

HẠN CHẾ SÓNG HÀI TỪ NGUỒN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI QUA VIỆC SỬ DỤNG BỘ LỌC ỨNG DỤNG LÝ THUYẾT CÔNG SUẤT TỨC THỜI KÉP

REDUCTION OF HARMONICS FROM SOLAR POWER THROUGH THE EMPLOYMENT OF DUAL INSTANTANEOUS POWER THEORY BASED FILTERS

Đoàn Đức Tùng¹, Nguyễn Minh Nhất²

¹Trường Đại học Quy Nhơn; ddtung@ftt.edu.vn

²Trường Cao đẳng Kỹ thuật Công nghệ Quy Nhơn; nmnhat83@gmail.com

Tóm tắt - Hiện nay, nguồn năng lượng mặt trời đang được sử dụng ngày càng nhiều. Một trong những lý do là nhờ vào sự tiến bộ công nghệ bán dẫn đã dẫn đến thay đổi đáng kể trong các thiết bị điện tử công suất, từ các bộ biến đổi công suất sử dụng thyristor lớn trở thành các bộ chuyển đổi công suất sử dụng IGBT nhỏ và nhanh hơn. Tuy nhiên, điều khiển biến đổi công suất dựa trên IGBT tạo ra sóng hài và nó được truyền vào hệ thống điện. Các sóng hài thường được loại bỏ bằng bộ lọc thụ động LC hoặc RLC. Tuy nhiên, hệ thống lọc thụ động này có những hạn chế riêng. Bài báo sử dụng bộ lọc tích cực nối tiếp dựa trên lý thuyết công suất tức thời kép vào việc giảm thiểu sóng hài từ hệ thống điện mặt trời. Kết quả nghiên cứu cho thấy tổng độ méo sóng hài điện áp (THD) giảm từ 40,75% xuống 3,85% và tổng độ méo sóng hài dòng điện tại tải giảm từ 11,28% xuống 1,14%, thấp hơn đáng kể so với tiêu chuẩn IEEE Std. 519.

Từ khóa - sóng hài; tổng độ méo dạng sóng hài; bộ lọc tích cực; lý thuyết công suất tức thời; điện mặt trời.

1. Đặt vấn đề

Các nguồn điện mặt trời cần phải đáp ứng đầy đủ các quy tắc hòa lưới để kết nối vào lưới phân phối. Do đó, các bộ chuyển đổi năng lượng được kết nối với lưới bằng cách sử dụng các bộ lọc để giảm thiểu các sóng hài không mong muốn. Tiêu chuẩn IEEE Std. 519 lần đầu tiên được giới thiệu vào năm 1981 và được sửa đổi gần đây nhất vào năm 1992 để quy định tiêu chuẩn về triệt tiêu sóng hài (méo điện áp và dòng điện) được giới thiệu bởi bộ chuyển đổi công suất tĩnh và tải phi tuyến. Tiêu chuẩn này giúp ngăn ngừa sóng hài ảnh hưởng tiêu cực đến lưới điện. Tiêu chuẩn IEEE Std. 519 được đề cập trong Bảng 1 mô tả tổng độ méo dạng sóng hài (THD - Total Harmonic Distortion) được phép cho các ứng dụng điện áp của các hệ thống khác nhau. Bảng 2 đề cập đến sóng hài dòng điện tối đa được phép tính theo phần trăm dòng điện tải [1, 2]. IEEE Std. 519 được xem như là gợi ý và tiêu chuẩn khuyến nghị để điều khiển sóng hài trong các hệ thống điện. Tiêu chuẩn này được chấp nhận rộng rãi ở Bắc Mỹ để ngăn chặn các vấn đề về chất lượng điện trong các hệ thống kết nối lưới [2].

Bảng 1. Giới hạn về méo điện áp, IEEE std. 159

Giới hạn về méo điện áp hài theo phần trăm của điện áp định mức cơ bản (%)		
Điện áp tại điểm PCC, V_n (kV)	Méo điện áp cho từng sóng hài (%)	Méo điện áp tổng THD (%)
$V_n < 69$	3.0	5.0
$69 < V_n \leq 161$	1.5	2.5
$V_n > 161$	1.0	1.5

- PCC (Point of Common Coupling): Điểm nối chung
- V_n : Điện áp định mức.

