

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN - KHOA CƠ KHÍ

**KỶ YẾU HỘI THẢO KHOA HỌC
LĨNH VỰC
CÔNG NGHỆ THÔNG TIN - CƠ KHÍ**

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI
HÀ NỘI - 3/2023

MỤC LỤC

PHẦN I: HỘI THẢO CHUYỂN ĐỔI SỐ VÀ CÁC HỆ THỐNG THÔNG MINH... 5

NGHIÊN CỨU CẢI THIỆN TRÍCH XUẤT TÍNH MẠCH NGÓN TAY DỰA TRÊN ENHANCE MAXIMUM CURVATURE VÀ BỘ LỌC TRUNG VỊ.....6

Trần Anh Tú^{1*}, Nguyễn Việt Dũng¹,
Đình Công Tùng² 7

QUẢN TRỊ NHIỀU TƯỜNG LỬA TRONG MÔI TRƯỜNG ĐÁM MÂY 16

Hoàng Xuân Tùng^{1*}, Phạm Văn Sang¹,
Bùi Ngọc Dũng² 16

TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ INTERNET VẠN VẬT26

Lại Mạnh Dũng¹ 26

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP GLOVE NÂNG CAO HIỆU QUẢ XÁC ĐỊNH Ý ĐỊNH DU LỊCH CỦA NGƯỜI DÙNG INTERNET.....35

Lương Thái Lê^{1*}, Phạm Xuân Tích¹ . 35

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MÔ HÌNH HỌC SÂU TRONG VIỆC PHÁT HIỆN TÓM NHIỆM BỆNH ĐÓM TRẮNG.....41

Nguyễn Duy Mạnh¹, Đình Công
Tùng^{1*} 41

TÍCH HỢP CƠ SỞ DỮ LIỆU TRONG PHẦN MỀM IPTABLES CHO BÀI TOÁN PHÂN TÍCH CÁC BỘ LUẬT TƯỜNG LỬA.....48

Hoàng Xuân Tùng^{1*}, Vũ Đức Trung¹,
Bùi Ngọc Dũng² 48

ỨNG DỤNG NFT TRONG BẢO VỆ BẢN QUYỀN ẢNH SỐ60

Nguyễn Thị Hồng Hoa^{1*},
Nguyễn Thu Hương¹,
Hoàng Thanh Tùng² 60

SO SÁNH CÁC THUẬT TOÁN DROPTAIL VÀ RED TRONG ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG MẠNG MÁY TÍNH BẰNG NS2 70

Nguyễn Thanh Toàn¹ 70

PHẦN II: HỘI THẢO KHOA HỌC CÔNG NGHỆ KHOA CƠ KHÍ VÀ DOANH NGHIỆP 77

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ CHẾ TẠO VÀ ỨNG DỤNG HỆ THỐNG XỬ LÝ CHẤT THẢI CỦA TRẠM TRỘN BÊ TÔNG XI MĂNG.....78

Trần Thị Vân Nga^{1*}, Nguyễn Văn
Hường¹, Nguyễn Thoại Anh¹ 79

ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ ĐẾN KÍCH THƯỚC CỦA HÓC GIA CÔNG BẰNG TIA NƯỚC CHỨA HẠT MÀI TRÊN HỢP KIM NHÔM86

Ngô Anh Vũ^{1*}, Vũ Duy Đức¹,
Bùi Văn Hưng¹ 86

CHẾ TẠO VÀ THỬ NGHIỆM MÔ HÌNH MÁY CẮT BẰNG LƯỖI ĐAO ĐIỀU KHIỂN SỐ 4 TRỤC.....93

Nguyễn Văn Hương 93

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG CỦA PIN NHIÊN LIỆU KIỂU MÀNG TRAO ĐỔI100

Đỗ Văn Trán*, Vũ Xuân Thiệp 100

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ PÍT TÔNG XI LẠNH HẮM HỆ THỐNG HẮM TOA XE KHÁCH CAO CẤP VẬN HÀNH TIN CẬY ĐẾN TỐC ĐỘ 120 KM/H109

Phạm Huy Khương¹ 109

SÓNG HÀI TRONG HỆ THỐNG CÔNG SUẤT ĐIỆN: NGUYÊN NHÂN, ẢNH HƯỞNG VÀ GIẢI PHÁP KHẮC PHỤC ..116

Nguyễn Thanh Lịch¹,
Phạm Thị Thanh Loan² 116

SÓNG HÀI TRONG HỆ THỐNG CÔNG SUẤT ĐIỆN: NGUYÊN NHÂN, ẢNH HƯỞNG VÀ GIẢI PHÁP KHẮC PHỤC

Nguyễn Thanh Lịch¹, Phạm Thị Thanh Loan²

¹Trường Đại học Giao thông Vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội

²Trường Đại học Mở - Địa chất, Số 18 Phố Viên, Đông Ngạc, Hà Nội

Tác giả liên hệ: Email: lichnt@utc.edu.vn

Tóm tắt: Sóng hài là những sóng tuần hoàn có tần số là bội của tần số cơ bản. Sóng hài gây ra các biến dạng sóng tổng trong hệ thống phân phối năng lượng, ảnh hưởng rất xấu đến thiết bị máy móc, làm giảm tuổi thọ của thiết bị, gây lãng phí năng lượng....., do đó chúng cần được giảm thiểu. Bài báo này trình bày thông tin chung về sóng hài, nguyên nhân, ảnh hưởng và các phương pháp giảm thiểu sóng hài.

