PHÂN TÍCH, ĐÁNH GIÁ VÀ GIẢM THIỂU SÓNG HÀI TRONG LƯỚI ĐIỆN KHI CÓ KẾT NỐI HỆ THỐNG PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

Lê Đức Tùng*, Nguyễn Quốc Minh

Tóm tắt: *Hệ thống pin năng lượng mặt trời đang ngày càng phổ biến do những ưu điểm của nó so với các nguồn năng lượng truyền thống. Nhưng bên cạnh đó, hệ thống này cũng gây ra những ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng điện năng của hệ thống điện. Trong bài báo này, tác giả tập trung nghiên cứu, đánh giá chỉ số méo sóng điện áp THDv trong lưới điện phân phối khi kết nối hệ thống pin năng lượng mặt trời và đề xuất giải pháp sử dụng bộ lọc để giảm thiểu ảnh hưởng sóng điều hoà bậc cao. Nghiên cứu được thực hiện trên mô hình hệ thống pin năng lượng mặt trời, lưới điện mẫu IEEE-13 nút được xây dựng trên phần mềm Matlab/Simulink. Các kết quả mô phỏng tính toán đã chỉ ra được tính đúng đắn và thiết thực của nghiên cứu.*

Từ khóa: Kỹ thuật điện-điện tử; Kỹ thuật điện; Hệ thống pin năng lượng mặt trời; Sóng hài trong hệ thống điện.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với sự cạn kiệt của các nguồn năng lượng hoá thạch, năng lượng tái tạo ngày càng được quan tâm và đầu tư, hướng đến phát triển bền vững, hài hoà giữa kinh tế và môi trường sống. Nằm gần đường xích đạo và có bờ biển trải dài, vị trí địa lý đã ưu ái cho Việt Nam có một nguồn năng lượng tái tạo vô cùng lớn, đặc biệt là năng lượng mặt trời và năng lượng gió. Cường độ bức xạ mặt trời của nước ta ở mức cao, trung bình đạt từ 4 đến 5kWh/m^2 mỗi ngày [1]. Trong bối cảnh các nguồn thuỷ điện đã đạt giới hạn và dừng phát triển năng lượng nguyên tử, thì hệ thống pin năng lượng mặt trời PV (Photovoltaic) là giải pháp tốt để đảm bảo an ninh năng lượng, phát triển bền vững đất nước.

Tuy nhiên, ứng dụng hệ thống PV trong việc cung cấp điện gặp những khó khăn và rào cản nhất định về mặt kỹ thuật. Một trong những vấn đề phát sinh đó là sóng hài. Khi hệ thống PV kết nối lưới điện sẽ có hai nguồn gây ra sóng hài: thứ nhất là do thiết bị phi tuyến của mạch kết nối (Diode, IGBT, Thyristor, …) và thứ hai là do việc biến đổi từ dòng một chiều thành dòng xoay chiều thông qua các bộ DC/DC, DC/AC. Sự tồn tại sóng điều hòa bậc cao gây ảnh hưởng tới tất cả các thiết bị và lưới điện. Chúng gây ra quá áp, méo điện áp lưới, giảm chất lượng điện năng, làm tăng tổn thất và giảm tuổi thọ các thiết bị điện-điện tử [2].

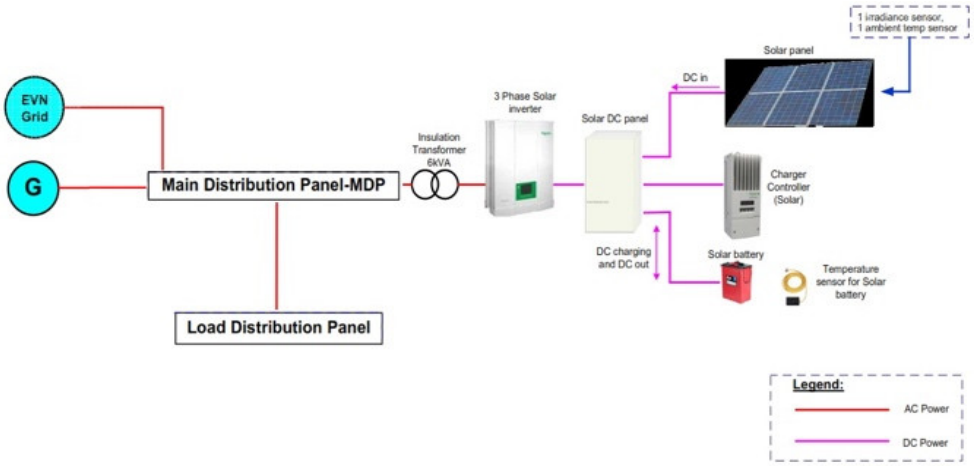
Hiện nay, có rất nhiều nghiên cứu về sóng hài trong hệ thống PV kết nối lưới điện. Trong [3, 4], các tác giả đã trình bày ảnh hưởng của của các nguồn phân tán (gió, mặt trời) đến chỉ số sóng hài của lưới điện. Tuy nhiên, nghiên cứu chưa đề cập đến giải pháp giảm sóng hài. Trong [5-8], các tác giả nghiên cứu thiết kế các bộ lọc ứng dụng để lọc sóng hài do các bộ biến đổi điện tử công suất gây nên. Các nghiên cứu này không đề cập đến tính chất hệ thống khi kết nối PV vào lưới điện.

Trong nội dung bài báo này, tác giả nghiên cứu đánh giá chỉ số méo dạng sóng hài THDv (Total Harmonic Distortion of the Voltage) của lưới điện khi kết nối hệ thống PV. Hai vấn đề được tập trung: một là đánh giá chỉ số sóng hài THDv theo mức độ xâm nhập của hệ thống PV (lượng công suất PV nối lưới), theo cấp điện áp điểm đấu nối; hai là đánh giá hiệu quả của bộ lọc sóng hài với đến chỉ số THDv trên lưới điện.

Phần tiếp theo của bài báo giới thiệu mô hình toán học mô tả hệ thống PV. Mô hình hoá hệ thống được xây dựng trong phần mềm Matlab/simulink và kết quả mô phỏng với

lưới điện đơn giản và lưới điện chuẩn IEEE – 13 nút được trình bày trong mục 3. Cuối cùng là kết luận và các định hướng nghiên cứu tiếp theo được trình bày trong mục 4.