Abstract - Currently, more and more solar power is being used. One of the reasons for this is that advances in semiconductor technology have led to significant changes in power electronics from power converters that use large thyristors into small and faster switching IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors). However, this IGBT-based power-modulated control produces harmonics and is then transmitted to the electrical system. The harmonics are usually removed by passive LC or RLC filters. However, this passive filtering system has its own limitations. The research uses serial active filter based on dual instantaneous power theory to minimize harmonics from the solar system. The results show that the total harmonic distortion of voltage has dropped from 40.75% to 3.85% and the total harmonic distortion of load current is reduced from 11.28% to 1.14%, significantly lower than the IEEE Std requirement 519.

Key words - Harmonic; THD; Active filter; p-q theory; PV.

Bảng 2. Giới hạn về méo dòng điện trong hệ thống phân phối chung, IEEE std. 159

Độ méo sóng hài dòng điện tối đa theo phần trăm của dòng điện tải I_L (%)						
h I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	3.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

- TDD (Total Demand Distortion): Tổng độ méo nhu cầu;
- I_{sc} : Dòng điện ngắn mạch lớn nhất tại PCC;
- I_L : Dòng điện tải lớn nhất tại PCC;
- h (Harmonic order): Bậc sóng hài.

Bên cạnh những lợi thế khi sử dụng bộ chuyển đổi nhanh IGBT trong bộ biến đổi công suất, IGBT còn dẫn đến một số nhược điểm liên quan. Tốc độ chuyển đổi nhanh của IGBT đã dẫn đến mức nhiễu điện từ cao (EMI - Electromagnetic Interference). Cơ chế chuyển đổi trong bộ biến đổi công suất tạo ra cả hai chế độ nhiễu điện từ đó là chế độ chung (CM - Common Mode) và chế độ đặc biệt (DM - Differential Mode) [3]. Sự hiện diện của sóng hài dòng điện và điện áp trong các hệ thống phân phối điện làm tăng tổn thất điện năng trong các dây dẫn, giảm hệ số công suất và có thể gây ra sự cộng hưởng trong mạch [4]. Trong các bộ điều khiển động cơ và các thiết bị bảo vệ lưới điện, các sóng hài có thể tiềm ẩn gây ra các hư hỏng vật lý hoặc tác động các rơ le không mong muốn [5].

Các sóng hài được tạo ra thường được loại bỏ bằng bộ lọc LC hoặc RLC thụ động. Tuy nhiên trong các ứng dụng thực tế các bộ lọc thụ động có một số nhược điểm, do đó các bộ lọc tích cực đã được nghiên cứu và phát triển. Bộ lọc tích cực, không giống như các bộ lọc thụ động được xây dựng từ op-amps, điện trở và tụ điện. Các bộ lọc tích cực có thể xử lý các tín hiệu tần số rất thấp, thậm chí, chúng có thể làm tăng điện áp nếu cần thiết. Các bộ lọc tích cực mang lại hiệu suất tương đương với các bộ lọc thụ động, nhưng chúng dễ làm hơn và được thiết kế mà không cần các thành phần có kích thước lớn. Trong bối cảnh các bộ biến đổi công suất càng được sử dụng nhiều hơn như trong bộ nghịch lưu của hệ thống điện mặt trời, việc nghiên cứu các bộ lọc sóng hài điện áp là việc làm hết sức cần thiết. Bài báo sẽ trình bày nghiên cứu ứng dụng lý thuyết công suất tức thời trong điều khiển bộ lọc tích cực nối tiếp nhằm giảm thiểu sóng hài từ nguồn năng lượng mặt trời.

2. Lý thuyết công suất tức thời

Lý thuyết công suất tức thời (lý thuyết p-q) ban đầu được sử dụng với hệ thống ba pha chỉ bao gồm các nguồn điện áp. Tuy nhiên, có thể xem xét lý thuyết kép của nó phù hợp với các trường hợp có nguồn dòng ba pha, hoặc thực hiện bù nối tiếp điện áp thay vì bù song song dòng điện. Trong lý thuyết p-q kép, giả định rằng đã biết các thành phần dòng điện, công suất tác dụng và công suất phản kháng, các thành phần điện áp cần được tính toán hoặc bù trừ. Một ứng dụng của lý thuyết p-q kép là đối với trường hợp bù điện áp nối tiếp.

