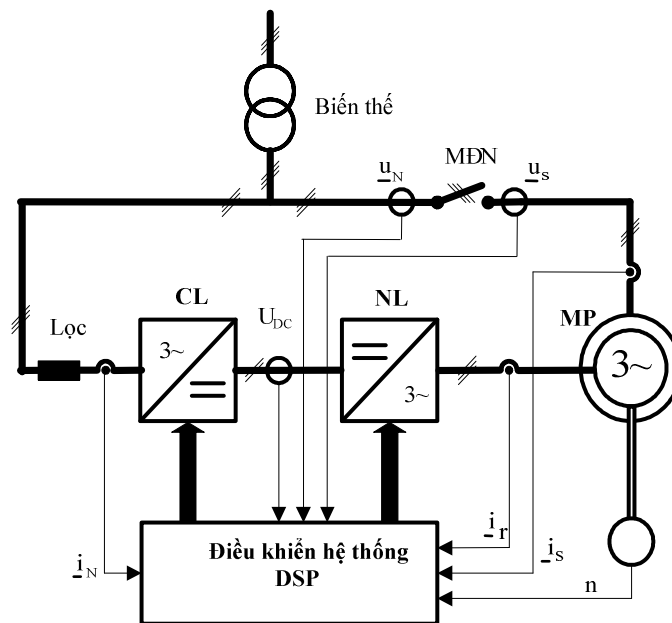


ĐIỀU KHIỂN MÁY ĐIỆN DỊ BỘ NGUỒN KÉP TRONG HỆ THỐNG PHÁT ĐIỆN CHẠY SỨC GIÓ VỚI BỘ ĐIỀU KHIỂN DÒNG THÍCH NGHI BỀN VỮNG TRÊN CƠ SỞ KỸ THUẬT BACKSTEPPING

Cao Xuân Tuyền (Trường ĐH Kỹ thuật công nghiệp – ĐH Thái Nguyên) -
Nguyễn Phùng Quang (Trường ĐH Bách khoa Hà Nội)

1. Giới thiệu hệ thống phát điện sức gió (PĐSG) sử dụng máy dị bộ nguồn kép (DFIM)



Hình 1.1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống PĐSG sử dụng DFIM

Hình 1.1 mô tả khái quát cấu trúc một hệ thống phát điện chạy sức gió sử dụng DFIM. Hệ thống trên bao gồm một DFIM có cuộn dây stato được nối trực tiếp với lưới điện ba pha. Cuộn dây phía rotor được nối với hệ thống biến tần (dùng van bán dẫn) có khả năng điều khiển dòng năng lượng đi theo hai chiều. Các van bán dẫn được điều khiển đóng mở theo nguyên lý điều chế vector không gian (ĐCVTKG) do bộ xử lý tín hiệu số DSP đảm nhiệm.

2. Các hiện tượng xảy ra khi lỗi lưới ngắn mạch ba pha

Khi sập lưới đối xứng từ giá trị U_1 xuống U_2 , xuất hiện thành phần từ thông quá độ dao động, thành phần này cảm ứng ra điện áp rotor quá độ có biên độ tỉ lệ với hiệu số $(U_1 - U_2)$ và $(1-s)$, mà hệ số trượt s nhỏ nên biên độ điện áp rotor quá độ sẽ có giá trị lớn có thể bộ biến đổi bị mất điều khiển và xuất hiện quá dòng mạch rotor lớn.

Khi sập lưới do dòng rotor, từ thông stato dao động làm mô men điện của máy phát dao động theo. Do mô men cơ trên trục máy phát thay đổi chậm hơn, nên tốc độ rotor và do đó tần số góc mạch rotor ω_r cũng dao động khi sập lưới, dẫn tới hệ số trượt s thay đổi và điện áp cảm ứng trong mạch rotor dao

động theo, nếu biên độ dao động của điện áp rotor quá lớn vượt quá khả năng của bộ biến đổi, sẽ gây nên hiện tượng dòng rotor bị mất điều khiển trong thời gian ngắn và xuất hiện hiện tượng quá dòng lớn.

