

PHÂN TÍCH MÔ, PHÒNG BỘ LỌC TÍCH CỰC DẠNG LAI NHẪM NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

ANALYSIS AND MODELLING OF HYBRID ACTIVE FILTERS IN DISTRIBUTION POWER NETWORKS TO IMPROVE POWER QUALITY

Nguyễn Phúc Huy, Đặng Việt Hùng

Trường Đại học Điện lực

Tóm tắt:

Nhằm nâng cao chất lượng điện năng, đặc biệt là vấn đề ô nhiễm sóng hài trên lưới điện, ta có thể sử dụng các bộ lọc thụ động (PF) hay tích cực (AF). Trong đó, các bộ lọc PF được sử dụng để lọc một số thành phần sóng hài cụ thể nào đó, đồng thời tham gia bù công suất phản kháng, góp phần nâng cao hệ số công suất ($\cos\phi$) của lưới điện. Bộ lọc AF được sử dụng để loại trừ tất cả các sóng hài khác không bị tác động bởi PF do hạn chế về không gian lắp đặt và vấn đề cộng hưởng. Việc kết hợp giữa bộ lọc PF và AF sẽ tạo thành bộ lọc dạng lai (HAF). Sử dụng các bộ lọc dạng lai phù hợp với lưới điện phân phối cấp điện áp trung áp cho các phụ tải phi tuyến công suất lớn. Khi đó có thể chọn công suất máy biến áp và công suất của bộ biến đổi trong AF nhỏ hơn. Bài báo thực hiện việc mô hình hóa và mô phỏng bộ lọc dạng lai sử dụng trên lưới trung áp, trong đó ứng dụng lý thuyết tập mờ cho bộ điều khiển AF. Kết quả cho thấy bộ lọc dạng lai với bộ điều khiển logic mờ giúp triệt tiêu sóng hài đảm bảo trong giới hạn cho phép, đồng thời góp phần bù công suất phản kháng, nâng cao $\cos\phi$.

Từ khóa:

Sóng hài, bộ lọc thụ động, bộ lọc tích cực, bộ lọc dạng lai, logic mờ.

Abstract:

To improve power quality, a Passive Filter (PF) is combined with an Active Filter (AF) to create a new configuration of hybrid active filter (HAF). The PF not only mitigates one or more specific harmonics injecting to power networks caused by nonlinear power loads but also compensates reactive power to improve power factor ($\cos\phi$). Meanwhile, the AF is used to eliminate other harmonics not tuned because of restriction in site for the PF and danger of harmonic resonance. This HAF configuration is corresponding to electric power distribution networks with large nonlinear power loads. Consequently, the connected transformer and converter could be reduced in size. A model is set up to simulate this issue with the use of a fuzzy logic based controller for the AF. The simulation result shows that the proposed HAF coincide with solving the power quality problem in electric power distribution networks, controlling harmonic levels in acceptable ranges, and compensating reactive power to improve $\cos\phi$ as well.

Keywords:

Harmonic, passive filter, active filter, hybrid active filter, fuzzy logic theory.

Ngày nhận bài: 14/8/2017, ngày chấp nhận đăng: 20/9/2017, phản biện: TS. Nguyễn Tùng Lâm.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phụ tải phi tuyến khi kết nối vào lưới điện sẽ sinh ra sóng hài làm suy giảm chất lượng điện năng của lưới điện. Các bộ lọc thụ động nối song song (PF_{sh}) có thể được sử dụng để loại bỏ các thành phần sóng hài không mong muốn, và có thể bù một lượng công suất phản kháng theo yêu cầu [1-5]. So với các PF_{sh} , các bộ lọc tích cực (AF) sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất có ưu điểm loại trừ bất kỳ thành phần hài nào xuất hiện tại điểm đấu nối, tuy nhiên các bộ lọc AF thường có giá thành đắt và vận hành phức tạp hơn các bộ lọc PF. Sự kết hợp của hai loại bù này cũng đã được nghiên cứu tuy nhiên qui mô công suất thường nhỏ và cấp điện áp thấp [4-7].

