

ASSESSMENT OF HARMONIC PROBLEMS FOR DIFFERENT LOADS IN VIETNAM AND PROPOSING SOLUTIONS

Bui Anh Tuan

University of Economics - Technology for Industries

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 20/3/2021 Revised: 16/4/2021 Published: 04/5/2021	This paper presents an overview of issues on power quality, the impact of power quality, especially harmonics, in power distributed systems and electrical equipment or electronic devices,... Besides, the article provides a better understanding of the current harmonic problem in Viet Nam in recent years through the measurement results, survey and analysis for typical loads. Guiding circulars as well as harmonic index requirements in grid code will be covered in this article. The methods of handling harmonics are introduced. Base on Vietnamese standard of acceptable harmonic pollution, a new type of harmonic passive filter, multifunctional, not available in Viet Nam, is proposed and its effect is evaluated through the actual installation, measurement and testing. The equipment testing results showed that the harmonics index meets specified. This will be an important step forward in dealing with the highly complex in Viet Nam.
KEYWORDS	
Harmonics Power quality Voltage fluctuations Power loss Electrical reliability	

ĐÁNH GIÁ THỰC TRẠNG SÓNG HÀI TẠI MỘT SỐ PHỤ TẢI Ở VIỆT NAM VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP KHẮC PHỤC

Bùi Anh Tuấn

Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 20/3/2021 Ngày hoàn thiện: 16/4/2021 Ngày đăng: 04/5/2021	Bài báo trình bày tổng quan các vấn đề về chất lượng điện năng, ảnh hưởng của chất lượng điện năng, đặc biệt là vấn đề sóng hài bậc cao trong hệ thống điện, đến các hệ thống cung cấp điện, các thiết bị điện – điện tử,... Bên cạnh đó, bài báo cung cấp cho bạn đọc hiểu rõ hơn thực trạng sóng hài ở Việt Nam trong một vài năm gần đây thông qua kết quả đo đạc, khảo sát và phân tích tại một số phụ tải khác nhau. Các thông tư hướng dẫn cũng như các quy định về sóng hài sẽ được đề cập trong bài báo. Các phương pháp xử lý sóng hài được giới thiệu tổng quát. Dựa vào quy định về mức độ ô nhiễm sóng hài cho phép theo tiêu chuẩn của Việt Nam, một thiết bị lọc sóng hài mới, đa chức năng, chưa có ở Việt Nam được đề xuất và được đánh giá thông qua việc lắp đặt, đo đạc thử nghiệm ngoài thực tế. Kết quả thử nghiệm thiết bị cho thấy, các chỉ số sóng hài đáp ứng quy định cho phép. Đây sẽ là bước tiền quan trọng trong việc xử lý sóng hài đang diễn ra hết sức phức tạp ở Việt Nam.
TỪ KHÓA	
Sóng hài Chất lượng điện năng Dao động điện áp Tổn thất điện năng Độ tin cậy cung cấp điện	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.4192>

Email: batuan@uneti.edu.vn

<http://jst.tnu.edu.vn>

25

Email: jst@tnu.edu.vn

1. Giới thiệu

Với sự phát triển rất nhanh của nền khoa học công nghệ, các thiết bị điện, điện tử có công suất và độ chính xác cao ngày càng trở nên phổ biến, các nguồn năng lượng tái tạo ngày càng được khai thác triệt để và bài toán về chất lượng điện năng ngày càng trở nên quan trọng với mọi quốc gia trên thế giới. Việc giải quyết tốt bài toán này giúp nâng cao hiệu quả và tiết kiệm năng lượng, tăng cường độ tin cậy và an toàn trong hệ thống cấp điện, đảm bảo an ninh năng lượng [1], [2]. Mặt khác, việc nâng cao chất lượng điện năng còn giúp tăng tuổi thọ, tăng khả năng làm việc của các thiết bị sản xuất trong quá trình truyền tải, phân phối, sử dụng điện cũng như làm giảm sự ảnh hưởng đến sức khỏe và khả năng mất an toàn cho người lao động [3]-[5].

Ngày nay công nghiệp chế tạo thiết bị điện, điện tử đã chế tạo được và đưa vào sử dụng nhiều loại thiết bị “thông minh” với hiệu quả năng lượng ngày càng cao nhưng cũng khắt khe hơn về chất lượng điện năng như: hệ thống truyền động điện sử dụng bộ điều tốc điện tử công suất, các hệ thống chỉnh lưu và nghịch lưu, các thiết bị điều chỉnh công suất phản kháng và điều khiển điện áp trong hệ thống điện. Các thiết bị dùng điện hiện đại này nhạy cảm hơn với sự thay đổi thông số của nguồn cấp so với những thiết bị đã sử dụng trước đây và cũng là nguyên nhân gây ra vấn đề về chất lượng điện năng, đặc biệt là sự xuất hiện của sóng hài điện áp và dòng điện trong lưới điện phân phối [2], [6]. Vấn đề sóng hài trong hệ thống điện xảy ra ngày càng nhiều với mức độ ngày càng nghiêm trọng, trên nhiều lĩnh vực sản xuất và gây ảnh hưởng rất lớn cho nhà cung cấp điện, nhà sản xuất thiết bị cũng như khách hàng sử dụng điện. Tuy nhiên, vấn đề này dường như vẫn còn mới mẻ ở Việt Nam và chưa được quan tâm, xử lý đúng quy định.

