

# ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP THIẾT BỊ BÙ LẠI TRONG LỌC SÓNG HÀI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN PHÂN PHỐI

PROPOSAL OF THE SOLUTION OF HYBRID COMPENSATION DEVICE IN A HARMONIC FILTER IN THE DISTRIBUTION POWER SYSTEM

Lê Việt Cường<sup>1\*</sup>, Nguyễn Tùng Linh<sup>2</sup>,  
Bùi Anh Tuấn<sup>3</sup>, Đinh Ngọc Quang<sup>4</sup>

## TÓM TẮT

Trong hai thập kỷ đầu của thế kỷ XXI, hệ thống điện phân phối trên thế giới nói chung và của Việt Nam nói riêng đã có những thay đổi nhanh chóng, đó là: (i) Ngày càng có nhiều nguồn năng lượng tái tạo; (ii) Giải pháp lưới điện thông minh ứng dụng nhiều thiết bị FACTS; (iii) Phụ tải điện công nghiệp và thiết bị điện gia dụng là phụ tải phi tuyến sử dụng phần tử điện tử công suất có tỷ lệ gia tăng nhanh chóng. Theo đó, cùng với các quy định của pháp luật, các yêu cầu đối với tiêu chuẩn sóng hài trong chất lượng điện năng đã trở thành một vấn đề quan trọng hơn bao giờ hết. Sử dụng những thiết bị lọc sóng hài là giải pháp được áp dụng rộng rãi trong nhiều trường hợp do có nhiều ưu điểm cả về kinh tế và kỹ thuật. Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất phương pháp lọc sóng hài dạng thụ động với tần số cộng hưởng thay đổi theo cấu hình của phụ tải. Thiết bị lọc sóng hài với tần số lọc biến đổi theo phụ tải này vừa đáp ứng hiệu quả lọc sóng hài trong hệ thống điện vừa có giá thành rất cạnh tranh do sử dụng ít cuộn kháng hơn.

**Từ khóa:** Sóng hài, THD, Thyristor, lọc sóng hài thụ động, tần số biến đổi.

## ABSTRACT

In the early two decades of the 21<sup>st</sup> century, the distribution power system in the world in general and of Vietnam in particular has had rapid changes, namely: (i) Emerging power system consisting of renewable energy sources; (ii) Smart grid solutions comprising of FACTS devices; (iii) Rapidly increasing percentage of industrial loads and household appliances are non-linear power electronic based equipments. Accordingly, along with the provisions of law, the requirements for harmonics standards in power quality have become a vital issue than ever before. Filtering approaches is the solution that is widely employed due to its advantages in economic and technical aspects. In this paper, the authors propose a method of passive filtering for harmonics with variable resonance frequency based on the load configuration. This harmonic filter with variable frequency based on the load both meets the efficiency of filtering harmonics in the power system and has a very competitive price because of fewer reactors design.

**Keywords:** Harmonics, THD, Thyristor, Passive filter for harmonics, Variable frequency.

<sup>1</sup>Vụ Khoa học và Công nghệ, Bộ Công Thương

<sup>2</sup>Trường Đại học Điện lực

<sup>3</sup>Trường Đại học Công nghiệp Dệt May Hà Nội

<sup>4</sup>Công ty Cổ phần Innovative Grid Solutions Vietnam

\*Email:cuonglv@moit.gov.vn

Ngày nhận bài: 20/02/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/4/2020

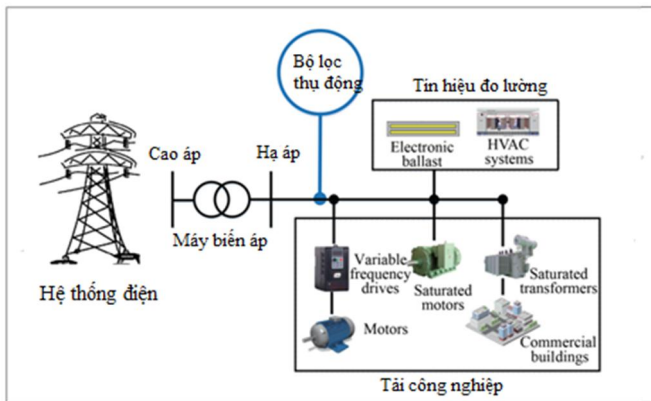
Ngày chấp nhận đăng: 24/4/2020

## 1. GIỚI THIỆU

Theo thống kê dự báo, lượng điện năng dự kiến đóng góp vào khoảng 60% tổng mức tiêu thụ năng lượng của thế giới vào năm 2040 [1]. Sự phát triển mạnh mẽ của các thiết bị điện công nghiệp làm gia tăng công suất tiêu thụ của nhóm thiết bị này, đặc điểm của nhóm thiết bị công nghiệp này là các tải có tính chất phi tuyến. Việc sử dụng các loại thiết bị điện tử kể trên sẽ giúp tiết kiệm điện năng cho các hộ tiêu thụ điện nhưng ngược lại nó gây ra các tác động tiêu cực trong hệ thống điện do gây ra hiện tượng méo dạng sóng (sóng hài bậc cao) của điện áp và dòng điện [2, 3]. Các tác động chủ yếu của sóng hài gây ra trong hệ thống điện là: gây tổn thất công suất tác dụng phụ, gây cộng hưởng làm hư hỏng các thiết bị điện, gây quá điện áp, quá tải dòng điện và gây ra các sai sót trong các thiết bị đo lường, điều khiển. Lượng tổn thất trên các đường dây truyền tải, phân phối và máy biến áp là rất lớn [4]. Chính vì vậy để hạn chế những ảnh hưởng tiêu cực của các hiện tượng méo dạng sóng, các tiêu chuẩn quốc tế và quốc gia đều có những yêu cầu về hạn chế sóng hài của những thiết bị điện.

