

ỨNG DỤNG HỆ MỜ ĐIỀU KHIỂN ĐIỆN ÁP TRONG LƯỚI NHIỀU NÚT

Quyền Huy Ánh, Trương Việt Anh, Lê Thị Hồng Nhung

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp Hồ Chí Minh

TÓM TẮT: Điều khiển điện áp trong hệ thống điện luôn là điều cần thiết để đảm bảo chất lượng điện năng và giảm tổn thất công suất. Bài viết trình bày cách xây dựng hệ mờ điều khiển điện áp trong lưới điện truyền tải với các thiết bị điều khiển đa dạng bằng các bộ điều khiển mờ Mamdani. Các bộ điều khiển mờ được liên kết và phối hợp hoạt động điều khiển để tạo thành một hệ điều khiển mờ thống nhất có khả năng tự động điều khiển điện áp tại các nút trong hệ thống điện bằng cách giữ điện áp nút nằm trong một khoảng giá trị mong muốn và thỏa mãn các điều kiện ràng buộc. Thông qua kết quả khảo sát trên lưới điện mẫu IEEE 30bus đã cho thấy tính hiệu quả của giải thuật mờ đề nghị so với kỹ thuật cây nhay thông thường.

Từ khóa: Hệ mờ, hiệu quả điều khiển điện áp, độ lệch vi phạm điện áp

1. GIỚI THIỆU

Trong quá trình vận hành hệ thống điện, việc mất ổn định điện áp như quá áp, sụt áp ... luôn gây ảnh hưởng không nhỏ đến chất lượng cung cấp điện, sự an toàn và tính kinh tế trong các điều kiện vận hành khác nhau của mạng phân phối. Điều khiển điện áp trong lưới điện có nhiều phương pháp [1÷7] mà trong đó kỹ thuật cây nhay khá phổ biến, được trình bày tại [1] và kỹ thuật hệ chuyên gia [3÷6].

Tuy nhiên, các phương pháp đều có những khó khăn khi bơm công suất phản kháng đối với các mục đích điều khiển chỉ hiệu quả trong vùng giới hạn, nghĩa là chỉ có các thanh cái và đường dây kề cận có tính nhạy đáng kể đối với các điều khiển này. Vì khi đó tổn thất công suất phản kháng lớn và số lượng các thanh cái được điều khiển điện áp hút/bơm công suất phản kháng dư, chính sự tuyến tính của quan hệ giữa điện áp và bộ điều khiển mà hệ số nhay là hệ số

góc đã ảnh hưởng đến tính chính xác của phương pháp. Khắc phục những điểm này, cần phải thay đổi hệ số nhay một cách linh hoạt khi điện áp nút đạt đến một giá trị nào đó, bài báo này phát triển một hệ mờ điều khiển điện áp và công suất phản kháng đã giải quyết được khó khăn này.

2. PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN

2.1. Khái niệm và biến ngôn ngữ

Khi tính đến hoạt động điều khiển, các hệ số sau phải được đưa vào:

- Sự nhận dạng các độ lệch vi phạm điện áp và “đánh giá độ lệch”, đây là đối tượng mà bộ điều khiển sẽ tiến hành loại trừ.

- “Hiệu quả” của hoạt động điều khiển, phụ thuộc vào chức năng của mỗi thiết bị (máy phát, tụ bù) và vị trí của nó trong mạng điện, ảnh hưởng của mỗi hoạt động sẽ khác nhau và các hoạt động hiệu quả hơn sẽ được ưu tiên.

Tất cả các hệ số này được gán với các biến ngôn ngữ:

- NB - Negative Big (âm nhiều)
- NS - Negative Small (âm ít)
- ZE - Zero (không)
- PS - Positive Small (dương ít)
- PB - Positive Big (dương nhiều)