Chính vì vậy, trong khuôn khổ bài báo này, tác giả đưa ra một số kết quả đo đạc, khảo sát chất lượng điện năng, đặc biệt là hiện tượng sóng hài bậc cao, tại một số phụ tải ở Việt Nam nhằm giúp cho bạn đọc hiểu rõ hơn về thực trạng sóng hài trong hệ thống điện hiện nay. Từ đó, tác giả giới thiệu và đề xuất giải pháp xử lý vấn đề trên bằng thiết bị lọc sóng hài thụ động với tần số biến đổi kết hợp với bù công suất phản kháng [6], [7]. Đây là một thiết bị hoàn toàn mới chưa có ở Việt Nam do chính tác giả đồng hành cùng với nhóm nghiên cứu chế tạo và sản xuất. Kết quả thử nghiệm ngoài thực tế sẽ chứng minh tính hiệu quả của thiết bị này.

2. Thực trạng sóng hài bậc cao trong hệ thống cung cấp điện

2.1. Ảnh hưởng của sóng hài bậc cao trong hệ thống điện

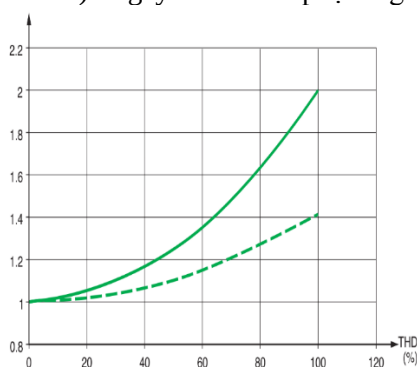
Như trên đã đề cập, vấn đề chất lượng điện năng có tác động ảnh hưởng trực tiếp đến cả ba đối tượng: nhà sản xuất thiết bị, đơn vị cung ứng điện và khách hàng sử dụng điện. Chất lượng điện năng được cung cấp có thể tác động trực tiếp đến nhiều khách hàng công nghiệp. Ngày nay, các dây chuyền sản xuất công nghiệp đều được trang bị hiện đại với trình độ tự động hóa cao, những thiết bị và dây chuyền này thường nhạy cảm hơn với các thông số của điện năng được cung cấp so với thể hệ các thiết bị điện cơ trước đây. Quy mô sản xuất càng lớn, thiết bị sử dụng càng hiện đại thì hậu quả của chất lượng điện năng xấu (sụt áp, tần số không ổn định, xuất hiện hài bậc cao, gián đoạn cung cấp điện...) càng trở nên nghiêm trọng. Chính vì thế, bài toán đánh giá việc đảm bảo chất lượng điện năng ngày càng trở nên phức tạp theo cách nhìn của từng đối tác [6].

Đối với nhà sản xuất thiết bị điện là giá thành sản phẩm. Đối với đơn vị cung cấp điện, nâng cao chất lượng điện năng thường đồng nghĩa với những khoản đầu tư lớn để nâng cấp lưới điện, làm giảm lợi nhuận thu được. Vì vậy, nếu không có những điều kiện pháp lý ràng buộc, các đơn vị điện lực thường không hào hứng với những giải pháp tốn kém để nâng cao chất lượng điện năng. Mặt khác, trong điều kiện thị trường điện lực phát triển, các ràng buộc kỹ thuật trong hợp đồng mua bán điện liên quan đến chất lượng điện năng sẽ là động lực để các đơn vị cung ứng điện có trách nhiệm hơn trong việc đảm bảo chất lượng điện năng cho khách hàng sử dụng điện. Đối với khách hàng, chất lượng điện năng cũng sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả sử dụng điện năng, hiệu quả sản xuất kinh doanh, tiện nghi và chi phí. Ngược lại, nhiều thiết bị sử dụng điện của khách hàng cũng là nguyên nhân gây nên những vấn đề về chất lượng điện năng đối với các

hệ tiêu thụ lân cận và cả hệ thống cung cấp điện. Vì vậy, để giải quyết toàn diện vấn đề chất lượng điện năng cần có sự phối hợp và nỗ lực của cả ba bên: các nhà sản xuất thiết bị điện, các đơn vị cung ứng điện và toàn bộ khách hàng sử dụng điện.

