GIẢI PHÁP ỔN ĐỊNH NHANH ĐIỆN ÁP BẰNG BỘ BÙ NỐI TIẾP ĐẢM BẢO HOẠT ĐỘNG CHO CÁC THIẾT BỊ Y TẾ TRƯỚC SỰ CỐ TĂNG GIẢM ĐIỆN ÁP LƯỚI DÀI HẠN

Trần Duy Trinh[1*], Bùi Trung Tuyến[1], Võ Tiến Trung[1], Ngô Thị Lê[1], Nguyễn Thanh Long[1], Nguyễn Văn Tiến[2], Thái Hữu Nguyên[1]

Tóm tắt: *Bộ bù nối tiếp là một thiết bị điện được sử dụng trong hệ thống phân phối để cải thiện chất lượng điện năng. Chức năng chính của nó là giảm thiểu sự tăng/giảm điện áp lưới có thể ảnh hưởng đến phụ tải nhạy cảm. Thiết bị y tế là một trong những phụ tải đòi hỏi chất lượng điện áp cao. Mặc dù sở hữu hệ thống ổn định điện áp bên trong, tuy nhiên, trong trường hợp ngắn mạch xảy ra trên lưới gần tải, nó dẫn đến tăng/giảm điện áp nhanh chóng, vượt quá giới hạn của thiết bị. Đặc biệt trong trường hợp hiện tượng tăng/giảm điện áp nhanh có nhảy góc pha và xảy ra trong một thời gian dài, nó có thể ảnh hưởng đến hoạt động của thiết bị (không chính xác của bộ điều khiển, ngắt tải). Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một giải pháp sử dụng cấu trúc của bộ chuyển đổi AC-DC để cung cấp năng lượng ở chế độ sụt giảm điện áp dài hạn và bộ chuyển đổi DC-AC để tạo ra điện áp bù cho thiết bị. Một thuật toán và cấu trúc điều khiển cũng được đề xuất để đảm bảo chức năng bù nhanh và chính xác của bộ bù nối tiếp. Hiệu quả của phương pháp được thể hiện bằng kết quả mô phỏng trong MATLAB/Simulink.*

Từ khóa: Bộ bù nối tiếp; Tăng/giảm điện áp; Bộ biến đổi; MATLAB/Simulink.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chất lượng điện áp từ lâu là vấn đề được quan tâm trong các chỉ tiêu chất lượng của hệ thống điện. Các sự cố ngắn mạch trên lưới điện cũng như việc sử dụng nhiều thiết bị trong cùng một hệ thống đã gây ra các vấn đề cho lưới điện như: tăng/giảm điện áp, nhảy góc pha, sóng hài... Các thiết bị y tế sử dụng điện trong bệnh viện càng ngày càng phổ biến, đây là các tải quan trọng nhưng lại rất nhạy cảm với các vấn đề liên quan đến chất lượng điện năng. Do đó, việc đảm bảo chất lượng điện năng trong hệ thống điện ở các bệnh viện càng trở nên cần thiết [4].

Bộ bù nối tiếp thực hiện việc ổn định và điều chỉnh điện áp trên tải dựa trên ý tưởng là khi có sự cố tăng/giảm điện áp nó sẽ tạo ra một điện áp bù có biên độ, tần số, góc pha phù hợp. Điện áp này được đưa vào giữa điểm kết nối nguồn và tải thông qua một máy biến áp nối tiếp. Điện áp bù này được tính toán tức thời và chính xác dựa trên một thuật toán điều khiển nhằm tạo ra điện áp trên tải đúng bằng giá trị mong muốn, đảm bảo cho tải hoạt động bình thường. Để thực hiện được việc này, thiết bị bù cần sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất, máy biến áp nối tiếp, bộ lọc và một cấu trúc điều khiển phù hợp để có thể bù và ổn định được điện áp tải một cách nhanh chóng trong khoảng thời gian từ 0.01s đến 0.04s (1/2 chu kỳ đến 2 chu kỳ lưới) mà các thiết bị ổn áp thông thường khó có thể thực hiện được.

Các nghiên cứu liên quan, trong và ngoài nước về vấn đề này có thể kể đến các công trình [1- 6]. Trong các công trình này chủ yếu đề cập đến bù sụt giảm điện áp động trong thời gian ngắn với việc sử dụng một hệ thống lưu trữ năng lượng độc lập như acqui, tụ điện, bánh đà,... cho bộ bù nối tiếp [4]. Giải pháp này có nhược điểm là các bộ lưu trữ có giới hạn về khả năng lưu trữ. Đồng thời, chúng thường có giá thành cao và thường xuyên phải bảo trì.

Trong nội dung bài báo này, nhóm nghiên cứu đề xuất sử dụng một cấu trúc bộ bù nối tiếp không dùng hệ thống lưu trữ năng lượng độc lập. Thay vào đó, sử dụng một bộ biến đổi

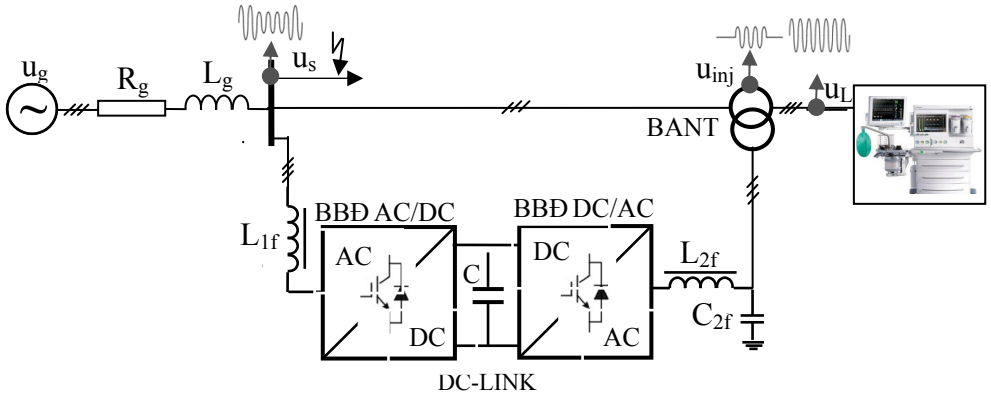
AC/DC kết nối song song với lưới điện, kết hợp với bộ tụ DC-Link tạo bộ phận cấp năng lượng cho bộ bù nối tiếp. Với giải pháp này đảm bảo cho bộ bù nối tiếp hoạt động liên tục lâu dài mà không lo về giới hạn của bộ lưu trữ năng lượng như các hệ thống kể trên.