Từ khóa: Sóng hài, độ méo sóng hài tổng, tổn thất điện năng, chất lượng điện năng.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, các nhà máy công nghiệp sử dụng ngày càng nhiều các bộ biến đổi điện tử công suất như biến tần, bộ truyền dẫn servo (servo drives), đi kèm với đó là vấn đề phát sinh sóng hài [1]. Vì vậy, chất lượng của nguồn điện cũng như hiệu suất điện đã trở thành vấn đề quan trọng. Các công ty phân phối điện cũng như các doanh nghiệp sản xuất đã nhận thức rõ hơn về lợi ích trong việc phát hiện và giảm thiểu sự ảnh hưởng của sóng hài đến hệ thống điện của nhà máy. Một yếu tố chính để đánh giá chất lượng nguồn điện là độ méo sóng hài tổng (total harmonic distortion - THD). Nó cho biết thành phần và tỷ lệ của sóng hài chứa trong tín hiệu dòng điện và điện áp. Độ méo sóng hài tổng thể hiện độ lệch giữa điện áp/dòng điện hình sin lý tưởng và điện áp/dòng điện thực tế.

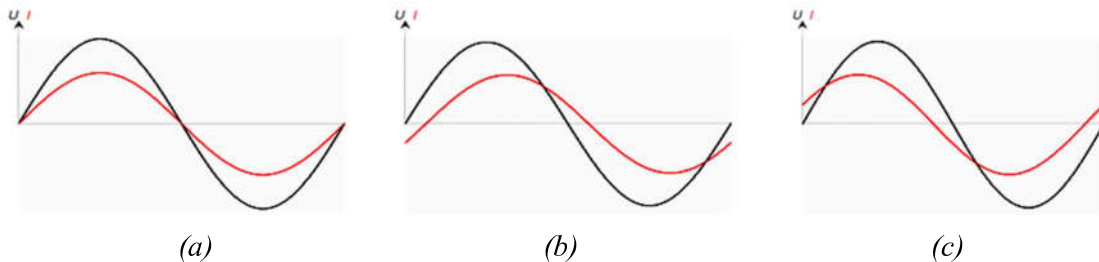
Sóng hài có thể gây ra các vấn đề xấu cho các thiết bị điện, điện tử như tổn hao công suất trong các máy điện (động cơ, máy phát, máy biến áp) cũng như các thiết bị điện tử khác, giảm tuổi thọ, giảm hiệu suất của thiết bị và toàn hệ thống cũng giảm theo. Sóng hài không những gây ra các vấn đề về điện mà còn gây ra các vấn đề về cơ khí của các thiết bị dẫn đến chi phí bảo trì, chi phí thiết bị tăng cũng như giảm năng suất hệ thống. Vấn đề sóng hài có thể được giải quyết bằng cách giảm các thiết bị có thể gây ra sóng hài, tăng các thiết bị miễn nhiễm với sóng hài và sử dụng các kỹ thuật cũng như thiết bị để giảm thiểu sóng hài [2]. Bài báo này tập trung trình bày các nguyên nhân gây ra sóng hài, sự ảnh hưởng của sóng hài lên các thiết bị điện và một số giải pháp khắc phục hiện tượng trên.

2. SÓNG HÀI LÀ GÌ VÀ NGUYÊN NHÂN GÂY RA SÓNG HÀI

Nguyên nhân chính của việc tạo ra sóng hài là tải phi tuyến. Vì vậy, trước khi nói về sóng hài, chúng ta cần xác định thế nào là tải "tuyến tính" và thế nào là tải "phi tuyến".

2.1. Tải tuyến tính

Tải tuyến tính là tải có dòng điện tỷ lệ tức thời với điện áp đặt vào, tức là trở kháng của nó được duy trì không đổi trong toàn bộ chu kỳ làm việc của tải. Tải tuyến tính được phân loại thành ba dạng (Hình 7): tải thuần trở, tải điện cảm và tải điện dung.

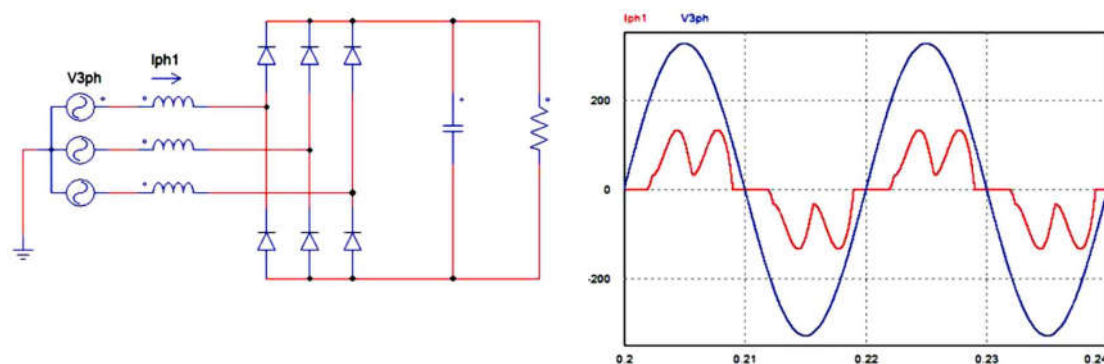


Hình 7. Các dạng tải tuyến tính: (a)-tải thuần trở; (b)-tải điện cảm; (c)-tải điện dung.