Sóng hài bậc cao trong hệ thống cung cấp điện là một trong hai chỉ tiêu chính liên quan đến việc đánh giá chất lượng điện năng. Sóng hài có tác động ngắn hạn và dài hạn đối với các thiết bị của hệ thống phân phối và tải. Các tác động ngắn hạn là gây ra hư hỏng thiết bị và làm tăng tổn thất do sóng hài dòng điện và điện áp. Trong khi đó, các tác động dài hạn chủ yếu bao gồm các tổn thất về nhiệt và giảm tuổi thọ thiết bị. Về mặt kỹ thuật, sóng hài gây ra các hiện tượng như: gây ra hoặc làm tăng nguy cơ cộng hưởng cục bộ, giảm hiệu suất của hệ thống từ khâu phát, truyền tải, phân phối đến tiêu thụ điện, gây già hoá thiết bị, làm giảm độ tin cậy và độ chính xác của thiết bị do làm méo dạng sóng,... Về mặt kinh tế, sóng hài làm chi phí bảo dưỡng và thay thế tăng, công suất của hệ thống giảm dẫn đến phải tăng công suất đặt không cần thiết và tăng tổn thất [1], [2].

Trong hệ thống điện, động cơ điện là phần tử nằm trong nhóm chịu ảnh hưởng mạnh của sóng hài. Sóng hài làm tăng tổn hao, gây phát nóng quá mức, làm động cơ rung lắc, tuổi thọ động cơ giảm, gây quá tải hoặc cộng hưởng,... Theo ước tính, nhiệt độ làm việc của động cơ điện tăng lên 10°C , sẽ làm giảm tuổi thọ 50% [8], [9]. Khi điện áp có nhiễm sóng hài cung cấp cho động cơ điện không đồng bộ sẽ là nguyên nhân gây ra tổn hao phụ. Theo ước tính, THD điện áp bằng 10% (trong đó các thành phần bậc 5, 7, 11 và 13 lần lượt chiếm tỷ lệ 8%, 5%, 3% và 1% thành phần cơ bản) sẽ gây ra tổn hao phụ tăng 6% (Hình 1) [10].



Hình 1. Giá trị hiệu dụng của dòng điện (nét đứt) và tổn hao do hiệu ứng Joule (nét liền) trong động cơ điện theo THD [10]



Hình 2. Giao diện và các đầu kết nối thiết bị đo vận năng của hãng Kyoritsu

Bên cạnh đó, khả năng mang tải của động cơ điện cũng giảm xuống. Theo tiêu chuẩn IEC 60892, hệ số sóng hài có trọng số được tính bởi:

$$\text{HVF} = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} \frac{U_h}{h^2}} \quad (1)$$

Hệ số này không được vượt quá 0,02 [11]. Trong thực tế để cung cấp cho động cơ điện không đồng bộ, điện áp nguồn có THD tổng bằng 3,7% (trong đó các thành phần bậc 3, 5 và 7 lần lượt chiếm tỷ lệ 2%, 3%, và 1% thành phần cơ bản), hệ số này đã bằng 0,018, rất gần với giới hạn. Do đó cần giảm tải cho động cơ điện để có thể làm việc với điện áp THD cao hơn theo các tiêu chuẩn khác như tiêu chuẩn IEEE STD 519.

Ngoài ra, sóng hài có thể là nguyên nhân gây ra hiện tượng “hunting” (rượt đuôi) ở các động cơ điện đồng bộ khiến tốc độ làm việc của động cơ điện không thể duy trì ổn định ở giá trị đồng bộ và ảnh hưởng tới hoạt động của hệ thống, dây chuyền sản xuất.

Ngoài các tác động kể trên, sóng hài cũng là một trong các nguyên nhân chính làm hỏng các tụ bù trong hệ thống các động cơ điện có đặt thiết bị bù công suất phản kháng. Chính những ảnh

hưởng nghiêm trọng do sóng hài gây ra trong hệ thống điện và phụ tải mà cần phải có những quy định, chế tài để giảm sự phát thải sóng hài trên lưới điện.

2.2. Các chỉ tiêu đánh giá sóng hài bậc cao trong hệ thống điện

Các tiêu chuẩn quốc tế phổ biến thường được đề cập đến khi có các vấn đề về sóng hài và méo dạng sóng hài điều bộ tiêu chuẩn IEC- 61000 của Ủy ban kỹ thuật điện quốc tế là hệ thống các tiêu chuẩn về tương thích điện từ (Electromagnetic Compatibility – EMC) [12]. Các thông số đặc trưng của sóng hài bao gồm:

* Chỉ số méo dạng sóng điện áp:

Chỉ tiêu đánh giá phổ thông nhất dành cho méo dạng sóng điện áp là Chỉ số méo dạng sóng tổng hợp – Total Harmonics Distortion (THD). Chỉ số này biểu thị tỷ số giữa giá trị hiệu dụng của các thành phần hài bậc cao so với thành phần sóng cơ bản:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N V_n^2}}{V_1} \quad (2)$$

Trong đó:

- V_n : giá trị hiệu dụng của sóng hài bậc n và N là bậc cao nhất của sóng hài cần đánh giá;
- V_1 : giá trị hiệu dụng của điện áp bậc cơ bản (50Hz).

