

MÔ PHỎNG SÓNG HÀI VÀ BIỆN PHÁP GIẢM TRỪ SÓNG HÀI TRONG CÁC TÒA NHÀ CAO TẦNG THƯƠNG MẠI HỖN HỢP

MODELLING OF HARMONIC AND HARMONIC MITIGATION METHOD IN COMMERCIAL COMPLEX HIGH BUILDING

Nguyễn Phúc Huy, Đặng Việt Hùng

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 05/02/2020, Ngày chấp nhận đăng: 10/06/2020, Phản biện: TS. Phạm Tuấn Thành

Tóm tắt:

Bài báo đã xây dựng mô hình hệ thống điện của một tòa nhà thương mại hỗn hợp. Các phụ tải sinh hoạt sử dụng điện áp pha có đặc tính ngẫu nhiên về tiêu thụ công suất và phát sinh sóng hài. Sự không cân bằng giữa các pha làm xuất hiện dòng điện với nhiều thành phần sóng hài khác nhau chạy trong dây trung tính, trong đó lớn nhất là dòng điện hài bậc 3. Bộ chặn sóng hài bậc 3 đã được sử dụng trên dây trung tính cho thấy hiệu quả rõ rệt. Trong khi đó các phụ tải phi tuyến 3 pha lớn như thang máy, hệ thống thông gió làm mát (HVAC) thường được cấp điện tập trung được mô phỏng như là các nguồn điện áp hài, phát sinh sóng hài bậc 5 lớn. Giải pháp đơn giản và hiệu quả sử dụng bộ lọc đơn bậc 5 đã được lựa chọn đặt tại thanh cái tổng hạ áp vừa giúp giảm độ méo lại có thể nâng cao hệ số công suất. Kết quả của bài báo có tính định hướng về giải pháp cho các vấn đề về sóng hài trong các tòa nhà cao tầng.

Từ khóa:

Sóng hài, không cân bằng, bộ lọc sóng hài, sóng hài tòa nhà.

Abstract:

The paper has modeled electric power system of a complex commercial building. The residential loads use phase voltage with random characteristics of power consumption and harmonic generation. The imbalance between phases creates the current with many different harmonic components flowing in the neutral wire with dominant third harmonic current. The third harmonic trap has been used on the neutral wire showed an effective effect. Meanwhile, large non-linear 3-phase loads such as elevators, Heating-ventilating and air-conditioning (HVAC), which are usually centrally supplied, are simulated as sources of harmonic voltage, generating large fifth-harmonic generation. A simple and effective solution using a single tune fifth filter located at the low-voltage total busbar has helped reduce distortion and can improve the power factor. The results of this paper are directional in addressing the problems of harmonics in high buildings.

Keywords:

Harmonic, Unbalance, Harmonic Filter, Harmonic in buildings.

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay, cùng với nhu cầu phát triển của xã hội, việc sử dụng các thiết bị điện tử công suất trong sản xuất ngày càng nhiều. Đặc biệt đối với các tòa nhà thương mại hỗn hợp, các thiết bị điện sử dụng các bộ chỉnh lưu và nghịch lưu ngày càng tăng lên do những yêu cầu cao trong vận hành, khai thác thiết bị với hiệu suất cao nhất. Điều này dẫn tới mức độ phát sinh sóng hài cũng khá cao [1-6]. Thậm chí ở những thiết bị như đèn compact, đèn huỳnh quang, máy vi tính, lò nướng... đã gây ra sóng hài làm ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất lượng điện năng của toàn tòa nhà, và nếu không hạn chế tốt sẽ ảnh hưởng lên phía trên lưới hệ thống [7].

Nhiều giải pháp như bộ lọc thụ động và tích cực,... điều hòa điện áp và dòng điện cũng đã được đề cập. Tuy nhiên, việc xác định các loại nguồn phát sinh sóng hài và vị trí của nó trong hệ thống điện sẽ quyết định chủng loại thiết bị lọc, và ngăn chặn sóng hài phù hợp [8-10].

