

**MÔ HÌNH HÓA VÀ MÔ PHỎNG  
BỘ LỌC TÍCH CỰC BA PHA BA DÂY**  
MODELING AND SIMULATION  
FOR THREE-PHASE THREE-WIRE ACTIVE FILTER

**Bùi Đông Hải<sup>1</sup>, Trần Thu Hà<sup>2</sup>, Võ Hoàng Lan Khuê<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Trường Cao đẳng Kỹ thuật Cao Thắng, Việt Nam,

<sup>2</sup> Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM, Việt Nam

<sup>3</sup> Trường Cao đẳng Công nghệ Thủ Đức, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 14/6/2016, ngày phản biện đánh giá 18/6/2016, ngày chấp nhận đăng 03/01/2017

**TÓM TẮT**

Với sự phát triển của ngành công nghiệp hiện đại, các tải phi tuyến như động cơ, các thiết bị điện tử (biến tần, bộ chỉnh lưu, và chuyển mạch công suất) được sử dụng rộng rãi. Các tải phi tuyến hoạt động tạo ra các sóng hài trên lưới điện, làm tăng nhiệt độ hệ thống, giảm công suất và gây nhiễu lên lưới điện và dẫn đến dòng điện và điện áp cung cấp bị biến dạng và chất lượng điện năng giảm. Bài báo này nghiên cứu bộ lọc tích cực song song ba pha ba dây, lọc sóng hài do tải phi tuyến (bộ chỉnh lưu tải RL). Sử dụng thuật toán điều khiển dòng điện trực tiếp, với bộ điều khiển trượt. Mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink cho kết quả tổng độ méo điều hòa (THD) của dòng điện nguồn được giảm từ 26,80% xuống còn 2,30%. Bộ lọc tích cực thiết kế làm giảm đáng kể lượng sóng hài dòng điện, hoạt động đáp ứng tiêu chuẩn quy định để nâng cao chất lượng điện năng.

**Từ khóa:** Bộ lọc tích cực; sóng hài; lọc sóng hài; lọc tích cực; tải phi tuyến.

**ABSTRACT**

With the development of modern industry, a various nonlinear and time-varying electronic devices such as inverters, rectifiers, and switching power supplies are widely utilized. These solid-state converters inject harmonics into the power lines and result in serious distortion in the supply current and voltage and decrease the power quality. Harmonics increase the conduction losses, eddy current losses and also have bad impacts on other loads connected to the same voltage source. This article presents a three-phase three-wire shunt active filter configuration. The proposed scheme implements simplified control algorithms depending on the direct current control (DCC) techniques for designing trajectories in sliding mode control based shunt active power filter (SAPF). The performances of the AF were verified through a simulation with MATLAB-SIMULINK. The THD of source current is reduced from 26,80% to 2,30%. The results indicate that proposed active filter can reduce the current harmonics.

**Keywords:** active filter; harmonic; harmonic filter; active filter; nonlinear load.

**1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Sóng hài gây nhiễu không mong muốn, làm ảnh hưởng trực tiếp tới chất lượng điện năng, sóng hài lớn hơn mức độ cho phép sẽ làm cho cấp bị quá nhiệt, phá hỏng cách điện có thể dẫn tới phá hủy chất điện môi hỏng thiết bị hiển thị sử dụng điện và đèn chiếu sáng, lỗi các thiết bị bảo vệ có thể ngắt điện, máy tính hoạt động và thiết bị đo lường.

Nguyên nhân gây ra sóng hài do các quá trình khởi động động cơ, hoạt động các bộ biến tần các hệ truyền động điện, lò luyện hồ quang, máy hàn hồ quang, máy biến áp, máy tính và các thiết bị điện tử khác,...

Trên thế giới và cả trong nước đã có rất nhiều trường đại học, nhóm nghiên cứu đi sâu vào nghiên cứu mô hình bộ lọc tích cực như bộ lọc tích cực một pha, bộ lọc tích cực ba pha ba

dây, bộ lọc tích cực ba pha bốn dây, các nghiên cứu rất đa dạng, sử dụng các thuật toán điều khiển hiện đại như điều khiển PID, điều khiển trượt, điều khiển logic mờ - nơron... Mỗi đề tài nghiên cứu đều có đặc điểm riêng tương ứng với các mục đích nghiên cứu và thiết kế, chế tạo

Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Kim Ánh [1] nghiên cứu sự ảnh hưởng của lò nấu thép cảm ứng lên nguồn cung cấp và trên cơ sở đó thiết kế bộ lọc tích cực song song (AF) để làm nhiệm vụ triệt tiêu sóng điều hòa dòng điện bậc cao và bù CSPK cho nguồn lò. Đặc điểm của lò là loại tải công suất lớn, mức độ phi tuyến mạnh và là gánh nặng cho nguồn cung cấp về công suất phản kháng (CSPK). Đề tài này đi nghiên cứu sự ảnh hưởng của lò nấu thép cảm ứng lên nguồn cung cấp và trên cơ sở đó thiết kế bộ lọc tích cực song song (AF) để làm nhiệm vụ triệt tiêu sóng điều hòa dòng điện bậc cao và bù CSPK cho nguồn lò, tác giả sử dụng thuật toán thuyết công suất tức thời  $p - q$  làm thuật toán điều khiển cho bộ AF.

Juntao Fei [2] đã nghiên cứu bộ lọc tích cực ba pha điều khiển dòng điện gián tiếp áp dụng phương pháp điều khiển trượt. Trong đề tài này, phương pháp điều khiển trượt mới được thiết kế để thực hiện giám sát dòng điện tham chiếu trong điều khiển dòng gián tiếp. Ưu điểm của việc sử dụng bộ điều khiển trượt mới cho bộ lọc tích cực song song với kỹ thuật dòng điện gián tiếp là nó không cần bộ phận phát hiện sóng hài. Bộ lọc tích cực được thiết kế có hiệu quả triệt tiêu sóng hài tốt và giảm nhỏ sóng hài trong dải rộng của dòng điện tải của tải phi tuyến khác nhau.

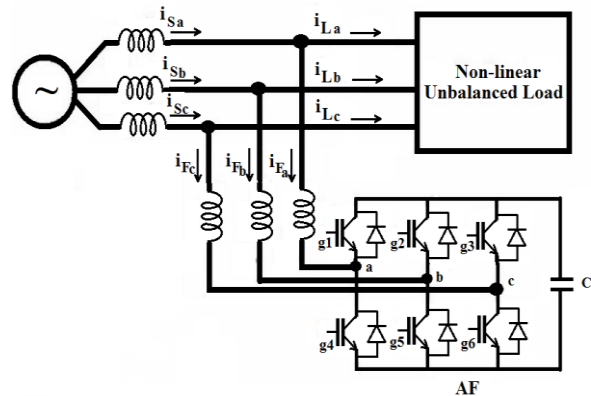
Farid Hamoudi [3] đã nghiên cứu bộ lọc tích cực ba pha bốn dây áp dụng phương pháp điều khiển trượt. Mục đích cải thiện dạng sóng dòng điện pha, giảm dòng điện trung tính hiện tại, bù công suất phản kháng trong hệ thống phân phối.

ThS. Phạm Văn Hiệp [4] đã nghiên cứu chế tạo thiết bị tiết kiệm năng lượng thông qua việc lọc, thu và sử dụng năng lượng sóng hài.

## 2. NỘI DUNG THIẾT KẾ

Để khắc phục các ảnh hưởng của sóng hài nhóm tác giả sử dụng bộ nghịch lưu sử dụng

dùng như là một máy phát dòng điện hài lý tưởng bao gồm 6 chuyển mạch với diode nối song song trên mỗi chuyển mạch. Các thiết bị bán dẫn thích hợp là IGBT hoặc MOSFET với diode song song để vệ quá dòng điện. Nhóm tác giả thiết kế cầu nghịch lưu sử dụng IGBT như hình 1.