* Chỉ số méo dạng sóng dòng điện:

Méo dạng sóng dòng điện cũng có thể được đánh giá bằng công thức trên nhưng trong trường hợp dòng điện tải có thành phần hiệu dụng của bậc cơ bản có giá trị nhỏ.

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N I_n^2}}{I_R} \quad (3)$$

Trong đó:

- I_n : giá trị hiệu dụng của dòng điện sóng hài bậc n và N là bậc cao nhất của sóng hài cần đánh giá;
- I_R : giá trị danh định hoặc giá trị cực đại của một dòng điện tải tham chiếu.

Giá trị TDD đánh giá tỷ số của dòng điện sóng hài so với một giá trị cố định thay vì một đại lượng biến đổi. Bởi vì hệ thống cung cấp điện được thiết kế để phục vụ cho một phụ tải lớn nhất nào đó nên ảnh hưởng của biên dạng sóng dòng điện so với phụ tải lớn nhất đó sẽ có ý nghĩa nhiều hơn so với một giá trị tức thời biến thiên theo thời gian phụ thuộc vào mức tiêu thụ công suất của tải đó.

Tại Việt Nam, theo Thông tư 39/2015/TT-BCT và Thông tư 30/2019/TT-BCT các chỉ số THD và TDD được quy định như sau (Bảng 1):

Bảng 1. Độ biến dạng sóng hài điện áp

Cấp điện áp	Tổng biến dạng sóng hài	Biến dạng riêng lẻ
220 -500kV	$\leq 3\%$	-
110kV	3,0%	1,5%
Trung và hạ áp	6,5%	3,0%

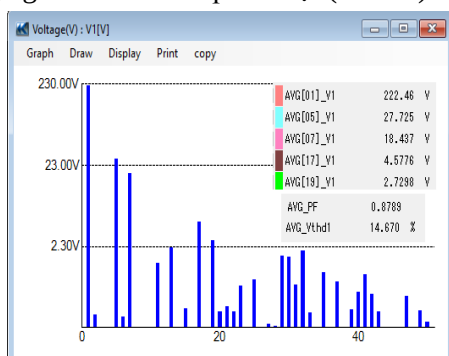
2.3. Kết quả khảo sát, đo đạc sóng hài tại một số phụ tải hạ áp ở Việt Nam

Hiện nay, để khảo sát, đo đạc chất lượng điện năng, trên thị trường có rất nhiều hãng sản xuất thiết bị đo như Kyoritsu hay Hioki. Các thiết bị này rất dễ sử dụng với độ chính xác cao. Hình 2, giới thiệu thiết bị đo do hãng Kyoritsu sản xuất. Thiết bị này cho phép kết nối trực tiếp với máy tính thông qua cổng USB để lưu dữ liệu và hiển thị hình ảnh hoặc cũng có thể lưu các dữ liệu vào thẻ nhớ.

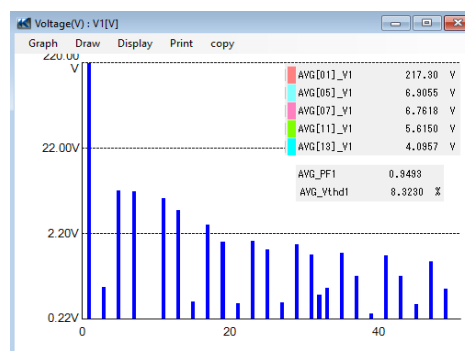
Dưới đây là kết quả đo đạc khảo sát sóng hài tại một số phụ tải hạ áp khác nhau ở Việt Nam:

*** Tại trạm biến áp Châu Khê 4 – Từ Sơn – Bắc Ninh do công ty điện lực Bắc Ninh quản lý:** Giá trị THD trung bình là 14,67%, vượt 2,26 lần so với quy định, tập trung vào các bậc sóng hài bậc 5, 7 và 17. Ngoài ra, hệ số công suất $\cos\phi$ tương đối thấp ($\cos\phi \approx 0,88$). Nguyên nhân

chính phát sinh ra sóng hài là do các phụ tải ở đây tập trung nhiều lò luyện thép trung tần của làng nghề sản xuất thép Đa Hội (Hình 3).



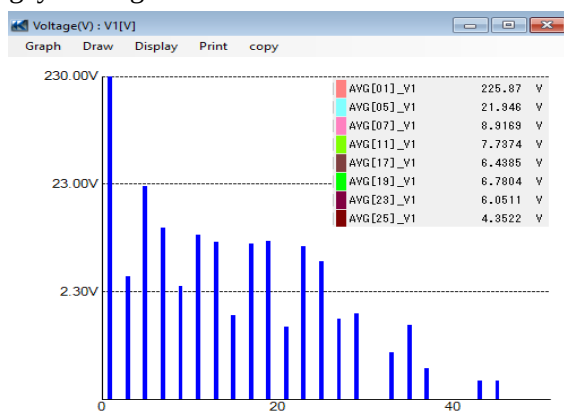
Hình 3. Giá trị các bậc sóng hài tại trạm biến áp Châu Khê 4