Tổng độ méo sóng hài (THD) của tín hiệu là sự biến dạng sóng hài hiện tại và là được định nghĩa bằng tổng của tất cả các thành phần hài của dạng sóng hiện tại so với cơ bản thành phần của dạng sóng hiện tại [5]. Các tiêu chuẩn của IEC-519 khuyến nghị cho điều khiển sóng hài trong hệ thống điện thì THD của nguồn dòng nên thấp hơn 5% [6]. Tiêu chuẩn cũng có các yêu cầu nghiêm ngặt trên các thành phần sóng hài đơn lẻ. Cấu trúc cơ bản của một bộ SAF là để bù cho hài bậc cao hơn dòng điện và nhu cầu công suất phản kháng của tải thông qua một điện áp công suất dựa trên điện áp điều khiển hiện tại biến tần nguồn (CCVSI), sau đây gọi là điện biến tần. Vì vậy, nguồn chỉ cần cung cấp

thành phần cơ bản của dòng tải [7]. Các cấu trúc điều khiển của SAF có hai vòng điều khiển như hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của bộ lọc sóng hài kết nối với tải phi tuyến trong hệ thống điện hạ áp

Trong đó: 1) vòng ngoài ước tính dòng điện mà biến tần cần tiêu/hấp thụ để bù sóng hài công suất phản kháng và 2) một vòng lặp bên trong chịu trách nhiệm theo dõi dòng tham chiếu được tạo ra. Dòng điện bên ngoài vòng lặp thường được thực hiện bằng cách sử dụng tức thời lý thuyết công suất phản kháng [8] hoặc khung tham chiếu đồng bộ lý thuyết [9]. Theo truyền thống, vòng điều khiển hiện tại là truyền thống thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp kiểm soát dựa trên khâu điều khiển tích phân tỷ lệ (PI). Tuy nhiên đáp ứng điều khiển của bộ điều khiển PI là không đầy đủ vì băng thông hạn chế của bộ điều khiển. Do đó, SAF có thể không cung cấp hiệu suất cần thiết khi tải có mức độ phi tuyến tính cao [10]. Về mặt lý thuyết, hiện có 4 phương pháp chính để giảm sóng hài trong hệ thống điện bao gồm:

Trong 4 phương pháp nêu trên, phương pháp sử dụng các thiết bị lọc sóng hài là phương án mang lại hiệu quả cao nhất và dễ thực hiện nhất. Do đó đây chính là phương án phổ biến nhất trong việc lọc sóng hài. Thiết bị lọc sóng hài trên thị trường thường có hai loại chính là: thiết bị lọc thụ động và thiết bị lọc chủ động

Thiết bị lọc thụ động có nhiều ưu điểm như: tổn thất công suất tác dụng nhỏ, đơn giản dễ lắp đặt, giá thành rẻ nên được sử dụng rộng rãi trong hệ thống điện. Thiết bị này có nhược điểm chính là mỗi bộ lọc chỉ lọc được một sóng hài duy nhất, trong một số trường hợp khi trong phổ sóng hài có nhiều loại hài khác nhau, ta cần phải đặt rất nhiều bộ lọc chiếm nhiều diện tích và làm tăng giá thành.

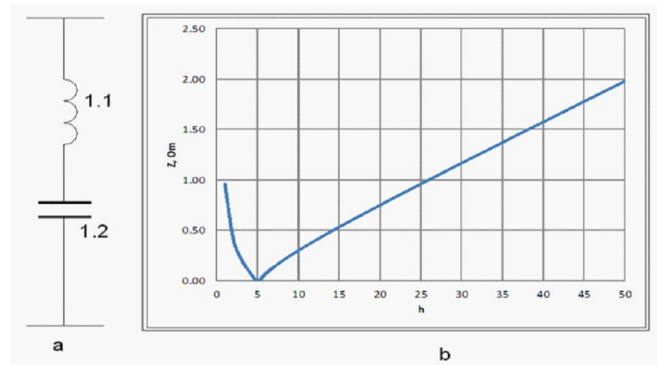
Loại thiết bị thứ hai là lọc chủ động, ưu điểm chính của thiết bị này là có thể làm giảm một lượng lớn sóng hài gây ra nên với những trường hợp phổ sóng hài phức tạp, người ta hay dùng thiết bị chủ động, nhược điểm chính của thiết bị này là yêu cầu về độ chính xác của phần đo lường, thuật toán điều khiển có tốc độ rất cao, phức tạp dẫn tới giá thành của thiết bị cao. Do sử dụng thiết bị phát sóng nên tổn thất công suất tác dụng lớn.

Dựa trên nguyên lý của bộ lọc sóng hài với tần số thay đổi và ưu nhược điểm của các loại thiết bị lọc, trong bài báo