2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG PV NỐI LƯỚI

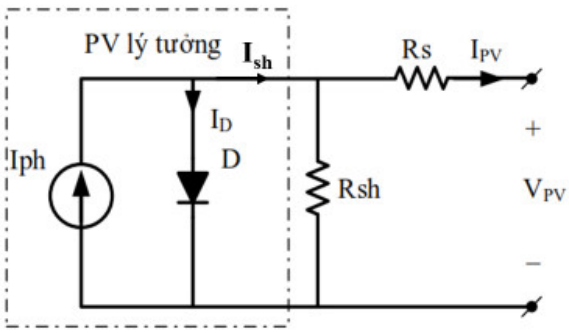


Hình 1. *Cấu trúc hệ thống PV.*

Một hệ thống PV bao gồm hai phần chính: các tấm PV được cấu thành từ các tế bào quang điện, bộ biến đổi điện tử công suất DC-DC và bộ tìm điểm công cuất cực đại MPPT (Maximum Power Point Tracker) được mô tả như hình 1. Để kết nối hệ thống PV vào lưới điện, chúng ta phải sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất DC/AC [3, 4, 9].

2.1. Mô hình tấm pin năng lượng mặt trời

Pin mặt trời hay còn gọi là pin quang điện là thiết bị ứng dụng hiệu ứng quang điện trong lớp bán dẫn (thường gọi là hiện tượng quang dẫn) để tạo ra dòng điện một chiều khi được chiếu sáng [3, 9].



Hình 2. *Mạch tương đương của tế bào pin mặt trời.*

Khi được chiếu sáng thì các tế bào pin mặt trời phát ra một dòng quang điện I_{ph}, vì vậy, pin mặt trời có thể xem như một nguồn dòng như ở sơ đồ hình 2.

Phương trình đặc tính I – V của một tế bào pin mặt trời được viết:

$$I_{PV} = I_{ph} - I_D - I_{sh} = I_{ph} - I_s\left[e^{\frac{q(V_D+I_{PV}.R_s)}{n.k.T}} - 1\right] - \frac{V_{PV} + I_{PV}.R_s}{R_{sh}}, \quad (1)$$

trong đó:

I_D: Dòng qua diode (A);

I_s: Dòng bão hòa qua diode (A);

q: Điện tích electron(q = 1,602.10^{-19} (C));
k: Hằng số Boltzman, k = 1,381.10^{-23} (J/K);
T: Nhiệt độ lớp tiếp xúc (K);
n: Hệ số lý tưởng của diode;
V_D: Điện áp nhiệt (V);
I_{PV}: Dòng điện ra của pin mặt trời (A);
V_{PV}: Điện áp ra của pin mặt trời (V);
R_{sh}: Điện trở shunt R_{sh}, đặc trưng cho dòng diện rò qua lớp tiếp xúc p – n;
R_s: Đặc trưng cho tổng các điện trở của các lớp bán dẫn.

Dòng điện I_{ph} là hàm số của cường độ ánh sáng trên mặt tế bào quang điện G và nhiệt độ T:

$$I_{ph} = I_{phR}\frac{G}{G_R}[1 + \alpha_T(T - T_R)], \quad (2)$$

với I_{phR} là dòng điện ngắn mạch tại cường độ ánh sáng G_R và nhiệt độ T_R quy chuẩn; α_T là hệ số nhiệt độ của dòng quang điện.

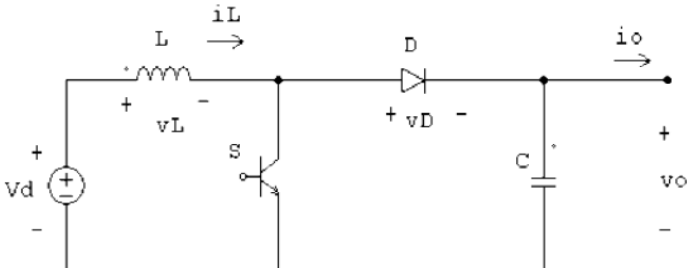
Xét tấm pin quang điện được xây dựng từ việc ghép nối tiếp N_s các tế bào pin mặt trời thành các module và và ghép song song N_p các module lại lại, thì phương trình đặc tính I – V tổng quát như sau:

$$I_{PV} = N_p.I_{ph} - N_p.I_D - I_{sh}$$
$$= N_p.I_{ph} - N_p.I_s\left(e^{\frac{q(V_D + I_{PV}.R_s)}{N_s.n.k.T}} - 1\right) - \frac{V_{PV} + I_{PV}.R_s}{R_{sh}} \quad (3)$$

Sử dụng các hệ số của thiết bị và các phương trình toán học trên, chúng ta có thể dễ dàng mô hình hoá các tế bào quang điện và xây dựng mô hình tấm PV phục vụ cho nghiên cứu đánh giá hoạt động của chúng. Điện áp một chiều của PV có thể được nâng lên mức mong muốn xác định bằng cách sử dụng bộ tăng áp DC-DC. Ngoài ra, bộ MPPT được sử dụng kết hợp trong bộ chuyển đổi DC-DC để tối ưu công suất PV [3, 4].

2.2. Mô hình bộ biến đổi DC-DC (Boost converter) và điều khiển bám điểm công suất cực đại (MPPT)

Trong hệ thống PV, bộ biến đổi Boost được sử dụng vì yêu cầu điện áp ra cao hơn điện áp vào. Nguyên lý hoạt động của bộ biến đổi này dựa vào đặc tính trữ và phóng năng lượng của cuộn dây. Mô hình bộ biến đổi Boost có cấu hình đầy đủ như được trình bày trong hình 3.



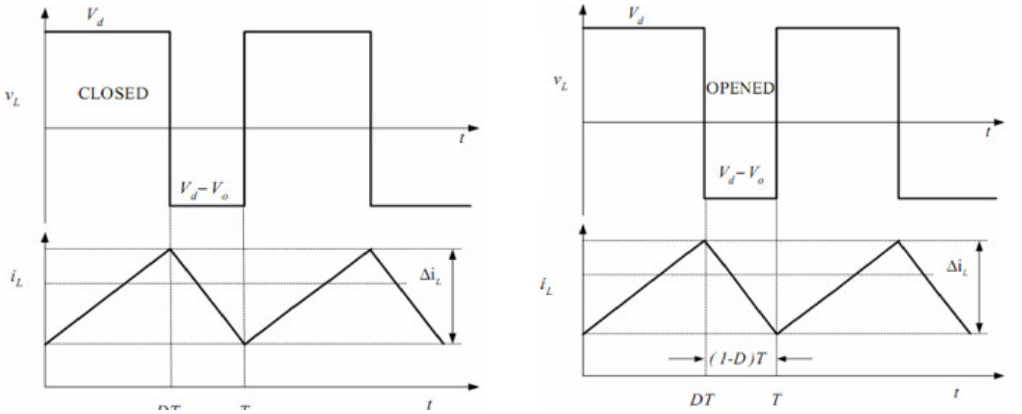
Hình 3. *Mô hình bộ biến đổi Boost DC-DC.*