2. CẤU TRÚC BỘ BÙ NỐI TIẾP VÀ ĐIỀU KHIỂN

2.1. Cấu trúc bộ bù nối tiếp

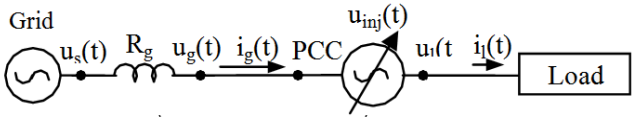
Cấu trúc bộ bù nối tiếp một pha bao gồm một bộ chỉnh lưu một pha kết nối với bộ nghịch lưu nối lưới thông qua DC-Link như trình bày trong hình 1. Trong sơ đồ: u_g, R_g, L_g lần lượt là điện áp nguồn, trở kháng nguồn và cảm kháng nguồn; u_s là điện áp lưới; u_{inj} là điện áp bù của bộ bù nối tiếp; u_L là điện áp tải.

Bộ chỉnh lưu bao gồm cuộn cảm lọc đầu vào L_{f1} và bộ biến đổi AC/DC sử dụng IGBT (trường hợp có điều khiển) hoặc diode (trường hợp không điều khiển). Bộ biến đổi nghịch lưu DC-AC kết nối bộ lọc LC (L_{2f} và C_{2f}) trước khi đưa vào biến áp bù (BANT). Bộ tụ C được sử dụng để cấu thành nên bộ DC-Link.



Hình 1. *Sơ đồ cấu trúc các thành phần lực của bộ bù nối tiếp [2].*

Bộ bù nối tiếp làm việc tương đương như một nguồn áp nối nối tiếp giữa nguồn và tải (hình 2), nguồn điện áp này có độ lớn, góc pha và tần số điều chỉnh được.



Hình 2. *Sơ đồ mô tả nguyên lý hoạt động của bộ bù nối tiếp [6].*

Trên hình 3 là đồ thị vector mô tả nguyên lý của phương pháp bù điện áp của bộ bù nối tiếp. Các véc tơ trên hình 3 được ký hiệu như sau: $U_{S\text{-}Presag}$ là vector điện áp nguồn trước khi sụt giảm điện áp, $U_{s\text{-}Postsag}$ là vector điện áp nguồn trong khi sụt giảm, U_{inj} là vector điện áp được bù vào bởi bộ bù nối tiếp, U_L là vector điện áp tải định mức, U_L' là vector điện áp tải sau khi được phục hồi, I_L là vector dòng điện tải; I_L' là vector dòng điện tải sau khi điện áp tải được khôi phục, $\theta_{S\text{-}postsag}$ là góc pha trong khi sụt giảm, $\theta_{S\text{-}Presag}$ là góc pha trước khi sụt giảm, θ_{inj} góc pha của điện áp bù vào của bộ bù nối tiếp, δ góc nhảy pha trong khi sụt giảm điện áp ($\delta = \theta_{S\text{-}postsag} - \theta_{S\text{-}Presag}$) [5, 6].

Trong phương pháp này, điện áp U_{inj} do bộ bù nối tiếp phát ra được tính toán trong hai trường hợp:

- Trường hợp sụt giảm điện áp không có dịch góc pha $\delta = 0$ độ lớn điện áp $|U_{inj}|$ bằng:

$$\left|U_{inj}\right| = \left|U_{S-presag}\right| - \left|U_{S-Postsag}\right| \quad (1)$$

- Trường hợp các sụt giảm điện áp có dịch góc pha δ ≠ 0, độ lớn điện áp $|U_{inj}|$ tăng khi góc giảm δ tăng và được xác định từ công thức:

$$\left|U_{inj}\right| = \sqrt{U^2_{S-\Pr esag} + U^2_{S-Postsag} - 2U_{S-presag}U_{S-Postsag}.Cos(\theta_{S-Postsag} - \theta_{S-\Pr esag})} \quad (2)$$

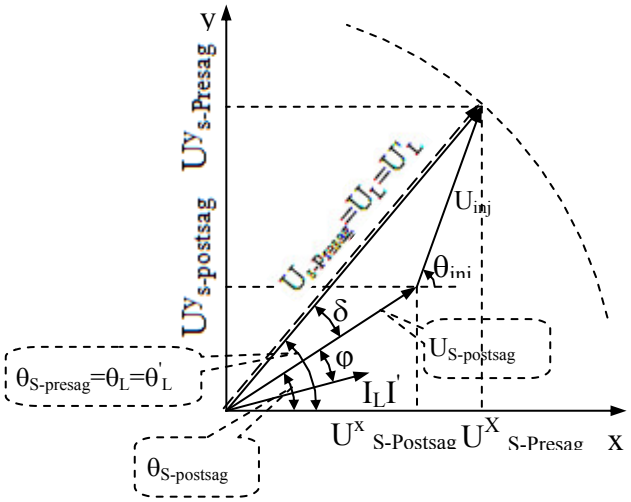
Góc pha của điện áp bù vào U_{inj} được xác định theo biểu thức:

$$\theta_{inj} = \tan^{-1}\frac{U_{S-\Pr esag}.\sin(\theta_{S-\Pr esag})}{U_{S-\Pr esag}.\cos(\theta_{S-\Pr esag}) - U_{S-Postsag}.Cos(\theta_{S-Postsag})} \quad (3)$$

Công suất tác dụng cần thiết bơm vào lưới khi sử dụng phương pháp này được xác định theo biểu thức:

$$P_{inj} = \sqrt{3}\left|U_{inj}\right|\left|I_L\right|\cos(\theta_L + \theta_{inj}) \quad (4)$$

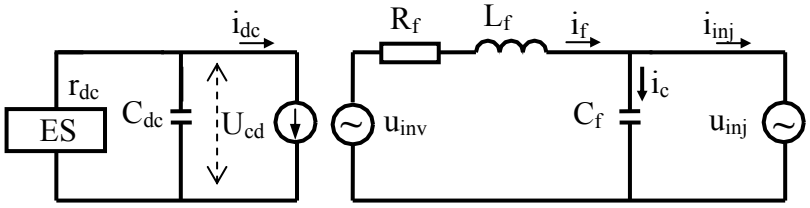
Từ (4) cho biết công suất tác dụng P_{inj} mà bộ bù nối tiếp cần có để bơm vào lưới khi xảy ra một sự cố tăng/giảm điện áp, phụ thuộc vào các tham số như độ lớn điện áp bù (Uinj), góc pha điện áp bù (θ_{inj}), góc pha điện áp tải (θ_L) và độ lớn dòng điện tải (I_L).



Hình 3. *Đồ thị vector mô tả nguyên lý phương pháp bù sụt giảm điện áp [1, 5].*

2.2. Mô hình bộ bù nối tiếp

Mạch điện tương đương bộ bù nối tiếp một pha được biểu diễn trong hình 4.