**Hình 1.** Cấu hình mạch lọc tích cực (AF) ba pha ba dây.

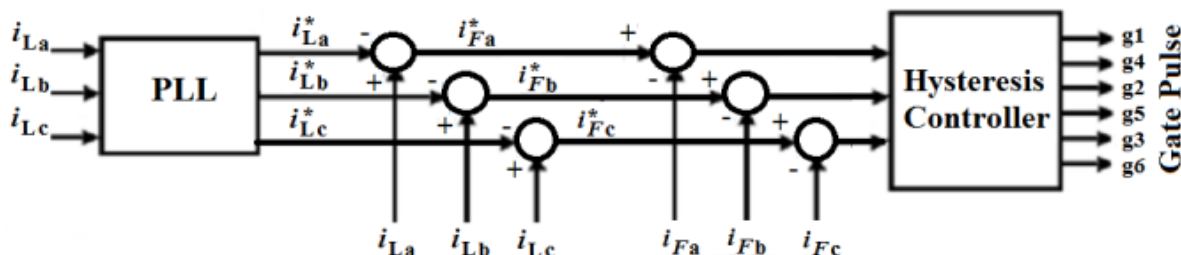
Mạch thiết kế mạch lọc ba pha ba dây sử dụng kỹ thuật điều khiển dòng điện trực tiếp, dòng điện tải  $I_L$  là tín hiệu ngõ vào của bộ lọc AF, dòng điện này dùng để làm tín hiệu tham chiếu, tín hiệu dòng tham chiếu so sánh với dòng điện do bộ lọc phát vào lưới  $I_F$  tạo ra tín hiệu đưa vào khối tạo xung điều khiển các IGBT. Dòng điện  $I_F$  của bộ lọc phát vào lưới, có cùng biên độ và ngược pha với dòng điện hài, nên triệt tiêu sóng hài do tải tạo ra. Khối tạo xung có sử dụng bộ điều khiển trượt vì thế tăng hiệu suất triệt tiêu sóng hài

Hai kỹ thuật điều khiển dòng điện gián tiếp và trực tiếp có điểm chung là lấy tín hiệu điện áp ở đầu nguồn  $u_s$  tạo tín hiệu tham chiếu, kỹ thuật điều khiển dòng điện gián tiếp thì sử dụng dòng điện nguồn  $i_s$ , còn kỹ thuật điều khiển dòng điện trực tiếp thì sử dụng dòng điện tải  $i_L$  để làm tín hiệu so sánh của ngõ vào bộ tạo xung kích. Cả hai kỹ thuật trên có tính chất là nếu nguồn điện cách xa tải gây khó khăn trong việc lắp đặt, tích hợp bộ lọc vào mạch.

Do đó, đề tài sử dụng kỹ thuật điều khiển dựa vào kỹ thuật điều khiển dòng trực tiếp như hình 2. Tín hiệu tham chiếu sử dụng ngay chính dòng điện tải chứ không sử dụng tín hiệu điện áp nguồn và điện áp tụ điện như hai

kỹ thuật điều khiển đã trình bày ở trên. Kỹ thuật này có ưu điểm là tất cả tín hiệu đầu vào của bộ lọc sử dụng ngay chính dòng điện tải nên dễ dàng lắp đặt, tích hợp bộ lọc vào mạch

điện/tải, như tích hợp bộ lọc vào mạch điện của máy biến tần, các bộ điều khiển/khởi động mềm động cơ...



Hình 2. Kỹ thuật điều khiển tạo xung kích cho các IGBT

Theo hình 2, dòng điện tải  $i_L$  được đưa vào khối vòng khóa pha (PLL) để tạo ra dòng điện tham chiếu  $i_L^*$  (là thành phần cơ bản của dòng điện tải, lọc bỏ các thành phần hài).

$$i_{La}^* = I_{Lmax} \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$i_{Lb}^* = I_{Lmax} \cdot \sin(\omega t + 120^\circ) \quad (2)$$

$$i_{Lc}^* = I_{Lmax} \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (3)$$

Dòng tham chiếu  $i_L^*$  đưa vào khối trừ với dòng điện tải kết quả thu được  $i_F^*$  là thành phần dòng điện hài:

$$i_{Fa}^* = i_{La} - i_{La}^* \quad (4)$$

$$i_{Fb}^* = i_{Lb} - i_{Lb}^* \quad (5)$$

$$i_{Fc}^* = i_{Lc} - i_{Lc}^* \quad (6)$$

Dòng  $i_F^*$  so sánh với dòng điện của bộ lọc  $i_F$  phát vào lưới thu được tín hiệu sai lệch, tín hiệu này chính là ngõ vào của bộ điều chế xung kích cho các IGBT.

Đối với mạch tạo xung sử dụng mạch điều khiển dòng trễ (Hysteresis Current Control). Các đại lượng  $i_{Fa}^*$ ,  $i_{Fb}^*$ ,  $i_{Fc}^*$  tương ứng là dòng điện yêu cầu các pha của bộ nghịch lưu, các đại lượng  $i_{Fa}$ ,  $i_{Fb}$ ,  $i_{Fc}$  tương ứng là dòng điện hồi tiếp của bộ nghịch lưu. Sai lệch của hai tín hiệu này là tín hiệu tạo sáu xung kích cho các IGBT như hình 3.

Do bộ nghịch lưu được sử dụng theo quy tắc kích đóng đối nghịch, các IGBT (T1-T4), (T2-T5), (T3-T6) có xung kích đóng ngược nhau. Ta dùng cổng NOT để tạo xung kích

đóng cho các IGBT (T4-T5-T6), từ các IGBT (T1-T2-T3). Biên độ sai số (hysteresis band) của mạch sẽ được đặt theo giá trị yêu cầu.

