

SÓNG HÀI TRONG CÁC VĂN BẢN HIỆN HÀNH LIÊN QUAN CHO HỆ THỐNG ĐIỆN CỦA VIỆT NAM

HARMONICS IN RELEVANT LEGAL DOCUMENTS FOR ELECTRIC POWER SYSTEMS OF VIET NAM

Nguyễn Phúc Huy

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 21/11/2024, Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2024, Phản biện: TS. Trần Quang Khánh

Tóm tắt:

Sóng hài (bao gồm cả sóng hài trung gian) nói riêng và chất lượng điện năng nói chung, ngày càng được quan tâm trong bối cảnh hệ thống điện ngày càng xuất hiện nhiều các nguồn phát điện kết nối qua bộ biến đổi điện tử công suất. Để đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật cho hệ thống điện, các phụ tải hay nguồn phát điện kết nối vào hệ thống điện luôn phải đáp ứng giới hạn về sóng hài phát sinh được quy định trong các văn bản quy phạm pháp luật liên quan. Bài báo nghiên cứu tổng quan các quy định liên quan trong kiểm soát sóng hài trong hệ thống điện đang được áp dụng tại Việt Nam, có tham chiếu tới các tiêu chuẩn quốc tế, qua đó cung cấp nguồn tham khảo cho các đơn vị biên soạn tiêu chuẩn, quy định về vấn đề sóng hài nói riêng và chất lượng điện năng nói chung trong hệ thống điện. Đồng thời, góp phần tiếng nâng cao chất lượng phục vụ của hệ thống điện, đảm bảo cung cấp điện chất lượng, an toàn và hiệu quả.

Từ khóa:

Sóng hài, sóng hài trung gian, tiêu chuẩn sóng hài, giới hạn sóng hài, chất lượng điện năng

Abstract:

Harmonics (including interharmonics) in particular and power quality in general are increasingly concerned in the context of the power system with more and more power generation sources connected through power electronic converters. In order to ensure the technical requirements for the power system, the loads or power generation sources connected to the power system must always response the limits on harmonics that arise specified in relevant legal documents. This paper provides an overview of the relevant regulations in harmonic control in the power system being applied in Vietnam referred to international standards. The paper would be a reference source for divisions compiling standards and regulations on harmonics in particular and power quality in general in the power system. It will also contribute to improving the service quality of the power system, ensuring quality, safety and efficiency of power supply.

Keywords:

Harmonics, Interharmonics, Harmonic Standard, Harmonic limits, Power quality

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sóng hài nói riêng và chất lượng điện năng nói chung, ngày càng được quan tâm nhiều hơn khi sự đa dạng của các thành phần phụ tải, thiết bị điện, nguồn phát điện (hay nguồn điện) trong hệ thống điện (HTĐ) ngày càng tăng. Sóng hài xuất hiện như một đặc điểm cố hữu của các thiết bị điện tử công suất. Khi các nguồn điện gió, điện mặt trời... kết nối lên lưới điện qua các bộ biến đổi (gọi chung là nguồn điện IBR – Inverter Based Resources) ngày càng nhiều, vấn đề sóng hài và chất lượng điện áp trên lưới điện càng cần phải được kiểm soát nghiêm ngặt hơn.

Ở hầu hết các nước, khi các nguồn IBR kết nối lưới thì tổng biến dạng sóng cũng như độ biến dạng của từng sóng hài riêng lẻ đều phải tham chiếu thỏa mãn các giới hạn quy định trong các tiêu chuẩn, điển hình như IEEE-519 và IEC-61000-3-6 [1], [2]. Hai tiêu chuẩn này có những điểm khác biệt cần chú ý khi áp dụng nên một số nước đã xây dựng các tiêu chuẩn, quy định phù hợp riêng [3]. Ngoài ra, việc áp dụng các tiêu chuẩn và quy định về sóng hài cần căn cứ vào từng cấu trúc lưới điện khác nhau để đưa ra các mức giới hạn cụ thể.

Tại Việt Nam, yêu cầu kỹ thuật giới hạn sóng hài và chất lượng điện năng trên lưới điện và hệ thống điện được quy định trong các văn bản pháp quy [4]–[6]. Tuy nhiên, trong thực tế cũng có nhiều vướng mắc khi áp dụng như khó phân biệt được khái niệm các điểm kết nối (PCC) hay đối tượng áp dụng cũng như chưa có các trường hợp riêng đối với từng khu vực đặc thù. Đặc biệt, khái niệm và quy định

về sóng hài trung gian (interharmonics) hiện chưa được đề cập.

