

ĐIỀU KHIỂN BỘ LỌC CÔNG SUẤT TÍCH CỰC DÙNG BỘ ĐIỀU KHIỂN PR-REPETITIVE

Nguyễn Ngọc Minh Đoàn, Văn Tấn Lượng*, Trần Hoàn

Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

*Email: *luongvt@hufi.edu.vn*

Ngày nhận bài: 22/4/2019; Ngày chấp nhận đăng: 07/6/2019

TÓM TẮT

Bài báo này đề xuất một chiến lược điều khiển để gia tăng vận hành của bộ lọc công suất tích cực (APF). Để giữ cho dòng điện nguồn hình sin, một phương pháp bồi hoàn hạ tần hiệu quả được phát triển dựa vào bộ điều khiển cộng hưởng-tỷ lệ và lặp (PR-Repetitive). Hơn nữa, chi phí để thực hiện APF được đề xuất trở nên thấp hơn, nhờ sử dụng bộ nghịch lưu ba pha bốn khoá. Kết quả mô phỏng bộ APF 1,5 kVA dùng phần mềm PSIM được thực hiện để xác nhận tính khả thi của chiến lược điều khiển được đề xuất.

Từ khóa: Bộ lọc công suất tích cực, bồi hoàn hạ tần dòng điện, bộ điều khiển cộng hưởng-tỷ lệ và lặp, chất lượng điện năng.

1. MỞ ĐẦU

Gần đây, việc sử dụng các tải phi tuyến như động cơ có thể điều chỉnh tốc độ, máy hàn hồ quang điện và bộ nguồn chuyên mạch gây ra một lượng lớn dòng điện hạ tần vào hệ thống phân phối. Những dòng điện hạ tần này đã làm cho điện áp nguồn bị méo dạng, làm tăng tổn thất điện năng và gia tăng nhiệt trên mạng điện và máy biến áp nên gây ra sự cố của thiết bị điện tử hoạt động. Do những vấn đề này, các tiêu chuẩn hạn chế hạ tần như IEEE-519 hoặc IEC 61000-3-2 đã được công bố để đáp ứng yêu cầu các dòng hạ tần được bơm vào các mạng điện phải thấp hơn các giá trị định trước [1-2]. Để cải thiện chất lượng điện năng của các mạng phân phối cũng như đáp ứng các tiêu chuẩn hạn chế này, 2 giải pháp chính đã được giới thiệu: bộ lọc thụ động (LC) và bộ lọc tích cực (APF).

Các bộ lọc thụ động LC truyền thống được sử dụng để bồi hoàn dòng điện hạ tần vì chúng đơn giản và chi phí thấp. Tuy nhiên, kích cỡ của chúng thường lớn và nặng. Hơn nữa, khả năng bồi hoàn của bộ lọc thụ động thường được cố định và phụ thuộc rất nhiều vào trở kháng của mạng, do đó có khả năng gây ra các vấn đề cộng hưởng không mong muốn. Ngược lại, các bộ lọc công suất tích cực có khả năng tạo ra đáp ứng nhanh, linh hoạt để bồi hoàn dòng hạ tần mà được tạo ra bởi nhiều loại tải phi tuyến [3-5].

Các phương pháp điều khiển khác nhau đã được áp dụng trong bộ lọc tích cực như điều khiển tích phân-tỷ lệ (PI), điều khiển trễ, điều khiển deadbeat và điều khiển lặp (RC) [6-12]. Do giới hạn của băng thông điều khiển, bộ điều khiển PI không phải là giải pháp phù hợp cho bộ APF vì bộ điều khiển PI phải xử lý dòng điện hạ tần với tín hiệu tần số cao. Ngược lại, phương pháp điều khiển deadbeat có thể tạo ra đáp ứng điều khiển nhanh nhưng hiệu quả điều khiển phụ thuộc đáng kể vào mô hình toán học của bộ APF. Mặc dù, bộ điều khiển trễ đơn giản và bền chặt, nhưng bộ điều khiển này cũng có một nhược điểm đó là xuất hiện các vấn đề cộng hưởng không mong muốn với các mạng phân phối. Ngoài ra, để đạt được vận hành dòng điện tốt, dải trễ phải được thiết lập càng nhỏ càng tốt. Điều này dẫn đến sự gia tăng đáng kể tần số đóng cắt và do đó gây ra tổn thất đóng cắt cao hơn trên APF.

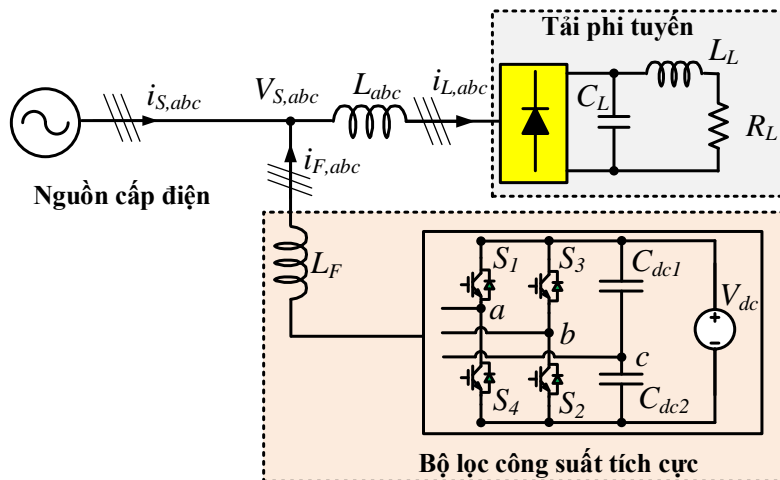
Trong bài báo này, một chiến lược điều khiển bồi hoàn dòng điện dựa vào bộ điều khiển PR-Repetitive được thực hiện trong hệ tọa độ đứng yên (stationary reference frame) được đề xuất để nâng cao vận hành của APF. Với bộ điều khiển PR-Repetitive đề xuất, dòng điện họa tần được tạo ra bởi tải phi tuyến có thể được bồi hoàn tương đối chính xác. Ngoài ra, tổng chi phí để thực hiện APF được đề xuất thấp hơn, nhờ vào việc sử dụng bộ nghịch lưu ba pha bốn khóa. Hơn nữa, thuật toán điều khiển được đề xuất có khả năng giảm thiểu dòng điện hài cũng như công suất phản kháng để đạt được điều kiện hệ số công suất bằng một ở phía nguồn. Việc mô phỏng đã được thực hiện để xác nhận tính khả thi của chiến lược điều khiển đề xuất.

