



DOI:10.22144/ctu.jvn.2023.044

TÍNH TOÁN PHÂN TÍCH SÓNG HÀI TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI BẰNG PHẦN MỀM PSS/ADEPT

Ngô Minh Khoa*

Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Ngô Minh Khoa (email: ngominhkhoa@gnu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 20/10/2022

Ngày nhận bài sửa: 14/11/2022

Ngày duyệt đăng: 23/11/2022

Title:

Harmonic analysis in distribution network using PSS/ADEPT software

Từ khóa:

Lưới điện mẫu 13 nút, lưới điện phân phối, phân tích sóng hài, trào lưu công suất

Keywords:

Sample 13-bus network, distribution network, harmonic analysis, power flow

ABSTRACT

This paper presents the application of PSS/ADEPT software to calculate and analyze harmonics in the distribution network. Besides modeling common elements such as sources, transformers, lines, loads using power electronic converters are also modeled in the software. These converters are considered as sources of harmonics induced on the network, so they distort voltage and current waveforms. The analytical calculation results from the PSS/ADEPT software are given in waveform graphs, harmonic spectrum graphs and text data. They are very useful results to help choosing the right solution for filtering harmonic in the distribution network. The verification results in the paper are simulated and calculated by the sample 13-bus network.

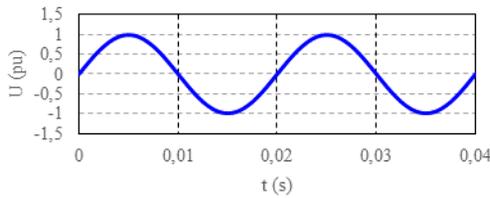
TÓM TẮT

Bài báo trình bày việc ứng dụng phần mềm PSS/ADEPT để tính toán phân tích sóng hài trong lưới điện phân phối. Bên cạnh việc mô hình hóa các phần tử thông thường như nguồn, máy biến áp, đường dây, các phụ tải sử dụng bộ biến đổi điện tử công suất cũng được mô hình hóa trong phần mềm. Các bộ biến đổi này được xem như là nguồn hài gây ra trên lưới điện, do đó chúng làm méo dạng sóng điện áp, dòng điện. Các kết quả tính toán phân tích từ phần mềm PSS/ADEPT được đưa ra dưới dạng đồ thị dạng sóng, biểu đồ phổ hài và số liệu dạng text. Đây là những kết quả rất hữu ích giúp lựa chọn giải pháp lọc sóng hài phù hợp cho lưới điện. Các kết quả kiểm chứng trong bài báo được mô phỏng và tính toán bởi lưới điện mẫu 13 nút.

1. GIỚI THIỆU

Điện năng được tạo ra từ sự biến đổi của các dạng năng lượng khác nhau như: thế năng, động năng, nhiệt năng, quang năng, hóa năng,... Sự biến đổi này được thực hiện thông qua các nhà máy điện (Bính, 2000). Trong quá trình truyền tải và phân phối điện năng, chất lượng điện năng (CLĐN) cần phải được đảm bảo ổn định về điện áp, tần số và dạng sóng (Arrillaga & Watson, 2003). Chỉ cần một trong ba yếu tố trên không đảm bảo, CLĐN sẽ không đảm bảo. Về nguyên tắc, máy phát điện đồng bộ luôn đảm bảo các đặc tính kỹ thuật về điện áp, tần

số và dạng sóng điện áp ở đầu ra có dạng hình sin lý tưởng như Hình 1. Tuy nhiên, CLĐN lại bị ảnh hưởng bởi nhiều nguyên nhân khác (Arrillaga & Watson, 2003). Ảnh hưởng nhiều nhất là do sự phát triển liên tục các thiết bị điện mà đặc tính làm việc của nó gây biến dạng sóng điện áp, sụt áp,... trên hệ thống điện chẳng hạn như các phụ tải phi tuyến hoặc các bộ biến đổi điện tử công suất (Paice, 1995; Das, 2002; Mazin et al., 2011). Tất cả chúng đều có thể gây méo dạng điện áp làm suy giảm CLĐN trên lưới điện.



Hình 1. Sóng điện áp lý tưởng với tần số 50 Hz

Khi CLĐN không được đảm bảo nó có thể gây nên một số tác hại như: đo đếm không chính xác, rò rỉ bảo vệ tác động nhầm, gây gián đoạn cung cấp điện, gây hư hỏng thiết bị, làm tăng tổn hao, tăng chi phí,... (Barnes, 2003). Có nhiều dạng nhiễu loạn làm ảnh hưởng đến CLĐN trên lưới điện, tuy nhiên bài báo này chỉ tập trung vào nhiễu loạn sóng hài. Có nhiều công trình đã công bố liên quan đến nghiên cứu sóng hài trong lưới điện phân phối (LĐPP). Các tác hại đối với lưới điện do sự gia tăng các dạng nguồn hài mới đã được chỉ ra trong công trình (Sharma et al., 2016). Oliveira et al. (2018) đã phân tích đánh giá sóng hài tại điểm đầu nối chung giữa nguồn điện lưới với hệ thống điện mặt trời công suất bé. Các phương pháp phân tích sóng hài trong miền tần số và miền thời gian được nghiên cứu trong Medina et al. (2013). Phương pháp dựa trên phasor để đánh giá sóng hài trong các LĐPP được đề xuất trong (Arghandeh et al., 2014). Trong cả hai điều kiện lưới điện đối xứng và không đối xứng, một ứng dụng mã nguồn mở để mô hình hóa lưới điện đó nhằm phân tích sóng hài trong các LĐPP hình tia được nghiên cứu trong Antić et al. (2022).