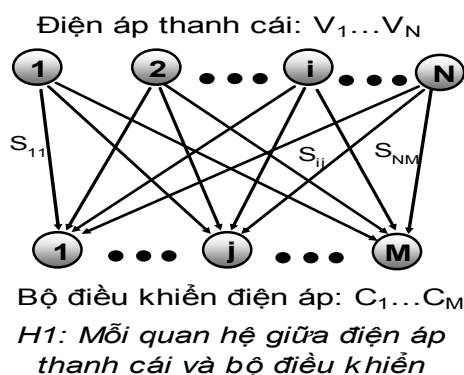
2.2. Hiệu quả điều khiển điện áp

Cách kinh điển để đánh giá ảnh hưởng của sự thay đổi trong một thiết bị điều khiển lên điện áp hệ thống là các hệ số độ nhạy S_{ij} [6]. Các biến độ nhạy được xác định trong khoảng $[0,1]$, do đó một tín hiệu liên quan với một biến ngôn ngữ “hiệu quả” trên một lĩnh vực phân chia mờ với phạm vi các giá trị là: NB, NS, ZE, PS, PB. Các hệ số nhạy cũng có thể phụ thuộc vào mức độ tải và do đó việc chọn một phương pháp nhanh gọn để đánh giá độ nhạy rất quan

trọng.

Để tìm thiết bị điều khiển hữu hiệu đối với các tình huống vận hành cho trước, có thể sử dụng phương pháp cây nhảy [1]. Kỹ thuật cây nhảy được dùng rộng rãi trong phân tích hệ thống tuyến tính. Kỹ thuật này thể hiện mối quan hệ chính yếu giữa các hoạt động điều khiển và các hiệu quả của chúng. Vì hệ thống năng lượng là một hệ thống phi tuyến nên hệ số nhạy giữa đại lượng điều khiển công suất phản kháng và các điện áp thanh cái có thể không là giá trị hằng số. Kỹ thuật cây nhảy có thể sử dụng hiệu quả để phân tích bài toán điều khiển điện áp/công suất phản kháng của hệ thống điện [1].

Đối với hệ thống điện có N thanh cái với M giá trị đo lường điều khiển, mối quan hệ giữa các điện áp thanh cái và các đại lượng đo lường điều khiển được trình bày trong Hình 1.



Hình 1: Mối quan hệ giữa điện áp thanh cái và bộ điều khiển

Có thể thấy việc thay đổi mỗi đại lượng đo lường điều khiển sẽ dẫn đến vài thay đổi điện áp thanh cái. Đối với điện áp thanh cái bất kỳ, điều này có thể tính toán bằng việc sử dụng kỹ thuật cây nhảy các thao tác điều khiển cần thiết để khử dao động điện áp này. Hai yếu tố giới

hạn hoạt động điều khiển là thao tác điều khiển không vượt quá các ràng buộc về điều khiển, và hoạt động điều khiển đã khử vi phạm điện áp sẽ không tạo ra các vi phạm điện áp tại các thanh cái khác.

2.3. Độ lệch vi phạm điện áp

Điều kiện để điều khiển điện áp thích hợp là $V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max}$, đối với tất cả các nút i hạn chế “vùng chết” nơi không có hoạt động điều khiển được yêu cầu. Ngoài dải này, độ lệch của vi phạm điện áp ΔV_i được xác định tương ứng với giá trị của nó

$$\Delta V_i = V_i - V_i^{\min} \quad (\text{nếu } V_i \leq V_i^{\min}) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{hoặc} \quad \Delta V_i &= V_i - V_i^{\max} \\ (\text{nếu } V_i &\geq V_i^{\max}) \end{aligned} \quad (2)$$

Do đó ΔV_i có thể âm hoặc dương.

Khoảng tin cậy $[a, b]$ được định nghĩa đối với các vi phạm cho phép và được sắp xếp trong khoảng $[-1, 1]$. Các giá trị của ΔV_i dưới a được sắp xếp đến -1 và các giá trị trên b được sắp xếp đến 1 . Do đó, phải tạo ra tín hiệu ΔV để có thể liên kết với biến ngôn ngữ “*độ lệch vi phạm điện áp*”, với các giá trị là: NB, NS, ZE, PS và PB.

3. TÁC ĐỘNG CỦA BỘ ĐIỀU KHIỂN

3.1. Thuật toán của bộ điều khiển

Bộ điều khiển mờ gồm có một khối điều khiển mờ đối với mỗi thiết bị điều khiển (tụ bù, máy phát,...). Mỗi khối điều khiển mờ tác động đến các vi phạm điện áp theo các tín hiệu tương ứng và đưa ra một tập hợp các thay đổi trạng thái thiết bị.