2. MÔ HÌNH BỘ LỌC TÍCH CỰC

Hiện nay, bộ chỉnh lưu ba pha sử dụng diode được sử dụng rộng rãi trong các bộ truyền động trong công nghiệp. Các loại tải này đưa các sóng hài bậc lẻ $6n \pm 1$ ($n = 1, 2, 3 \dots$) của tần số cơ bản vào lưới điện. Do các dòng điện họa tần này gây ảnh hưởng nghiêm trọng và làm giảm chất lượng điện năng của hệ thống phân phối điện. Vì vậy, các bộ lọc công suất tích cực được phát triển để bồi hoàn các dòng điện họa tần đó nhằm cải thiện chất lượng điện năng.

Bộ lọc công suất tích cực kết nối với hệ thống lưới ba pha được thể hiện trong Hình 1. Về cơ bản, bộ lọc tích cực là một bộ nghịch lưu áp ba pha sử dụng 4 transistor có cực điều khiển cách ly (IGBT) (thay vì 6 IGBT như truyền thống) được kết nối song song với tải phi tuyến tại một điểm chung thông qua cuộn cảm L_F . Ngõ vào của bộ lọc tích cực là một nguồn áp DC ghép với 2 tụ điện có giá trị bằng nhau. Các tải phi tuyến được thể hiện bằng bộ chỉnh lưu áp ba pha kết nối với ngõ ra được kết nối với tải RLC.

Bộ lọc tích cực là một giải pháp linh hoạt bồi hoàn dòng họa tần bởi vì nó có khả năng bồi hoàn các dòng họa tần được tạo ra bởi nhiều loại tải phi tuyến khác nhau cũng như bồi hoàn dòng họa tần nhanh cho tải thay đổi. Mục tiêu của bộ APF là tạo ra dòng họa tần ($i_{F,abc}$) có độ lớn giống nhau và ngược pha so với dòng họa tần được tạo ra bởi tải phi tuyến, và để đảm bảo rằng dòng điện nguồn ($i_{S,abc}$) chỉ chứa thành phần cơ bản. Để đáp ứng các yêu cầu này, sơ đồ điều khiển truyền thống đòi hỏi một bộ phát hiện hài và bộ điều khiển dòng điện trong đó cả hai phải được thiết kế hợp lý để đạt được hiệu suất điều khiển tốt. Tuy nhiên, nó có thể gây ra sự phức tạp trong quá trình thiết kế.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống điện dùng bộ lọc tích cực.

3. ĐIỀU KHIỂN DÒNG ĐIỆN CHO BỘ APF DÙNG BỘ ĐIỀU KHIỂN PI

Để đơn giản hóa sơ đồ điều khiển, một chiến lược điều khiển sử dụng bộ điều khiển PI được thể hiện trong Hình 2. Dòng điện tham chiếu trong hệ tọa độ quay d-q-e (rotating reference frame) trong sơ đồ có được bằng cách sử dụng bộ lọc thông thấp cho dòng điện tải và được xác định bởi phương trình:

$$i_{de}^* = i_{de} - i_{de}L(s) \quad (1)$$

$$i_{qe}^* = i_{qe} \quad (2)$$

Trong đó: $L(s)$ là hàm truyền của bộ lọc thông thấp (LPF) được cho trong phương trình sau:

$$L(s) = \frac{k\omega_c}{s + \omega_c} \quad (3)$$

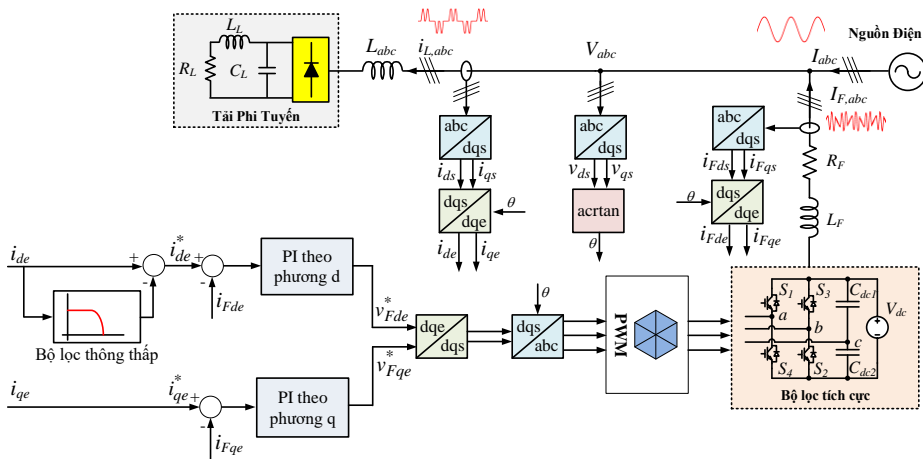
Với k là độ lợi, $\omega_c = 2\pi f_c$ và f_c là tần số cắt. Trong nghiên cứu này, ta chọn $k = 1$, $\omega_c = 31,83$ (rad/s).