Hiện tại, trong nước vấn đề sóng hài trong tòa nhà cao tầng cũng đã và đang được quan tâm nhiều. Tuy nhiên các công trình nghiên cứu được công bố còn hạn chế, và thường tập trung về đánh giá ảnh hưởng, cũng như giảm tổn thất [11] với sự kết hợp của tụ bù $\cos\phi$.

Để hiểu rõ hơn về đặc điểm sóng hài của nhóm phụ tải trên trước khi thực hiện các nội dung về đo đạc và đánh giá, bước mô phỏng về đối tượng là quan trọng và cần thiết để giảm thiểu chi phí đánh giá và đề xuất phương án. Trong các phần tiếp theo, các nguồn gây sóng hài sẽ được mô

phỏng sử dụng công cụ Matlab/Simulink, mô phỏng các giải pháp để giảm trừ ảnh hưởng của chúng trong lưới điện.

2. SÓNG HÀI KHÔNG CÂN BẰNG

Một đặc điểm của hệ thống điện tòa nhà thương mại hỗn hợp là sự mất cân bằng pha do lượng phụ tải một pha lớn. Sử dụng lý thuyết về các thành phần đối xứng để phân tích một hệ 3 pha không đối xứng (abc) thành 3 hệ đối xứng (012):

- Thứ tự không (0): gồm 3 vector bằng nhau về biên độ và trùng pha nhau;
- Thứ tự thuận (1): gồm 3 vector có biên độ bằng nhau, lệch nhau 120° điện, thứ tự pha trùng với thứ tự pha abc.
- Thứ tự nghịch (2): gồm 3 vector có biên độ bằng nhau, lệch pha nhau 120° điện, thứ tự pha ngược với thứ tự pha abc.

Với các sóng hài dòng điện 3 pha:

$$\begin{aligned} i_{ah}(t) &= I_{ah} \cos(\omega_0 t + \phi_{ah}) \\ i_{bh}(t) &= I_{bh} \cos[h(\omega_0 t - 120^\circ) + \phi_{bh}] \\ i_{ch}(t) &= I_{ch} \cos[h(\omega_0 t + 120^\circ) + \phi_{ch}] \end{aligned} \quad (1)$$

Mô tả theo dạng ma trận có dạng:

$$\begin{bmatrix} I_{0h} \\ I_{1h} \\ I_{2h} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ah} \angle \phi_{ah} \\ I_{bh} \angle (-h120^\circ + \phi_{bh}) \\ I_{ch} \angle (h120^\circ + \phi_{ch}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

trong đó $a = 1 \angle 120^\circ$ và $a^2 = 1 \angle -120^\circ$.

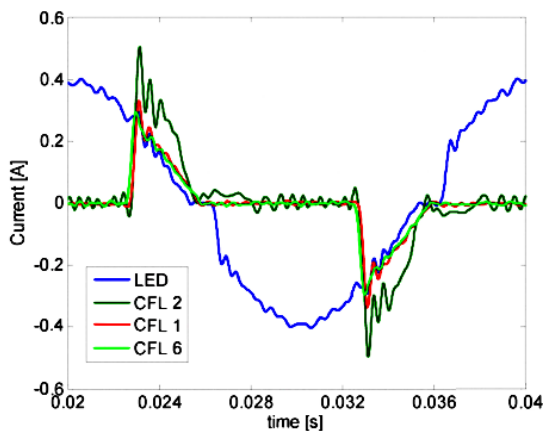
Từ (2), giả sử 3 pha đối xứng $I_{ah} = I_{bh} = I_{ch} = I_h$, nếu các sóng hài $h = 3n + 1$ thì chỉ có $I_{1h} = I_h \angle \phi_h$, với các sóng hài $h = 3n - 1$ thì chỉ có $I_{2h} = I_h \angle \phi_h$ và với $h = 3n$ thì chỉ có $I_{0h} = I_h \angle \phi_h$; trong đó $n = 0, 1, 2, \dots$ Trường hợp 3 pha

không đối xứng, dòng hài thứ tự thuận - nghịch - không sẽ có thể có các sóng hài khác xuất hiện trong dây trung tính [10] ngoài các sóng bội 3.