Hình 4. *Mô hình một pha của bộ bù nối tiếp [1].*

Trong đó, u_{inv} và i_f, là điện áp và dòng điện của Bộ biến đổi nghịch lưu DC-AC, i_c là dòng điện tụ lọc, u_{inj}, và i_{inj} là điện áp và dòng điện bơm vào của bộ bù nối tiếp. Điện áp DC-link ký hiệu là u_{dc} và u_L là điện áp tải. Giả thiết điện áp bù vào bằng điện áp trên các tụ

điện của bộ lọc đầu ra bộ nghịch lưu DC-AC (tức là máy biến áp nối tiếp được coi là lý tưởng với tỷ lệ 1:n, $u_{inj}(t)=n.u_{cf}(t)$ và $i_{inj}(t)=n.i_s(t)$. Từ sơ đồ ở hình 4, ta viết được các phương trình vi phân một pha của bộ bù nối tiếp như sau:

$$\begin{aligned} i_f(t) &= i_{Cf}(t) + i_{inj}(t) = C_f \frac{d}{dt} u_{inj}(t) + i_{inj}(t) \\ u_{inj}(t) &= u_{inv}(t) - R_f i_f(t) - L_f \frac{d}{dt} i_f(t) \end{aligned} \tag{5}$$

Áp dụng chuyển đổi Clarke [5] có thể viết các phương trình trong hệ tọa độ αβ như (6) và (7).

$$\frac{d}{dt} i_f^{(\alpha\beta)}(t) = \frac{1}{L_f} u_{inv}^{(\alpha\beta)}(t) - \frac{1}{L_f} u_{inj}^{(\alpha\beta)}(t) - \frac{1}{L_f} R_f i_f^{(\alpha\beta)}(t) \tag{6}$$

$$\frac{d}{dt} u_{inj}^{(\alpha\beta)}(t) = \frac{1}{C_f} i_f^{(\alpha\beta)}(t) - \frac{1}{C_f} i_{inj}^{(\alpha\beta)}(t) \tag{7}$$

Phương trình 6 và 7 được viết dưới dạng phương trình trạng thái như sau.

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_f^{(\alpha\beta)} \\ u_{inj}^{(\alpha\beta)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_f}{L_f} & -\frac{1}{L_f} \\ \frac{1}{C_f} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_f^{(\alpha\beta)} \\ u_{inj}^{(\alpha\beta)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_f} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C_f} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{inv}^{(\alpha\beta)} \\ i_{inj}^{(\alpha\beta)} \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$u_{inj}^{(\alpha\beta)} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_f^{(\alpha\beta)} \\ u_{inj}^{(\alpha\beta)} \end{bmatrix} \tag{9}$$

Áp dụng phép chuyển đổi tọa độ Park từ hệ tọa độ tĩnh $\alpha\beta$ sang tọa độ quay dq, các phương trình (6), (7) được biến đổi thành (10), (11).

$$\frac{d}{dt} u_{inj}^{(dq)}(t) = \frac{1}{C_f} i_f^{(dq)}(t) - \frac{1}{C_f} i_{inj}^{(dq)}(t) \mp j\omega u_{inj}^{(dq)}(t) \tag{10}$$

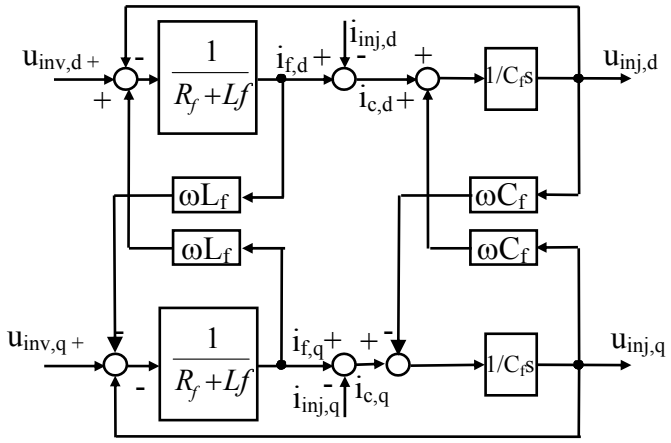
$$\frac{d}{dt} i_f^{(dq)}(t) = \frac{1}{L_f} u_{inv}^{(dq)}(t) - \frac{1}{L_f} u_{inj}^{(dq)}(t) - \frac{1}{L_f} R_f i_f^{(dq)}(t) \mp j\omega L_f i_f^{(dq)}(t) \tag{11}$$

Viết dưới dạng phương trình trạng thái như sau: $x(t) = [i_f^{(d)}, i_f^{(q)}, u_{inj}^{(d)}, u_{inj}^{(q)})]^T$; $u(t) = [u_{inv}^{(d)}, u_{inv}^{(q)}]^T$; $d(t) = [i_{inj}^{(d)}, i_{inj}^{(q)})]^T$

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_f^{(d)} \\ i_f^{(q)} \\ u_{inj}^{(d)} \\ u_{inj}^{(q)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_f}{L_f} & \omega & -\frac{1}{L_f} & 0 \\ -\omega & -\frac{R_f}{L_f} & 0 & -\frac{1}{L_f} \\ \frac{1}{C_f} & 0 & 0 & \omega \\ 0 & \frac{1}{C_f} & -\omega & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_f^{(d)} \\ i_f^{(q)} \\ u_{inj}^{(d)} \\ u_{inj}^{(q)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_f} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_f} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{inv}^{(d)} \\ u_{inv}^{(q)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -\frac{1}{C_f} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C_f} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{inj}^{(d)} \\ i_{inj}^{(q)} \end{bmatrix} \tag{12}$$

Trong đó: $i_f^{(d)}, i_f^{(q)}$ là các thành phần d và q của dòng điện cuộn cảm; $u_{inj}^{(d)}$, $u_{inj}^{(q)}$ là các