Trong bài báo này, tác giả tập trung nghiên cứu mô hình hóa và mô phỏng sơ đồ lưới điện có tích hợp các phụ tải sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất để từ đó phân tích và đánh giá mức độ méo dạng sóng hài điện áp tại các nút trong lưới điện. Đóng góp của bài báo này được thể hiện qua việc áp dụng mô hình tính toán trào lưu công suất và phân tích sóng hài của phần mềm PSS/ADEPT để mô hình hóa và mô phỏng tác hại của sóng hài đến chất lượng điện áp của lưới điện. Các đồ thị dạng sóng và phổ hài điện áp tại các nút được trích xuất và hiển thị rõ ràng để dễ dàng đánh giá mức độ sóng hài. Ngoài ra, các chỉ số tổng độ méo dạng sóng hài điện áp tại tất cả các nút cũng được trích xuất từ phần mềm PSS/ADEPT rất chi tiết. Đây là những dữ liệu đầu vào rất cần thiết trong việc tính toán lựa chọn giải pháp lọc sóng hài phù hợp cho một lưới điện cụ thể. Với ưu điểm của phần mềm PSS/ADEPT là một công cụ mạnh trong việc tính toán phân tích LĐPP nên việc ứng dụng nó để phân tích sóng hài cho

những lưới điện có kích thước lớn là hoàn toàn khả dụng (Phayomhom et al., 2015). Đồng thời nó có thể áp dụng được trong trường hợp lưới không đối xứng.

Các đóng góp của bài báo này được thể hiện qua các nội dung: (i) Vận dụng công cụ phân tích sóng hài trong phần mềm PSS/ADEPT để tính toán phân tích cho các LĐPP có kích thước lớn; (ii) Giúp chúng ta dễ dàng tận dụng các nguồn cơ sở dữ liệu sẵn có về các lưới điện hiện có tại các công ty điện lực để mô hình hóa các nguồn hài tại các nút có kết nối với các bộ chuyển đổi điện tử công suất như biến tần của các tải công nghiệp, các hệ thống điện mặt trời và điện gió nối lưới; (iii) Chỉ ra được ảnh hưởng của sóng hài đối với lưới điện và đưa ra một số giải pháp để lọc sóng hài.

2. CƠ SỞ PHÂN TÍCH SÓNG HÀI

Trước khi tính toán phân tích sóng hài thì chúng ta cần phải tính toán trào lưu công suất ở tần số cơ bản. Kết quả trào lưu công suất ở tần số cơ bản bao gồm điện áp các nút và dòng điện các nhánh được sử dụng để tính các chỉ số sóng hài (Das, 2002). Sau đó, với mỗi tần số sóng hài có sự tồn tại của nguồn sóng hài tương ứng trong lưới điện, kết quả trào lưu công suất trực tiếp được tìm bằng phương pháp bơm dòng tương ứng với thành phần tần số đó (Arrillaga & Watson, 2003). Tổng trở của các thành phần được điều chỉnh dựa trên tần số hài và loại thành phần. Với tần số hài bội ba, một tổng trở thứ tự không được hiệu chỉnh tương ứng với tần số và mạng thứ tự không được sử dụng. Từ kết quả tính phân bố công suất sóng hài tìm được các thành phần hài của điện áp nút và dòng điện nhánh, sau đó tất cả các chỉ số sóng hài cũng được tính tương tự.

Kết quả tính trào lưu công suất sóng hài sẽ cho ra báo cáo dạng văn bản chứa dữ liệu vào của hệ thống, kết quả phân bố công suất cơ bản, thông tin sóng hài trong hệ thống và bảng điện áp nút và dòng điện nhánh với tất cả các thành phần sóng hài (Antić et al., 2022). Cùng với báo cáo dạng văn bản và sơ đồ đơn tuyến, đồ thị điện áp nút và dòng điện nhánh cũng có dưới dạng điện áp và dòng điện trong miền thời gian và phổ sóng hài dưới dạng biểu đồ cột.

Một vấn đề rất được quan tâm khi phân tích sóng hài là điều kiện cộng hưởng trong lưới điện. Vì sự có mặt của cả hai thành phần điện cảm và điện dung trong lưới điện, ở một số tần số nhất định, điều kiện cộng hưởng có thể xảy ra ở một số nút. Nếu cộng hưởng xảy ra ở một nút có dòng điện hài được bơm vào hệ thống thì quá áp và quá dòng xuất hiện (Kun, 2021). Chương trình phân tích tần số là công cụ tốt nhất để khảo sát vấn đề cộng hưởng của lưới điện.

Chương trình này tính toán và vẽ đồ thị biên độ và góc pha của tổng trở nút trong khoảng tần số do người sử dụng chỉ định; do đó, có thể xác định dễ dàng bất kỳ điều kiện cộng hưởng song song nào.

Tính toán phân tích tần số sóng hài cũng cho phép người sử dụng hiệu chỉnh thông số mạch lọc sóng hài (Medina et al., 2013). Khoảng tần số cần phân tích được nhập vào bởi người sử dụng, có thể bắt đầu từ tần số cơ bản đến tần số cao nhất mà người sử dụng muốn. Kết quả phân tích tần số được xuất ra báo cáo dạng văn bản có chứa dữ liệu đầu vào hệ thống, kết quả phân bố công suất cơ bản và một bảng các tổng trở điểm nút. Kết quả cũng có thể hiển thị dưới dạng sơ đồ đơn tuyến và đồ thị dạng sóng và phổ hài điện áp tại các nút.

Bài báo này sử dụng công cụ phân tích sóng hài của phần mềm PSS/ADEPT để tính toán phân tích sóng hài trong LĐPP. Cơ sở toán học để tính toán sóng hài của phần mềm PSS/ADEPT được thể hiện qua các bước cơ bản như sau (Phúc, 2007):

Bước 1: Mô hình hóa toàn bộ sơ đồ lưới điện (sử dụng mô hình tổng trở phụ thuộc vào sóng hài của các phần tử trên lưới điện như: tải tĩnh, động cơ không đồng bộ, động cơ đồng bộ, tụ bù, đường dây, máy biến áp,...)

Bước 2: Tính toán trào lưu công suất ở tần số cơ bản, đây được xem là nền tảng của điện áp nút và dòng điện nhánh được sử dụng để tính các chỉ số sóng hài về sau.