Để đơn giản, chúng ta chỉ phân tích trường hợp của một hệ thống ba pha, ba dây. Do đó, không có điện áp thứ tự không và dòng điện thứ tự không. Với những điều kiện như trên, ta có phương trình:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_\alpha & i_\beta \\ -i_\beta & i_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \tag{1}$$

Xem như đã biết công suất tác dụng và công suất phản kháng, cũng như các dòng điện, các giá trị điện áp có thể được tính toán với các biến đã biết. Nhân hai vế của (1) bởi ma trận nghịch đảo của dòng điện, điện áp được xác định là hàm của dòng điện và công suất:

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{i_\alpha^2 + i_\beta^2} \begin{bmatrix} i_\alpha & -i_\beta \\ i_\beta & i_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \tag{2}$$

Vế phải của công thức (2) có thể được phân tích như sau:

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{i_\alpha^2 + i_\beta^2} \begin{bmatrix} i_\alpha & -i_\beta \\ i_\beta & i_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} + \frac{1}{i_\alpha^2 + i_\beta^2} \begin{bmatrix} i_\alpha & -i_\beta \\ i_\beta & i_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{3}$$

Có thể rút gọn công thức (3) như sau:

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{\alpha p} \\ v_{\beta p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{\alpha q} \\ v_{\beta q} \end{bmatrix} \tag{4}$$

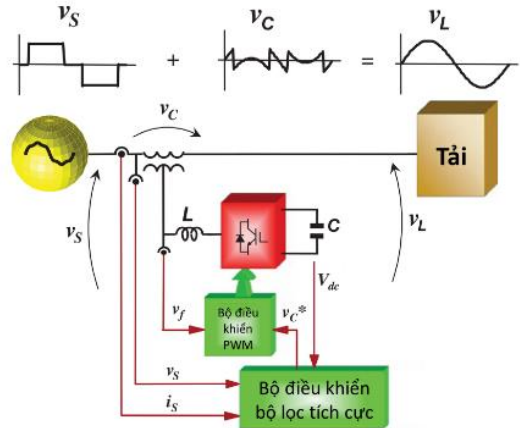
3. Bộ lọc sóng hài tích cực nối tiếp dựa trên lý thuyết công suất tức thời để hạn chế sóng hài từ nguồn năng lượng mặt trời

Bộ lọc tích cực nối tiếp thường gồm hai khối chính khác nhau:

- Bộ điều khiển độ rộng xung (PWM) (xử lý nguồn) và
- Bộ điều khiển bộ lọc tích cực (xử lý tín hiệu)

Bộ điều khiển PWM chịu trách nhiệm xử lý công suất

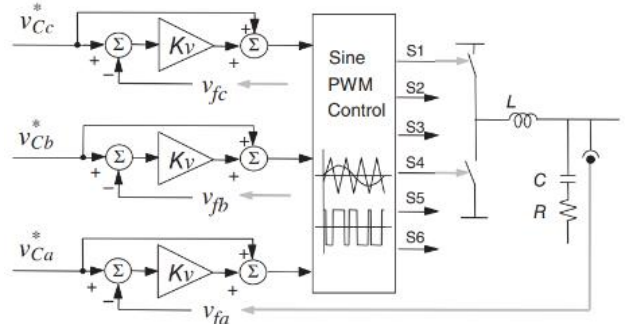
cần bù từ việc tính toán điện áp hài của nguồn điện và tổng hợp điện áp bù đó với hệ thống điện thông qua một biến áp. Bộ điều khiển bộ lọc tích cực chịu trách nhiệm xử lý tín hiệu các điện áp bù tham chiếu theo thời gian thực, tín hiệu này liên tục được truyền tới bộ điều khiển PWM. Hình 1 cho thấy cấu trúc cơ bản của bộ lọc sóng hài nối tiếp để bù sóng hài điện áp cho nguồn điện có chứa sóng hài như hệ thống pin mặt trời. Nó bao gồm một bộ chuyển đổi nguồn áp được điều khiển bởi bộ điều khiển dòng PWM và bộ điều khiển tích cực để đưa ra một thuật toán điều khiển gần như tức thời. Bộ điều khiển tích cực song song hoạt động một cách khép kín, liên tục đo điện áp nguồn v_s và tính các giá trị tức thời của điện áp bù tham chiếu v_c^* , điện áp tham chiếu này làm tín hiệu điều khiển cho bộ điều khiển PWM.