2.2. Tải phi tuyến

Ngược lại với tải tuyến tính, tải phi tuyến tính thay đổi trở kháng của nó với điện áp tức thời, điều đó sẽ dẫn đến dòng điện không hình sin. Nói cách khác, loại tải này không có quan hệ không đổi giữa dòng điện so với điện áp trong cùng một chu kỳ điện. Ví dụ đơn giản nhất để biểu diễn tải phi tuyến tính là bộ chỉnh lưu điốt, với nhiều biến thể của nó (bộ chỉnh lưu điốt một nửa hoặc hai nửa chu kỳ, chỉnh lưu điốt một pha hoặc ba pha như Hình 8).

Một số ví dụ khác của tải phi tuyến như: thiết bị hàn, lò hồ quang, các bộ biến tần, các nguồn công suất và cả các thiết bị điện tử hiện đại. Các thiết bị này có chứa các linh kiện bán dẫn công suất như điốt, thyristor, transistor lưỡng cực có công cách ly (IGBT) và transistor hiệu ứng trường (MOSFET).

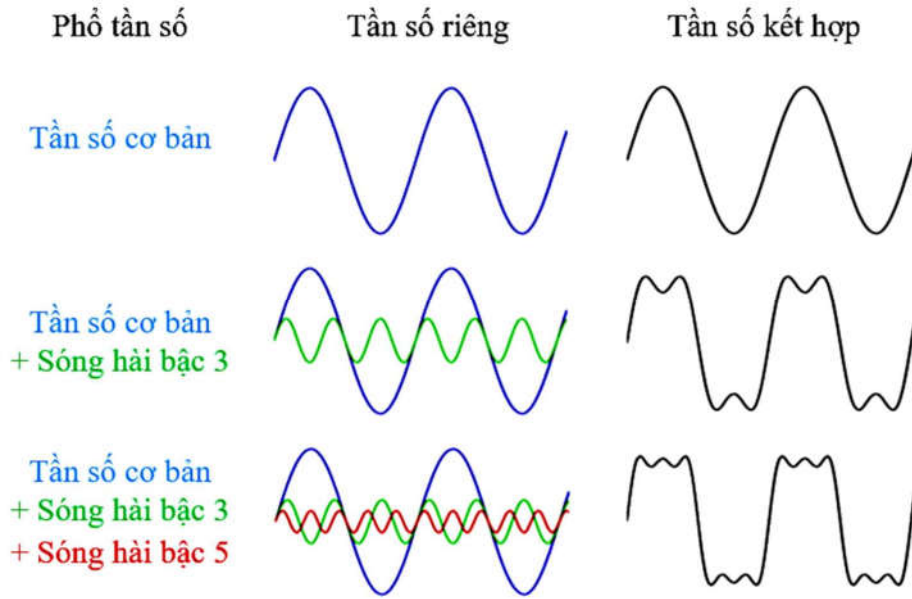


Hình 8. Tải phi tuyến (chỉnh lưu cầu 3 pha) và dạng dòng điện, điện áp đầu vào của chỉnh lưu [3].

1.3. Sóng hài là gì

Để định nghĩa sóng hài là gì, chúng ta cần phân tích Fourier đối với các tín hiệu tuần hoàn: bất kỳ tín hiệu tuần hoàn phức tạp nào cũng có thể thu được khi bổ sung các tín hiệu hình sin thuần túy (pure sinusoidal waves) khác nhau ở các tần số và biên độ khác nhau (bội số của tần số cơ bản). Những bội số của tần số cơ bản này (fundamental

frequency) được gọi là sóng hài (harmonics). Nói cách khác, sóng hài là các tín hiệu hình sin xếp chồng lên tần số cơ bản, được thể hiện chi tiết trong Hình 9.



Hình 9. Sóng hài và sự xếp chồng của sóng hài lên tần số cơ bản.

Mỗi sóng hài sẽ được định nghĩa bởi ba thành phần: Bậc sóng hài (ví dụ: bậc 3 = 150Hz, bậc 5 = 250Hz ...), biên độ sóng hài và góc lệch pha φ_n . Mỗi tín hiệu tuần hoàn được biểu diễn dưới dạng toán học như sau:

$$I(t) = I_0 + \sum_{n=1}^N [A_n \cdot \sin(n \cdot \omega t - \varphi_n)]$$

Với $n = 1$, ta có dạng sóng cơ bản. Bội số của sóng cơ bản này được gọi là sóng hài, ứng với $n = [2 \div \infty]$, I_0 đại diện cho thành phần một chiều DC. Đối với tín hiệu xoay chiều, ta có thể viết:

$$I(t) = I_1(t) + \sum_{n=2}^N I_n(t)$$

Trong đó, $I_1(t)$ là sóng cơ bản của tần số f_1 , $I_n(t)$ là sóng hài ở các tần số tương ứng $f_n = n \cdot f_1$. Đối với các dạng sóng đối xứng, chỉ các sóng hài bậc lẻ mới có thể xuất hiện (bội số 3rd, 5th, 7th,...). Trong khi đó, đối với những sóng dạng không đối xứng thì ngoài sóng hài bậc lẻ còn có các sóng hài bậc chẵn và thành phần DC.