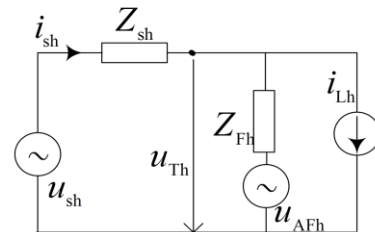
Với mục tiêu áp dụng cho lưới điện phân phối trung áp có phụ tải lớn, bài báo tập trung nghiên cứu kết hợp PF_{sh} và bộ lọc tích cực dạng lai song song (AF_{sh}) tạo thành bộ lọc tích cực dạng lai song song (HAF_{sh}). So với lưới hạ áp, lưới trung áp sẽ ảnh hưởng lớn hơn tới hiệu quả lọc của bộ lọc. Mạch lọc AF_{sh} sẽ được kết nối với lưới điện qua máy biến áp có cuộn dây đầu tam giác để hạn chế lan truyền sóng hài bậc 3 giữa hai phía. Bộ điều khiển sử dụng lý thuyết logic mờ, là cơ sở để nghiên cứu mở rộng các phương pháp điều khiển mới, hiện đại sau này.

2. BỘ LỌC TÍCH CỰC DẠNG LAI

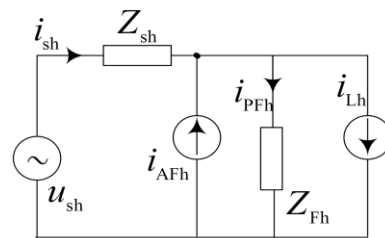
2.1. Cấu hình

Cấu hình và tên gọi của các bộ lọc dạng lai phụ thuộc vào sự đấu nối giữa các bộ lọc với phụ tải. Hai cấu hình chính thường dùng là cấu hình bộ lọc song song với phụ

tải: nối tiếp AF & PF_{sh} (gọi là dạng lai nối tiếp - HAF_{ss}), hình 1a, và song song AF_{sh} & PF_{sh} (gọi là dạng lai song song - HAF_{sh}), hình 1b.



(a) HAF_{ss}



(b) HAF_{sh}

Hình 1. Sơ đồ thay thế tương đương của các bộ lọc

Trong hình: u_{sh} và i_{sh} là điện áp và dòng điện hài về nguồn; Z_{sh} và Z_{Fh} là tổng trở hài lưới điện và của AF_{sh} ; u_{Afh} là điện áp hài từ AF_{sh} ; i_{Lh} và i_{Afh} là dòng điện hài của tải và của AF_{sh} ; i_{Pfh} là dòng điện hài qua bộ lọc thụ động.

Bộ lọc tích cực dạng lai song song (HAF_{sh}) được sử dụng để loại trừ sóng hài dòng điện từ phía tải trở về lưới. Ta coi PF_{sh} và phụ tải phi tuyến là một thành phần riêng, do đó AF_{sh} sẽ bù thành phần hài của thành phần đó với một hệ số khuếch đại k .

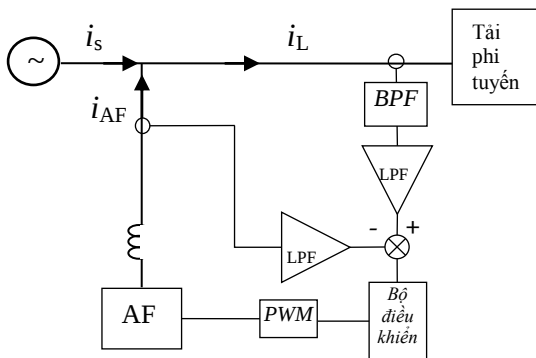
Thành phần hài của dòng điện nguồn có thể xác định được:

$$i_{sh} = \frac{(1-k)(u_{sh} + i_{Lh}Z_{Fh})}{(1-k)Z_{sh} + Z_{Fh}} \quad (1)$$

Có thể thấy chỉ khi $|1-k| \rightarrow 0$ thì $i_{sh} \rightarrow 0$, tức là tiến hành bù dòng điện hài của phụ tải và hệ thống.