Các phần tiếp theo của bài báo sẽ phân tích rõ các khái niệm, nguồn gốc và đặc điểm của sóng hài cũng như sóng hài trung gian. Thông qua phân tích các tiêu chí đánh giá trong quy định hiện hành của Việt Nam cùng các chuẩn quốc tế liên quan, chỉ rõ những sự khác biệt, tồn tại trong đánh giá sóng hài và giải pháp.

2. SÓNG HÀI VÀ SÓNG HÀI TRUNG GIAN

2.1. Khái niệm chung

Một sóng điều hòa có thể phân tích thành tổng của các thành phần sóng điều hòa có tần số khác nhau như (1).

$$x(t) = \sum_{h=1}^{h_{\max}} X_h \cdot \sin(h \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) \quad (1)$$

Trong đó:

h là một số thực dương;

h_{\max} là bội số lớn nhất được xét;

f_1 là tần số cơ bản;

X_h là biên độ của sóng điều hòa dao động với

tần số $f_h = h \cdot f_1$.

Sóng hài và sóng hài trung gian đều là các sóng điều hòa có tần số lớn, là bội số của tần số cơ bản. Ứng với các bội số nguyên là khái niệm sóng hài, còn với bội số không nguyên tương ứng là khái niệm sóng hài trung gian. Trong hệ thống điện, sóng hài hay sóng hài

trung gian của điện áp được sinh ra trực tiếp từ sóng hài hay sóng hài trung gian của dòng điện, liên quan tới đặc tính phi tuyến của các phần tử [7], [8]. Ngoài ra các liên kết HVDC cũng là nguồn sinh sóng hài và là trung gian lan truyền sóng hài trong HTĐ. Khi HVDC liên kết giữa các hệ thống điện xoay chiều không cùng tần số sẽ là nguồn sinh sóng hài trung gian [8]–[10]. Các nhà máy điện mặt trời khi có sự thay đổi liên tục của cường độ bức xạ mặt trời, hay các trang trại điện gió có sự dao động mô-men cơ của các tuabin gió khi tốc độ gió thay đổi cũng là các nguồn phát sinh các thành phần sóng hài trung gian trong sóng điện áp [4], [10], [11].

2.2. Đánh giá sóng hài

Để đánh giá sóng hài trong HTĐ, tổng biến dạng sóng hài điện áp và dòng điện, cũng như tổng biến dạng theo nhu cầu (sóng hài dòng điện) thường được sử dụng [1], [2].

Tổng biến dạng sóng hài điện áp (*THD* – Total Harmonic Distortion) được xác định qua tỉ lệ các thành phần sóng hài với thành phần cơ bản (theo đơn vị %) như (2).

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} U_h^2}}{U_1} \times 100 \quad (2)$$

Trong đó:

U_1 là giá trị hiệu dụng của điện áp ở tần số cơ bản;

U_h là giá trị hiệu dụng của sóng hài điện áp bậc h ($h \geq 2$);

h_{max} là bậc cao nhất của sóng hài cần đánh giá.

Tổng biến dạng sóng dòng điện (*THD_i*) cũng có thể được xác định theo (2), tuy nhiên, trong nhiều trường hợp phụ tải thấp, tức thành phần cơ bản I_1 nhỏ, dẫn tới việc đánh giá theo *THD_i* là không tương xứng. Do vậy, đối với dòng điện, khái niệm tổng biến dạng theo nhu cầu (sóng hài dòng điện) được sử dụng. Tổng biến dạng theo nhu cầu (*TDD* – Total Demand Distortion) là tỉ lệ giữa giá trị hiệu dụng của các thành phần sóng hài dòng điện với giá trị hiệu dụng của dòng điện phụ tải lớn nhất theo công thức (3).

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} I_h^2}}{I_L} \times 100 \quad (3)$$

Trong đó:

I_h là giá trị hiệu dụng của sóng hài dòng điện bậc h ($h \geq 2$);

h_{max} là bậc cao nhất của sóng hài cần đánh giá;

I_L là giá trị hiệu dụng của dòng điện ở tần số cơ bản khi công suất phụ tải lớn nhất. Khi dòng điện phụ tải lớn nhất khó xác định, có thể lấy giá trị phụ tải định mức.

