

MỘT TRƯỜNG HỢP ĐÁNH GIÁ TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG TRONG HỆ THỐNG CUNG CẤP ĐIỆN TÒA NHÀ BỊ Ô NHIỄM SÓNG HÀI

A CASE STUDY OF ESTIMATING ENERGY LOSS IN A HEAVY HARMONICS POLLUTED BUILDING ELECTRICAL INSTALLATION

Bạch Quốc Khánh, Nguyễn Văn Minh

TÓM TẮT

Việc sử dụng ngày càng phổ biến các thiết bị điện tử trong sinh hoạt thực sự đã đem lại những thay đổi lớn về tính hiệu quả, chất lượng và mức độ tiện nghi. Tuy nhiên, một trong những mặt trái là các thiết bị này cũng có thể làm xấu đi chất lượng điện năng trên lưới điện, đặc biệt là việc phát sinh sóng hài. Một trong những ảnh hưởng chính do sóng hài gây ra đối với lưới điện, đặc biệt lưới hạ áp và phụ tải là làm gia tăng tổn thất điện năng và gây quá tải các thiết bị. Bài báo trình bày một phương án đánh giá định lượng tổn thất điện năng của lưới điện và phụ tải trong lưới hạ áp một tòa nhà chung cư như một trường hợp điển hình của lưới điện sinh hoạt. Phương pháp tính toán tổn thất điện năng của lưới điện dựa trên đồ thị phụ tải điển hình của phụ tải sinh hoạt. Việc tính toán tổn thất điện năng do sóng hài dựa trên phương pháp phân tích sóng hài trực tiếp. Kết quả tính toán được xem là đánh giá tổn thất điện năng trên lưới điện và gia tăng tiêu thụ điện năng tại phụ tải lớn nhất, có thể tham khảo khi cân nhắc các giải pháp giảm tổn thất điện năng.

Từ khóa: *Tổn thất điện năng, chất lượng điện năng, sóng hài, hệ thống điện hạ áp tòa nhà.*

ABSTRACT

The increasingly uses of electronic appliances in residential sector have brought in higher confortability and energy saving. However, those equipments also result in power quality issues, especially the harmonics generating. The high harmonics can increase the system power loss, particularly in low voltage systems, cause additional heating to the electric equipment. This paper present a method to estimate the energy loss of a low voltage system in a building as a typical resident low voltage system. Power loss is calculated basing on typical load curve. Power loss by harmonics is calculated by the direct harmonic solution. The results can be seen as an example of a large power loss by harmonics and can be considered for analysing the possible solutions for mitigating harmonics.

Keywords: *Energy loss, power quality, harmonics, low voltage building installation.*

Bạch Quốc Khánh

Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

Nguyễn Văn Minh

Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Vĩnh Long

Email: khanh.bachquoc@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 18/07/2017

Ngày nhận bài sửa theo phản biện: 21/08/2017

Ngày chấp nhận đăng: 16/10/2017

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT:

HTCCĐ:	Hệ thống cung cấp điện
LED:	Light Emitting Diode
TTCS:	Tổn thất công suất
TTĐN:	Tổn thất điện năng
ĐTPT:	Đồ thị phụ tải
TPP-C:	Tủ phân phối chính
TPP-CT:	Tủ phân phối cụm tầng

