kV (0,4 kV).
- L1, L2,... L4: đường dây từ nguồn đến các điểm phụ tải.
- $P_i, Q_i$  ( $i=1,2,3,4$ ): các phụ tải tập trung.
- CL: tải chỉnh lưu (1÷2)MW.
- Pt: phụ tải tĩnh chiếm khoảng 70%  $P_{dmF}$ .
- AF: Bộ lọc động.

### **2. Sơ đồ hệ thống và thuật toán điều khiển**

#### *2.1. Sơ đồ hệ thống*



Hình 1. Hệ thống ứng dụng AF để lọc sóng hài do tải phi tuyến gây ra

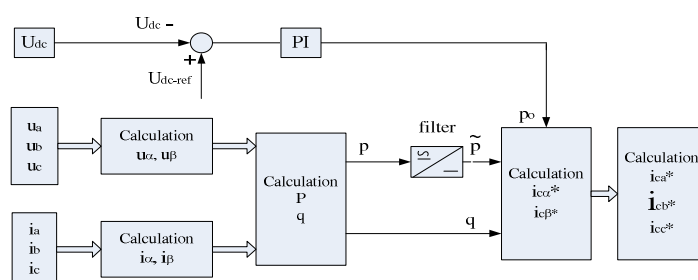
## 2.2. Thuật toán điều khiển

Chức năng của AF là bù công suất phản kháng và triệt tiêu sóng hài. Để thực hiện chức năng này, bộ AF hoạt động như một bộ nguồn ba pha tạo ra dòng điện thích hợp bơm lên đường dây, dòng này bao gồm hai thành phần:

- Thành phần bù công suất phản kháng: là thành phần phát ra công suất phản kháng đưa lên lưới.
- Thành phần triệt tiêu các sóng điều hòa bậc cao: là thành phần ngược pha với tổng sóng điều hòa dòng điện bậc cao.

Cơ sở để xây dựng thuật toán điều khiển AF là xác định được thành phần dòng cần bù. Có nhiều phương pháp để xác định dòng bù: Phương pháp Discrete Fourier Transform (DFT), Fast Fourier Transform (FFT), đồng bộ trong khung tọa độ dq với thành phần cơ bản, đồng bộ trong khung tọa độ dq với thành phần sóng điều hòa, thuyết p-q tức thời... [8].

Trong bài báo này, tác giả sử dụng thuyết p-q tức thời [11]. Thuật toán xác định dòng bù được trình bày trên hình 2.



Hình 2. Thuật toán xác định dòng bù dựa trên thuyết p-q tức thời

Để xác định dòng điều hòa bậc cao, thuyết p-q tức thời dùng phép biến đổi trong khung tọa độ  $\alpha\beta$ . Theo đó công suất tải:

Trong đó :

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ -u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}$$

Để xác định dòng điều hòa bậc cao, thuyết p-q dùng phép biến đổi trong khung tọa độ  $\alpha\beta$ . Theo đó công suất tải :

Trong đó :

$$\begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

Công suất p, q có thể tách thành hai thành phần: thành phần một chiều  $\bar{p}$ ,  $\bar{q}$  tương ứng với thành phần cơ bản của dòng tải; thành phần điều hòa bậc cao  $\tilde{p}$ ,  $\tilde{q}$ .

$$p = \bar{p} + \tilde{p}, \quad q = \bar{q} + \tilde{q}$$

$$P_{3\text{-phase}} = p + q = \bar{p} + \tilde{p} + \bar{q} + \tilde{q}$$

Trong đó :

$P_{3\text{-phase}}$  là tổng công suất tức thời xác định bởi tải.

p là thành phần công suất tác dụng của  $P_{3\text{-phase}}$

q là thành phần công suất phản kháng của  $P_{3\text{-phase}}$

Nguồn  $U_{DC}$  chỉ cung cấp thành phần công suất một chiều (DC) của tải và công suất duy trì hoạt động bộ biến đổi  $p_0$ .