Bộ điều khiển PI được sử dụng để điều khiển dòng điện tạo ra điện áp tham chiếu được cho bởi (4) và (5):

$$v_{Fde}^* = K_{pde}(i_{de}^* - i_{Fde}) + K_{ide} \int (i_{de}^* - i_{Fde}) dt \quad (4)$$

$$v_{Fqe}^* = K_{pqe}(i_{qe}^* - i_{Fqe}) + K_{iqe} \int (i_{qe}^* - i_{Fqe}) dt \quad (5)$$

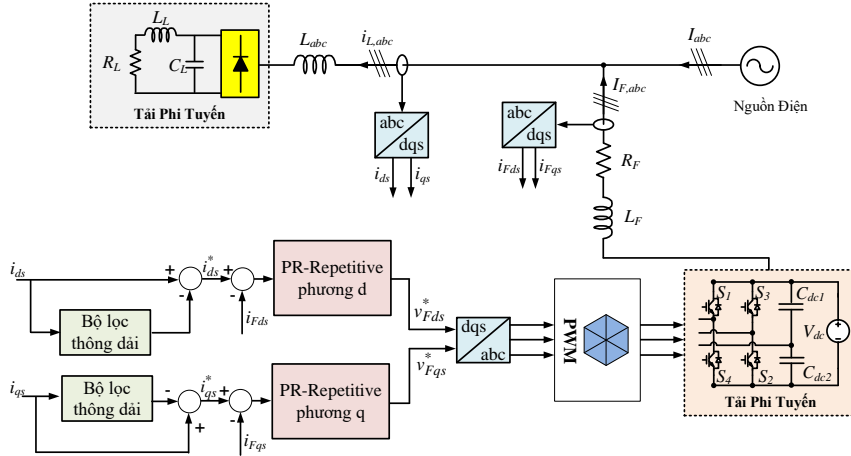
Điện áp tham chiếu ngõ ra (v_{Fde}^*, v_{Fqe}^*) của bộ điều khiển dòng điện được chuyển sang hệ tọa độ a-b-c (v_{abc}^*) và được dùng để điều chế độ rộng xung (PWM) để điều khiển bộ lọc tích cực. Kỹ thuật điều chế độ rộng xung sẽ được trình bày chi tiết trong phần 5.



Hình 2. Sơ đồ khối điều khiển dòng điện bộ lọc tích cực dùng PI.

4. CHIẾN LƯỢC ĐIỀU KHIỂN ĐỀ XUẤT

Do giới hạn của băng thông điều khiển, bộ điều khiển PI không phải là giải pháp mang lại hiệu quả cao cho các ứng dụng APF vì bộ điều khiển PI phải xử lý dòng điện họa tần, là tín hiệu tần số cao. Trong sơ đồ điều khiển đề xuất (Hình 3), bộ điều khiển PR-Repetitive được sử dụng để điều khiển dòng điện ngõ ra của APF.



Hình 3. Sơ đồ khối điều khiển dòng điện bộ lọc tích cực dùng PR repetitive.

Dòng điện tải (i_{Labc}) đo được từ cảm biến và sau đó được chuyển sang hệ tọa độ đứng yên (d-q-s). Dòng điện tham chiếu theo phương d (i_{ds}^*) và theo phương q (i_{qs}^*) lần lượt đạt được thông qua bộ lọc thông dải (BPF) được cho trong phương trình (6) và (7), như sau:

$$i_{ds}^* = i_{ds} - i_{ds} H(s) \quad (6)$$

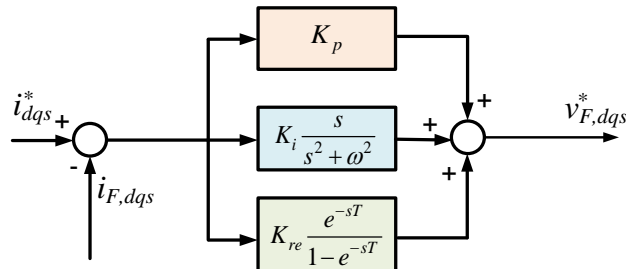
$$i_{qs}^* = i_{qs} - i_{qs} H(s) \quad (7)$$

Trong đó: $H(s)$ là hàm truyền của bộ lọc thông dải:

$$H(s) = \frac{kBs}{s^2 + Bs + \omega_c^2} \quad (8)$$

Với k là độ lợi, $\omega_c = 2\pi f_c$, $f_c = \sqrt{f_1 f_2}$ là tần số trung tâm và B là độ rộng tần số thông dải. Trong nghiên cứu này, ta chọn $B = 125,66$; $\omega_c = 376,99$ và $k = 1$.

Dòng điện tham chiếu i_{dqs}^* được so sánh với dòng điện đo được từ ngõ ra bộ lọc tích cực $i_{F,dqs}$. Sau đó, sai số này được thông qua bộ điều khiển PR-Repetitive để đạt được điện áp tham chiếu $v_{F,dqs}^*$ được mô tả như trên Hình 4.