Mối quan hệ giữa điện áp, dòng điện đầu vào và đầu ra của bộ biến đổi Boost:

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{1}{1 - D};\ \frac{I_o}{I_d} = 1 - D, \quad (4)$$

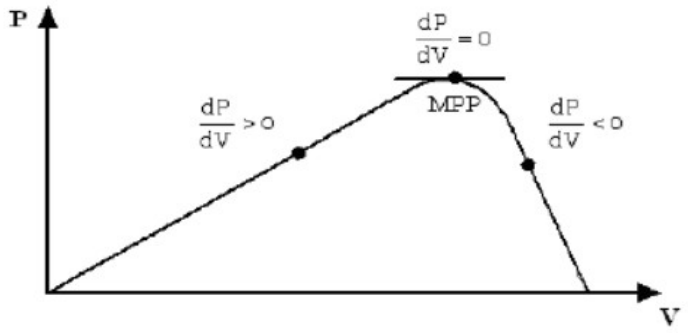
với D đặc trưng cho thời điểm chuyển khóa Diode, 0<1<D (hình 4).

Ngoài chức năng biến đổi giá trị điện áp một chiều, bộ biến đổi DC-DC còn có khả năng chuyển đổi nguồn một chiều không ổn định thành nguồn điện một chiều ổn định và có thể điều khiển được (hình 4).



Hình 4. *Dạng sóng điện áp và dòng điện trên cuộn dây L.*

Để xác định điểm công suất cực đại MPP (Maximum Power Point), người ta có thể sử dụng nhiều phương pháp khác nhau, ví dụ: phương pháp nhiễu loạn và quan sát P&O (Perturb and Observe), phương pháp điện dẫn tăng dần IC (Incremental Conductance) [10, 11]. Trong đó, phương pháp IC được lựa chọn sử dụng trong bài báo này, do có ưu điểm là đơn giản, xác định nghiệm nhanh và không phải đo công xuất đầu ra của PV.



Hình 5*. Đặc tính P(V) của pin năng lượng mặt trời [11].*

Phương pháp IC dựa trên đặc điểm: độ dốc của đường đặc tính P(V) bằng 0 tại điểm MPP, độ dốc này có giá trị dương khi ở bên trái điểm MPP và gía trị âm khi ở bên phải điểm MPP (hình 5):

$$\begin{cases} \mathrm{dP/dV} = 0, \text{tại điểm MPP} \\ \mathrm{dP/dV} > 0, \text{ở bên trái điểm MPP} \\ \mathrm{dP/dV} < 0, \text{ở bên phải điểm MPP} \end{cases} \quad (5)$$

Mặt khác, ta có:

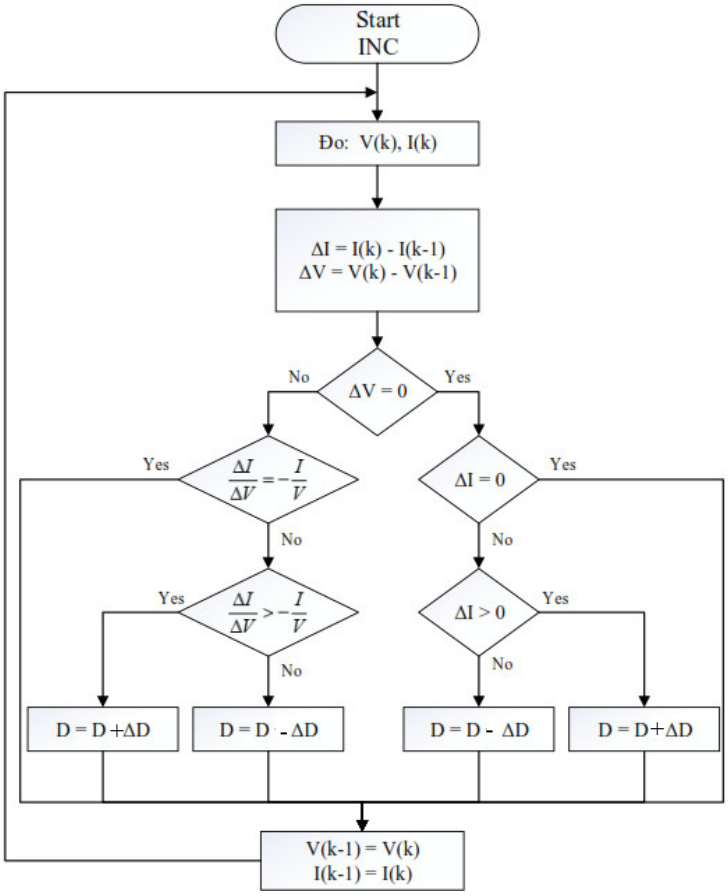
$$\frac{\mathrm{dP}}{\mathrm{dV}} = \frac{\mathrm{d(V.I)}}{\mathrm{dV}} = \mathrm{I} + \mathrm{V}\frac{\mathrm{dI}}{\mathrm{dV}} \quad (6)$$

Nếu xét trong khoảng thời gian Δt rất nhỏ, ta có thể viết:

$$\frac{\mathrm{dP}}{\mathrm{dV}} = \mathrm{I} + \mathrm{V}\frac{\Delta \mathrm{I}}{\Delta \mathrm{V}} \quad (7)$$

Như vậy, (5) trở thành:

$$\begin{cases} \Delta I/\Delta V = -I/V, \text{tại điểm MPP} \\ \Delta I/\Delta V > -I/V, \textit{ở bên trái điểm MPP} \\ \Delta I/\Delta V < -I/V, \textit{ở bên phải điểm MPP} \end{cases} \quad (8)$$



Hình 6. *Lưu đồ thuật toán IC.*

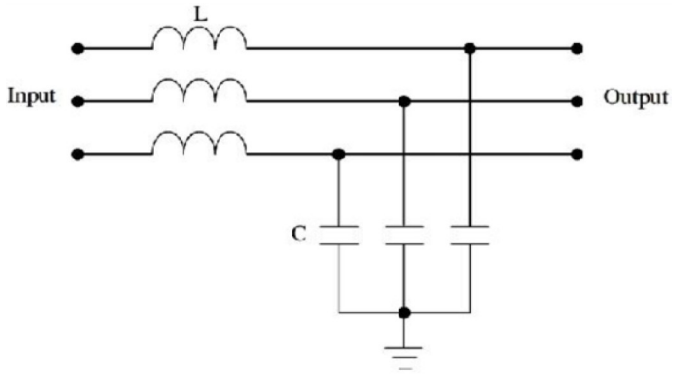
Phương pháp IC điều khiển trực tiếp hệ số D để tìm điểm công suất cực đại theo sơ đồ thuật toán (hình 6) [10, 11]. Bằng cách so sánh giá trị điện dẫn tức thời (I/V) với giá trị điện dẫn gia tăng (ΔI/ΔV), thuật toán này sẽ tìm được điểm làm việc có công suất lớn nhất. Tại điểm MPP, điện áp chuẩn $V_{ref} = V_{MPP}$. Mỗi khi điểm MPP được tìm ra, hoạt động của pin lại được duy trì ở điểm làm việc này trừ khi có sự thay đổi về dòng điện ΔI, sự thay đổi của dòng điện ΔI thể hiện sự thay đổi của điều kiện môi trường (nhiệt độ, cường độ ánh sáng).

