

PHƯƠNG PHÁP GIẢM THIỂU SÓNG HÀI TỪ HỆ THỐNG ĐIỆN MẶT TRỜI VÀ TẢI PHI TUYẾN

THE METHOD FOR REDUCTION OF HARMONICS FROM SOLAR POWER AND NONLINEAR LOAD

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, từ những tiến bộ trong công nghệ bán dẫn đã dẫn đến những thay đổi đáng kể trong lĩnh vực điện tử công suất, các tải phi tuyến hoặc nguồn điện sử dụng phương pháp nghịch lưu trực tiếp từ dòng điện như năng lượng mặt trời làm cho lưới bị ảnh hưởng bởi sóng hài nhiều hơn. Nghiên cứu này áp dụng các bộ lọc tích cực nối tiếp và song song dựa trên lý thuyết công suất tức thời để giảm thiểu sóng hài từ các tải phi tuyến và nguồn điện mặt trời trong cùng một hệ thống điện. Kết quả cho thấy, tổng độ méo sóng hài của mạng phân phối (THD) khi sử dụng cả hai bộ lọc đã giảm từ 6,39% xuống 0,74% và tổng độ méo sóng hài trong tải tuyến tính giảm từ 5,31% xuống 0,5%, các chỉ số biến dạng sóng hài sau khi sử dụng bộ lọc thấp hơn so với tiêu chuẩn IEEE 519.

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

Abstract - Currently, advances in semiconductor technology have led to significant changes in power electronics, nonlinear loads or sources using the inverse method from direct current such as solar power that makes the grid affected by more harmonics. This study applies shunt and series active filters based on instantaneous power theory to minimize harmonics from nonlinear and solar systems in the same electrical system. The results show that the total harmonic distortion of the distribution network (THD) when using both filters has decreased from 6.39% to 0.74% and the total harmonic distortion in linear load has decreased from 5.31% to 0.50%, and harmonic distortion index after using the filter is lower than standard Std 519.

Key words - Harmonics; THD; Active filter; p-q theory; solar electricity.

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, nhu cầu về năng lượng điện tăng lên do sự phát triển của xã hội và công nghệ. Nguồn điện từ năng lượng mặt trời đang dần được sử dụng rộng rãi vì các yếu tố kinh tế, môi trường và sự phát triển của công nghệ. Những tiến bộ trong công nghệ bán dẫn đã làm cho bộ biến đổi điện áp VSC được ứng dụng rộng rãi, chẳng hạn như cho các tấm pin năng lượng mặt trời (PV) [1] - [3], tua-bin gió [4], [5], xe điện (EV) [6], và tàu cao tốc [7]. Bên cạnh những tiện ích, các bộ biến đổi điện áp cũng gây ra sóng hài trong hệ thống điện, việc ứng dụng các bộ nghịch lưu cho PV được kết nối lưới, phân tích sự ổn định, hiệu suất động giữa PV và hệ thống phân phối đang thu hút rất nhiều sự chú ý [5], [8] - [11]. Các sóng hài 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 [12], do đó các bộ lọc tích cực đã được nghiên cứu và phát triển. Ngoài ra, sóng hài trong hệ thống điện không chỉ đến từ phía nguồn, phần lớn các sóng hài dòng điện trong một hệ thống sẽ đến từ các tải phi tuyến, vấn đề hạn chế sóng hài cho tải phi tuyến cũng nhận được nhiều sự quan tâm [13]-[15]. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu trước đây chỉ nghiên cứu hạn chế sóng hài từ nguồn hoặc tải phi tuyến và đánh giá tác động của sóng hài trong một hệ thống độc lập. Bài báo này nghiên cứu ứng dụng lý thuyết công suất tức thời cho bộ lọc tích cực nối tiếp và bộ lọc tích cực song song trong cùng một hệ thống điện và đánh giá tác động của các bộ lọc trong một hệ thống điện mô phỏng nhiễu sóng hài điện áp từ nguồn và sóng hài dòng điện từ tải. Ngoài việc phân tích hiệu quả khi lọc sóng hài từ phía nguồn và phía tải trong cùng một hệ thống, bài báo còn đánh giá tác động của sóng hài đến tải tuyến tính khác được kết nối trong một lưới điện.