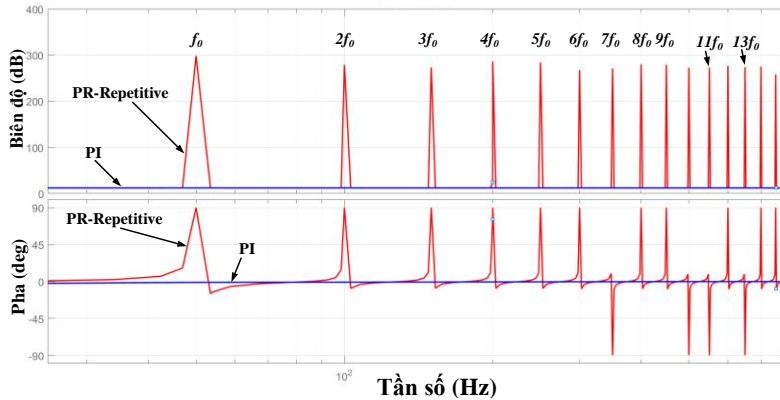
Hình 4. Sơ đồ bộ điều khiển dòng điện dùng PR-Repetitive.

Hàm truyền của bộ PR-Repetitive có dạng:

$$G_{PR-re}(s) = K_p + K_i \frac{s}{s^2 + \omega^2} + K_{re} \frac{e^{-sT}}{1 - e^{-sT}} \quad (8)$$

Trong đó K_p là hệ số tỷ lệ, K_i là hệ số tích phân, K_{re} là hệ số lặp (repetitive) và $T = 2\pi / \omega_0$ là thời gian trễ.

Biểu đồ Bode của bộ điều khiển PI và bộ điều khiển PR-Repetitive được thể hiện trong Hình 5, trong đó tần số cơ bản của hệ thống (f_0) bằng 50 Hz và thời gian trễ (T) bằng 0,02 s. Thông qua đặc tuyến đáp ứng tần số và biên độ, ta có thể thấy rằng bộ điều khiển PR-Repetitive được lặp đi lặp lại tạo thành các đỉnh cộng hưởng tại có tần số bậc chẵn (lẻ) của tần số cơ bản.



Hình 5. Biểu đồ Bode của hệ thống ứng với hai bộ điều khiển.

Điện áp bộ tham chiếu đạt được từ ngõ ra của bộ điều khiển dòng điện được chuyển từ hệ tọa độ đứng yên d-q-s sang hệ tọa độ a-b-c. Sau đó, điện áp tham chiếu ngõ ra (v_{abc}^*) được sử dụng để điều chế độ rộng xung (PWM) để tạo xung kích các khóa công suất cho bộ nghịch lưu. Ở đây, bộ nghịch lưu chỉ sử dụng bốn khóa công suất thay vì sử dụng sáu khóa như trường hợp thông thường.

5. ĐIỀU CHẾ ĐỘ RỘNG XUNG CHO BỘ NGHỊCH LƯU BA PHA BỐN KHÓA

Vì pha C nối với trung tính của tụ DC-link nên điện áp dùng điều chế PWM là điện áp dây thay vì điện áp pha.

$$\begin{cases} V_{as}^* = V_m \cos \omega t \\ V_{bs}^* = V_m \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_{cs}^* = V_m \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (9)$$

Vì pha C nối với trung tính, nên từ điện áp pha, ta tính được điện áp dây và độ lớn điện áp dây bằng $\sqrt{3}$ điện áp pha và lệch nhau $\pi / 3$:

$$\begin{cases} V_{ac}^* = V_{as}^* - V_{cs}^* = \sqrt{3}V_m \cos(\omega t - \frac{\pi}{6}) \\ V_{bc}^* = V_{bs}^* - V_{cs}^* = \sqrt{3}V_m \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) \end{cases} \quad (10)$$

Bằng cách sử dụng tương xứng của tam giác như Hình 6, thời gian đóng cắt có thể tính toán như sau:

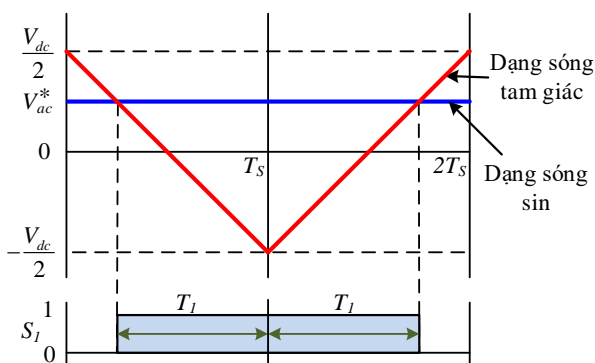
$$T_1 = \frac{T_s}{2} + \frac{V_{ac}^*}{V_{dc}} T_s ; T_2 = \frac{T_s}{2} + \frac{V_{bc}^*}{V_{dc}} T_s \quad (11)$$

Trong đó: V_{ac}^* , V_{bc}^* là điện áp tham chiếu dây, T_s là thời gian lấy mẫu và T_1 , T_2 là thời gian chuyển mạch.

Sự suy méo dạng điện áp nguồn có thể ảnh hưởng đến các sóng điện áp DC-link. Bằng cách sử dụng điện áp bù, thời gian đóng cắt được tính lại như sau:

$$T_1' = \frac{T_s}{2} + \frac{V_{ac}^*}{V_{dc}} T_s ; T_2' = \frac{T_s}{2} + \frac{V_{bc}^* - V_{comp}}{V_{dc}} T_s \quad (12)$$

Trong đó: $V_{comp} = \frac{V_{dc1} - V_{dc2}}{2}$



Hình 6. Tính toán thời gian đóng cắt của khóa S_1 .