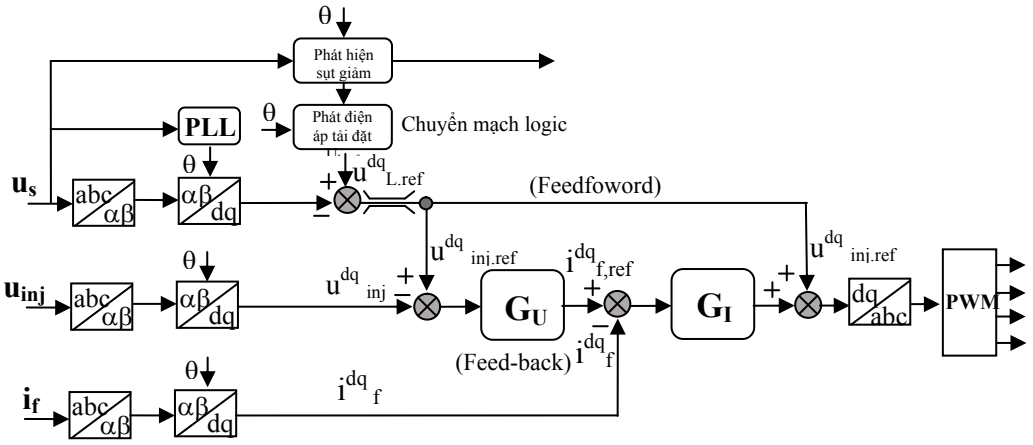
thành phần d và q của điện áp bù vào; $u_{inv}^{(d)}$, $u_{inv}^{(q)}$ là các thành phần d và q của điện áp bộ biến đổi DC-AC; $i^{(d)}_{inj}$, $i^{(q)}_{inj}$ là các thành phần d và q của dòng điện bù vào. Từ (11) xây dựng sơ đồ mạch tương đương của mô hình bộ biến đổi DC-AC và bộ lọc LC nối lưới trên hệ tọa độ quay dq như hình 5.



Hình 5. *Mô hình của bộ bù nối tiếp trên hệ tọa độ quay dq.*

2.3. Cấu trúc điều khiển bộ bù nối tiếp trên hệ tọa độ quay dq

Cấu trúc điều khiển vector của bộ bù nối tiếp trên hệ tọa độ quay đồng bộ dq được xây dựng dựa trên nguyên lý bù điện áp đã mô tả từ giản đồ vector ở hình 3. Ở đây, $U_{s-presag} = U_L$; $U_{s-Postsag} = U_S$; $V_{DVR} = U_{inj}$.



Hình 6. *Cấu trúc điều khiển vector trên hệ tọa độ quay dq.*

Trong cấu trúc điều khiển có hai vòng hồi tiếp từ dòng điện i_f và điện áp bù u_{inj} cùng với vòng hồi tiếp thẳng từ điện áp $u^{dq}_{inj.ref.}$

Các phương trình mô tả thuật toán điều khiển vector được trình bày sau đây.

Lượng đặt của điện áp bù bởi bộ bù nối tiếp.

$$\underline{u}^{dq}_{inj,ref} = \underline{u}^{dq*}_{L,ref} - \underline{u}^{dq}_{s} \tag{13}$$

Điện áp bù vào thực tế u_{inj} của bộ bù nối tiếp.

$$\underline{u}^{dq}_{inj} = \underline{u}^{dq}_{C} = \underline{u}^{dq}_{L} - \underline{u}^{dq}_{s} \tag{14}$$

Để điện áp tải được bù chính xác cả góc pha và độ lớn bằng lượng đặt của nó, hai vòng

điều khiển nối tầng dòng điện và điện áp, trong đó, bộ điều khiển G_U, G_I là khâu PI được áp dụng để bù sai lệch, các hàm truyền toán học mô tả hai vòng điều chỉnh được viết như sau [1]:

Vòng điều chỉnh điện áp:

Mạch vòng điều chỉnh điện áp được viết bởi phương trình.

$$i_{f,ref}^{dq} = i_{inj}^{dq} \pm j\omega C_F u_{inj}^{dq} + G_U(u_{inj,ref}^{dq} - u_{inj}^{dq}) \quad (15)$$

Phương trình (15) được viết lại với hai thành phần d và q như sau.

$$i_{f,ref}^{d} = i_{inj}^{d} - j\omega C_F u_{inj}^{q} + G_U(u_{inj,ref}^{d} - u_{inj}^{d}) \quad (16)$$

$$i_{f,ref}^{q} = i_{inj}^{q} + j\omega C_F u_{inj}^{d} + G_U(u_{inj,ref}^{q} - u_{inj}^{q})$$

Vòng điều chỉnh dòng điện:

Mạch vòng điều chỉnh dòng điện được viết bởi phương trình.

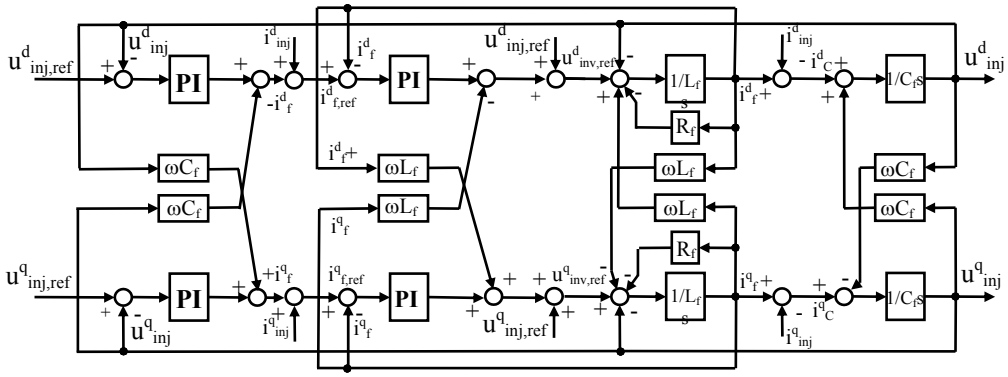
$$u_{inv,ref}^{dq} = u_{inj,ref}^{dq} + R_f i_f^{dq} \pm j\omega L_f i_{f,ref}^{dq} + G_I(i_{f,ref}^{dq} - i_f^{dq}) \quad (17)$$

Phương trình (17) được viết lại với hai thành phần d và q như sau.

$$u_{inv,ref}^{d} = u_{inj,ref}^{d} + R_f i_f^{d} - j\omega L_f i_{f,ref}^{q} + G_I(i_{f,ref}^{q} - i_f^{q}) \quad (18)$$

$$u_{inv,ref}^{q} = u_{inj,ref}^{q} + R_f i_f^{q} + j\omega L_f i_{f,ref}^{d} + G_I(i_{f,ref}^{q} - i_f^{q})$$

Hình 7 là sơ đồ mô tả thuật toán điều khiển điều khiển bộ bù nối tiếp.



Hình 7. *Sơ đồ cấu trúc thuật toán điều khiển bộ bù nối tiếp [1].*

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ

3.1. Mô hình mô phỏng

Cấu trúc điều khiển DVR được thiết kế trên phần mềm Matlab/Simulink (hình 8), các thông số cho trong bảng 1và tham số bộ điều khiển được cho trong bảng 2.