1. GIỚI THIỆU

Việc sử dụng ngày càng nhiều các thiết bị điện gia dụng sử dụng các linh kiện điện tử trong điện sinh hoạt đã đem lại sự hiệu quả và tiện nghi trong cuộc sống hàng ngày của chúng ta. Ứng dụng inverter cho điều hòa, tủ lạnh giảm tiêu hao điện năng của các thiết bị này. Đèn huỳnh quang và đèn LED hiện nay đã trở thành thiết bị chiếu sáng chính trong các tòa nhà. Các thiết bị dùng nguồn ổn áp như ti vi, máy vi tính sẽ tạo ra sự ổn định cho các thiết bị này trong khi làm việc. Tuy nhiên các thiết bị này cũng là nguồn phát sinh sóng hài đưa vào hệ thống điện. Từng thiết bị có thể sinh ra lượng sóng hài nhỏ, tuy nhiên những nơi có mật độ phụ tải cao như trong hệ thống cung cấp điện (HTCCĐ) các tòa nhà chung cư cao tầng, đặc biệt ở những giờ phụ tải cao điểm, lượng sóng hài được bơm vào lưới điện trở nên đáng kể. Một trong những tác động chính của sóng hài là làm gia tăng phát nóng và làm tăng tổn thất điện năng (TTĐN) trên các phần tử tải điện và tiêu thụ điện [1, 2]. Sóng hài làm gia tăng điện trở của các phần tử tải điện do hiệu ứng mặt ngoài. Sóng hài làm gia tăng trị số hiệu dụng của dòng điện chạy trên các dây dẫn. Từ thông do sóng hài sinh ra làm gia tăng phát nóng lõi thép của động cơ và máy biến áp. Sóng hài bậc ba và bội số nguyên của bậc ba đi vào mạch trung tính làm gia tăng tổn thất trên dây trung tính... Việc gia tăng TTĐN trên lưới điện khiến tăng hóa đơn mua điện của các đơn vị quản lý điện các khu chung cư. Việc gia tăng phát nóng phụ trong các phụ tải như động cơ sẽ làm gia tăng hóa đơn dùng điện của khách hàng dùng điện. Do đó việc đánh giá sự gia tăng TTĐN trên lưới điện và phụ tải do tác dụng của sóng hài sinh ra từ các thiết bị điện sinh hoạt

sẽ cho một cái nhìn rõ hơn về tác động của sóng hài, đặc biệt đối với khu vực lưới điện có mật độ phụ tải cao như HTCCĐ của các tòa nhà chung cư. Cho đến nay, chưa có nhiều đánh giá cụ thể TTĐN do sóng hài trong HTCCĐ các tòa nhà tại Việt Nam, do đó bài báo này sẽ xây dựng mô hình tính toán TTĐN cho HTCCĐ của các tòa nhà có xét đến tác động của sóng hài từ các phụ tải điện sinh hoạt. TTĐN được tính toán lần lượt do sóng cơ bản và sóng hài. Việc tính toán được thực hiện cho một trường hợp là tòa nhà PACKEXIM 2 (như một ví dụ tại Việt Nam) và giả thiết sóng hài của các thiết bị sinh hoạt ứng với một trường hợp sóng hài lớn từ [3] như một cảnh báo tác động sóng hài đến TTĐN trong HTCCĐ các tòa nhà. Việc mô phỏng lưới điện và tính toán TTĐN do sóng cơ bản và sóng hài được thực hiện trên Matlab có xét đến các đặc điểm thiết kế HTCCĐ của các nhà ở và nhà công cộng.

2. MÔ HÌNH TOÁN

Hai vấn đề chính trong bài toán đánh giá TTĐN do sóng hài là phương pháp mô phỏng và tính toán lưới điện ở tần số sóng hài và phương pháp đánh giá tổn thất điện năng trong HTCCĐ.

- Về đánh giá TTĐN, có rất nhiều phương pháp như đã nêu trong [4]. Đối với một HTCCĐ của tòa nhà chung cư bao gồm máy biến áp phân phối và lưới điện hạ áp cấp cho phụ tải trong phạm vi một tòa nhà thì có thể giả thiết đồ thị phụ tải (ĐTPT) của các phụ tải có hình dạng khá đồng nhất và có dạng ĐTPT điển hình của phụ tải sinh hoạt. Do đó, theo [2], phương pháp đánh giá TTĐN phù hợp nhất cho đối tượng HTCCĐ này là tính TTĐN theo ĐTPT điển hình. Theo phương pháp này, giả thiết ĐTPT của tất cả các phụ tải có dạng giống nhau. Từ đó xác định được công suất của từng phụ tải ở từng khoảng thời gian (từng giờ) và tính toán trào lưu công suất rồi rút ra tổn thất công suất (TTCS) trên các phần tử của lưới điện tương ứng với khoảng thời gian đó. Lặp lại tính toán này cho tất cả các khoảng thời gian khác trong chu kỳ khảo sát của ĐTPT (chẳng hạn 24 giờ cho ĐTPT ngày). Như vậy TTĐN phụ thuộc dòng điện của từng phần tử (đường dây và máy biến áp) trên lưới điện sẽ được xác định theo công thức sau:

$$\Delta A_T = \int_0^T \Delta P(t) dt = \sum_{i=1}^T \Delta P_i \Delta t_i \quad (1)$$

Trong đó:

ΔP_i : TTCS của phần tử trong khoảng thời gian Δt_i .

T: Chu kỳ thời gian của ĐTPT.

TTĐN của toàn lưới điện sẽ được tổng hợp như sau:

$$\Delta A = \sum_{i=1}^{n_L} \Delta A_{Li} + \sum_{j=1}^{n_B} (\Delta A_{Bj} + \Delta A_{OBj}) \quad (2)$$

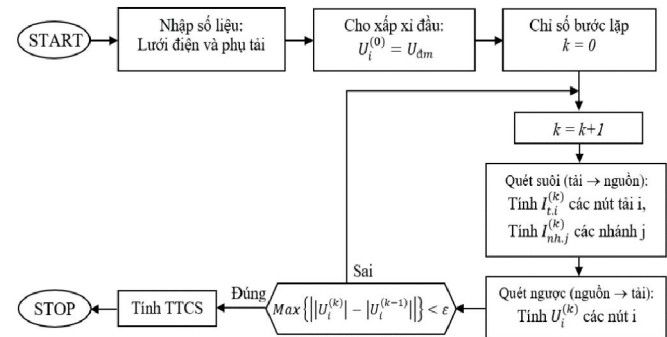
Trong đó:

n_L và n_B : Số nhánh đường dây và số nhánh MBA trên lưới phân phối đang xét.

ΔA_{Li} : TTĐN của phần tử đường dây i.

ΔA_{Bj} và ΔA_{OBj} : TTĐN có tải và không tải của phần tử MBA j.

Trong bài báo này, việc phân tích tính toán trào lưu công suất của lưới điện để tính TTCS trên các phần tử của lưới điện cho từng khoảng thời gian được lập trình trên Matlab sử dụng phương pháp lặp quét xuôi (forward sweep) và quét ngược (backward sweep) được sử dụng trong tính toán phân tích lưới phân phối [5] với sơ đồ khối như hình 1.



Hình 1. Sơ đồ khối tính toán TTCS của HTCCĐ tòa nhà ở tần số cơ bản

- Về tính toán lưới điện ở tần số sóng hài, bài báo sử dụng phương pháp phân tích sóng hài trực tiếp [6] trong đó các phần tử trên lưới điện được mô phỏng theo mô hình thông số tập trung ở tần số của sóng hài.

$$\text{Máy biến áp: } Z_{Bh} = R_B \sqrt{h} + jX_{Bh} \quad (3)$$

Mô hình đường dây có tính đến hiệu ứng bề mặt:

$$Z_{Lh} = R_L \left[1 + \frac{0,646.h^2}{192 + 0,518.h^2} \right] + jX_{Lh} \quad (4)$$

Mô hình phụ tải thụ động:

$$R_h = \frac{U^2 \cdot 10^3}{(0,1h + 0,9) \cdot P} \quad (\Omega, kV, kW);$$

$$X_h = \frac{U^2 \cdot 10^3}{(0,1h + 0,9) \cdot Q} \quad (\Omega, kV, kVAR) \quad (5)$$

Việc tính toán dòng điện sóng hài trên các phần tử tải điện được tính toán theo phương pháp phân tích trực tiếp sử dụng ma trận tổng dẫn nút ở tần số sóng hài:

$$[I_h] = [Y_h][V_h] \quad (6)$$

Trong đó:

$[I_h]$: Ma trận $[1 \times n]$ nguồn dòng điện ở bậc sóng hài h của n nút. Các nút không có tải sinh sóng hài lấy giá trị 0. Các nút có tải sinh sóng hài thì lấy giá trị dòng điện ở bậc sóng hài h.