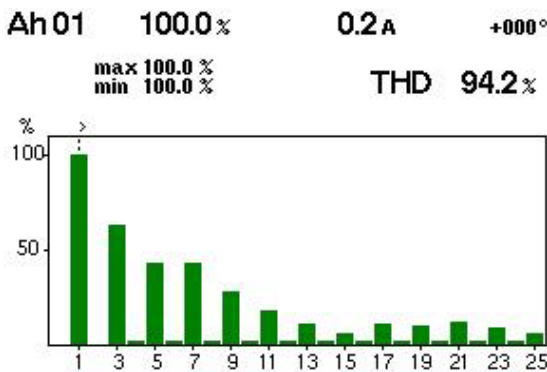
3. CÁC NGUỒN PHÁT SINH SÓNG HÀI TRONG TÒA NHÀ

Các phụ tải trong tòa nhà thương mại hỗn hợp được phân loại bao gồm các phụ tải chiếu sáng, văn phòng, sinh hoạt, thang máy và hệ thống thông gió, làm mát (HVAC).

Với những tòa nhà xây dựng mới, đèn chiếu sáng có thể sử dụng đèn huỳnh quang có chấn lưu điện tử, đèn compact, hoặc đèn led có dạng sóng dòng điện có độ nhiễu sóng hài cao, như hình 1 và 2.



Hình 1. Sóng dòng điện của một số loại đèn [2]



Hình 2. Phổ sóng hài của một đèn compact [4]

Mạch chiếu sáng thường là mạch 1 pha - trung tính, cùng với các thiết bị phi tuyến khác trong nhóm phụ tải sinh hoạt. Ngoài các phụ tải đèn còn có các phụ tải phi tuyến khác như tủ lạnh, lò vi sóng, bếp từ, điều hòa, tivi, bộ sạc pin, máy vi tính... [2] Việc đi chung dây trung tính của các thiết bị này sẽ dẫn tới dòng hài trong dây trung tính tăng cao có thể gây phát nóng.

Các thiết bị điện dân dụng phi tuyến chứa các phần tử điện từ như động cơ, máy biến áp (như trong tủ lạnh, điều hòa). Nhiều dòng điện phụ thuộc vào thiết kế của động cơ và thay đổi theo cấp điện áp. Các tải phi tuyến này được mô phỏng như là các nguồn bơm dòng điện hài.

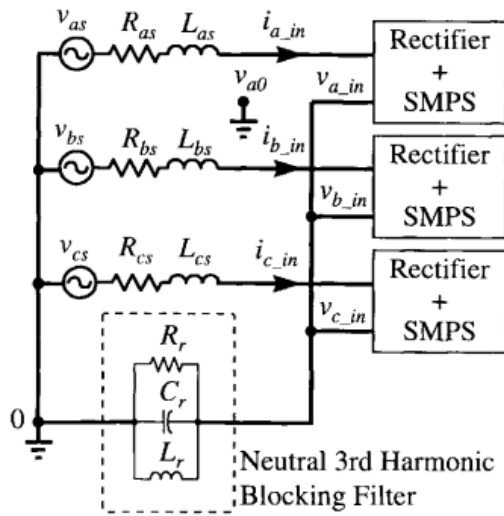
Trong khi đó các phụ tải 3 pha lớn như thang máy, HVAC thường được cấp điện tập trung từ tủ điện có công suất lớn. Chúng có đặc điểm phát sinh sóng hài khác với phụ tải 1 pha nên ảnh hưởng của chúng cũng sẽ khác [4]. Cùng với các thiết bị phi tuyến khác, chúng được mô phỏng như là các nguồn điện áp hài. Trong đó có bộ chỉnh lưu diot với bộ lọc tụ điện phía đầu ra DC, kết nối giữa phụ tải điện tử với lưới AC (bộ nguồn chuyển mạch SMPS). Với loại mạch này xuất hiện chủ yếu trong tất cả các phụ tải phi tuyến dân dụng và thương mại như là máy vi tính, màn hình, ti vi, chấn lưu điện tử của đèn huỳnh quang, bộ sạc pin...