Điều khiển hàm phát xung sóng hài ngược sử dụng mặt trượt bao gồm dòng điện tham chiếu. Cho ( $I_F^*$ ) là giá trị tham chiếu của dòng điện tải. Giá trị tham chiếu của dòng điện tải là điểm cân bằng của hệ thống.

Mặt trượt:

$$S = (i_F^* - i_F) + \lambda \int (i_F^* - i_F) dt, [5] \quad (7)$$

Với  $i_F^*$  là dòng điện tham chiếu và  $\lambda$  là thông số điều khiển hay gọi là hệ số trượt. Hệ số trượt có giá trị dương đảm bảo sự ổn định của AF.

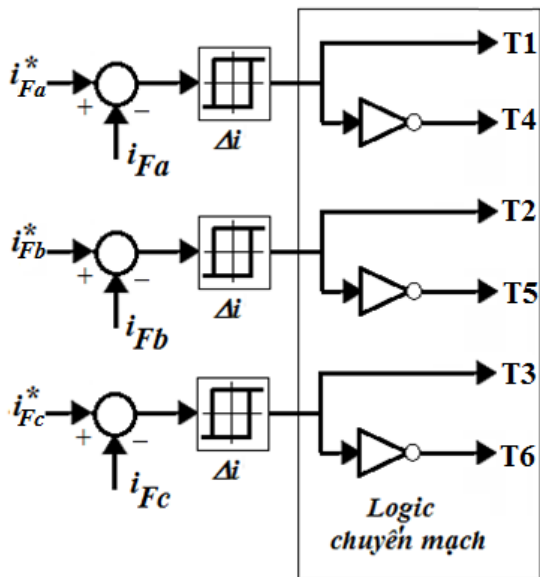
Trong bộ điều khiển trượt để đáp ứng điều kiện tồn tại, chúng ta xác định U như sau:

$$U = \begin{cases} 1 & \text{if } S > 0 \\ -1 & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

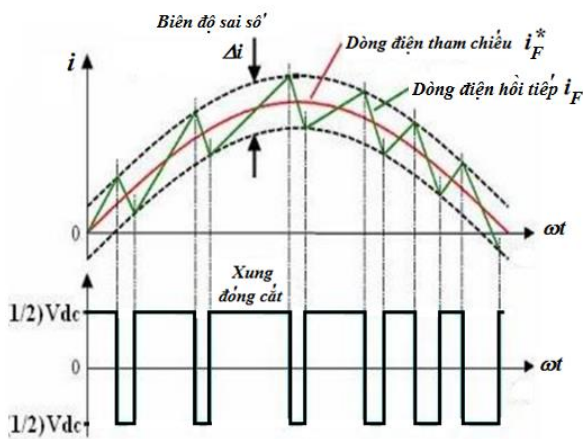
Như vậy ta có trạng thái đóng ngắt theo ngõ vào điều khiển ba pha theo bảng 1.

Bảng 1. Trạng thái đóng ngắt

U <sub>a</sub>	T1	T4	U <sub>b</sub>	T2	T5	U <sub>c</sub>	T3	T6
1	OFF	ON	1	OFF	ON	1	OFF	ON
-1	ON	OFF	-1	ON	OFF	-1	ON	OFF
0	OFF	OFF	0	OFF	OFF	0	OFF	OFF



Hình 3. Mạch Hysteresis.