2. Lý thuyết công suất tức thời

Lý thuyết $p-q$ sử dụng phép biến đổi $\alpha\beta 0$, còn được gọi là phép biến đổi Clarke, trong đó bao gồm một ma trận thực sự biến đổi các điện áp ba pha và dòng điện vào các khung tham chiếu cố định $\alpha\beta 0$. Phép biến đổi $\alpha\beta 0$ hay phép biến đổi Clarke sử dụng các điện áp 3 pha tức thời trong hệ trục abc chuyển sang hệ trục $\alpha\beta 0$. Phép biến đổi Clarke và biến đổi ngược của nó cho điện áp 3 pha được xác định bởi [16]:

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{và} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

Tương tự như vậy, các dòng dây của hệ thống 3 pha cũng được xác định:

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\text{và} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (4)$$

Lý thuyết công suất tức thời được định nghĩa trong hệ thống 3 pha có hoặc không có dây trung tính gồm có 3

công suất tác dụng tức thời - công suất thứ tự không tức thời p_o , công suất tác dụng p và công suất phản kháng q được định nghĩa từ các điện áp và dòng điện tức thời trên hệ trục $\alpha\beta\theta$ như sau [17]:

$$-\begin{bmatrix} p_0 \\ p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_0 & 0 & 0 \\ 0 & v_\alpha & v_\beta \\ 0 & v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (5)$$

Không có thành phần dòng thứ tự không trong hệ thống 3 pha 3 dây, do đó, $i_0 = 0$. Do đó, trong hệ thống 3 pha 3 dây, công suất tác dụng tức thời p mô tả toàn bộ năng lượng chảy trong 1 giây trong các điều kiện của thành phần $\alpha\beta$. Trong trường hợp này $p_{3\phi} = p$.

Từ (5) ta có dòng điện $\alpha\beta$ sẽ được gán như các hàm của điện áp và công suất ảo, công suất tác dụng p và q :

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (6)$$

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:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_\alpha & i_\beta \\ -i_\beta & i_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \quad (7)$$

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 (7) bởi ma trận nghịch đảo của dòng điện, điện áp được xác định là hàm của dòng điện và công suất:

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{i_\alpha^2 + i_\beta^2} \begin{bmatrix} i_\alpha & -i_\beta \\ i_\beta & i_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (8)$$

3. Bộ lọc sóng hài tích cực nối tiếp

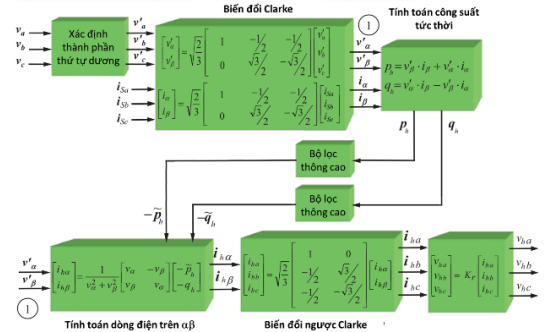
Bộ lọc tích cực nối tiếp thường gồm hai khối chính khác nhau:

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

Một thuật toán điều khiển để tính toán điện áp dòng hài được xây dựng như Hình 1 [18]. Điện áp pha tại đầu cực tải và dòng được đo và chuyển đổi thành các hệ trục tham chiếu $\alpha\beta\theta$. 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. 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.

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, là 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.



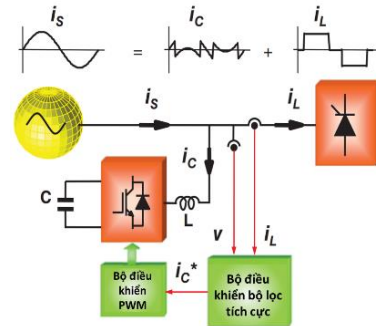
Hình 1. Các khối thuật toán điều khiển bộ lọc tích cực nối tiếp

4. Bộ lọc sóng hài tích cực song song

Bộ lọc tích cực song song thường gồm hai khối chính:

- Bộ điều khiển độ rộng xung (PWM) (xử lý nguồn);
- 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 dòng sóng hài của hệ thống điện và tổng hợp dòng bù đó với hệ thống điện. Bộ điều khiển bộ lọc tích cực song song hoạt động một cách khép kín, liên tục đo dòng tải i_L và tính các giá trị tức thời của dòng điện bù tham chiếu i_c^* , dòng điện tham chiếu này làm tín hiệu điều khiển cho bộ điều khiển PWM. Trong trường hợp lý tưởng, bộ điều khiển PWM có thể được coi là một bộ khuếch đại công suất tuyến tính, nghĩa là dòng điện bù i_c bằng chính xác giá trị tham chiếu của nó i_c^* . Cấu trúc cơ bản của bộ lọc sóng hài song song cho tải phi tuyến như Hình 2.