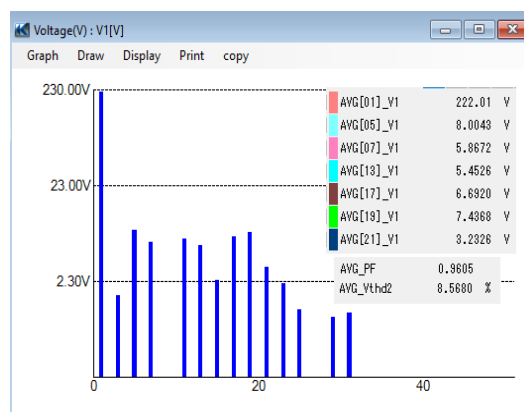
Hình 4. Giá trị các bậc sóng hài tại nhà máy sản xuất gang cầu Thiên Phát

* **Nhà máy sản xuất gang cầu Thiên Phát – Tiên Du – Bắc Ninh:** Nhà máy sử dụng lò nấu thép trung tần và một số hệ thống biến tần cho các hệ truyền động trong nhà máy dẫn đến sự phát thải sóng hài. Giá trị THD trung bình là 8,323%, vượt 1,36 lần so với quy định, tập trung vào các bậc sóng hài 5, 7, 11, 13 (Hình 4).

* **Nhà máy dệt Hà Nam:** Tại đây, hầu hết các dây chuyền sản xuất đều sử dụng các hệ thống biến tần. Chính các bộ biến đổi điện tử công suất trong các máy biến tần là nguyên nhân chính gây ra sóng hài.



Hình 5. Giá trị các bậc sóng hài tại nhà máy dệt Hà Nam



Hình 6. Giá trị các bậc sóng hài tại tòa nhà MB Bank

Giá trị THD trung bình là 12,7%, vượt 1,95 lần so với quy định, tập trung vào các bậc sóng hài 5, 7, 11, 17, 19, 23 và 25 (Hình 5).

* **Tòa nhà MB Bank – Lê Văn Lương – Hà Nội:** Giá trị THD trung bình là 8,568%, vượt 1,32 lần so với quy định, tập trung vào các bậc sóng hài 5, 7, 13, 17, 19, 21. Nguyên nhân chính gây ra sóng hài là do hệ thống điều hòa trung tâm và hệ thống máy tính của tòa nhà (Hình 6).

Qua kết quả đo đạc tại một số phụ tải khác nhau cho thấy vấn đề phát sinh sóng hài ở Việt Nam ngày càng nhiều và đều vượt quá mức quy định cho phép. Các bậc sóng hài cũng khác nhau tùy thuộc vào từng loại phụ tải. Chính vì vậy cần phải có giải pháp xử lý vấn đề này để đưa các chỉ số sóng hài (THD) về giá trị cho phép.

3. Giải pháp xử lý sóng hài

Như đã trình bày ở trên, một số phần tử của hệ thống điện trong quá trình làm việc có thể gây ra sóng hài bậc cao. Do đó, trong quá trình lắp đặt cần có sự phối hợp giữa tải và nguồn cấp một

cách hợp lý để có thể giảm thiểu sóng hài điện áp và dòng điện trong mạng điện. Nếu như mức ô nhiễm sóng hài vượt quá quy định thì cần có các giải pháp lắp đặt thêm thiết bị hạn chế sóng hài. Một số giải pháp đã được áp dụng trong công nghiệp như: Áp dụng các thuật toán điều khiển nâng cao; Đặt thêm các bộ lọc thụ động kiểu cuộn cảm L ở phía xoay chiều hoặc tải kết nối một chiều của bộ truyền động; Sử dụng các bộ biến đổi đa cấp; Các giải pháp trong trường hợp có đặt thiết bị bù công suất phản kháng: Bộ lọc thụ động kiểu LC ở đó tần số cộng hưởng được xác định để có thể loại trừ được sóng hài mong muốn; bộ lọc tích cực; bộ lọc kiểu lai [6].

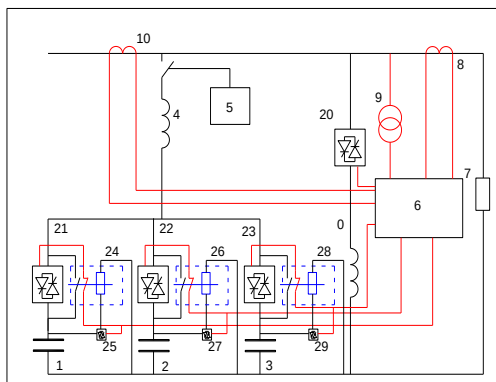
Giải pháp đặt các bộ lọc thụ động bao gồm các phần tử tụ điện, kháng điện và/hoặc điện trở đang ngày càng được áp dụng phổ biến do mức đầu tư hợp lý, có thể cải tiến để lọc được nhiều bậc sóng hài, tốc độ xử lý nhanh, có tác dụng góp phần bù công suất phản kháng, cải thiện hệ số công suất đối với các tải có tính cảm [6]. Các bộ lọc thụ động làm việc trên nguyên lý tạo một đường dẫn có điện kháng thấp cho một dải tần số hài nhất định, từ đó làm lệch hướng dòng hài đi ra từ tải phi tuyến không cho dòng hài lan truyền trên hệ thống.

