(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)**
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11) **1-0048560**

(51)[2021.01] **H02J 3/32**; H02M 7/48; H02J 3/38 (13) **B**

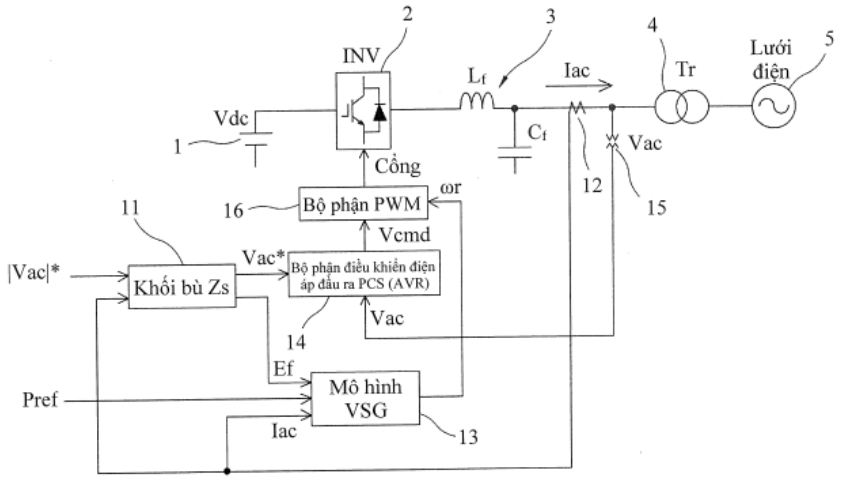
(21) 1-2022-06325 (22) 06/08/2020
(86) PCT/JP2020/030142 06/08/2020 (87) WO 2021/176746 10/09/2021
(30) 2020-037346 05/03/2020 JP; 2020-037344 05/03/2020 JP
(45) 25/07/2025 448 (43) 26/12/2022 417A
(73) 1. TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY HOLDINGS, INCORPORATED (JP)
1-3, Uchisaiwai-cho 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1008560 Japan
2. MEIDENSHA CORPORATION (JP)
1-1, Osaki 2-chome, Shinagawa-ku, Tokyo 1416029 Japan
(72) SUZUKI, Kenichi (JP); MAEDA, Naoto (JP); TAKAMI, Jun (JP); SAMEJIMA, Ryota (JP); NODA, Hideki (JP); ISOO, Jun (JP); SHOJI, Kazu (JP).
(74) Công ty TNHH một thành viên Sở hữu trí tuệ VCCI (VCCI-IP CO.,LTD)

(54) HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THIẾT BỊ CHUYỂN ĐỔI ĐIỆN

(21) 1-2022-06325

(57) Sáng chế đề cập đến hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện (Power Conversion System, viết tắt là PCS) có khả năng phản hồi nhanh việc điều khiển biên độ điện áp đầu ra ngay cả tại thời điểm dao động tải trong khi tái tạo điện đồng bộ bởi trở kháng đồng bộ ảo. Trong hệ thống chuyển đổi điện bao gồm bộ chuyển đổi điện (2) mà điều khiển máy phát đồng bộ ảo mô phỏng máy phát đồng bộ và được kết nối với lưới điện (5), hệ thống điều khiển bao gồm khối bù trở kháng đồng bộ ảo (11) thu vào trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac của bộ chuyển đổi điện (2) và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|*, mô phỏng sự sụt giảm điện áp do trở kháng đồng bộ ảo, và tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef theo sự sụt giảm điện áp được mô phỏng; mô hình máy phát đồng bộ ảo (13) xác định tần số góc ωr mô phỏng máy phát đồng bộ; và bộ phận điều khiển điện áp đầu ra PCS (14) thực hiện việc điều khiển sao cho điện áp đầu ra Vac của hệ thống chuyển đổi điện trùng với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính bởi khối bù trở kháng đồng bộ ảo.

Fig.2



Cấu hình chung

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến hệ thống điều khiển thiết bị chuyển đổi điện (hệ thống chuyển đổi điện), và phương pháp mô phỏng sự sụt giảm điện áp được tạo ra bởi mô hình trở kháng đồng bộ ảo theo dòng điện đầu ra và điều khiển biên độ điện áp đầu ra trong bộ chuyển đổi điện kiểu điều khiển điện áp mà điều khiển máy phát đồng bộ ảo mô phỏng máy phát đồng bộ.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Fig.1 thể hiện, ở phía trên của nó, cấu hình của hệ thống chuyển đổi điện (Power Conversion System, viết tắt là PCS) trong đó bộ chuyển đổi điện mà chuyển đổi điện DC của nguồn điện DC chẳng hạn như bộ ắc quy thành điện AC được bố trí và đầu ra của bộ chuyển đổi điện được kết nối với hệ thống điện (lưới điện) thông qua bộ lọc LC. Fig.1 cũng thể hiện, ở phía dưới của nó, cấu hình của mô hình trở kháng đồng bộ ảo.

Với hệ thống phát điện đồng bộ ảo thông thường bởi bộ ắc quy, ví dụ như hệ thống phát điện đồng bộ ảo được bộc lộ trong tài liệu sáng chế 1 đã được đề xuất.

Danh mục tài liệu trích dẫn

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: Công bố đơn sáng chế Nhật Bản số 2019-080476

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Trên Fig.1, trong bộ chuyển đổi điện kiểu điều khiển điện áp mà điều khiển máy phát đồng bộ ảo mô phỏng máy phát đồng bộ, bằng cách điều khiển điện áp điện áp Vac của tụ điện dung lọc C với trị số thu được bằng cách trừ sự sụt giảm điện áp đầu ra Vz gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs từ điện áp cảm ứng bên trong Ef của hệ thống chuyển đổi điện mà là trị số lệnh điện áp Vac*, điện đồng bộ bởi trở kháng đồng bộ ảo được tái tạo.

Mặt khác, biên độ điện áp |Vac| cần phải trùng với trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|*. Vì lượng sụt giảm điện áp bởi trở kháng đồng bộ ảo được xác định là duy nhất (chỉ có một) bởi dòng điện tải, việc điều khiển mà làm cho biên độ điện áp |Vac| trùng với trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* theo lượng sụt giảm điện áp là cần thiết, và hệ thống điều khiển mà có thể phản hồi nhanh ngay cả tại thời điểm dao động tải là điều mong muốn.

Sáng chế được tạo ra nhằm giải quyết vấn đề nêu trên, và mục đích của sáng chế là đề xuất hệ thống điều khiển thiết bị chuyển đổi điện (hệ thống chuyển đổi điện) mà có khả năng phản hồi nhanh việc điều khiển biên độ điện áp đầu ra ngay cả tại thời điểm dao động tải trong khi tái tạo điện đồng bộ bởi trở kháng đồng bộ ảo.

Để giải quyết vấn đề nêu trên, hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 1, trong đó hệ thống chuyển đổi điện bao gồm bộ chuyển đổi điện mà điều khiển máy phát đồng bộ ảo mô phỏng máy phát đồng bộ và chuyển đổi điện DC của nguồn điện DC thành điện AC, trong đó đầu ra của bộ chuyển đổi điện được kết nối với lưới điện thông qua bộ lọc LC, hệ thống điều khiển bao gồm: khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình để thu vào trị số phát hiện dòng điện đầu ra thu được bằng cách phát hiện dòng điện đầu ra của bộ chuyển đổi điện và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt (|Vac|*), mô phỏng sự sụt giảm điện áp được tạo ra bởi luồng của dòng điện đầu ra của bộ chuyển đổi điện tới trở kháng đồng bộ ảo, và tính trị số lệnh điện áp đầu ra và điện áp cảm ứng bên trong của máy phát đồng bộ ảo theo sự sụt giảm điện áp được mô phỏng; mô hình máy phát đồng bộ ảo được tạo cấu hình để xác định tần số góc mô phỏng máy phát đồng bộ; và bộ phận điều khiển điện áp đầu ra được tạo cấu hình để thực hiện việc điều khiển dựa vào tần số góc được xác định bởi mô hình máy phát đồng bộ ảo sao cho điện áp đầu ra của hệ thống chuyển đổi điện trùng với trị số lệnh điện áp đầu ra được tính bởi khối bù trở kháng đồng bộ ảo.

Với hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 2, trong hệ thống điều khiển theo điểm 1, khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình

để, từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|*, tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và ngoài ra điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d, với điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt làm pha quy chiếu.

Với hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 3, trong hệ thống điều khiển theo điểm 1, khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình để, từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|*, tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và ngoài ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* tồn tại trên trục d, với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được thiết đặt làm pha quy chiếu.

Với hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 4, trong hệ thống điều khiển theo điểm 1, khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình để, với điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt làm pha quy chiếu, tính sự chênh lệch pha δ từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs và điện áp cảm ứng bên trong được tính trong chu trình điều khiển trước đó, tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|* với sự chênh lệch pha δ, và tính điện áp cảm ứng bên trong Ef từ trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính, trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac và trở kháng đồng bộ ảo Zs.

Với hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 5, trong hệ thống điều khiển theo điểm 1, khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình để, với điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt làm pha quy chiếu, tính sự chênh lệch pha δ từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|*, tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số lệnh

biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|* với sự chênh lệch pha δ, và tính điện áp cảm ứng bên trong Ef từ trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính, trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac và trở kháng đồng bộ ảo Zs.

Với hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 6, trong hệ thống điều khiển theo điểm 2, khối bù trở kháng đồng bộ ảo bao gồm

bộ phận tính Vz được tạo cấu hình để tính các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q;

Biểu thức 1

$$\dot{V_Z} = \begin{bmatrix} V_Z_d \\ V_Z_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac}_d \\ I_{ac}_q \end{bmatrix} \qquad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

bộ phận tính $\sin^{-1}$ được tạo cấu hình để tính pha điện áp đầu ra δ bằng cách tính biểu thức (2) sau dựa vào sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz và trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|*;

Biểu thức 2

$$\delta = sin^{-1}\left(\frac{V_Z_q}{|V_{ac}|^*}\right) \qquad \cdots (2)$$

bộ phận tính cos được tạo cấu hình để tính cos δ mà là thành phần cos của pha điện áp đầu ra δ;

bộ nhân được tạo cấu hình để, bằng cách nhân trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* với kết quả của bộ phận tính cos, thu được trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và ngoài ra điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d; và

bộ cộng được tạo cấu hình để, bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* thu được nhờ bộ nhân, thu được điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và ngoài ra điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d.

Với hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 7, trong hệ thống điều khiển theo điểm 3, khối bù trở kháng đồng bộ ảo bao gồm

bộ phận tính Vz được tạo cấu hình để tính các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q; và

Biểu thức 1

$$\dot{V_Z} = \begin{bmatrix} V_{Z_d} \\ V_{Z_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \qquad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

bộ cộng được tạo cấu hình để, bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz với trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|*, thu được điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và ngoài ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* tồn tại trên trục d.

Với hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 8, trong hệ thống điều khiển theo điểm 4, khối bù trở kháng đồng bộ ảo bao gồm

bộ phận tính Vz được tạo cấu hình để tính các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục

q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q;

Biểu thức 1

$$\dot{V}_Z = \begin{bmatrix} V_{Z_d} \\ V_{Z_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \qquad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

bộ đệm được tạo cấu hình để lưu trữ tạm thời điện áp cảm ứng bên trong Ef được tính trong mỗi chu trình điều khiển;

bộ phận tính $\tan^{-1}$ được tạo cấu hình để thu được sự chênh lệch pha δ bằng cách tính biểu thức (7) sau dựa vào điện áp cảm ứng bên trong Ef_d (Z^{-1}) được tính trong chu trình điều khiển trước đó và được lưu trữ trong bộ đệm 31 và các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz;

Biểu thức 7

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{-V_{Z_q}}{E_f(z^{-1}) - V_{Z_d}}\right) \qquad \cdots (7)$$

bộ phận tính toán ma trận quay 35 được tạo cấu hình để tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* với sự chênh lệch pha δ thu được nhờ bộ phận tính $\tan^{-1}$ theo biểu thức (8) sau; và

Biểu thức 8

$$\dot{V}_{ac}^{*} = \begin{bmatrix} V_{ac}^{*}{}_{_d} \\ V_{ac}^{*}{}_{_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta & -\sin\delta \\ \sin\delta & \cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} |V_{ac}|^{*} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |V_{ac}|^{*}\cos\delta \\ |V_{ac}|^{*}\sin\delta \end{bmatrix} \qquad \cdots (8)$$

bộ cộng được tạo cấu hình để tính điện áp cảm ứng bên trong Ef bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính bởi bộ phận tính toán ma trận quay.

Với hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 9, trong hệ thống điều khiển theo điểm 5, khối bù trở kháng đồng bộ ảo bao gồm

bộ phận tính Vz được tạo cấu hình để tính các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q;

Biểu thức 1

$$\dot{V_Z} = \begin{bmatrix} V_Z_d \\ V_Z_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac}_d \\ I_{ac}_q \end{bmatrix} \qquad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

bộ phận tính $\tan^{-1}$ được tạo cấu hình để thu được sự chênh lệch pha δ bằng cách tính biểu thức (10) sau dựa vào trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* và các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz;

Biểu thức 10

$$\delta = tan^{-1}\left(\frac{-V_Z_q}{|V_{ac}|^* - V_Z_d}\right) \qquad \cdots (10)$$

bộ phận tính toán ma trận quay được tạo cấu hình để tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* với sự chênh lệch pha δ thu được nhờ bộ phận tính $\tan^{-1}$; và

bộ cộng được tạo cấu hình để tính điện áp cảm ứng bên trong Ef bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính bởi bộ phận tính toán ma trận quay.

Hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 10, trong đó hệ thống chuyển đổi điện bao gồm bộ chuyển đổi điện mà điều khiển máy phát đồng bộ ảo mô phỏng máy phát đồng bộ và chuyển đổi điện DC của nguồn điện DC thành điện AC, trong đó đầu ra của bộ chuyển đổi điện được kết nối với lưới điện thông qua bộ lọc LC và máy biến áp kết nối, hệ thống điều khiển bao gồm:

khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình để thu vào trị số phát hiện dòng điện đầu ra thu được bằng cách phát hiện dòng điện đầu ra của bộ chuyển đổi điện và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |V|*, mô phỏng các sự sụt giảm điện áp được tạo ra bởi luồng của dòng điện đầu ra của bộ chuyển đổi điện tới trở kháng đồng bộ ảo và máy biến áp, và tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của máy phát đồng bộ ảo theo các sự sụt giảm điện áp được mô phỏng; mô hình máy phát đồng bộ ảo được tạo cấu hình để xác định tần số góc mô phỏng máy phát đồng bộ; và bộ phận điều khiển điện áp đầu ra được tạo cấu hình để thực hiện việc điều khiển sao cho điện áp đầu ra Vac của hệ thống chuyển đổi điện trùng với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính bởi khối bù trở kháng đồng bộ ảo, trong đó khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình để, từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs, trở kháng Ztr của máy biến áp và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |V|*, tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp điểm kết nối Vsys của lưới điện là |V|* và ngoài ra điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d, với điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt làm pha quy chiếu.