Với thuật toán này, nếu điểm hoạt động vẫn ở điểm MPP (điều kiện ΔV = 0) và điều kiện bức xạ không thay đổi (ΔI = 0) thì sẽ không phải điều chỉnh dòng điện hoạt động. Nếu như bức xạ tăng (ΔI > 0) thì dòng điện MPP tăng, nên thuật toán INC phải tăng hệ số D để tăng điện áp nhằm bám được điểm MPP. Ngược lại, nếu bức xạ giảm (ΔI < 0) thì sẽ giảm hệ số D.

Sau khi qua bộ DC-DC, tín hiệu tiếp tục đưa qua bộ nghịch lưu nguồn áp 3 pha để kết nối với lưới điện xoay chiều. Hệ thống điều khiển nghịch lưu sử dụng hai mạch vòng điều khiển. Thứ nhất là mạch vòng điều khiển phía ngoài để điều chỉnh được điện áp xoay chiều dựa trên tín hiệu một chiều đưa vào. Trong khi đó, mạch vòng điều khiển thứ hai để

điều khiển đáp ứng theo tín hiệu phản hồi từ lưới điện để có thể kết nối hệ thống PV một cách đồng bộ [3, 4, 9].

2.3. Lọc sóng hài



Hình 7. *Bộ lọc thông thấp LC [6].*

Để nâng cao chất lượng điện năng thì việc áp dụng các biện pháp để giới hạn sóng hài trong tiêu chuẩn là vấn đề tất yếu. Sử dụng bộ lọc sóng hài thụ động là một phương pháp đơn giản và cho hiệu quả cao [5-7].

Bộ lọc là thiết bị tạo ra đặc tuyến tần số định trước mà chức năng của nó là cho một dải tần nhất định đi qua đồng thời loại bỏ những dải tần khác. Khi phải lọc một dải nhiều tần số điều hòa dễ xuất hiện trong lưới điện có kết nối hệ thống PV, bộ lọc thông thấp LC là một giải pháp lý tưởng do thiết kế đơn giản và khả năng lọc hiệu quả.

Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất sử dụng bộ lọc thông thấp LC để giảm sóng hài do hệ thống PV gây ra. Cấu trúc bộ lọc LC bao gồm cuộn cảm nối tiếp với bộ nghịch lưu DC-AC và tụ điện lắp song song với bộ nghịch lưu. Bộ lọc này chỉ cho phép sóng hài có tần số nhỏ hơn tần số cắt đi qua (hình 7).

Để thiết kế bộ lọc thông thấp cho hệ thống PV, giá trị cuộn cảm L được lựa chọn theo mối tương quan với độ nhấp nhô dòng điện Δi_r (current ripple); giữa tổn thất do chuyển mạch và dẫn điện của van điều khiển bán dẫn và tổn thất cuộn dây. Δi_r càng nhỏ, tổn thất chuyển mạch và dẫn điện của van càng thấp, nhưng cuộn cảm càng lớn, dẫn đến tổn thất cuộn dây cũng tăng lên. Thông thường, độ nhấp nhô tối đa có thể được chọn trong khoảng (15% - 25%) dòng điện định mức. Giá trị cuộn cảm L được xác định bởi công thức [5-7]:

$$\mathrm{L} = \frac{1}{8}\frac{\mathrm{V_{DC}}}{\Delta i_{rmax}.f_{sw}} \tag{9}$$

với $\mathrm{V_{DC}}$ là điện áp một chiều đầu vào của bộ DC/AC, f_{sw} là tần số chuyển mạch của van điều khiển bán dẫn.

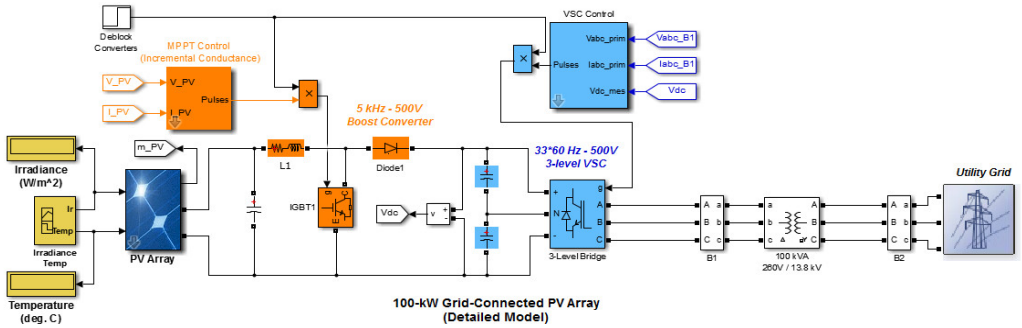
Việc lựa chọn giá trị tụ điện dựa vào sự tương quan giữa công suất phản kháng trong điện dung C và trong điện cảm L. Giá trị điện dung càng lớn, công suất phản kháng chảy vào tụ càng nhiều và nhu cầu dòng điện từ điện cảm L và các chuyển mạch càng nhiều. Kết quả là hiệu suất sẽ giảm. Điện dung cũng không thể quá nhỏ. Nếu không, độ tự cảm sẽ phải lớn để đáp ứng các yêu cầu độ suy giảm, dẫn đến sụt áp tăng cao trên cuộn cảm L. Điện dung C được xác định dựa vào công thức sau [5-7]:

$$\mathrm{C} = \frac{\alpha.\mathrm{P_{đm}}}{2\pi.f_0.\mathrm{V_{đm}^2}} \tag{10}$$

với hệ số α thường được chọn dưới 15%, f_0 là tần số định mức lưới điện, $P_{đm}$ là công suất định mức của hệ thống PV và $V_{đm}$ là điện áp định mức tại điểm đặt tụ.

3. MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PV NỐI LƯỚI

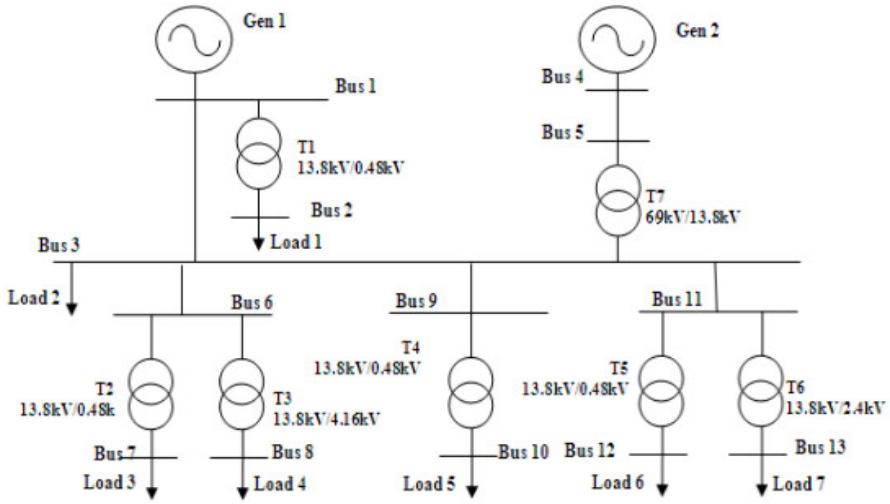
Mô hình hệ thống PV kết nối lưới trong phần mềm Matlab/Simulink được giới thiệu trong hình 8. Đây là mô hình được thiết kế dựa trên cơ sở lý thuyết trình bày ở phần 2 của bài báo với công suất hệ thống PV là 100 kW, điện áp đầu ra của bộ DC-DC là 500V, điện áp đầu ra của bộ DC-AC là 260V.



Hình 8. *Mô hình hệ thống PV nối lưới điện đơn giản.*

Để đánh giá ảnh hưởng sóng hài của hệ thống PV nối lưới, tác giả xem xét hai trường hợp với hai lưới điện khác nhau. Trường hợp thứ nhất kết nối hệ thống PV vào nguồn công suất vô cùng lớn (hình 8). Trường hợp thứ hai là kết nối các hệ thống PV vào lưới điện IEEE-13 nút như hình 9 [12]. Với mỗi trường hợp, tác giả tiến hành mô phỏng khi không có bộ lọc và khi có bộ lọc và so sánh chỉ số THDv.

Tác giả đã mô hình hoá các phần tử lưới điện trong phần mềm Matlab/Simulink. Sau đó, các mô phỏng với nhiều kịch bản xâm nhập PV khác nhau được thực hiện.

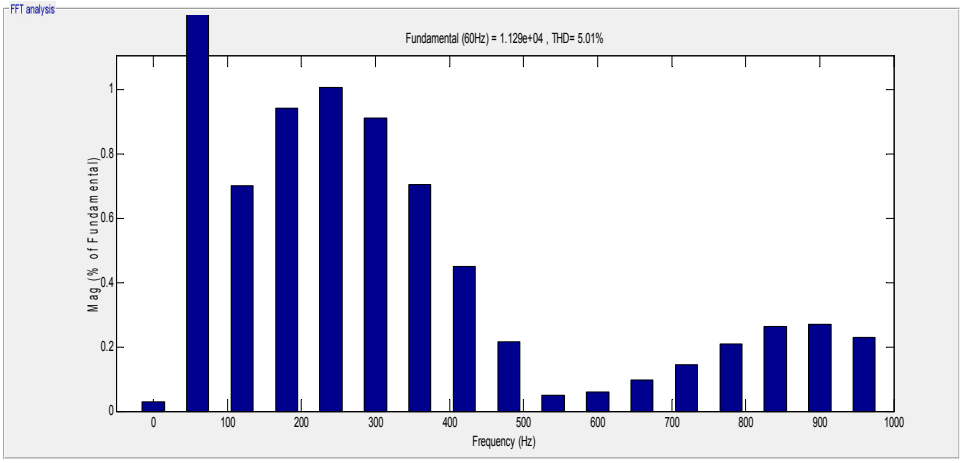


Hình 9*. Lưới điện IEEE-13 nút.*

3.1. Đánh giá ảnh hưởng của hệ thống PV đến chỉ số THDv trong lưới điện

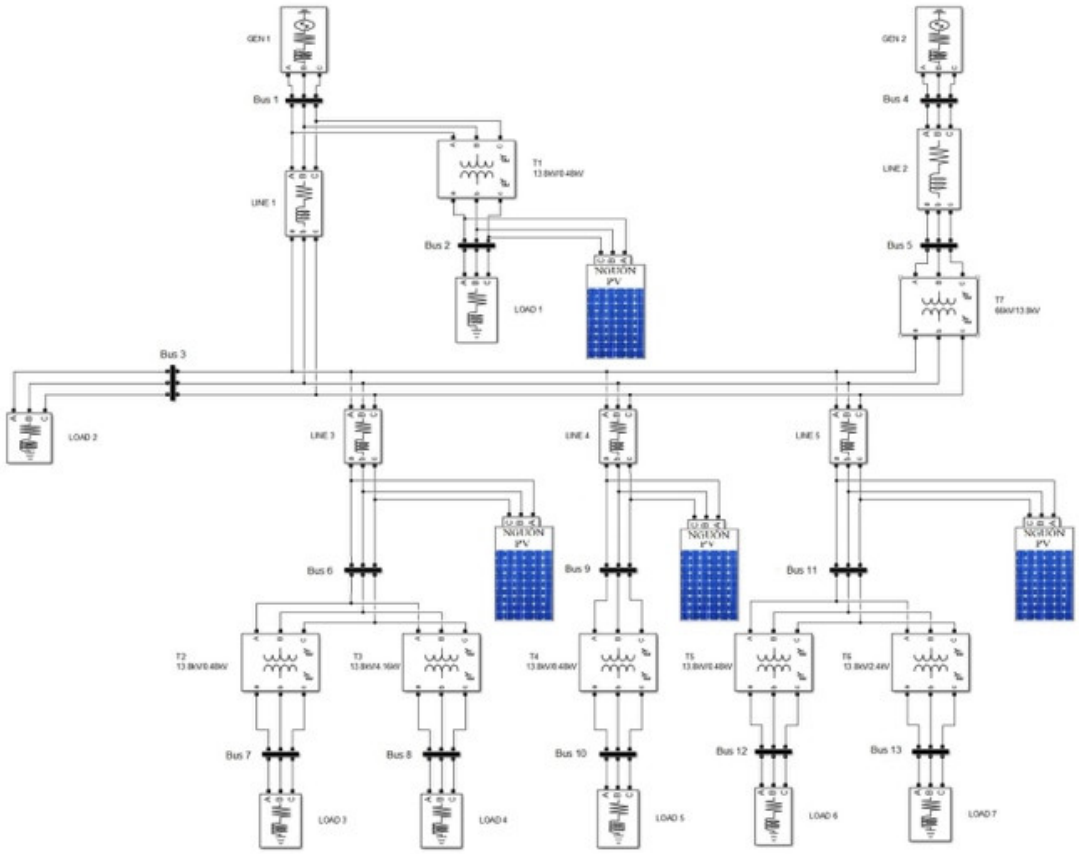
3.1.1. Trường hợp 1: Kết nối hệ thống PV vào lưới điện đơn giản