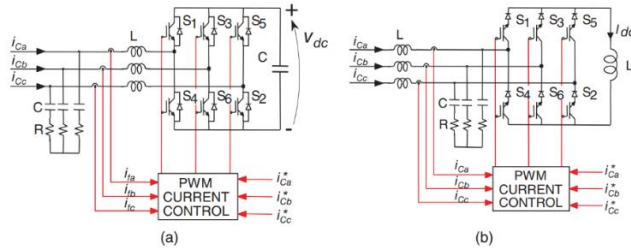
Hình 2. Cấu trúc cơ bản của bộ lọc tích cực song song

4.1. Bộ điều khiển PWM

Bộ chuyển đổi PWM tạo ra các sóng hài không mong muốn xung quanh tần số chuyển mạch và bội số của nó. Nếu tần số chuyển đổi của bộ chuyển đổi PWM là đủ cao, các sóng hài dòng điện không mong muốn này có thể dễ dàng lọc ra bằng cách sử dụng các bộ lọc thụ động như R và C trong Hình 3. Lý tưởng nhất, các tần số sóng hài chuyển mạch được cắt hoàn toàn và các dòng bù i_{ck} bằng chính xác các tham chiếu của nó i_{ck}^* ($k = a, b, c$).

Đôi khi, chúng ta có thể lọc tích cực cho nguồn ba pha bằng cách sử dụng ba bộ chuyển đổi một pha thay vì một bộ chuyển đổi ba pha đơn lẻ như trong Hình 3. Tuy nhiên, để bù cho công suất phản kháng tức thời ba pha (theo lý thuyết $p-q$) mà không cần các yếu tố lưu trữ năng lượng, cần một

điện dung DC duy nhất trong trường hợp sử dụng VSC, hoặc một điện cảm DC trong trường hợp sử dụng CSC, vì vậy khi sử dụng với ba bộ chuyển đổi một pha cả ba bộ chuyển đổi nên được kết nối song song với tụ điện hoặc điện cảm.



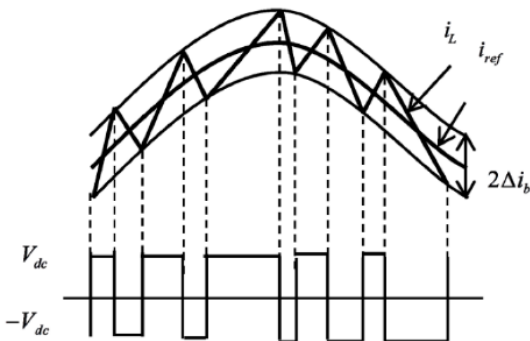
Hình 3. Bộ biến chuyển đổi PWM cho bộ lọc tích cực song song

Người ta có thể thích CSC hơn do độ mạnh của nó hoặc VSC do hiệu quả cao, chi phí ban đầu thấp và kích thước vật lý nhỏ hơn. Hơn nữa, mô-đun IGBT hiện có sẵn trên thị trường phù hợp hơn với bộ chuyển đổi PWM nguồn điện áp bởi vì không cần phải mắc song song một diode với mỗi IGBT. Điều này có nghĩa là IGBT không cần phải có khả năng chặn điện áp ngược, do đó mang lại khả năng cao hơn. Mặt khác, bộ chuyển đổi PWM nguồn dòng yêu cầu nối tiếp IGBT truyền thống và một diode chặn ngược như trong Hình 3 (b) hoặc IGBT có khả năng chặn dòng ngược dẫn đến thiết kế và chế tạo thiết bị phức tạp hơn. Trong thực tế, hầu như tất cả các bộ lọc tích cực đã được đưa vào các ứng dụng thực tế đều sử dụng bộ chuyển đổi PWM nguồn điện áp được trang bị tụ điện DC làm mạch nguồn (VSC).

4.2. Bộ điều khiển băng trễ

Điều khiển băng trễ là phương pháp điều khiển PWM phổ biến được sử dụng trong bộ chuyển đổi được cấp điện áp như VSC, làm cho bộ chuyển đổi này hoạt động như nguồn dòng xoay chiều được điều khiển cho hệ thống điện.

Cơ sở của phương pháp điều khiển băng trễ hay điều khiển bang-bang (Hysteresis-Band Current Controller) là phương pháp điều khiển dựa trên việc điều khiển dòng điện thực bám theo dòng điện tham chiếu.



Hình 4. Sơ đồ mô tả phương pháp điều khiển băng trễ

Theo phương pháp điều khiển Hình 4, một băng sai lệch Δi_b sẽ được thiết lập với việc đặt sai lệch giới hạn trên và giới hạn dưới, mục đích của phương pháp điều khiển này là làm sao cho dòng điện thực i_L bám theo dòng điện tham chiếu i_{ref} và luôn nằm trong vùng dung sai này. Việc tính toán dòng điện tham chiếu sẽ được thực hiện bởi bộ điều khiển bộ lọc tích cực song song, được trình bày ở phần tiếp theo.