Khi phát hiện có vi phạm điện áp, bộ điều khiển mờ được khởi động và từ các tín hiệu độ lệch vi phạm điện áp và hiệu quả bộ điều khiển, trạng thái thiết bị mới được đề xuất. Lưu đồ

điều khiển điện áp sử dụng bộ điều khiển mờ được trình bày trong Hình 2.

3.2. Cấu trúc bên trong của bộ điều khiển mờ

Mỗi một nút có thiết bị điều chỉnh công suất kháng trong lưới điện được lắp một khối điều khiển mờ, các khối này tạo thành bộ điều khiển mờ. Đầu vào của bộ điều khiển mờ là giá trị điện áp của HTĐ và giá trị đầu ra là các tín hiệu điều khiển các bộ điều chỉnh công suất kháng có trong HTĐ, vì vậy các thiết bị điều khiển công suất kháng coi như được điều khiển cùng một thời điểm.

Khối điều khiển mờ được trình bày tại Hình 3, là một bộ điều khiển mờ Mamdani hai đầu vào và một đầu ra. Để đơn giản, chọn các tập hợp mờ có dạng hình tam giác, phương pháp giải mờ là phương pháp điểm trọng tâm. Trong việc thực hiện vận hành các tập mờ, sử dụng hàm T-norm đối với luật vận hành min (đối với phép giao) và sử dụng hàm S-norm đối với luật vận hành max (đối với phép hợp). Tuy có cấu trúc khá đơn giản như trình bày, nhưng kết quả khảo sát tại mục III đã cho thấy tính hiệu quả của phương pháp. Bộ điều khiển *Controller* gồm có hai tín hiệu đầu vào và có luật điều khiển chung là:

NẾU hiệu quả điều khiển điện áp (*Efficiency*) **VÀ** độ lệch vi phạm điện áp (*Violation*)

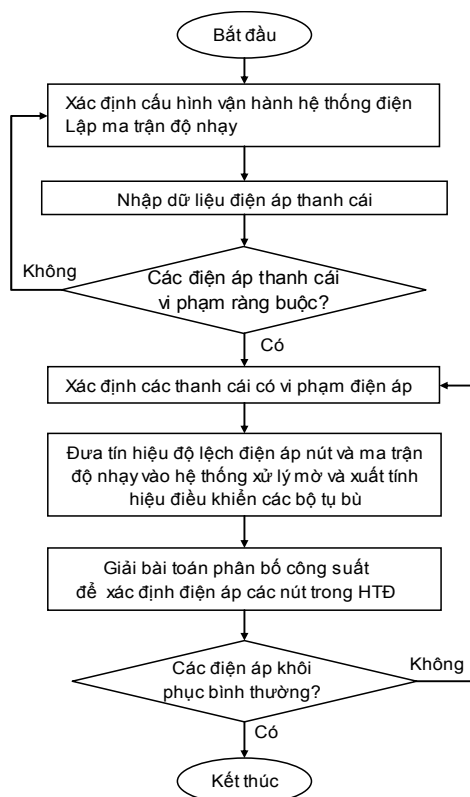
THÌ tín hiệu điều khiển (*Control signal*)

Biến ngôn ngữ *Violation* của các nút trong HTĐ và *Efficiency* được mã hoá thành 5 giá trị NB, NS, ZE, PS, PB có hàm liên thuộc dạng tam giác cân đồng đều như mô tả tại Hình 5 và

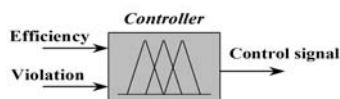
Hình 6. Trong khi đó, biến ngôn ngữ *Control signal* tuy hàm liên thuộc vẫn là những tam giác nhưng phức tạp hơn, được biểu diễn bằng 5 giá trị như Hình 7. Bảng 1 trình bày 25 luật mờ hợp thành được cài đặt sẵn trong các khối điều khiển mờ.

Giá trị điện áp sau khi được quy đổi về độ lệch điện áp ΔV_i theo các biểu thức (1) và (2)

sẽ được mờ hoá để có giá trị của biến *Violation* của các nút trong HTĐ. Giá trị biến ngôn ngữ *Efficiency* được xác định từ việc mờ hoá các vector cột trong ma trận độ nhảy (bảng 2), với tên cột là tên nút có thiết bị bù. Sau khi thực hiện các phép suy diễn tại (3), *Control signal* được giải mờ và tác động trực tiếp đến bộ điều khiển công suất kháng.