Hình 1. Cấu trúc cơ bản của bộ lọc tích cực nối tiếp

3.1. Bộ điều khiển PWM

Bộ điều khiển điện áp PWM sử dụng cho bộ lọc tích cực nối tiếp cho phép bộ lọc tạo ra điện áp không theo dạng hình sin mà theo các giá trị tham chiếu của chúng v_{Ca}^* , v_{Cb}^* và v_{Cc}^* , bộ điều khiển này có thể thay đổi về độ rộng tần số và biên độ. Do đó, các kỹ thuật biến đổi PWM theo dạng hình sin thông thường có thể không phù hợp vì sự suy giảm biên độ vốn có của chúng. Hơn nữa, mạch LRC ở đầu ra của bộ chuyển đổi PWM có thể gây ra các dịch chuyển pha trong điện áp bù v_{fa} , v_{fb} và v_{fc} . Do đó, ba vòng điều khiển phản hồi phụ sử dụng giá trị thực của v_{fa} , v_{fb} và v_{fc} được thực hiện để giảm thiểu độ lệch có thể giữa các giá trị tham chiếu v_{Ca}^* , v_{Cb}^* và v_{Cc}^* , điện áp bù v_{Ca} , v_{Cb} và v_{Cc} được tạo ra bộ biến đổi điện áp. Điều khiển điện áp PWM được đề xuất như trong Hình 2.



Hình 2. Bộ điều khiển điện áp PWM với vòng điều khiển phản hồi phụ

Giá trị K_v nhân các với sai lệch giữa các giá trị tham

chiều và các giá trị thực tế của điện áp bù. Giá trị này được đặt càng cao càng tốt, nhưng phải đảm bảo các giá trị tham chiếu mới cho điều khiển PWM, bằng $v_{Ck}^* + K_V (v_{Ck}^* - v_{rk})$, với $k = a, b, c$ không được vượt quá biên độ xung tam giác của bộ nghịch lưu PWM.

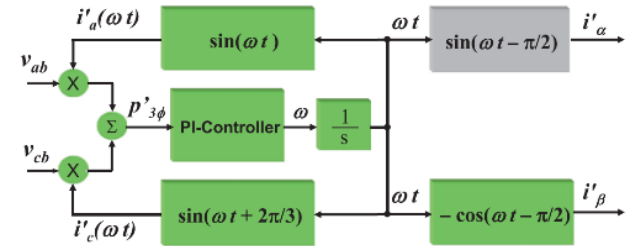
Vì vòng lặp điều khiển chỉ bao gồm một phép nhân tỉ lệ, nên các sai số không thể loại bỏ hoàn toàn. Hơn nữa, trong một thử nghiệm thực tế, biên áp nối tiếp có thể làm tăng các sai số bù, vì các phép đo được thực hiện ở phía thứ cấp của máy biến áp và một máy biến áp không thể có một phản ứng tuyến tính hoàn hảo trong một dải tần số rộng. Các phép đo v_{fa}, v_{fb} và v_{fc} được thực hiện ở mặt thứ cấp để tránh các hiệu ứng phi tuyến của các máy biến áp có thể dẫn đến sự bất ổn đối với bộ điều khiển.

3.2. Bộ điều khiển xác định điện áp thứ tự thuận

Điện áp pha v_a, v_b và v_c chủ yếu chứa các thành phần thứ tự thuận (V_{+1}), nhưng có thể không cân bằng (chứa các thành phần thứ tự nghịch và không ở tần số cơ bản) và cũng có thể chứa sóng hài từ bất kỳ thành phần nào.

Sơ đồ khối điều khiển hoàn chỉnh của bộ xác định điện áp thứ tự thuận được xây dựng như Hình 3.

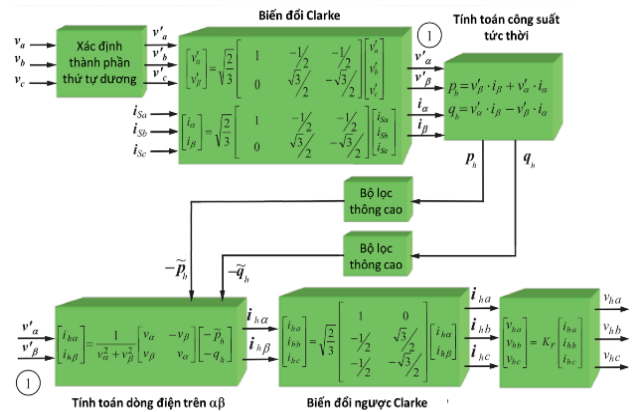
sóng điện áp bị biến dạng và không cân bằng. Một điểm đặc biệt của mạch PLL đó là nó gần như không bị ảnh hưởng bởi sự mất cân bằng và biến dạng trong dạng sóng điện áp. Mạch PLL xác định tự động tần số hệ thống và góc pha của thành phần thứ tự dương cơ bản của tín hiệu đầu vào ba pha. Trong trường hợp hiện tại, nó là điện áp ba pha v_a, v_b và v_c . Hình 4 minh họa sơ đồ khối chức năng của nó. Mạch này đã được chứng minh là rất hiệu quả, ngay cả dưới điện áp hệ thống bị méo cao. Nó đã được sử dụng thành công, bởi các tác giả, trong một số thiết bị điện tử công suất, như bộ lọc tích cực và thiết bị FACTS.