Với hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 11, trong hệ thống điều khiển theo điểm 10, khối bù trở kháng đồng bộ ảo bao gồm

bộ phận tính Vz được tạo cấu hình để tính các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac với pha bên trong mà được xác định từ tần số góc được xác định bởi mô hình máy phát đồng bộ ảo;

Biểu thức 1

$$\dot{V_Z} = \begin{bmatrix} V_Z_d \\ V_Z_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac}_d \\ I_{ac}_q \end{bmatrix} \qquad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

bộ phận tính Vtr được tạo cấu hình để tính sự sụt giảm điện áp Vtr gây ra bởi máy biến áp bằng cách tính biểu thức 11 sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q và trở kháng Ztr của máy biến áp;

Biểu thức 11

$$\dot{V_{tr}} = \begin{bmatrix} V_{tr_d} \\ V_{tr_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Rtr & -Xtr \\ Xtr & Rtr \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \quad \cdots (11)$$

(Ở đây, Rtr là thành phần điện trở của Ztr, và Xtr là thành phần điện kháng của Ztr)

bộ phận tính $\sin^{-1}$ được tạo cấu hình để tính pha điện áp lưới δ bằng cách tính biểu thức (12) sau dựa vào sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz và trị số lệnh biên độ điện áp |V|*;

Biểu thức 12

$$\delta = \sin^{-1}\left(\frac{V_{z_q}}{|V|^*}\right) \quad \ldots (12)$$

bộ phận tính cos được tạo cấu hình để tính cos δ mà là thành phần cos của pha điện áp lưới δ;

bộ nhân được tạo cấu hình để nhân trị số lệnh biên độ điện áp |V|* với kết quả của bộ phận tính cos;

bộ cộng được tạo cấu hình để, bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz với kết quả phép nhân của bộ nhân, đưa ra điện áp cảm ứng bên trong Ef_d của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp điểm kết nối Vsys của lưới điện là |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d và ngoài ra việc bù cũng được thực hiện để triệt tiêu sự sụt giảm điện áp Vtr do máy biến áp 4;

bộ trừ thứ nhất được tạo cấu hình để trừ sự sụt giảm điện áp Vtr_d được tính bởi bộ phận tính Vtr từ sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz;

bộ trừ thứ hai được tạo cấu hình để, bằng cách trừ kết quả phép trừ của bộ trừ thứ nhất từ điện áp cảm ứng bên trong Ef_d được tính bởi bộ cộng, đưa ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp điểm kết nối Vsys của lưới điện là |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d và ngoài ra việc bù cũng được thực hiện để triệt tiêu sự sụt giảm điện áp Vtr do máy biến áp;

bộ trừ thứ ba được tạo cấu hình để trừ sự sụt giảm điện áp Vtr_q được tính bởi bộ phận tính Vtr từ sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz; và

bộ đảo cực tính được tạo cấu hình để đảo cực của kết quả độ lệch của bộ trừ thứ ba và đưa ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_q*, và

việc điều khiển của bộ phận điều khiển điện áp đầu ra được thực hiện trên hệ tọa độ d-q thu được bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay với pha bên trong mà được xác định từ tần số góc được xác định bởi mô hình máy phát đồng bộ ảo.

Với hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 12, trong hệ thống điều khiển theo điểm 10, khối bù trở kháng đồng bộ ảo bao gồm

bộ phận tính Vz được tạo cấu hình để tính các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac với pha bên trong mà được xác định từ tần số góc được xác định bởi mô hình máy phát đồng bộ ảo;

Biểu thức 1

$$\dot{V_Z} = \begin{bmatrix} V_{Z_d} \\ V_{Z_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

bộ phận tính Vtr được tạo cấu hình để tính sự sụt giảm điện áp Vtr gây ra bởi máy biến áp bằng cách tính biểu thức 11 sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q và trở kháng Ztr của máy biến áp;

Biểu thức 11

$$\dot{V_{tr}} = \begin{bmatrix} V_{tr_d} \\ V_{tr_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Rtr & -Xtr \\ Xtr & Rtr \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \quad \cdots (11)$$

(Ở đây, Rtr là thành phần điện trở của Ztr, và Xtr là thành phần điện kháng của Ztr)

bộ cộng thứ nhất được tạo cấu hình để cộng sự sụt giảm điện áp Vtr_d được tính bởi bộ phận tính Vtr với sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz;

bộ cộng thứ hai được tạo cấu hình để cộng sự sụt giảm điện áp Vtr_q được tính bởi bộ phận tính Vtr với sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz;

bộ phận tính $\sin^{-1}$ được tạo cấu hình để tính pha điện áp lưới δ bằng cách tính biểu thức (16) sau dựa vào kết quả phép cộng của bộ cộng thứ hai và trị số lệnh biên độ điện áp |V|*;

Biểu thức 16

$$\delta = \sin^{-1}\left(\frac{V_{Z_q} + V_{tr_q}}{|V|^*}\right) \quad \ldots (16)$$

bộ phận tính cos được tạo cấu hình để tính cos δ mà là thành phần cos của pha điện áp lưới δ;

bộ nhân được tạo cấu hình để nhân trị số lệnh biên độ điện áp |V|* với kết quả của bộ phận tính cos;

bộ cộng thứ ba được tạo cấu hình để, bằng cách cộng kết quả phép cộng của bộ cộng thứ nhất với kết quả phép nhân của bộ nhân, đưa ra điện áp cảm ứng bên trong Ef_d của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp điểm kết nối Vsys của lưới điện là |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d và ngoài ra sự giảm biên độ giữa sự sụt giảm điện áp do máy biến áp được bù;

bộ trừ được tạo cấu hình để, bằng cách trừ sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz từ điện áp cảm ứng bên trong Ef_d được tính bởi bộ cộng thứ ba, đưa ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp điểm kết nối Vsys của lưới điện là |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d và ngoài ra sự giảm biên độ giữa sự sụt giảm điện áp do máy biến áp được bù; và

bộ đảo cực tính được tạo cấu hình để đảo cực của sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz và đưa ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_q*, và

việc điều khiển của bộ phận điều khiển điện áp đầu ra được thực hiện trên hệ tọa độ d-q thu được bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay với pha bên trong mà được xác định từ tần số góc được xác định bởi mô hình máy phát đồng bộ ảo.

(1) Theo các sáng chế được mô tả theo các điểm từ 1 đến 9, có thể mô phỏng sự sụt giảm điện áp gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo và tái tạo điện đồng bộ trong khi duy trì biên độ của lệnh điện áp đầu ra không đổi ngay cả tại thời điểm dao động tải.

(2) Theo các sáng chế được mô tả theo các điểm 3 và 7, do trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được thiết đặt làm pha quy chiếu, lượng tính trong khối bù trở kháng đồng bộ ảo nhỏ.

(3) Theo các sáng chế được mô tả theo các điểm 5 và 9, trong trường hợp mà trở kháng đồng bộ ảo được thiết đặt thành giá trị nhỏ đến mức sai số của sự chênh lệch pha δ không trở thành vấn đề, bộ phận lưu trữ (ví dụ: bộ đệm) được yêu cầu để lưu trữ tạm thời điện áp cảm ứng bên trong Ef được tính trong mỗi chu trình điều khiển như điểm 4 là không cần thiết, do đó làm đơn giản hóa cấu hình.

(4) Theo các sáng chế được mô tả theo các điểm từ 10 đến 12, có thể duy trì biên độ của điện áp hệ thống (điện áp điểm kết nối của lưới điện) Vsys tại trị số lệnh biên độ điện áp |V|* ngay cả tại thời điểm dao động tải, mô phỏng các sự sụt giảm điện áp gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs và trở kháng Ztr của máy biến áp kết nối, sau đó tái tạo điện đồng bộ.

(5) Theo các sáng chế được mô tả theo điểm 11, có thể tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó việc bù được thực hiện để triệt tiêu sự sụt giảm điện áp do máy biến áp kết nối.

(6) Theo các sáng chế được nêu theo điểm 12, có thể tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó sự giảm biên độ giữa sự sụt giảm điện áp do máy biến áp kết nối được bù.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là sơ đồ giải thích mô hình trở kháng ảo trong thiết bị chuyển đổi điện (hoặc hệ thống chuyển đổi điện).

Fig.2 là ví dụ cấu hình chung của hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện (hoặc thiết bị chuyển đổi điện) theo phương án của sáng chế.

Fig.3 là sơ đồ vectơ của mô hình trở kháng đồng bộ ảo theo phương án 1 của sáng chế.

Fig.4 là sơ đồ khối của khối bù trở kháng đồng bộ ảo theo phương án 1 của sáng chế.

Fig.5 là sơ đồ vectơ của mô hình trở kháng đồng bộ ảo theo phương án 2 của sáng chế.

Fig.6 là sơ đồ khối của khối bù trở kháng đồng bộ ảo theo phương án 2 của sáng chế.

Fig.7A và Fig.7B là các sơ đồ vectơ của mô hình trở kháng đồng bộ ảo theo phương án 3 của sáng chế.

Fig.8 là sơ đồ khối của khối bù trở kháng đồng bộ ảo theo phương án 3 của sáng chế.

Fig.9A và Fig.9B là các sơ đồ vectơ của mô hình trở kháng đồng bộ ảo theo phương án 4 của sáng chế.

Fig.10 là sơ đồ khối của khối bù trở kháng đồng bộ ảo theo phương án 4 của sáng chế.

Fig.11 là sơ đồ giải thích mô hình trở kháng ảo trong thiết bị chuyển đổi điện (hoặc hệ thống chuyển đổi điện) được kết nối với hệ thống điện (lưới điện) thông qua máy biến áp, theo phương án 5 của sáng chế.

Fig.12 là ví dụ khác của cấu hình chung của hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện (hoặc thiết bị chuyển đổi điện) theo phương án của sáng chế.

Fig.13 là sơ đồ vectơ của mô hình trở kháng đồng bộ ảo theo phương án 5 của sáng chế.

Fig.14 là sơ đồ khối của khối bù trở kháng đồng bộ ảo theo phương án 5 của sáng chế.

Fig.15 là sơ đồ giải thích mô hình trở kháng ảo theo phương án 6 của sáng chế.

Fig.16 là sơ đồ vectơ của mô hình trở kháng đồng bộ ảo theo phương án 6 của sáng chế.

Fig.17 là sơ đồ khối của khối bù trở kháng đồng bộ ảo theo phương án 7 của sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các phương án của sáng chế sẽ được mô tả dưới đây có dựa vào các hình vẽ kèm theo. Tuy nhiên, sáng chế là không giới hạn ở các phương án sau.

Theo phương án, trong PCS (hệ thống chuyển đổi điện) mà kết nối nguồn điện DC chẳng hạn như bộ ắc quy với hệ thống (lưới điện) thông qua thiết bị chuyển đổi DC/AC (bộ chuyển đổi điện INV), bộ lọc LC và máy biến áp và đặc biệt có trong hệ thống điều khiển mô hình máy phát đồng bộ ảo mà xác định tần số góc ωr mô phỏng máy phát đồng bộ và khối bù trở kháng đồng bộ ảo mà mô phỏng điện áp cảm ứng bên trong Ef và sự sụt giảm điện áp (Vz) gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo (Zs) của máy phát điện đồng bộ, khi được điều khiển bởi sự điều khiển điện áp mà điều khiển điện áp đầu ra của PCS thành trị số lệnh, nhờ thu được chính xác điểm hoạt động của trị số lệnh điện áp Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef theo sự sụt giảm điện áp (Vz) được tạo ra bởi trở kháng đồng bộ ảo (Zs) bởi hoặc trong khối bù trở kháng đồng bộ ảo, việc phản hồi nhanh có thể được thực hiện ngay cả tại thời điểm dao động tải trong khi tái tạo điện đồng bộ bởi trở kháng đồng bộ ảo.

Fig.2 thể hiện ví dụ cấu hình chung của hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo sáng chế. Trên Fig.2, ký hiệu tham chiếu 1 là nguồn điện DC bao gồm, ví dụ: bộ ắc quy. Ký hiệu tham chiếu 2 là bộ chuyển đổi điện (INV) mà chuyển đổi điện DC của nguồn điện DC 1 thành điện AC.

Bộ chuyển đổi điện 2 được tạo nên bởi, ví dụ, các IGBTs được kết nối cầu điện, và các IGBTs này được điều khiển BẬT/TẮT bởi các tín hiệu cổng được tạo ra bởi bộ phận điều biến độ rộng xung (Pulse-width modulation, viết tắt là PWM) 16 được nêu sau.

Phía đầu ra AC của bộ chuyển đổi điện 2 được nối (kết nối) với hệ thống điện (hoặc lưới điện) 5 thông qua bộ lọc LC 3 được tạo nên bởi cuộn cảm Lf và tụ điện Cf và máy biến áp 4 (Tr).

Ký hiệu tham chiếu 11 là khối bù trở kháng đồng bộ ảo (khối bù Zs) mà thu vào trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thu được bằng cách phát hiện dòng

điện đầu ra của bộ chuyển đổi điện 2 bởi máy biến dòng 12 và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|*, mô phỏng sự sụt giảm điện áp Vz được tạo ra bởi luồng của dòng điện đầu ra của bộ chuyển đổi điện 2 tới trở kháng đồng bộ ảo Zs, và tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của máy phát đồng bộ ảo theo sự sụt giảm điện áp Vz được mô phỏng.

Ký hiệu tham chiếu 13 là mô hình máy phát đồng bộ ảo mà tính công suất điện (Pe) của mô hình máy phát đồng bộ ảo (Virtual Synchronous generator, viết tắt là VSG) từ điện áp cảm ứng bên trong Ef được tính bởi hoặc trong khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 và trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac và xác định tần số góc ωr mô phỏng máy phát đồng bộ dựa vào độ chênh lệch (độ lệch) giữa công suất điện (Pe) được tính và điện quy chiếu được thiết đặt Pref.

Ký hiệu tham chiếu 14 là bộ phận điều khiển điện áp đầu ra PCS (AVR) mà tạo ra lệnh điều khiển điện áp đầu ra Vcmd để thực hiện việc điều khiển sao cho điện áp đầu ra Vac thu được bằng cách phát hiện điện áp đầu ra của PCS (điện áp đầu ra của bộ chuyển đổi điện 2) bởi máy biến áp đo lường 15 trùng với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính bởi hoặc trong khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11.

Ký hiệu tham chiếu 16 là bộ phận PWM mà tạo ra tín hiệu cổng cổng PWM được điều biến bởi lệnh điều khiển điện áp đầu ra Vcmd được tạo ra bởi hoặc trong bộ phận điều khiển điện áp đầu ra PCS 14 và phần tử mang PWM và điều khiển PWM bộ chuyển đổi điện 2. Trong trường hợp PWM đồng bộ, phần tử mang PWM có tần số thu được bằng cách nhân với tần số góc ωr được xác định bởi hoặc trong mô hình máy phát đồng bộ ảo 13 được sử dụng. Trong trường hợp PWM không đồng bộ, phần tử mang PWM có tần số cố định được sử dụng.

Ở đây, trên Fig.2, trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac và điện áp đầu ra Vac, mỗi loại sử dụng tín hiệu thu được bằng cách chuyển đổi ba pha u, v và w thành trục d và trục q bởi pha thu được nhờ tích phân tần số góc ωr. Lệnh điều khiển điện áp đầu ra Vcmd sử dụng tín hiệu thu được bằng cách chuyển đổi dq

đảo trục d và trục q thành ba pha u, v và w bởi pha thu được nhờ tích phân tần số góc ωr.

Các chi tiết của khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 được tạo cấu hình như được thể hiện trong từng phương án sau.

Phương án 1

Theo phương án 1, mối quan hệ giữa trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trị số lệnh điện áp đầu ra Vac*, điện áp cảm ứng bên trong Ef, pha điện áp đầu ra δ, trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* và các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q trên trục d và trục q được thể hiện trên Fig.3, với điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt làm pha quy chiếu (trên trục d).

Khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 theo phương án 1 tính, từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|*, trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và ngoài ra điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d. Khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 được tạo cấu hình như được thể hiện trên Fig.4.

Trên Fig.4, ký hiệu tham chiếu 20 là bộ phận tính Vz mà tính các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q.

Biểu thức 1

$$\dot{V}_Z = \begin{bmatrix} V_Z_d \\ V_Z_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac}_d \\ I_{ac}_q \end{bmatrix} \qquad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

Ký hiệu tham chiếu 21 là bộ phận tính $\sin^{-1}$ mà tính pha điện áp đầu ra δ bằng cách tính biểu thức (2) sau dựa vào sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz 20 và trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|*.