2.2. Cấu trúc điều khiển

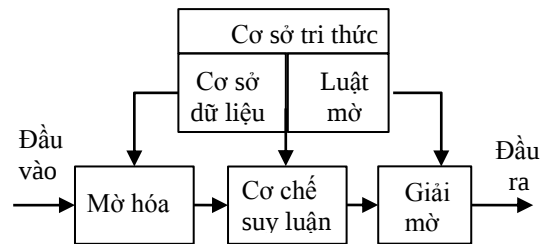
Với cấu hình như trên, HAF_{sh} hoạt động trên nguyên lý điều khiển dòng điện của AF_{sh} . Hệ thống điều khiển gồm hai khâu chính là *mạch tạo dòng bù hài tham chiếu* và *mạch phát dòng điện bù*. Trong đó mạch tạo dòng tham chiếu có chức năng chủ yếu là đưa ra các thành phần hài cần bù từ tín hiệu dòng tại điểm tải kết nối, sử dụng bộ lọc thông dải kết hợp bộ lọc thông thấp như hình 2. Mạch phát dòng điện bù có tác dụng tạo ra dòng bù thực tế phù hợp với tín hiệu dòng bù hài tham chiếu có được từ mạch tạo dòng.



Hình 2. Cấu trúc điều khiển của AF_{sh}

Mô hình đề xuất sử dụng bộ điều khiển logic mờ do ưu điểm của bộ điều khiển này là không cần một mô hình toán học chính xác, trong nhiều trường hợp các mô hình toán học này đôi khi rất khó xác định. Ngoài ra, bộ điều khiển logic mờ còn có thể làm việc với các đầu vào chưa xác định, xử lý hiệu quả với các bài toán phi tuyến.

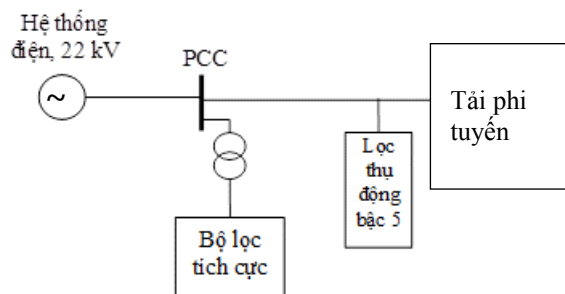
Bộ điều khiển logic mờ bao gồm 4 khâu chính: mờ hóa, cơ sở tri thức, cơ chế suy luận và giải mờ (hình 3). Trong đó, cơ sở tri thức bao gồm các cơ sở dữ liệu và luật mờ, cơ sở dữ liệu cung cấp các thông tin cần thiết cho quá trình mờ hóa, cơ chế suy luận và giải mờ. Luật mờ bao gồm các quy tắc ngôn ngữ nhằm tạo ra các biến đầu ra mong muốn.



Hình 3. Sơ đồ khối chức năng bộ điều khiển logic mờ

3. TÍNH TOÁN THÔNG SỐ VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

Hình 4 thể hiện lưới điện phân phối có $U=22$ kV, $f=50$ Hz, với công suất ngắn mạch của hệ thống tại điểm đầu là 500 MVA.



Hình 4. Sơ đồ khối của mô hình HTĐ mô phỏng

Mô hình nguồn điện trong mô phỏng: là một nguồn tương đương Thevenin và mạch LLR có góc tổng trở bằng 80° ở tần số cơ bản và tần số hài bậc 3.

Phụ tải: được mô phỏng có số liệu như bảng 1 với hai mức công suất khác nhau, trong đó công suất biểu kiến của tải phi tuyến là hợp véc-tơ của 3 thành phần công suất tác dụng (P), phản kháng (Q_H), và công suất phụ thêm do các thành phần hài gây ra (D_H).

Bảng 1. Thông số phụ tải trong mô hình

	Mức tải 1	Mức tải 2 (100% tải)
I_{m1} (A)	510,48	826,68
I_{m5} (% I_{m1})	7,6293	8,5816
I_{m7} (% I_{m1})	5,0611	5,3442
I_{m11} (% I_{m1})	2,6605	2,2208
I_{m13} (% I_{m1})	1,9760	1,4106
S(MVA)	13,723	21,652
P (MW)	10,376	16,982
Q_H (MVar)	3,992	13,223
D_H (MVAD)	0,68	2,365
$\cos\varphi$	0,7561	0,7843
THDi (%)	9,7204	10,5096

Bộ lọc thụ động bậc 5 (PF_{sh}): ngoài tác dụng loại trừ thành phần sóng hài bậc 5 ($h=5$) còn làm nhiệm vụ bù công suất phản kháng cho phụ tải. Công suất phản kháng phát ra của bộ lọc là:

$$Q_{PF} = \omega C_{fh} \left(\frac{h^2}{h^2 - 1} \right) U_{s1}^2 \quad (2)$$

Với yêu cầu bù để $\cos\varphi=0,93$ ta sẽ lựa chọn công suất bù tương ứng với hai mức tải từ bảng 1 là 5 MVar và 7 MVar.