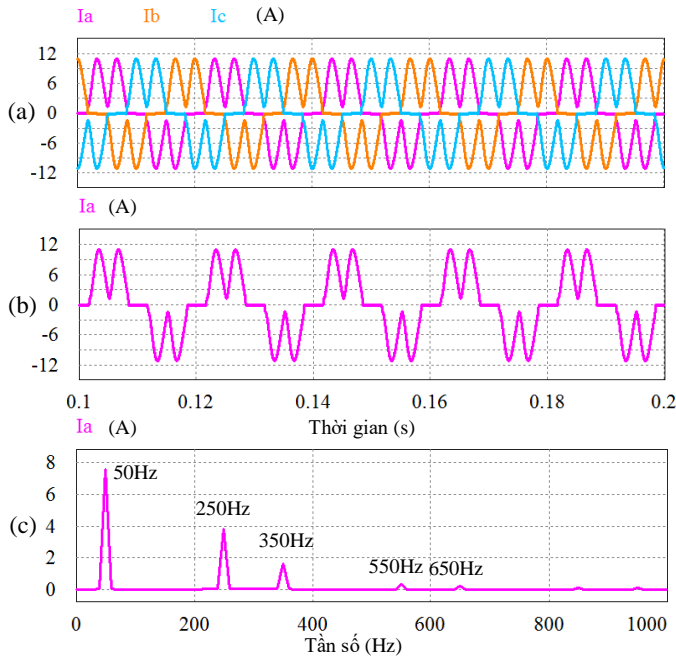
6. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Để xác minh tính hiệu quả của chiến lược điều khiển được đề xuất cho bộ lọc tích cực, mô hình mô phỏng được xây dựng dựa vào phần mềm PSIM. Các thông số hệ thống được liệt kê trong Bảng 1. Trong hệ thống mô phỏng, tải phi tuyến bao gồm bộ chỉnh lưu ba pha diode kết nối với RLC phía ngõ ra. Bộ APF được lắp đặt để bồi hoàn dòng điện họa tần và công suất phản kháng, và do đó dòng cung cấp có thể được bồi hoàn để có dạng hình sin và cùng pha với điện áp cung cấp.

Bảng 1. Thông số hệ thống

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
Điện áp lưới ($V_{ll(rms)}$)	135 V	Điện trở bộ lọc (R_F)	0,05 Ω
Tần số lưới (f_0)	50 Hz	Điện trở tải (R_L)	15-25 Ω
Công suất (P)	1,5 kVA	Điện cảm tải (L_L)	1 mH
Điện áp DC (V_{dc})	420 V	Tụ DC tải (C_L)	220 μ F
Tụ DC ($C_{dc1} = C_{dc2}$)	1000 μ F	Bộ điều khiển PI	$K_I = 4$, $K_P = 25$
Tần số lấy mẫu (f_s)	10 kHz	Bộ điều khiển PR-Repetitive	$K_I = 27$, $K_P = 1200$, $K_{re} = 0,5$
Điện cảm bộ lọc (L_F)	2 mH		

6.1. Kết quả mô phỏng khi không sử dụng bộ lọc tích cực

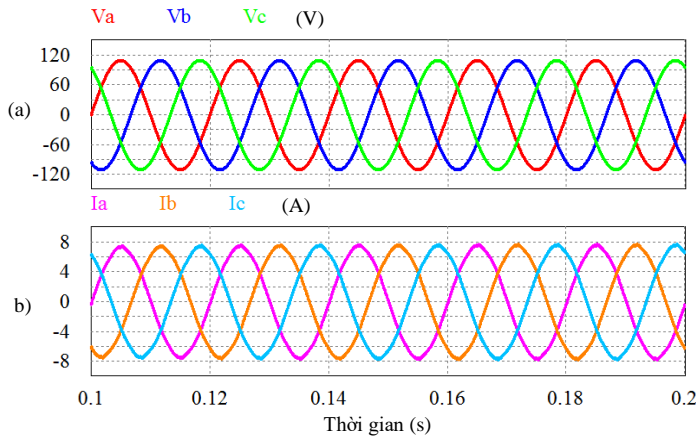


Hình 7. Kết quả mô phỏng khi không sử dụng bộ lọc tích cực. (a) Dòng điện nguồn ba pha. (b) Dòng điện nguồn pha A. (c) FFT dòng điện nguồn pha A.

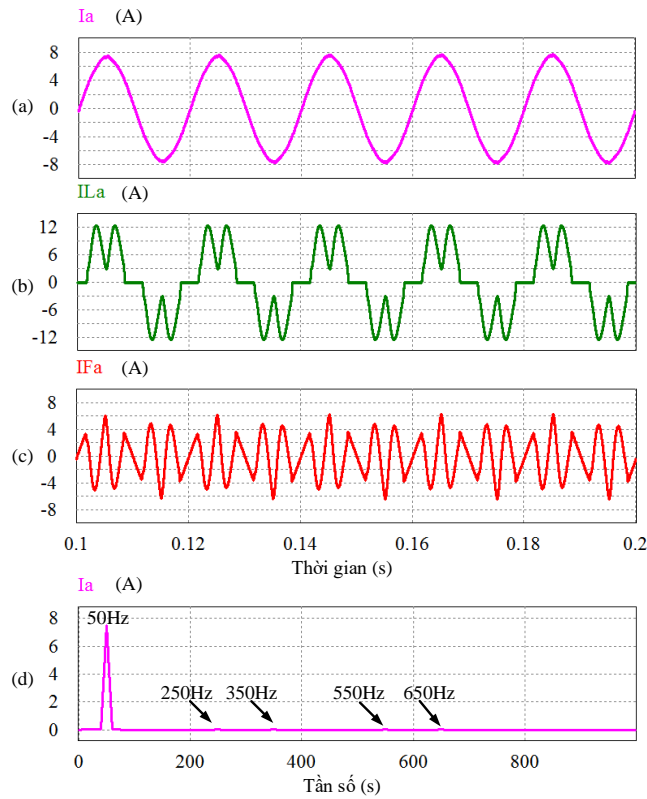
Hình 7 thể hiện kết quả mô phỏng dòng điện khi hệ thống không sử dụng bộ lọc tích cực. Dòng điện tải ở các pha bị méo dạng dưới sự ảnh hưởng của tải phi tuyến. Qua phân tích FFT cho dòng điện nguồn ở pha A, ngoài thành phần cơ bản 50 Hz còn xuất hiện thêm các thành phần họa tần bậc 5, 7, 11 và 13 tương ứng với các tần số 250 Hz, 35 Hz, 550 Hz và 650 Hz.