Độ rộng băng trễ sẽ bằng hai lần sai lệch, sai lệch là

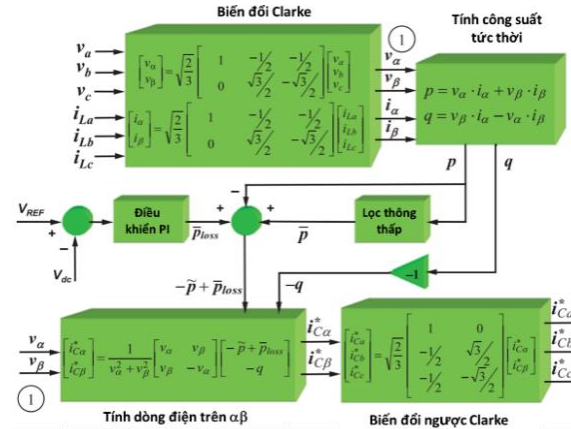
hiệu giữa dòng điện giới hạn trên với dòng điện tham chiếu hoặc của dòng tham chiếu với dòng giới hạn dưới. Sự chuyển mạch của các van theo nguyên tắc như sau:

- Khi sai lệch nằm trong băng sai lệch thì sẽ không có sự chuyển mạch nào.

- Khi dòng tải vượt qua giới hạn trên thì bộ nghịch lưu sẽ chuyển mạch sao cho dòng tải giảm xuống để sai lệch nằm trong vùng cho phép và ngược lại khi dòng tải giảm xuống nhỏ hơn dòng giới hạn dưới thì bộ nghịch lưu chuyển mạch để dòng tăng lên.

4.3. Bộ điều khiển bộ lọc tích cực

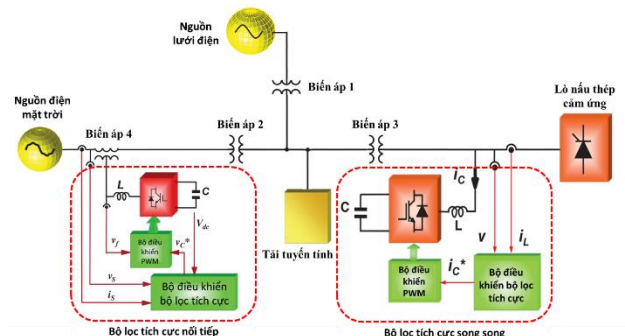
Bộ lọc tích cực song song bù tải dòng điện, như trong Hình 2 gồm bốn khối điều khiển chức năng: Tính toán công suất tức thời; Lựa chọn phương pháp bù công suất; Điều chỉnh điện áp DC, và Tính toán dòng điện tham chiếu. Tổng hợp thuật toán điều khiển cho bộ lọc tích cực song song bao gồm tính toán công suất tức thời, lựa chọn bù dòng hài công suất tác dụng và công suất phản kháng, tính toán giá trị công suất tổn thất và tính toán dòng điện tham chiếu được thể hiện như Hình 5 [6].



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

5. Kết quả mô phỏng

Trên cơ sở mô hình lưới điện thực tế và kết quả nghiên cứu từ phần 3, 4, bài báo sử dụng 02 bộ lọc tích cực để lọc các sóng hài dòng điện do tải phi tuyến gây ra, sóng hài điện áp do nguồn điện mặt trời gây ra và được mô phỏng trên Matlab/Simulink. Mô hình nghiên cứu như Hình 6.



Hình 6. Mô hình hệ thống điện sử dụng bộ lọc tích cực nối tiếp và bộ lọc tích cực song song

Để có kết quả đối sánh, các thông số về hệ thống và

tải được thể hiện như trong Bảng 1:

Bảng 1. Thông số các phần tử chính của mô hình

Phần tử	Thông số
Nguồn lưới điện	$U = 120\text{kV}$; $f = 50\text{ Hz}$; $S = 2500\text{MVA}$
Nguồn năng lượng mặt trời	$V_{dc} = 500\text{ V}$; $P = 250\text{ kW}$ Nghịch lưu 3 cấp Bám theo điểm công suất cực đại MPPT
Tải phi tuyến (Lò nấu thép cảm ứng)	Điện áp cấp vào phía chỉnh lưu: $U = 220\text{ V}$; $f = 50\text{ Hz}$ - Điện áp định mức trên tải: 800 V - Tần số định mức của tải: 700 Hz - Công suất định mức của tải: 500 kW
Tải tuyến tính	$U = 25\text{ kV}$; $f = 50\text{ Hz}$; $S = 1400\text{ kW}$; $\text{Cos}\varphi = 0,93$
Biến áp 1	Máy biến áp hạ áp: $120\text{kV}/25\text{kV}$; $S_{dm} = 47\text{ MVA}$; $R = 0,0027$; $L = 0,08$
Biến áp 2	Máy biến áp tăng áp: $250\text{V}/25\text{kV}$; $S_{dm} = 250\text{ kVA}$; $R = 0,0012$; $L = 0,03$
Biến áp 3	Máy biến áp hạ áp: $25\text{kV}/0,4\text{kV}$; $S_{dm} = 1\text{ MVA}$; $R = 0,0027$; $L = 0,08$
Biến áp 4	Máy biến áp tăng áp tỉ lệ $1/2$; $S_{dm} = 40\text{ kVA}$; $R = 0,002$; $L = 0,05$

Trong đó chúng ta sẽ đánh giá tác động của sóng hài dòng điện cho tải phi tuyến và sóng hài điện áp do hệ thống điện mặt trời gây nên trên hệ thống điện.