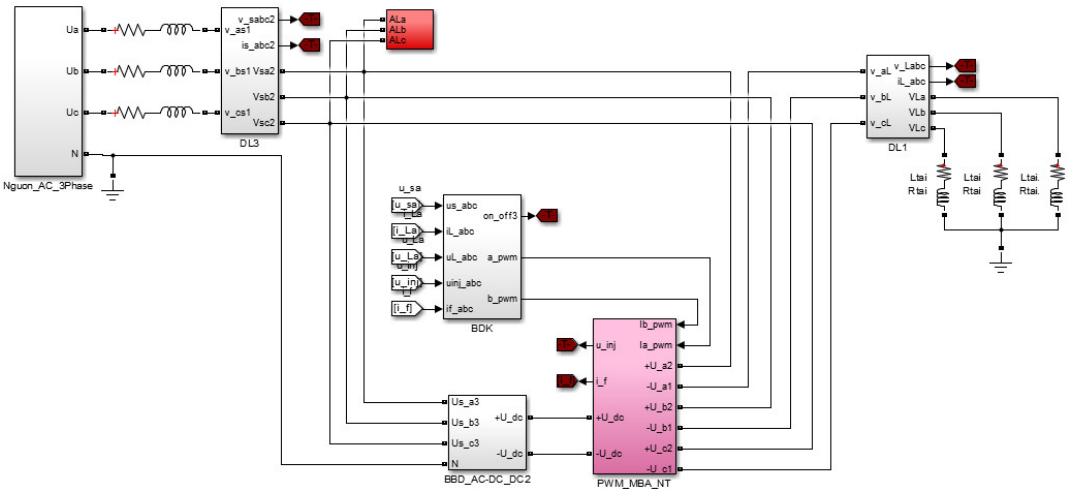
Bảng 1. *Các tham số cơ bản của bộ bù nối tiếp.*

Tham số	Ký hiệu	Giá trị
Tham số lưới		
Điện áp hiệu dụng	$U_{s,đm}$	220
Tần số lưới	f_g	50

Tham số bộ biến đổi		
Tần số điều chế	f_c	5kHz
Công suất	P_c	5kVA
Tham số bộ lọc		
Điện cảm	L_{2f}	2mH
Tụ điện	C_{2f}	10μF

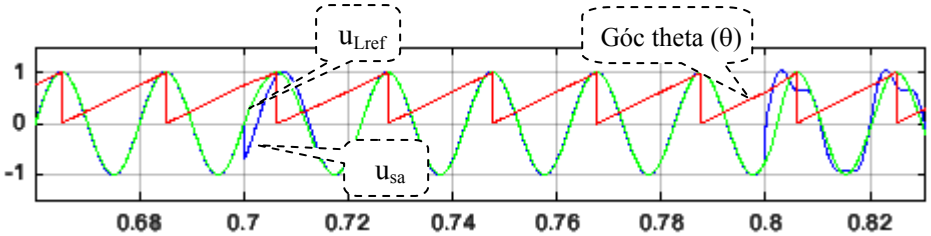
Bảng 2. *Các tham số điều khiển của bộ bù nối tiếp.*

Tham số	Ký hiệu	Giá trị
Bộ điều khiển PI trong vòng khóa pha (PLL)		
Thành phần khuếch đại	Kp_pll	1
Thành phần tích phân	Ki_pll	9.96
Bộ điều khiển dòng điện		
Thành phần khuếch đại	Kpi	123.3
Thành phần tích phân	Kii	$8x10^{-3}$
Bộ điều khiển điện áp		
Thành phần khuếch đại	Kpu	0.02
Thành phần tích phân	Kiu	$1.33x10^{-6}$



Hình 8. *Mô hình mô phỏng bộ bù nối tiếp.*

3.2. Kết quả mô phỏng



Hình 9. *Dạng điện áp tải đặt u_{L_ref} và điện áp lưới $u_{_sa}$ và góc θ của PLL.*

Trường hợp 1: Kiểm tra khả năng đồng bộ điện áp lưới của bộ bù nối tiếp dựa trên vòng khóa pha (PLL) trong điều kiện điện áp lưới u_{sa} có một bước nhảy góc pha -45^0 tại 0.7s và xuất hiện thành phần hài bậc 3th, 2th tại thời điểm 0.8s.

Kết quả mô phỏng cho thấy cấu trúc PLL được lựa chọn làm việc trên hệ tọa độ dq luôn bám theo góc pha của thành phần thứ tự thuận, nên góc pha của PLL được xác định chính xác ngay cả trong trường hợp sự cố giảm điện áp có nhảy góc pha và xuất hiện các thành phần sóng hài lớn. Điều này đảm bảo cho điện áp bù vào của bộ bù nối tiếp được đồng bộ tốt với điện áp lưới.

Trường hợp 2: Kiểm tra khả năng ổn định điện áp tải với giá trị điện áp tải đặt $U_{L.ref}$ =220V, trong điều kiện điện áp nguồn tăng/giảm như sau:

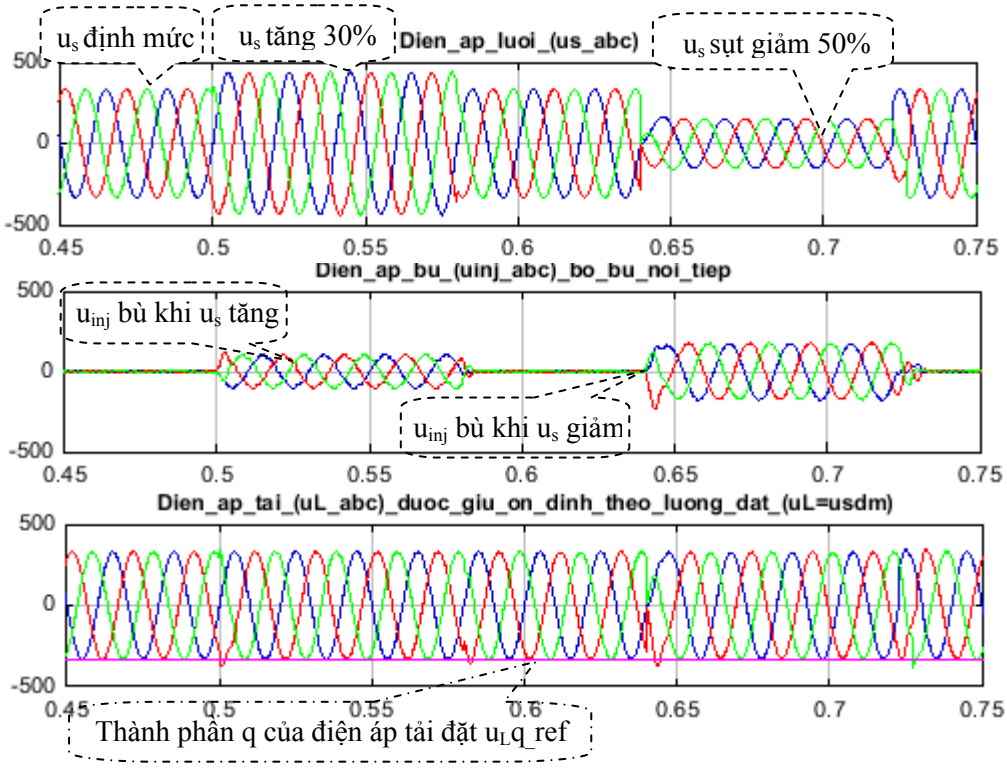
Từ 0s ÷ 0.5, U_s =220V.