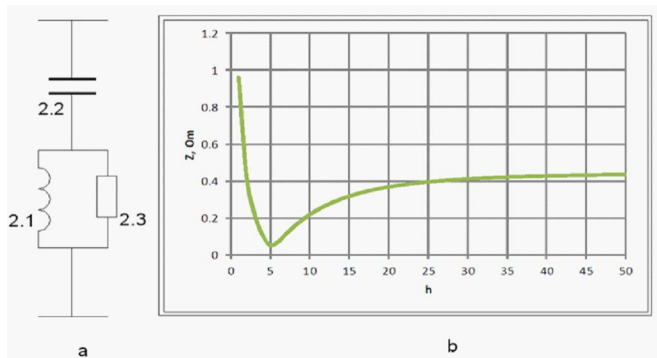
này nhóm tác giả đề xuất phương pháp lọc sóng hài dạng thụ động với tần số cộng hưởng thay đổi theo yêu cầu của phụ tải qua đó nâng cao hiệu suất lọc sóng hài trong hệ thống điện. Ngoài ra thiết bị lọc sóng hài với tần số lọc biến đổi theo phụ tải sẽ làm giảm giá thành sản phẩm vì chỉ cần bố trí ít bộ lọc hơn. Tuy nhiên, các thuật toán điều khiển thiết bị này cũng đòi hỏi phức tạp hơn. Bài báo gồm năm phần, phần 1 giới thiệu chung, phần 2 nhóm tác giả trình bày về mô hình bài toán, phần 3 đề xuất phương pháp và thiết kế bộ lọc sóng hài bù lại, phần 4 mô phỏng và đánh giá kết quả, phần 5 trình bày kết luận về nghiên cứu.

## 2. BÀI TOÁN LỌC SÓNG HÀI VỚI TẦN SỐ BIẾN ĐỔI

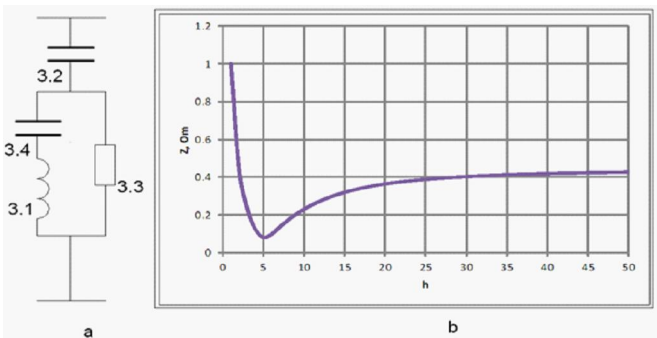
Hiện nay trên thị trường các thiết bị lọc sóng hài thụ động có phạm vi ứng dụng rộng rãi hơn so với những thiết bị chủ động do có cấu tạo đơn giản, giá thành hạ và gây tổn thất nhỏ, có hai loại chính là: thiết bị lọc dạng đơn, dạng lọc thông cao bậc 2 và kiểu tụ (hình 2).



Thiết bị lọc sóng hài dạng đơn (a) và đặc tính tần số của thiết bị (b)



Thiết bị lọc sóng hài dạng thông cao bậc 2 (a) và đặc tính tần số của thiết bị (b)



Thiết bị lọc sóng hài dạng tụ C (a) và đặc tính tần số của thiết bị (b)

Hình 2. Các loại thiết bị lọc sóng hài thông dụng

Thiết bị lọc dạng đơn (single tune filter) cấu tạo từ các phần tử thụ động là cuộn kháng (1.1) và tụ điện mắc nối tiếp (1.2). Đặc tính tần số của thiết bị này, có thể thấy thiết bị lọc dạng đơn chỉ có hiệu quả với một loại sóng hài duy nhất tại tần số cộng hưởng. Với các tần số sóng hài khác, thiết bị này chỉ có tác dụng rất nhỏ. Tuy nhiên, thiết bị này được sử dụng rộng rãi vì đơn giản rẻ tiền và gần như không gây tổn thất trên thiết bị.

Thiết bị lọc thông cao bậc 2 (second order damped filter) gồm cuộn kháng 2.1 mắc song song với điện trở 2.3 và mắc nối tiếp với tụ điện 2.2. Đặc tính tần số của thiết bị cho trong hình 2. Với đặc tính tần số như trên, thiết bị này ngoài hiệu quả cao với sóng hài ở tần số cộng hưởng, còn có tác dụng với những sóng hài ở tần số cao (trên 20). Do tác dụng khá tốt với những tần số cao, và giá thành tăng không quá cao so với thiết bị lọc đơn, thiết bị này cũng được dùng khá phổ biến. Tuy nhiên, thiết bị này có nhược điểm là gây ra tổn thất công suất tác dụng cao hơn rất nhiều so với thiết bị lọc đơn do sự xuất hiện của điện trở 2.3

Thiết bị lọc kiểu tụ (C-type filter) gồm cuộn kháng 3.1 nối tiếp với tụ điện 3.4 sau đó mắc song song với điện trở 3.3 rồi nối tiếp với tụ điện thứ hai 3.2. Đặc tính tần số của thiết bị này cho trong hình 1. Với đặc tính tần số như trên, thiết bị này cũng giống thiết bị lọc thông cao, ngoài tác dụng lọc ở tần số cộng hưởng còn có tác dụng lọc sóng hài bậc cao. Tuy nhiên, khác với thiết bị lọc thông cao thông thường, ở tần số cơ bản (50Hz) thiết bị này không gây tổn thất do điện trở tương đương của nhánh có tụ 2.4 và điện kháng 2.1 bằng không. Lúc này điện trở tương đương của toàn bộ thiết bị chính là điện kháng của tụ điện 2.2. Do tổn thất nhỏ (nhưng giá thành cao hơn nhiều so với thiết bị lọc thông cao) nên thiết bị này chưa phổ biến rộng rãi.

Có thể thấy rằng, với tất cả các loại thiết bị lọc thụ động hiện có, chưa có loại nào có thể điều chỉnh được tần số cộng hưởng. Trên thực tế, biên độ và tỷ lệ của sóng hài phụ thuộc rất lớn vào việc điều khiển công suất của phụ tải. ví dụ xét trường hợp của thiết bị chỉnh lưu 6 cực.