Bên cạnh tổng biến dạng sóng, cần chú ý đánh giá biến dạng của từng sóng hài riêng lẻ (*IHD* – Individual Harmonic Distortion) như sau:

$$IHD = \frac{X_h}{X_b} \times 100 \quad (4)$$

Trong đó:

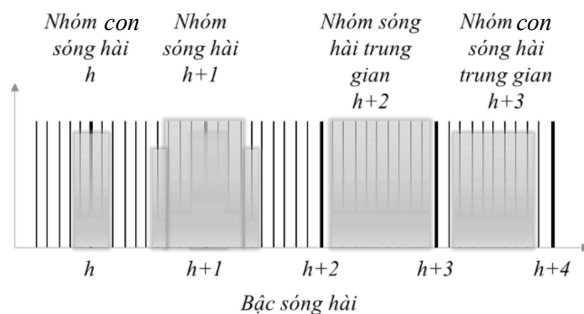
X có thể là điện áp (U) hoặc dòng điện (I);

X_h là giá trị hiệu dụng của sóng hài bậc h ($h \geq 2$);

X_b là giá trị hiệu dụng của thành phần tham chiếu, với điện áp là thành phần cơ bản, dòng điện là giá trị dòng điện phụ tải lớn nhất.

2.3. Đánh giá sóng hài trung gian

Để có thể quan sát đầy đủ các thành phần sóng hài trung gian, khi phân tích phổ sóng hài của các sóng điều hòa theo Fourier yêu cầu cửa sổ lấy mẫu là 10 chu kỳ dòng điện với lưới điện tần số 50Hz để đảm bảo các phân tích được các thành phần sóng hài lẻ từng 5Hz, Hình 1.



Hình 1. Phổ hài phân nhóm và nhóm con sóng hài và sóng hài trung gian

Các khái niệm nhóm sóng hài (harmonic group) và nhóm sóng hài trung gian (interharmonic group), nhóm con sóng hài (harmonic subgroup) và nhóm con sóng hài trung gian (interharmonic subgroup) được sử dụng trong tính toán, Hình 1 [15]. Đi kèm với đó là các chỉ số được đề xuất để đánh giá mức

độ biến dạng đối với các nhóm là THDG và đánh giá mức độ biến dạng đối với các nhóm con là THDS [3], [15], [16].

3. ĐÁNH GIÁ SÓNG HÀI TRONG QUY ĐỊNH HIỆN HÀNH

3.1. Quy định đánh giá sóng hài trên thế giới

Khi đánh giá sóng hài nói riêng và chất lượng điện năng nói chung, nhiều nước tham chiếu tới tiêu chuẩn và các báo cáo kỹ thuật IEC 61000 [1] và tiêu chuẩn IEEE-519 [2]. Về cơ bản, IEEE 519 được thừa nhận bởi ANSI đánh giá sóng hài tại điểm kết nối chung của các nguồn, phụ tải phát sinh sóng hài, tức ảnh hưởng tới vận hành và ổn định của hệ thống điện ở mọi cấp điện áp. Trong khi IEC đưa ra IEC 61000, đánh giá rộng hơn ở nhiều khía cạnh của chất lượng điện năng, sự tương hợp điện từ giữa thiết bị và lưới điện, phù hợp trong đánh giá ảnh hưởng của các nguồn điện phân tán và các phương thức vận hành mới của HTĐ để khóa lắp thiếu hụt về đánh giá mức nhiễu trong khoảng 2 ÷ 150 kHz [12], [13].

Tùy thuộc vào đặc điểm riêng của từng nước, khu vực mà việc tham chiếu là khác nhau, cụ thể như trong Bảng 1.