Tiến hành đánh giá tác động của sóng hài và hiệu quả của các bộ lọc sóng hài tại các vị trí:

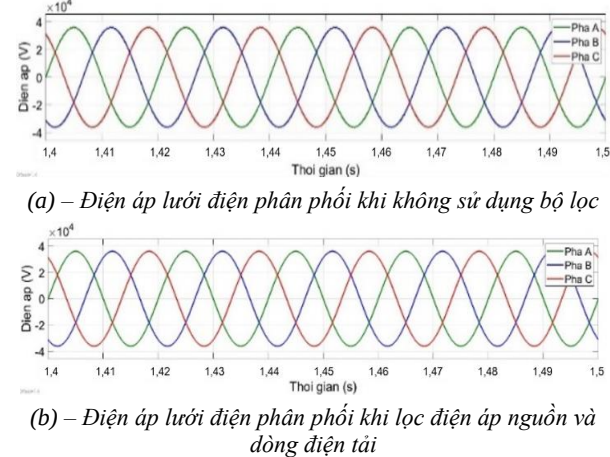
- Đánh giá sóng hài điện áp trên lưới phân phối
- Đánh giá sóng hài dòng điện trên tải tuyến tính.
- Đánh giá sóng hài dòng điện lưới điện phân phối.

Mỗi vị trí tiến hành đo đạc và phân tích 02 trường hợp:

- Trường hợp 1: Không lọc sóng hài nguồn điện mặt trời và tải phi tuyến, sóng hài điện áp do điện mặt trời và sóng hài dòng điện do tải phi tuyến gây ra sẽ tác động trực tiếp đến lưới điện phân phối và tải tuyến tính.

- Trường hợp 2: Lọc sóng hài dòng điện tại tải phi tuyến và sóng hài điện áp tại nguồn năng lượng mặt trời, hạn chế sóng hài ảnh hưởng đến lưới điện.

Tiến hành mô phỏng và thu được kết quả đánh giá sóng hài điện áp trên lưới điện phân phối như Hình 7:



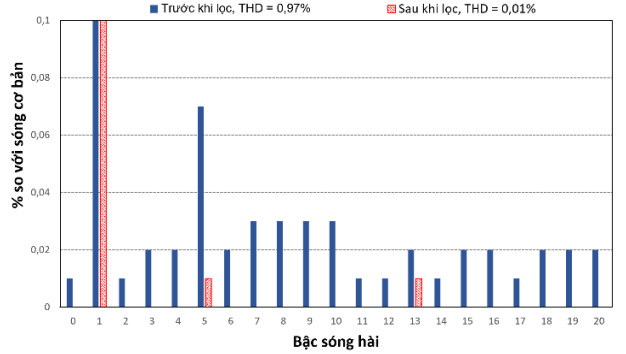
Hình 7. Dạng sóng điện áp trên lưới điện phân phối

Tỉ lệ chi tiết thành phần sóng hài của điện áp tải tại pha A ở 02 trường hợp như Bảng 2:

Bảng 2. Tỉ lệ thành phần sóng hài của điện áp trên lưới điện phân phối 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	0,97	0,01	10	0,03	0,00
DC	0,01	0,00	11	0,01	0,00
1	100	100	12	0,01	0,00
2	0,01	0,00	13	0,02	0,01
3	0,02	0,00	14	0,01	0,00
4	0,02	0,00	15	0,02	0,00
5	0,07	0,01	16	0,02	0,00
6	0,02	0,00	17	0,01	0,00
7	0,03	0,00	18	0,02	0,00
8	0,03	0,00	19	0,02	0,00
9	0,03	0,00	20	0,02	0,00

Phân tích chuỗi Fourier 10 chu kỳ liên tiếp của tín hiệu điện áp lưới ở 02 trường hợp có kết quả như Hình 8:



Hình 8. Phân tích Fourier sóng hài điện áp trên lưới phân phối

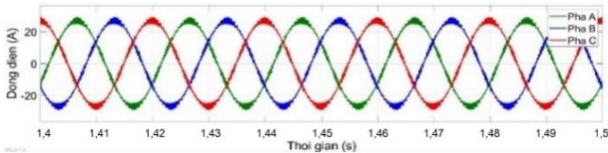
Qua Hình 8 và Bảng 2 phân tích các thành phần của sóng hài điện áp trên lưới điện phân phối ta có một số nhận xét sau:

- Độ méo sóng hài điện áp của lưới điện phân phối bị ảnh hưởng từ sóng hài gây nên bởi nguồn điện mặt trời và tải phi tuyến, làm cho tổng méo dạng sóng hài điện áp trên lưới $\text{THD} = 0,97\%$, nằm trong mức cho phép của tiêu chuẩn IEEE std 159, tuy nhiên lưới phân phối có giá trị điện áp cao (25kV) vì thế một số sóng hài thành phần có tỉ lệ phần trăm so với sóng cơ bản thấp nhưng biên độ sẽ rất cao, gây nguy hiểm cho các thiết bị sử dụng điện hoặc tác động sai thiết bị bảo vệ.

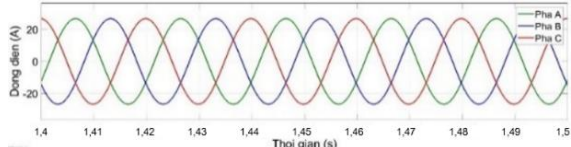
- Khi sử dụng cùng lúc bộ lọc tích cực nối tiếp và song song, các thành phần sóng hài hầu như bị triệt tiêu, tổng độ méo sóng hài đạt $\text{THD} = 0,01\%$.

Như vậy, cả 2 bộ lọc sóng hài tích sử dụng trong mô hình đã hạn chế được sóng hài điện áp ảnh hưởng đến lưới điện, giảm độ méo dạng sóng hài điện áp từ $\text{THD} = 0,97\%$ xuống còn $0,01\%$ đạt tiêu chuẩn IEEE std 159.

Tiến hành mô phỏng và thu được kết quả đánh giá sóng hài dòng điện trên tải tuyến tính như Hình 9:



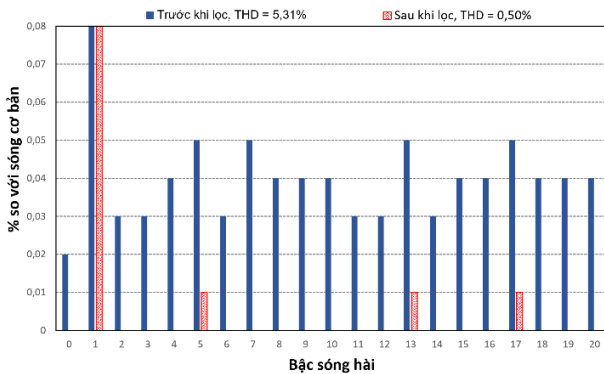
(a) – Dòng điện tải tuyến tính khi không sử dụng bộ lọc



(b) – Dòng điện tải tuyến tính khi lọc điện áp nguồn và dòng điện tải

Hình 9. Dạng sóng dòng điện tải tuyến tính

Phân tích chuỗi Fourier 10 chu kỳ liên tiếp của tín hiệu dòng điện tải tuyến tính ở 02 trường hợp có kết quả như Hình 10:

**Hình 10.** Phân tích Fourier sóng hài dòng điện tải tuyến tính

Tỉ lệ chi tiết thành phần sóng hài của dòng điện tải tuyến tính ở 02 trường hợp như Bảng 3:

Bảng 3. Tỉ lệ thành phần sóng hài của dòng điện tải tuyến tính 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	5,31	0,50	10	0,04	0,00
DC	0,02	0,00	11	0,03	0,00
1	100	100	12	0,03	0,00
2	0,03	0,00	13	0,05	0,01
3	0,03	0,00	14	0,03	0,00
4	0,04	0,00	15	0,04	0,00
5	0,05	0,01	16	0,04	0,00
6	0,03	0,00	17	0,05	0,01
7	0,05	0,00	18	0,04	0,00
8	0,04	0,00	19	0,04	0,00
9	0,04	0,00	20	0,04	0,00

Qua Hình 10 và Bảng 3 ta có một số nhận xét sau:

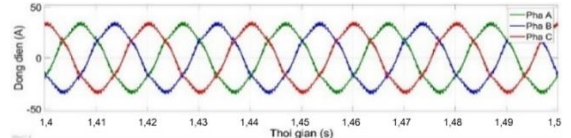
- Độ méo sóng hài dòng điện của tải tuyến tính bị ảnh hưởng đáng kể từ sóng hài gây nên bởi nguồn điện mặt trời và tải phi tuyến, làm cho tổng méo dạng sóng hài dòng điện đạt THD = 5,31%, vượt quá giá trị cho phép

của tiêu chuẩn IEEE std 159 (tổng độ méo sóng hài <5%).