H2: Lưu đồ điều khiển điện áp sử dụng bộ điều khiển mờ



Hình 3. Khối điều khiển mờ đối với một thiết bị điều khiển.

Bảng 1. Bảng luật cho bộ điều khiển

Efficiency Violation	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	ZE	NS	NS	NB	NB
NS	ZE	NS	NS	NS	NB
ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
PS	ZE	PS	PS	PS	PB
PB	ZE	PS	PS	PB	PB

Thiết kế này giúp duy trì các biến điều khiển luôn nằm trong phạm vi của chúng, điều này có nghĩa là hệ thống điều khiển hướng đến việc giữ biên độ điều khiển sẵn có trong mỗi biến, việc này rất quan trọng và hữu ích theo quan điểm vận hành.

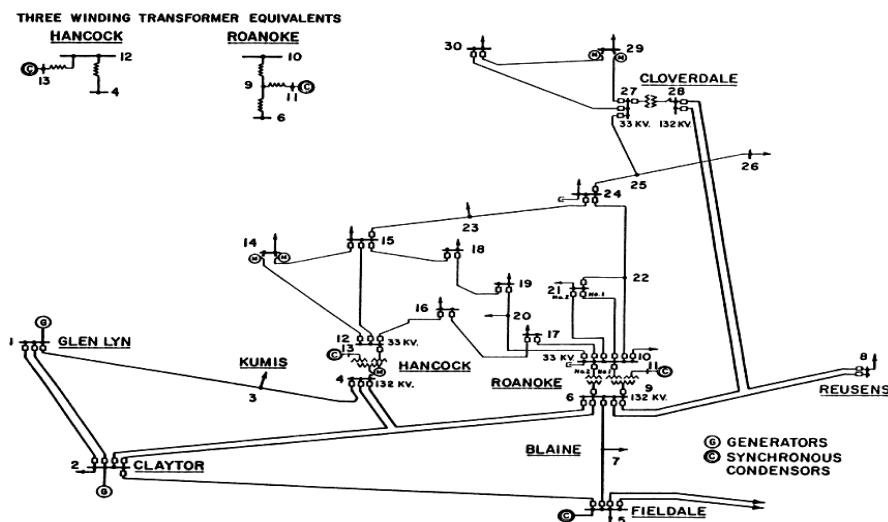
4.THỬ NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

Hệ mờ điều khiển điện áp được ứng dụng vào HTĐ IEEE 30bus như Hình 4. Trong HTĐ có 9 thiết bị điều khiển công suất kháng tại các nút 2, 5, 8, 11, 13, 17, 18, 23, 27 nên cần phải đặt 9 khối điều khiển tại các vị trí này. Ma trận độ nhạy của thiết bị bù công suất kháng lên điện áp các nút cho tại Bảng 2. Mục tiêu là điều

khiển điện áp tại tất cả các bus luôn nằm trong giới hạn cho phép.