2.4. Độ méo sóng hài tổng (Total harmonic distortion - THD)

Như đã trình bày bên trên, chất lượng điện áp được đánh giá thông qua độ méo sóng hài tổng. THD được định nghĩa là tỷ số giữa giá trị hiệu dụng của tất cả các

sóng hài và giá trị hiệu dụng của sóng cơ bản. Đối với dòng điện, THD được tính toán như sau:

$$THD_i = \sqrt{\sum_{n=2}^N \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N I_n^2}}{I_1}$$

Nếu THD được biểu diễn theo dòng điện hiệu dụng (RMS), ta có:

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^N I_n^2}$$

Do đó:

$$THD_i = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_1}\right)^2 - 1} \qquad I_{rms} = I_1 \sqrt{1 + THD_i^2}$$

Tương tự đối với điện áp, THD được diễn đạt theo công thức:

$$THD_v = \sqrt{\sum_{n=2}^N \left(\frac{U_n}{U_1}\right)^2} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_n^2}}{U_1}$$

Để giảm ảnh hưởng của sóng hài lên hệ thống điện phân phối, thông tư số 30/2019/TT-BCT sửa đổi, bổ sung ngày 18/11/2019 của Bộ Công Thương quy định: Tổng độ biến dạng sóng hài điện áp tại mọi điểm đầu nối trung và hạ áp không được vượt quá giới hạn như Bảng 1. Trong khi đó, tổng biến dạng sóng hài của dòng điện tối đa cho phép đối với nhà máy điện và phụ tải điện được quy định tương ứng như trong Bảng 2 và Bảng 3 [4].

Bảng 1. Độ biến dạng sóng hài điện áp tối đa cho phép.

Cấp điện áp	Tổng biên dạng sóng hài (THD)	Biến dạng riêng lẻ
110 kV	3,0%	1,5%
Trung áp	5%	3,0%
Hạ áp	8%	5%

Bảng 2. Độ biến dạng sóng hài dòng điện tối đa cho phép đối với nhà máy điện.

Cấp điện áp	Tổng biên dạng sóng hài (THD)	Biến dạng riêng lẻ
110 kV	3%	2%
Trung áp, hạ áp	5%	4%

Bảng 3. Biến dạng sóng hài dòng điện tối đa cho phép đối với phụ tải điện.

Cấp điện áp	Tổng biên dạng sóng hài (THD)	Biến dạng riêng lẻ
110 kV	4%	3.5%
Trung áp	8%	7%
Hạ áp	12% nếu phụ tải ≥50 kW 20% nếu phụ tải <50 kW	10% nếu phụ tải ≥50 kW 15% nếu phụ tải <50 kW

2.5. Hệ số công suất (Power factor - PF)

Hệ số công suất $\cos\varphi$ là góc pha giữa điện áp và dòng điện của sóng cơ bản f_1 :

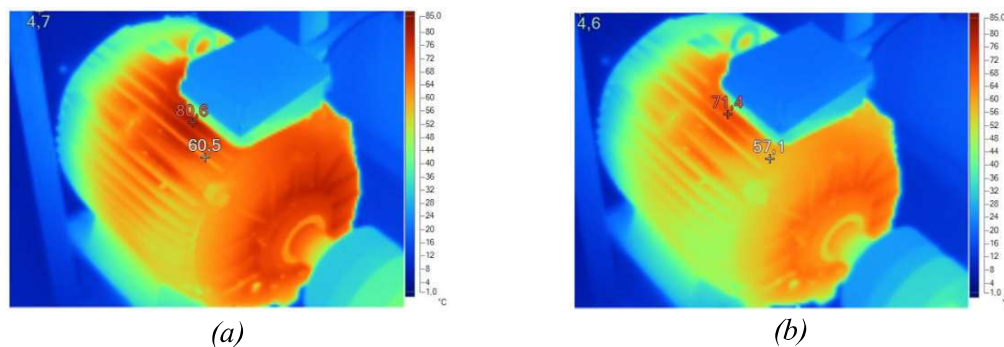
$$PF = \cos\varphi = \frac{P_1}{S_1}$$

Trong đó, P_1 và S_1 tương ứng là công suất tác dụng và công suất biểu kiến. Tuy nhiên, đối với những tải phi tuyến có sự xuất hiện của các sóng hài thì hệ số công suất được tính như sau:

$$PF = \frac{P}{S} \approx \frac{\cos\varphi}{\sqrt{1 + THD_i^2}}$$

3. ẢNH HƯỞNG CỦA SÓNG HÀI

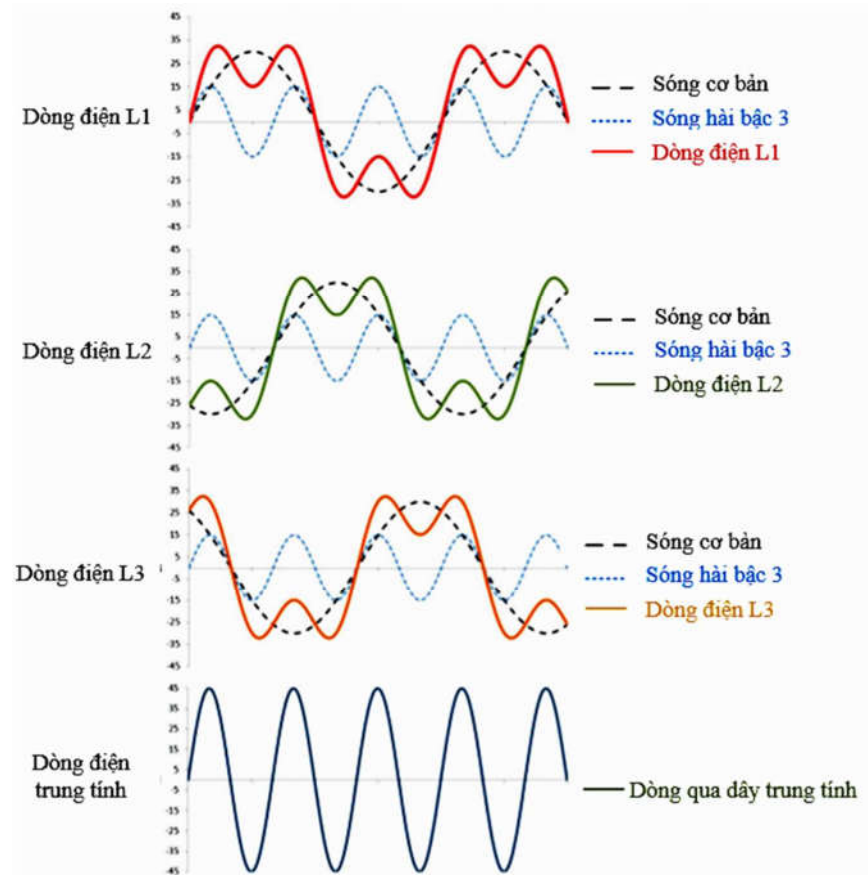
Như trình bày ở công thức phía trên, sóng hài ảnh hưởng trực tiếp đến hệ số công suất của hệ, khi THD càng lớn thì hệ số công suất càng giảm. Ảnh hưởng xấu thứ hai mà sóng hài mang lại là tổn thất công suất trong các thiết bị điện như trong các máy điện (động cơ, máy phát, máy biến áp) và các thiết bị điện tử [5]. Hình 10 thể hiện sự tổn hao công suất của một động cơ 18,5 kW ứng với THD khác nhau. Bên cạnh đó, sóng hài còn gây ra momen của máy điện giảm hoặc momen không ổn định cũng như tuổi thọ của vòng bi suy giảm theo.



Hình 10. So sánh tổn hao công suất của động cơ 18,5 kW ứng với:
(a)- THD = 6,8%; (b)- THD = 1,8%.

Trong hệ thống điện ba pha, sóng hài thứ tự không (zero sequence harmonics - 3rd, 6th, 9th...) chảy tuần hoàn giữa các pha và dây trung tính. Những sóng hài này được cộng trực tiếp vào dây trung tính gây quá tải dây cho trung tính. Trong trường hợp này, để đảm bảo dây trung tính làm việc mà không bị nóng thì phải chọn tiết diện dây lớn hơn

nhiều so với định mức, gây ra tổn kém về chi phí đầu tư. Ví dụ: nếu biên độ của sóng hài bậc ba của dòng điện là 10 A ở mỗi pha của hệ thống bap ha thì dòng điện chảy qua dây trung tính là 30 A (Hình 11) [3].



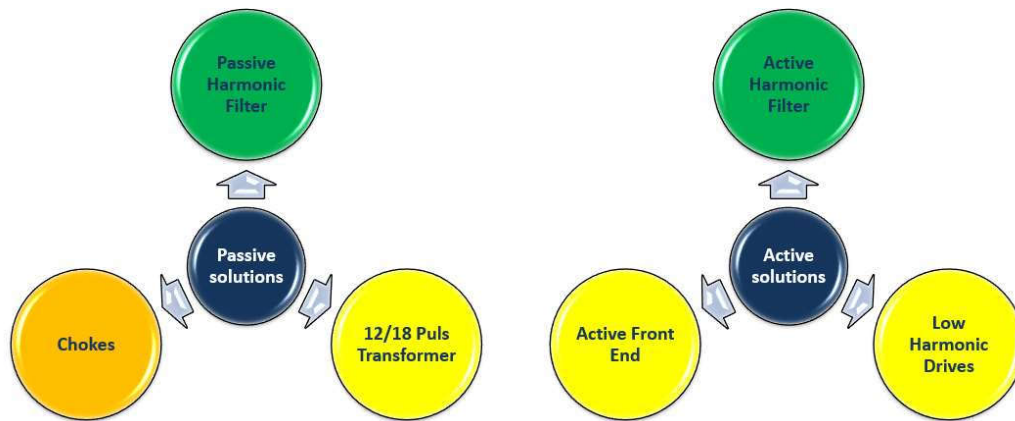
Hình 11. Ảnh hưởng của sóng hài lên dây trung tính.