Trong chế độ sập lưới, nếu do ảnh hưởng của quá độ lưới như đóng cắt tải, mà điện áp lưới lại dao động nữa thì theo phân tích ở trên, khi đó ngoài biên độ điện áp lưới thay đổi, từ thông stator cũng dao động theo làm cảm ứng trong mạch rotor điện áp cũng dao động có biên độ lớn hơn bình thường, và nếu biên độ lớn vượt quá khả năng của bộ biến đổi, sẽ xảy ra hiện tượng mất điều khiển dòng rotor và hiện tượng quá dòng điện lớn ở mạch rotor.

Từ các phân tích và nhận xét ở trên, để nâng cao chất lượng điều khiển, bộ điều khiển cần thiết phải xét tới các yếu tố dao động thay đổi như đã đề cập đến ở trên.

Sự dao động của tần số góc mạch rotor, của từ thông stator, của điện áp stator và của tốc độ máy phát được kể đến thông qua các thành phần nhiễu dao động phi tuyến tương ứng $\tilde{\omega}_r, \tilde{\omega}, \tilde{\psi}'_{sd}, \tilde{\psi}'_{sq}, \tilde{u}_{sd}, \tilde{u}_{sq}$ được cộng thêm vào các giá trị ở chế độ xác lập tương ứng như sau:

$$\hat{\omega}_r = \omega_r + \tilde{\omega}_r; \hat{\omega} = \omega + \tilde{\omega}; \hat{\psi}'_{sd} = \psi'_{sd} + \tilde{\psi}'_{sd}; \hat{\psi}'_{sq} = \psi'_{sq} + \tilde{\psi}'_{sq}; \hat{u}_{sd} = u_{sd} + \tilde{u}_{sd}; \hat{u}_{sq} = u_{sq} + \tilde{u}_{sq} \quad (2.1)$$

Trong đó :

- $\hat{\omega}, \hat{\omega}_r, \hat{\psi}'_{sd}, \hat{\psi}'_{sq}, \hat{u}_{sd}, \hat{u}_{sq}$: Là các giá trị thực đưa vào bộ điều khiển.
- $\tilde{\omega}, \tilde{\omega}_r, \tilde{\psi}'_{sd}, \tilde{\psi}'_{sq}, \tilde{u}_{sd}, \tilde{u}_{sq}$: Là các nhiễu dao động phi tuyến.
- $\omega, \omega_r, \psi'_{sd}, \psi'_{sq}, u_{sd}, u_{sq}$: Là các giá trị ở chế độ xác lập.

Để kể tới các dao động phi tuyến kể trên, ta áp dụng phương pháp ‘Adaptive backstepping’ trên cơ sở ổn định Lyapunov để thiết kế bộ điều khiển bền vững với sự cố sập lưới.

3. Tổng hợp bộ điều khiển ‘adaptive backstepping’ cho thành phần i_{rd}

Theo [2], ta có :

$$cu_{rd} = w_1 + ai_{rd} - \omega_r i_{rq} - e\psi'_{sd} + b\omega\psi'_{sq} + du_{sd} \quad (3.1)$$

Thay các giá trị thực (2.1) vào, ta có:

$$cu_{rd} = -k_{i1} \int z_1 dt - k_{p1} z_1 + \frac{di_{rd}^*}{dt} + ai_{rd} - \omega_r i_{rq} - e\psi'_{sd} + b\omega\psi'_{sq} + du_{sd} + b\omega\tilde{\psi}'_{sq} + b\tilde{\omega}\psi'_{sq} + b\tilde{\omega}\tilde{\psi}'_{sq} - \tilde{\omega}_r i_{rq} - e\tilde{\psi}'_{sd} + d\tilde{u}_{sd} \quad (3.2)$$

Chọn hàm điều khiển Lyapunov là $v_1 = \frac{1}{2} z_1^2$, ta có:

$$\dot{v}_1 = z_1 [-k_{i1} \int z_1 dt - k_{p1} z_1 + b\omega\tilde{\psi}'_{sq} + b\tilde{\omega}\psi'_{sq} + b\tilde{\omega}\tilde{\psi}'_{sq} - \tilde{\omega}_r i_{rq} - e\tilde{\psi}'_{sd} + d\tilde{u}_{sd}] \quad (3.3)$$

Rõ ràng, ta thấy (3.3) không thỏa mãn điều kiện $\dot{v}_1 < 0$, và do đó bộ điều khiển không ổn định.