Bảng 2. Ma trận độ nhạy lưới IEEE 30bus

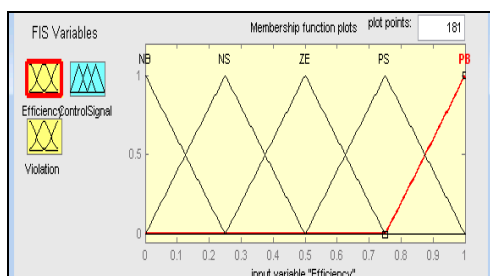
	Q2	Q5	Q8	Q11	Q13	Q17	Q18	Q23	Q27
V1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
V3	0.07	0.06	0.09	0.68	0.06	0.52	0.26	0.08	0.075
V4	0.08	0.06	0.11	0.08	0.07	0.06	0.09	0.1	0.09
V5	0	1	0	0	0	0	0	0	0
V6	0.07	0.08	0.14	0.1	0.08	0.08	0.1	0.11	0.109
V7	0.06	0.11	0.12	0.09	0.08	0.08	0.09	0.1	0.098
V8	0	0	1	0	0	0	0	0	0
V9	0.09	0.08	0.14	0.23	0.12	0.15	0.17	0.17	0.138
V10	0.13	0.08	0.14	0.19	0.13	0.18	0.2	0.21	0.155
V11	0	0	0	1	0	0	0	0	0
V12	0.13	0.08	0.13	0.13	0.21	0.12	0.21	0.22	0.135
V13	0	0	0	0	1	0	0	0	0
V14	0.17	0.11	0.14	0.14	0.19	0.11	0.24	0.25	0.146
V15	0.15	0.08	0.14	0.15	0.19	0.13	0.26	0.28	0.154
V16	0.16	0.09	0.14	0.15	0.17	0.16	0.21	0.21	0.144
V17	0.16	0.09	0.14	0.17	0.13	0.22	0.21	0.21	0.152
V18	0.14	0.09	0.14	0.16	0.17	0.15	0.39	0.26	0.159
V19	0.14	0.09	0.14	0.17	0.16	0.16	0.34	0.24	0.16
V20	0.14	0.09	0.14	0.18	0.15	0.16	0.3	0.23	0.15885
V21	0.14	0.09	0.14	0.18	0.13	0.16	0.21	0.22	0.169
V22	0.14	0.09	0.14	0.18	0.13	0.16	0.21	0.23	0.173
V23	0.13	0.08	0.14	0.16	0.18	0.15	0.24	0.4	0.186
V24	0.13	0.09	0.15	0.17	0.15	0.16	0.21	0.29	0.227
V25	0.09	0.08	0.14	0.15	0.13	0.14	0.17	0.22	0.356
V26	0.09	0.08	0.15	0.15	0.14	0.15	0.18	0.23	0.367
V27	0.06	0.08	0.14	0.13	0.12	0.13	0.15	0.18	0.429
V28	0.08	0.08	0.15	0.11	0.09	0.09	0.11	0.12	0.142
V29	0.07	0.08	0.14	0.13	0.12	0.13	0.15	0.18	0.432
V30	0.07	0.08	0.14	0.13	0.12	0.13	0.15	0.18	0.434



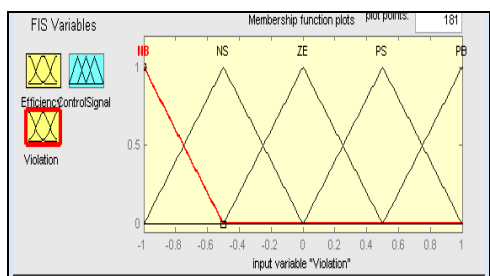
Hình 4. Hệ thống điện thử nghiệm IEEE30bus

4.1. Xây dựng mô hình

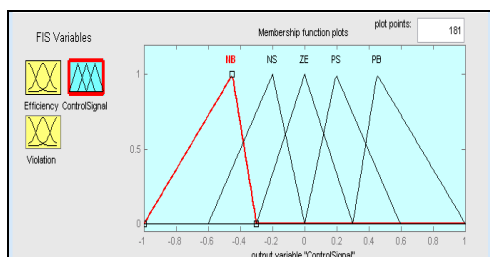
Theo yêu cầu của mô hình, thiết kế bộ điều khiển mờ có hai ngõ vào và một ngõ ra. Các biến ngõ vào là *Efficiency* và *Violation*, biến ngõ ra là *ControlSignal* trình bày lần lượt tại Hình 5, Hình 6 và Hình 7. Tạo lập các hàm liên thuộc là hình tam giác (*trimf*) cho các biến vào và biến ra. Hình 8 mô tả 25 luật hợp thành trong khối điều khiển mờ, chọn phương pháp giải mờ là phương pháp điểm trọng tâm (*centroid*).



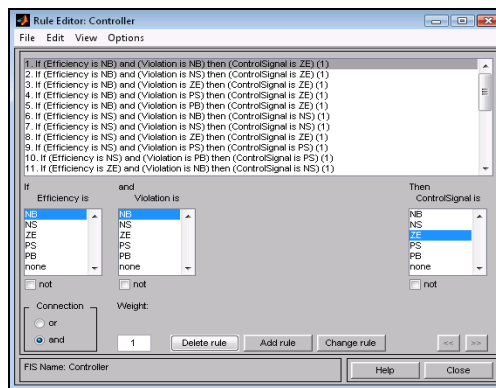
Hình 5. Tập mờ Efficiency



Hình 6. Tập mờ Violation



Hình 7. ControlSignal



Hình 8. 25 luật trong khối điều khiển mờ

4.2. Kết quả mô phỏng

Điện áp trước và sau điều khiển của HTĐ IEEE 30 bus được trình bày tại Bảng 3. Kết quả điều khiển điện áp được so sánh với phương pháp điều khiển trong phần mềm PSS/E.