Hình 4. Sơ đồ khối chức năng của mạch vòng khóa pha PLL

3.3. Bộ điều khiển bộ lọc tích cực

Một thuật toán điều khiển để tính toán điện áp dòng hải được xây dựng như Hình 5. Điện áp pha tại đầu cực tải và dòng được đo và chuyển đổi thành các hệ trục tham chiếu $\alpha\beta$. Sau đó, công suất tác dụng và công suất phản kháng của tải được tính toán và lọc các thành phần công suất ở tần số cơ bản qua bộ lọc thông cao, các phần công suất không mong muốn được chọn. Từ những phần công suất này, dòng điện và điện áp bù được tính toán tức thời và đưa vào hệ thống điện bằng bộ bù dòng.



Hình 5. Các khối thuật toán điều khiển bộ lọc tích cực nối tiếp

Hình 3. Thuật toán điều khiển xác định điện áp thứ tự thuận

Bộ xác định điện áp thứ tự thuận cơ bản dựa trên lý thuyết p-q kép và các khái niệm về bù điện áp giống như Hình 3. Các điện áp v_a, v_b và v_c được biến đổi thành các trục $\alpha\beta$ để xác định v_α và v_β . Chúng được sử dụng cùng với các dòng i'_α và i'_β được tạo ra trong mạch đồng bộ (mạch PLL), để tính toán các công suất phụ p' và q' , như Hình 3. Giả thiết rằng các dòng phụ i'_α và i'_β với bất kỳ độ lớn nào cũng chỉ bắt nguồn từ một dòng điện thứ tự thuận I_{+1} ở tần số cơ bản, được phát hiện bởi mạch PLL.

Để trích xuất điện áp thứ tự thuận cơ bản với phương pháp kép được biểu diễn trong Hình 3, biên độ của các dòng phụ i'_α và i'_β không quan trọng và có thể được chọn tùy ý. Để đơn giản, chúng được thiết lập như 1 đơn vị chuẩn. Nói cách khác, các giá trị tuyệt đối của các công suất phụ p' và q' , cũng như các dòng phụ i'_α và i'_β , không có ý nghĩa vật lý. Lưu ý rằng, chúng được sử dụng cùng nhau trong phép tính điện áp, được biểu diễn bằng khối tính toán điện áp $\alpha\beta$ trong Hình 3.

Mạch PLL theo dõi liên tục tần số cơ bản của điện áp hệ thống. Thiết kế của PLL cho phép vận hành dưới dạng

Mục tiêu chính của bộ lọc tích cực nối tiếp là bù sóng hài và sự mất cân bằng trong điện áp nguồn. Nói cách khác, bộ lọc sóng hài nối tiếp phải bù tất cả các thành phần điện áp trong nguồn cung cấp, những thành phần mà nó không tương ứng với thành phần thứ tự thuận cơ bản của nó.

3.4. Kết quả mô phỏng

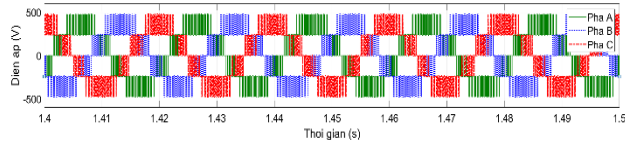
Trên cơ sở mô hình lưới điện thực tế và kết quả nghiên cứu từ phần 2, bài báo sử dụng bộ lọc tích cực để lọc các sóng hài và được mô phỏng trên Matlab/Simulink. Mô hình nghiên cứu như Hình 1, các thông số về hệ thống và tải được thể hiện như trong Bảng 3.

Đánh giá hiệu quả của bộ lọc tích cực nối tiếp, phân tích dạng sóng điện áp trước điểm nối chung (phía nguồn) và

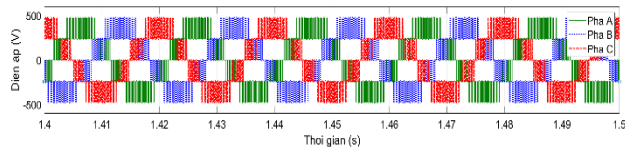
sau điểm nối chung (phía tải) cũng như phân tích Fourier méo dạng sóng hài điện áp trước và sau khi lọc có kết quả như Hình 6.