Bảng 1. Tham chiếu/áp dụng tiêu chuẩn đánh giá sóng hài trên thế giới

Nước/khu vực áp dụng	Tiêu chuẩn tham chiếu/áp dụng	Tham chiếu chính
Bắc Mỹ	IEEE 519	Kiểm soát sóng hài mức hệ thống
Nam Mỹ	IEEE 519 IEC 6100	Chất lượng điện áp và sóng hài
Châu Âu	IEC 6100 EN 50160	Chất lượng điện áp, EMC
Nga/Tây Âu	GOST	EMC và sóng hài
Châu Á	IEEE 519 IEC 6100	Áp dụng từng phần
Trung Đông	IEEE 519 IEC 6100	Tương hợp thiết bị và mức hệ thống
Châu Phi	IEEE 519 IEC 6100	Chất lượng điện áp và sóng hài

3.2. Quy định về sóng hài của Việt Nam

Ở Việt Nam, hiện chưa có tiêu chuẩn riêng về chất lượng điện năng cũng như sóng hài. Các yêu cầu về sóng hài nằm trong một số quy định của Bộ Công Thương (BCT) cho từng cấp điện áp của HTĐ.

Đối với hệ thống điện truyền tải, Điều 8 Thông tư số 25/2016/TT-BCT và sửa đổi bổ sung trong Thông tư 30/2019/TT-BCT [5], [14] quy định giá trị cực đại cho phép của tổng biến dạng sóng hài điện áp và tổng biến dạng theo nhu cầu (sóng hài dòng điện) do các thành phần sóng hài bậc cao gây ra đối với các cấp điện áp 220 kV và 500 kV không vượt quá 3%.

Giá trị này có độ vênh khá lớn so với 1,5 % trong IEEE 519-2022.

Trong khi đối với hệ thống điện phân phối, Thông tư số 39/2015/TT-BCT quy định về tổng biến dạng sóng hài điện áp tham chiếu chủ yếu tới IEEE 519 và tổng biến dạng theo nhu cầu (sóng hài dòng điện) được tham chiếu tới tiêu chuẩn IEC 610003-6 khi xét tới trường hợp khách hàng đấu nối với lưới điện [6]. Các yêu cầu về sóng hài như trên được điều chỉnh trong Thông tư số 30/2019/TT-BCT, yêu cầu cao hơn cho lưới điện trung áp THD ≤ 5% so với giới hạn cho lưới điện hạ áp là THD ≤ 8% [14], kèm với đó là các giá trị quy định khác cho các sóng hài riêng lẻ. Đối với sóng hài dòng điện ở cấp điện áp 110kV, các nhà máy điện đấu nối vào lưới điện phân phối gây ra biến dạng sóng hài theo nhu cầu không vượt quá 3%, trong khi yêu cầu này với phụ tải kết nối là 4%. Giới hạn này được “nới lỏng” ở cấp trung áp nhưng cũng không vượt quá 8%. Tuy nhiên, trong các thông tư của BCT không đề cập tới yêu cầu bậc sóng hài lớn nhất cần xét là 50 như các tiêu chuẩn quốc tế.

Giới hạn sóng hài được quy định trong các tiêu chuẩn cũng có sự khác biệt về giới hạn sóng hài điện áp thể hiện ở Bảng 2, về giới hạn sóng hài dòng điện trong lưới điện phân phối trung áp (20<Isc/IL<50), thể hiện ở Bảng 3 [2]. Có thể thấy rằng, quy định về giới hạn điện áp hài của Việt Nam tham chiếu theo các giá trị trong IEEE 519 xét tại điểm PCC, do vậy, nó cũng có độ vênh tương đối lớn so với IEC 61000-3-6.

Bảng 2. So sánh giới hạn về sóng hài điện áp ở LPP trung áp

Bậc sóng hài	IEC 61000-3-6	IEEE 519-2022	Việt Nam
5	5 %	3 %	3 %
7	4 %	3 %	3 %
11	3 %	3 %	3 %
13	2,5%	3 %	3 %
17	1,6 %	3 %	3 %
19	1,2 %	3 %	3 %
23	1,2 %	3 %	3 %
25	1,2 %	3 %	3 %
THD	6,5 %	5 %	5 %

Bảng 3. So sánh giới hạn về sóng hài dòng điện phụ tải ở LPP trung áp

Bậc sóng hài	IEC 61000-3-6	IEEE 519-2022	Việt Nam
5	5 %	7 %	7 %
7	5 %	7 %	7 %
11	3 %	3,5 %	7 %
13	3 %	3,5 %	7 %
17	1,7 %	2,5 %	7 %
19	1,4 %	2,5 %	7 %
23	0,95 %	1,0 %	7 %
25	0,8 %	1,0 %	7 %
TDD	-	8 %	8 %

Sự khác biệt lớn thể hiện trong quy định về giới hạn sóng hài dòng điện riêng lẻ khi thông tư của BCT chỉ ra một mức chung là 7% cho các thành phần riêng lẻ mà không đề cập tới mối tương quan về độ mạnh/yếu của HTĐ (tỉ lệ I_{sc}/I_L), trong khi TDD cùng là 8%. IEC 61000-3-6 mặc dù không đưa ra bảng giới hạn sóng hài dòng điện cho nhiều trường hợp, nhưng cũng

chỉ ra rằng các giới hạn đó phụ thuộc vào tỉ lệ giữa công suất phụ tải và nguồn điện.

