

Nghiên cứu mô phỏng bộ lọc tích cực trên phần mềm Matlab/Simulink cho giảng dạy môn Chất lượng điện năng

Dương Thị Tuyết Mai*

*ThS. Khoa Điện- Điện tử, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

Received: 23/9/2024; Accepted: 3/10/2024; Published: 11/10/2024

Abstract: This article presents a study of active filter simulation using MATLAB/Simulink software for teaching Power Quality. Active filters effectively address various power quality issues, such as harmonic distortion and reactive power compensation. The simulation results illustrate the performance of active filters in improving power factor, reducing harmonics, and ensuring compliance with power quality standards. This educational approach strengthens students' grasp of fundamental concepts and prepares them for real-world applications in power systems.

Keywords: Harmonic, Active Filter, power factor, teaching

1. Đặt vấn đề

Chất lượng điện năng là khái niệm dùng để chỉ mức độ phù hợp của dòng điện và điện áp cung cấp với các yêu cầu kỹ thuật để đảm bảo hoạt động ổn định và hiệu quả của các thiết bị điện. Ngày nay, các máy móc phức tạp sử dụng rộng rãi trong công nghiệp cũng như trong đời sống đòi hỏi chất lượng điện năng ngày càng cao. Trong khi đó, các ngành công nghiệp sử dụng ngày càng nhiều thiết bị bán dẫn như bộ điều chỉnh tốc độ, lò hồ quang, nguồn cung cấp máy tính, máy in... lại là nguồn tạo ra các thành phần sóng hài gây nên sự suy giảm chất lượng điện năng. Sóng hài (harmonics) là các thành phần sóng điện áp hoặc dòng điện có tần số là bội số nguyên của tần số cơ bản của hệ thống điện. Sóng hài gây quá điện áp, méo điện áp lưới, gây quá nhiệt cho các phụ tải. Chúng còn làm tăng dòng điện trung tính, gia tăng tổn hao điện năng và làm giảm hệ số công suất. Thậm chí chúng còn có thể gây ra sự cố truyền thông, sai lệch hệ thống tự động hóa và gia tăng sự hoạt động bất thường của hệ thống điện. Do đó vấn đề quan trọng đặt ra là cần phải giảm thiểu hoặc loại bỏ các sóng hài trong hệ thống điện.

Để xác định mức độ hài của dạng sóng (hoặc mức méo của dạng sóng), thuật ngữ "Tổng các méo sóng hài" (THD- Total Harmonic Distortion) được sử dụng và có thể được áp dụng cho cả điện áp hoặc dòng điện. THD của dòng điện được định nghĩa là:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \quad (1)$$

Bộ lọc tích cực (Active Power Filter - APF) là một giải pháp tiên tiến để loại bỏ các sóng hài và cải

thiện chất lượng điện năng trong các hệ thống điện. So với các bộ lọc thụ động (passive filters), bộ lọc tích cực có nhiều ưu điểm vượt trội nhờ khả năng xử lý sóng hài hiệu quả và linh hoạt hơn. Bộ lọc tích cực hoạt động làm việc trên nguyên tắc là kiểm soát lưới, phát hiện sóng hài và khử sóng hài bằng cách bơm vào lưới sóng hài đồng dạng, ngược pha để triệt tiêu sóng hài. Ngoài ra, bộ lọc tích cực còn có nhiều chức năng khác như triệt tiêu sóng hài và nhiễu, điều chỉnh điện áp đầu cực, tránh cộng hưởng.

Để giảng dạy về giải pháp hạn chế sóng hài trong công nghiệp, tác giả nghiên cứu mô phỏng bộ lọc tích cực trên phần mềm Matlab/Simulink, qua đó minh họa cấu trúc, nguyên lý làm việc và tác dụng trong việc cải thiện chất lượng điện năng.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Cấu trúc và nguyên lý làm việc của bộ lọc tích cực

Với các phụ tải phi tuyến, điện áp điều hòa nhưng dòng điện chứa các thành phần sóng hài bậc cao, để dòng điện lưới trở lại hình sin cần phải triệt tiêu các sóng hài bậc cao đó. Sử dụng phổ biến nhất là bộ lọc tích cực mắc song song, phát ra các sóng hài tương ứng nhưng ngược chiều. Giả sử dòng điện qua tải có dạng:

$$i_L = i_{L1} + \sum I_{Lh} \quad (2)$$

- Với i_{L1} là sóng tần số cơ bản, i_{Lh} là sóng hài bội số của tần số cơ bản.