6.2. Kết quả mô phỏng khi sử dụng bộ lọc tích cực dùng PI

Dạng sóng nguồn và dòng điện nguồn trong trường hợp này được thể hiện trong Hình 8. Dòng điện nguồn ở các pha đã được bồi hoàn và có dạng sóng sin. Dạng sóng của dòng điện bồi hoàn được thể hiện trong Hình 9 (c). Hình 9 (a) cho thấy dạng sóng nguồn ở pha A có dạng sin, tuy nhiên qua phân tích FFT như Hình 9 (d) thì vẫn còn xuất hiện các dòng họa tần bậc cao với giá trị bé.



Hình 8. Kết quả mô phỏng dùng bộ điều khiển PI. (a) Điện áp nguồn ba pha. (b) Dòng điện nguồn ba pha.



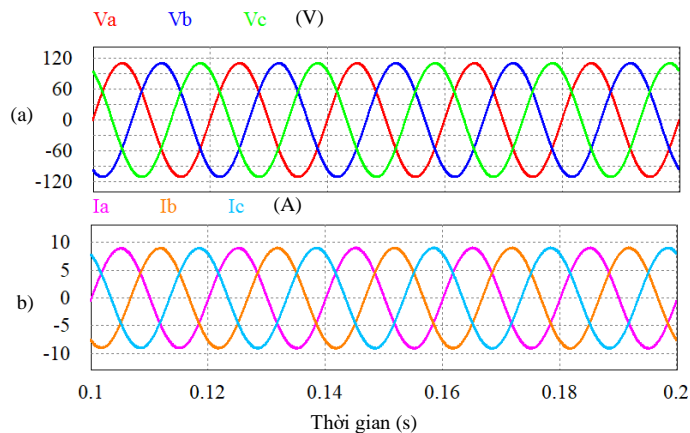
Hình 9. Kết quả mô phỏng dùng bộ điều khiển dòng điện PI.

(a) Dòng điện pha A. (b) Dòng điện của tải.

(c) Dòng điện cần bồi hoàn (dòng điện ngõ ra bộ lọc). (d) FFT dòng điện nguồn pha A.

6.3. Kết quả mô phỏng khi sử dụng bộ lọc tích cực dùng PR-Repetitive

Hình 10 thể hiện kết quả mô phỏng dòng điện nguồn pha A khi sử dụng bộ điều khiển PR-Repetitive cho bộ lọc tích cực. Với kết quả dòng điện nguồn như Hình 11(a), kiểm tra FFT của dòng điện nguồn pha A gần như không tồn tại bất cứ thành phần họa tần nào. Điều này chứng tỏ rằng việc sử dụng bộ điều khiển PR-Repetitive trong bộ lọc tích cực cho kết quả vận hành tốt hơn việc dùng bộ điều khiển PI.



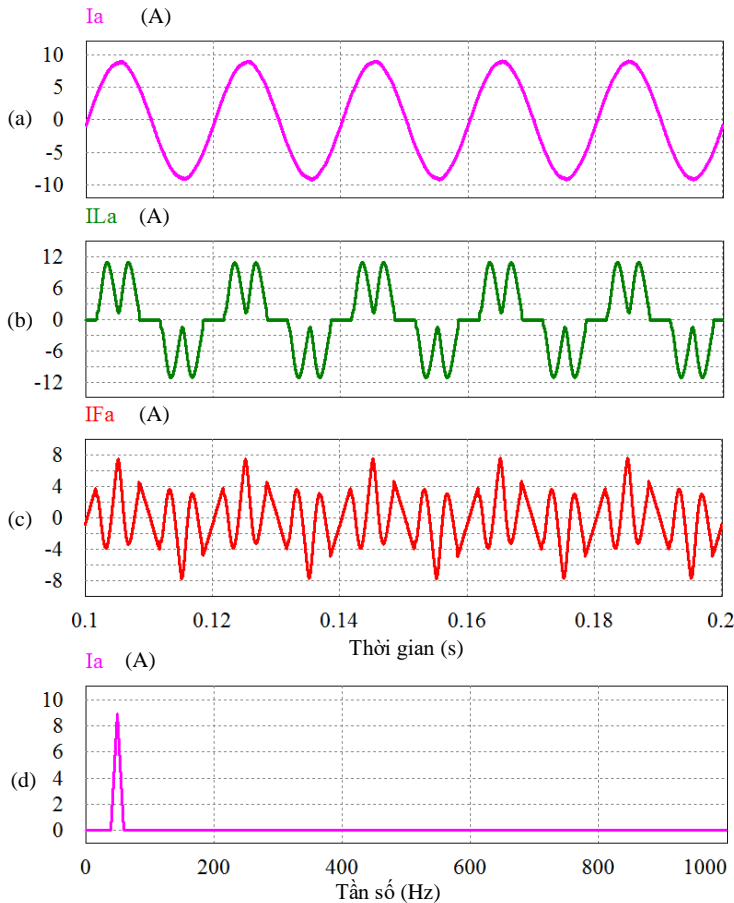
Hình 10. Kết quả mô phỏng dùng bộ điều khiển PR-Repetitive.