4.3. Nhận xét

Bộ điều khiển mờ tỏ ra có hiệu quả hơn phương pháp điều khiển điện áp của PSS/E trên HTĐ IEEE 30bus trong các trường hợp khảo sát. Độ lệch điện áp các nút so với giá trị 1.00pU sau điều khiển bằng hệ mờ tương đối đồng đều hơn so với điều khiển điện áp bằng phần mềm PSS/E. Tổng bình phương sai số của điện áp 30 nút so với điện áp chuẩn 1.0pU của 3 trường hợp khảo sát cho thấy phương pháp đề nghị có nhiều nút gần giá trị điện áp định mức hơn phương pháp của PSS/E.

Đặc biệt tại nút 11 trường hợp 1 và nút 11, nút 12, nút 13 trường hợp 2 PSS/E đã không đưa được điện áp vào trong phạm vi cho phép: $V_i \in [0.95, 1.05] \text{pU}$.

Bảng 3. Kết quả điện áp trước và sau điều khiển của HTĐ IEEE 30 bus

TC số	U giới hạn (p.u)		U trường hợp 1			U trường hợp 2			U trường hợp 3		
	Trên	Dưới	Trước Đkhiển	ĐK bằng hệ mờ	PSS/E	Trước Đkhiển	ĐK bằng hệ mờ	PSS/E	Trước Đkhiển	ĐK bằng hệ mờ	PSS/E
1	1.1	0.9	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060
2	1.05	0.95	1.045	1.035	1.045	1.045	1.035	1.045	1.045	1.035	1.045
3	1.05	0.95	1.022	1.016	1.027	1.036	1.016	1.034	1.021	1.014	1.025
4	1.05	0.95	1.013	1.006	1.020	1.030	1.006	1.028	1.012	1.004	1.018
5	1.05	0.95	1.010	1.000	1.010	1.010	1.000	1.010	1.010	1.000	1.010
6	1.05	0.95	1.007	1.006	1.012	1.022	1.006	1.020	1.006	1.005	1.014
7	1.05	0.95	0.989	0.996	0.992	1.009	0.996	1.008	0.988	0.995	0.993
8	1.05	0.95	1.010	1.010	1.017	1.010	1.010	1.015	1.010	1.010	1.014
9	1.05	0.95	1.008	1.033	1.028	1.041	1.031	1.038	1.004	1.030	1.008
10	1.05	0.95	0.989	1.028	1.007	1.032	1.027	1.026	0.975	1.023	0.984
11	1.05	0.95	1.052	1.047	1.064	1.082	1.044	1.082	1.050	1.050	1.052
12	1.05	0.95	1.007	1.04	1.020	1.059	1.038	1.051	0.989	1.025	0.999
13	1.05	0.95	1.047	1.047	1.051	1.095	1.045	1.089	1.020	1.020	1.030
14	1.05	0.95	0.988	1.025	1.011	1.046	1.024	1.038	0.966	1.011	0.98
15	1.05	0.95	0.986	1.020	1.005	1.040	1.019	1.034	0.961	1.008	0.974
16	1.05	0.95	0.995	1.027	1.016	1.044	1.026	1.036	0.978	1.016	0.988
17	1.05	0.95	0.982	1.022	1.010	1.034	1.021	1.026	0.974	1.015	0.983
18	1.05	0.95	0.976	1.011	0.994	1.031	1.009	1.026	0.955	1.001	0.966
19	1.05	0.95	0.968	1.008	0.985	1.024	1.007	1.018	0.949	0.999	0.960
20	1.05	0.95	0.974	1.012	0.987	1.026	1.011	1.02	0.955	1.004	0.966
21	1.05	0.95	0.972	1.016	0.991	1.019	1.015	1.014	0.955	1.010	0.965
22	1.05	0.95	0.972	1.016	0.991	1.019	1.015	1.015	0.957	1.011	0.967
23	1.05	0.95	0.972	1.011	0.989	1.022	1.009	1.02	0.933	1.000	0.951
24	1.05	0.95	0.952	1.006	0.968	1.004	1.005	1.001	0.943	0.999	0.956
25	1.05	0.95	0.970	1.007	0.979	1.009	1.007	1.008	0.97	1.002	0.982
26	1.05	0.95	0.942	0.989	0.949	0.995	0.989	0.994	0.955	0.985	0.967
27	1.05	0.95	0.995	1.017	0.999	1.019	1.016	1.019	0.994	1.013	1.001
28	1.05	0.95	1.004	1.006	1.008	1.019	1.006	1.017	1.004	1.005	1.014
29	1.05	0.95	0.990	0.997	0.984	1.014	0.996	1.013	0.988	0.993	0.999
30	1.05	0.95	0.986	0.985	0.982	1.007	0.984	1.007	0.982	0.981	0.993
Tổng sai số			0.024	0.017	0.021	0.041	0.015	0.035	0.035	0.012	0.024