Bảng 1. Sóng hài của thiết bị chỉnh lưu 6 cực có điều khiển trên thực tế

Alpha (α°)	0	15	30	45	60	90	110	130
THD (%)	23,0	193,5	12,4	63,2	40,0	26,1	25,2	138,9
I3/I1 (A)	0,03	0,43	7,09	58,52	35,94	0,02	0,03	1,18
I5/I1 (A)	18,89	125,69	6,15	12,34	0,18	21,2	20,23	83,9
I6/I1 (A)	0,11	0,84	4,34	0,07	14,82	0,11	0,12	0,74
I7/I1 (A)	11,69	105,48	4,99	16,42	0,15	12,57	12,72	81,5
I9/I1 (A)	0,02	0,66	3,77	9,52	9,52	0,04	0,03	1,15
I11/I1 (A)	5,95	102,48	2,58	7,65	0,17	8,7	7,88	74,8

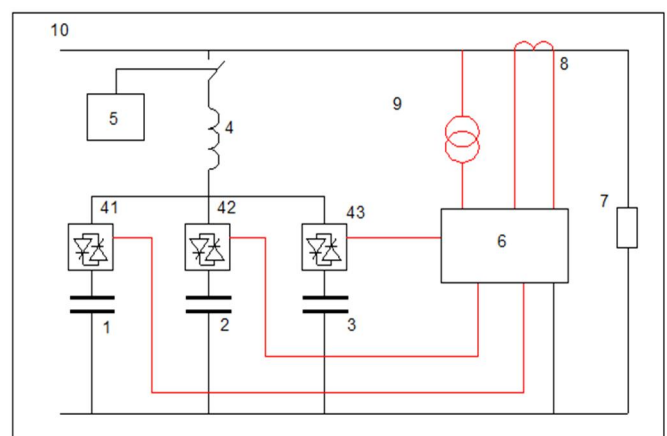
Trong trường hợp này, sóng hài thay đổi rất phức tạp theo góc mở của thyristor. Để sử dụng bộ lọc sóng hài dạng thụ động, ta cần đặt thiết bị lọc ở tần số 3, 5, 6, 7, 9 và 11. Tuy nhiên, có thể nhận thấy là việc đặt nhiều bộ lọc sóng hài có thể không mang lại hiệu quả cao vì tại những thời điểm khác nhau thì chỉ có 2 hoặc 3 sóng hài có biên độ lớn (những sóng

hài còn lại có biên độ rất nhỏ so với tần số cơ bản). Nếu ta đặt bộ lọc ở cả 6 sóng hài thì giá thành thiết bị sẽ tăng rất cao. Ngoài ra, khi tính toán với những sóng hài bậc cao nhất, các thiết bị lọc tần số thấp sẽ còn gây ra thêm sóng hài lên bộ lọc tần số cao hơn và dễ gây quá tải cho thiết bị này, làm giảm khả năng lọc sóng hài của thiết bị.

Như vậy, có thể thấy với những thiết bị điện tử có điều khiển công suất tác dụng, phổ của sóng hài thay đổi rất phức tạp cả về biên độ cũng như tần số. Chính vì vậy, để lọc sóng hài đảm bảo tiêu chuẩn, nếu sử dụng các thiết bị lọc sóng hài truyền thống, (chỉ lọc hiệu quả với một tần số lọc duy nhất) thì ta cần sử dụng rất nhiều bộ lọc với tần số cộng hưởng khác nhau. Việc bố trí nhiều bộ lọc sẽ khiến cho giá thành thiết bị tăng cao, làm giảm tính kinh tế của các thiết bị. Ngoài ra, do các thiết bị lọc thụ động đều có khả năng bù công suất phản kháng nên tổng công suất của thiết bị này bị giới hạn bởi công suất bù lớn nhất. Việc bố trí nhiều bộ lọc sẽ khiến công suất của từng bộ lọc giảm đi, dẫn tới việc giảm khả năng lọc sóng hài của từng bộ lọc. Do đó, nếu thiết kế được một bộ lọc sóng hài với tần số biến đổi sẽ giúp giảm giá thành sản phẩm, đồng thời nâng cao hiệu quả của việc lọc sóng hài của các phụ tải phi tuyến vì số lượng bộ lọc sẽ giảm đi và công suất mỗi bộ lọc tăng lên.

### 3. PHƯƠNG PHÁP ĐỀ XUẤT LỌC SÓNG HÀI VỚI TẦN SỐ BIẾN ĐỔI

Mục đích của phương pháp là xây dựng thiết bị lọc sóng hài dạng thụ động với tần số cộng hưởng thay đổi theo yêu cầu của phụ tải qua đó nâng cao hiệu suất lọc sóng hài trong hệ thống điện. Ngoài ra thiết bị lọc sóng hài với tần số lọc biến đổi theo phụ tải sẽ làm giảm giá thành sản phẩm vì chỉ cần bố trí ít cuộn kháng hơn [13]. Các phần tử chính của thiết bị lọc với tần số biến đổi được thể hiện trên hình 3.



Hình 3. Thiết bị lọc sóng hài thụ động với tần số biến đổi

Thiết bị 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 sử dụng các thuật toán điều khiển 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 hỏng tụ điện.

Thiết bị lọc với tần số biến đổi trong hình 4 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 gồm hai thyristo song song ngược chiều 41, 42, 43 nhằm thực hiện chức năng điều khiển thay đổi tần số cộng hưởng của thiết bị.