Bộ lọc tích cực (AF_{sh}): bao gồm bộ biến đổi nguồn áp nối vào lưới điện qua máy

biến áp có cuộn tam giác ở phía lưới điện. Điện áp DC của bộ biến đổi, tụ điện DC và kháng điện AC (tức điện kháng MBA) cần chọn để dòng điện i_{AF} của bộ lọc tích cực phải đáp ứng tốc độ bám theo dòng điện cần bù. Muốn vậy dung lượng bộ AF_{sh} phải thỏa mãn dung lượng cần bù, và tốc độ biến thiên dòng điện đầu ra của AF (di_{AF}/dt) phải lớn hơn tốc độ biến thiên của dòng hài lớn nhất [1].

$$U_{dc} = 1,3 \cdot 2,45 \cdot U_s \quad (3)$$

$$C = \frac{S_n}{U_{dc} \cdot \Delta U_{dc}} \cdot \frac{1}{2\omega} \quad (4)$$

trong đó, U_s là điện áp pha nguồn tại điểm đầu; $\Delta U_{dc}=5\%U_{dc}$ là độ biến thiên điện áp DC; S_n là công suất biểu kiến của bộ lọc; ω là tần số góc cơ bản của lưới điện;

Giá trị điện cảm AC của bộ biến đổi có thể giảm nhỏ để đảm bảo tốc độ bám theo sự thay đổi của dòng điện, nhưng phải đủ lớn để giảm thiểu sự xuất hiện sóng hài bậc cao ở tần số xung tam giác của PWM:

$$L_f \geq \frac{U_f - U_s}{4\zeta f_c} \quad (5)$$

trong đó, U_f là điện áp đầu ra của bộ nghịch lưu; ζ , f_c là biên độ và tần số của xung tam giác;

Bộ điều khiển của AF_{sh} :

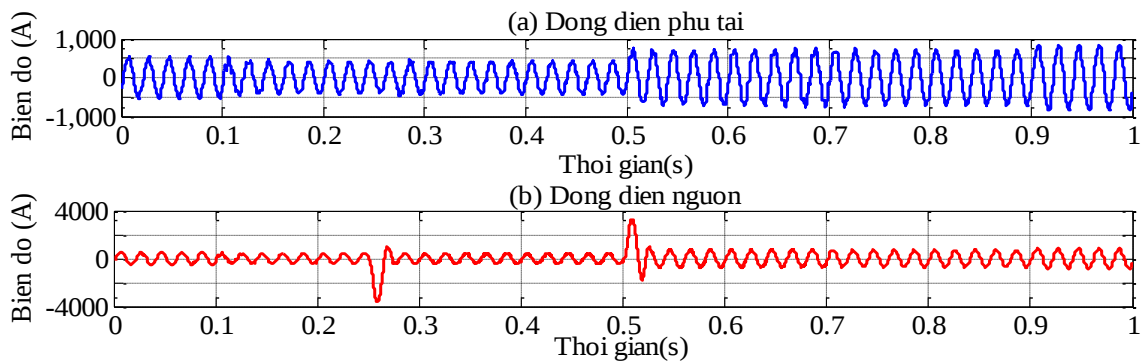
Bài báo sử dụng bộ điều khiển logic mờ với hai đầu vào là sai lệch $e=i_{L,ref}-i_{AF}$ và đạo hàm sai lệch de/dt . Thực hiện mờ hóa với biến ngôn ngữ: A (âm), K (không), D (dương), AN (âm nhiều), DN (dương nhiều). Miền giá trị biến đầu vào sai lệch

là $e=\{-10 \div +10\}=\{AKD\}$; miền giá trị của biến đầu vào thể hiện tốc độ biến thiên sai lệch là $de=\{-1e5 \div +1e5\}=\{AKD\}$; miền giá trị của biến đầu ra là $u=\{-1 \div +1\}=\{AN \ A \ K \ D \ DN\}$.

Luật mờ điều khiển biến đầu ra được xây dựng theo các nguyên tắc với các hàm thuộc như trong bảng 2.