Bước 3: Ứng với mỗi bậc sóng hài có sự tồn tại của nguồn sóng hài tương ứng trong lưới điện, thực hiện tính toán trào lưu công suất dựa trên phương pháp bơm dòng.

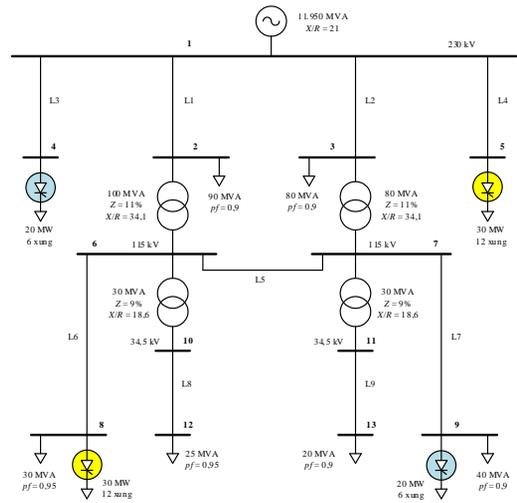
Bước 4: Sử dụng phương pháp xếp chồng các kết quả ứng với mỗi bậc sóng hài trong Bước 3 để thu được kết quả tổng hợp về sóng hài cho lưới điện đó.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Mô tả sơ đồ lưới điện mẫu 13 nút

Để tính toán phân tích ảnh hưởng sóng hài đến CLĐN trên lưới điện, bài báo này sử dụng sơ đồ mẫu 13 nút như Hình 2. Sơ đồ có một nguồn cung cấp ở thanh cái 230 kV tại nút 1 có công suất ngắn mạch là $S_N = 11.950$ MVA, tỉ số $X/R = 21$. Công suất được truyền tải từ nguồn cung cấp thông qua 9 đường dây và 4 máy biến áp để cung cấp cho 8 phụ tải, trong đó có 4 phụ tải tại các nút 4, 5, 8 và 9. Các bộ biến đổi công suất cấp điện cho các phụ tải này cũng chính là tác nhân gây ra nguồn hài tác động xấu đến CLĐN trên lưới điện. Thông số của các phần tử trên sơ đồ lưới điện được cho trong Das (2002). Ngoài ra

các số liệu về các phụ tải sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất tại các nút 4, 5, 8 và 9 được thể hiện như Bảng 1.



Hình 2. Sơ đồ lưới điện mẫu 13 nút

Bảng 1. Số liệu phụ tải bộ biến đổi công suất

Nút	P (MW)	Mô hình
4	20	06 xung
5	30	12 xung
8	30	12 xung
9	20	06 xung

Các bộ biến đổi điện tử công suất là nguồn hài tạo ra nhiều sóng hài bậc cao, do vậy bài báo này mô hình nguồn hài do các bộ biến đổi điện tử công suất này gây ra như sau: Ở tần số cơ bản, mô hình hóa tải của bộ biến đổi dưới dạng tải có dòng điện không đổi và giá trị dòng điện ứng với tần số cơ bản được xác định theo công suất và hệ số công suất của phụ tải đó. Còn đối với các sóng hài bậc cao do bộ biến đổi này gây ra được mô hình tùy thuộc vào cấu trúc của từng bộ biến đổi (Barnes, 2003). Cụ thể trong sơ đồ lưới điện mẫu 13 nút đã sử dụng 2 dạng bộ biến đổi điện tử công suất là 6 xung và 12 xung, các thành phần bậc cao của chúng được xác định như sau (Barnes, 2003):

Đối với mạch 6 xung, giá trị dòng điện hiệu dụng ứng với tần số hài bậc h được xác định:

$$I_h = \frac{I_1}{h}, \quad h = 6k \pm 1 \quad (1)$$

Đối với mạch 12 xung, giá trị dòng điện hiệu dụng ứng với tần số hài bậc h được xác định:

$$I_h = \frac{I_1}{h}, \quad h = 12k \pm 1 \quad (2)$$

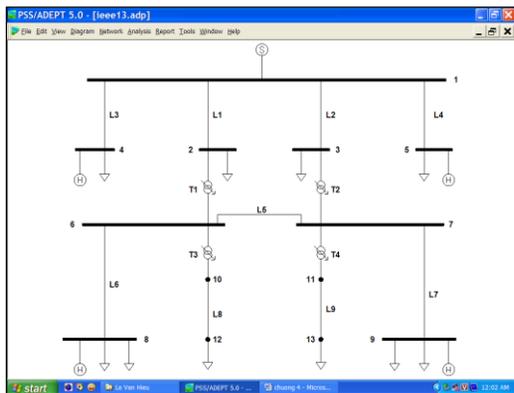
Do vậy theo mô hình nguồn hài như trên ta có thể tính toán các bậc hài của các nguồn gây hài trong sơ đồ lưới điện mẫu 13 nút như Bảng 2.

Bảng 2. Số liệu tính toán nguồn hài

h	I_h – Dòng điện hài bậc h (A)			
	Nút 4 (6 xung)	Nút 9 (6 xung)	Nút 5 (12 xung)	Nút 8 (12 xung)
1	50.2/1	334.7/1	75.3/1	502.1/1
5	50.2/5	334.7/5	-	-
7	50.2/7	334.7/7	-	-
11	50.2/11	334.7/11	75.3/11	502.1/11
13	50.2/13	334.7/13	75.3/13	502.1/13
17	50.2/17	334.7/17	-	-
19	50.2/19	334.7/19	-	-
23	50.2/23	334.7/23	75.3/23	502.1/23
25	50.2/25	334.7/25	75.3/25	502.1/25
29	50.2/29	334.7/29	-	-
31	50.2/31	334.7/31	-	-
35	50.2/35	334.7/35	75.3/35	502.1/35
37	50.2/37	334.7/37	75.3/37	502.1/37
41	50.2/41	334.7/41	-	-
43	50.2/43	334.7/43	-	-

3.2. Mô hình hóa sơ đồ lưới điện

Với các số liệu đã được tính toán cụ thể trong mục 3.1, tác giả sử dụng phần mềm tính toán và phân tích LĐPP PSS/ADEPT xây dựng sơ đồ lưới điện mẫu 13 nút để tiến hành mô phỏng và phân tích kết quả về trào lưu công suất và tính toán sóng hài. Tại các nút 4, 5, 8 và 9 là vị trí đặt các bộ biến đổi điện tử công suất do vậy bài báo mô hình hóa nó gồm một tải dòng điện hằng (có giá trị bằng dòng điện ở tần số cơ bản) và các thành phần hài bậc cao (có giá trị dòng điện hài như đã được tính toán trong Bảng 2). Do đó, khi xây dựng sơ đồ mô phỏng trong phần mềm PSS/ADEPT, các bộ biến đổi đó sẽ được thay bằng một phụ tải có dòng điện không đổi và nguồn hài như Hình 3.