$[Y_h]$: Ma trận $[n \times n]$ tổng dẫn hệ thống tại tần số h.

$$[Y_h] = \begin{bmatrix} Y_{h11} & \cdots & Y_{h1i} & \cdots & Y_{h1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{hi1} & \cdots & Y_{hii} & \cdots & Y_{hin} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{hn1} & \cdots & Y_{hni} & \cdots & Y_{hnn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

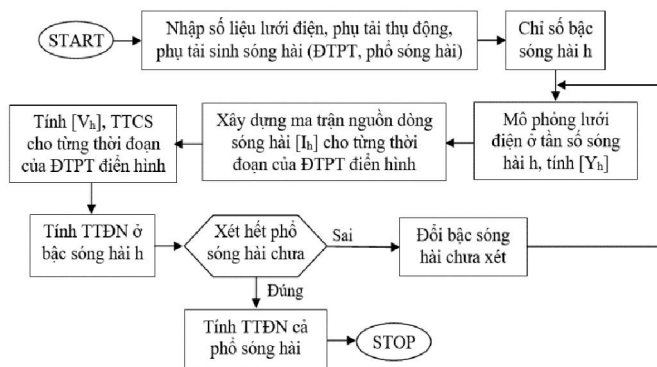
Trong đó:

Y_{hki} : Tổng dẫn tương hỗ giữa nút i và k ở bậc h (tổng dẫn của phần tử lưới điện nối giữa nút i và nút k).

y_{hi} : Tổng dẫn riêng của nút i ở bậc h (tổng dẫn của các tải tải thụ động nối vào nút i).

$[V_h]$: Ma trận $[1 \times n]$ điện áp nút ở bậc sóng hài h .

Việc tính toán TTCS của lưới điện ở bậc sóng hài h được lập trình trên Matlab bao gồm tính toán điện áp các nút ở bậc sóng hài theo (6) bằng phương pháp khử Gauss và suy ra dòng điện trên các nhánh của lưới điện ở bậc sóng hài h để từ đó rút ra TTCS ứng các nhánh và tải thụ động với bậc sóng hài đó. Trong phần này, ma trận nguồn dòng sóng hài bơm vào lưới $[I_h]$ được xây dựng cho từng thời đoạn ứng với ĐTPT của các phụ tải phát sóng hài. Việc tính TTĐN của lưới điện ở bậc sóng hài h được thực hiện theo (1) trong đó với TTCS của lưới điện ở bậc sóng hài h được tính như trên cho từng thời đoạn ứng với ĐTPT của các phụ tải phát sóng hài. Việc tính TTĐN của tất cả các bậc sóng hài là sự tổng hợp của TTĐN của từng bậc sóng hài. Sơ đồ khối các bước tính toán như hình 2.



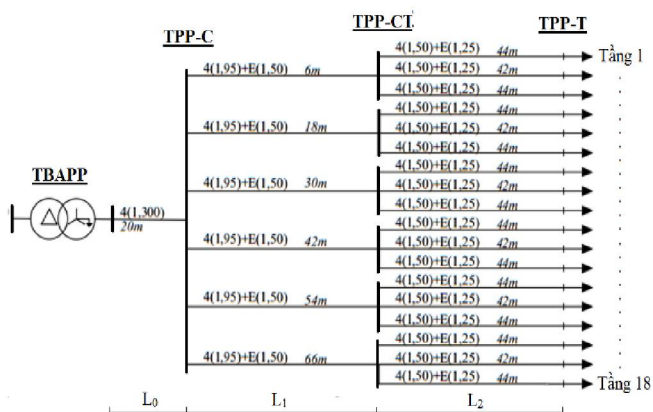
Hình 2. Sơ đồ khối tính toán TTĐN do sóng hài gây ra trong HTCCĐ

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Tính toán TTĐN do sóng hài gây ra với HTCCĐ tòa nhà PACKEXIM 2 gồm 18 tầng, mỗi tầng 12 căn hộ, với ĐTPT ngày điển hình chia làm 2 mùa (đông và hè).