4. GIẢI PHÁP GIẢM TRỪ SÓNG HÀI

4.1. Chặn sóng hài bậc 3 trong dây trung tính

Trong mạng điện tòa nhà, mạch cấp đến tủ điện các tầng thường là mạch 3 pha với

công suất vài chục đến trăm kW. Trong phạm vi các tầng, chỉ có phụ tải một pha là chính, chúng có phát sinh sóng hài như đã phân tích, và khả năng cân bằng các pha là rất khó thực hiện, xuất hiện dòng điện trong dây trung tính.



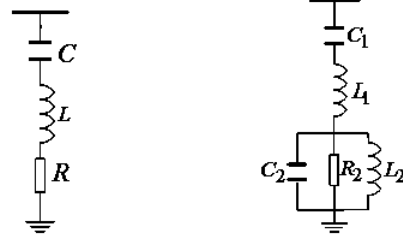
Hình 3. Sơ đồ đấu nối NCF vào dây trung tính

Bên cạnh đó, các thành phần sóng bậc 3, và tất cả các sóng hài khác là bội số của 3, của dòng điện dây đều cùng pha với nhau, tổng của chúng sẽ là một giá trị lớn. Một giải pháp được đề ra để hạn chế ảnh hưởng của nó là bộ lọc khóa thành phần bậc 3 trong dây trung tính (NCF - Neutral Current Filter) [9]. NCF được đặt nối tiếp với dây trung tính từ máy biến áp đến tủ điện tầng hoặc trung tâm tải. Nó được đặt tại tủ điện tầng để chặn dòng điện hài bậc 3 chạy trong dây trung tính. NCF tạo ra mạch LC cộng hưởng song song với tổng trở vô cùng lớn ở tần số $3f_1$. Thông số mạch LC của NCF có thể tính toán như sau:

$$C_r = \frac{Q}{\omega U^2} \quad (3)$$

Bộ lọc thụ động

Lọc thụ động bao gồm các phần tử R, L, C được ghép nối với nhau và được lựa chọn cho một tần số lọc xác định. Nguyên lý làm việc của bộ lọc loại này là tạo ra mạch có tổng trở vô cùng nhỏ ở tần số cần lọc để sóng điều hòa ở tần số đó "chảy" ra khỏi hệ thống.



(a) Bộ lọc đơn

(b) Bộ lọc đôi

Hình 4. Cấu hình bộ lọc đơn và đôi

Trong các cấu hình bộ lọc, bộ lọc đơn và lọc đôi thường được lựa chọn vì có ưu điểm là kết cấu đơn giản, vận hành ổn định. Đối với bộ lọc thụ động đơn, lọc một bậc sóng hài h được thiết kế để có tần số cộng hưởng là :

$$f_0 = f_1 \cdot \sqrt{\frac{X_{C1}}{X_{L1}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

Hệ số chất lượng của bộ lọc:

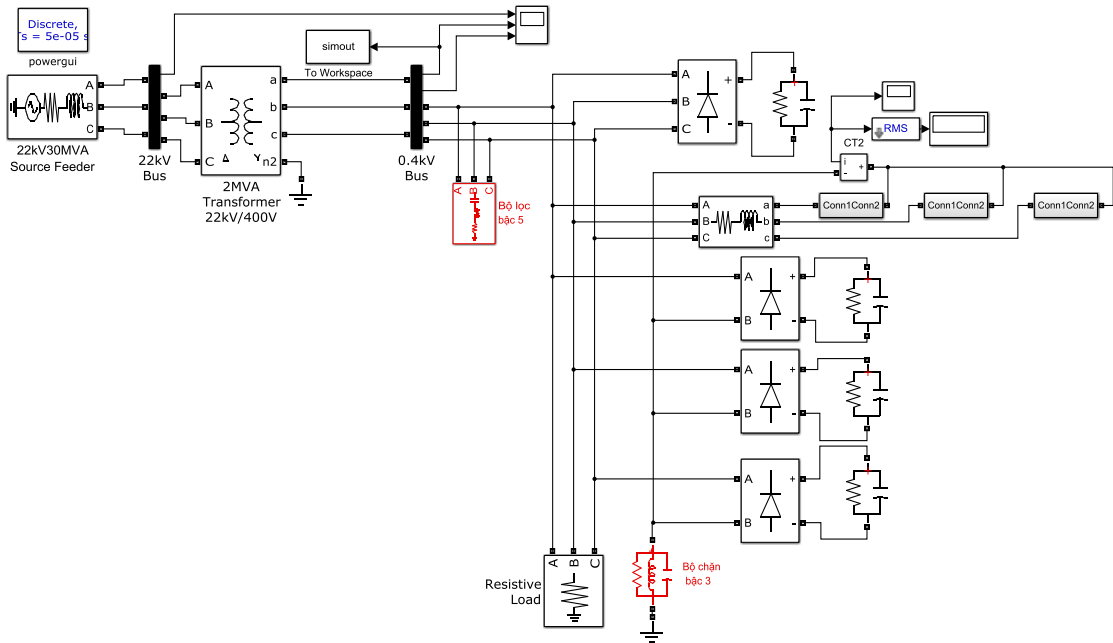
$$q = \frac{h\omega L}{R} = \frac{1}{h\omega RC} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (5)$$

5. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

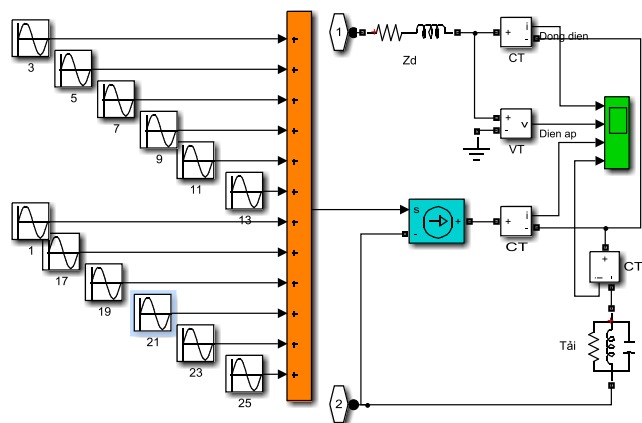
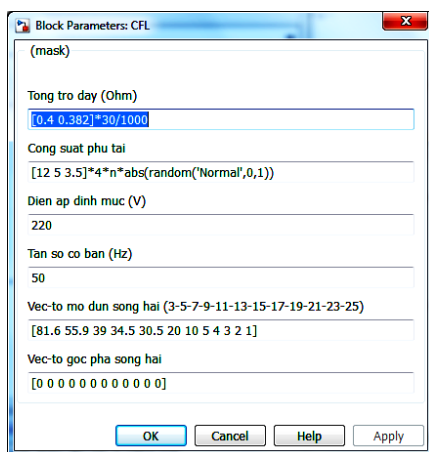
Mô hình mô phỏng của hệ thống được thể hiện như trong hình 5. Hệ thống điện cấp 22 kV, công suất ngắn mạch điểm đầu là 30 MVA cấp điện tới máy biến áp (MBA) 2000 kVA, 22/0,4 kV của tòa nhà. Phía sau MBA có các phụ tải: 3 pha tuyến tính, phi tuyến 1 pha và phi tuyến 3 pha.

Phụ tải sinh hoạt 1 pha của các hộ gia đình được mô phỏng theo sơ đồ kết dây của hệ thống điện căn hộ. Các phụ tải là các nguồn phát sinh sóng hài được mô tả là xếp chồng của các sóng hài như trong hình 6. Trong đó đặc tính sóng hài được

mô phỏng như mô tả trong mục 2 theo [4]. Để đảm bảo tính tổng quát, sự xuất hiện các bậc sóng hài và độ lớn của chúng được mô tả với các giá trị ngẫu nhiên. Kết quả mô phỏng cho thấy phổ hài sát với kết quả thực nghiệm trong [4] như hình 7.