Trong trường hợp này, lưới còn có các thành phần sóng hài bậc cao với tổng độ biến dạng sóng hài điện áp là 5,01% (hình 10), vượt quá giới hạn cho phép [2-4]. Điều này là do khi kết nối nguồn PV vào lưới, trong hệ thống PV có các bộ biến độ điện tử công suất tạo ra sóng hài và làm cho tăng độ méo sóng hài trong lưới.



Hình 10. *Phân tích biến đổi Fourier FFT (Fast Fourier Transform) điện áp trong lưới điện (trường hợp 1).*

3.1.2. Trường hợp 2: Kết nối các hệ thống PV vào lưới điện IEEE-13 nút



Hình 11. *Mô hình hoá lưới điện IEEE-13 nút và các nguồn PV trong Matlab/Simulink.*

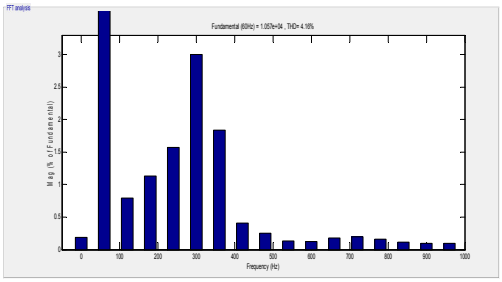
Lưới điện IEEE- 13 nút gồm: 2 nút nguồn, 7 phụ tải với cấp điện 13,8kV, tổng công suất phụ tải là 9280 kW (hình 9). Đây là lưới điện chuẩn do IEEE nghiên cứu xây dựng, dùng để chuyên nghiên cứu tác động của các nguồn gây ra sóng hài [12]. Căn cứ vào số liệu trong [12], tác giả đã xây dựng lưới điện IEEE-13 nút trong phần mềm Matlab/Simulink (hình 11).

Trong nghiên cứu này, các nguồn PV được xem xét đặt ở nút điện áp cao 13,8kV như nút 6, 9 và 11 và tại nút điện áp thấp 0,4kV (nút 2). Nguồn PV kết nối vào nút 2 được mô phỏng như hệ thống PV đặt tại nhà dân, phục vụ cho nhu cầu năng lượng của hộ gia đình. Kết nối lưới cho phép mô hình năng lượng này hoạt động linh hoạt hơn (có thể bán điện lại cho công ty điện khi thừa), thúc đẩy thị trường đầu tư, sử dụng PV trong tư nhân, trong các hộ gia đình.

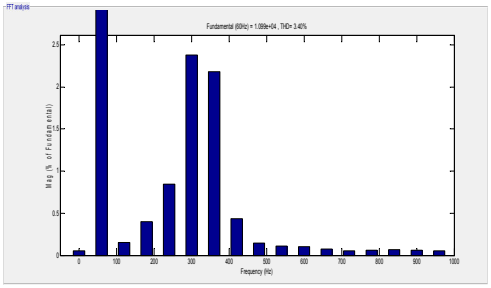
Để có thể nghiên cứu đánh giá tác động của sóng hài khi kết nối PV vào lưới IEEE 13 nút một cách toàn diện, tác giả đề xuất 5 kịch bản sau:

- Kịch bản 1: Không kết nối PV vào lưới điện.
- Kịch bản 2: Một nguồn PV 100kW được lắp tại nút 6.
- Kịch bản 3: Một nguồn PV 100kW được lắp đặt tại nút 6, một nguồn PV 100kW được lắp tại nút 11.
- Kịch bản 4: Một nguồn PV 100kW được lắp tại tại nút 6, một nguồn PV 100kW được lắp tại nút 11, một nguồn PV 100kW được lắp tại nút 9.
- Kịch bản 5: Một nguồn PV 100kW được lắp tại nút 6, một nguồn PV 100kW được lắp tại nút 11, một nguồn PV 100kW được lắp tại nút 9, một nguồn PV 100kW được lắp tại nút 2 (hình 12).

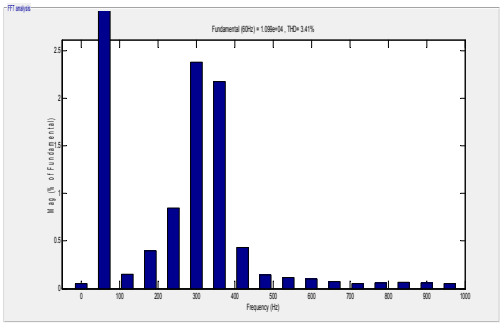
Kết quả của THDv tại nút 3, 6, 9 và 2 cho các trường hợp được thể hiện trong bảng 1.



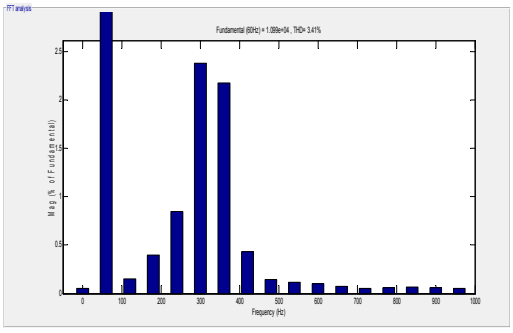
a) Nút 2: THDv = 4,16%.



b) Nút 3: THDv = 3,4%.



c) Nút 6: THDv = 3,41%



d) Nút 9: THDv = 3,41%

Hình 12. *Phân tích biến đổi Fourier FFT các sóng điện áp ở kịch bản 5 (trường hợp 2).*

Kết quả ở bảng 1 cho thấy rằng khi tỷ trọng công suất PV tăng lên, chỉ số THDv tại các nút trong lưới điện cũng tăng lên đáng kể. Cấp điện áp của vị trí đặt nguồn PV cũng có tác động đến biến dạng sóng hài điện áp. Khi nguồn PV được đặt tại thanh cái cùng cấp điện áp cao như nút 6, 9 và 11, kết quả cho thấy những biến dạng sóng hài điện áp tại các nút xấp xỉ nhau. Tuy nhiên, khi có nguồn PV được đặt tại nút điện áp thấp, chẳng hạn như nút 2, thì giá trị THDv tại nút đó sẽ tăng nhiều sơn so với các nút điện áp cao. Các kết quả đã

chứng minh rằng vị trí của nguồn PV tại nút điện áp cao có thể giảm thiểu tác động của biến dạng sóng hài điện áp trong hệ thống điện [3, 4].