Bây giờ ta chọn hàm điều khiển Lyapunov mới có kể đến các thành phần dao động phi tuyến như sau:

$$v_1^* = v_1 + \frac{(\omega\tilde{\psi}'_{sq})^2}{2\gamma_{01}} + \frac{(\tilde{\omega}\psi'_{sq})^2}{2\gamma_{11}} + \frac{(\tilde{\omega}\tilde{\psi}'_{sq})^2}{2\gamma_{21}} + \frac{(\tilde{\omega}_r i_{rq})^2}{2\gamma_{31}} + \frac{(\tilde{\psi}'_{sd})^2}{2\gamma_{41}} + \frac{(\tilde{u}_{sd})^2}{2\gamma_{51}} \quad (3.4)$$

Trong đó: $\gamma_{01}, \gamma_{11}, \gamma_{21}, \gamma_{31}, \gamma_{41}, \gamma_{51}$ - là các hằng số dương.

Đạo hàm (3.4), ta được:

$$\begin{aligned} \dot{v}_1^* = \dot{v}_1 + & \frac{(\omega\tilde{\psi}'_{sq})}{\gamma_{01}} \frac{d(\omega\tilde{\psi}'_{sq})}{dt} + \frac{(\tilde{\omega}\psi'_{sq})}{\gamma_{11}} \frac{d(\tilde{\omega}\psi'_{sq})}{dt} + \frac{(\tilde{\omega}\tilde{\psi}'_{sq})}{\gamma_{21}} \frac{d(\tilde{\omega}\tilde{\psi}'_{sq})}{dt} + \\ & + \frac{(\tilde{\omega}_r i_{rq})}{\gamma_{31}} \frac{d(\tilde{\omega}_r i_{rq})}{dt} + \frac{(\tilde{\psi}'_{sd})}{\gamma_{41}} \frac{d(\tilde{\psi}'_{sd})}{dt} + \frac{(\tilde{u}_{sd})}{\gamma_{51}} \frac{d(\tilde{u}_{sd})}{dt} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Thay (3.3) vào (3.5), ta được:

$$\begin{aligned} \dot{v}_1^* = & -k_{i1} \int z_1^2 dt - k_{p1} z_1^2 + \frac{1}{\gamma_{01}} (\omega\tilde{\psi}'_{sq}) \left[\frac{d}{dt} (\omega\tilde{\psi}'_{sq}) + \gamma_{01} b z_1 \right] + \frac{1}{\gamma_{11}} (\tilde{\omega}\psi'_{sq}) \left[\frac{d}{dt} (\tilde{\omega}\psi'_{sq}) + \right. \\ & + \gamma_{11} b z_1 \left. \right] + \frac{1}{\gamma_{21}} (\tilde{\omega}\tilde{\psi}'_{sq}) \left[\frac{d}{dt} (\tilde{\omega}\tilde{\psi}'_{sq}) + \gamma_{21} b z_1 \right] + \frac{1}{\gamma_{31}} (\tilde{\omega}_r i_{rq}) \left[\frac{d}{dt} (\tilde{\omega}_r i_{rq}) - \gamma_{31} z_1 \right] + \\ & + \frac{1}{\gamma_{41}} (\tilde{\psi}'_{sd}) \left[\frac{d}{dt} (\tilde{\psi}'_{sd}) - \gamma_{41} e z_1 \right] + \frac{1}{\gamma_{51}} (\tilde{u}_{sd}) \left[\frac{d}{dt} (\tilde{u}_{sd}) + \gamma_{51} d z_1 \right] \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} \text{Để } \dot{v}_1^* < 0, \text{ thì: } & \frac{d}{dt} (\omega\tilde{\psi}'_{sq}) = -\gamma_{01} b z_1; \frac{d}{dt} (\tilde{\omega}\psi'_{sq}) = -\gamma_{11} b z_1; \frac{d}{dt} (\tilde{\omega}\tilde{\psi}'_{sq}) = -\gamma_{21} b z_1; \\ & \frac{d}{dt} (\tilde{\omega}_r i_{rq}) = \gamma_{31} z_1; \frac{d}{dt} (\tilde{\psi}'_{sd}) = \gamma_{41} e z_1; \frac{d}{dt} (\tilde{u}_{sd}) = -\gamma_{51} d z_1 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Từ (3.7), ta có:

$$\begin{aligned} (\omega\tilde{\psi}'_{sq}) &= \int (-\gamma_{01} b z_1) dt; (\tilde{\omega}\psi'_{sq}) = \int (-\gamma_{11} b z_1) dt; (\tilde{\omega}\tilde{\psi}'_{sq}) = \int (-\gamma_{21} b z_1) dt; \\ (\tilde{\omega}_r i_{rq}) &= \int (\gamma_{31} z_1) dt; \tilde{\psi}'_{sd} = \int (\gamma_{41} e z_1) dt; \tilde{u}_{sd} = \int (-\gamma_{51} d z_1) dt \end{aligned} \quad (3.8)$$

Thay (3.8) vào (3.2), ta được bộ điều khiển thành phần i_{rd} bền vững như sau:

$$\begin{aligned} cu_{rd} = & -k_{i1} \int z_1 dt - k_{p1} z_1 + \frac{di_{rd}^*}{dt} + ai_{rd} - \omega_r i_{rq} - e\psi'_{sd} + b\omega\psi'_{sq} + du_{sd} - \gamma_{01} b^2 \int z_1 dt - \\ & - \gamma_{11} b^2 \int z_1 dt - \gamma_{21} b^2 \int z_1 dt - \gamma_{31} \int z_1 dt - \gamma_{41} e^2 \int z_1 dt - \gamma_{51} d^2 \int z_1 dt \end{aligned} \quad (3.9)$$

4. Tổng hợp bộ điều khiển ‘adaptive backstepping’ cho thành phần i_{rq}

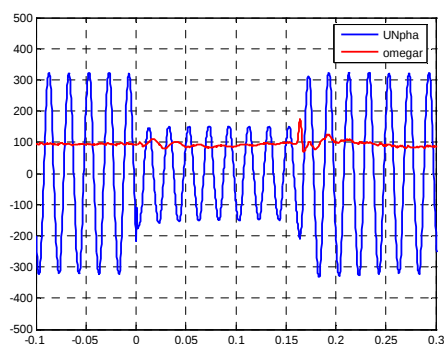
Tổng hợp tương tự như bộ điều khiển “adaptive backstepping” cho thành phần i_{rd} , ta được bộ điều khiển thành phần i_{rq} bền vững với sự cố sập lưới như sau:

$$\begin{aligned} cu_{rq} = & -k_{i2} \int z_2 dt - k_{p2} z_2 + \frac{di_{rq}^*}{dt} + ai_{rq} + \omega_r i_{rd} - e\psi'_{sq} - b\omega\psi'_{sd} + du_{sq} - \gamma_{02} b^2 \int z_2 dt - \\ & - \gamma_{12} b^2 \int z_2 dt - \gamma_{22} b^2 \int z_2 dt - \gamma_{42} \int z_2 dt - \gamma_{32} e^2 \int z_2 dt - \gamma_{52} d^2 \int z_2 dt \end{aligned} \quad (4.1)$$

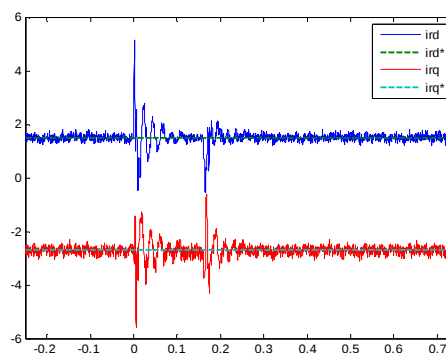
5. Kết quả thí nghiệm

5.1 Thí nghiệm riêng với bộ điều khiển dòng, sập 50% điện áp lưới, kéo dài 8 chu kỳ, $i_{rd}=1,5A$; $i_{rq}=-2,7A$; $n=1350$ vòng/phút.