Hình 3. Mô hình hóa lưới điện mẫu 13 nút trên phần mềm PSS/ADEPT

3.3. Tính toán trào lưu công suất

Mục đích của việc tính toán trào lưu công suất trong lưới điện là để đánh giá CLĐN của mạng điện ở chế độ xác lập ban đầu, xem xét khả năng tải của các đường dây, các máy biến áp, kiểm tra độ lệch điện áp tại các nút trong lưới điện và tính toán tổn thất công suất và tổn thất điện năng trên lưới điện đó (Das, 2002). Với ý nghĩa đó, tính toán trào lưu công suất là hết sức cần thiết trong việc đánh giá CLĐN trong lưới điện. Môđun tính toán trào lưu công suất (Load Flow) được tổ hợp trong các chức năng của phần mềm PSS/ADEPT. Do vậy sau khi ta đã xây dựng xong sơ đồ lưới điện mẫu 13 nút, bài báo tiếp tục sử dụng môđun này để tính toán trào lưu công suất và các kết quả đạt được bao gồm các kết quả về trào lưu công suất và điện áp tại các nút như trong Bảng 3 và 4. Với kết quả tính toán điện áp từ Bảng 3, ta thấy điện áp giữa các pha tại các nút trong lưới điện vẫn đảm bảo tính chất đối xứng bởi vì lưới điện mẫu 13 nút có thông số lưới và tải đối xứng. Điện áp tại các nút vẫn nằm trong phạm vi cho phép, điều này chứng tỏ rằng ở chế độ xác lập ban đầu lưới điện vẫn đảm bảo chất lượng điện áp tại các nút. Ở chế độ xác lập ban đầu, chương trình PSS/ADEPT chỉ tính toán ứng với tần số cơ bản $f = 50$ Hz, do đó kết quả tính toán điện áp tại các nút cũng không thấy xuất hiện các thành phần hài bậc cao.

Các giá trị dòng điện chạy trên các pha của các đường dây và máy biến áp đều có môđun bằng nhau, điều này khẳng định thêm tính chất đối xứng của lưới điện như đã nhận xét ở phần trên. Bảng 4 cho thấy rằng tổng tổn thất công suất tác dụng trên lưới là $\Delta P = 808,988$ kW và tổn thất công suất phản kháng là $\Delta Q = -89,072,221$ kVAR. Kết quả này cho thấy tổn thất công suất phản kháng trên toàn lưới điện có giá trị âm là bởi vì các đường dây 230 kV, 115 kV có mặt trên lưới đã sinh ra lượng công suất phản kháng tương đối lớn để đáp ứng nhu cầu công suất phản kháng của các phụ tải trên sơ đồ. Chính vì vậy mà nguồn chỉ cần phát ra một lượng công suất nhỏ hơn lượng tổng công suất phản kháng của các phụ tải, còn lượng còn thiếu là do công suất phản kháng do đường dây sinh ra bù vào. Cụ thể từ việc mô phỏng ta có kết quả công suất tác dụng do nguồn điện phát ra là $P_F = 357,23$ MW và công suất phản kháng do nguồn phát ra là $Q_F = 28,36$ MVAR. Trong khi nhu cầu công suất tác dụng tổng tải là $P_t = 359,25$ MW và công suất phản kháng tổng tải là $Q_t = 117,43$ MVAR.

3.4. Tính toán phân tích sóng hài

Việc phân tích ảnh hưởng của sóng hài tác động xấu đến CLĐN trên lưới điện như thế nào là hết sức

quan trọng, để từ đó chúng ta chủ động đưa ra các giải pháp khắc phục và hạn chế tác hại của sóng hài gây ra (Arghandeh et al., 2014). Phần mềm PSS/ADEPT cũng có tích hợp mô đun phân tích sóng hài trên lưới điện (Harmonic). Do vậy tác giả sử dụng mô đun này để tính toán và phân tích sóng hài của lưới điện mẫu 13 nút. Dựa trên sơ đồ đã được xây dựng trong mục 3.1, tác giả tiếp tục phân tích ảnh hưởng của sóng hài và sau khi mô phỏng được kết quả đồ thị và biểu đồ sau.

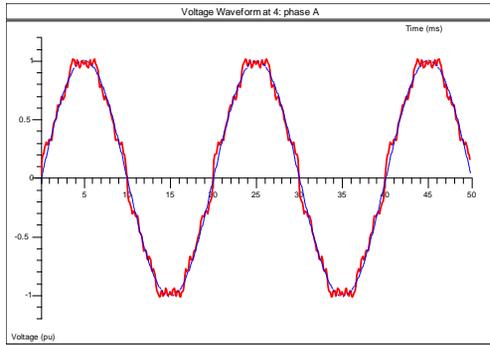
Hình 4 thể hiện đồ thị sóng điện áp ở tần số cơ bản và sóng điện áp bị méo dạng tại các nút có nguồn hài tương ứng và Hình 5 thể hiện biểu đồ tổng độ méo dạng sóng hài điện áp THD_u tại các nút có nguồn hài gồm nút 4, 5, 8 và 9. Hình 6 thể hiện đồ thị dạng sóng điện áp ở tần số cơ bản và sóng điện áp bị méo dạng tại các nút tải và Hình 7 thể hiện biểu đồ tổng độ méo dạng sóng hài điện áp THD_u tại các nút tải gồm nút 2, 3, 12 và 13. Rõ ràng, hai nút tải 12 và 13 ở xa nguồn nên độ méo dạng sóng hài của hai nút này lớn hơn các nút còn lại.