Biểu thức 2

$$\delta = sin^{-1}\left(\frac{V_{z_q}}{|V_{ac}|^*}\right) \qquad \cdots (2)$$

Ký hiệu tham chiếu 22 là bộ phận tính cos mà tính cos δ mà là thành phần cos của pha điện áp đầu ra δ.

Ký hiệu tham chiếu 23 là bộ nhân mà, bằng cách nhân trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* với kết quả của bộ phận tính cos 22, thu được trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và ngoài ra điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d.

Ký hiệu tham chiếu 24 là bộ đảo cực tính mà đảo cực của sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz 20. Đầu ra của bộ đảo cực tính 24 là đầu ra như trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_q*.

Ký hiệu tham chiếu 25 là bộ cộng mà, bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz 20 với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* thu được nhờ bộ nhân 23, thu được điện áp cảm ứng bên trong Ef_d của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và ngoài ra điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d. Ở đây, điện áp cảm ứng bên trong Ef_q bằng 0.

Trong hệ thống được tạo cấu hình như nêu trên, bộ phận điều khiển điện áp đầu ra PCS 14 thực hiện điều khiển điện áp sao cho điện áp đầu ra Vac (điện áp Vac thu được bằng cách phát hiện điện áp đầu cuối sau bộ lọc LC) trùng với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* thu được bằng cách trừ sự sụt giảm điện áp Vz được tạo ra bởi luồng của dòng điện đầu ra Iac với trở kháng đồng bộ ảo Zs từ điện áp cảm ứng bên trong Ef.

Khi biểu diễn sự sụt giảm điện áp Vz bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs (r và x) và dòng điện đầu ra Iac trên hệ tọa độ d-q, nó trở thành biểu thức (1) sau (biểu thức được tính bởi bộ phận tính Vz 20).

Biểu thức 1

$$\dot{V_Z} = \begin{bmatrix} V_Z_d \\ V_Z_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac}_d \\ I_{ac}_q \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

Từ sự sụt giảm điện áp Vz, điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và ngoài ra điện áp cảm ứng bên trong Ef được bố trí trên trục d có thể được xác định là duy nhất (chỉ có một) , và nó trở thành các biểu thức từ (2) đến (4) sau.

Biểu thức 2

$$\delta = sin^{-1}\left(\frac{V_Z_q}{|V_{ac}|^*}\right) \quad \cdots (2)$$

Biểu thức 3

$$\dot{V_{ac}}^* = \begin{bmatrix} {V_{ac}}^*_d \\ {V_{ac}}^*_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |V_{ac}|^* cos\delta \\ -V_Z_q \end{bmatrix} \quad \ldots (3)$$

Biểu thức 4

$$\dot{E_f} = \begin{bmatrix} E_f_d \\ E_f_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |V_{ac}|^* cos\delta + V_Z_d \\ 0 \end{bmatrix} \quad \ldots (4)$$

Biểu thức (2) nêu trên có thể thu được nhờ bộ phận tính sin^{-1} 21 trên Fig.4. Biểu thức (3) nêu trên có thể thu được nhờ bộ nhân 23 và bộ đảo cực tính 24. Biểu thức (4) nêu trên có thể thu được nhờ bộ cộng 25.

Theo cách này, bằng cách tính liên tiếp trị số lệnh điện áp Vac* để được đưa ra theo dòng điện tải (trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac) và điện áp cảm ứng bên trong Ef bởi hoặc trong khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 trên Fig.4, có thể duy trì biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* tại trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* ngay cả tại thời điểm dao động tải, ngoài ra mô phỏng sự sụt giảm điện áp Vz gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs, sau đó tái tạo điện đồng bộ.

Như được nêu trên, theo phương án 1, trên hệ tọa độ với điện áp cảm ứng bên trong Ef làm tham chiếu, bằng cách tính liên tiếp, theo dòng điện tải, trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* và ngoài ra điện áp cảm ứng bên trong Ef được bố trí trên trục d, có thể mô phỏng sự sụt giảm điện áp gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo và tái tạo điện đồng bộ trong khi duy trì biên độ điện áp không đổi ngay cả tại thời điểm dao động tải.

Phương án 2

Theo phương án 2, mối quan hệ giữa trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trị số lệnh điện áp đầu ra Vac*, điện áp cảm ứng bên trong Ef, pha điện áp đầu ra δ, trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* và sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q trên trục d và trục q được thể hiện trên Fig.5, với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được thiết đặt làm pha quy chiếu (trên trục d).

Khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 theo phương án 2 tính, từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|*, trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và ngoài ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* tồn tại trên trục d. Khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 được tạo cấu hình như được thể hiện trên Fig.6.

Trên Fig.6, các phần tử tương tự được biểu thị bởi các ký hiệu tham chiếu tương tự như các ký hiệu trên Fig.4. Ký hiệu tham chiếu 26 là bộ cộng mà, bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz 20 với trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|*, thu được điện áp cảm ứng bên trong Ef_d của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và ngoài ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* tồn tại trên trục d.

Sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz 20 là kết quả như điện áp cảm ứng bên trong Ef_q.

Do trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được thiết đặt trên trục d, |Vac|* là kết quả như Vac_d*, và thành phần trục q Vac_q* bằng 0.

Theo phương án 1 nêu trên, pha quy chiếu là điện áp cảm ứng bên trong Ef. Tuy nhiên, theo phương án 2, như được thể hiện trên Fig.5, phương án 2 được xem xét với pha quy chiếu làm trị số lệnh điện áp đầu ra Vac*. Theo cách tương tự như phương án 1, sự sụt giảm điện áp Vz gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs thu được từ biểu thức (1).

Từ sự sụt giảm điện áp Vz, điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được bố trí trên trục d có thể được xác định là duy nhất (chỉ có một), và nó trở thành các biểu thức (5) và (6) sau.

Biểu thức 5

$$\dot{V}_{ac}^{*} = \begin{bmatrix} V_{ac}^{*}_d \\ V_{ac}^{*}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |V_{ac}|^{*} \\ 0 \end{bmatrix} \qquad \ldots (5)$$

Biểu thức 6

$$\dot{E}_f = \begin{bmatrix} E_f_d \\ E_f_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |V_{ac}|^{*} + V_Z_d \\ V_Z_q \end{bmatrix} \qquad \ldots (6)$$

Vac_d* và Vac_q* trong biểu thức (5) thu được từ khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 trên Fig.2 và Fig.6, và biểu thức (6) có thể thu được nhờ bộ cộng 26 trên Fig.6.

Như được nêu trên, theo phương án 2, theo cách tương tự như phương án 1, có thể duy trì biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* tại trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* ngay cả tại thời điểm dao động tải, mô phỏng sự sụt giảm điện áp Vz gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs, sau đó tái tạo điện đồng bộ.

Ở đây, theo phương án 2, do việc tính hàm lượng giác là không cần thiết, lượng tính nhỏ hơn lượng tính theo phương án 1.

Phương án 3

Theo phương án 3, mối quan hệ giữa trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trị số lệnh điện áp đầu ra Vac*, điện áp cảm ứng bên trong Ef, pha điện áp đầu ra δ, trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* và sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q trên trục d và trục q được thể hiện trên Fig.7, với điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt làm pha quy chiếu (trên trục d).

Ở đây, khi tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac*, như được thể hiện trên Fig.7A, điện áp cảm ứng bên trong Ef (Z^{-1}) thu được trong chu trình điều khiển trước đó được thiết đặt trên trục d, và khi tính điện áp cảm ứng bên trong Ef, như được thể hiện trên Fig.7B, điện áp cảm ứng bên trong Ef trong chu trình điều khiển hiện tại được thiết đặt trên trục d.

Khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 theo phương án 3 tính sự chênh lệch pha δ từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs và điện áp cảm ứng bên trong được tính trong chu trình điều khiển trước đó, và tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|* với sự chênh lệch pha δ, sau đó tính điện áp cảm ứng bên trong Ef từ trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính, trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac và trở kháng đồng bộ ảo Zs. Khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 được tạo cấu hình như được thể hiện trên Fig.8.

Trên Fig.8, các phần tử tương tự được biểu thị bởi các ký hiệu tham chiếu tương tự như các ký hiệu trên Fig.4. Trên Fig.8, ký hiệu tham chiếu 31 là bộ đệm (Z^{-1} là toán tử độ trễ bộ phận) mà lưu trữ tạm thời điện áp cảm ứng bên trong Ef_d được tính bởi bộ cộng 36 được nêu sau trong mỗi chu trình điều khiển.

Ký hiệu tham chiếu 32 là bộ trừ mà thu độ chênh lệch (độ lệch) giữa điện áp cảm ứng bên trong Ef_d (Z^{-1}) được tính trong chu trình điều khiển trước đó và được lưu trữ trong bộ đệm 31 và sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz 20.

Ký hiệu tham chiếu 33 là bộ trừ mà thu độ chênh lệch (độ lệch) giữa ký hiệu 0 được thiết đặt và sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz 20.

Ký hiệu tham chiếu 34 là bộ phận tính $\tan^{-1}$ mà thu sự chênh lệch pha δ bằng cách tính biểu thức sau (7) dựa vào kết quả độ chênh lệch (kết quả độ lệch) (Ef_d (Z^{-1})-Vz_d) của bộ trừ 32 và kết quả độ chênh lệch (kết quả độ lệch) (-Vz_q) của bộ trừ 33.

Biểu thức 7

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{-V_{Z_q}}{E_f(z^{-1}) - V_{Z_d}}\right) \qquad \ldots (7)$$

Ký hiệu tham chiếu 35 là bộ phận tính toán ma trận quay mà tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* và Vac_q* bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* với sự chênh lệch pha δ thu được nhờ bộ phận tính $\tan^{-1}$ 34 theo biểu thức (8) sau.

Biểu thức 8

$$V_{ac}^{\cdot *} = \begin{bmatrix} V_{ac}{}^{*}_d \\ V_{ac}{}^{*}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta & -\sin\delta \\ \sin\delta & \cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} |V_{ac}|^{*} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |V_{ac}|^{*}\cos\delta \\ |V_{ac}|^{*}\sin\delta \end{bmatrix} \qquad \ldots (8)$$

[01.] Ký hiệu tham chiếu 36 là bộ cộng mà tính điện áp cảm ứng bên trong Ef_d bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz 20 với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* được tính bởi bộ phận tính toán ma trận quay 35.

[02.] Ef_d mà là kết quả phép cộng của bộ cộng 36 thu được và được lưu trữ trong bộ đệm 31 để tính trong chu trình điều khiển tiếp theo. Ở đây, điện áp cảm ứng bên trong Ef_q xấp xỉ bằng 0.

[03.] Theo phương án 1 nêu trên, điện áp cảm ứng bên trong Ef và trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* thu được cùng lúc. Tuy nhiên, theo phương án 3, như được thể hiện trên mạch trên Fig.8, sự chênh lệch pha δ thu được, như được biểu thị trong biểu thức (7) sau, bởi bộ phận tính $\tan^{-1}$ 34 từ độ chênh lệch giữa điện áp

cảm ứng bên trong trị số trước Ef (Z^{-1}) thu được trong chu trình điều khiển trước đó và sự sụt giảm điện áp Vz, và việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* với sự chênh lệch pha δ được thực hiện, như được biểu thị trong biểu thức (8) sau, bởi bộ phận tính toán ma trận quay 35, sau đó trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* thu được.

[04.] Biểu thức 7

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{-V_{Z_q}}{E_f(z^{-1}) - V_{Z_d}}\right) \qquad \ldots (7)$$

[05.] Biểu thức 8

$$V_{ac}^{**} = \begin{bmatrix} V_{ac}^{*}_d \\ V_{ac}^{*}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta & -\sin\delta \\ \sin\delta & \cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} |V_{ac}|^{*} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |V_{ac}|^{*}\cos\delta \\ |V_{ac}|^{*}\sin\delta \end{bmatrix} \qquad \ldots (8)$$

[06.] Điện áp cảm ứng bên trong Ef được biểu thị bởi biểu thức (9) sau từ trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và sự sụt giảm điện áp Vz.

[07.] Biểu thức 9

$$\hat{E}_f = \begin{bmatrix} E_f_d \\ E_f_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{ac}^{*}_d + V_{Z_d} \\ V_{ac}^{*}_q - V_{Z_q} \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} V_{ac}^{*}_d + V_{Z_d} \\ 0 \end{bmatrix} \qquad \ldots (9)$$

[08.] Biểu thức (9) nêu trên được tính bởi bộ cộng 36.

[09.] Theo phương án 3, do điểm hoạt động được xác định với trị số trước điện áp cảm ứng bên trong Ef (Z^{-1}) được tham chiếu, thành phần trục q có thể xuất hiện trong điện áp cảm ứng bên trong Ef. Tuy nhiên, do điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt trên trục d, thành phần trục q xấp xỉ bằng 0. Hơn nữa, Ef_d được lưu trữ trong bộ đệm 31 để tính trong chu trình điều khiển tiếp theo. Ở đây, trị số ban đầu của bộ đệm 31 được thiết đặt thành trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|*.

Như được nêu trên, theo phương án 3, bằng cách tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* sử dụng trị số trước điện áp cảm ứng bên trong Ef (Z^{-1}) của chu trình điều khiển trước đó, có thể mô phỏng sự sụt giảm điện áp Vz gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs và tái tạo điện đồng bộ trong khi duy trì biên độ điện áp

không đổi. Do trị số trước đó của điện áp cảm ứng bên trong Ef (Z^{-1}) của chu trình điều khiển trước đó được sử dụng, việc phản hồi chậm hơn so với các phương án 1 và 2. Hơn nữa, điện áp cảm ứng bên trong Ef là trị số xấp xỉ.

Phương án 4

Theo phương án 4, mối quan hệ giữa trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trị số lệnh điện áp đầu ra Vac*, điện áp cảm ứng bên trong Ef, pha điện áp đầu ra δ, trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* và sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q trên trục d và trục q được thể hiện trên Fig.9, với điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt làm pha quy chiếu (trên trục d). Ở đây, khi tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac*, các vectơ được thể hiện trên Fig.9A, và khi tính điện áp cảm ứng bên trong Ef, các vectơ được thể hiện trên Fig.9B.

Khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 theo phương án 4 tính sự chênh lệch pha δ từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|*, và tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|* với sự chênh lệch pha δ, sau đó tính điện áp cảm ứng bên trong Ef từ trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính, trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac và trở kháng đồng bộ ảo Zs. Khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 được tạo cấu hình như được thể hiện trên Fig.10.

Trên Fig.10, các phần tử tương tự được biểu thị bởi các ký hiệu tham chiếu tương tự như các ký hiệu trên Fig.8. Trên Fig.10, ký hiệu tham chiếu 41 là bộ trừ mà thu độ chênh lệch (độ lệch) giữa trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* và sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz 20.

Ký hiệu tham chiếu 42 là bộ trừ mà thu độ chênh lệch (độ lệch) giữa ký hiệu 0 được thiết đặt và sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz 20.

Ký hiệu tham chiếu 43 là bộ phận tính $\tan^{-1}$ mà thu sự chênh lệch pha δ bằng cách tính biểu thức (10) sau dựa vào kết quả độ chênh lệch (kết quả độ

lệch) (|Vac|*-Vz_d) của bộ trừ 41 và kết quả độ chênh lệch (kết quả độ lệch) (-Vz_q) của bộ trừ 42.

Biểu thức 10

$$\delta = tan^{-1}\left(\frac{-V_{Z_q}}{|V_{ac}|^* - V_{Z_d}}\right) \qquad \cdots (10)$$

Ký hiệu tham chiếu 44 là bộ phận tính toán ma trận quay mà tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* và Vac_q* bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* với sự chênh lệch pha δ thu được nhờ bộ phận tính tan^{-1} 43 theo biểu thức (8) sau.