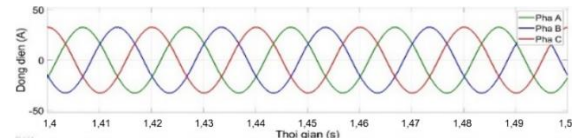
- Khi sử dụng cùng lúc bộ lọc tích cực nối tiếp và song song, các thành phần sóng hài hầu như bị triệt tiêu, tổng độ méo sóng hài đạt THD = 0,50%, kể cả các thành phần sóng hài bậc lẻ do tải phi tuyến gây nên cũng được bộ lọc tích cực hạn chế, không làm ảnh hưởng đến lưới điện.

Như vậy, cả 2 bộ lọc sóng hài tích cực sử dụng trong mô hình đã hạn chế được sóng hài dòng điện ảnh hưởng đến tải phi tuyến, giảm độ méo dạng sóng hài điện áp từ THD = 5,31% vượt quá tiêu chuẩn cho phép của IEEE std 159, xuống còn THD = 0,50% đạt tiêu chuẩn IEEE std 159.

Tiến hành mô phỏng và thu được kết quả đánh giá sóng hài dòng điện trên lưới điện phân phối như Hình 11:



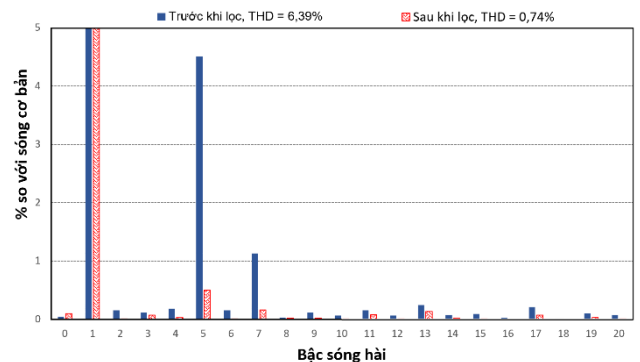
(a) – Dòng điện lưới điện phân phối khi không sử dụng bộ lọc



(b) – Dòng điện lưới điện phân phối khi lọc điện áp nguồn và dòng điện tải

Hình 11. Dạng sóng dòng điện lưới điện phân phối

Phân tích chuỗi Fourier 10 chu kỳ liên tiếp của tín hiệu dòng điện lưới điện phân phối ở 02 trường hợp có kết quả như Hình 12:

**Hình 12.** Phân tích Fourier sóng hài dòng điện lưới điện phân phối

Tỉ lệ chi tiết thành phần sóng hài của dòng điện lưới điện phân phối ở 02 trường hợp như Bảng 4.

Qua Hình 12 và Bảng 4 phân tích các thành phần của sóng hài dòng điện tại phía thứ cấp của biến áp 1 ta có một số nhận xét sau:

- Độ méo sóng hài dòng điện của đầu thứ cấp biến áp 1 bị ảnh hưởng đáng kể từ sóng hài gây nên bởi nguồn điện mặt trời và tải phi tuyến, làm cho tổng méo dạng sóng hài dòng điện đạt THD = 6,39%, vượt quá giá trị cho phép của tiêu chuẩn IEEE std 159 (tổng độ méo sóng hài <5%).

- Khi sử dụng cùng lúc bộ lọc tích cực nối tiếp và song song, các thành phần sóng hài hầu như bị triệt tiêu, tổng độ méo sóng hài đạt THD = 0,74%, kể cả các thành phần sóng hài bậc lẻ do tải phi tuyến gây nên cũng được bộ lọc tích cực hạn chế, không làm ảnh hưởng đến lưới điện.

Như vậy, cả 2 bộ lọc sóng hài tích sử dụng trong mô hình đã hạn chế được sóng hài dòng điện ảnh hưởng đến phía thứ cấp của biến áp 1, giảm độ méo dạng sóng hài điện áp từ THD = 6,39% xuống còn THD = 0,74% đạt tiêu chuẩn IEEE std 159.

Bảng 4. Tỷ lệ thành phần sóng hài của dòng điện lưới điện phân phối pha A trước và sau khi lọc

Bậc điều hòa	Tỷ lệ các thành phần sóng hài so với sóng cơ bản (%)		Bậc điều hòa	Tỷ lệ các thành phần sóng hài so với sóng cơ bản (%)	
	Trước khi lọc	Sau khi lọc		Trước khi lọc	Sau khi lọc
THD	6,39	0,74	10	0,06	0,01
DC	0,04	0,10	11	0,15	0,08
1	100	100	12	0,06	0,01
2	0,15	0,01	13	0,24	0,13
3	0,11	0,07	14	0,07	0,02
4	0,18	0,03	15	0,09	0,01
5	4,51	0,50	16	0,02	0,00
6	0,15	0,01	17	0,21	0,07
7	1,13	0,16	18	0,01	0,00
8	0,03	0,02	19	0,10	0,03
9	0,11	0,02	20	0,07	0,01