Từ 0.5s ÷ 0.58s U_s tăng lên 30% (293V).

Từ 0.58s ÷ 0.64s U_s trở về 220V.

Từ 0.64s ÷ 0.72s U_s giảm 50% (110V).

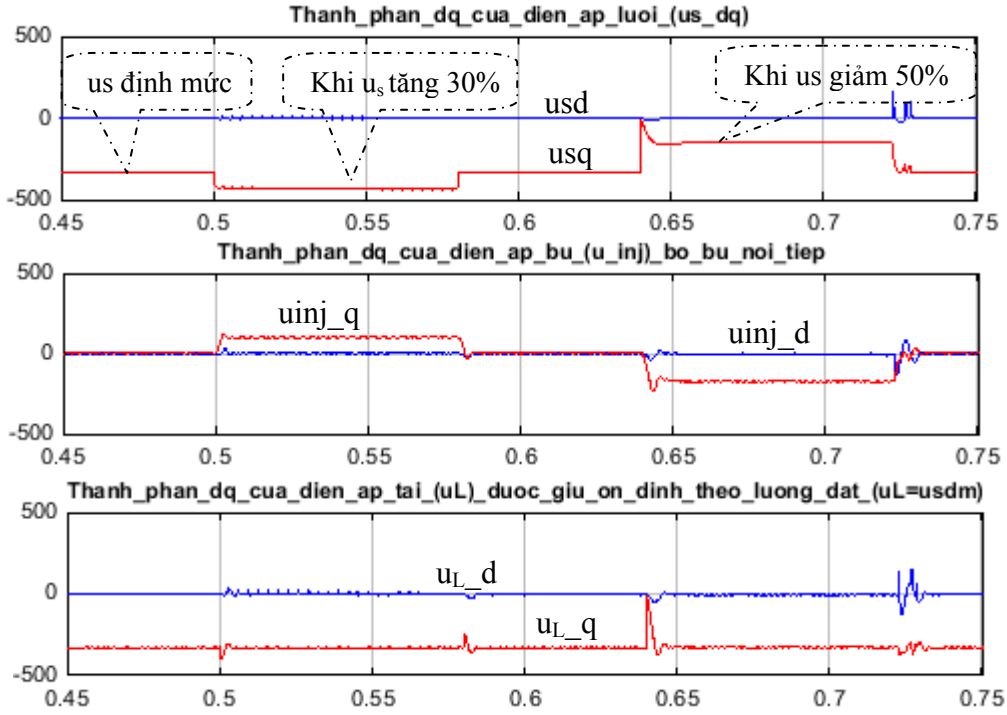
và sau đó trở về U_s =220V như hình 10.



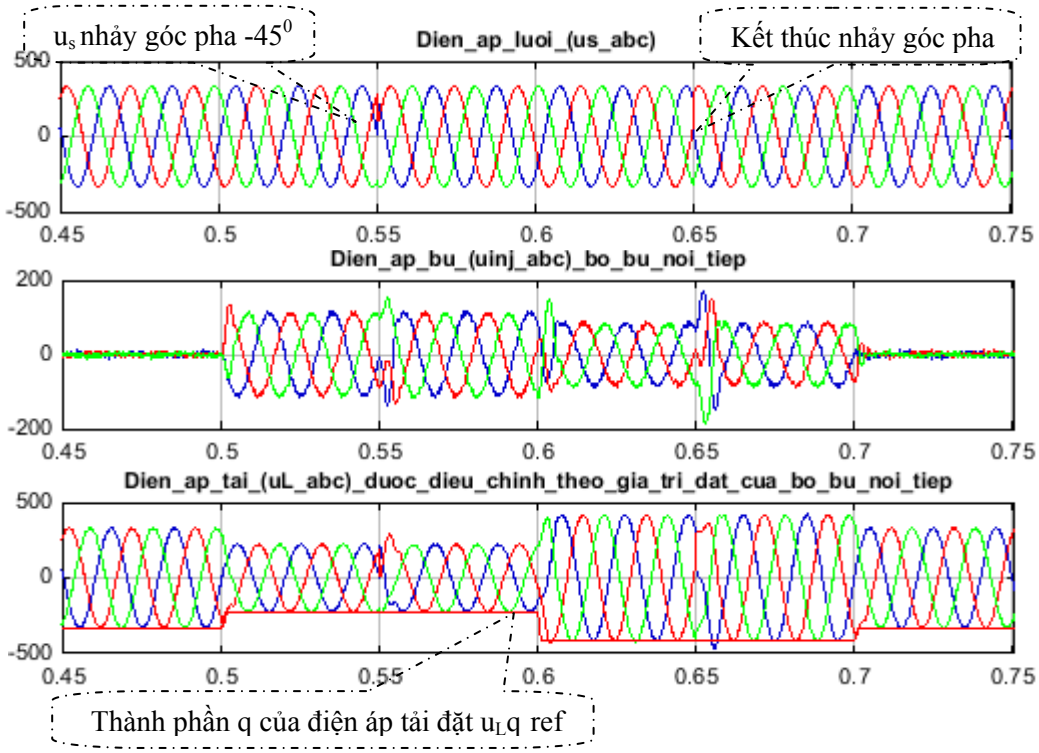
Hình 10. *Dạng sóng điện áp lưới $u_{s_abc,}$ điện áp u_{L_abc}; điện áp bù u_{inj_abc}.*

Hình 10 thể hiện kết quả mô phỏng đã cho thấy, điện áp tải được bù và giữ ổn định ở giá trị đặt trước U_{L_ref} = 220V, trong khi điện áp nguồn bị tăng/giảm trong phạm vi lớn. Khoảng thời gian từ khi xảy ra tăng/giảm đến khi điện áp tải được bù đủ bằng giá trị đặt là khoảng ½ chu kỳ lưới (0.01s). Điện áp dao động trong thời gian quá độ tại thời điểm đầu và cuối của sự cố tăng/giảm nằm trong pham vi cho phép. Hình 11 là thành phần dq của điện áp lưới, điện áp bù và điện áp tải. Có thể dễ dàng nhận ra khi bù tăng, bộ bù tạo ra điện áp ngược pha

với điện áp lưới. Để bù giảm bộ bù tạo ra điện áp cùng pha với điện áp lưới.