3.3. Kết nối các nguồn điện mới và quy định về sóng hài trung gian

Với các nguồn điện gió và mặt trời, đặc điểm chung là sự không ổn định gió và nắng gây ra sóng hài trung gian. Tuy nhiên, hiện chưa có quy định nào của Việt Nam đưa ra khái niệm và giới hạn đối với sóng hài trung gian. Tương tự, IEEE 519 không có quy định về giới hạn cho sóng hài trung gian trong khi IEC 61000-3-6 có chỉ ra mức 0,2% về điện áp hài trung gian để tránh nhấp nháy và ảnh hưởng tới đo lường và điều khiển [12].

Tiêu chuẩn IEEE 2800-2022 [17] là một tiêu chuẩn mới về kết nối các nhà máy điện gió, mặt trời kết nối với lưới điện qua bộ biến đổi (nguồn IBR) cũng nhắc tới biến dạng sóng hài dòng điện và điện áp tại điểm kết nối không chỉ từ nguồn IBR gây ra mà còn do sự tương tác giữa nguồn IBR và hệ thống kết nối. Độ mạnh/yếu của HTĐ và sóng hài hiện hữu trên hệ thống có ảnh hưởng lớn tới mức độ biến dạng sóng hài đó. Để hạn chế ảnh hưởng của sóng hài, khái niệm tổng độ méo dạng dòng định mức (*TRD* - Total Rated-Current Distortion) được tính toán như sau:

$$TRD = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_1^2}}{I_r} \quad (5)$$

Trong đó:

I_1 là giá trị hiệu dụng của dòng điện cơ bản đo tại điểm kết nối;

I_r là dòng định mức của nguồn IBR tại điểm kết nối;

I_{rms} là giá trị dòng điện hiệu dụng tổng của nguồn IBR, bao gồm đầy đủ các thành phần sóng hài và sóng hài trung gian tới bậc hài 50 đo tại điểm đo lường tham chiếu (RPA - Reference Point of Applicability).

IEEE 28000-2022 cũng đề ra các mức giới hạn sóng hài riêng lẻ và giá trị TRD tại điểm RPA của lưới điện ứng với từng cấp điện áp, lớn nhất là không quá 5% đối với lưới điện trung áp. Bảng 4 cho thấy các giá trị giới hạn được quy định tương ứng với các cấp điện áp từ trung áp trở lên tương ứng với hệ thống điện Việt Nam. Đây là các giá trị giới hạn được mở rộng xét tới cả các sóng hài trung gian, cần phải được bổ sung trong các quy định tại Việt Nam.

Bảng 4. Độ méo dòng điện theo % của dòng định mức (I_r)

Điện áp (kV)	Sóng hài/sóng hài trung gian riêng lẻ			TRD (%)
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h \leq 50$	
Trung áp	4,0	2,0	1,5	5,0
110	2,0	1,0	1,0	2,5
>110	1,5	1,0	1,0	2,0

4. KẾT LUẬN

Việc tuân thủ các quy định kỹ thuật trong tính toán, thiết kế, vận hành hệ thống điện là yêu cầu bắt buộc, đặc biệt là yêu cầu về sóng hài trong hệ thống điện có tích hợp nhiều thiết bị điện tử công suất.