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

$$v_1 = \sqrt{\frac{X_{C1}}{X_L}} \tag{1}$$

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

$$X_{Ctd2} = \frac{1}{\frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}}}$$

khi đó tần số cộng hưởng của thiết bị lọc biến đổi sẽ là:

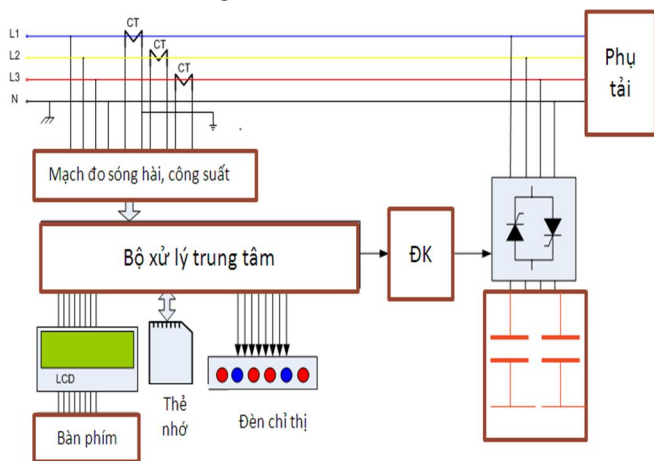
$$v_2 = \sqrt{\frac{X_{Ctd2}}{X_L}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{\frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}}}}{X_L}} \tag{2}$$

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

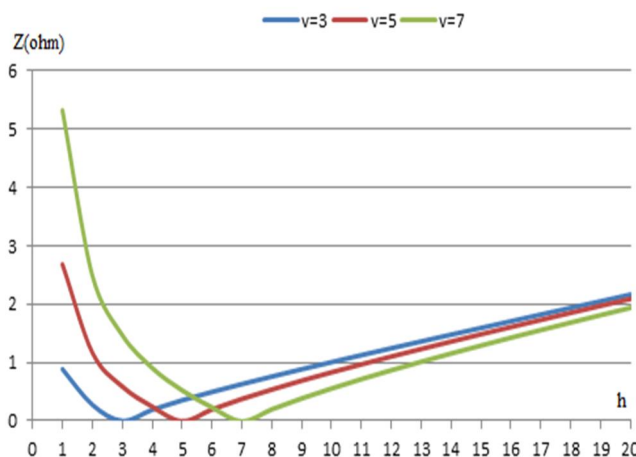
$$v_3 = \sqrt{\frac{X_{Ctd3}}{X_L}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{\frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}} + \frac{1}{X_{C3}}}}{X_L}} \tag{3}$$

Tần số cộng hưởng trị số của các giá trị  $X_{C1}$ ,  $X_{C2}$ ,  $X_{C3}$  và  $X_L$  sẽ được lựa chọn sao cho phù hợp với biên độ sóng hài do phụ tải gây ra khi thay đổi công suất. Ví dụ: nếu ta cần thay đổi tần số cộng hưởng của thiết bị tại sóng hài bậc 3, 5, 7 ta sẽ chọn  $v_1 = 7$ ,  $v_2 = 5$ ,  $v_3 = 3$ .

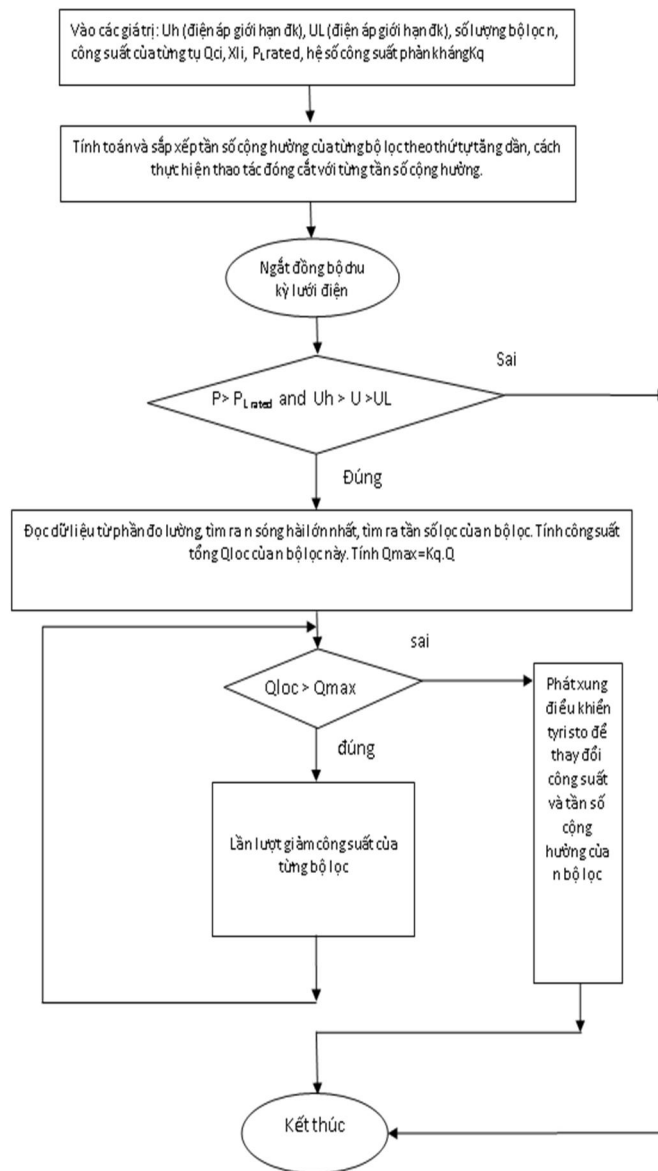
Sơ đồ khối nguyên lý bộ điều khiển thiết bị bù lọc với tần số biến đổi trong hình 4 [13].