6. 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 tải phi tuyến là lò nấu thép cảm ứng và đã nghiên cứu sử dụng bộ lọc tích cực song song dựa trên lý thuyết công suất tức thời vào việc giảm thiểu sóng hài được tạo ra từ tải phi tuyến này, bên cạnh đó bài báo còn phân tích sóng hài từ 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 kép 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 6,39% xuống 0,74% và tổng độ méo sóng hài dòng điện tại tải tuyến tính đã giảm từ 5,31% xuống 0,50%, các chỉ số độ méo sóng hài khi sử dụng các bộ lọc đều thấp hơn so với tiêu chuẩn IEEE Std. 519.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] V. Blasko and V. Kaura, "A new mathematical model and control of a three-phase AC-DC voltage source converter", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 12, no. 1, pp. 116-123, Jan. 1997.
- [2] S. B. Kjaer, J. K. Pedersen, and F. Blaabjerg, "A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 41, no. 5, pp. 1292-1306, Sep./Oct. 2005.
- [3] M. Liserre, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, "Stability of photovoltaic and wind turbine grid-connected inverters for a large set of grid impedance values", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 21, no. 1, pp. 263-272, Jan. 2006.
- [4] Y. Du, D. D. C. Lu, G. James, and D. J. Cornforth, "Modeling and analysis of current harmonic distortion from grid connected PV inverters under different operating conditions", *Solar Energy*, vol. 94, pp. 182-194, Aug. 2013.
- [5] L. L. Fan, S. Yuvarajan, and R. Kavasseri, "Harmonic analysis of a DFIG for a wind energy conversion system", *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 25, no. 1, pp. 181-190, Mar. 2010.
- [6] S. A. Papathanassiou and M. P. Papadopoulos, "Harmonic analysis in a power system with wind generation", *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 21, no. 4, pp. 2006-2016, Oct. 2006.
- [7] R. R. Fan, T. Y. Tan, Y. P. Gao, and H. Chang, "Research on the model of electric vehicle charging device based on PSCAD", *Energy Power Eng.*, vol. 5, no. 4B, pp. 1372-1376, Jul. 2013.
- [8] Salem Saidi, Sahbi Marrouchi, Rabeh Abbassi, and Souad Chebbi, "3-Phase Series Active Filter: Application for the Protection of Sensitive Loads Against Voltage Disturbances", *IEEE Trans. 15th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, pp. 727-730, Mar. 2018.
- [9] Y. W. Li, "Control and resonance damping of voltage source and current source converters with LC Filters", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 5, pp. 1511-1521, May 2009.
- [10] Haitao Hu, Qingxin Shi, Zhengyou He, Jinwei He, and Shibin Gao, "Potential Harmonic Resonance Impacts of PV Inverter Filters on Distribution Systems", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 6, pp. 151-161, Jan. 2015.
- [11] Sachin Devassy, Bhim Singh, "Control of solar energy integrated active power filter in weak grid system", *IEEE 7th International Conference on Power Systems (ICPS)*, pp. 575-578, Dec. 2017.
- [12] P. Salmeron and S. Litran, "Improvement of the Electric Power Quality Using Series Active and Shunt Passive Filters", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 2, pp. 1058-1067, 2010.
- [13] Mohamed J. M. A. Rasul, H. V. Khang, Mohan Kolhe, "Harmonic mitigation of a grid-connected photovoltaic system using shunt active filter", *IEEE 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, pp. 1-5, Aug. 2017.
- [14] Wajahat Ullah Khan Tareen, Saad Mekhief, "Three-Phase Transformerless Shunt Active Power Filter With Reduced Switch Count for Harmonic Compensation in Grid-Connected Applications", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 33, no. 6, pp. 4868-4881, Jun. 2018.
- [15] Bui Quoc Khanh, Nguyen Kim Anh, "An Active Filters Design for The Reduction of Current Harmonic and the Compensation of Reactive Power for Induction Melting Furnace Power", *Journal of Science and Technology of DaNang University*, volume 4(33), pp. 36-41, 2009.
- [16] Hirofumi Akagi, "Active Harmonic Filters", *IEEE Trans.*, vol. 93, no. 12, pp. 2128-2141, 2006.
- [17] Ph.D Surya Santoso, Mark F. McGranaghan, Roger C. Dugan, H. Wayne Beaty, "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill Education, England, 2012.
- [18] Doan Duc Tung, Nguyen Minh Nhat, "Reduction of harmonic from solar power through the employment of dual instantaneous power theory based filter", *Journal of Science and Technology of DaNang University*, Volume 11 (132), p.92-96, 2018.