Trong phần tiếp theo, tác giả sẽ trình bày hiệu quả lọc sóng hài của bộ lọc sóng hài thụ động với tần số biến đổi kết hợp với bù trơn công suất phản kháng. Đây là một thiết bị mới cho phép lọc nhiều tần số khác nhau khi phụ tải biến thiên đồng thời điều chỉnh được giá trị hệ số công suất $\cos\phi$ lên khoảng 0,96-0,98 nhằm giảm tổn thất điện năng do hệ số công suất $\cos\phi$ thấp hoặc do điện áp thấp [6].

3.1. Sơ đồ và nguyên lý làm việc của thiết bị hạn chế sóng hài kết hợp bù trơn công suất phản kháng

Sơ đồ nguyên lý của thiết bị được thể hiện trong hình 7.

Thiết bị bù kết hợp với lọc sóng hài dạng đơn (sơ đồ vẽ cho lọc một bậc sóng hài – ví dụ bậc 5 chẳng hạn) bao gồm 3 tụ điện 1, 2, 3 có công suất khác nhau mắc song song, mỗi tụ điện này được điều khiển đóng cắt bằng các cặp thyristor mắc đối song song 21, 22, 23 nhằm thực hiện chức năng điều khiển thay đổi tần số cộng hưởng của thiết bị kết hợp bù thêm công suất phản kháng. Cuộn kháng 0 có công suất bằng công suất của tụ điện lớn nhất X_{C1} và được điều khiển góc mở bằng cặp thyristor 20 để thay đổi công suất của thiết bị.



Hình 7. Thiết bị lọc sóng hài với tần số biến đổi kết hợp bù trơn công suất phản kháng

Bộ điều khiển 6 có chức năng thực hiện tính toán và điều chỉnh công suất của thiết bị bù kết hợp với lọc sóng hài dạng đơn khi công suất của phụ tải 7 thay đổi dựa trên các tín hiệu đầu vào từ máy biến dòng điện (TI) 8 – để đo dòng điện sóng hài lớn nhất, máy biến dòng điện 10 – để đo công suất phản kháng và hệ số $\cos\phi$ của phụ tải và máy biến điện áp (TU) 9.

Thiết bị bảo vệ 5 sẽ tự động ngắt nguồn cung cấp cho thiết bị bù - lọc khi dòng điện, điện áp hoặc cả hai đại lượng này tăng quá cao nhằm mục đích bảo vệ cho các phần tử của thiết bị.

Nếu bù với hai tần số (ví dụ bậc 5 và bậc 7), ta sẽ có hai bộ tụ - kháng tương tự như trên để bù cho hai tần số hài, nhưng vẫn chung một bộ kháng 0 để bù công suất phản kháng (kiểu SVC).

Như vậy về mặt bản chất, thiết bị gồm 2 phần: phần bộ lọc sóng hài (2 bậc hài) và phần điều chỉnh trơn công suất phản kháng kết hợp điều chỉnh điện áp (dạng SVC) – bằng cách sử dụng các tụ điện và cuộn kháng. Trên hình vẽ chỉ thể hiện một bộ lọc sóng hài nhưng về nguyên tắc có thể sử dụng một số bộ lọc với tần số biến đổi.

Bộ lọc thụ động với tần số biến đổi thực chất là thiết bị lọc dạng đơn có kết hợp thêm với các tụ điện mắc song song có thể điều khiển đóng cắt bằng hệ thống thyristor. Việc đóng cắt bằng thyristor sẽ giúp cho thiết bị này giảm được những ảnh hưởng của quá trình quá độ khi đóng cắt, giúp tăng tuổi thọ thiết bị và tránh gây hư hỏng tụ điện.

Tần số cộng hưởng của thiết bị khi đóng 1 tụ vào như theo công thức sau:

$$\nu_1 = \sqrt{\frac{X_{C1}}{X_L}} \quad (4)$$

Khi đóng tụ thứ hai vào, lúc này hai tụ song song sẽ có giá trị điện kháng tương đương như sau:

$$X_{Cđ2} = \frac{1}{\frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}}} \quad (5)$$