Hình 4. Sơ đồ khối của bộ điều khiển thiết bị lọc sóng hài thụ động với tần số biến đổi [13]



Hình 5. Đặc tính tần số của thiết bị lọc sóng hài thụ động với tần số biến đổi. Quá trình điều khiển thiết bị bù lai được thực hiện như trong hình 6.



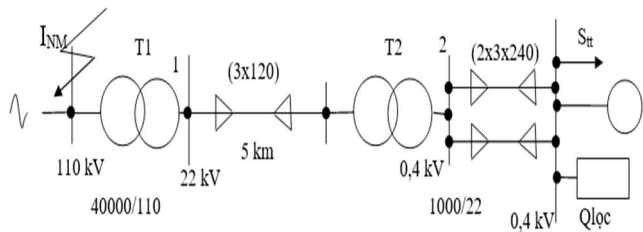
Hình 6. Thuật toán điều khiển của thiết bị lọc thụ động với tần số biến đổi [13]

Trong khoảng thời gian nhất định, tiến hành so sánh các giá trị công suất phụ tải và điện áp điều khiển. Nếu không thỏa mãn thì kết thúc quá trình và tách thiết bị ra khỏi lưới điện (tránh hỏng hóc). Nếu thỏa mãn điều kiện điều khiển (công suất tải lớn hơn ngưỡng, điện áp trong dải cho phép) thì tiến hành tính toán, phân tích phổ sóng hài. Từ đây tìm ra một (hoặc một số sóng hài) có biên độ lớn nhất, đưa ra quyết định lựa chọn tần số lọc tối ưu và ra lệnh điều khiển đóng hoặc cắt thêm tụ điện nếu tổng công suất bù không vượt quá lượng công suất bù lớn nhất. Nếu tổng công suất bù vượt quá công suất bù max thì sẽ giảm lượng công suất bù của các thiết bị lọc bằng cách tách bớt tụ điện ra khỏi lưới (thay đổi tần số lọc) của từng bộ lọc. Do thiết bị lọc với tần số biến đổi là thiết bị thay đổi tần số lọc theo yêu cầu của phụ tải nên thiết bị này cần có bộ điều khiển với các thuật toán có khả năng phân tích sóng hài và tính toán để lựa chọn đóng cắt tụ điện (các thiết bị lọc thụ động hiện có không có thiết bị điều khiển). Do đó nó cũng phức tạp hơn so với những thiết bị lọc thụ động hiện có.

**4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM**

Kết quả nghiên cứu được mô phỏng trên phần mềm Matlab Simulink 2014 trên cấu hình máy tính Dell Core i7 - 4Gb Ram và được thực hiện cho sơ đồ lưới điện như trong hình 7.

Xem xét một thiết bị chỉnh lưu công suất 200kVA (phụ tải phi tuyến) tại một nhà máy có tổng công suất phụ tải là 800kVA (600kVA còn lại là phụ tải tuyến tính như hình 7) [13].



Hình 7. Sơ đồ nguyên lý của nhà máy có lắp đặt điều khiển lọc sóng hài

Bảng 2. Công suất và sóng hài làm việc của bộ chỉnh lưu công suất

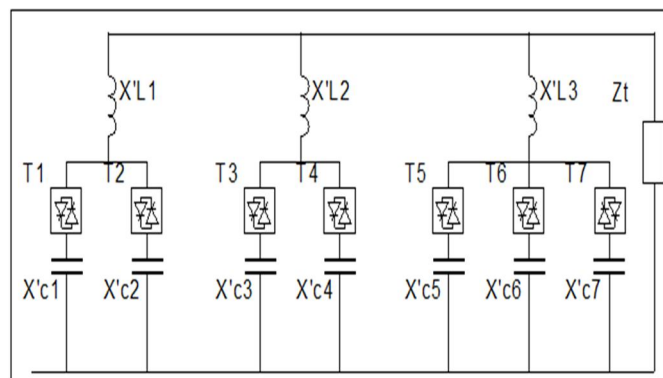
Góc mở (α°)	Giờ làm việc T	P kW	Q kVAr	S kVA	I2 (A)	I4 (A)	I5 (A)	I7 (A)	I8 (A)	I10 (A)	I11 (A)	I13 (A)	I14 (A)
0	3	160	120	200	0,0	0,0	57,7	41,2	0,0	0,0	26,2	22,2	0,0
15	3	159	120	199	37,4	36,1	45,8	25,1	31,3	27,9	3,4	2,9	19,9
30	3	155	117	194	72,2	62,5	14,9	10,7	31,3	14,4	25,3	21,4	10,3
45	3	145	109	182	102,1	72,2	22,1	38,1	0,0	20,4	10,0	8,5	14,6
60	3	129	97	161	125,0	62,5	50,0	35,7	31,3	25,0	22,7	19,2	17,9
90	3	80	60	100	144,3	0,0	40,8	29,2	0,0	28,9	18,6	15,7	20,6
110	3	46	34	57	125,0	62,5	28,9	20,6	31,3	25,0	13,1	11,1	17,9
130	3	19	15	24	110,6	71,1	47,3	3,6	12,3	27,1	26,1	12,7	3,6

Thiết bị chỉnh lưu này thay đổi công suất rất phức tạp theo từng giờ. Bộ chỉnh lưu dạng cầu 3 pha, điều khiển một

nửa chu kỳ. Lượng sóng hài chủ yếu gây ra là sóng hài bậc 2, 4, 5, 7, 8 và 10. Tình hình thay đổi công suất và sóng hài của thiết bị như trong bảng 2.