Bảng 3. Thông số các phần tử chính của mô hình

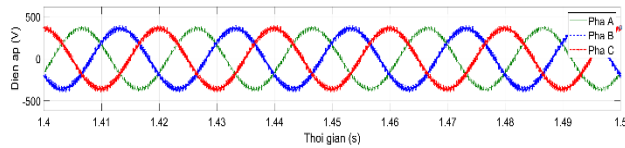
Phần tử	Thông số
Nguồn năng lượng mặt trời	$V_{dc} = 250 \text{ V}$, $P = 250 \text{ kW}$ Nghịch lưu 3 cấp Bám theo điểm công suất cực đại MPPT
Tải tuyến tính	$U = 250 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $P = 100 \text{ kW}$
Biến áp	Máy biến áp tăng áp tỉ lệ 1/2, $S_{dm} = 100 \text{ KVA}$, $R = 0,002$, $L = 0,05$



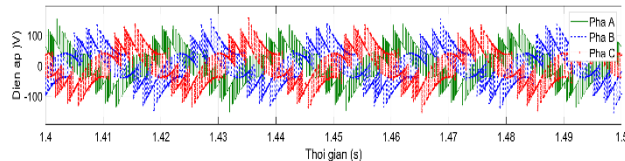
(a) – Điện áp nguồn



(b) – Điện áp tải trước khi lọc



(c) – Điện áp tải sau khi lọc

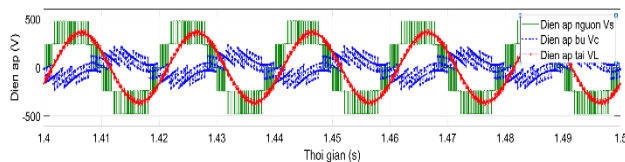


(d) – Điện áp bù bởi bộ lọc tích cực

Hình 6. Dạng sóng điện áp trước và sau khi lọc

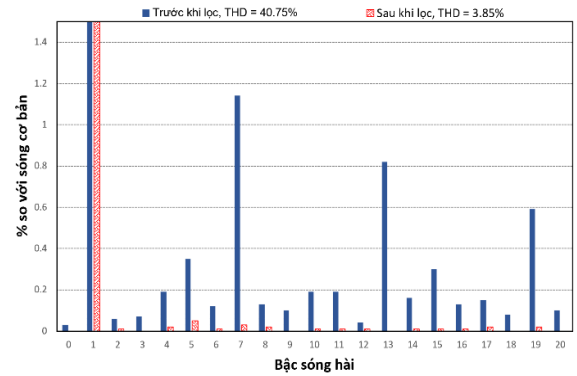
Đễ dàng nhận thấy tại Hình 6 (a) và Hình 6 (b) khi chưa sử dụng bộ lọc tích cực, dạng sóng điện áp nguồn bị méo nghiêm trọng làm cho dạng sóng điện áp tải cũng bị méo dạng. Tại Hình 6 (c), sau khi sử dụng bộ lọc tích cực, dạng sóng điện áp đã được cải thiện đáng kể vì điện áp tải đã được bù bởi bộ lọc tích cực ở Hình 6 (d).

Mối liên hệ giữa các điện áp tại điểm nối chung của pha A thể hiện ở Hình 7. Trong đó giá trị điện áp tải là v_L , giá trị điện áp nguồn là v_S và điện áp do bộ lọc cung cấp là v_C có mối quan hệ với nhau theo công thức $v_L = v_S + v_C$:



Hình 7. Tổng hợp điện áp tại điểm nối chung pha A

Phân tích chuỗi Fourier 10 chu kỳ liên tiếp của tín hiệu điện áp tại tải trước và sau khi lọc có kết quả như Hình 8.



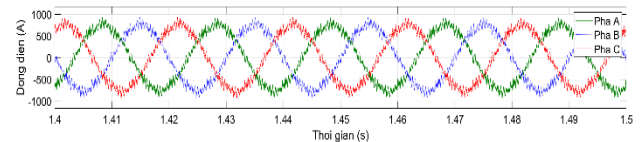
Hình 8. Phân tích Fourier sóng hài điện áp tại tải trước và sau khi lọc

Tỉ lệ chi tiết thành phần sóng hài của điện áp tải tại pha A trước và sau khi có bộ lọc tích cực nối tiếp như Bảng 4.