Bảng 2. Bảng ma trận lựa chọn mờ

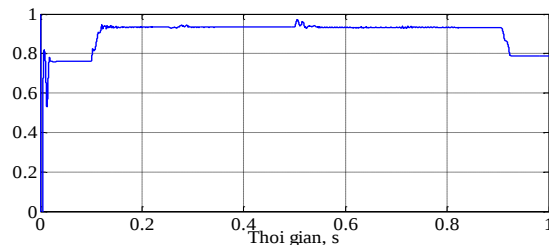
AND		e		
		A	K	D
de/dt	A	AN	D	DN
	K	AN	K	DN
	D	AN	A	DN



Hình 5. Dòng điện tải (a) và dòng điện nguồn (b)

4. KẾT QUẢ

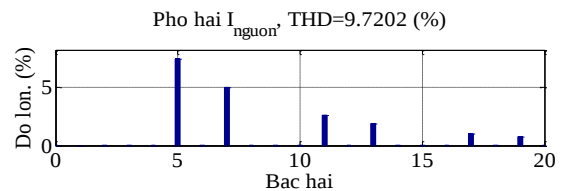
Kết quả dạng sóng dòng điện tải và dòng điện nguồn tới trong toàn bộ thời gian mô phỏng có thể quan sát trong hình 5, giá trị $\cos\phi$ đã thay đổi như trong hình 6.



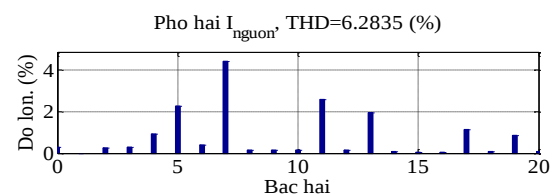
Hình 6. Hệ số công suất của tổ hợp tải phi tuyến+PF_{sh}

Khi chưa có các bộ lọc tác động, dạng sóng và phổ hài của dòng điện phía nguồn ứng với mức tải 1 như hình 7. Sau khi bộ lọc bậc 5 được đưa vào (hình 8) thì tổng

độ méo đã giảm xuống tuy nhiên vẫn vượt mức qui định cho phép là 5% [8]. AF_{sh} sẽ được đưa vào để loại trừ các sóng hài còn lại của hệ *tải phi tuyến*+ PF_{sh} , giảm THDi về giá trị cho phép, đồng thời nâng cao hệ số công suất $\cos\phi$ (hình 6).



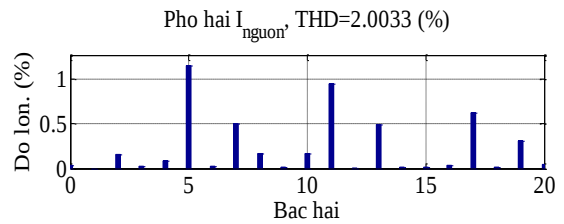
Hình 7. Dòng điện nguồn khi chưa lọc ở mức tải 1



Hình 8. Dòng điện nguồn khi có PF_{sh} ở mức tải 1

Hình 9 cho ta thấy tổng độ méo sóng hài của dòng điện nguồn đã được giảm rất thấp, và toàn bộ các thành phần hài đều có giá trị rất nhỏ sau khi đóng toàn bộ thiết bị bù tích cực dạng lai.

Kết quả mô phỏng cho tất cả các trường hợp có thể quan sát trong bảng 3.



Hình 9. Phổ hài của dòng điện nguồn khi tác động toàn bộ HAF_{sh} ở mức tải 1

Bảng 3. Các thành phần hài của dòng điện nguồn trong các trường hợp (%)

	Mức tải 1- Không lọc, THD=9,72%	Mức tải 1- Lọc PF _{sh} , THD=6,28%	Mức tải 1- Lọc HAF _{sh} , THD=1,96%	Mức tải 2- Không lọc, THD=10,51%	Mức tải 2- Lọc PF _{sh} , THD=5,17%	Mức tải 2- Lọc HAF _{sh} , THD=2%
DC	0,00	0,29	0,04	0,01	0,00	0,03
1 st	100	100	100	100	100	100
3	0,00	0,30	0,05	0,00	0,01	0,03
5	7,51	2,25	1,01	8,58	0,96	1,16
7	5,02	4,41	0,26	5,34	4,26	0,50
9	0,00	0,17	0,03	0,00	0,00	0,01
11	2,61	2,60	0,74	2,22	2,12	0,95
13	1,92	1,95	0,29	1,41	1,40	0,49
17	1,04	1,16	0,56	0,66	0,64	0,63
19	0,76	0,86	0,19	0,55	0,51	0,31