Hình 11. *Thành phần dq của điện áp lưới $u_{s\text{-}dq}$, điện áp tải u_{Ldq}; điện áp bù u_{inj_dq}.*



Hình 12. *Dạng sóng điện áp lưới u_{s_abc}, điện áp tải u_{L_abc}; điện áp bù u_{inj_abc}.*

Trường hợp 3: Kiểm tra khả năng điều chỉnh điện áp tải của bộ bù nối tiếp trong điều

kiện điện áp nguồn được giữ ổn định (U_s =220V) và có một bước nhảy góc pha -45^0 bắt đầu tại thời điểm 0.55s, kết thúc tại 0,65s như hình 12:

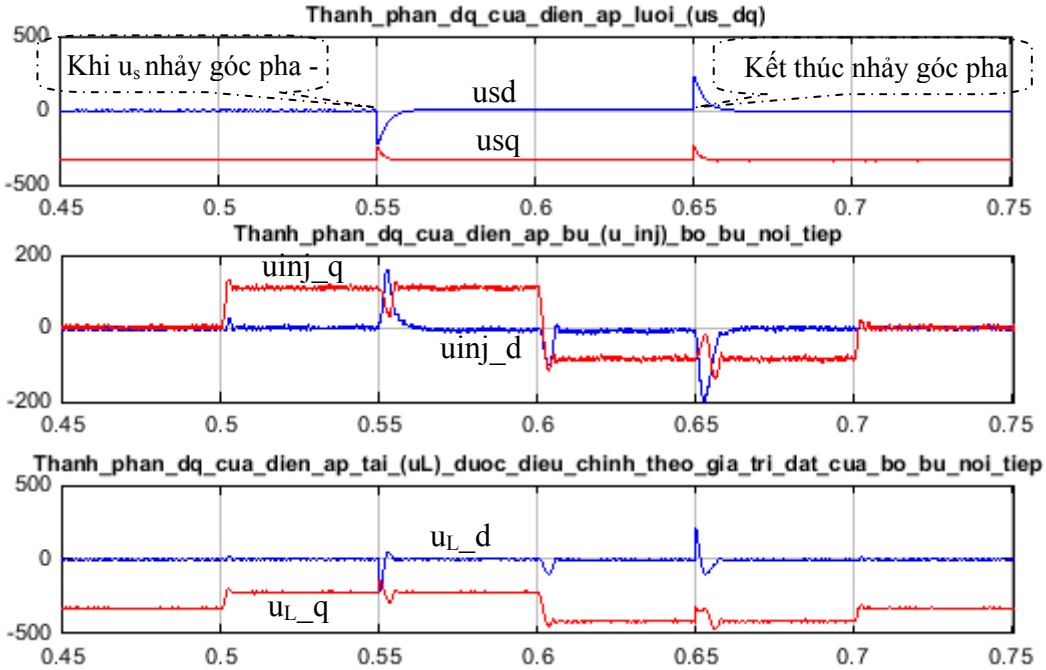
Giá trị điện áp tải đặt (U_{L_ref}) được thay đổi theo thời gian như sau:

Từ 0s ÷ 0.5, U_{L_ref}=220V.

Từ 0.5s ÷ 0.6s U_{L_ref} giảm xuống 156V.

Từ 0.6s ÷ 0.7s U_{L_ref} tăng lên 298V.

và sau đó, từ 0.7s trở về U_{L_ref} =220V bằng điện áp lưới như hình 12.

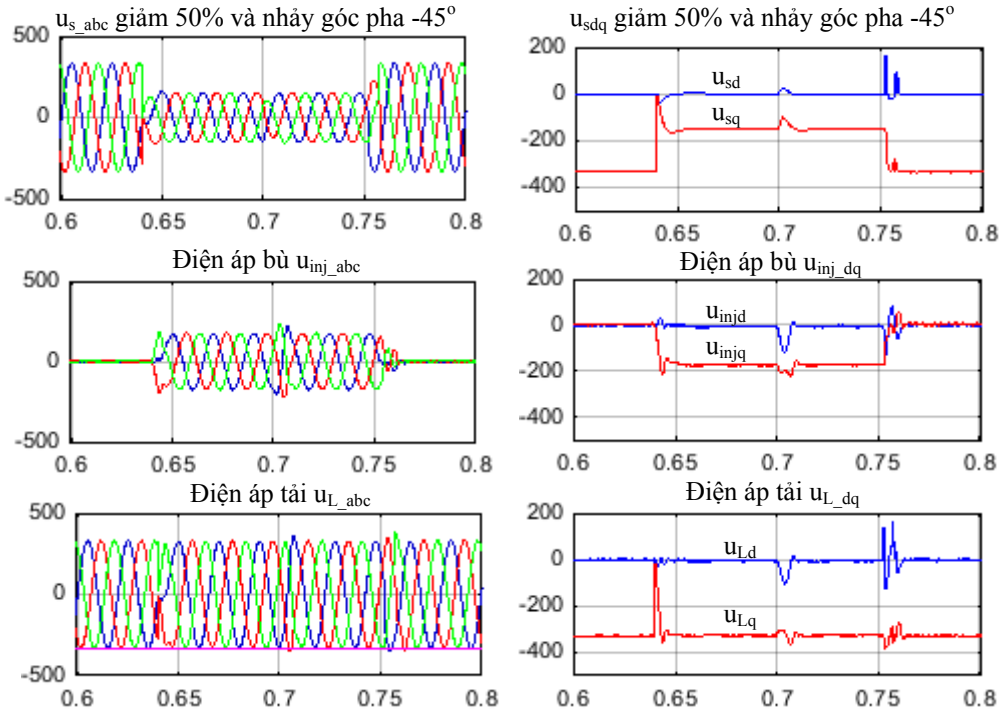


Hình 13. *Thành phần dq của điện áp lưới $u_{s\text{-}dq}$, điện áp tải u_{Ldq}; điện áp bù u_{inj_dq}.*

Kết quả mô phỏng ở hình 12 cho thấy, giá trị điện áp trên tải bám chính xác với các giá trị điện áp tải đặt tại các khoảng thời gian khác nhau. Ngay cả khi điện áp nguồn có sự cố nhảy góc pha thì bộ bù vẫn làm việc ổn định. Các thành phần điện áp dq ở hình 13 cho thấy rõ hơn về cách thức mà bộ bù tạo ra điện áp bù khi điều chỉnh điện áp tải dưới giá trị điện áp nguồn và khi điều chỉnh điện áp tải lớn hơn điện áp nguồn. Khoảng thời gian từ khi thay đổi giá trị đặt đến khi giá trị điện áp tải xác lập chính xác với lượng đặt mới là khoảng ½ chu kỳ lưới (0.01s). Điện áp dao động trong thời gian quá độ tại thời điểm đầu và cuối khi thay đổi giá trị điện áp đặt, nằm trong pham vi cho phép.