(a) Điện áp nguồn ba pha. (b) Dòng điện nguồn ba pha.

Bảng 2 thể hiện kết quả độ méo hài tổng (THD) của các trường hợp: không sử dụng APF, sử dụng APF dùng bộ điều khiển PI và sử dụng APF dùng bộ điều khiển PR-Repetitive. Qua kết quả ta có thể thấy, độ méo dạng ở trường hợp không có APF khá cao (50,5%), với APF sử dụng bộ điều khiển PI độ méo hài tổng (5,13%) đã giảm đáng kể. Tuy nhiên, khi sử dụng bộ điều khiển PR-Repetitive kết quả độ méo hài tổng chỉ còn 1,55%. Như vậy, hệ số THD của dòng cung cấp đã giảm xuống dưới 2%, hoàn toàn tuân thủ theo tiêu chuẩn IEEE-519, tiêu chuẩn IEC-61000-3-2 và [13]. Với các giá trị này có thể thấy việc dùng bộ điều khiển PI cho kết quả khá tốt nhưng với việc sử dụng bộ điều khiển PR-Repetitive trong APF cho kết quả vận hành tối ưu hơn việc dùng bộ điều khiển PI.

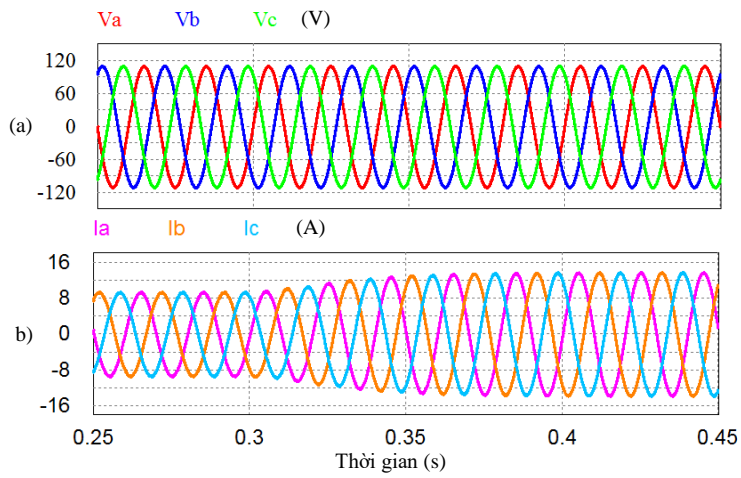
Bảng 2. Độ méo hài tổng ở các trường hợp

	Không sử dụng APF	Bộ điều khiển PI	Bộ điều khiển PR-Repetitive	
			6 khóa IGBT	4 khóa IGBT
Độ méo hài tổng (THD)	50,5%	5,13%	1,34%	1,55%

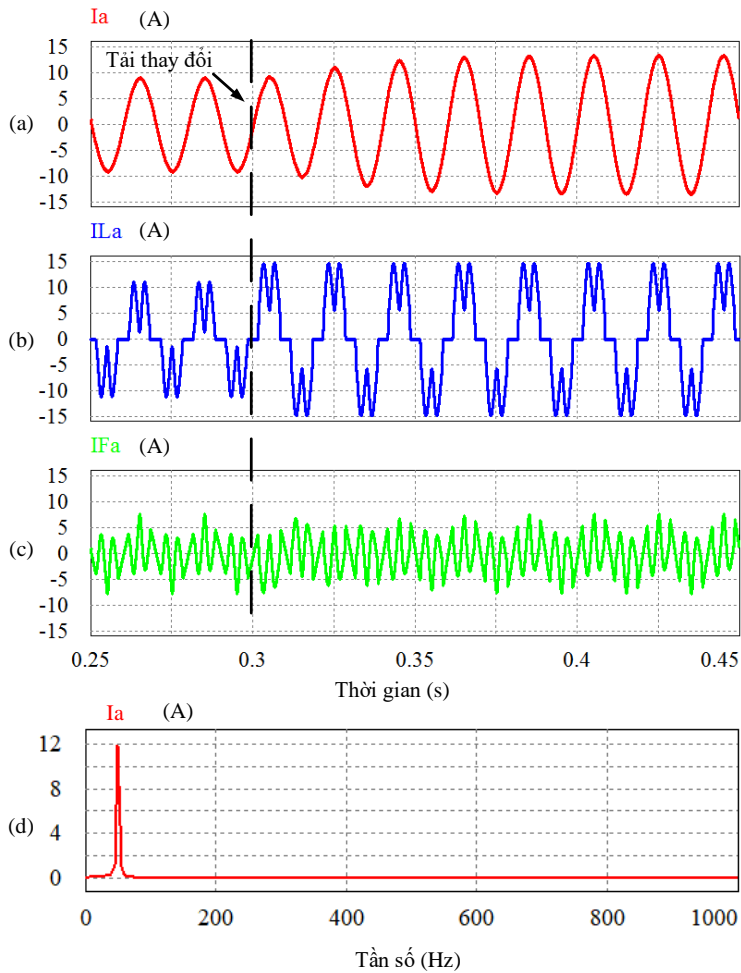


Hình 11. Kết quả mô phỏng dùng bộ điều khiển dòng điện PR-Repetitive.
 (a) Dòng điện pha A. (b) Dòng điện của tải. (c) Dòng điện ngõ ra bộ lọc.
 (d) FFT dòng điện nguồn pha A.