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng mô hình bộ lọc sóng hài dạng lai áp dụng cho lưới phân phối. Với cấu hình song song giữa HAF_{sh} và tải được lựa chọn, kết quả phân tích và mô phỏng cho thấy bộ lọc đáp ứng được yêu cầu về lọc sóng hài và nâng cao hệ số cosφ.

Với mức tải 1 THD đã giảm từ 9,72% xuống 1,96% và từ 10,51% xuống mức 2% mới mức tải 2.

Ngoài ra, giải pháp HAF_{sh} này cho lưới phân phối cũng hoàn toàn phù hợp khi

phụ tải đã có AF_{sh}, và lưới điện có thể xuất hiện thành phần sóng hài mới lan truyền thì việc lắp bổ sung một PF_{sh} sẽ phù hợp (vì AF_{sh} trường hợp này chỉ chặn sóng hài từ tải vào lưới).

6. PHỤ LỤC

Thông số mạch tương đương LLR của hệ thống:

$$L_s = 2,276[mH], L = 1,140[mH], R = 0,5061[\Omega]$$

Thông số của mạch AF_{sh}:

$$U_{dc}=14,19(kV);$$

$$C_{dc}=2,48.10^{-4}(F);$$

$$L_f = 0,087(H).$$

Thông số của mạch PF_{sh}:

	$C_{f5} (\mu F)$	$L_{f5} (mH)$	$R_{f5} (\Omega)$
Mức tải 1	31,578	12,8	0,504
Mức tải 2	44,195	9,2	0,3601

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Jiang Zheng Rong, From Passive to Active Harmonic and Reactive Power Control (in Chinese), China Machine Press, 2014.
- [2] Xiao Xiang Ning, Power quality - Analysis and Control (in Chinese), China Electric Power Press, 2010.
- [3] Enrique Acha, Power Systems Harmonics - Computer Modelling and Analysis, John Wiley & Sons, 2001.
- [4] Retes S.Herrera, Patricio Salmeron, Instantaneous Reactive Power Theory: A reference in the Nonlinear Loads Compensation, IEEE transaction on industrial electronics, Vol.56, No.6, pp. 2015-2022, June 2009.
- [5] Corasaniti, V. F., Hybrid Active Filter for Reactive and Harmonics Compensation in a Distribution Network, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 56, No.3, pp. 670-677, 2009.
- [6] Tsengenes Georgios, Adamidis Georgios, Shunt active power filter control using Fuzzy logic controllers, IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), pp. 365-371, 2011.
- [7] Mohammed Qasim, Application of Neural Networks for Shunt Active Power Filter Control, IEEE transactions on industrial informatics, Vol.10, No.3, pp. 1765-1774, August 2014.
- [8] IEEE Std 519-2014, IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems, IEEE Press, 2014: 1-29.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Phúc Huy tốt nghiệp Đại học và Thạc sĩ tại trường Đại học Bách khoa Hà nội vào các năm 2003 và 2010. Năm 2015 nhận bằng Tiến sĩ Hệ thống điện và tự động hóa tại Trường Đại học Điện lực Hoa Bắc, Bắc Kinh, Trung Quốc. Hiện nay tác giả đang công tác tại Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu chính: Chất lượng điện năng, Ứng dụng điện tử công suất, Độ tin cậy của hệ thống điện.



Tác giả Đặng Việt Hùng tốt nghiệp Đại học và Thạc sĩ tại trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2002 và 2004. Năm 2010 nhận bằng Tiến sĩ Kỹ thuật điện tại trường École Centrale de Lyon (CH Pháp) , tham gia nghiên cứu sau tiến sĩ (postdoctorat) tại Lab Ampere (Lyon, CH Pháp) từ 2011 đến 2012. Hiện tác giả đang công tác tại Khoa Kỹ thuật điện - Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu chính: Chất lượng điện năng, vật liệu điện, ứng dụng điện tử công suất.