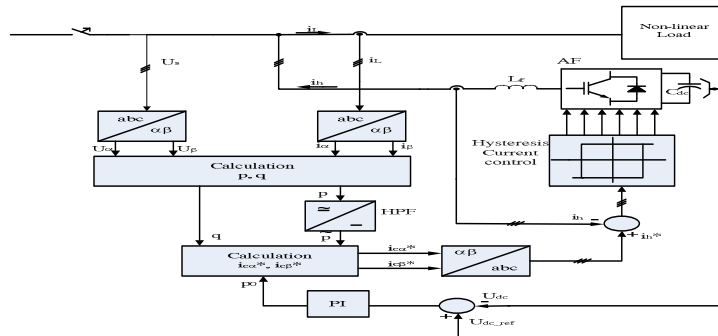
Mạch AF có nhiệm vụ cung cấp thành phần  $\tilde{p}$  của p và CSPK q.

Khi đó tính được dòng cần bù theo công thức (3).

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha}^* \\ i_{c\beta}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{u_\alpha^2 + u_\beta^2} \begin{bmatrix} u_\alpha & -u_\beta \\ u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\tilde{p} + p_0 \\ -q \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dòng cần bù trong hệ abc :

$$\begin{bmatrix} i_{ca}^* \\ i_{cb}^* \\ i_{cc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c\alpha}^* \\ i_{c\beta}^* \end{bmatrix} \quad (4)$$



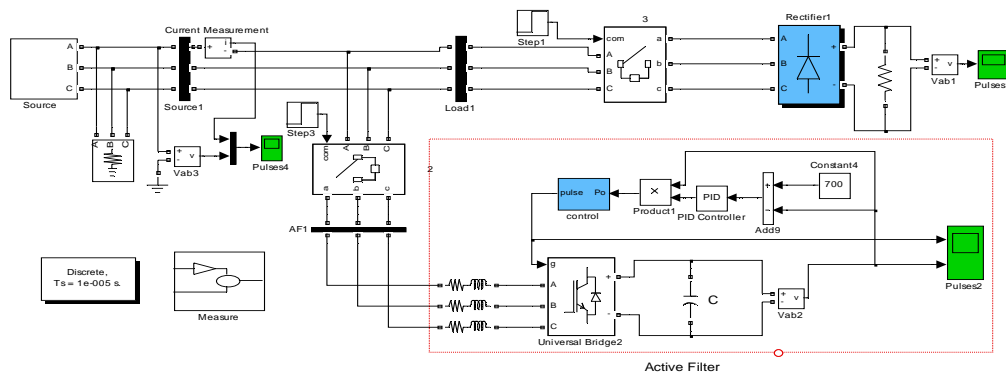
Hình 3. Cấu trúc điều khiển mạch AF

Trên cơ sở xác định được dòng bù ta xây dựng cấu trúc điều khiển cho AF như trên hình 3. Điện áp một chiều được giữ không đổi ở 700(V) nhờ một bộ điều chỉnh điện áp. Đo dòng phía tải qua biến đổi  $\alpha\beta$  theo công thức (2) kết hợp với đo điện áp tại điểm kết nối mạch lọc với lưới và ứng dụng thuyết p-q tức thời tính được dòng cần bù theo công thức (4).

Trên cơ sở xác định được dòng cần bù và so sánh với dòng bù thực ở đầu ra AF, bộ điều chỉnh dòng tác động tới AF để dòng bù phát ra từ AF bám theo dòng bù chuẩn xác định theo công thức (4).

### 3. Mô phỏng hệ thống

#### 3.1. Sơ đồ mô phỏng



Hình 4. Mô hình mô phỏng hệ thống

Thông số mô phỏng:

- + Nguồn: 380V, 50Hz.
- + Tải phi tuyến là cầu chỉnh lưu.
- + Thông số bộ điều chỉnh dòng:  $K_p = 0,011$ ;  $K_i = 110$ .
- + Cuộn cảm  $L = 0,05\text{mH}$  [1].
- + Tụ điện  $C = 0,03\text{F}$  [7].
- + Thông số bộ điều chỉnh điện áp trên tụ:  $K_p = 2,64$ ;  $K_i = 114,8$ .