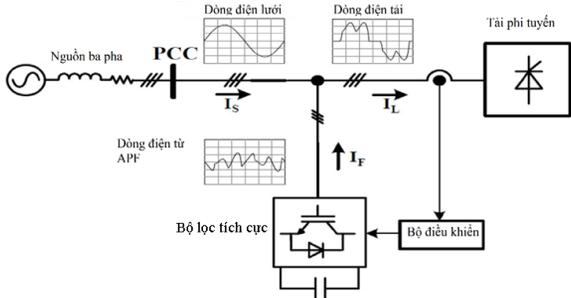
- Nguyên lý làm việc của bộ lọc tích cực mắc song song là tạo ra dòng điện có dạng:

$$i_{APF} = \sum I_{Lh} \quad (3)$$

để triệt tiêu sóng hài đó.

Cấu trúc tổng quan bộ lọc tích cực song song

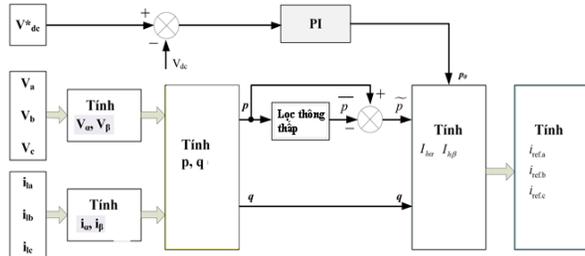
thể hiện trên hình 2.1. Bộ lọc song song có tác dụng như nguồn dòng, bơm dòng điện vào để triệt tiêu các thành phần sóng hài bậc cao.



Hình 2.1. Cấu trúc của bộ lọc tích cực mắc song song

2.2. Điều khiển dòng điện bù
 Bộ điều khiển dòng điện có ảnh hưởng quyết định đến chất lượng dòng điện cung cấp cho lưới, để đảm bảo cung cấp cho dòng điện lưới dạng hình sin với sóng hài nhỏ nhất. Phương pháp điều khiển được sử dụng phổ biến là PI, trong đó thành phần hình sin ba pha qua phép biến đổi Park về hệ tọa độ quay d-q và bộ điều khiển PI được thực hiện trong miền không gian này.

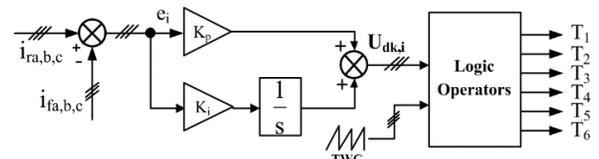
Một giải pháp hay được sử dụng là xác định dòng điện bù theo lý thuyết công suất tức thời [2]. Sơ đồ cấu trúc của bộ xác định dòng điện bù thể hiện trên hình 2.2.



Hình 2.2. Cấu trúc của bộ xác định dòng điện bù
 Hiện nay có rất nhiều phương pháp điều khiển trong đó phương pháp phổ biến nhất là kỹ thuật dùng mạch kích trễ (Hysteresis Current Control) hoặc dùng khâu điều chỉnh dòng điện (Ramp Comparison Current Control). Các cấu trúc điều khiển này đòi hỏi thông tin về dòng điện thực tế.

Phương pháp Hysteresis Current Control có ưu điểm là đơn giản, dễ thực hiện, đáp ứng nhanh. Tuy nhiên, nhược điểm của nó là tần số chuyển mạch của van bán dẫn không xác định và thay đổi theo tải và sai số trong quá độ có thể đạt giá trị lớn. Sai số dòng điện có thể đạt 2 lần giá trị sai số cho bởi mạch tạo