Qua kết quả thí nghiệm ở hình 5.1, rõ ràng ta thấy rằng khi sập lưới 50% thì tần số góc mạch rotor thay đổi và dao động, tuy nhiên với bộ điều chỉnh dòng thích nghi bền vững đã thiết kế, thì các giá trị thực của các thành phần dòng rotor vẫn bám tốt theo giá trị đặt của chúng.



Hình 5.1 Điện áp lưới và tần số góc mạch rotor máy phát khi sập 50% điện áp lưới

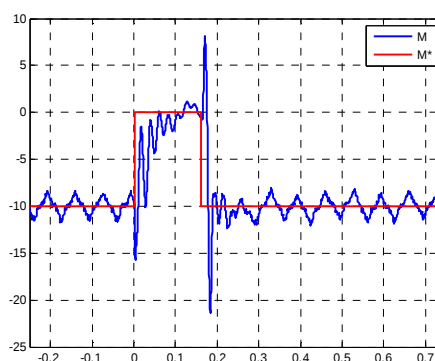


Hình 5.2 Đáp ứng dòng rotor máy phát khi thí nghiệm riêng với bộ điều chỉnh dòng

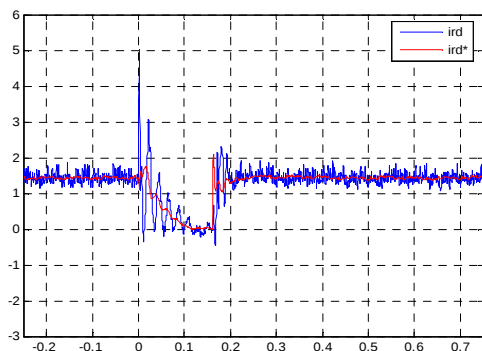
5.2 Sập lưới toàn hệ thống 50%, kéo dài 8 chu kỳ, ở tốc độ dưới tốc độ đồng bộ 30% ($n=1050$ v/ph), khi sập lưới M^* nhảy từ $-10Nm$ về $0 Nm$, $Q^*=700$ (không thay đổi).



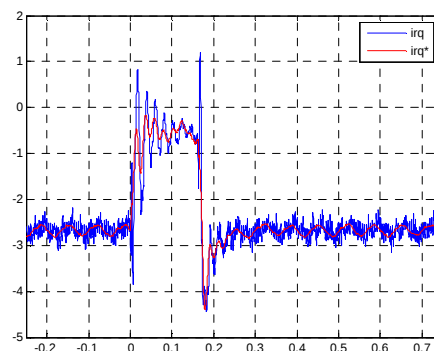
Hình 5.3 Công suất tác dụng và công suất phản kháng của máy phát



Hình 5.4 Mô men của máy phát



Hình 5.5 Đáp ứng thành phần dòng rotor i_{rd} của máy phát



Hình 5.6 Đáp ứng thành phần dòng rotor i_{rq} của máy phát

Khi sập lưới toàn hệ thống 50%, với bộ điều khiển dòng thích nghi bền vững đã thiết kế, máy phát đã thực hiện bám lưới và thực hiện điều chỉnh giảm công suất tác dụng về không, duy trì phát công suất phản kháng lên lưới để hỗ trợ lưới về điện áp, tránh nguy cơ tan rã hệ thống lưới điện. Các kết quả thực nghiệm cho thấy, các giá trị thực của mô men, công suất và dòng điện đã bám tốt theo giá trị đặt của chúng, điều đó khẳng định chất lượng của bộ điều chỉnh dòng đã thiết kế. Các nhận xét cũng tương tự khi thí nghiệm ở tốc độ trên đồng bộ.