4. GIẢI PHÁP HẠN CHẾ SÓNG HÀI

Trong phần này, một số giải pháp cơ bản cho lọc sóng hài sẽ được trình bày, từ đơn giản đến phức tạp, từ giải pháp lọc sóng hài thụ động (passive harmonic filter) đến giải pháp lọc sóng hài tích cực (active harmonic filter) (Hình 12) [5].

4.1. Giải pháp dùng cuộn kháng

Đối với lọc sóng hài thụ động, sử dụng cuộn kháng xoay chiều (AC choke) hoặc cuộn kháng một chiều (DC choke) là giải pháp đơn giản nhất để giảm độ méo dòng điện đầu vào cũng như giới hạn dòng điện đỉnh của các bộ biến đổi điện tử công suất. Tuy nhiên phương pháp này gây ra sụt áp trên cuộn kháng và nó chỉ hiệu quả ở một số điểm làm việc nhất định của tải (gần với tải định mức). Giả sử tải biến tần VFD (Variable Frequency Drive) làm việc ở chế độ định mức thì với việc sử dụng cuộn kháng có thể giảm THD_i từ 100% xuống 35%, nhưng với tải chỉ bằng một nửa định mức thì tác dụng của cuộn kháng chỉ giảm THD_i xuống khoảng 50%.



Hình 12. Giải pháp lọc sóng hài.

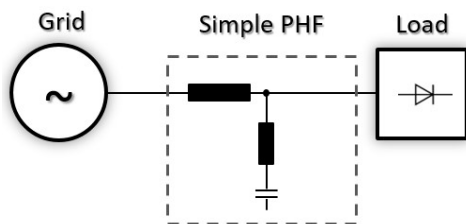
4.2. Giải pháp dùng bộ lọc thụ động

Bộ lọc sóng hài thụ động (passive harmonic filter - PHF) bao gồm mạch LC (**Error! Reference source not found.**) được sử dụng để loại trừ những sóng hài bậc thấp, đặc biệt là bậc 5th, 7th, 11th và 13th. Hoạt động của chúng dựa trên hiện tượng cộng hưởng, xảy ra do sự thay đổi tần số trong cuộn cảm và tụ điện. Tần số cộng hưởng được tính theo công thức:

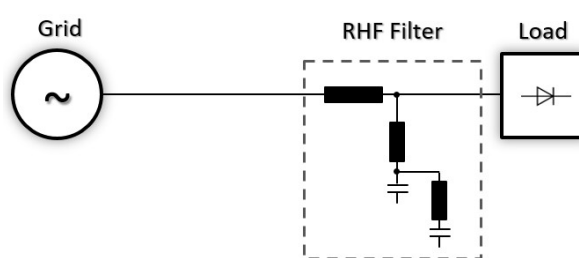
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Trong đó, f_r là tần số cộng hưởng (Hz), L và C lần lượt là điện cảm và tụ điện của bộ lọc.

Bộ lọc sóng hài thụ động thường được kết nối song song với những tải phi tuyến, và được điều chỉnh để cung cấp trở kháng rất thấp đối với tần số hài được giảm thiểu. Trong những ứng dụng thực tế với những sóng hài bậc lớn hơn 13th thì hiệu quả lọc của bộ này không cao. Khi đó, bộ lọc thụ động 2 tầng có thể được sử dụng như **Error! Reference source not found.** cho phép lọc hầu hết các sóng hài gây ra bởi tải phi tuyến [5].



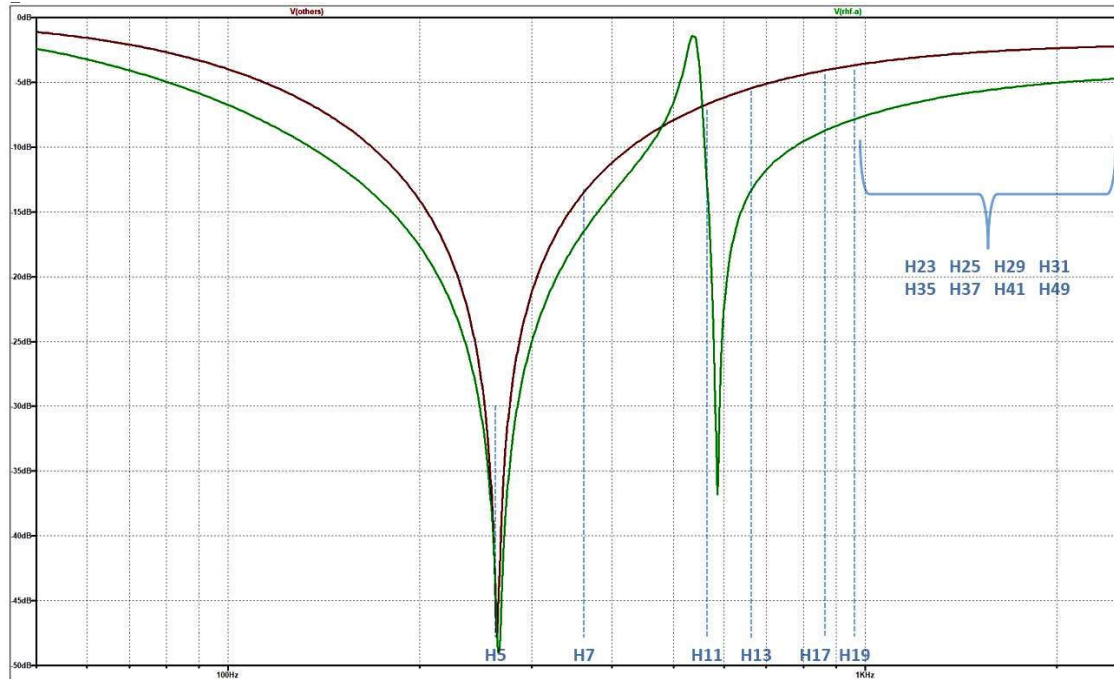
Hình 13. Mạch lọc sóng hài thụ động PHF.