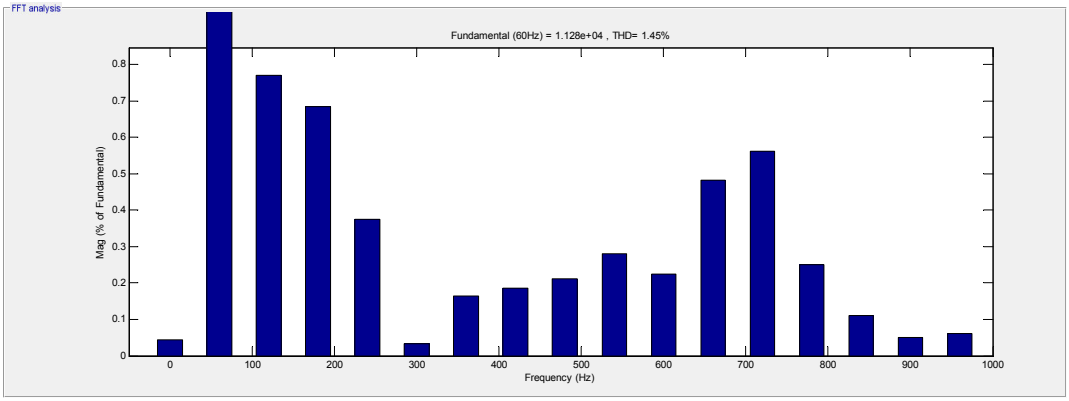
Bảng 1. *Kết quả tính toán THDv cho các kịch bản (trường hợp 2).*

Kịch bản mô phỏng	Nút 2	Nút 3	Nút 6	Nút 9	Nút 11
Kịch bản 1	0.04%	0.04%	0.04%	0.04%	0.04%
Kịch bản 2	0,93%	0,94%	0,94%	0,94%	0,94%
Kịch bản 3	1,83%	1,85%	1,85%	1,85%	1,85%
Kịch bản 4	2,69%	2,72%	2,72%	2,72%	2,72%
Kịch bản 5	4,16%	3,4%	3,41%	3,41%	3,41%

3.2. Đánh giá chỉ số THDv khi có bộ lọc sóng hài

Áp dụng các công thức (9) và (10), ta xác định thông số một bộ lọc LC: Cuộn cảm L = 0,5mH, điện dung C=140,72 μF và tần số cộng hưởng f_r=600Hz.

Bộ lọc thông thấp này được đặt ở đầu ra bộ DC/AC khi kết nối hệ thống PV vào lưới điện.



Hình 13. *Phân tích biến đổi Fourier FFT điện áp lưới điện khi có bộ lọc (trường hợp 1).*

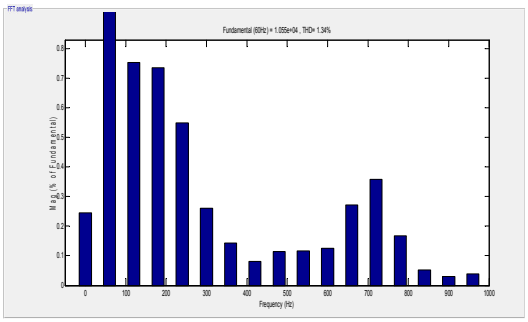
Hình 13 là kết quả phân tích biến đổi Fourier FFT điện áp lưới khi có bộ lọc trong trường hợp kết nối hệ thống PV vào lưới điện đơn giản (trường hợp 1). Chúng ta nhận thấy chỉ số THDv chỉ còn 1,45%. Như vậy, việc sử dụng bộ lọc là có tác dụng và thực sự cần thiết khi xem xét các dự án phát triển các nguồn năng lượng mặt trời sử dụng pin quang điện.

Tiếp tục nghiên cứu với lưới điện IEEE-13 nút, các kịch bản mô phỏng được thực hiện như mục 3.1.2. Kết quả phân tích biến đổi Fourier (FFT) sóng điện áp tại các nút quan trọng được thể hiện trong hình 14. Bảng 2 là kết quả THDv cho 4 kịch bản.

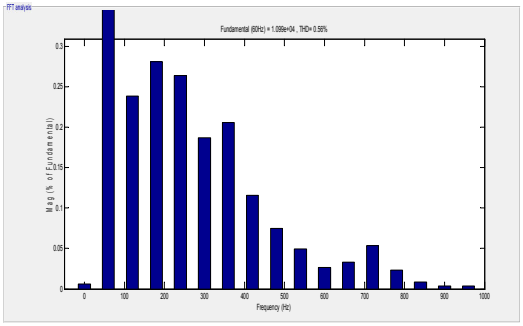
Bảng 2. *Kết quả tính toán THDv cho các kịch bản (khi có bộ lọc).*

Kịch bản	Nút 2	Nút 3	Nút 6	Nút 9	Nút 11
Kịch bản 2	0,15%	0,15%	0,15%	0,15%	0,15%
Kịch bản 3	0,29%	0,29%	0,29%	0,29%	0,29%
Kịch bản 4	0,43%	0,43%	0,43%	0,43%	0,43%
Kịch bản 5	1,34%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%

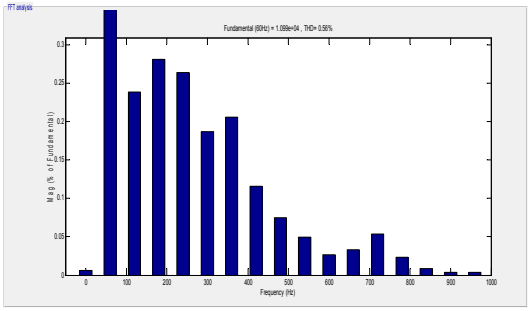
So sánh kết quả chỉ số THDv trong bảng 2 và bảng 1 cho chúng ta thấy hiệu quả của việc sử dụng bộ lọc sóng hài. Bộ lọc đã giúp giảm thiểu rất nhiều độ méo sóng hài trong hệ thống điện có sự kết nối hệ thống PV.