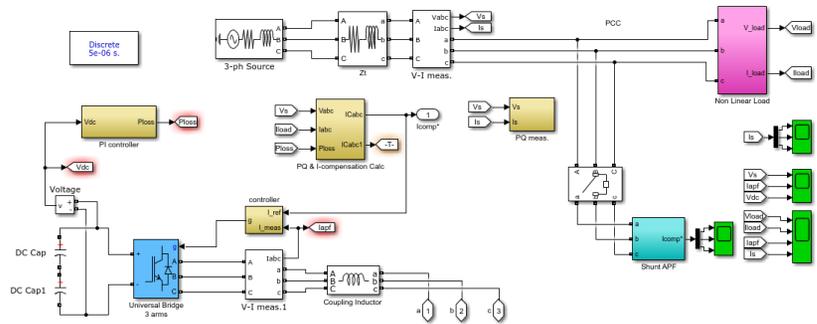
trễ. Các nhược điểm vừa nêu trên làm cho khả năng ứng dụng của phương pháp bị hạn chế đối với các tải công suất lớn.



Hình 2.3. Cấu trúc điều khiển dòng điện sử dụng hiệu chỉnh PI

Phương pháp điều khiển dòng điện sử dụng hiệu chỉnh PI (Ramp Comparison Current Control): thực hiện đóng ngắt các công tắc với tần số cố định (hình 2.3). Do sử dụng mạch điều chế với sóng mang có tần số không đổi nên phương pháp đã loại bỏ một số khuyết điểm của phương pháp điều khiển dùng mạch tạo trễ.

2.3. Mô phỏng bộ lọc tích cực trên Matlab/Simulink



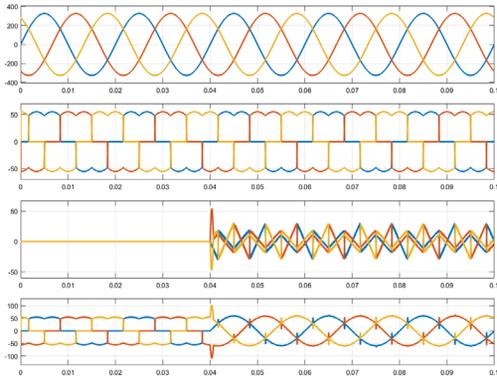
Hình 2.4. Mô phỏng bộ lọc tích cực trên Matlab/Simulink.

Hình 2.4 là mô hình mô phỏng bằng Matlab/Simulink bộ lọc tích cực với thông số cho trong bảng 2.1. Để xem xét tính hiệu quả của bộ lọc tích cực, nó được nối song song với phụ tải qua máy cắt, đóng lại tại thời điểm $t = 0,04$ giây.

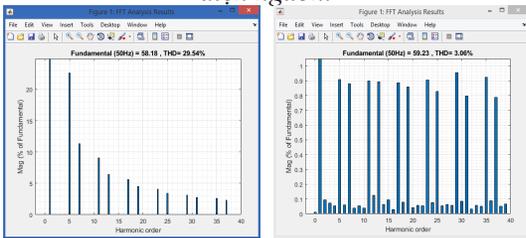
Bảng 2.1. Thông số sơ đồ mô phỏng

Tần số nguồn	50 Hz
Điện áp pha	220 V
Mạch phi tuyến	Chỉnh lưu cầu 3 pha
Cdc	700 V
Vdc	40 μ F
Lf	0,0012 H
PI	$K_p = 0,1; K_i = 1$

*Trường hợp 1: Tải là điện trở $R=10 \Omega, L=0,01H$ qua mạch chỉnh lưu cầu 3 pha.



Hình 2.5. Kết quả mô phỏng cho trường hợp 1, từ trên xuống dưới: Điện áp nguồn, dòng điện phụ tải phi tuyến, dòng điện bù của bộ lọc tích cực, dòng điện nguồn.

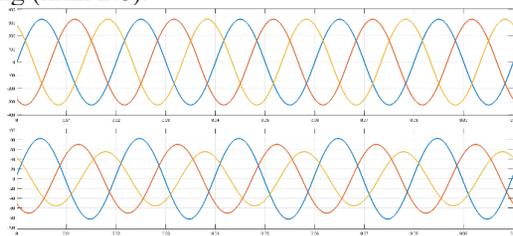


Hình 2.6. Phân tích FFT của dòng điện phụ tải (hình trái) và dòng điện nguồn (hình phải) trường hợp 1.