Biểu thức 8

$$V_{ac}^{**} = \begin{bmatrix} V_{ac}^{*}_d \\ V_{ac}^{*}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta & -\sin\delta \\ \sin\delta & \cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} |V_{ac}|^{*} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |V_{ac}|^{*}cos\delta \\ |V_{ac}|^{*}sin\delta \end{bmatrix} \qquad \cdots (8)$$

Ký hiệu tham chiếu 45 là bộ cộng mà tính điện áp cảm ứng bên trong Ef_d bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz 20 với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* được tính bởi bộ phận tính toán ma trận quay 44. Ở đây, điện áp cảm ứng bên trong Ef_q xấp xỉ bằng 0.

Theo phương án 3 nêu trên, trị số trước đó của điện áp cảm ứng bên trong Ef được sử dụng cho việc tính sự chênh lệch pha δ. Tuy nhiên, theo phương án 4, trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* được sử dụng cho việc đơn giản hóa.

Tức là, biểu thức (10) sau được tính bởi các bộ trừ 41 và 42 và bộ phận tính tan^{-1} 43, sau đó sự chênh lệch pha δ được tính.

Biểu thức 10

$$\delta = tan^{-1}\left(\frac{-V_{Z_q}}{|V_{ac}|^* - V_{Z_d}}\right) \qquad \cdots (10)$$

Các trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* và Vac_q* có thể thu được bằng cách tính biểu thức (8) bởi bộ phận tính toán ma trận quay 44 theo cách tương tự như phương án 3.

Điện áp cảm ứng bên trong Ef_d có thể thu được bằng cách tính biểu thức (9) bởi bộ cộng 45 theo cách tương tự như phương án 3.

Mặc dù sự chênh lệch pha δ có sai số so với trường hợp, như phương án 3, trong đó sự chênh lệch pha δ được xác định bởi sự sụt giảm điện áp từ điện áp cảm ứng bên trong Ef, có thể tái tạo điện đồng bộ trong khi duy trì biên độ điện áp không đổi.

Như được so sánh với phương án 3, phương án 4 không yêu cầu bộ đệm 31 cho điện áp cảm ứng bên trong Ef, do đó làm đơn giản hóa cấu hình.

Lưu ý rằng do trở kháng đồng bộ ảo của máy phát điện đồng bộ được mô phỏng là thông số trong bộ chuyển đổi điện, nó có thể được thiết đặt một cách tự do mà không bị hạn chế bởi các giới hạn vật lý của máy phát điện đồng bộ. Do có thể hình dung rằng trở kháng đồng bộ ảo càng nhỏ thì sai số của sự chênh lệch pha δ càng nhỏ, trong trường hợp mà trở kháng đồng bộ ảo được thiết đặt thành giá trị nhỏ đến mức sai số của sự chênh lệch pha δ không trở thành vấn đề, cách của phương án 4 có thể được áp dụng.

Phương án 5

Fig.11 thể hiện, ở phía trên của nó, cấu hình của PCS trong đó đầu ra của bộ chuyển đổi điện mà chuyển đổi điện DC của nguồn điện DC chẳng hạn như bộ ắc quy thành điện AC được kết nối với hệ thống điện (lưới điện) thông qua bộ lọc LC và máy biến áp kết nối (Tr). Fig.11 cũng thể hiện, ở phía dưới của nó, cấu hình của mô hình trở kháng đồng bộ ảo.

Như được thể hiện trên Fig.11, khi đầu ra của bộ chuyển đổi điện được kết nối với hệ thống điện (lưới điện) thông qua bộ lọc LC và máy biến áp kết nối Tr, điện áp hệ thống (điện áp tại điểm kết nối với hệ thống điện (lưới điện)) Vsys bị giảm do sự sụt giảm điện áp Vtr bởi máy biến áp Tr.

Khi cố gắng làm cho biên độ điện áp hệ thống |Vsys| trùng với trị số lệnh biên độ điện áp |V|*, việc điều khiển mà làm cho biên độ điện áp hệ thống |Vsys| trùng với trị số lệnh biên độ điện áp |V|* theo lượng sụt giảm điện áp là cần thiết,

và hệ thống điều khiển mà có thể phản hồi nhanh ngay cả tại thời điểm dao động tải là kỳ vọng.

Do đó, theo phương án 5, trong PCS (hệ thống chuyển đổi điện) việc kết nối nguồn điện DC chẳng hạn như bộ ắc quy với hệ thống (lưới điện) thông qua thiết bị chuyển đổi DC/AC (bộ chuyển đổi điện INV), bộ lọc LC và máy biến áp và đặc biệt có trong hệ thống điều khiển mô hình máy phát đồng bộ ảo mà xác định tần số góc ωr mô phỏng máy phát đồng bộ và khối bù trở kháng đồng bộ ảo mà mô phỏng điện áp cảm ứng bên trong Ef và sự sụt giảm điện áp (Vz) gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo (Zs) của máy phát điện đồng bộ, khi được điều khiển bởi điều khiển điện áp mà điều khiển điện áp đầu ra của PCS với trị số lệnh, nhờ thu chính xác điểm hoạt động của trị số lệnh điện áp Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef theo lượng sụt giảm điện áp được tạo ra bởi trở kháng đồng bộ ảo và máy biến áp bởi hoặc trong khối bù trở kháng đồng bộ ảo, sự sụt giảm điện áp do máy biến áp kết nối có thể được bù, và việc phản hồi nhanh có thể được thực hiện ngay cả tại thời điểm dao động tải trong khi tái tạo điện đồng bộ bởi trở kháng đồng bộ ảo.

Fig.12 thể hiện cấu hình chung của hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo phương án 5. Các phần tử tương tự được biểu thị bởi các ký hiệu tham chiếu tương tự như các ký hiệu trên Fig.2. Trên Fig.12, ký hiệu tham chiếu 1 là nguồn điện DC bao gồm, ví dụ: bộ ắc quy. Ký hiệu tham chiếu 2 là bộ chuyển đổi điện (INV) mà chuyển đổi điện DC của nguồn điện DC 1 thành điện AC.

Ví dụ, bộ chuyển đổi điện 2 được tạo nên bởi, các IGBTs được kết nối cầu điện, và các IGBTs được điều khiển BẬT/TẮT bởi các tín hiệu cổng được tạo ra bởi bộ phận PWM 16 được nêu sau.

Phía đầu ra AC của bộ chuyển đổi điện 2 được nối (được kết nối) với hệ thống điện (hoặc lưới điện) 5 thông qua bộ lọc LC 3 được tạo nên bởi cuộn cảm Lf và tụ điện Cf và máy biến áp 4 (Tr).

Ký hiệu tham chiếu 11 là khối bù trở kháng đồng bộ ảo (khối bù Zs) mà thu trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thu được bằng cách chuyển đổi dòng điện phát hiện, mà thu được bằng cách phát hiện dòng điện đầu ra của bộ chuyển đổi điện 2 bởi máy biến dòng 12, thành trục d và trục q bởi bộ phận chuyển đổi tọa độ 52 được nêu sau và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |V|*, mô phỏng sự sụt giảm điện áp Vz được tạo ra bởi luồng của dòng điện đầu ra của bộ chuyển đổi điện 2 tới trở kháng đồng bộ ảo Zs, và tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của máy phát đồng bộ ảo theo sự sụt giảm điện áp Vz được mô phỏng.

Ký hiệu tham chiếu 13 là mô hình máy phát đồng bộ ảo mà tính công suất điện (Pe) của mô hình VSG (máy phát đồng bộ ảo) từ điện áp cảm ứng bên trong Ef được tính bởi hoặc trong khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 và trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac và xác định tần số góc ωr mô phỏng máy phát đồng bộ dựa vào độ chênh lệch (độ lệch) giữa đầu ra điện được tính (Pe) và điện quy chiếu được thiết đặt Pref.

Ký hiệu tham chiếu 14 là bộ phận điều khiển điện áp đầu ra PCS (AVR) mà tạo ra tín hiệu lệnh để thực hiện việc điều khiển để trị số phát hiện điện áp đầu ra Vac thu được bằng cách chuyển đổi điện áp phát hiện, mà thu được bằng cách phát hiện điện áp đầu ra của PCS (điện áp đầu ra của bộ chuyển đổi điện 2) bởi máy biến áp đo lường 15, thành trục d và trục q bởi bộ phận chuyển đổi tọa độ được nêu sau 53 trùng với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính bởi hoặc trong khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11. Tín hiệu lệnh được chuyển đổi thành ba pha u, v và w bởi bộ phận chuyển đổi tọa độ 54 được nêu sau, và lệnh điều khiển điện áp đầu ra ba pha Vcmd được đưa ra.

Ký hiệu tham chiếu 16 là bộ phận PWM mà tạo ra tín hiệu cổng cổng PWM được điều biến bởi lệnh điều khiển điện áp đầu ra Vcmd được tạo ra bởi hoặc trong bộ phận điều khiển điện áp đầu ra PCS 14 và phần tử mang PWM và điều khiển PWM bộ chuyển đổi điện 2. Trong trường hợp PWM đồng bộ, phần tử mang PWM có tần số thu được bằng cách nhân với tần số góc ωr được xác

định bởi hoặc trong mô hình máy phát đồng bộ ảo 13 được sử dụng. Trong trường hợp PWM không đồng bộ, phần tử mang PWM có tần số cố định được sử dụng.

Ký hiệu tham chiếu 51 là bộ tích phân mà tích phân đầu ra tần số góc ωr từ mô hình máy phát đồng bộ ảo 13 và đưa ra pha bên trong Θr.

Các bộ phận chuyển đổi tọa độ 52, 53 và 54, mỗi bộ phận thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay với pha bên trong Θr được đưa ra từ bộ tích phân 51.

Mô hình trở kháng ảo theo phương án 5 được thể hiện trên Fig.11. Theo phương án 5, mối quan hệ giữa trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trị số lệnh điện áp đầu ra Vac*, điện áp cảm ứng bên trong Ef, pha điện áp đầu ra δ, trị số lệnh biên độ điện áp |V|*, sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q tại trở kháng đồng bộ ảo Zs, điện áp hệ thống (điện áp điểm kết nối) Vsys và sự sụt giảm điện áp Vtr_d và Vtr_q do máy biến áp kết nối 4 trên trục d và trục q được thể hiện trên Fig.13, với điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt làm pha quy chiếu (trên trục d).

Khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 theo phương án 5 được tạo cấu hình như được thể hiện trên Fig.14.

Trên Fig.14, ký hiệu tham chiếu 61 là bộ phận tính Vz mà tính sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q.

Biểu thức 1

$$\dot{V}_Z = \begin{bmatrix} V_{Z_d} \\ V_{Z_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \qquad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

Ký hiệu tham chiếu 62 là bộ phận tính Vtr mà tính sự sụt giảm điện áp Vtr_d và Vtr_q gây ra bởi trở kháng Ztr của máy biến áp kết nối 4 bằng cách tính biểu thức 11 sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q.

Biểu thức 11

$$\dot{V_{tr}} = \begin{bmatrix} V_{tr_d} \\ V_{tr_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Rtr & -Xtr \\ Xtr & Rtr \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \quad \cdots (11)$$

(Ở đây, Rtr là thành phần điện trở của Ztr, và Xtr là thành phần điện kháng của Ztr)

Ký hiệu tham chiếu 63 là bộ trừ (bộ trừ thứ nhất) mà trừ sự sụt giảm điện áp Vtr_d được tính bởi bộ phận tính Vtr 62 từ sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz 61.

Ký hiệu tham chiếu 64 là bộ trừ (bộ trừ thứ ba) mà trừ sự sụt giảm điện áp Vtr_q được tính bởi bộ phận tính Vtr 62 từ sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz 61.

Ký hiệu tham chiếu 65 là bộ phận tính $\sin^{-1}$ mà tính pha điện áp đầu ra δ bằng cách tính biểu thức (12) sau dựa vào sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz 61 và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |V|*.

Biểu thức 12

$$\delta = \sin^{-1}\left(\frac{V_{z_q}}{|V|^*}\right) \quad \ldots (12)$$

Ký hiệu tham chiếu 66 là bộ phận tính cos mà tính cos δ mà là thành phần cos của pha điện áp đầu ra δ.

Ký hiệu tham chiếu 67 là bộ nhân mà nhân trị số lệnh biên độ điện áp |V|* với đầu ra của bộ phận tính cos 66.

Ký hiệu tham chiếu 68 là bộ cộng mà, bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz 61 với kết quả của bộ nhân 67, đưa ra điện áp cảm ứng bên trong Ef_d của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp hệ

thống (điện áp điểm kết nối của hệ thống điện (lưới điện)) Vsys là |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d và ngoài ra việc bù cũng được thực hiện để triệt tiêu sự sụt giảm điện áp Vtr do máy biến áp 4.

Ký hiệu tham chiếu 69 là bộ trừ (bộ trừ thứ hai) mà, bằng cách trừ kết quả độ chênh lệch (kết quả độ lệch) của bộ trừ 63 từ điện áp cảm ứng bên trong Ef_d được đưa ra từ bộ cộng 68, đưa ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp hệ thống (điện áp điểm kết nối của hệ thống điện (lưới điện)) Vsys là |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d và ngoài ra việc bù cũng được thực hiện để triệt tiêu sự sụt giảm điện áp Vtr do máy biến áp 4.

Ký hiệu tham chiếu 70 là bộ đảo cực tính mà đảo cực của kết quả độ chênh lệch (kết quả độ lệch) của bộ trừ 64. Kết quả của bộ đảo cực tính 70 là kết quả như trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_q*. Ở đây, điện áp cảm ứng bên trong Ef_q bằng 0.

Lưu ý rằng vectơ "Vz-Vtr" trên Fig.13 biểu thị hoạt động trừ của bộ trừ (bộ trừ thứ nhất) 63 trên Fig.14, và các vectơ "Ef", "Vz-Vtr" và "Vac*" trên Fig.13 biểu thị hoạt động trừ của bộ trừ (bộ trừ thứ hai) 69 trên Fig.14.

Trong hệ thống được tạo cấu hình như nêu trên, bộ phận điều khiển điện áp đầu ra PCS 14 thực hiện điều khiển điện áp sao cho điện áp đầu ra Vac (điện áp Vac thu được bằng cách phát hiện điện áp đầu cuối sau bộ lọc LC) trùng với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* thu được bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp được tạo ra tại máy biến áp kết nối 4 với trị số thu được bằng cách trừ sự sụt giảm điện áp Vz được tạo ra bởi luồng của dòng điện đầu ra Iac với trở kháng đồng bộ ảo Zs từ điện áp cảm ứng bên trong Ef.

Khi biểu diễn sự sụt giảm điện áp Vz bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs (r và x) và dòng điện đầu ra Iac trên hệ tọa độ d-q, nó trở thành biểu thức (1) sau (Biểu thức được tính bởi bộ phận tính Vz 61).

Biểu thức 1

$$\dot{V_Z} = \begin{bmatrix} V_{Z_d} \\ V_{Z_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

Khi biểu diễn sự sụt giảm điện áp Vtr được ước tính bởi trở kháng Ztr (Rtr và Xtr) của máy biến áp kết nối 4 và dòng điện đầu ra Iac trên hệ tọa độ d-q, nó trở thành biểu thức 11 sau.

Biểu thức 11

$$\dot{V_{tr}} = \begin{bmatrix} V_{tr_d} \\ V_{tr_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Rtr & -Xtr \\ Xtr & Rtr \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \quad \cdots (11)$$

Từ sự sụt giảm điện áp Vz, điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp điểm kết nối Vsys của hệ thống điện (lưới điện) là |V|* và điện áp cảm ứng bên trong Ef cũng được bố trí trên trục d có thể được xác định là duy nhất (chỉ có một), và nó trở thành các biểu thức từ (12) đến 14 sau.