Hình 5. Sơ đồ mô phỏng hệ thống điện



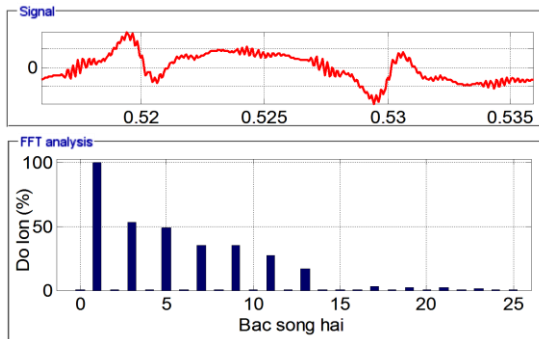
Hình 6. Mô hình phụ tải đèn compact

Các phụ tải phi tuyến khác của nhóm động cơ, phụ tải trong trung tâm thương

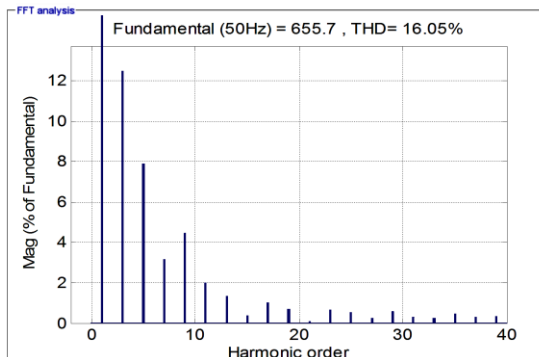
mại... được mô tả qua bộ chỉnh lưu diốt 3 pha và một pha.

Dạng sóng ngẫu nhiên của phụ tải sinh hoạt 1 pha có thể thấy như hình 8 với đủ các thành phần sóng hài bậc 3, 5, 7,...

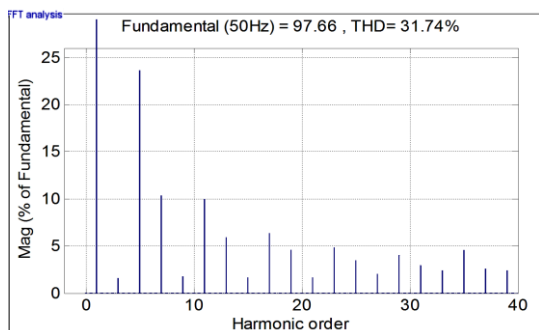
Đối với các phụ tải phi tuyến khác cấp điện từ các bộ chỉnh lưu cầu điôt, dạng sóng điển hình như hình 9 với nhiều sóng hài nhưng chủ yếu là bậc 5 lớn nhất.



Hình 7. Phổ hài dòng điện đèn compact mô phỏng

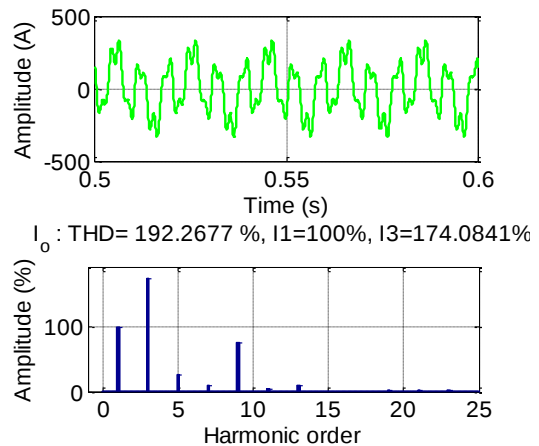


Hình 8. Phổ hài dòng điện 1 pha phụ tải sinh hoạt



Hình 9. Phổ hài dòng điện 3 pha phụ tải phi tuyến

Từ hình 11 có thể thấy dạng sóng dòng điện có độ méo lớn và xuất hiện sự mất cân bằng giữa các pha. Chính sự không cân bằng này làm cho dòng điện trong dây trung tính xuất hiện các sóng hài bậc 5, 7,... bên cạnh các thành phần hài bội 3.