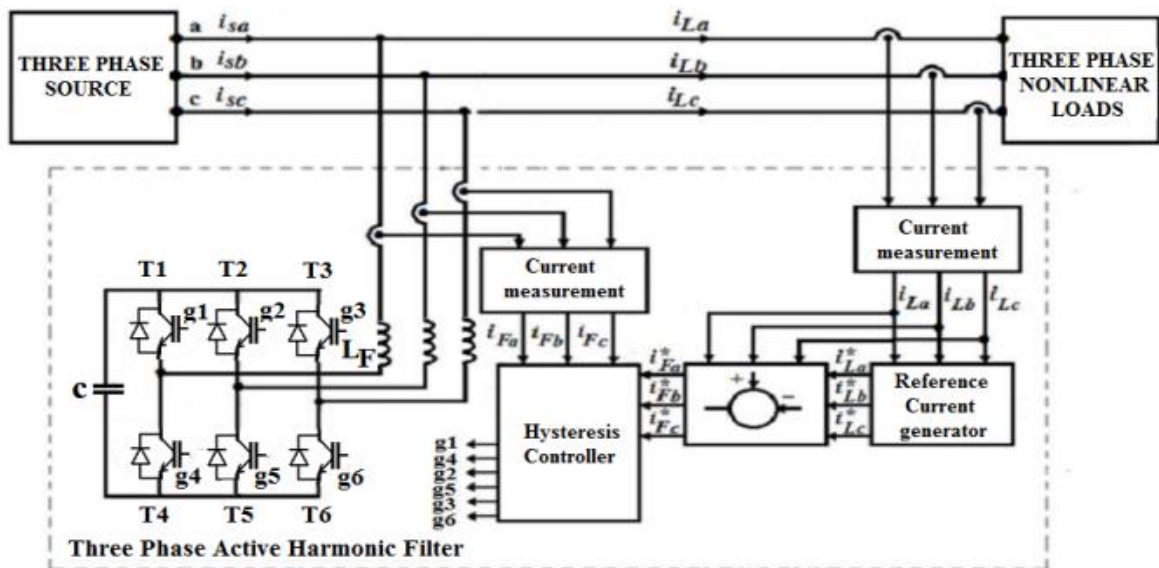
Hình 4. Logic chuyển mạch.

### 3. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

Mô hình mô phỏng sử dụng Matlab theo sơ đồ khối hình 5. Kết quả khảo sát hoạt động của mô hình cho giá trị dạng sóng, THD của tín hiệu điện áp, dòng điện nguồn và tải khi mạch khi chưa có mạch lọc, khi mạch có bộ lọc tích cực (AF), và thiết kế khâu điều khiển trượt vào bộ lọc tích cực (SMAF). Các thông số cài đặt cho mô hình được biểu diễn ở bảng 2.

Bảng 2. Thông số cài đặt của mô hình

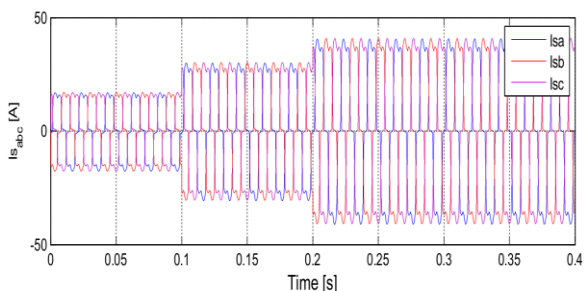
THÔNG SỐ	GIÁ TRỊ
Nguồn có giá trị hiệu dụng dây $V_{rms}$	380 V
Tần số nguồn cung cấp	50Hz
Điện trở đường dây $R_s$	2Ω
Điện cảm đường dây $L_s$	5e-6H
Tụ điện C	2,5e-4F
Điện cảm $L_F$	3e-3H
Điện trở tải không cân bằng $R_L$	30Ω
Điện cảm tải không cân bằng $L_L$	2e-3H
Thông số khâu điều khiển trượt $\lambda$	1,2



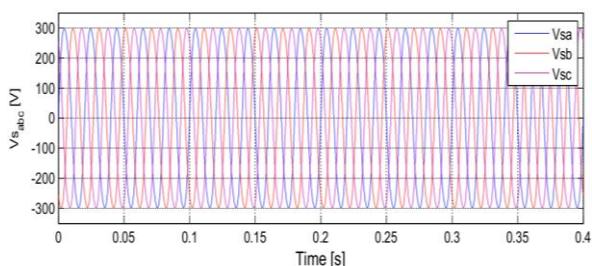
Hình 5. Sơ đồ khối của bộ lọc tích cực ba pha ba dây

### 3.1 Kết quả hệ thống khi chưa có mạch lọc

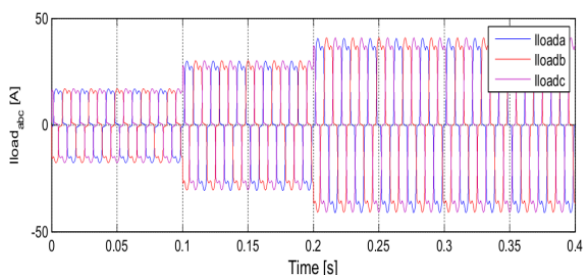
Với tải Nonlinear load 1 đóng vào mạch tại thời điểm  $t = 0s$ , Nonlinear load 2 đóng vào mạch tại thời điểm  $t = 0,1s$ , Nonlinear load 3 đóng vào mạch tại thời điểm  $t = 0,2s$ , lúc này hệ thống chưa có mạch lọc sóng hài.