5.KẾT LUẬN

Bài báo này mô tả việc xây dựng một bộ điều khiển mờ điều khiển điện áp trong HTĐ dựa trên sự liên kết các khối mờ loại Mamdani trong môi trường MATLAB. Bằng các luật mờ điều khiển điện áp khá đơn giản nhưng vẫn cho kết quả khá tốt khi áp dụng vào HTĐ mẫu

IEEE 30bus, thể hiện được tính hiệu quả của điều khiển mờ trong việc loại trừ vi phạm điện áp với thời gian ngắn. Trong tương lai hệ mờ có khả năng kết hợp trong các mô hình lai đối với tối ưu dòng công suất phản kháng.

APPLICATION OF FUZZY SYSTEM TO CONTROL VOLTAGE IN MULTI NODES POWER SYSTEM

Quyen Huy Anh, Truong Viet Anh, Le Thi Hong Nhung

HoChiMinh University of Technical Education

ABSTRACT: Control voltage in power system is always necessary to guarantee power quality and reduce power loss of productivity. This paper presents the construction of voltage control fuzzy system in transmission network with variety control devices, used fuzzy Mamdani controllers. Fuzzy controllers associated and combined control actives to create an unified fuzzy control systems capable of automatically controlling the voltage at the nodes in power system by retaining nodes voltage in a while desired values with the satisfying restrictive conditions. Through the investigative results on 30bus IEEE standard network demonstrated the effectiveness of the proposed fuzzy algorithm compared with conventional techniques sensitive tree.

Key words: Fuzzy system, Efficiency of voltage controlling, Violation of voltage

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Quyen Huy Anh, Truong Viet Anh, Nguyễn Nhân Bôn; *Hệ chuyên gia điều khiển điện áp và công suất kháng trong hệ thống điện*; Tạp chí Khoa học và công nghệ, số 30 + 31, Hà Nội (2001).
- [2]. Jizhong Zhu, Optimization of power system operation, IEEE Press, pp. 5-7, (2009).
- [3]. P.YA. Ekel, L.D.B. Terra, M.F.D. Junges, F.J.A. De Oliveira, R. Kowalschuk, T.YU. Taguti; *Fuzzy Logic In Voltage And Reactive Power Control In Power Systems*; IEEE Transaction on power system, (1999).
- [4]. Vladimiro Miranda, Patricia Calisto; *A Fuzzy Inference System To Voltage/VAR Control In DMS*; Distribution Management System, June (2002).
- [5]. Vladimiro Miranda, André Moreira, Jorge Pereira; *An Improved Fuzzy Inference System For Voltage/VAR Control*; IEEE Transaction on power system, Vol.22, No.4, November (2007).
- [6]. P.YA. Ekel, L.D.B. Terra, M.F.D. Junges, F.J.A. De Oliveira, R. Kowalschuk, L. Mikami, J.R.P. Da Silva, T.YU. Taguti; *An approach to constructing sensitivity indices and fuzzy control of system voltage and reactive power*; Proc. Of the 1999 IEEEWPES Transmission and Distribution Conference. New Orleans, vol. 2, pp. 759, 764, (1999).
- [7]. Mark Ndubuka NWOHU, *Voltage Stability Improvement using Static Var Compensator in Power Systems*, Leonardo Journal of Sciences ISSN 1583-0233, Issue 14, January-June 2009, p. 167-172