Hình 14. Mạch lọc sóng hài thụ động 2 tầng của hãng Revcon (RHF).

Hiệu quả lọc sóng hài giữa bộ lọc sóng hài thụ động thông thường và bộ lọc sóng hài thụ động 2 tầng của hãng Revcon được trình bày trên Hình 15. Để nhận thấy bộ lọc

sóng hài 2 tầng có hiệu quả lọc tốt hơn khi biên độ sóng hài được giảm nhiều hơn (đường màu xanh lá cây) so với bộ lọc sóng hài thụ động thông thường (được thể hiện trên đường màu đỏ). Tuy nhiên chi phí cho bộ lọc 2 tầng sẽ cao hơn so với trường hợp còn lại.



Hình 15. Kết quả lọc sóng hài giữa hai kiểu bộ lọc thụ động.

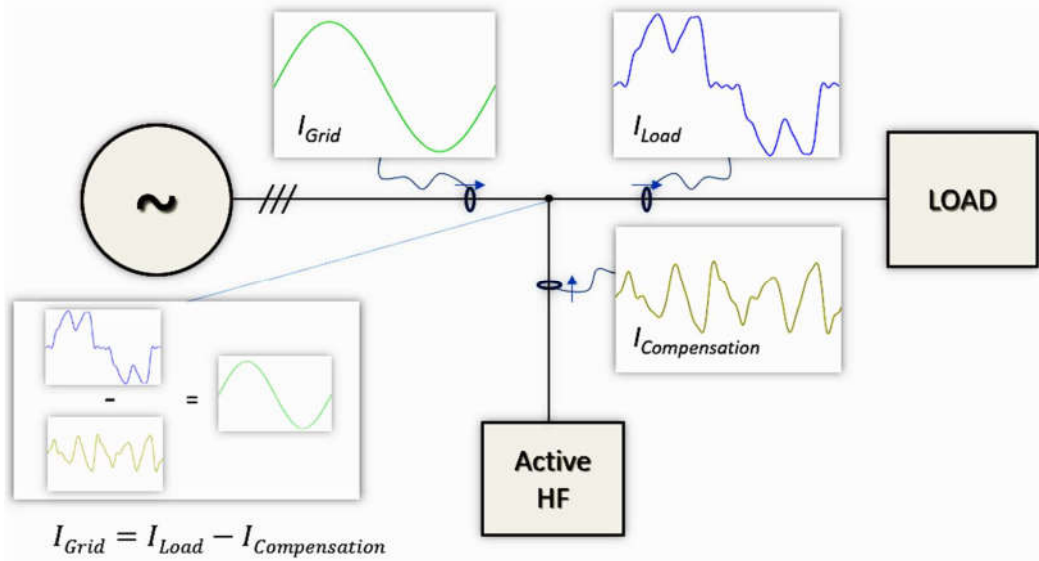
4.3. Giải pháp dùng bộ lọc tích cực

Hiện nay, bộ lọc sóng hài tích cực (active harmonic filter) được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng công nghiệp không những cho lọc sóng hài mà còn cho bù công suất phản kháng. Không giống như bộ lọc thụ động, bộ lọc tích cực không gây ra hiện tượng cộng hưởng lên hệ thống điện. Cấu hình điện của bộ lọc tích cực được thể hiện trên Hình 16 [5]. Tương tự như bộ truyền dẫn xoay chiều PWM, bộ lọc tích cực bao gồm cầu IGBT và DC bus, ở đó DC bus được dùng như bộ lưu trữ năng lượng. Các cấu hình và phương pháp điều khiển khác nhau được trình bày chi tiết trong [6].