Bảng 3. Kết quả điện áp tại các nút trên lưới điện mẫu 13 nút

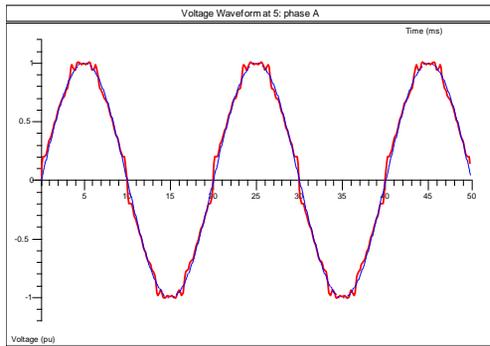
Nút	U (kV)	U_a (kV)	δ_a (độ)	U_b (kV)	δ_b (độ)	U_c (kV)	δ_c (độ)
1	230	132,8	0,0	132,8	240,0	132,8	120,0
2	230	125,6	351,3	125,6	231,3	125,6	111,3
3	230	125,8	351,2	125,8	231,2	125,8	111,2
4	230	133,6	359,5	133,6	239,5	133,6	119,5
5	230	133,3	359,4	133,3	239,4	133,3	119,4
6	115	63,5	345,2	63,5	225,2	63,5	105,2
7	115	63,4	344,9	63,4	224,9	63,4	104,9
8	115	62,8	340,9	62,8	220,9	62,8	100,9
9	115	61,6	339,7	61,6	219,7	61,6	99,7
10	34,5	20,0	340,6	20,0	220,6	20,0	100,6
11	34,5	20,0	341,5	20,0	221,5	20,0	101,5
12	34,5	18,7	331,6	18,7	211,6	18,7	91,6
13	34,5	18,8	334,7	18,8	214,7	18,8	94,7

Bảng 4. Kết quả tính toán dòng điện, công suất và tổn thất công suất

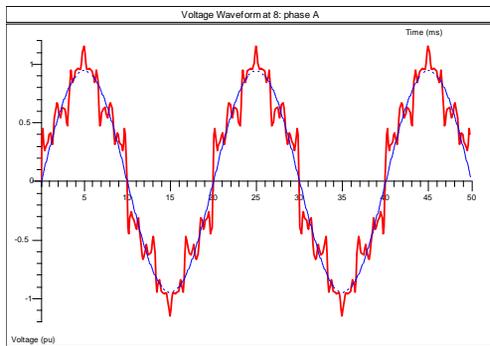
Nhánh	I_a (A)	I_b (A)	I_c (A)	Công suất		Tổn thất công suất	
				P (kW)	Q (kVAR)	ΔP (kW)	ΔQ (kVAR)
Line1	50,20	50,20	50,20	20.117,346	-27.245,184	0,118	-27.245,183
Line2	479,87	479,87	479,87	166.161,818	48.173,605	10,013	-23.200,689
Line3	413,10	413,10	413,10	140.834,089	29.030,325	9,446	-37.881,304
Line4	75,31	75,31	75,31	30.111,502	-21.603,202	0,101	-21.603,200
Line5	305,96	305,96	305,96	56.876,384	7.749,458	1,828	-1.617,983
Line6	309,83	309,83	309,83	54.565,585	15.592,672	2,213	-1.842,816
Line7	444,84	444,84	444,84	23.754,778	11.464,035	5,052	3.657,901
Line8	355,05	355,05	355,05	18.003,022	10.765,381	3,198	2.047,682
Line9	32,83	32,83	32,83	4.087,454	250,313	0,010	-4.463,386
Tran1	460,07	460,07	460,07	85.151,984	32.144,392	298,530	10.173,941
Tran2	380,89	380,89	380,89	68.824,806	32.040,525	258,819	8.819,762
Tran3	440,19	440,19	440,19	23.889,615	13.970,681	134,837	2.506,646
Tran4	349,14	349,14	349,14	18.087,847	12.341,790	84,824	1.576,409
Tổng tổn thất:						808,988	-89.072,221