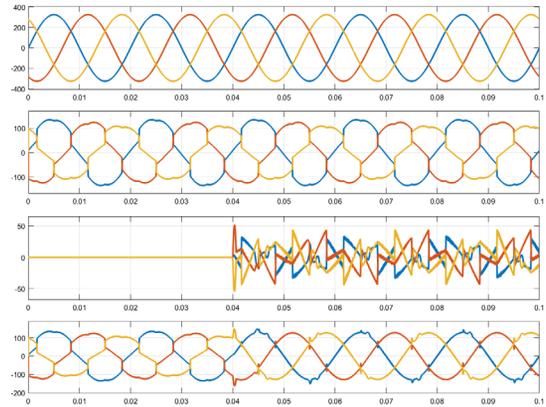
Tải phi tuyến sinh ra dòng điện có chỉ số THD cao lên đến 29,54% (hình 2.6). Bộ lọc tích cực được mô phỏng đóng tại thời điểm 0,04 giây. Kết quả mô phỏng cho thấy, dòng điện nguồn thay đổi khi đóng bộ lọc tích cực (hình 2.5). Khi sử dụng bộ lọc tích cực, chỉ số THD giảm xuống chỉ còn 3,06%, đạt yêu cầu (hình 2.6).

*Trường hợp 2: Tải phi tuyến như trường hợp 1 nhưng mắc song song với phụ tải không cân bằng 3 pha.

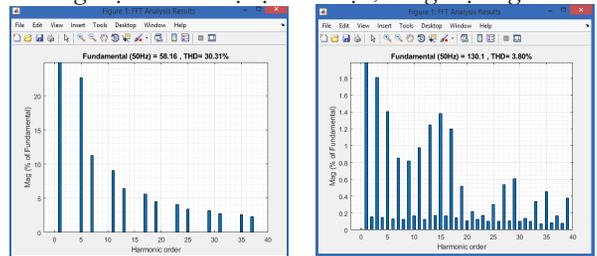
Dòng điện không cân bằng thể hiện trên hình 2.7. Trong trường hợp này, dòng điện phụ tải vừa không cân bằng vừa có sóng hài cao, chỉ số THD lên đến 30,31% (hình 2.9). Khi sử dụng bộ lọc tích cực, không những chỉ số THD giảm xuống còn 3,8% (hình 2.9) mà còn đưa dòng điện về tình trạng cân bằng (hình 2.8).



Hình 2.7. Điện áp nguồn và dòng điện phụ tải không cân bằng 3 pha.



Hình 2.8. Kết quả mô phỏng cho trường hợp 2, từ trên xuống dưới: Điện áp nguồn, dòng điện phụ tải phi tuyến, dòng điện bù của bộ lọc tích cực, dòng điện nguồn.



Hình 2.9. Phân tích FFT của dòng điện phụ tải (hình trái) và dòng điện nguồn (hình phải) trường hợp 2.

3. Kết luận

Bài viết trình bày mô phỏng bộ lọc tích cực sử dụng cấu trúc điều khiển kinh điển PI. Phương pháp này được kiểm chứng qua mô phỏng bằng Matlab/Simulink cho hai trường hợp phụ tải khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy, bộ lọc tích cực giảm thiểu sóng hài đảm bảo tiêu chuẩn tiêu chuẩn IEEE 519. Thông qua kết quả mô phỏng, SV hiểu rõ cấu trúc và nguyên lý làm việc của bộ lọc tích cực cũng như cách thức hạn chế sóng hài. Mô hình là cơ sở để SV khá giỏi có thể nghiên cứu các phương pháp điều khiển cho bộ lọc.

Tài liệu tham khảo

- [1]. IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems. IEEE15471. 2005.
- [2]. Hirofumi Akagi, Edson Hirokazu Watanabe, Mauricio Aredes, “Instantaneous power theory and applications to power conditioning”, IEEE press, ISBN 978-0-470-10761-4. pp. 1-379, 2017.
- [3]. Zammit, D., Spiteri Staines, C., Apap, M., 2014. “Comparison between PI and PR current controllers in grid connected PV inverters”, WASET. Int. J. Electr. Electron. Sci. Eng. 8 (2).