Biểu thức 12

$$\delta = \sin^{-1}\left(\frac{V_{Z_q}}{|V|^*}\right) \quad \ldots (12)$$

Biểu thức 13

$$\dot{E_f} = \begin{bmatrix} |V|^* cos\delta + V_{Z_d} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \ldots (13)$$

Biểu thức 14

$$\dot{V_{sys}} = \dot{E_f} - \dot{V_Z} = \begin{bmatrix} |V|^* cos\delta \\ -V_{Z_q} \end{bmatrix} \quad \cdots (14)$$

Biểu thức (12) nêu trên có thể thu được nhờ bộ phận tính $\sin^{-1}$ 65 trên Fig.14. Biểu thức 13 nêu trên có thể thu được nhờ bộ nhân 67 và bộ cộng 68. Hơn nữa, biểu thức 14 nêu trên không liên quan đến mối quan hệ giữa Ef, Vz_d và Vsys được thể hiện trong sơ đồ vectơ trên Fig.13.

Sự sụt giảm điện áp Vtr của máy biến áp kết nối 4 được cộng với điện áp hệ thống Vsys được tính như được biểu diễn trong biểu thức (15) sau, sau đó nó trở thành trị số lệnh điện áp đầu ra Vac*.

Biểu thức 15

$$\dot{V}_{ac}^{*} = \dot{V}_{sys} + \dot{V}_{tr} = \begin{bmatrix} |V|^{*}\cos\delta + V_{tr_d} \\ -V_{z_q} + V_{tr_q} \end{bmatrix} \quad \ldots (15)$$

Sự sụt giảm điện áp Vtr được cộng của máy biến áp kết nối 4 được triệt tiêu bởi sự sụt giảm điện áp được tạo ra thực thế, sao cho điện áp hệ thống Vsys được tính bởi biểu thức 14 xuất hiện tại phía trên của máy biến áp kết nối 4.

Như được nêu trên, theo phương án 5, bằng cách tính liên tiếp, theo dòng điện tải, trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp hệ thống Vsys là trị số lệnh biên độ điện áp |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef được bố trí trên trục d và ngoài ra sự sụt giảm điện áp do máy biến áp kết nối bị triệt tiêu, có thể mô phỏng sự sụt giảm điện áp gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo và tái tạo điện đồng bộ trong khi duy trì biên độ điện áp hệ thống không đổi ngay cả tại thời điểm dao động tải.

Phương án 6

Mô hình trở kháng ảo theo phương án 6 được thể hiện trên Fig.15. Theo phương án 6, mối quan hệ giữa trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trị số lệnh điện áp đầu ra Vac*, điện áp cảm ứng bên trong Ef, pha điện áp đầu ra δ, trị số lệnh biên độ điện áp |V|*, sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q tại trở kháng đồng bộ ảo Zs, điện áp hệ thống (điện áp điểm kết nối) Vsys và sự sụt giảm điện áp Vtr_d và Vtr_q tại máy biến áp kết nối 4 trên trục d và trục q được thể hiện trên Fig.16, với điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt làm pha quy chiếu (trên trục d).

Theo phương án 5 nêu trên, sự sụt giảm điện áp do máy biến áp kết nối 4 được bù toàn bộ. Tuy nhiên, theo phương án 6, chỉ lượng biên độ sự sụt giảm điện áp hệ thống (Vsys) từ trị số lệnh biên độ điện áp |V|* được bù. Khi được xem xét từ hệ thống (lưới điện) (ví dụ, từ phía Vsys), theo phương án 5, như được thể hiện trên Fig.11, nó trông như thể chỉ điện áp cảm ứng bên trong Ef và trở kháng đồng bộ ảo Zs tồn tại (do sự sụt giảm điện áp do máy biến áp kết nối 4 được triệt tiêu). Mặt khác, theo phương án 6, như được thể hiện trên Fig.15, trở

kháng của máy biến áp kết nối 4 cũng có thể được nhìn thấy, đây là điểm khác với phương án 5.

Khối bù trở kháng đồng bộ ảo 11 theo phương án 6 được tạo cấu hình như được thể hiện trên Fig.17. Trên Fig.17, các phần tử tương tự được biểu thị bởi các ký hiệu tham chiếu tương tự như các ký hiệu trên Fig.14.

Ký hiệu tham chiếu 81 là bộ cộng (bộ cộng thứ nhất) mà cộng sự sụt giảm điện áp Vtr_d được tính bởi bộ phận tính Vtr 62 với sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz 61.

Ký hiệu tham chiếu 82 là bộ cộng (bộ cộng thứ hai) mà cộng sự sụt giảm điện áp Vtr_q được tính bởi bộ phận tính Vtr 62 với sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz 61.

Ký hiệu tham chiếu 83 là bộ phận tính $\sin^{-1}$ mà tính pha điện áp đầu ra δ bằng cách tính biểu thức (16) sau dựa vào kết quả của bộ cộng 82 và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |V|*.

Biểu thức 16

$$\delta = \sin^{-1}\left(\frac{V_{z_q} + V_{tr_q}}{|V|^*}\right) \qquad \ldots (16)$$

Ký hiệu tham chiếu 84 là bộ phận tính cos mà tính cos δ mà là thành phần cos của pha điện áp đầu ra δ.

Ký hiệu tham chiếu 85 là bộ nhân mà nhân trị số lệnh biên độ điện áp |V|* với kết quả của bộ phận tính cos 84.

Ký hiệu tham chiếu 86 là bộ cộng (bộ cộng thứ ba) mà, bằng cách cộng kết quả phép cộng của bộ cộng 81 với kết quả của bộ nhân 85, đưa ra điện áp cảm ứng bên trong Ef_d của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp hệ thống (điện áp điểm kết nối của hệ thống điện (lưới điện)) Vsys là |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef cũng tồn tại trên trục d và sự giảm biên độ giữa sự sụt giảm điện áp Vtr do máy biến áp 4 được bù.

Ký hiệu tham chiếu 87 là bộ trừ mà, bằng cách trừ sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz 61 từ điện áp cảm ứng bên trong Ef_d được đưa ra từ bộ cộng 86, đưa ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp hệ thống (điện áp điểm kết nối của hệ thống điện (lưới điện)) Vsys là |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d và ngoài ra sự giảm biên độ giữa sự sụt giảm điện áp Vtr do máy biến áp 4 được bù.

Ký hiệu tham chiếu 88 là bộ đảo cực tính mà đảo cực của sự sụt giảm điện áp Vz_q được đưa ra từ bộ phận tính Vz 61. Kết quả của bộ đảo cực tính 88 là kết quả như trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_q*. Ở đây, điện áp cảm ứng bên trong Ef_q bằng 0.

Trong hệ thống được tạo cấu hình như nêu trên, theo cách tương tự như phương án 5, sự sụt giảm điện áp Vz bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs thu được từ biểu thức (1) sau. Tương tự, theo cách tương tự như phương án 5, sự sụt giảm điện áp Vtr do máy biến áp kết nối 4 thu được từ biểu thức sau 11.

Biểu thức 1

$$\dot{V_Z} = \begin{bmatrix} V_{Z_d} \\ V_{Z_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \qquad \cdots (1)$$

Biểu thức 11

$$\dot{V_{tr}} = \begin{bmatrix} V_{tr_d} \\ V_{tr_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Rtr & -Xtr \\ Xtr & Rtr \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \qquad \cdots (11)$$

Từ sự sụt giảm điện áp Vz và Vtr, điểm hoạt động mà tại đó biên độ điện áp hệ thống (Vsys) là |V|* và điện áp cảm ứng bên trong Ef cũng được bố trí trên trục d có thể được xác định là duy nhất (chỉ có một), và nó trở thành các biểu thức từ (16) đến (19) sau.

Biểu thức 16

$$\delta = \sin^{-1}\left(\frac{V_{Z_q} + V_{tr_q}}{|V|^*}\right) \qquad \ldots (16)$$

Biểu thức 17

$$\dot{E}_f = \begin{bmatrix} |V|^* cos\delta + V_{tr_d} + V_{Z_d} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \ldots (17)$$

Biểu thức 18

$$\dot{V}_{sys} = \dot{E}_f - \dot{V}_Z - \dot{V}_{tr} = \begin{bmatrix} |V|^* cos\delta \\ -V_{Z_q} - V_{tr_q} \end{bmatrix} \quad \cdots (18)$$

Biểu thức 19

$$\dot{V}_{ac}{}^* = \dot{E}_f - \dot{V}_Z = \begin{bmatrix} |V|^* cos\delta + V_{tr_d} \\ -V_{Z_q} \end{bmatrix} \quad \ldots (19)$$

Biểu thức (16) nêu trên có thể thu được nhờ bộ phận tính $\sin^{-1}$ 83 trên Fig.17. Biểu thức (17) nêu trên có thể thu được nhờ bộ cộng 86 trên Fig.17. Biểu thức (18) nêu trên không liên quan đến mối quan hệ giữa các vectơ Vsys, Ef, Vz và Vtr trên Fig.16. Ngoài ra, biểu thức (19) nêu trên không liên quan đến mối quan hệ giữa các vectơ Ef, Vz và Vac* trên Fig.16.

Như được nêu trên, theo phương án 6, bằng cách tính liên tiếp, theo dòng điện tải, trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp hệ thống Vsys là trị số lệnh biên độ điện áp |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef được bố trí trên trục d và ngoài ra sự giảm biên độ giữa sự sụt giảm điện áp do máy biến áp kết nối được bù, có thể mô phỏng sự sụt giảm điện áp gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo và tái tạo điện đồng bộ trong khi duy trì biên độ điện áp hệ thống không đổi ngay cả tại thời điểm dao động tải.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện bao gồm bộ chuyển đổi điện mà điều khiển máy phát đồng bộ ảo mô phỏng máy phát đồng bộ và chuyển đổi điện DC của nguồn điện DC thành điện AC, trong đó đầu ra của bộ chuyển đổi điện được kết nối với lưới điện thông qua bộ lọc LC, hệ thống điều khiển bao gồm:

khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình để thu vào trị số phát hiện dòng điện đầu ra thu được bằng cách phát hiện dòng điện đầu ra của bộ chuyển đổi điện và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt, mô phỏng sự sụt giảm điện áp được tạo ra bởi luồng dòng điện đầu ra của bộ chuyển đổi điện tới trở kháng đồng bộ ảo, và tính trị số lệnh điện áp đầu ra và điện áp cảm ứng bên trong của máy phát đồng bộ ảo theo sự sụt giảm điện áp được mô phỏng;

mô hình máy phát đồng bộ ảo được tạo cấu hình để xác định tần số góc mô phỏng máy phát đồng bộ; và

bộ phận điều khiển điện áp đầu ra được tạo cấu hình để thực hiện việc điều khiển dựa vào tần số góc được xác định bởi mô hình máy phát đồng bộ ảo sao cho điện áp đầu ra của hệ thống chuyển đổi điện trùng với trị số lệnh điện áp đầu ra được tính bởi khối bù trở kháng đồng bộ ảo.

2. Hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 1, trong đó:

khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình để, từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|*, tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và điện áp cảm ứng bên trong Ef cũng tồn tại trên trục d, với điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt làm pha quy chiếu.

3. Hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 1, trong đó:

khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình để, từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs và trị số lệnh biên độ điện áp

được thiết đặt |Vac|*, tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* cũng tồn tại trên trục d, với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được thiết đặt làm pha quy chiếu.

4. Hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 1, trong đó:

khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình để, với điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt làm pha quy chiếu,

tính sự chênh lệch pha δ từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs và điện áp cảm ứng bên trong được tính trong chu trình điều khiển trước đó,

tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|* với sự chênh lệch pha δ, và

tính điện áp cảm ứng bên trong Ef từ trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính, trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac và trở kháng đồng bộ ảo Zs.

5. Hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 1, trong đó:

khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình để, với điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt làm pha quy chiếu,

tính sự chênh lệch pha δ từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|*,

tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |Vac|* với sự chênh lệch pha δ, và

tính điện áp cảm ứng bên trong Ef từ trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính, trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac và trở kháng đồng bộ ảo Zs.

6. Hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 2, trong đó:

khối bù trở kháng đồng bộ ảo bao gồm

bộ phận tính Vz được tạo cấu hình để tính các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q;

Biểu thức 1

$$\dot{V_Z} = \begin{bmatrix} V_Z_d \\ V_Z_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac}_d \\ I_{ac}_q \end{bmatrix} \qquad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

bộ phận tính $\sin^{-1}$ được tạo cấu hình để tính pha điện áp đầu ra δ bằng cách tính biểu thức (2) sau dựa vào sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz và trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|*;

Biểu thức 2

$$\delta = sin^{-1}\left(\frac{V_Z_q}{|V_{ac}|^*}\right) \qquad \cdots (2)$$

bộ phận tính cos được tạo cấu hình để tính cos δ mà là thành phần cos của pha điện áp đầu ra δ;

bộ nhân được tạo cấu hình để, bằng cách nhân trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* với kết quả của bộ phận tính cos, thu được trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và điện áp cảm ứng bên trong Ef cũng tồn tại trên trục d; và

bộ cộng được tạo cấu hình để, bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* thu được nhờ bộ nhân, thu được điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và điện áp cảm ứng bên trong Ef cũng tồn tại trên trục d.

7. Hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 3, trong đó:

khối bù trở kháng đồng bộ ảo bao gồm:

bộ phận tính Vz được tạo cấu hình để tính các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q; và

Biểu thức 1

$$\dot{V}_Z = \begin{bmatrix} V_Z_d \\ V_Z_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac}_d \\ I_{ac}_q \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

bộ cộng được tạo cấu hình để, bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz với trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|*, thu được điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* là |Vac|* và trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* cũng tồn tại trên trục d.

8. Hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 4, trong đó:

khối bù trở kháng đồng bộ ảo bao gồm

bộ phận tính Vz được tạo cấu hình để tính các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q;

Biểu thức 1

$$\dot{V}_Z = \begin{bmatrix} V_Z_d \\ V_Z_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac}_d \\ I_{ac}_q \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

bộ đệm được tạo cấu hình để lưu trữ tạm thời điện áp cảm ứng bên trong Ef được tính trong mỗi chu trình điều khiển;

bộ phận tính $\tan^{-1}$ được tạo cấu hình để thu được sự chênh lệch pha δ bằng cách tính biểu thức (7) sau dựa vào điện áp cảm ứng bên trong Ef_d (Z^{-1}) được tính trong chu trình điều khiển trước đó và được lưu trữ trong bộ đệm và các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz;

Biểu thức 7

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{-V_{Z_q}}{E_f(z^{-1}) - V_{Z_d}}\right) \qquad \ldots (7)$$

bộ phận tính toán ma trận quay được tạo cấu hình để tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* với sự chênh lệch pha δ thu được bởi bộ phận tính $\tan^{-1}$ theo biểu thức (8) sau; và

Biểu thức 8

$$V_{ac}^{*} = \begin{bmatrix} V_{ac}^{*}_d \\ V_{ac}^{*}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta & -\sin\delta \\ \sin\delta & \cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} |V_{ac}|^{*} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |V_{ac}|^{*}\cos\delta \\ |V_{ac}|^{*}\sin\delta \end{bmatrix} \qquad \ldots (8)$$

bộ cộng được tạo cấu hình để tính điện áp cảm ứng bên trong Ef bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính bởi bộ phận tính toán ma trận quay.

9. Hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 5, trong đó:

khối bù trở kháng đồng bộ ảo bao gồm

bộ phận tính Vz được tạo cấu hình để tính các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q;

Biểu thức 1

$$\dot{V}_Z = \begin{bmatrix} V_{Z_d} \\ V_{Z_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

bộ phận tính $\tan^{-1}$ được tạo cấu hình để thu được sự chênh lệch pha δ bằng cách tính biểu thức (10) sau dựa vào trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* và các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz;

Biểu thức 10

$$\delta = tan^{-1}\left(\frac{-V_{Z_q}}{|V_{ac}|^* - V_{Z_d}}\right) \quad \cdots (10)$$

bộ phận tính toán ma trận quay được tạo cấu hình để tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số lệnh biên độ điện áp |Vac|* với sự chênh lệch pha δ thu được bởi bộ phận tính $\tan^{-1}$; và

bộ cộng được tạo cấu hình để tính điện áp cảm ứng bên trong Ef bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính bởi bộ phận tính toán ma trận quay.