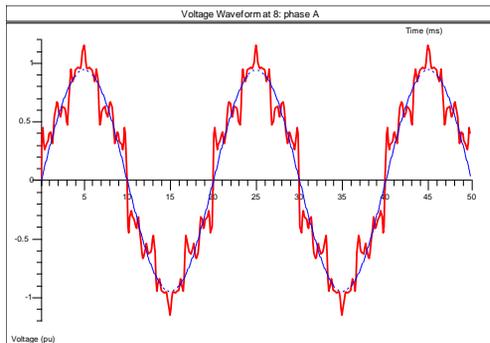
a) Sóng điện áp tại nút 4



b) Sóng điện áp tại nút 5

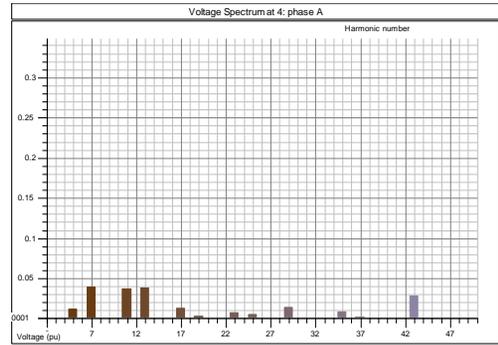


c) Sóng điện áp tại nút 8

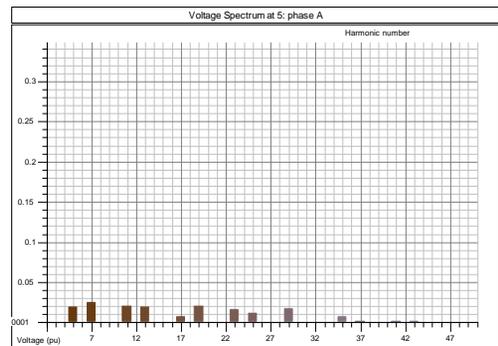


d) Sóng điện áp tại nút 9

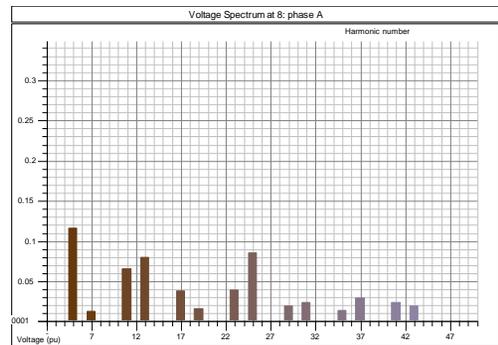
Hình 4. Sóng điện áp tại các nút có nguồn hài



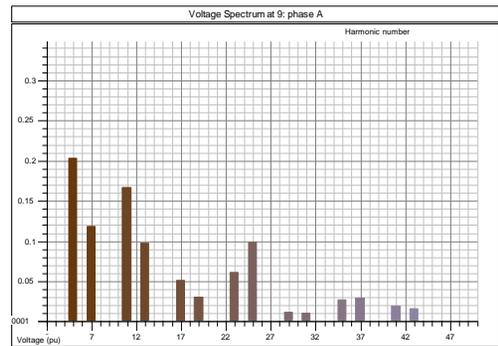
a) Phổ hài điện áp tại nút 4



b) Phổ hài điện áp tại nút 5

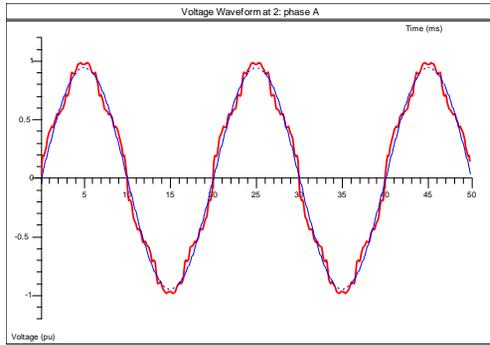


c) Phổ hài điện áp tại nút 8

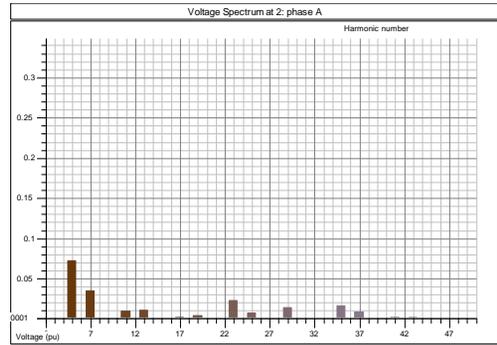


d) Phổ hài điện áp tại nút 9

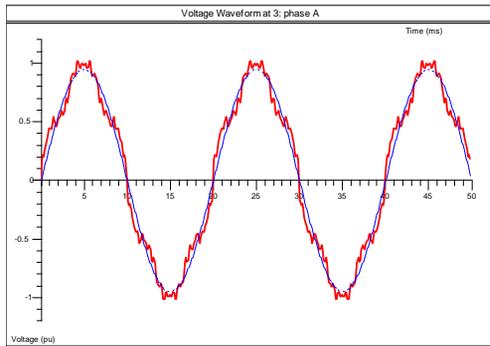
Hình 5. Phổ hài điện áp tại các nút có nguồn hài