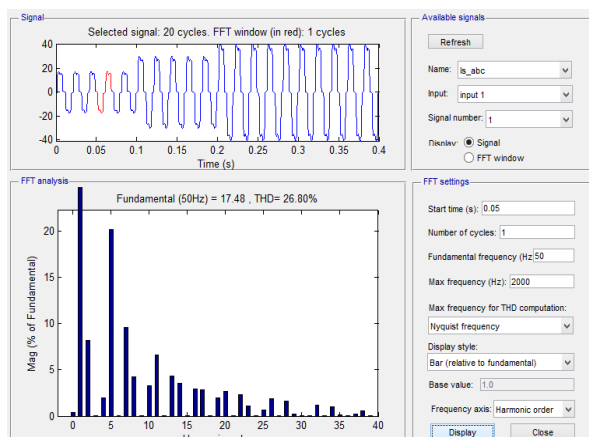
Hình 6. Dạng sóng điện áp nguồn cung cấp



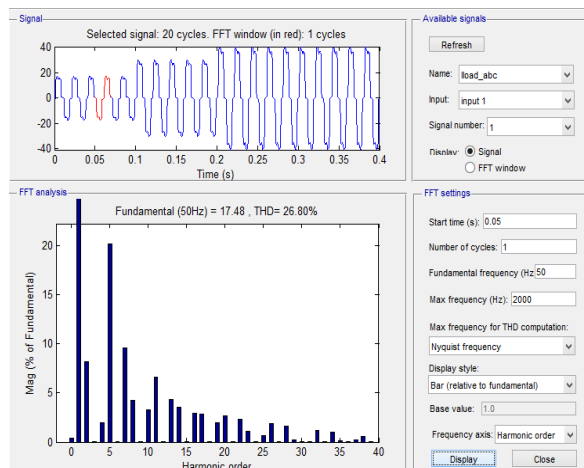
Hình 7. Dạng sóng dòng điện nguồn khi chưa có mạch lọc AF



Hình 8. Dạng sóng dòng điện tải



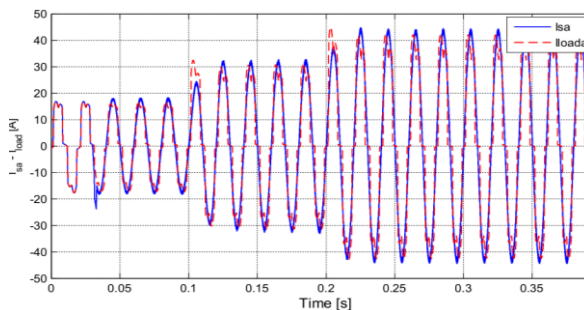
Hình 9. THD của dòng điện nguồn pha a tại  $t = 0,05s$  là 26,8%



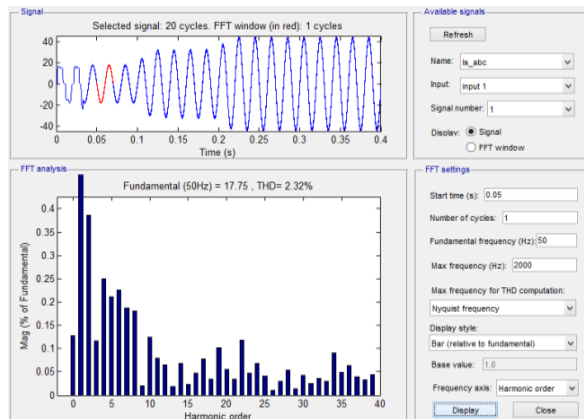
Hình 10. THD của dòng điện tải pha a tại  $t = 0,05s$  là 26,8%

Hình 6 hiển thị dạng sóng của điện áp nguồn cung cấp, hình 7 hiển thị dạng sóng của dòng điện nguồn và hình 9 hiển thị THD của dòng điện nguồn pha a là 26,8% tại  $t = 0,05s$ . Hình 8 hiển thị dạng sóng của dòng điện tải và hình 10 hiển thị THD của dòng điện tải pha a là 26,8% tại  $t = 0,05s$ .