10. Hệ thống điều khiển của hệ thống chuyển đổi điện bao gồm bộ chuyển đổi điện mà điều khiển máy phát đồng bộ ảo mô phỏng máy phát đồng bộ và chuyển đổi điện DC của nguồn điện DC thành điện AC, trong đó đầu ra của bộ chuyển đổi điện được kết nối với lưới điện thông qua bộ lọc LC và máy biến áp kết nối, hệ thống điều khiển bao gồm:

khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình để thu vào trị số phát hiện dòng điện đầu ra thu được bằng cách phát hiện dòng điện đầu ra của bộ chuyển đổi điện và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |V|*, mô phỏng các sự sụt giảm điện áp được tạo ra bởi luồng dòng điện đầu ra của bộ chuyển đổi điện tới trở kháng đồng bộ ảo và máy biến áp, và tính trị số lệnh điện áp đầu ra

Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của máy phát đồng bộ ảo theo các sự sụt giảm điện áp được mô phỏng;

mô hình máy phát đồng bộ ảo được tạo cấu hình để xác định tần số góc mô phỏng máy phát đồng bộ; và

bộ phận điều khiển điện áp đầu ra được tạo cấu hình để thực hiện việc điều khiển sao cho điện áp đầu ra Vac của hệ thống chuyển đổi điện trùng với trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* được tính bởi khối bù trở kháng đồng bộ ảo,

trong đó khối bù trở kháng đồng bộ ảo được tạo cấu hình để, từ trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac, trở kháng đồng bộ ảo Zs, trở kháng Ztr của máy biến áp và trị số lệnh biên độ điện áp được thiết đặt |V|*, tính trị số lệnh điện áp đầu ra Vac* và điện áp cảm ứng bên trong Ef của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp điểm kết nối Vsys của lưới điện là |V|* và điện áp cảm ứng bên trong Ef cũng tồn tại trên trục d, với điện áp cảm ứng bên trong Ef được thiết đặt làm pha quy chiếu.

11. Hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 10, trong đó:

khối bù trở kháng đồng bộ ảo bao gồm

bộ phận tính Vz được tạo cấu hình để tính các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac với pha bên trong mà được xác định từ tần số góc được xác định bởi mô hình máy phát đồng bộ ảo;

Biểu thức 1

$$\dot{V_Z} = \begin{bmatrix} V_Z_d \\ V_Z_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac}_d \\ I_{ac}_q \end{bmatrix} \qquad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

bộ phận tính Vtr được tạo cấu hình để tính sự sụt giảm điện áp Vtr gây ra bởi máy biến áp bằng cách tính biểu thức 11 sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q và trở kháng Ztr của máy biến áp;

Biểu thức 11

$$\dot{V_{tr}} = \begin{bmatrix} V_{tr_d} \\ V_{tr_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Rtr & -Xtr \\ Xtr & Rtr \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \quad \cdots (11)$$

(Ở đây, Rtr là thành phần điện trở của Ztr, và Xtr là thành phần điện kháng của Ztr)

bộ phận tính $\sin^{-1}$ được tạo cấu hình để tính pha điện áp lưới δ bằng cách tính biểu thức (12) sau dựa vào sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz 61 và trị số lệnh biên độ điện áp |V|*;

Biểu thức 12

$$\delta = \sin^{-1}\left(\frac{V_{z_q}}{|V|^*}\right) \quad \ldots (12)$$

bộ phận tính cos được tạo cấu hình để tính cos δ mà là thành phần cos của pha điện áp lưới δ;

bộ nhân được tạo cấu hình để nhân trị số lệnh biên độ điện áp |V|* với kết quả của bộ phận tính cos;

bộ cộng được tạo cấu hình để, bằng cách cộng sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz với kết quả phép nhân của bộ nhân, đưa ra điện áp cảm ứng bên trong Ef_d của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp điểm kết nối Vsys của lưới điện là |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d và việc bù cũng được thực hiện để triệt tiêu sự sụt giảm điện áp Vtr do máy biến áp;

bộ trừ thứ nhất được tạo cấu hình để trừ sự sụt giảm điện áp Vtr_d được tính bởi bộ phận tính Vtr từ sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz;

bộ trừ thứ hai được tạo cấu hình để, bằng cách trừ kết quả phép trừ của bộ trừ thứ nhất từ điện áp cảm ứng bên trong Ef_d được tính bởi bộ cộng, đưa ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp điểm kết nối Vsys của lưới điện là |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d và việc bù cũng được thực hiện để triệt tiêu sự sụt giảm điện áp Vtr do máy biến áp;

bộ trừ thứ ba được tạo cấu hình để trừ sự sụt giảm điện áp Vtr_q được tính bởi bộ phận tính Vtr từ sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz; và

bộ đảo cực tính được tạo cấu hình để đảo cực của kết quả độ lệch của bộ trừ thứ ba và đưa ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_q*, và

việc điều khiển của bộ phận điều khiển điện áp đầu ra được thực hiện trên hệ tọa độ d-q thu được bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay với pha bên trong mà được xác định từ tần số góc được xác định bởi mô hình máy phát đồng bộ ảo.

12. Hệ thống điều khiển hệ thống chuyển đổi điện theo điểm 10, trong đó:

khối bù trở kháng đồng bộ ảo bao gồm

bộ phận tính Vz được tạo cấu hình để tính các sự sụt giảm điện áp Vz_d và Vz_q gây ra bởi trở kháng đồng bộ ảo Zs bằng cách tính biểu thức (1) sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay của trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac với pha bên trong mà được xác định từ tần số góc được xác định bởi mô hình máy phát đồng bộ ảo;

Biểu thức 1

$$\dot{V_Z} = \begin{bmatrix} V_{Z_d} \\ V_{Z_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

(Ở đây, r là thành phần điện trở của Zs, và x là thành phần điện kháng của Zs)

bộ phận tính Vtr được tạo cấu hình để tính sự sụt giảm điện áp Vtr gây ra bởi máy biến áp bằng cách tính biểu thức 11 sau dựa vào trị số phát hiện dòng điện trục d Iac_d và trị số phát hiện dòng điện trục q Iac_q, mỗi trị số thu được bằng cách chuyển đổi trị số phát hiện dòng điện đầu ra Iac thành trục d và trục q và trở kháng Ztr của máy biến áp;

Biểu thức 11

$$\dot{V_{tr}} = \begin{bmatrix} V_{tr_d} \\ V_{tr_q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Rtr & -Xtr \\ Xtr & Rtr \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ac_d} \\ I_{ac_q} \end{bmatrix} \quad \cdots (11)$$

(Ở đây, Rtr là thành phần điện trở của Ztr, và Xtr là thành phần điện kháng của Ztr)

bộ cộng thứ nhất được tạo cấu hình để cộng sự sụt giảm điện áp Vtr_d được tính bởi bộ phận tính Vtr với sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz;

bộ cộng thứ hai được tạo cấu hình để cộng sự sụt giảm điện áp Vtr_q được tính bởi bộ phận tính Vtr với sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz;

bộ phận tính $\sin^{-1}$ được tạo cấu hình để tính pha điện áp lưới δ bằng cách tính biểu thức sau dựa vào kết quả phép cộng của bộ cộng thứ hai và trị số lệnh biên độ điện áp |V|*;

Biểu thức 16

$$\delta = \sin^{-1}\left(\frac{V_{Z_q} + V_{tr_q}}{|V|^*}\right) \quad \ldots (16)$$

bộ phận tính cos được tạo cấu hình để tính cos δ mà là thành phần cos của pha điện áp lưới δ;

bộ nhân được tạo cấu hình để nhân trị số lệnh biên độ điện áp |V|* với kết quả của bộ phận tính cos;

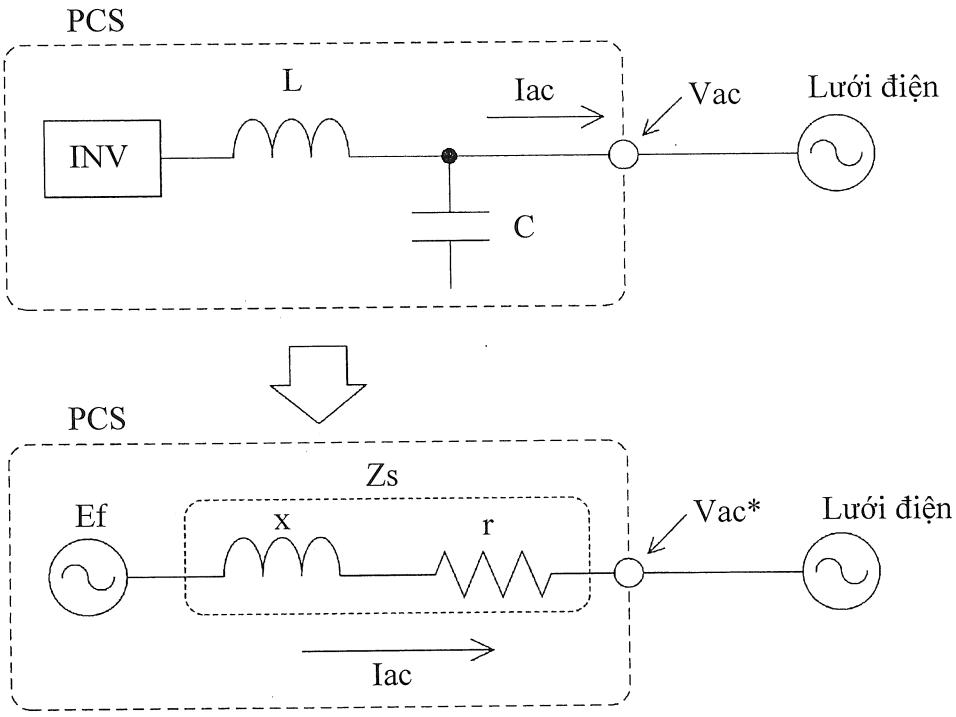
bộ cộng thứ ba được tạo cấu hình để, bằng cách cộng kết quả phép cộng của bộ cộng thứ nhất với kết quả phép nhân của bộ nhân, đưa ra điện áp cảm ứng bên trong Ef_d của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp điểm kết nối Vsys của lưới điện là |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d và ngoài ra sự giảm biên độ giữa sự sụt giảm điện áp (Vtr) do máy biến áp được bù;

bộ trừ được tạo cấu hình để, bằng cách trừ sự sụt giảm điện áp Vz_d được tính bởi bộ phận tính Vz từ điện áp cảm ứng bên trong Ef_d được tính bởi bộ cộng thứ ba, đưa ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_d* của điểm hoạt động mà tại đó biên độ của điện áp điểm kết nối Vsys của lưới điện là |V|*, điện áp cảm ứng bên trong Ef tồn tại trên trục d và ngoài ra sự giảm biên độ giữa sự sụt giảm điện áp do máy biến áp được bù; và

bộ đảo cực tính được tạo cấu hình để đảo cực của sự sụt giảm điện áp Vz_q được tính bởi bộ phận tính Vz và đưa ra trị số lệnh điện áp đầu ra Vac_q*, và

việc điều khiển của bộ phận điều khiển điện áp đầu ra được thực hiện trên hệ tọa độ d-q thu được bằng cách thực hiện việc chuyển đổi tọa độ quay với pha bên trong mà được xác định từ tần số góc được xác định bởi mô hình máy phát đồng bộ ảo.

Fig.1



Mô hình trở kháng ảo

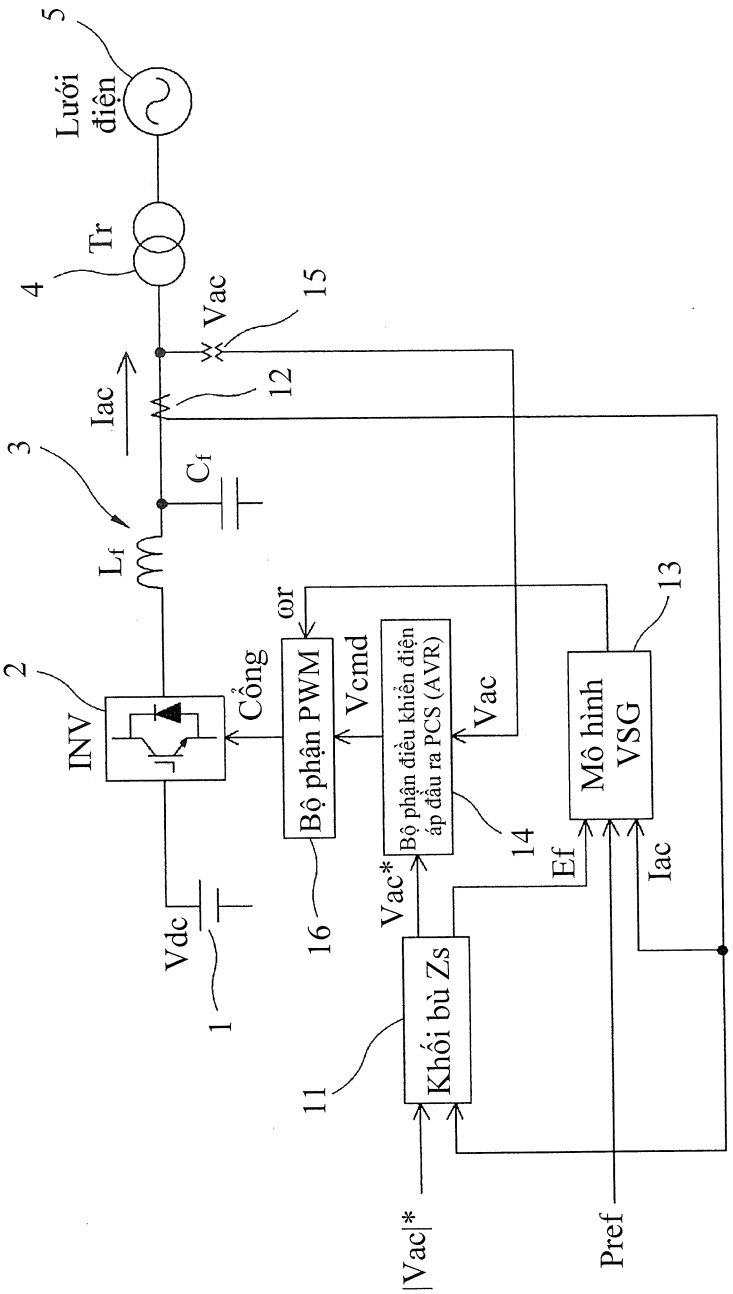
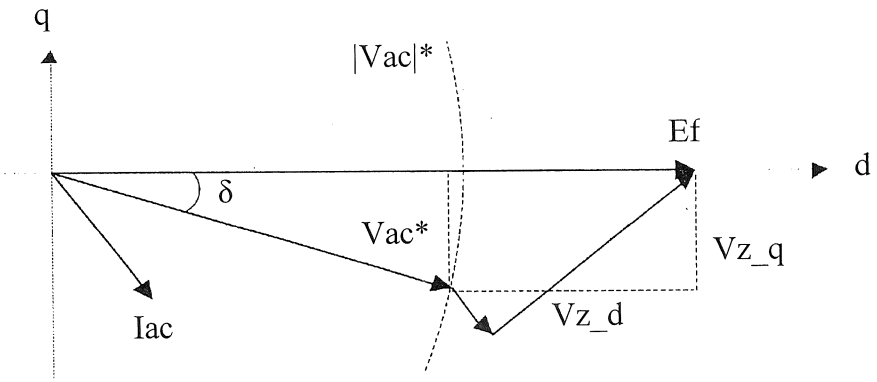