3.1. Số liệu lưới điện

HTCCĐ của tòa nhà PACKEXIM 2 [7] lấy điện từ TBAPP và cấp đến tủ phân phối điện chính TPP-C. Lưới có dạng liên thông đến các tủ phân phối cụm tầng TPP-CT rồi đến tủ phân phối từng tầng TPP-T như hình 3.



Hình 3. HTCCĐ tòa nhà PACKEXIM 2 từ TBAPP đến phụ tải là các tủ phân phối điện tầng

Bảng 1. Số liệu lưới điện

Đường dây				TBAPP 22/0,4kV, 1250kVA
Nhánh	CU/PVC (mm ²)	R (Ω/km)	X (Ω/km)	
L0	4×300	0,0601	0,06-0,12	ΔP ₀ = 1,5(W), I ₀ = 1,5%, ΔP _N = 14(W), u _N = 6%
L1	4×95+1×50	0,193	0,06-0,12	
L2	4×50+1×25	0,387	0,06-0,12	

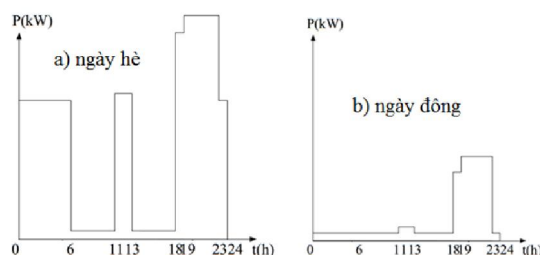
3.2. Số liệu phụ tải

Các số liệu bảng 2 về phụ tải điển hình cho 1 căn hộ. Phụ tải chiếu sáng được đánh giá dựa trên diện tích chiếu sáng và yêu cầu chiếu sáng theo Quy chuẩn xây dựng QCVN 09:2013/BXD [8]. Điều hòa được đánh giá theo điện tích sử dụng. Một tủ lạnh, một tivi và một máy tính để bàn.

Bảng 2. Thông số tải gây sóng hài của một căn hộ

Thông số	Đèn	Điều hòa	Tivi	Tủ lạnh	PC
P(kW)	0,7	1,5	0,08	0,1	0,2
cosφ	0,6	0,98	0,66	0,6	0,53
Thời gian sử dụng (h)	18-23	0-6; 11-13; 18-24	11-13; 18-24	0-24	19-23
K _{dt}	0,9	0,8	1	1	1

Từ ĐTPT điển hình của phụ tải từng căn hộ, xây dựng ĐTPT điển hình của một căn hộ như hình 4. Phụ tải một nút (tủ điện tầng 1÷18): P_{tg} = K_{dt}·12·P_{ch} (hệ số đồng thời K_{dt} = 0,63 theo IEC).



Hình 4. Tổng hợp ĐTPT điển hình ngày hè và đông của một căn hộ

3.3. Tính TTĐN với sóng cơ bản (50Hz)

Sử dụng phương pháp tính toán TTĐN theo ĐTPT điển hình được kết quả như bảng 3, 4.

Bảng 3. TTCS của HTCCĐ nhà theo từng khoảng thời gian với mùa đông

Thời gian (h)	0-11; 13-18; 23-24	11-13
ΔP(W)	281,84	456,55
Thời gian (h)	18-19	19-23
ΔP(W)	4143,40	6468,30

Bảng 4. TTCS của HTCCĐ nhà theo từng khoảng thời gian với mùa hè

Thời gian (h)	0-6; 23-24	6-11; 13-18	11-13
ΔP(W)	4192,50	281,84	4792,90
Thời gian (h)	18-19	19-23	
ΔP(W)	12172	15831	

Tổng tổn thất điện năng do sóng cơ bản ΔA₁ = 29,05 MWh.