6.4. Kết quả mô phỏng dùng PR-Repetitive khi tải thay đổi



Hình 12. Kết quả mô phỏng khi tải thay đổi.
 (a) Điện áp nguồn ba pha. (b) Dòng điện nguồn ba pha thay đổi.



Hình 13. Kết quả mô phỏng trong trường hợp tải thay đổi.
 (a) Dòng điện nguồn ở pha A. (b) Dòng điện tải ở pha A.
 (c) Dòng điện ngõ ra bộ lọc ở pha A. (d) FFT dòng điện nguồn pha A.

Hình 13 kết quả mô phỏng bồi hoàn dòng điện dùng bộ lọc tích cực dùng PR-Repetitive với tải thay đổi từ 0,3s. Như kết quả phân tích FFT của dòng điện nguồn pha A (Hình 13(d)) cho thấy gần như không có sự xuất hiện của các thành phần họa tần bậc cao. Độ méo hài tổng được tính trong trường hợp này là 1,42%. Như vậy, bộ lọc vẫn bồi hoàn tốt khi tải thay đổi, quá trình quá độ không gây vọt lố làm ảnh hưởng đến hệ thống.

7. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất bộ điều khiển cộng hưởng-tỷ lệ và lặp (PR-Repetitive) để gia tăng hiệu suất của bộ lọc công suất tích cực (APF). Với phương pháp đề xuất, họa tần được bồi hoàn hiệu quả, so với việc dùng bộ điều khiển tích phân tỷ lệ (PI). Ngoài ra, tổng chi phí để thực hiện APF được đề xuất trở nên thấp hơn, nhờ sử dụng bộ nghịch lưu ba pha bốn khoá. Hơn nữa, thuật toán điều khiển đề xuất không những có khả năng giảm thiểu dòng điện hài nguồn mà còn có khả năng điều khiển nâng cao hệ số công suất nguồn thông qua việc điều khiển công suất phản kháng tùy thuộc vào yêu cầu của lưới. Kết quả mô phỏng bộ APF công suất 1,5 kVA dùng phần mềm PSIM được thực hiện để xác nhận tính khả thi của chiến lược điều khiển được đề xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. 519-2014 – IEEE Recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems, IEEE Standard 519-1992 (2014).
2. Prudenzi A., Grasselli U., and Lamedica R. - IEC Std. 61000-3-2 harmonic current emission limits in practical systems: need of considering loading level and attenuation effects, Conference Proceedings of 2001 Power Engineering Society Summer Meeting (2001).
3. Akagi H. - New trends in active filters for power conditioning, IEEE Transactions on Industry Applications **32** (6) (1996) 1312-1322.
4. Peng F.Z. - Application issues of active power filters, IEEE Industry Application Magazine **4** (5) (1998) 21-30.
5. Akagi H., Watanabe E.H., Aredes M. - Instantaneous power theory and applications to power conditioning, Wiley-IEEE Press (2007) 400p.
6. Buso S., Malesani L., Mattavelli P. - Comparison of current control techniques for active filters applications, IEEE Transactions on Industrial Electronics **45** (5) (1998) 722-729.
7. Rahmani S., Mendalek N., Al-Haddad K. - Experimental design of a nonlinear control technique for three-phase shunt active power filter, IEEE Transactions on Industrial Electronics **57** (10) (2010) 3364-3375.
8. Chen Z., Luo Y., Chen M. - Control and performance of a cascaded shunt active power filter for aircraft electric power system, IEEE Transactions on Industrial Electronics **59** (9) (2012) 3614-3623.
9. Malesani L., Mattavelli P., Buso S. - Robust dead-beat current control for PWM rectifiers and active filters, IEEE Transactions on Industry Applications **35** (3) (1999) 613-620.
10. Suul J. A., Ljokelsoy K., Midtsund T., Undeland T. - Synchronous reference frame hysteresis current control for grid converter applications, IEEE Transactions on Industry Applications **47** (5) (2011) 2183-2194.

11. Trinh Q. N. and Lee H. H. - An advanced repetitive controller to improve the voltage characteristics of distributed generation with nonlinear loads, *Journal of Power Electronics* **13** (3) (2013) 409-418.
12. Priyanga D. and Jisi N.K. - Repetitive controller based-grid current compensator for distributed generation, *International Journal of Computer Science and Engineering Communications* **5** (3) (2017) 1556-1565.
13. Lasca C., Asiminoaei L., Boldea I., Blaabjerg F. - High performance current controller for selective harmonic compensation in active power filters, *IEEE Transactions on Power Electronics* **22** (5) (2007) 1826-1835.

ABSTRACT

CONTROL SCHEME OF ACTIVE POWER FILTER USING PROPORTIONAL-RESONANT PLUS REPETITIVE CONTROLLER

Nguyen Ngoc Minh Doan, Van Tan Luong*, Tran Hoan
Ho Chi Minh City University of Food Industry
*Email: luongvt@hufi.edu.vn

This paper proposes a control scheme to enhance the performance of the active power filter (APF). In order to keep the sinusoidal source current, a harmonic current compensation method was developed by using a proportional-resonant (PR) repetitive controller. Also, the cost to implement the proposed APF becomes lower due to using a four-switch three-phase inverter. The simulation results of the APF 1,5 kVA set using PSIM were carried out to confirm the feasibility of the proposed control scheme.

Keywords: Active power filters (APFs), harmonic current compensation, power quality, proportional-resonant controller plus repetitive.