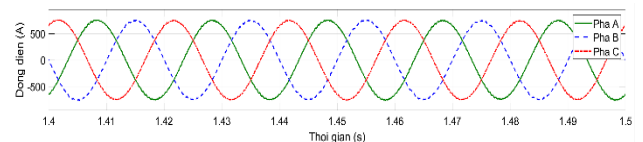
Bảng 4. Tỉ lệ thành phần sóng hài điện áp tải pha A trước và sau khi lọc

Bậc điều hòa	Tỉ lệ các thành phần sóng hài so với sóng cơ bản (%)		Bậc điều hòa	Tỉ lệ các thành phần sóng hài so với sóng cơ bản (%)	
	Trước khi lọc	Sau khi lọc		Trước khi lọc	Sau khi lọc
THD	40,75	3,85	10	0,19	0,01
DC	0,03	0,00	11	0,19	0,01
1	100,00	100	12	0,04	0,01
2	0,06	0,01	13	0,82	0,00
3	0,07	0,00	14	0,16	0,01
4	0,19	0,02	15	0,30	0,01
5	0,35	0,05	16	0,13	0,01
6	0,12	0,01	17	0,15	0,02
7	1,14	0,03	18	0,08	0,00
8	0,13	0,02	19	0,59	0,02
9	0,10	0,00	20	0,10	0,0

Trong Hình 8 và Bảng 4 ta nhận thấy, độ méo sóng hài điện áp của tải đã cải thiện đáng kể, trước khi lọc có $THD = 40,75\%$ vượt quá mức cho phép theo tiêu chuẩn IEEE std 159 (yêu cầu tổng độ méo sóng hài $<5\%$) đã giảm còn $THD = 3,85\%$. Sau khi sử dụng bộ lọc tích cực, tất cả các sóng hài thành phần đều có tỉ lệ phần trăm so với sóng cơ bản là $<0,1\%$ làm cho các giá trị này đạt tiêu chuẩn IEEE std 159 (yêu cầu độ méo sóng hài từng thành phần $<3\%$).



(a) – Dòng điện tải trước khi lọc

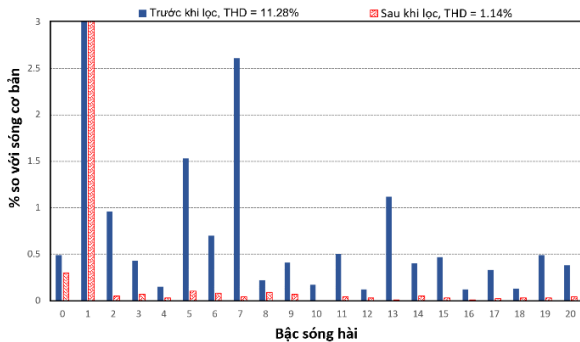


(b) – Dòng điện tải sau khi lọc

Hình 9. Dòng điện tải phi tuyến trước và sau khi lọc

Bên cạnh giá trị điện áp tải, dòng điện tải cũng là một yếu tố đáng quan tâm, trong mô hình nghiên cứu ứng dụng bộ lọc tích cực nối tiếp, chúng ta đã sử dụng tải tuyến tính, nhưng với việc điện áp bị nhiễu sóng hài nghiêm trọng, dòng điện tải cũng bị ảnh hưởng theo là điều không thể tránh khỏi, Hình 9 thể hiện dạng sóng dòng điện tải trước và sau khi sử dụng bộ lọc tích cực nối tiếp.

Phân tích Fourier 10 chu kỳ liên tiếp của tín hiệu dòng điện tải trước và sau khi lọc có kết quả như Hình 10.



Hình 10. Phân tích Fourier sóng hài dòng điện tải tại pha trước và sau khi lọc

Tỉ lệ các thành phần sóng hài của dòng điện tải tại pha A trước và sau khi có bộ lọc tích cực nối tiếp như Bảng 5.