Có thể thấy lượng sóng hài của bộ chỉnh lưu thay đổi rất phức tạp theo công suất (góc mở điều khiển). Ở công suất định mức 200kVA, chỉ có sóng hài bậc 5 và bậc 7 là đáng kể trong khi ở 90 độ, sóng hài bậc 2, bậc 5 là lớn nhất nhưng ở 45 độ thì sóng hài bậc 2 và 4 là lớn nhất. Với lượng sóng hài bậc 2, 4, 5, 7, 8 rất lớn thì thiết bị này đòi hỏi phải đặt các bộ lọc sóng hài.

Đối với công suất của tải và bậc của sóng hài sinh ra đối với sơ đồ trên sử dụng 3 bộ lọc sóng hài với tần số biến đổi. Bộ thứ nhất có tần số lọc là 2, 5. Bộ thứ 2 có tần số lọc là 4, 5 và 7. Bộ thứ 3 có tần số lọc là 5, 7, 8 như trong hình 8.



Hình 8. Sơ đồ tính toán của thiết bị lọc thụ động với tần số biến đổi có điều khiển

Kết quả tính toán các thông số của bộ lọc thứ nhất cho trong bảng 3, 4, 5.

Hiệu quả của từng phương pháp sẽ được tính toán dựa trên tổn thất điện năng do: công suất phản kháng của thiết bị lọc sinh ra, tổn thất trong thiết bị lọc, tổn thất do sóng hài chạy vào hệ thống điện. Tổn thất điện năng do công suất phản kháng của thiết bị lọc sinh ra được tính theo công thức:

$$\Delta A_{pk} = \frac{(Q - Q_{loc})^2}{U_{dm}^2} \cdot \frac{R_{td} \cdot T}{1000} \text{ kWh} \quad (4)$$

Tổn thất điện năng trong thiết bị lọc được tính theo công thức:

$$\Delta A_{loc} = \sum_{i=1}^8 Q_{loc} \cdot K \cdot T \text{ kWh} \quad (5)$$

Tổn thất điện năng do sóng hài gây ra trong hệ thống điện được tính theo công thức:

$$\Delta A_h = \sum_{h=2}^{14} I^2(h) \cdot R_{td} \cdot \sqrt{h} \cdot T \quad (6)$$

trong đó,  $\sqrt{h}$  là hệ số tăng điện trở theo tần số do hiệu ứng bề mặt (skin effect).

Bảng 3. Thông số của bộ lọc thứ nhất

TT	Tụ	Công suất (kVar)	$X_c (\Omega)$	$X_L (\Omega)$	Tần số cộng hưởng
1	Xc1	22,4	7,1429	0,143	5,00
2	Xc2	117,6	1,3605		2,18
3	Xc1 + Xc2	140,0	1,1429		2,00

Bảng 4. Thông số của bộ lọc thứ hai

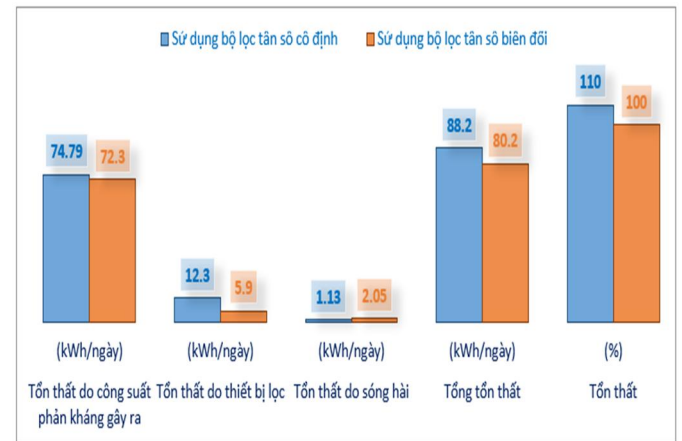
TT	Tụ	Công suất (kVar)	$X_c (\Omega)$	$X_L (\Omega)$	Tần số cộng hưởng
1	Xc3	46,3	3,4581	0,143	4,92
2	Xc4	23,7	6,7422		6,87
3	Xc3 + Xc4	70,0	2,2857		4,00

Bảng 5. Thông số của bộ lọc thứ ba

TT	Tụ	Công suất (kVar)	$X_c (\Omega)$	$X_L (\Omega)$	Tần số cộng hưởng
1	Xc5	30,6	5,2267	0,107	7,00
2	Xc6	23,4	6,8267		8,00
3	Xc7	6,0	26,8896		15,88
4	Xc5 + Xc6	54,0	2,9602		5,27
5	Xc5 + Xc7	36,6	4,3761		6,41
6	Xc6 + Xc7	29,4	5,4444		7,14
7	Xc5 + Xc6 + Xc7	60,0	2,6667		5,00

Trong hình 9 cho thấy chất lượng điện áp đầu ra của bộ lọc sóng hài bậc 3 bậc 7 có điện áp sin hơn và không nhấp nhô.

Kết quả tính toán của khi sử dụng các thiết bị được so sánh trong hình 10.



Hình 10. Kết quả so sánh giữa bộ lọc tần số cố định và tần số biến đổi

Kết quả tính toán cho thấy, việc sử dụng thiết bị lọc với tần số biến đổi sẽ làm giảm tổn thất khoảng 10% so với thiết bị lọc với tần số cố định. Ngoài ra, do sử dụng ít cuộn kháng hơn, giá thành thiết bị lọc với tần số biến đổi sẽ giảm so với thiết bị lọc với tần số cố định.