### 3.2 Kết quả mô phỏng hệ thống khi mạch lọc AF đóng điện vào lưới



Hình 11. Dạng sóng dòng điện nguồn và tải khi có mạch lọc AF trên cùng đồ thị

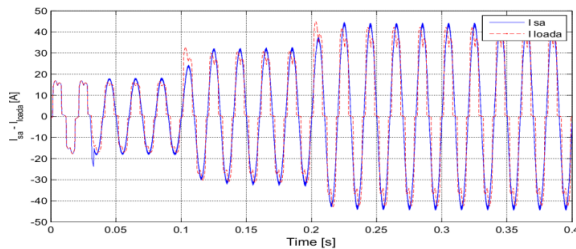


Hình 12. THD của dòng điện nguồn pha a khi có mạch lọc AF là 2.32%

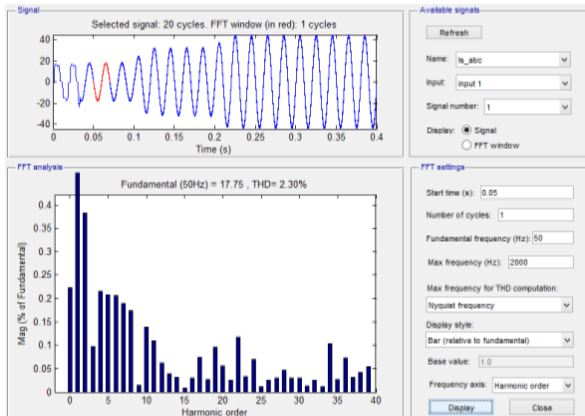
Hình 11 biểu diễn dạng sóng dòng điện nguồn và tải khi có mạch lọc AF trên cùng đồ thị, tín hiệu nét đứt là dạng sóng dòng điện tải bị méo dạng do tải phi tuyến gây ra, tín hiệu nét liền là dạng sóng dòng điện nguồn thuần túy sin. Và THD của dòng điện nguồn còn 2,32% như hình 12. Khi có bộ lọc thì THD của dòng điện nguồn giảm từ 26,80% (hình 10) xuống còn 2,32% (hình 12).

### 3.3 Hệ thống mạch lọc tích cực có bộ điều khiển trượt (SMAF)

Bộ điều khiển trượt vào bộ lọc cho kết quả mô phỏng với các thông số đầu vào như trên cho ta:



Hình 13. Dạng sóng dòng điện nguồn và tải khi có mạch lọc SMAF trên cùng đồ thị



Hình 14. THD của dòng điện nguồn pha a khi có mạch lọc SMAF là 2.30%

Mạch điện tải không tuyến tính làm cho dạng sóng dòng điện nguồn cung cấp bị biến dạng, khi công suất tải tăng cao thì độ biến dạng và cường độ tăng cao.

Qua phân tích mô phỏng ta thấy mạch lọc sử dụng đã phát lên lưới một dạng sóng hài ngược pha với sóng hài do tải gây ra làm triệt tiêu sóng hài trên lưới, dòng điện nguồn cung cấp sin hơn.

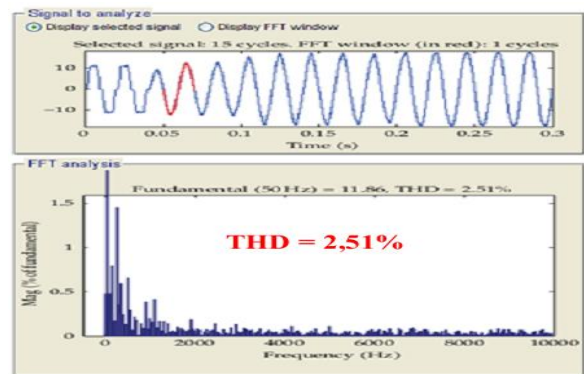
Khi chưa lọc tại thời điểm  $t = 0,05s$ , THD của dòng điện nguồn là 26,80% (Hình 9), khi

có mạch lọc tích cực AF thì THD của dòng điện nguồn là 2,32% (Hình 12), khi mạch lọc có khâu có khâu điều khiển trượt, thì THD của dòng điện nguồn là 2,30% (Hình 14).

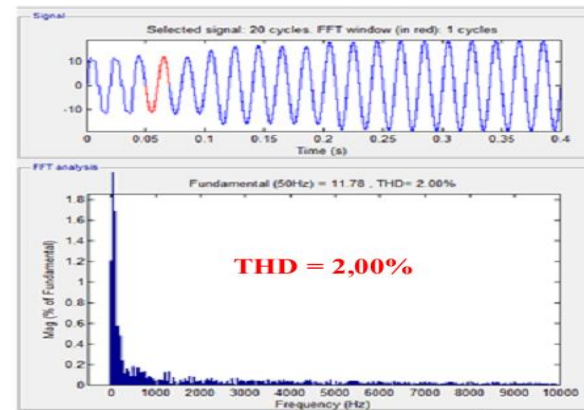
### 3.4 So sánh với mô hình của Juntao Fie [2]

Juntao Fie [2] đã nghiên cứu bộ lọc tích cực ba pha ba dây điều khiển dòng điện gián tiếp để giảm sóng hài dòng điện do tải phi tuyến gây ra trên lưới.