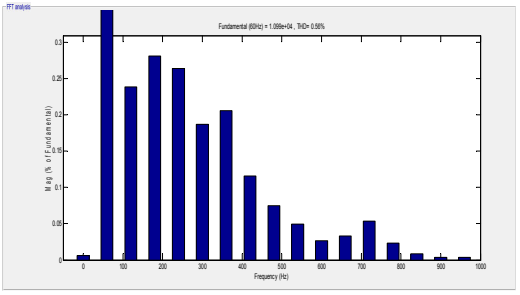
a) Nút 2: THDv = 1,34%.



b) Nút 3: THDv = 0,56%.



c) Nút 6: THDv = 0,56%



d) Nút 9: THDv = 0,56%

Hình 14. *Phân tích biến đổi Fourier FFT các sóng điện áp ở kịch bản 5 (khi có bộ lọc).*

Ở kịch bản 5, khi nguồn PV chiếm tới 4% tổng công suất phụ tải trong đó có một nguồn kết nối ở điện áp thấp, thì độ méo sóng hài vẫn được hạn chế ở giá trị thấp (hình 14). Trong tương lai, khi công nghệ điện năng lượng mặt trời phổ biến hơn, nguồn PV được sử dụng rộng rãi, công suất phát tăng cao thì các bộ lọc sẽ góp phần quan trọng trong việc hạn chế độ méo sóng hài điện áp trong hệ thống điện.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã giới thiệu mô hình hệ thống PV kết nối lưới điện. Các phần tử của hệ thống: tế bào quang điện, bộ biến đổi DC-DC, bộ tìm điểm công suất cực đại MPPT, bộ nghịch lưu và bộ lọc thông thấp LC được nghiên cứu và trình bày dưới mô hình toán học cụ thể. Để đánh giá chỉ số THDv của lưới điện khi kết nối các nguồn PV, mô hình lưới điện chuẩn IEEE-13 nút được xây dựng trong phần mềm Matlab/Simulink. Kết quả mô phỏng với nhiều kịch bản, với mức độ thâm nhập của PV khác nhau, tại nhiều cấp điện áp đã minh chứng được ảnh hưởng gây ra sóng hài, làm méo sóng điện áp của hệ thống PV là rất lớn, đặc biệt khi kết nối vào cấp điện áp thấp. Ngoài ra, bài báo cũng đã đề xuất sử dụng bộ lọc thông thấp LC và minh chứng được tác dụng và khả năng của nó. Phân tích, đánh giá ảnh hưởng sóng hài của lưới điện do hệ thống kết nối nhiều nguồn năng lượng tái tạo khác nhau (pin mặt trời, điện gió) sẽ tiếp tục được đầu tư nghiên cứu.

Lời cảm ơn: *Tác giả cảm ơn sự hỗ trợ mô phỏng, tính toán của sinh viên Đồng Quí Cường và sinh viên Nguyễn Quang Thắng (trường ĐHBK Hà Nội).*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Quyết định số 1208/QĐ – TTg ngày 21/7/2011 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt quy hoạch phát triển điện lực quốc gia gia đoạn 2011 – 2020 có xét đến 2030.

[2]. IEEE Std 519-1992, "*IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*," IEEE, New York, 1993.

[3]. A. F. Abdul Kadir, A. Mohamed and H. Shareef, "*Harmonic impact of Different*

Distributed Generation Units on Low Voltage Distribution System," IEEE International Electric Machines & Drives Conference, (2011), pp.1201-1206.
[4]. Farhoodnea, Masoud & Mohamed, Azah & Shareef, Hussain & Zayandehroodi, Hadi, "*Power quality impact of grid-connected photovoltaic generation system in distribution networks*," IEEE Student Conference on Research and Development (2012), pp. 1-6.
[5]. M. Azri and N. A. Rahim, "*Design analysis of low-pass passive filter in single-phase grid-connected transformerless inverter*," 2011 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CET), Kuala Lumpur, 2011, pp. 348-353.
[6]. Hyosung Kim and Kyoung-Hwan Kim, "*Filter design for grid connected PV inverters*," 2008 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, Singapore, (2008), pp. 1070-1075.
[7]. Wang, T.C.Y, Zhihong, Y., Sinha, G., and Yuan, X, "*Output Filter Design for a Grid-interconnected Three- Phase Inverter*," Power Electronics Specialist Conference (2003), pp. 779-784.
[8]. Đoàn Đức Tùng, Nguyễn Minh Nhất, "*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*," Tạp chí KHCN – Đại học Đà Nẵng, 11(132), (2018), trang: 92-96.
[9]. F. Zheng, M. Ding and J. Zhang, "*Modelling and simulation of grid-connected PV system in DIgSILENT/powerfactory*," 2nd IET Renewable Power Generation Conference (RPG 2013), Beijing, 2013, pp. 1-6.
[10]. M. A. G. de Brito, L. P. Sampaio, G. Luigi, G. A. e Melo and C. A. Canesin, "*Comparative analysis of MPPT techniques for PV applications*," 2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), Ischia, 2011, pp. 99-104.
[11]. A. Safari and S. Mekhilef, "*Simulation and Hardware Implementation of Incremental Conductance MPPT With Direct Control Method Using Cuk Converter,*" in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 58, no. 4, pp. 1154-1161, April 2011.
[12]. IEEE Task Force on Harmonics Modeling and Simulation, "*Test systems for harmonics modeling and simulation*", IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 14, No. 1 (1999), pp. 579-587.

ABSTRACT

ANALYSIS, ASSESSMENT AND MITIGATION OF HARMONIC DISTORTION IN THE GRID-CONNECTED PV SYSTEM

Photovoltaic power systems are becoming increasingly popular due to their advantages compared to traditional energy sources. But besides that, this system also causes negative effects on the electrical power system quality. In this paper, the author focuses on researching and evaluating the total voltage harmonic distortion THDv in the distribution grid connected PV system. Furthermore, the paper presents a solution for eliminating high harmonic waves, by the LC filter. The study has carried out by the model of the PV system and the grid of the IEEE-13 node built on the Matlab/Simulink software. The simulated results show the accuracy and practicality of the research.

Keywords: Electrical and electronic engineering; Electrical engineering; Grid-connected PV system; Harmonics in the electrical power system.

Nhận bài ngày 16 tháng 08 năm 2019
Hoàn thiện ngày 06 tháng 11 năm 2019
Chấp nhận đăng ngày 12 tháng 6 năm 2020

Địa chỉ: Bộ môn hệ thống điện, viện Điện, trường ĐHBK Hà Nội.
*Email: tung.leduc1@hust.edu.vn.