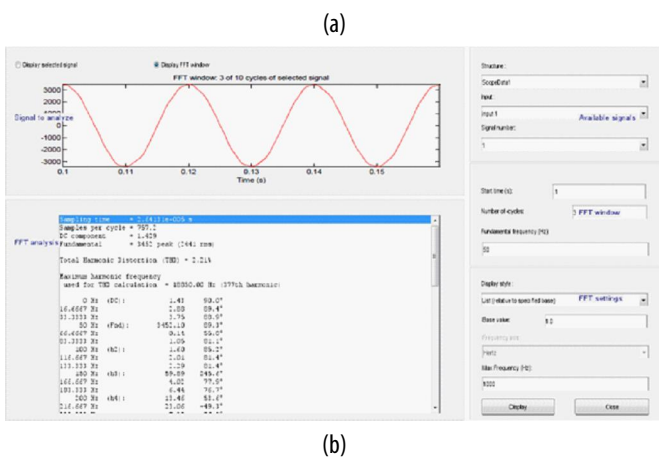
5. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu này, nhóm tác giả đã đề xuất phương pháp lọc sóng hài qua việc tính toán dung lượng tụ bù tương ứng dựa trên thuật toán điều khiển tung ứng việc góc mở của Thyristor sao cho phù hợp với dung lượng tụ bù mong muốn, để giảm tối đa sóng hài gây ra trên lưới điện phân phối hạ áp. Với một thuật toán điều khiển riêng biệt, việc điều chỉnh trơ công suất phản kháng của thiết bị bù lại có thể được thực hiện bằng cách lần lượt đóng mở từng tụ điện kết hợp với điều chỉnh góc mở  $\alpha$  của của cuộn kháng L. Tuy thuật toán điều khiển có phức tạp hơn nhưng vẫn sẽ giúp chúng ta giảm công suất của điện kháng L xuống rất thấp dẫn tới giảm chi phí giá thành của thiết bị đồng thời cũng làm giảm tổn thất công suất tác dụng của thiết bị bù và sóng hài do quá trình điều chỉnh trơ công suất phản kháng gây ra. Như vậy, các thuật toán điều khiển có khả năng phân tích sóng hài và tính toán để lựa chọn thời điểm đóng cắt tụ điện có ý nghĩa quyết định đến hiệu quả của phương pháp này.

Kết quả nghiên cứu được kiểm tra trên một sơ đồ lưới thực tế, kết quả cho thấy, lượng sóng hài bậc cao giảm đáng kể, tổn thất công suất của phương pháp đề xuất giảm 10% so với việc sử dụng bộ điều khiển lọc tần số cố định.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. ECPE European Center for Power Electronics, 2007. *EPE European Power Electronics and Drives Association, Position paper on energy efficiency the role of power electronics.* in European Workshop on Energy Efficiency the Role of Power Electronics.



Hình 9. (a) trường hợp không có bộ lọc sóng hài (b) trường hợp có bộ lọc sóng hài, lọc sóng hài bậc 3, bậc 7

- [2]. D. O. Abdeslam, P. Wira, J. Merckle, D. Flieller, and Y. A. Chapuis, 2007. *A unified artificial neural network architecture for active power filters*. IEEE Trans. Industr. Electron., vol. 54, no. 1, pp. 61-76.
- [3]. F. S. dos Reis, J. Ale, F. D. Adegas, R. Tonkoski, S. Slan, and K. Tan, 2006. *Active shunt filter for harmonic mitigation in wind turbines generators*. in Proc. 37th IEEE Power Electronics Specialists Conf., Jeju, Korea, pp. 1-6.
- [4]. L. Asiminoael, F. Blaabjerg, and S. Hansen, 2007. *Detection is key-harmonic detection methods for active power filter applications*. IEEE Ind. Appl. Mag., vol. 13, no. 4, pp. 22-33.
- [5]. L. Marconi, F. Ronchi, and A. Tilli, 2007. *Robust nonlinear control of shunt active filters for harmonic current compensation*. Automatica, vol. 43, no. 2, pp. 252-263.
- [6]. *IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems*, IEEE Standard 519-2014, 2014, pp. 1-29.
- [7]. J. Vazquez and P. Salmeron, 2003. *Active power filter control using neural network technologies*. IEEE Proc. Electr. Power Appl., vol. 150, no. 2, pp. 139-145.
- [8]. Trần Đình Long, 2014. *Sách tra cứu về chất lượng điện năng*. NXB Bách khoa, Hà Nội.
- [9]. Priyadarshini, N. Devarajan, AR. Uma saranya, R. Anitt, 2012. *Survey of Harmonics in Non Linear Loads*. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-1, Issue-1.
- [10]. Tiêu chuẩn IEEE-519/2014.
- [11]. Hoàng Đăng Khoa, Lê Việt Cường, Bùi Anh Tuấn, Đinh Ngọc Quang, 2014. *Nghiên cứu, chế tạo thiết bị bù công suất phản kháng trong lưới điện hạ áp dựa trên nguyên lý lai*. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ Công Thương.
- [12]. George J. Wakileh, 2011. *Power Systems Harmonics - Fundamentals, Analysis And Filters Design*. Springer.
- [13]. Đinh Ngọc Quang. *Bảng sáng chế Thiết bị bù lai*, Số bằng: 1-0015397, ngày cấp: 11 tháng 4 năm 2016.

---

#### AUTHORS INFORMATION

**Le Viet Cuong<sup>1</sup>, Nguyen Tung Linh<sup>2</sup>, Bui Anh Tuan<sup>3</sup>, Dinh Ngoc Quang<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Science and Technology Department, Ministry of Industry and Trade

<sup>2</sup>Electric Power University

<sup>3</sup>Hanoi Industrial Textile Garment University

<sup>4</sup>Inovative Grid Solutions Vietnam JSC