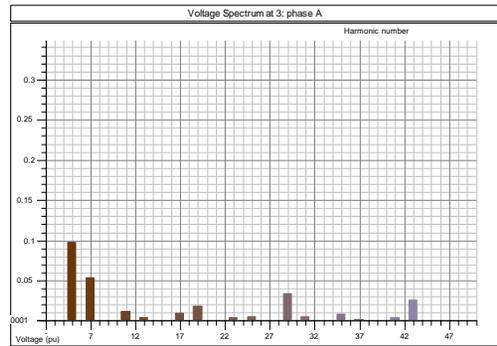
a) Sóng điện áp tại nút 2



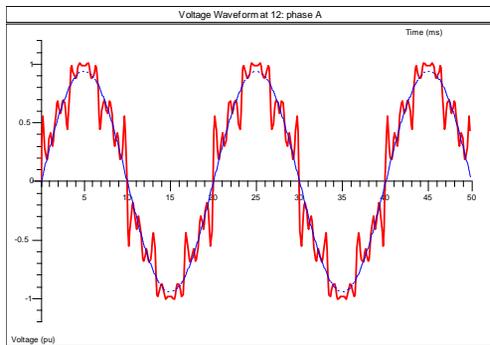
a) Phổ hài điện áp tại nút 2



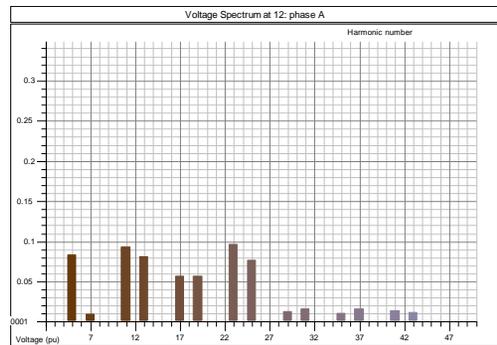
b) Sóng điện áp tại nút 3



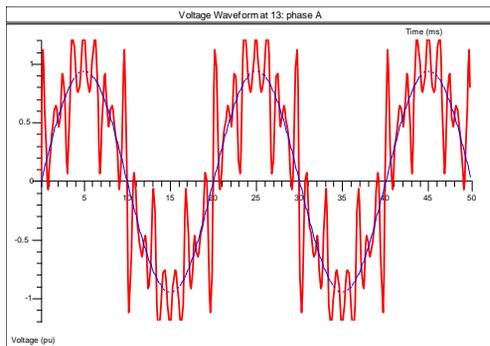
b) Phổ hài điện áp tại nút 3



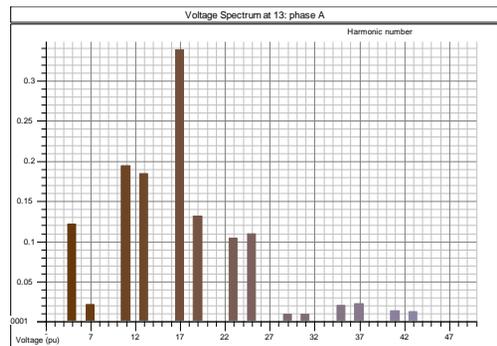
c) Sóng điện áp tại nút 12



c) Phổ hài điện áp tại nút 12



d) Sóng điện áp tại nút 13

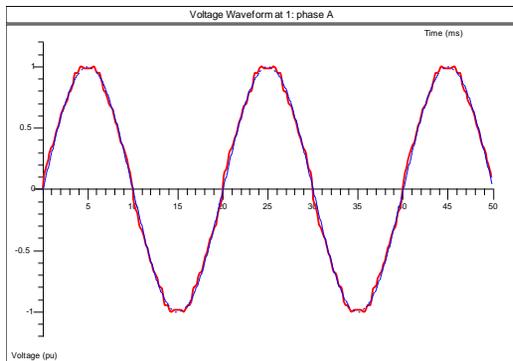


d) Phổ hài điện áp tại nút 13

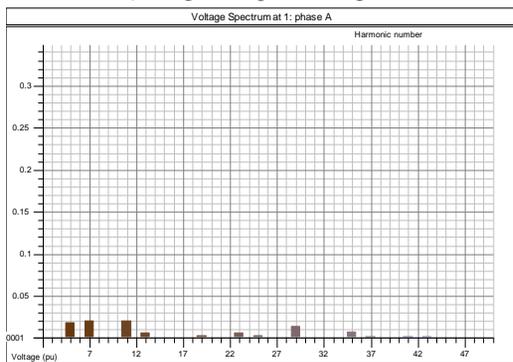
Hình 6. Sóng điện áp tại các nút tải

Hình 7. Phổ hài điện áp tại các nút tải

Từ các kết quả đồ thị méo dạng điện áp và biểu đồ THD_u tại các nút, ta thấy các bộ biến đổi điện từ công suất tạo ra các nguồn hài tác động lên lưới điện, do vậy không những làm cho điện áp của nút có nguồn hài bị méo dạng mà còn ảnh hưởng đến các nút khác trên lưới. Các kết quả mô phỏng cho thấy rằng hầu như điện áp tại tất cả các nút trên lưới điện mẫu 13 nút đều bị méo dạng điện áp. Điều này ảnh hưởng xấu đến chất lượng điện áp trên lưới điện. Nhìn vào kết quả trên ta thấy điện áp tại nút 13 bị méo dạng nhiều nhất so với các nút còn lại. Hình 6d (nút 13) thể hiện sự khác biệt rất lớn giữa điện áp méo dạng so với điện áp ở tần số cơ bản. Mặc dù nút 13 là nút tải nhưng nó chịu sự tác động từ các nguồn hài từ các nút 4, 5, 8 và 9 nên làm cho điện áp của nó bị méo dạng nhiều nhất. Trong khi đó, nút nguồn (nút 1) ít chịu sự tác động của nguồn hài nhất bởi vì nó được xem như là nút nguồn công suất vô cùng lớn, tổng trở của nó rất nhỏ so với các tổng trở của các phần tử khác trên lưới cho nên ít chịu sự méo dạng điện áp. Điều này được thể hiện rõ bởi dạng sóng điện áp của nó trên Hình 8. Hình 8 thể hiện dạng sóng điện áp méo dạng và điện áp ở tần số cơ bản của nút 1 không khác biệt lớn.



a) Sóng điện áp tại nút nguồn

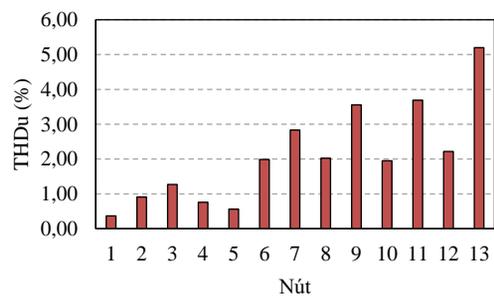


b) Phổ hài điện áp tại nút nguồn

Hình 8. Đồ thị sóng điện áp và phổ hài điện áp tại nút nguồn

Bên cạnh các kết quả về đồ thị dạng sóng và phổ hài điện áp tại các nút như đã phân tích ở trên, kết quả phân tích cho thấy trong khi ở chế độ xác lập bỏ qua ảnh hưởng của sóng hài thì tổn thất công suất là $\Delta P = 808,988$ kW. Mặt khác khi có xét đến ảnh hưởng của sóng hài thì tổn thất công suất trên toàn mạng điện sẽ là $\Delta P_h = 1,585,818$ kW. Như vậy rõ ràng sóng hài làm tăng tổn thất công suất trên lưới, điều này đồng nghĩa là nó sẽ làm tăng tổn thất điện năng trên lưới điện, gây tăng chi phí vận hành lưới điện. Do đó, khi xét đến ảnh hưởng của sóng hài thì tổn thất công suất lúc này vượt quá nhiều so với trường hợp bỏ qua ảnh hưởng của sóng hài. Như vậy chúng ta cần phải có biện pháp khắc phục nhằm giảm tổn thất công suất xuống mức thấp nhất để mang lại hiệu quả kinh tế vận hành cho lưới điện. Một trong những cách đó là ta tính toán thiết kế bộ lọc nhằm giảm thiểu sóng hài trên lưới điện bao gồm: cuộn kháng lọc sóng hài, bộ lọc thụ động, bộ lọc tích cực.