Trường hợp 4: Kiểm tra khả năng ổn định điện áp tải u_L của bộ bù nối tiếp trong điều kiện giả sử có một sự cố ngắn mạch vừa gây sụt giảm điện áp nguồn xuống 50% (từ 220v xuống 110v), đồng thời, xuất hiện một bước nhảy góc pha (-45^0) tại thời điểm xảy ra ngắn mạch (0.64s) và kết thúc tại thời điểm 0.7s như hình 14.

Kết quả mô phỏng cho thấy, khi điện áp nguồn bị sụt giảm xuống 50% đồng thời kéo theo một bước nhảy pha -45^0 tại thời điểm (0.64s) và kết thúc tại 0.7s nhưng điện áp tải vẫn được bù chính xác và giữ ổn định ở giá trị đặt trước. Điều đó cho thấy, thuật toán điều khiển cho phép bù cả độ lớn và góc pha trong một sự cố tăng/giảm điện áp như đã trình bày ở trên, đã làm việc chính xác và ổn định trong điều kiện nguồn thay đổi phức tạp nhất.



Hình 14. *Điện áp lưới (u_s), điện áp bù (u_{inj}), điện áp tải (u_L) và tương ứng với thành phần dq của chúng.*

4. KẾT LUẬN

Bài báo này đã đề xuất cấu trúc bộ bù nối tiếp không sử dụng hệ thống lưu trữ năng lượng độc lập, thay vào đó, sử dụng một bộ biến đổi AC-DC liên kết với bộ tụ DC-Link tạo nên bộ phận cấp nguồn cho thiết bị bù nối tiếp. Cấu trúc này đã mang lại lợi thế cho bộ bù nối tiếp là có khả năng bù tăng/giảm điện áp lưới nhanh trong khoảng thời gian kéo dài, nhằm ổn định điện áp cho các thiết bị y tế làm việc một cách liên tục mà không lo lắng về vấn đề giới hạn của hệ thống lưu trữ năng lượng khi xảy ra sự cố tăng/giảm điện áp lưới vượt ngoài mức quy định của thiết bị.

Kết quả đã chỉ ra khả năng làm việc của bộ bù nối tiếp có thể ổn định nhanh điện áp tải trong khoảng thời gian từ 0.01s đến 0.04s (1/2 chu kỳ đến 2 chu kỳ lưới) trước một sự cố tăng/giảm điện áp trên lưới. Có khả năng điều chỉnh giá trị điện áp ra trên tải chính xác theo lượng đặt. Thuật toán và cấu trúc điều khiển lựa chọn làm việc ổn định, nhanh và chính xác trong điều kiện điện áp lưới tăng/giảm và có kèm theo các biến cố phức tạp như nhảy góc pha. Thành phần sóng hài của điện áp tải sau bù dưới mức quy định (THD <5%). Với kết quả đạt được, có thể khẳng định bộ bù nối tiếp đáp ứng được các yêu cầu chất lượng điện áp, đảm bảo cho một thiết bị y tế làm việc ổn định trước một sự cố tăng/giảm điện áp trên lưới điện.

Đề xuất giải pháp này có thể tiếp tục nghiên cứu để tích hợp thêm khả năng bù các thành phần sóng hài trên lưới. Giải pháp có thể tiếp tục nghiên cứu thiết kế chế tạo các bộ nguồn có chất lượng cao trong các lĩnh vực quân sự, sản xuất công nghiệp và đời sống.

Lời cảm ơn: *Nhóm tác giả cảm ơn sự tài trợ về kinh phí của Đề tài nghiên cứu khoa học cấp bộ, mã số CB2019-16.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Trần Duy Trinh, Nguyễn Văn Liễn, Trần Trọng Minh; *Bộ điều khiển Vector nối tầng cho hệ thống phục hồi điện áp động giảm thiểu lõm điện áp trên lưới điện phân phối*; Tạp chí Khoa học và Công nghệ các trường đại học kỹ thuật, trang 23-29, số 91, 2013.

[2]. Mohammad Monfared, Saeed Golestan, Josep M. Guerrero; Analysis, *Design, and Experimental Verification ofA Synchronous Reference Frame Voltage Control for Single-Phase Inverters*; IEEE Transactions on inducstraial electronics. Copyright c 2012 IEEE.

[3]. Po-Tai Cheng, Chia-Long Ni, and Jhao-Ming Chen (2007), "*Design of a State Feedback Controller for Series Voltage Sag Compensators*" ©2007 IEEE.

[4]. Angelo Baggini (2008) "*Handbook of Power Quality",* John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

[5]. A. Khoshkbar Sadigh, Student Member, IEEE, and K. M. Smedley, Fellow, IEEE "*Review of voltage compensation methods in dynamic voltage restorer (DVR)*" https://www.researchgate.net /publication/260751863.

[6]. Ryszard Strzelecki, Grzegorz BenysekPower (2008) *Electronics in Smart Electrical Energy Networks*, © 2008 Springer-Verlag London Limited, (2008), PP.250-258.

ABSTRACT

SOLUTION FOR STABILIZING VOLTAGE BY SERIES COMPENSATOR ENSURE THE OPERATION OF MEDICAL EQUIPMENT AGAINST THE INCREASE / DECREASE OF VOLTAGE

A series compensator is an electrical device used in a distribution system in order to improve the power quality. Its main function is to mitigate the increase/decrease of grid voltage that can affect sensitive loads. Medical equipment is one of the loads requires the high voltage quality. Although its own voltage stabilization system inside, however, in case of a short-circuit happen on the grid nearly the load, it leads to a rapid increase/decrease in voltage, which exceed the limits of the device. Especially in the case of rapid increase / decrease of voltage with phase angle jump and occur in a long time, it can affect the operation of equipment (inaccuracy of control devices, stalling of loads). In this paper, we propose a solution that uses a structure of an AC-DC converter to provide power in long-term voltage drop mode and a DC-AC converter to generate a compensation voltage for the device. An algorithm and control structure are also proposed to ensure the quick and accurate compensation function of the serial compensator. The effectiveness of method is demonstrated by simulation results in MATLAB/Simulink.

Keywords: Series compensator; Increase / decrease of voltage; Converter; MATLAB/Simulink.

Nhận bài ngày 26 tháng 3 năm 2020
Hoàn thiện ngày 19 tháng 4 năm 2020
Chấp nhận đăng ngày 12 tháng 6 năm 2020

Địa chỉ: [1]Khoa Điện – Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh;
[2]Viện Tích hợp hệ thống- Học viện Kỹ thuật quân sự.
[*]Email: duytrinhktv@gmail.com.