Fig.2

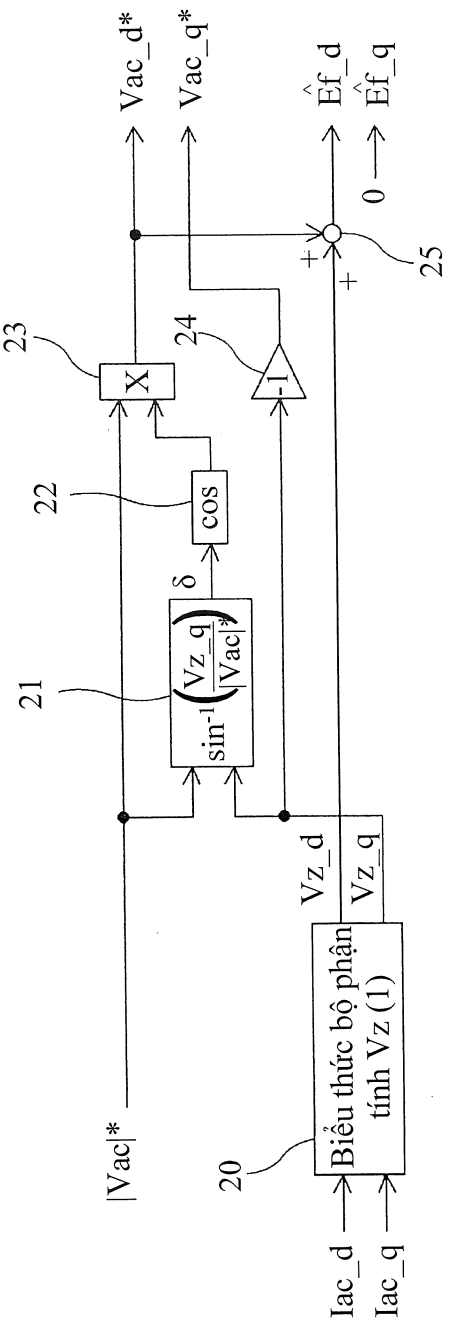
Cấu hình chung

Fig.3



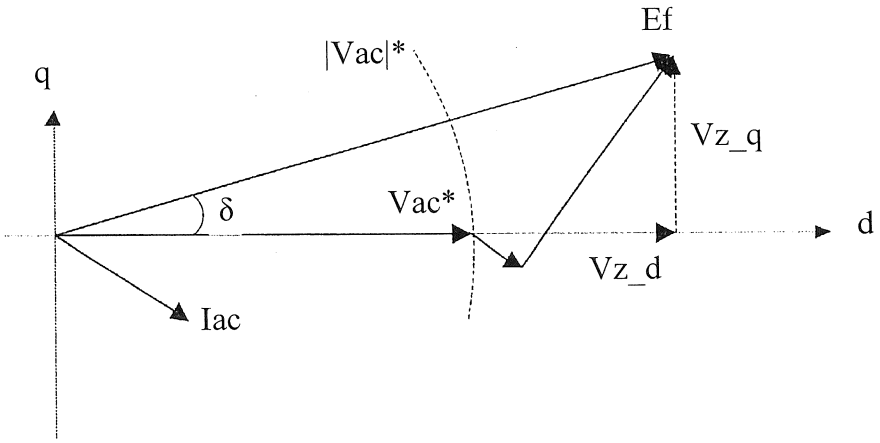
Sơ đồ vectơ của mô hình trở kháng đồng bộ ảo (Phương án 1)

Fig.4



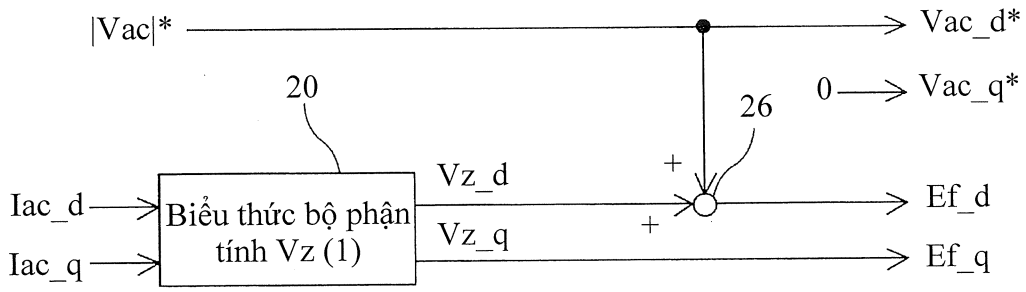
Sơ đồ khối của khối bù Zs (Phương án 1)

Fig.5



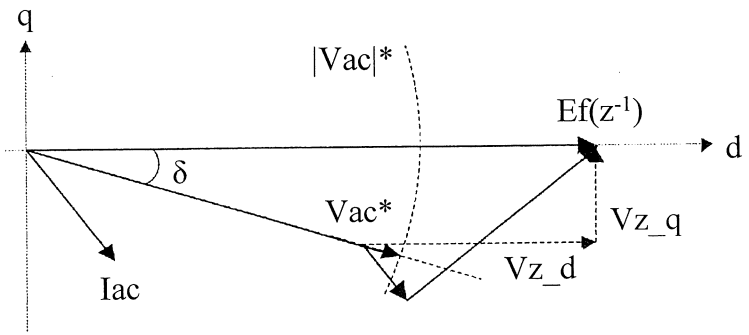
Sơ đồ vectơ của mô hình trở kháng đồng bộ ảo (Phương án 2)

Fig.6



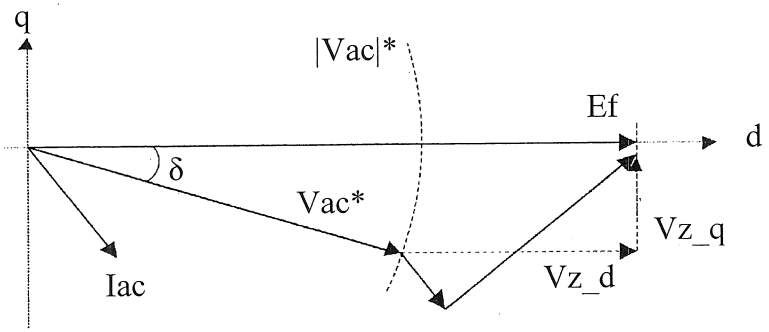
Sơ đồ khối của khối bù Zs (Phương án 2)

Fig.7A



Tính Vac*

Fig.7B



Tính Ef

Sơ đồ vectơ của mô hình trở kháng đồng bộ ảo (Phương án 3)

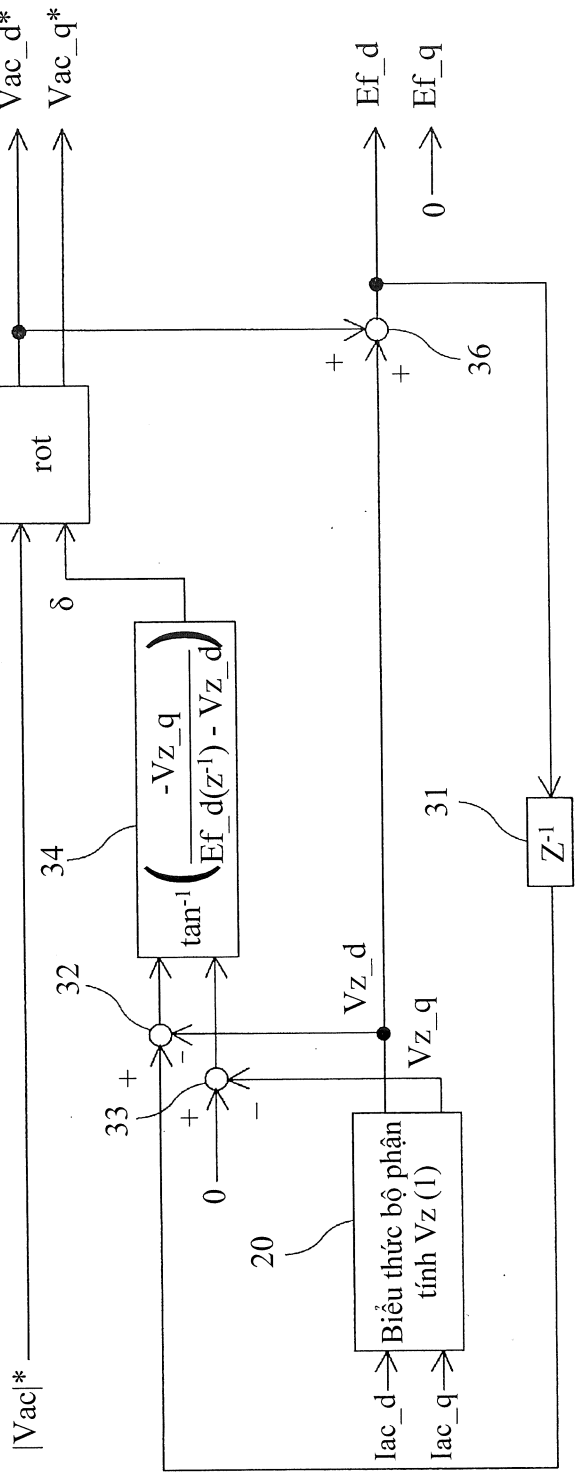


Fig.8

Sơ đồ khối của khối bù Zs (Phương án 3)

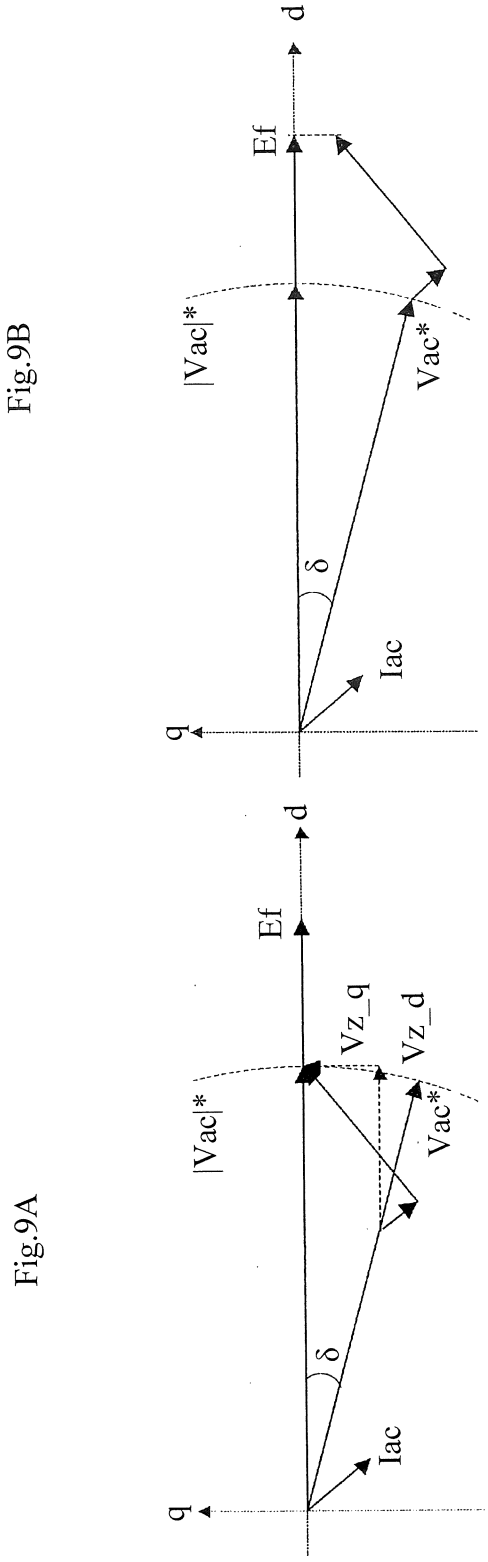
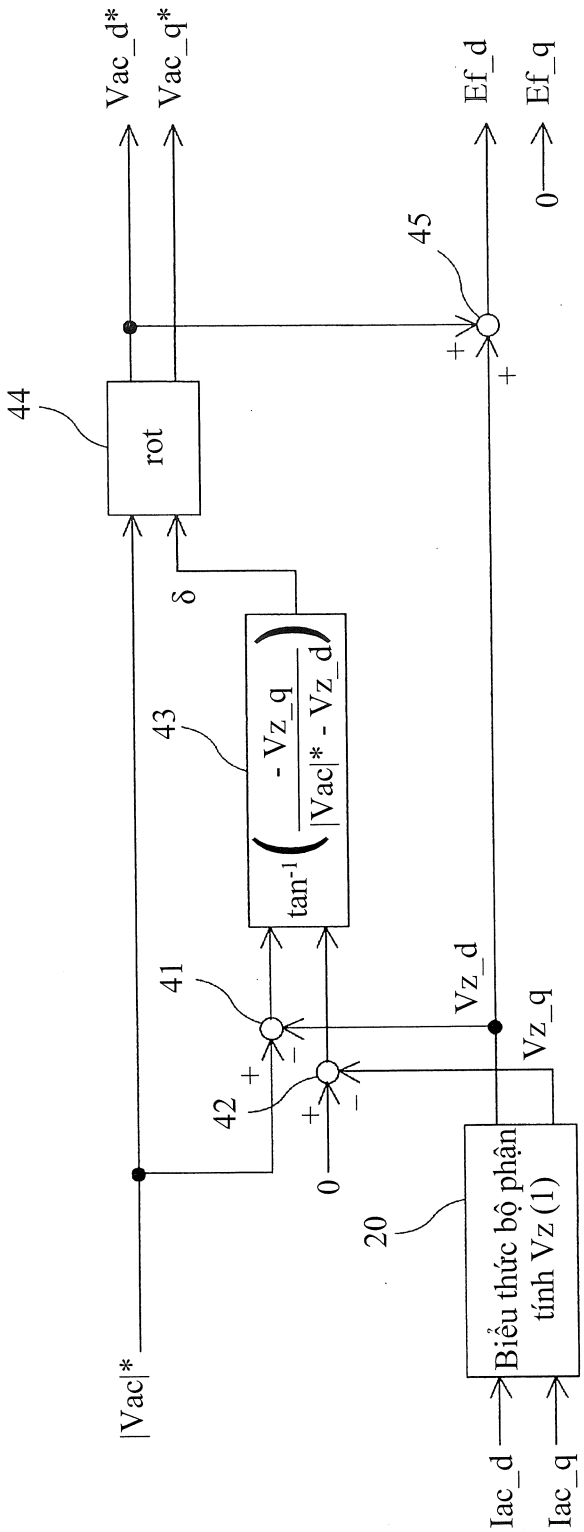