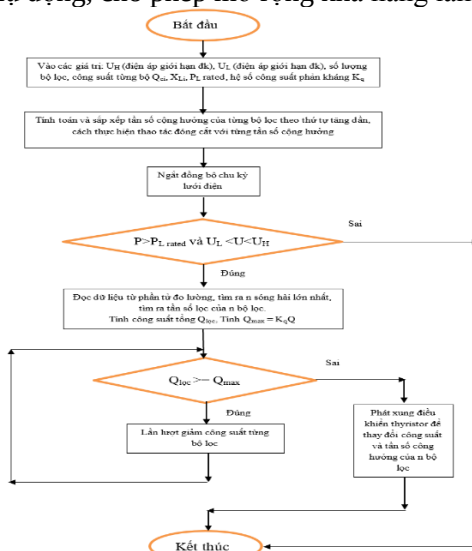
Khi đó tần số cộng hưởng của thiết bị lọc biến đổi được xác định bởi:

$$\nu_2 = \sqrt{\frac{X_{Cđ2}}{X_L}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}}}} \quad (6)$$

Tương tự như vậy, khi đóng tụ thứ ba vào, tần số cộng hưởng của thiết bị sẽ là:

$$\nu_3 = \sqrt{\frac{X_{Cđ3}}{X_L}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}} + \frac{1}{X_{C3}}}} \quad (7)$$

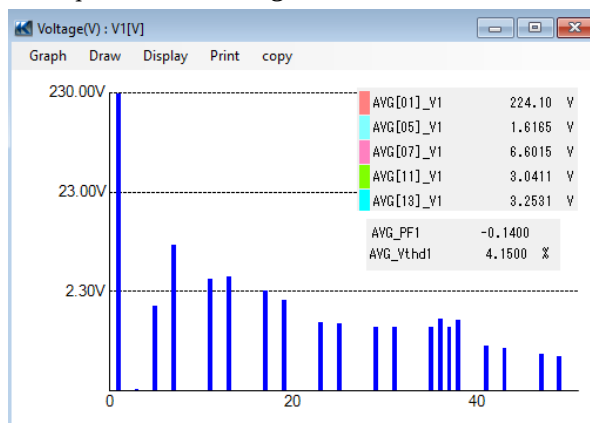
Tần số cộng hưởng (thứ tự) và các trị số của X_{C1} , X_{C2} , X_{C3} và X_L sẽ được lựa chọn phù hợp với biên độ sóng hài do phụ tải gây ra khi thay đổi công suất. Ví dụ: nếu cần thay đổi tần số cộng hưởng của thiết bị tại sóng hài bậc 3, 5, 7, tần số cộng hưởng sẽ được chọn $\nu_1 = 7$, $\nu_2 = 5$, $\nu_3 = 3$ theo các công thức (4), (5) và (6). Do khi đóng thêm tụ, giá trị điện kháng tương đương của $X_{Cđ}$ sẽ giảm nên tần số cộng hưởng $\nu_3 < \nu_2 < \nu_1$. Như vậy, với một cuộn cảm L , khi đóng cắt các tụ bù ta sẽ tạo ra các bộ lọc sóng hài với tần số cộng hưởng khác nhau và cho phép lọc được nhiều bậc hài với chỉ một bộ lọc thụ động, cho phép mở rộng khả năng làm việc của bộ lọc.



Hình 8. Thuật toán điều khiển của thiết bị lọc sóng hài với tần số biến đổi kết hợp bù trơn công suất phản kháng
Lưu đồ thuật toán điều khiển của thiết bị được trình bày trên Hình 8.

3.2. Kết quả thử nghiệm

Kết quả thử nghiệm trong phòng thí nghiệm cho thấy, thiết bị lọc sóng hài hoạt động rất hiệu quả, ổn định [4]. Tuy nhiên, để đánh giá khả năng hoạt động của thiết bị lọc sóng hài với tần số biến đổi theo điều kiện thực tế, thiết bị đã được tiến hành lắp đặt thử nghiệm thiết bị này tại nhà máy sản xuất gang cầu Thiên Phát – Tiên Du – Bắc Ninh. Thiết bị được tính toán, thiết kế để lọc sóng hài bậc 5 và bậc 7. Kết quả đo đạc, thử nghiệm như hình 9.



Hình 9. Giá trị các bậc sóng hài tại nhà máy sản xuất gang cầu Thiên Phát sau khi lắp đặt thiết bị lọc sóng hài với tần số biến đổi kết hợp bù trơn công suất phản kháng

Từ hình 4 và hình 9, ta có kết quả so sánh mức độ giảm sóng hài ở các bậc như bảng 2.

Bảng 2. Mức độ giảm các bậc sóng hài tại thời điểm đo với hài bậc

Bậc hài	5	7	11	13
% Hài khi chưa đặt thiết bị	3,18	3,12	2,59	1,89
% Hài khi đặt thiết bị	0,72	2,94	1,35	1,45
Mức giảm %	77,4	5,8	47,9	23,3

Như vậy, sau khi lắp đặt thiết bị lọc sóng hài với tần số biến đổi kết hợp bù trơn công suất phản kháng thì chỉ số THD trung bình đã giảm xuống còn 4,15%, thỏa mãn quy định của Thông tư 39/2015/TT-BCT. Bên cạnh đó, hệ số công suất $\cos\varphi \approx 1$, góp phần làm giảm tổn thất điện năng. Việc nâng cao hệ số công suất hoàn toàn tự động theo sự thay đổi của phụ tải trong quá trình làm việc. Các kết quả đo lường cho thấy thiết bị đã nâng cao được hệ số công suất, từ đó giúp nâng cao hiệu quả của thiết bị điện.