Hình 10. Sóng và phổ hài dòng điện trong dây trung tính

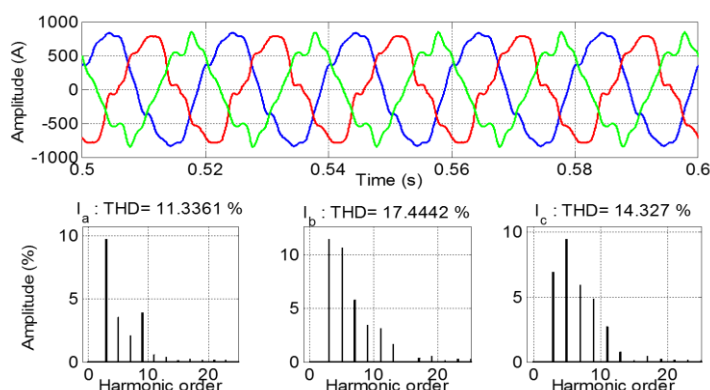
Từ những phân tích trên, ta lựa chọn 2 giải pháp đặt bộ lọc chặn sóng hài bậc 3 trong dây trung tính và bộ lọc đơn bậc 5 tại thanh cái tổng.

Vì không có yêu cầu về công suất phản kháng, ta chọn loại tụ 1 pha 5 kVAR, 230 V để từ đó tính toán ra bộ lọc chặn bậc 3 với kháng điện 3,54 mH, hệ số chất lượng $q = 40$.

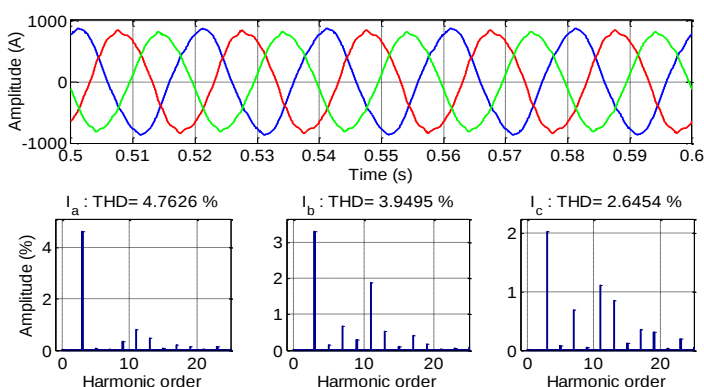
Bộ lọc đơn bậc 5 được tính toán dựa trên mức công suất phản kháng bù. Mạch lọc đơn LC khi cộng hưởng sẽ có dòng điện tăng lên rất lớn và do đó có thể gây quá tải. Vì vậy trong thực tế người ta chọn kháng để tần số cộng hưởng gần sát nhất với tần số sóng hài cần lọc, tức là:

$$\frac{f_0}{f_1} > \sqrt{\frac{X_{C1}}{X_{L1}}} \Rightarrow h > \sqrt{\frac{X_{C1}}{X_{L1}}} \quad (6)$$

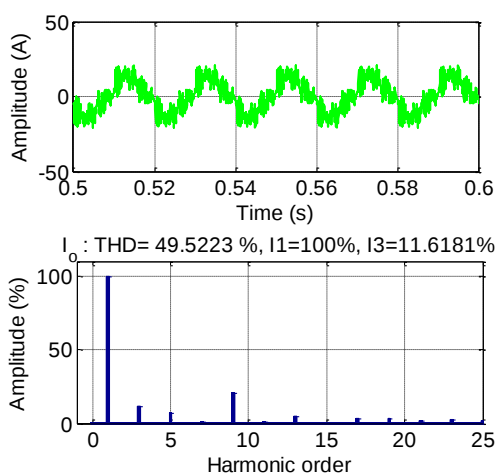
Với bộ lọc bậc 5, $h = 5$, ta có ảnh hưởng (lọc) sóng hài bậc 5 mà không $X_{L1} > 4\% X_{C1}$. Như vậy để giảm thiểu gây quá tải cho mạch lọc thì có thể chọn kháng 6%.



Hình 10. Sóng dòng điện và phổ hài dòng điện tổng



Hình 11. Sóng dòng điện và phổ hài dòng điện tổng sau bù



Hình 12. Sóng dòng điện và phổ hài dòng điện dây trung tính sau bù

Kết quả sau khi đặt bộ lọc ta có dạng sóng và phổ hài dòng điện tại thanh cái tổng và trong dây trung tính như hình 12 và hình 13. Có thể thấy phía sau bộ lọc chặn sóng bậc 3 thì các thành phần hài bội 3 đã giảm đi rất nhỏ. Tổng độ méo dòng điện các pha đều nằm trong qui định cho phép [12].