Để đánh giá hiệu suất của mô hình đã thiết kế, tác giả tiến hành mô phỏng mô hình theo thông số hệ thống mạng điện như thông số hệ thống mạng của mô hình Juntao Fie.



Hình 15. THD của dòng điện nguồn pha a của mô hình Juntao Fie [1]



Hình 16. THD của dòng điện nguồn pha a của mô hình

Như vậy theo kết quả mô phỏng của Juntao Fie thì THD của dòng điện nguồn pha a tại  $t = 0.05$  giây là 2,51%, còn theo kết quả mô phỏng nghiên cứu của đề tài thì THD của dòng điện nguồn pha a là 2,00%. Như vậy mô hình thiết kế của đề tài đạt được kết quả tối ưu hơn.

Đối chiếu với tiêu về sóng hài của Bộ Công Thương qui định, trong trường hợp khi

chưa sử dụng bộ lọc tích cực các thành phần sóng điều hòa trong dòng điện tải đều vượt quá tiêu chuẩn cho phép được quy định theo bảng tiêu chuẩn trong bài báo sóng hài cho kết quả như ý

Ngoài ra trong quá trình hoạt động nếu phụ tải có thay đổi thì bộ lọc vẫn đảm bảo hạn chế được lượng hài gây ra và độ méo dạng THD% đảm bảo trong giới hạn cho phép.

Qua các phân tích và mô phỏng kết quả cho mạch lọc tích cực song song ba pha ba dây cho ra được kết quả tốt, đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật.

#### 4. KẾT LUẬN

Qua quá trình nghiên cứu, tìm hiểu và thiết kế. Nhóm tác giả đã thiết kế mạch lọc tích cực ba pha ba dây với sơ đồ điều khiển bộ lọc sử dụng thuật toán điều khiển dòng

điện trực tiếp, có khâu điều khiển trượt. Thực hiện mô hình hóa và mô phỏng hệ thống trên phần mềm Matlab-Simulink. THD của dòng điện nguồn được giảm từ 26,80% xuống còn 2,30%.

Kết quả chỉ ra rằng bộ lọc tích cực sử dụng đạt có thể giảm đáng kể lượng sóng dòng điện hài, dòng điện nguồn sau khi lọc có tổng độ méo dạng THD đạt tiêu chuẩn cho phép theo tiêu chuẩn về sóng hài của Bộ Công Thương qui định.

#### LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn khoa Điện – Điện tử, phòng Đào tạo Sau Đại học trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật đã tạo điều kiện, giúp đỡ cho nhóm tác giả trong suốt thời gian qua.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Kim Ánh. Thiết kế bộ lọc tích cực cho việc giảm hài dòng điện và bù công suất phản kháng cho nguồn lò nấu thép cảm ứng. Tạp chí khoa học và công nghệ, đại học Đà Nẵng - số 4(33), 2009.
- [2] Juntao Fei, Tianhua Li, Feng Wang, and Wanru Juan. A Novel Sliding Mode Control Technique for Indirect Current Controlled Active Power Filter. Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering Volume 2012, Article ID 549782, 18 pages.
- [3] Farid Hamoudi, Aziz Chaghi, Mouloud Adli, Hocine Amimeur. A sliding mode control for four-wire shunt active filter. Journal of electrical engineering, vol.62, no.5, 2011, 267–273.
- [4] ThS. Phạm Văn Hiệp. Nghiên cứu chế tạo thiết bị tiết kiệm năng lượng thông qua việc lọc, thu và sử dụng năng lượng sóng hài. Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học cấp bộ. Trường đại học điện lực, 2011.
- [5] Soumya Ranjan Mohapatra. Performance Enhancement of Active Power Filter using Robust Control Strategies, A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the award of the award of degree Master of Technology by Research in Electrical Engineering, National Institute of Technology Rourkela Rourkela-769008, India, 2012.

#### Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

**ThS. Bùi Đông Hải**

Trường Cao Đẳng Kỹ Thuật Cao Thắng

Email: buidonghai@gmail.com