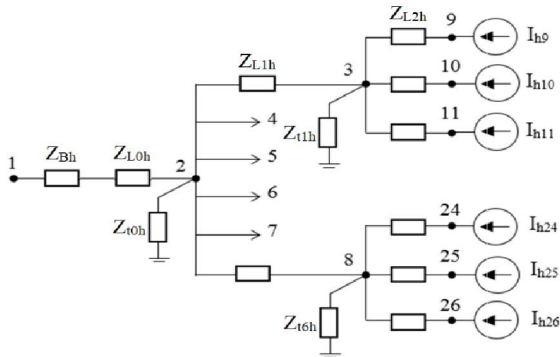
3.4. Tính TTĐN do sóng hài

Xây dựng ma trận $[I_n]$ cho từng bậc sóng hài: Phổ sóng hài của các thiết bị sinh hoạt phát thải sóng hài có thể thay đổi rất đa dạng và rất phụ thuộc vào công nghệ chế tạo và đặc điểm sử dụng của thiết bị điện. Với ý nghĩa cảnh báo vấn đề TTĐN của lưới điện do sóng hài từ các thiết bị sinh hoạt, bài báo này tham khảo phổ sóng hài với tỷ lệ khá lớn [3] như bảng 5.

Bảng 5. Phổ sóng hài % I_n của các thiết bị [3]

T.bị	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}	I_{15}
Đèn	35	27	10	2,5	3,5	1,5	1,5
Điều hòa	28	48	58	14	33	9,5	1,5
TV	55,1	36,8	20,3	11,4	10,8	0	0
Tủ lạnh	11	4,7	11	7,1	7,1	0	0
PC	52,8	43,5	31,6	19,3	8,4	0	0

Từ ĐTPT sử dụng của các thiết bị phát thải sóng hài (bảng 2), ứng với từng khoảng thời gian trong ĐTPT ngày điển hình (hình 4), dòng điện sóng hài ứng với từng bậc sóng hài h sẽ được tổng hợp cho từng nút tải (tủ phân phối tầng). Sơ đồ lưới điện toàn nhà trong tính toán sóng hài có dạng hình 5 trong đó các phần tử lưới điện ở hình 3 được mô phỏng ở tần số sóng hài như ở mục 2.



Hình 5. Sơ đồ HTCCĐ tòa nhà ở tần số sóng hài

Các phụ tải thụ động ở tủ phân phối chính TPP-C Z_{t0h} mô tả phụ tải thang máy của tòa nhà. Các phụ tải thụ động ở tủ phân phối cụm tầng (TPP-CT) là chiếu sáng hành lang các tầng trong tòa nhà. Áp dụng phương pháp tính toán sóng hài như đã nêu trong mục 2 với trình tự như sau:

- Với từng thời gian sử dụng điện của phụ tải các căn hộ (hình 4), xác định các tải phát sinh sóng hài để xây dựng ma trận nguồn sóng hài $[I_n]$.

- Tính toán điện áp sóng hài theo (6) và TTCS do sóng hài của lưới điện và gia tăng tiêu hao điện năng (phát nóng phụ do sóng hài) ở phụ tải như đã nêu trong mục 2.

- Lập lại hai bước trên cho các thời gian khác nhau. Kết quả được cho trong bảng 6 đối với ngày đông và bảng 7 đối với ngày hè.