Bảng 5. Tỉ lệ thành phần sóng hài của dòng điện tải pha A trước và sau khi lọc

Bậc điều hòa	Tỉ lệ các thành phần sóng hài so với sóng cơ bản (%)		Bậc điều hòa	Tỉ lệ các thành phần sóng hài so với sóng cơ bản (%)	
	Trước khi lọc	Sau khi lọc		Trước khi lọc	Sau khi lọc
THD	11,28	1,14	10	0,17	0,00
DC	0,49	0,3	11	0,50	0,04
1	100,00	100,00	12	0,12	0,03
2	0,96	0,05	13	1,12	0,01
3	0,43	0,07	14	0,40	0,05
4	0,15	0,03	15	0,47	0,03
5	1,53	0,10	16	0,12	0,01
6	0,70	0,08	17	0,33	0,02
7	2,61	0,04	18	0,13	0,03
8	0,22	0,09	19	0,49	0,03
9	0,41	0,07	20	0,38	0,04

Qua Hình 10 và Bảng 5 ta dễ dàng nhận thấy độ méo sóng hài dòng điện của tải đã cải thiện đáng kể, trước khi lọc có THD = 11,28% vượt quá mức cho phép theo tiêu chuẩn IEEE std 159 (tổng độ méo sóng hài <5) đã giảm còn THD = 1,14% đạt tiêu chuẩn IEEE std 159. Sau khi sử dụng bộ lọc tích cực, tất cả các sóng hài thành phần đều có tỉ lệ

phần trăm so với sóng cơ bản là < 0,1% làm cho các giá trị này đạt tiêu chuẩn IEEE std 159 (độ méo sóng hài từng thành phần < 3%).

Như vậy, bộ lọc sóng hài tích cực nối tiếp sử dụng trong mô hình đã đáp ứng được tiêu chuẩn IEEE std 159 và đáp ứng được tiêu chuẩn về sóng hài của Thông tư 39/2015/TT-BCT.

4. Kết luận

Các bộ biến đổi công suất IGBT dựa trên việc chuyển đổi công suất nhanh chóng đang trở nên phổ biến thay thế cho hầu hết các bộ biến đổi sử dụng thyristor do có khả năng biến đổi nhiều năng lượng hơn và đáp ứng các tiêu chuẩn kết nối lưới điện. Các hệ thống điện mặt trời và điện gió sử dụng các bộ chuyển đổi chuyển mạch nhanh dựa trên IGBT này để chuyển đổi điện áp DC ra thành nguồn AC. Tuy nhiên, các bộ chuyển đổi năng lượng dựa trên IGBT lại tạo ra các sóng hài đưa vào lưới điện, các tải riêng lẻ và điều này sẽ ảnh hưởng đến hiệu suất của toàn bộ hệ thống. Các sóng hài được tạo ra thường được loại bỏ bằng bộ lọc LC hoặc RLC thụ động nhưng chúng có những giới hạn riêng như nhiệt độ quá cao, dịch pha, cuộn cảm lõi sắt lớn và nặng. Bài báo đã phân tích sóng hài được tạo bởi bộ chuyển đổi IGBT kết nối với các mảng PV cho các ứng dụng độc lập và đã nghiên cứu sử dụng bộ lọc nối tiếp dựa trên lý thuyết công suất tức thời kết hợp vào việc giảm thiểu sóng hài được tạo ra từ IGBT các trong hệ thống điện mặt trời. Kết quả nghiên cứu cho thấy tổng độ méo sóng hài điện áp THD đã giảm từ 40,75% xuống 3,85%, thấp hơn so với tổng độ méo sóng hài cho phép theo tiêu chuẩn IEEE Std. 519. Ngoài ra, tổng độ méo sóng hài dòng điện tải còn giảm từ 11,28% xuống còn 1,14%, thấp hơn đáng kể so với yêu cầu của tiêu chuẩn IEEE Std. 519.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] IEEE Std. 519-1992, *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*, New York, NY.
- [2] Hoevenaars, K. LeDoux, and M. Colosino, "Interpreting IEEE Std. 519 and Meeting its Harmonic Limits in VFD Applications", in *Copyright Material IEEE Paper No. PCIC-2003-15*, May 6, 2003.
- [3] Meng Jin, Ma Weiming, "Power converter EMI analysis including IGBT nonlinear switching transient model", *ISIE 2005. Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, vol.2, no., pp. 499-504 vol. 2, 20-23 June 2005.
- [4] Moran, L.; Fernandez, L.; Dixon, J.; Wallace, R., "A simple and low-cost control strategy for active power filters connected in cascade", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 44, No. 5, October 1997.
- [5] A. L. Julian, G. Oriti, T. A. Lipo, "Elimination of Common-Mode Voltage in Three-Phase Sinusoidal Power Converters", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 14, No.5, September 1999.
- [6] Hirofumi Akagi, Edson Hirokazu Watanabe and Maurício Aredes, "Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning, Second Edition", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017.