6. KẾT LUẬN

Sóng hài phát sinh trong các tòa nhà thương mại hỗn hợp do các phụ tải phi tuyến sử dụng nhiều thiết bị điện tử công

suất. Do đặc điểm với nhiều phụ tải một pha, khả năng cân bằng là khó được đảm bảo, điều đó dẫn tới sự xuất hiện nhiều thành phần sóng hài khác bên cạnh sóng hài bội 3 trong dây trung tính.

Bài báo đã xây dựng mô hình của một tòa nhà với các loại phụ tải khác nhau, đảm bảo tính ngẫu nhiên trong tiêu thụ công suất và phát sinh sóng hài. Giải pháp giảm trừ ảnh hưởng của sóng hài được lựa chọn

trên quan điểm đơn giản, hiệu quả đã được đề xuất nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của chúng trong dây trung tính; loại trừ thành phần sóng hài có biên độ lớn với bộ lọc đơn.

Kết quả cho thấy hiệu quả giảm sóng hài rõ rệt làm cơ sở cho việc nghiên cứu các vị trí đặt khác nhau để đạt được yêu cầu của đơn vị vận hành hệ thống điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Arrillaga, N.R. Watson, *Power System Harmonics*, pp:(61-67), John Wiley & Son, England, Second Edition, 2003.
- [2] V. Ćuk, J.F.G. Cobben, W.L. Kling and R.B. Timens, An analysis of diversity factors applied to harmonic emission limits for energy saving lamps, *Proceedings of 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power - ICHQP 2010*, Bergamo, 2010, pp. 1-6.
- [3] Z. Shan, Y. Huang and J. Jatskevich, "Using LED lighting drivers for harmonic current cancellation in intelligent distribution power systems," *2016 IEEE 17th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)*, Trondheim, 2016, pp. 1-5..
- [4] Angela Iagar, and others, The influence of home nonlinear electric equipment operating modes on power quality, *WSEAS Transactions on Systems*, Vol.13, pp: (357-367), 2014.
- [5] P. Chiradeja, A. Ngaopitakkul, C. Jettanasen, Energy savings analysis and harmonics reduction for the electronic ballast of T5 fluorescent lamp in a building's lighting system, *Energy and Buildings*, Volume 97, 2015, Pages 107-117.
- [6] Chang-Song Li, and others, Research of Harmonic Distortion Power for Harmonic Source Detection, *17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, pp. 214-218, 2016.
- [7] Torquato, Wilsun Xu, W. Freitas, J. Lepka and R. Pascal, Propagation characteristics of high-frequency harmonics in distribution systems, *2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*, Boston, MA, 2016, pp. 1-5.
- [8] A. Kalair, N. Abas, A.R. Kalair, Z. Saleem, N. Khan, Review of harmonic analysis, modeling and mitigation techniques, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 78, 2017, Pages 1152-1187,
- [9] Jih-Sheng Lai, Thomas S. Key, Effectiveness of Harmonic Mitigation Equipment for Commercial Office Buildings, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 33, No. 4, pp: (1104-1110), 1997.
- [10] S. Kim, Active zero-sequence cancellation technique in unbalanced commercial building power system, *Nineteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2004. APEC '04.*, Anaheim, CA, USA, 2004, pp. 185-190 Vol.1.

- [11] Hoàng Trần Thành, Bạch Quốc Khánh, Về hiệu quả giảm tổn thất điện năng do sóng hài trong HTCCĐ tòa nhà do tụ bù cosφ, Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng, số 3 (124), pp. 69-73, 2018.
- [12] Thông tư 30/2019/TT-BCT, ngày 18/11/2019 của Bộ trưởng Bộ Công Thương về Sửa đổi, bổ sung một số điều của TT số 25/2016/TT-BCT và TT số 39/2015/TT-BCT.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Phúc Huy tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2003 và 2010. Năm 2015 nhận bằng Tiến sĩ ngành hệ thống điện và tự động hóa tại Trường Đại học Điện lực Hoa Bắc, Bắc Kinh, Trung Quốc.

Lĩnh vực nghiên cứu: chất lượng điện năng, ứng dụng điện tử công suất, độ tin cậy của hệ thống điện.