Bảng 6. Tổn thất công suất do sóng hài ứng với phụ tải ngày đông điển hình

Thời gian (h)	0-11; 13-18; 23-24	11-13	18-19	19-23
ΔP_{dq} (W)	2,4	29,2	785,9	1782,8
ΔP_{pt} (W)	196,4	2843,9	80624,4	179752,3

Bảng 7. Tổn thất công suất do sóng hài ứng với phụ tải ngày đông điển hình

Thời gian (h)	0-6; 23-24	6-11; 13-18	11-13	18-19	19-23
ΔP_{dq} (W)	2979,0	2,3	3365,8	6142,3	8607,4
ΔP_{pt} (W)	238053,8	196,4	273065,8	537318,9	766315,2

Từ đó tính TTĐN hàng năm do sóng hài gây ra

$$\Delta A_h = \sum_i \Delta P_i \times \Delta t_i = 14,23 MWh$$

chiếm 0,67% tổng điện năng tiêu thụ và gia tăng tiêu hao điện năng do phát nóng phụ ở phụ tải $A_h = 1241,96 MWh$, tăng thêm 32,88% tổng tiêu thụ điện của phụ tải. Việc đánh giá gia tăng tiêu thụ điện do sóng hài chạy vào tải gây phát nóng phụ phụ thuộc rất nhiều và mô hình tải. Kết quả tính toán trong bài báo có thể khá lớn do dựa trên giả thiết về mức sóng hài phát thải lớn (bảng 5) và mô hình phụ tải sóng hài như ở (5). Nếu sử dụng mô hình khác có thể dẫn đến thay đổi trị số A_h . Tính toán này chỉ như một cảnh báo về nguy cơ các khách hàng sẽ phải trả thêm chi phí tiêu thụ điện năng khi có sóng hài.

4. KẾT LUẬN

Hiện nay, việc sử dụng ngày càng nhiều các thiết bị điện tử có thể phát sinh sóng hài trong lưới điện sinh hoạt đặc biệt tại các tòa nhà khi mật độ phụ tải này khá cao. Tuy nhiên chưa có nghiên cứu định lượng cụ thể. Bài báo này như một ví dụ tính toán định lượng mức TTĐN do sóng hài trong lưới điện hạ áp các tòa nhà như một lời cảnh báo đối với việc ngày càng gia tăng sử dụng các phụ tải sinh sóng hài trong lưới điện sinh hoạt. Bài báo đã xây dựng được quy trình sử dụng phương pháp phân tích sóng hài trực tiếp nhằm định lượng TTĐN do sóng hài. Kết quả tính TTĐN do sóng hài có thể khá cao do số liệu đầu vào là tỷ lệ sóng hài của các thiết bị dụng điện được tham khảo từ [3] có thể xem như một cảnh báo về một trường hợp lưới điện có nhiều sóng hài. Nghiên cứu này có thể được phát triển thêm khi xem xét các giải pháp giảm TTĐN do sóng hài, ảnh hưởng của tụ bù công suất phản kháng và các mô hình phụ tải sóng hài khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Angelo Bagolini, Handbook of Power Quality, ISBN: 987-0-470-06561-7, April 2008.
- [2]. Thomas Key, Jih-Sheng Lai, Costs and benefits of harmonic current reduction for switch-mode power supplies in a commercial office building
- [3]. A.Priyadarshini, N.Devarajan, AR.Uma saranya, R.Anitt, Survey of Harmonics in Non Linear Loads, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), Volume-1, Issue-1, April 2012.
- [4]. Trần Đình Long, Nguyễn Sỹ Chương, Lê Văn Doanh, Bạch Quốc Khánh, Hoàng Hữu Thiện, Phùng Anh Tuấn, Định Thành Việt, Sách tra cứu về chất lượng điện năng, NXB Bách khoa, 2013.
- [5]. William H. Kersting, Distribution System Modeling and Analysis, CRC Press LLC, 2002
- [6]. Jos Arrillaga, Bruce C Smith, Neville R Watson, Alan R Wood, Power system harmonic analysis, John Wiley & Sons, 1997.
- [7]. Đề án thiết kế phân điện tòa nhà PACKEXIM 2.
- [8]. Bộ Xây dựng, QCVN 09:2013/BXD về các công trình xây dựng sử dụng năng lượng hiệu quả.