Trong thực tế thì quá trình tăng sức điện động E thường kéo dài khoảng 5 đến 10 phút tuy nhiên khi đó khối lượng tính toán của máy tính sẽ lớn. Do chỉ cần định hình sự biến thiên sức

điện động trên tải để đánh giá sự biến thiên của dòng điều hòa bậc cao khi sức điện động thay đổi và để giảm bớt khối lượng tính toán, ta giả sử quá trình này kéo dài 2(s).

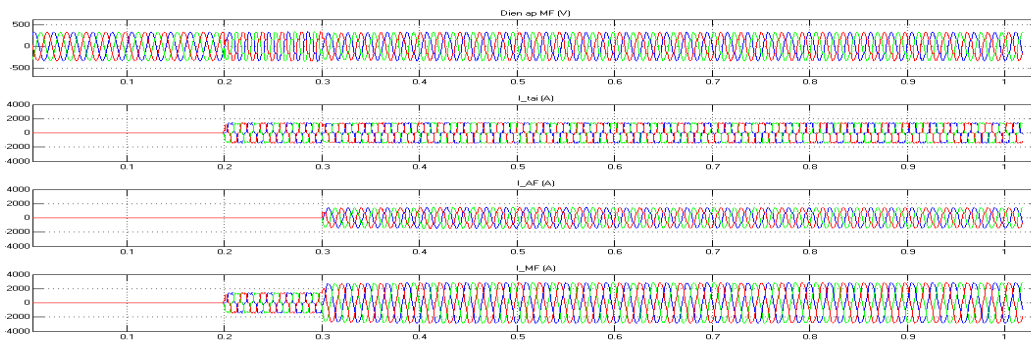
### 3.2. Kết quả mô phỏng

Tại thời điểm 0.2s đóng tải phi tuyến, qua mạch phân tích sóng hài thu được tổng sóng hài dòng điện là 17.86%, tổng sóng hài điện áp 13.94% đều lớn hơn giá trị cho phép theo tiêu chuẩn IEEE 519 (THD<5%).

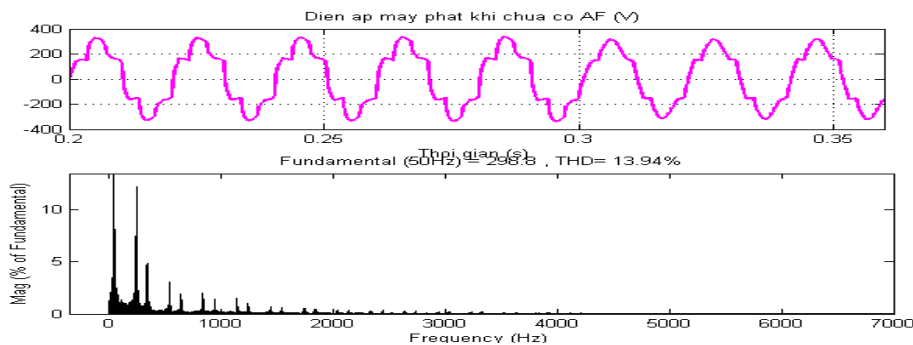
Tại thời điểm 0.3s bộ lọc chủ động AF được đóng vào sau một khoảng thời gian rất ngắn tín hiệu dòng ba pha qua bộ lọc được tạo ra để bù dòng và công suất phản kháng do thành phần sóng hài bậc cao, điều này được minh chứng bằng kết quả mô phỏng như hình 5 và qua mạch phân tích sóng hài cho thấy tổng sóng hài điện áp giảm xuống còn 2.62%, sóng hài dòng điện còn 1.87% nhỏ hơn giá trị cho phép.

Giảm được tổn thất công suất, nhiệt độ do các sóng hài bậc cao gây ra cho nguồn (máy phát) do AF bù công suất phản kháng và triệt tiêu sóng hài giữ cho dòng máy phát luôn có dạng sin, hệ số công suất  $\cos\phi = 1$  thể hiện trên hình 10, Dòng điện và điện áp máy phát trùng pha.

Đối với hệ thống nguồn không đối xứng thì thuật toán điều khiển dựa trên thuyết p-q cho kết quả không giống như trên, do bản thân thuyết p-q chỉ áp dụng đúng khi điện áp cân bằng và có dạng sin. Cách khắc phục trong trường hợp này có thể sử dụng mạch PLL.