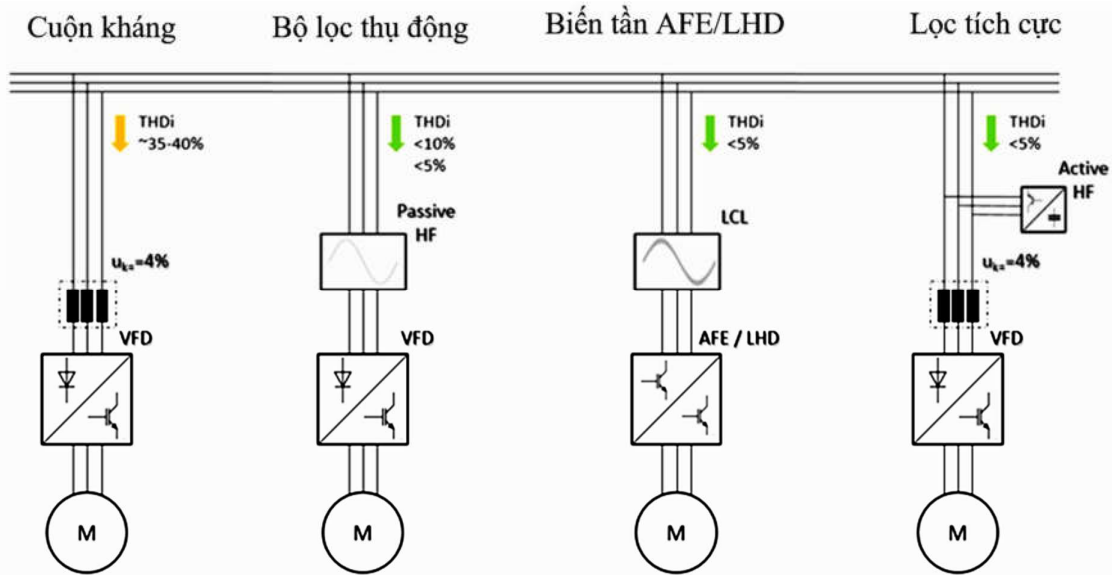
Nguyên tắc làm việc của bộ lọc tích cực như sau: thiết bị sẽ đo dạng sóng của dòng điện biến dạng bằng cách lọc ra dòng điện cơ bản từ dạng sóng của dòng điện tải phi tuyến để cung cấp cho bộ điều khiển với mục đích tạo ra các tín hiệu điều khiển các van IGBT tương ứng. Khi đó, dòng điện bù được tạo ra dùng để bù vào dòng điện tải phi tuyến, kết quả là tạo ra dòng điện sin chuẩn ở đầu vào.

Bộ lọc tích cực là thiết bị phức tạp và đắt tiền. Ngoài ra để đạt được hiệu suất tối ưu thì việc vận hành bộ lọc một cách cẩn thận là rất quan trọng, mặc dù hiện nay các bộ lọc tích cực đều có khả năng tự điều chỉnh. Tuy nhiên, so với bộ lọc thụ động, bộ lọc tích cực mang lại một số ưu điểm như: có thể bù nhiều sóng hài cùng một lúc, bù sóng

hài ở bậc rất cao, tăng hệ số công suất của hệ, và cung cấp sự linh hoạt khi không phụ thuộc vào trở kháng của tải và nguồn.



Hình 16. Cấu hình bộ lọc tích cực.



Hình 17. Hiệu quả của sử dụng các dạng bộ lọc khác nhau.

Tùy theo từng ứng dụng mà sử dụng các dạng bộ lọc sao cho hiệu quả nhất. Hình 17 thể hiện một ví dụ về tính hiệu quả của việc sử dụng các bộ lọc khác nhau đối với tải biến tần - động cơ [5]. Đối với hệ thống có nhiều tải lớn nên sử dụng thuần túy các bộ lọc thụ động. Tuy nhiên, đối với hệ thống gồm nhiều biến tần, bộ truyền dẫn servo cỡ nhỏ thì giải pháp sử dụng bộ lọc tích cực cho kết quả tối ưu. Ngoài ra, những hệ bao gồm cả tải lớn và các bộ biến tần, truyền dẫn cỡ nhỏ thì giải pháp sử dụng kết hợp giữa lọc thụ động và lọc tích cực nên được lựa chọn.

5. KẾT LUẬN

Hiện nay ở Việt Nam, với sự gia tăng nhanh chóng của các phụ tải phi tuyến như các hệ biến tần - động cơ, các vấn đề liên quan tới sóng hài đang trở thành mối quan tâm lớn của các nhà máy, xí nghiệp. Mặc dù hiện nay vẫn chưa có chế tài xử lý vấn đề sóng hài gây ảnh hưởng ngược đến hệ nguồn điện, nhưng việc kiểm soát và giám sát hệ thống điện năng là một nhiệm vụ cần thiết của các hộ tiêu dùng công nghiệp để đảm bảo vấn đề sóng hài không ảnh hưởng đến đơn vị và các phụ tải lân cận. Vì vậy, các công ty, nhà máy cần đánh giá, phân tích độ méo sóng hài ảnh hưởng đến chất lượng điện năng cũng như thiết bị, từ đó đưa ra giải pháp phù hợp trong khi xây dựng hay mở rộng cơ sở sản xuất nhằm nâng cao hiệu quả kinh tế cho doanh nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. T. B. J. F. W. Douglas Andrews, "Harmonic Measurements, Analysis, and Power Factor Correction in a Modern Steel Manufacturing Facility," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vols. VOL. 32, NO. 3, 1996.
- [2]. D. Schwanz, M. Bollen and A. Larsson, "A review of solutions for harmonic mitigation," *17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 2016.
- [3]. R. Pinyol, "Harmonics: Causes, effects and minimization," Salicru White Paper, 2015.
- [4]. B. C. Thuong, "Thông tư 30/2019/TT-BCT sửa đổi, bổ sung một số điều của Thông tư số 25/2016/TT-BCT và Thông tư số 39/2015/TT-BCT," Bộ Công Thương, Hà Nội, 2019.
- [5]. Revcon, "Harmonic Distortion of Drives. Issues and Solutions," in *Webinar*, 2022.
- [6]. K. A.-H. Bhim Singh and A. Chandra, "A Review of Active Filters for Power Quality Improvement," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 46, 1999.