Giá trị tổng độ méo dạng hài điện áp (THD_u) cho ta thấy được mức độ méo dạng điện áp tại các nút khi có nguồn hài tác động lên lưới. Từ kết quả chương trình mô phỏng ta tổng hợp được các giá trị THD_u như Hình 9. Nút 13 có tổng độ méo dạng hài điện áp lớn nhất so với các nút khác trong hệ thống $THD_u = 5,2\%$. Như vậy theo các kết quả phân tích về đồ thị dạng sóng và phổ hài điện áp đã cho thấy được tác hại của sóng hài là làm méo dạng điện áp, làm xuất hiện dòng điện hài bậc cao chạy trong các phần tử của lưới điện, do đó nó sẽ gây phát nóng, gây tổn thất công suất, tổn thất điện năng tăng lên, đồng thời có thể tác động xấu đến các thiết bị nhạy cảm trên lưới.



Hình 9. Biểu đồ THD_u tại các nút

So sánh các kết quả tính toán ở trên với Quy định về sóng hài được thể hiện trong Điều 7 của Thông tư 39/2015/TT-BCT ngày 18/11/2015 của Bộ Công thương, tổng độ biến dạng sóng hài điện áp tại mọi điểm đầu nối không được vượt quá giới hạn quy định như Bảng 5. Theo kết quả ở Hình 9, tổng biên

dạng sóng hài lớn nhất trong lưới điện mẫu 13 nút là tại nút 13 với giá trị $THD_u = 5,2\%$ vẫn còn nhỏ hơn mức cho phép đối với lưới điện trung và hạ áp bằng 6,5%.

Bảng 5. Qui định về sóng hài điện áp trên lưới trung áp

Cấp điện áp	Tổng biến dạng sóng hài	Biến dạng riêng lẻ
110kV	3,0%	1,5%
Trung và hạ áp	6,5%	3,0%

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã nghiên cứu về sóng hài và ảnh hưởng của sóng hài đến CLĐN trong LĐPP. Nguồn gốc sinh ra sinh ra sóng hài là do các tải phi tuyến, các

tải này bao gồm các thiết bị điện tử công suất. Để có cơ sở tính toán lựa chọn các giải pháp hợp lý nhằm giảm thiểu tác hại sóng hài lên lưới điện, chúng ta cần phải tính toán phân tích mức độ sóng hài tác động lên lưới điện đã có. Công cụ phần mềm tính toán phân tích LĐPP PSS/ADEPT được áp dụng hiệu quả trong bài báo này. Từ việc mô hình hóa các tải nguồn hài bởi các bộ biến đổi điện tử công suất cho đến tính toán hiển thị kết quả dạng sóng điện áp tại tất cả các nút. Điều này giúp ta dễ dàng nhận thấy mức độ méo dạng của điện áp tại mỗi nút. Bên cạnh đó, phần mềm cũng giúp ta trích xuất kết quả phân tích phổ hài điện áp và tính toán ra được các chỉ số tổng độ méo dạng sóng hài điện áp. Để từ đó làm cơ sở so sánh đối chiếu với các tiêu chuẩn hiện hành và lựa chọn giải pháp lọc hài phù hợp nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Antić, T., Thurner, L., Capuder, T., & Pavić, I. (2022). Modeling and open source implementation of balanced and unbalanced harmonic analysis in radial distribution networks. *Electric Power Systems Research*, 209, 107935. DOI: 10.1016/j.epr.2022.107935
- Arghandeh, R., Onen, A., Jung, J., Cheng, D., Broadwater, R. P., & Centeno, V. (2014). Phasor-based assessment for harmonic sources in distribution networks. *Electric Power Systems Research*, 116, 94–105. DOI: 10.1016/j.epr.2014
- Arrillaga, J., & Watson, N. R. (2003). *Power system harmonics, 2nd Edition*. Wiley
- Barnes, M. (2003). *Practical Variable Speed Drives and Power Electronics, 1st edition*. Newnes
- Bính, N. (2000). *Điện tử công suất*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật
- Das, J. C. (2002). *Power System Harmonics: Short Circuit Load Flow and Harmonics, Second Edition*. CRC Press
- Kun, C. (2021). Harmonic Analysis of a DC/AC Hybrid Grid Using Resonance Modal Analysis. *2021 International Conference on Power System Technology*. Haikou, China. DOI: 10.1109/POWERCON53785.2021.9697826
- Mazin, H. E., Xu, W., & Huang, B. (2011). Determining the Harmonic Impacts of Multiple Harmonic-Producing Loads. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26(2), 1187–1195. DOI: 10.1109/TPWRD.2010.2093544
- Medina, A., Segundo-Ramirez, J., Ribeiro, P., Xu, W., Lian, K. L., Chang, G. W., Watson, N. R. (2013). Harmonic Analysis in Frequency and Time Domain. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 28(3), 1813–1821. DOI: 10.1109/TPWRD.2013.225868
- Oliveira, P. S., Lima, M. A., Cerqueira, A. S., Duque, C. A., & Ferreira, D. D. (2018). Harmonic analysis based on scica at PCC of a grid-connected micro solar PV power plant. *18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*. Ljubljana, Slovenia. DOI: 10.1109/ICHQP.2018.8378875
- Paice, D. A. (1995). *Power Electronic Converter Harmonics: Multipulse Methods for Clean Power*. IEEE
- Phayomhom, A., Chaitusaney, S., Rugthaicharoencheep, N., & Ainsuk, B. (2015). Impact of variable solar PV generation in MEA's power distribution system. *2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA)*. Bangkok, Thailand. DOI: 10.1109/ISGT-Asia.2015
- Phúc, N. H. (2007). *Áp dụng PSS/ADEPT 5.0 trong lưới điện phân phối*, Đại học Điện lực
- Sharma, H., Rylander, M., & Dorr, D. (2016). Grid Impacts Due to Increased Penetration of Newer Harmonic Sources. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 52(1), 99–104. DOI: 10.1109/TIA.2015.2464175