4. Kết luận và đề xuất

Bài báo đã giới thiệu tổng quan về vấn đề chất lượng điện năng, những ảnh hưởng của chất lượng điện năng, đặc biệt là ảnh hưởng của sóng hài bậc cao đến hiệu quả làm việc của các thiết bị điện nói chung và động cơ điện nói riêng.

Các kết quả đo lường và khảo sát một số phụ tải khác nhau ở Việt Nam đã cho thấy vấn đề sóng hài xảy ra ngày càng thường xuyên với mức độ ngày càng nghiêm trọng, không những gây ảnh hưởng xấu trực tiếp đến các nhà máy sản xuất mà còn gây ảnh hưởng đến các phụ tải lân cận, thậm chí cho cả hệ thống lưới điện. Tuy nhiên, hiện nay chưa có chế tài xử lý vấn đề sóng hài. Do vậy, việc áp dụng các giải pháp lọc sóng hài đang được các đơn vị cung cấp điện và khách hàng sử dụng điện quan tâm.

Kết quả thử nghiệm cho thấy sản phẩm lọc sóng hài kết hợp bù công suất phản kháng đã hoạt động ổn định. Đây là thiết bị mới đòi hỏi phải có một bộ điều khiển phức tạp hơn và không có trên thị trường. Mặc dù được đem ra thử nghiệm tại phía hạ áp của một nhà máy đúc gang (với công suất bất kỳ) trong thực tế (thậm chí đã có hệ thống tự bù $\cos\varphi$ sẵn) nhưng đã cho thấy hiệu

quả rõ ràng trong việc hạn chế sóng hài, nâng cao hệ số công suất $\cos\phi$ và được đơn vị thử nghiệm ghi nhận, đánh giá cao. Giá thành của thiết bị cũng ở mức độ không quá cao so với khả năng của các doanh nghiệp nên có thể tiến hành sản xuất ở quy mô lớn.

Để triển khai sản phẩm trong thực tế một cách hiệu quả hơn nữa, hướng nghiên cứu tiếp theo là thiết kế thiết bị lọc cho từng dải công suất của máy biến áp, để phù hợp hơn nữa về mặt công suất, cũng như định rõ hơn nữa về mặt giá thành sản phẩm theo mức công suất thiết kế và phù hợp với chế tạo hàng loạt. Đồng thời sản phẩm cũng có thể được nghiên cứu và phát triển để mở rộng dải lọc sóng hài cho các loại phụ tải khác như các phụ tải có hệ thống biến tần lớn, tải cầu trục...

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] G. J. Wakileh, *Power Systems Harmonics- Fundamentals, Analysis and Filters design*, Springer, 2001.
- [2] D. Robinson, "Harmonic management in MV distribution systems," PhD thesis, University of Wollongong, 2003.
- [3] N. Q. Dinh, A. T. Bui, and V. C. Le, "Hybrid reactive power compensation equipment in power systems," (in Vietnamese), *EPU Journal of Science and Technology for Energy*, no. 8, pp. 51-59, 2015.
- [4] A. T. Bui, T. V. A. Le, N. Q. Dinh, and D. K. Hoang, "Voltage flicker analysis and proposed solutions for selected loads in VietNam," (in Vietnamese), *EPU Journal of Science and Technology for Energy*, no. 11, pp. 1-10, 2016.
- [5] A. T. Bui, "Passive filter with variable frequencies," (in Vietnamese), *Journal of Science & Technology – Hanoi University of Industry*, no. 44, pp. 22-25, 2018.
- [6] V. C. Le, T. L. Nguyen, A. T. Bui, and N. Q. Dinh, "Proposal of the solution of hybrid compensation device in a harmonic filter in the distribution power system," (in Vietnamese), *Journal of Science & Technology – Hanoi University of Industry*, vol. 56, no. 2, pp. 15-21, 2020.
- [7] ABB, *SVC for power quality control of a very large EAF in Turkey*, 2018.
- [8] A. Jalilian and R. Roshanfekar, "Analysis of three-phase induction motor performance under different voltage unbalance conditions using simulation and experimental results," *Electric Power Components and Systems*, vol. 37, no. 3, pp. 300-319, 2009.
- [9] C. Lee, "Effects of unbalanced voltage on the operation performance of a three-phase induction motor," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 14, no. 2, pp. 202-208, 1999.
- [10] W. C. D. Gafford and C. C. Mosher, "Heating of induction motors on unbalanced voltages," *AIEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-78, pp. 282-297, 1959.
- [11] Schneider-Electric, *Electrical installation guide - Chapter M: Harmonic management*, 2008.
- [12] M. T. Ma and M. Kanda, *Electromagnetic Compatibility and Interference Metrology*. National Bureau of Standards Technical Note 1099, 1986.