Quy định về sóng hài trong hệ thống điện Việt Nam nằm ở nhiều văn bản đã tham chiếu tới những tiêu chuẩn, quy định được áp dụng rộng rãi trên thế giới, tuy nhiên, vẫn còn những khoảng trống trong cập nhật những khái niệm mới, chỉ số đánh giá và giá trị giới hạn ảnh hưởng. Hệ thống điện Việt Nam với nhiều phân khúc đang trong quá trình nâng cấp cần phải được tính toán dựa trên nhiều yếu tố riêng của bản địa, cập nhật các nội dung mới vào các văn bản chung có thể sẽ không được đầy đủ, chi tiết và thuận lợi trong áp dụng. Do vậy, một tiêu chuẩn riêng về sóng hài trong hệ thống điện nói chung và trong các lưới điện của từng lĩnh vực công nghiệp khác nhau, cần thiết phải được xem xét nghiên cứu xây dựng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. IEC/TR 61000-3-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems*. IEC, 2008.
- [2]. *IEEE 519-2022: IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems*. IEEE, 2022.
- [3]. A. Arranz-Gimon, A. Zorita-Lamadrid, D. Morinigo-Sotelo, and O. Duque-Perez, "A Review of Total Harmonic Distortion Factors for the Measurement of Harmonic and Interharmonic Pollution in Modern Power Systems," *Energies*, vol. 14, no. 20, 2021, doi: 10.3390/en14206467.

- [4]. A. Umadevi, L. Lakshminarasimman, and A. Sakthivel, "Optimal design of shunt active power filter for mitigation of interharmonics in grid tied photovoltaic system," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 220, p. 109232, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109232>.
- [5]. Bộ Công Thương, "Thông tư số 25/2016/TT-BCT quy định về hệ thống truyền tải điện."
- [6]. Bộ Công Thương, "Thông tư số 39/2015/TT-BCT quy định về hệ thống điện phân phối."
- [7]. J. C. Das, *Harmonic Generation Effects Propagation and Control*, 1st ed. CRC Press, 2017.
- [8]. A. Testa *et al.*, "Interharmonics: Theory and Modeling," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 22, no. 4, pp. 2335–2348, 2007, doi: 10.1109/TPWRD.2007.905505.
- [9]. J. Ruiz, E. Aramendi, L. A. Leturiondo, and A. Lazkano, "Estimating the interharmonic content in the power supply system," in *MELECON '98. 9th Mediterranean Electrotechnical Conference. Proceedings (Cat. No.98CH36056)*, 1998, vol. 2, pp. 1013–1017 vol.2. doi: 10.1109/MELCON.1998.699382.
- [10]. R. Langella, A. Testa, S. Z. Djokic, J. Meyer, and M. Klatt, "On the interharmonic emission of PV inverters under different operating conditions," in *2016 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 2016, pp. 733–738. doi: 10.1109/ICHQP.2016.7783357.
- [11]. J. Wang, J. Zhao, H. Xiao, C. Zuo, and Z. Chen, "Detection method of interharmonic pairs-caused voltage peak fluctuation flicker," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 671–678, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.09.156>.
- [12]. S. M. Halpin, "Comparison of IEEE and IEC harmonic standards," in *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005*, 2005, pp. 2214–2216 Vol. 3. doi: 10.1109/PES.2005.1489688.
- [13]. Namhun Cho and others, "Comparison of IEC/TR 61000-3-6 and IEEE Std 519 in the MV system," in *25th International Conference on Electricity Distribution*, 2019, p. 5.
- [14]. Bộ Công Thương, "Thông tư số 30/2019/TT-BCT sửa đổi bổ sung một số điều của Thông tư số 25/2016/TT-BCT quy định về hệ thống điện truyền tải và thông tư số 39/2015/TT-BCT quy định về hệ thống điện phân phối."
- [15]. IEC/TR 61000-4-7, "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto." 2002.
- [16]. C. Hou, M. Zhu, Z. Li, Y. Li, and X. Cai, "Inter Harmonic THD Amplification of Voltage Source Converter: Concept and Case Study," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 35, no. 12, pp. 12651–12656, 2020, doi: 10.1109/TPEL.2020.2994751.
- [17]. "IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Inverter-Based Resources (IBRs) Interconnecting with Associated Transmission Electric Power Systems," *IEEE Std 2800-2022*, pp. 1–180, 2022, doi: 10.1109/IEEESTD.2022.9762253.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả **Nguyễn Phúc Huy** tốt nghiệp kỹ sư hệ thống điện và thạc sĩ kỹ thuật điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2003 và 2010; nhận bằng Tiến sĩ ngành hệ thống điện và tự động hóa tại Trường Đại học Điện lực Hoa Bắc, Bắc Kinh, Trung Quốc năm 2015. Hiện, tác giả công tác tại Trường Đại học Điện lực

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