6. Kết luận

Kết quả thí nghiệm đã chứng tỏ với bộ điều chỉnh dòng thích nghi bền vững được thiết kế tổng hợp trên cơ sở kỹ thuật Backstepping, với việc đề cập tới các hiện tượng dao động phi tuyến khi lỗi lưới đã giải quyết tốt được các vấn đề đặt ra, đó là: Khi sập lưới, máy phát đã thực hiện được vấn đề bám lưới, cung cấp công suất vô công hỗ trợ lưới trụ vững qua giai đoạn sự cố, đồng thời bộ điều khiển đã làm việc tốt ở tốc độ trên và dưới đồng bộ 📖

TÓM TẮT

Với yêu cầu ngày càng cao về chất lượng điện năng, nên qui định các máy phát điện chạy sức gió kết nối với lưới điện, nhất là lưới điện kiểu “wind farm” phải có khả năng bám lưới khi có sự cố lỗi lưới, đồng thời phải cung cấp dòng công suất vô công lên lưới để hỗ trợ lưới về điện áp, tránh gây tan rã toàn hệ thống lưới điện. Với bộ điều khiển dòng thích nghi bền vững được thiết kế tổng hợp trên cơ sở kỹ thuật Backstepping đã giải quyết được các yêu cầu đặt ra ở trên khi sập lưới đến 50%. Kết quả đã được kiểm nghiệm trên hệ thống thí nghiệm thực ở Viện Kỹ thuật điện, đại học Dresden, Cộng hòa liên bang Đức.

SUMMARY

THE CONTROL OF DOUBLY-FED INDUCTION GENERATOR IN WIND POWER PLANT WITH THE BACKSTEPPING TECHNIQUE BASED ROBUST ADAPTIVE CURRENT CONTROLLER

With the increasing requirements of quality of electrical network, now Grid codes determine that wind turbine connected to the network, especially for wind farm, must have to be disconnect to the grid during three phase voltage dips, and must have to be able to support the voltage of the grid during and immediately following the grid fault by supplying reactive power to the network, that remains the stability of the network. The control of DFIM with Backstepping technique based robust adaptive current controller, has solved the above problem when the voltage sags to the 50%. The results have been verified on experiment system based on the dSpace Multi Processors ALPHA-COMBO system at Institute of Electrical Technique, TU Dresden, Germany.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Cao Xuân Tuyền; Nguyễn Phùng Quang (2005), Các thuật toán phi tuyến trên cơ sở kỹ thuật Backstepping điều khiển máy điện dị bộ nguồn kép trong hệ thống phát điện chạy sức gió. *The 6th Vietnam Conference on Automation (6th VICA), Proc.*, pp.545 – 550.

[2]. Cao Xuân Tuyền; Nguyễn Phùng Quang (2007), Vấn đề khử sai lệch tĩnh và các kết quả thực nghiệm về áp dụng các thuật toán phi tuyến trên cơ sở kỹ thuật Backstepping điều khiển máy điện dị bộ nguồn kép trong hệ thống phát điện chạy sức gió, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ các trường đại học kỹ thuật (số 59), Hà nội*.

[3]. Quang, Ng.Ph.(1998), Máy điện dị bộ nguồn kép dùng làm máy phát trong hệ thống phát điện chạy sức gió: Các thuật toán điều chỉnh bảo đảm phân ly giữa mômen và hệ số công suất. *The 3rd Vietnam Conference on Automation (3rd VICA), Proc.*, pp. 413 – 437.

[4]. Krstić, M.; Kanellakopoulos, I.; Kokotović, P.(1995), *Nonlinear and Adaptive Control Design*. John Wiley & Sons.

[5]. Kokotovic, P.; Arcak, M.(2000), *Constructive Nonlinear Control: A Historical Perspective*. Center for Control Engineering and Computation, Universty of California.