Fig.9B

Fig.9A

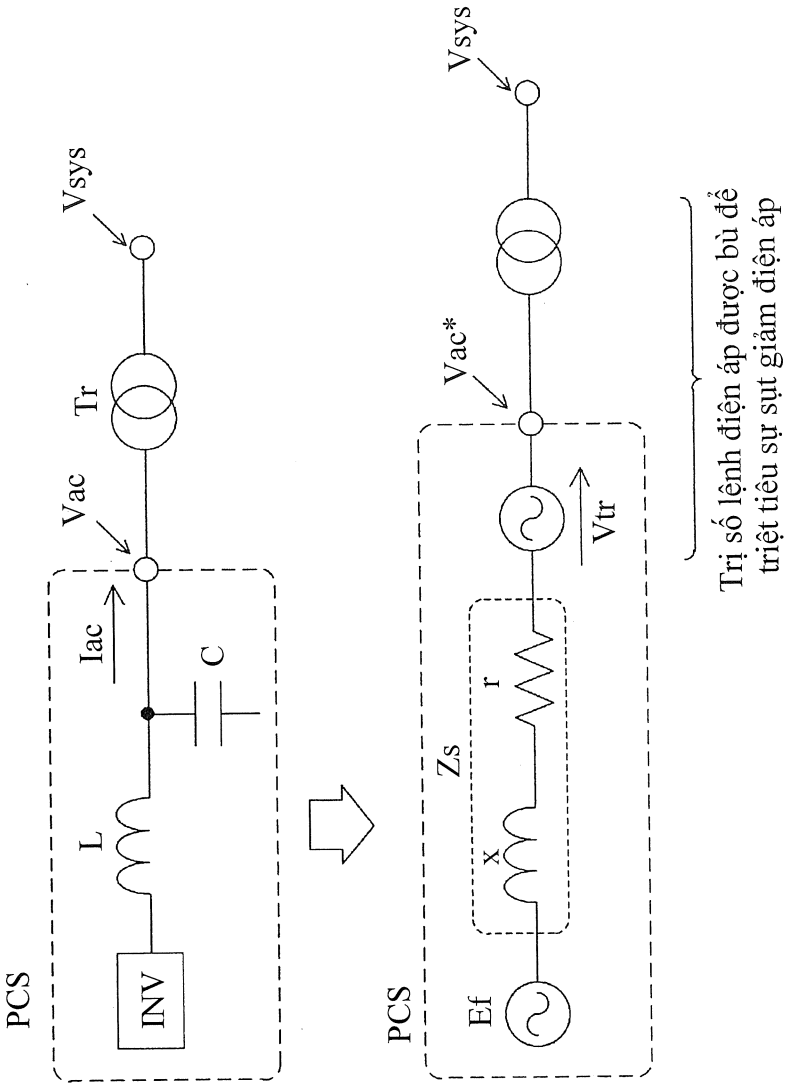
Sơ đồ vectơ của mô hình trở kháng đồng bộ ảo (Phương án 4)

Fig.10



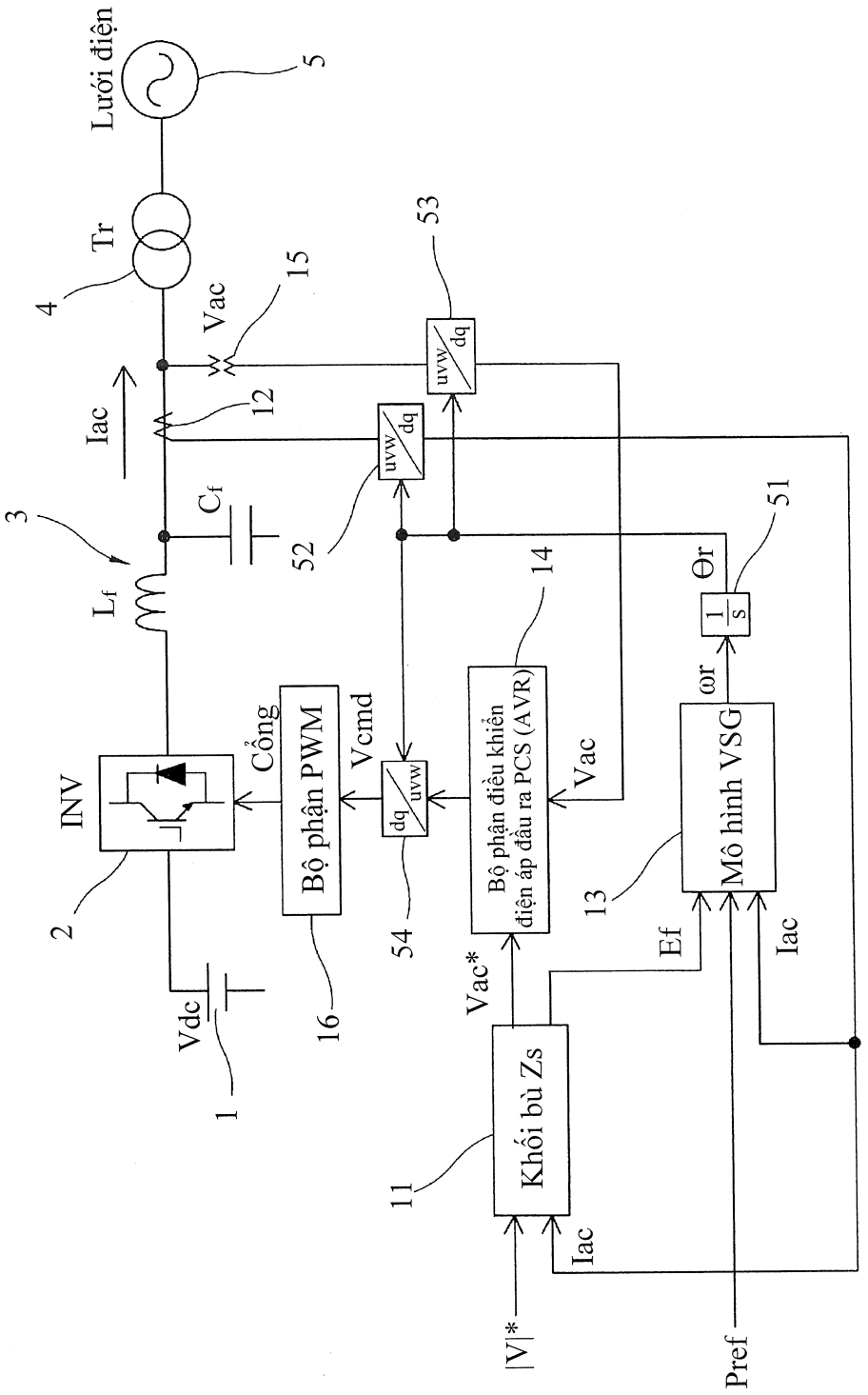
Sơ đồ khối của khối bù Zs (Phương án 4)

Fig.11



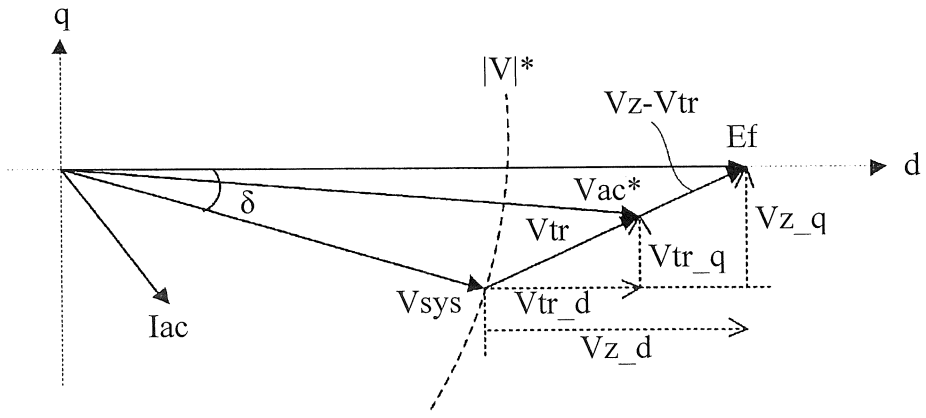
Mô hình trở kháng ảo (Phương án 5)

Fig.12



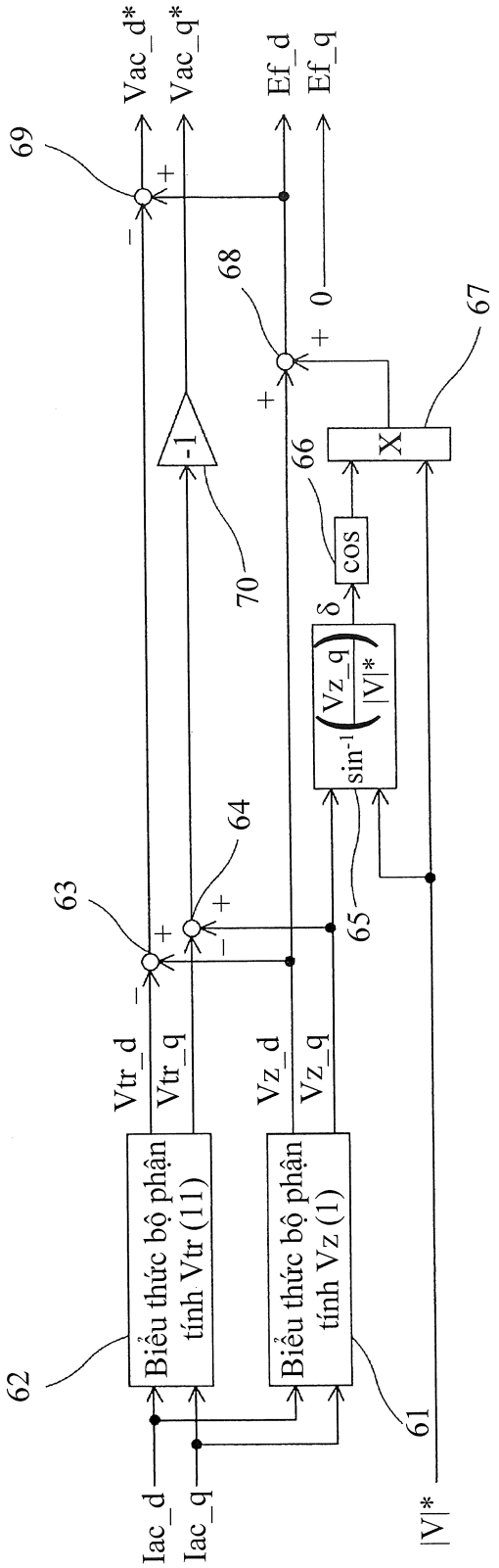
Cấu hình chung

Fig.13



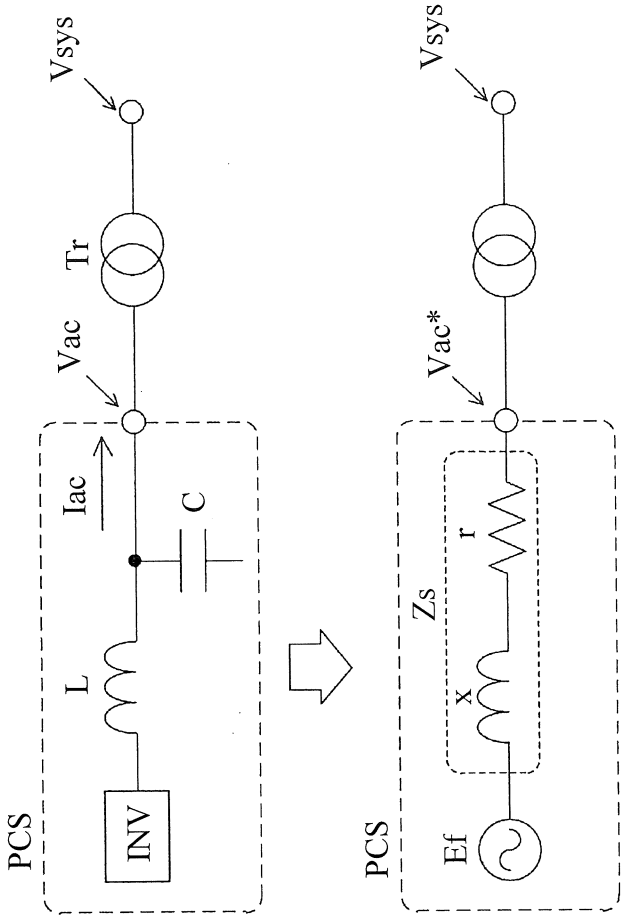
Sơ đồ vectơ của mô hình trở kháng đồng bộ ảo (Phương án 5)

Fig.14



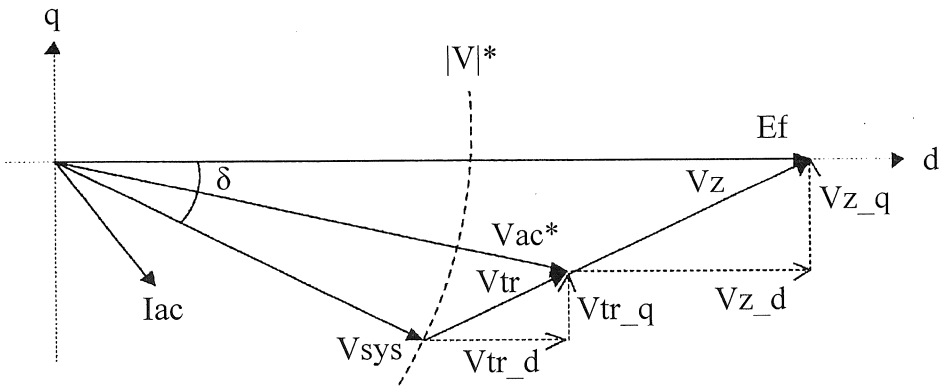
Sơ đồ khối của khối bù Zs (Phương án 5)

Fig.15



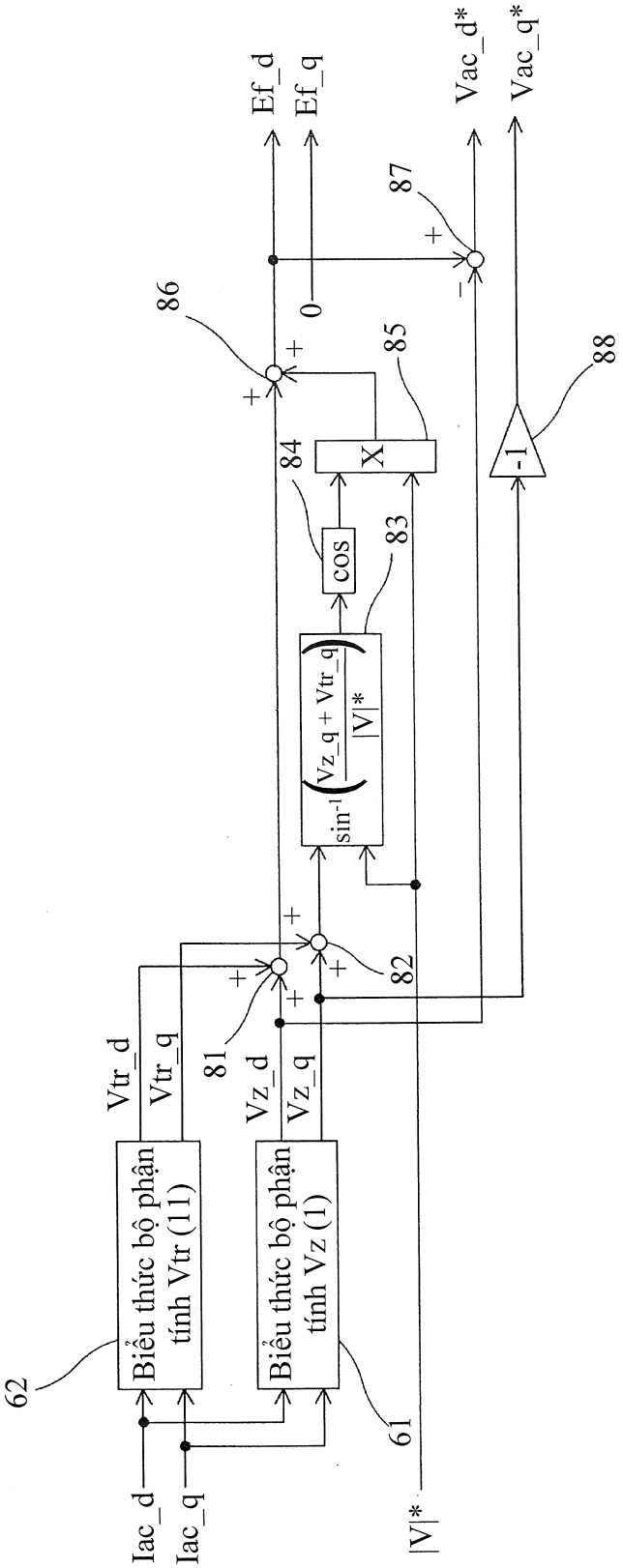
Mô hình trở kháng ảo (Phương án 6)

Fig.16



Sơ đồ vectơ của mô hình trở kháng đồng bộ ảo (Phương án 6)

Fig.17



Sơ đồ khối của khối bù Zs (Phương án 6)