Hình 5. Dòng điện và điện áp trong quá trình mô phỏng



Hình 6. Dòng điện máy phát và đo sóng hài khi chưa có AF

## 4. Kết luận

Như vậy, các bộ chỉnh lưu trong hệ thống điện là các phân tử phi tuyến chính làm phát sinh sóng hài điện áp, dòng điện trên lưới. Đơn giản nhất là bộ chỉnh lưu cầu diode trong lò điện trở.

Vậy, mô hình điều khiển mạch AF đã cho kết quả tốt khi áp dụng vào trường hợp cụ thể để lọc sóng điều hòa bậc cao, bù công suất phản kháng cho hệ thống có tải phi tuyến và với những kết quả đạt được thì cấu trúc điều khiển này hoàn toàn có thể ứng dụng vào thực tiễn do tính đơn giản và dễ thực hiện 

### Tóm tắt

Trong công nghiệp, một số thiết bị sản xuất khi chuyển đổi năng lượng đã để lại trên lưới một lượng sóng hài lớn vượt quá tiêu chuẩn cho phép. Nhân đây, bài báo đưa ra một cấu hình của chỉnh lưu PWM với thuật toán đơn giản nhưng đảm bảo thu dọn sạch các sóng hài đến mức cần thiết, hơn nữa có thể bù công suất phản kháng cho mạng điện cục bộ. Tận dụng tốt hơn khả năng truyền tải công suất cho lưới điện.

### Summary

In industry, some productive equipment in tranfering energy has left the harmonics of electrical network exceeding permissible limit. By the way, this paper gives the configuration of PWM retification with simple algorithm but being possible to clean the harmonics moreover, to compensate quadrature power and to utilize effectively transmission of electric power.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. David M.E. Ingram and Simon D. Round; *A Fully Digital Hysteresis Current Controller for an Active Power Filter*.
- [2]. Dr. Nadarajah Mithulananthan, Mr. Arthit Sode-yome and Mr. Naresh Acharya (2003); *Application of FACTS Controllers in Thailand Power Systems*; RTG Budget-Joint Research Project, Fiscal.
- [3]. Edson H. Watanabe, Mauricio Aredes, Hirofumi Akagi; *The p-q Theory for Active Filter control: Some problems and soluitons*.
- [4]. Emilio F.Couto, Juslio S. Martins, Joao L. Afonso; *Simulation Results of a Shunt Active Filter with Control Base on p-q Theory*.
- [5]. Engin Ozdemir, Murat Kale, Sule Ozdemir; *Active Power Filter for Power Compensation Under-Non Ideal Main Voltages*.
- [6]. Fred C. Lee, Dusan Borojevic, Dan Y. Chen, Guichao Hua, Douglas J. Nelson, (1998); *High Performance Power Converter Systems for Nonlinear and Unbalanced Load/Source*; Blacksburg, Virginia.
- [7]. Helder j.avezedo, José M. Ferreina, Antonio P. Martins, Adriano S. Cavalho; *Direct current Control of an Active Power Filter for Harmonic Elimination*.
- [8]. Lucian Asiminoaei, Frede Blaabjerg, Steffan Hansen; *Evaluation of Harmonic Detection Methods foa Active Power Filters Application*.
- [9]. M. Lafoz and I.J. Iglesias, C. Veganzone; *Three-Level Voltage Source Inverter with Hysteresis-Band Current Control*.
- [10]. Mariusz Malinowski, (2001); *Sensorless Control Strategies for Three-Phase PWM Rectifiers*; Warsaw University of Technology, Poland.
- [11]. Mehmet Ucar and Engin Ozdemir; *Control of a 3-phase, 4-leg active power filter under mains non-ideal voltages conditions*.
- [12]. Marian GAICEANU; *Active Power Compensator of the Current Harmonics based on the Instantaneous Power Theory*. Park ki-won; *A Review of Active Power Filters*.
- [13]. Xiao-Ping Zhang, Christian Rehtanz, Bikash Pal. *Flexible AC Transmission Systems: Modelling and Control*.