

THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO THỬ NGHIỆM THIẾT BỊ PHÂN TÍCH CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG CHO PHỤ TẢI TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

DISIGNED AND IMPLEMENTED A POWER ANALYZER FOR LOADS IN DISTRIBUTION NETWORK

Quách Đức Cường¹, Trịnh Trọng Chương¹, Nguyễn Nhất Tùng², Hà Văn Chiến¹

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, ²Trường Đại học Điện lực

Tóm tắt:

Bài toán quản lý, giám sát chất lượng điện năng với đầy đủ các chỉ tiêu, đưa ra cảnh báo khi các tham số nằm ngoài giới hạn cho phép để đảm bảo các mục tiêu kinh tế - kỹ thuật cho sản xuất công nghiệp mang tính rất cấp thiết. Hiện nay trên thị trường, các thiết bị phân tích chất lượng điện năng chủ yếu của nước ngoài, có giá thành cao, dải công suất ở nhiều trường hợp không phù hợp với đối tượng đo công suất nhỏ và sử dụng phức tạp. Trong bài báo này, chúng tôi sẽ giới thiệu kết quả thiết kế, chế tạo thử nghiệm một thiết bị phân tích chất lượng điện năng di động (dạng cầm tay), áp dụng cho đối tượng phụ tải 1 pha, có tính năng phân tích dạng sóng dòng điện, điện áp; tổng sóng hài dòng và áp, cosphi, tần số,... Kết quả thử nghiệm được so sánh đối chiếu với máy phân tích chất lượng điện năng Fluke 437-II có mức sai số không quá 3,5% về công suất và không quá 1,5% về điện áp, dòng điện.

Từ khóa:

Phân tích chất lượng điện năng, phụ tải, STM32-F4.

Abstract:

The problem of managing and monitoring the quality of electricity with all indicators, giving warning when the parameters are outside the permitted limits to ensure the economic and technical targets for industrial production is very necessary. Currently, most of power analyzers in Vietnam are imported, expensive and complex in use. Moreover, their power ranges, in many cases, are not suitable for measurement on low power loads. In this paper, we will present the results of the design and manufacture of a portable power quality analyzer (handheld), applicable to single phase loads, which features current waveform analysis, voltage; total current and voltage harmonics, power coefficient, frequency,... The test results were compared against the Fluke 437-II Power Quality Analyzer with a tolerance of no more than 3.5% in power and less than 1.5% in voltage and current.

Keywords:

Power quality analysis, load, STM32-F4.

Ngày nhận bài: 17/8/2017, ngày chấp nhận đăng: 3/10/2017, phản biện: TS. Cung Thành Long.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, việc giám sát có hiệu quả quá trình tiêu thụ điện năng và chất lượng điện năng của phụ tải hạ áp đã được sử dụng và đang phổ biến ở các công ty điện lực, các doanh nghiệp sản xuất ở nước ta [1]. Trên thị trường, có khá nhiều thiết bị phục vụ công tác đo lường, giám sát chất lượng điện năng, có thể đo lường cùng lúc nhiều tham số: dòng, áp, cosphi, sóng hài bậc cao, tần số,... đa chức năng [2, 3]. Tuy nhiên, hầu hết các thiết bị này đều nhập ngoại, có giá thành cao, đặc biệt là thiếu những thiết bị phục vụ công tác đo lường công suất nhỏ, có thể in trực tiếp kết quả, phân tích từng bậc sóng hài. Bởi vậy, việc áp dụng công nghệ tiên tiến để thiết kế, chế tạo thiết bị hoàn toàn bằng công nghệ trong nước, với mục tiêu chất lượng tương đương của nước ngoài, giá thành hạ, chủ động trong cung ứng là nhu cầu cấp thiết.

Tiếp nối kết quả nghiên cứu trong [3], trong bài báo này, chúng tôi sẽ giới thiệu kết quả thiết kế, chế tạo thiết bị phân tích chất lượng điện năng cho một đối tượng

phụ tải hạ áp, có các thông số cụ thể như sau:

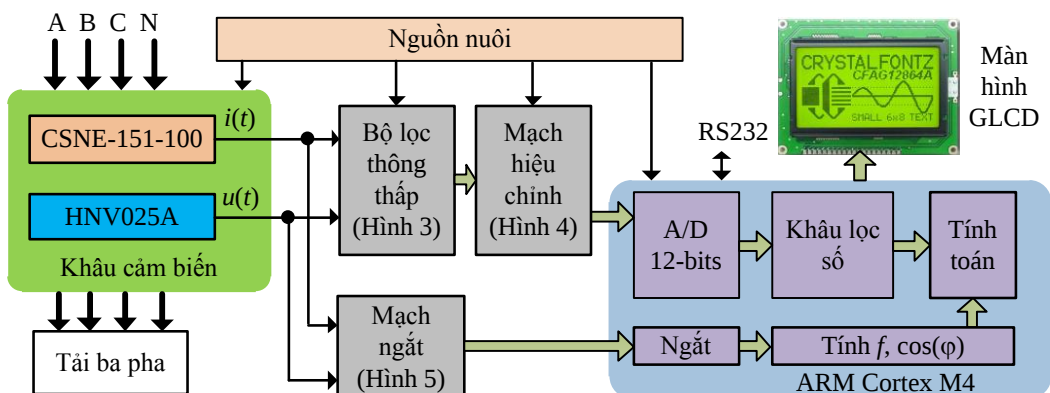
- Công suất tải đến 15 kW ;
- Điện áp: 220/380 V.

Thiết bị này có nhiệm vụ phân tích: tổng hài dòng và áp (THD_i , THD_u), các hài thành phần bậc 3, bậc 5 và dạng sóng cơ bản, hệ số công suất, tần số lưới; Phân tích sự lệch pha trên tải, tính toán dòng trung tính [4, 5]. Các yêu cầu về phân tích chất lượng điện năng phụ tải được thực hiện bởi công nghệ vi xử lý, xử lý tín hiệu số để phân tích. Thiết bị nhỏ gọn, dạng xách tay phù hợp cho việc kiểm tra lưu động. Thiết bị đã được chạy thử nghiệm và đánh giá sơ bộ hiệu quả trên tải thực tế.

Về cấu trúc bài báo, ngoài phần giới thiệu chung, trong phần 2 sẽ trình bày quá trình phân tích thiết kế phần cứng. Phần 3 là kết quả thiết kế phần mềm. Nội dung đánh giá kết quả và thử nghiệm được trình bày ở phần 4 của bài báo.

2. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ PHẦN CỨNG

2.1. Cấu trúc tổng quan của phần cứng



Hình 2. Sơ đồ tổng thể thiết bị phân tích chất lượng điện năng

Cấu trúc của thiết bị được mô tả như trên hình 1, cơ sở lựa chọn các thiết bị, linh kiện được kế thừa từ kết quả nghiên cứu trong [3]. Tín hiệu từ cảm biến được đưa tới bộ lọc thông thấp để lọc các thành phần hài bậc cao trước khi đưa tới các bộ chuyển đổi ADC của vi điều khiển MCU (*Micro Controller Unit*). Khâu xử lý số sẽ thực hiện tách lọc sóng bậc 1, sóng hài bậc 3, bậc 5 với chu kỳ lấy mẫu là $50\mu s$. Giao diện hiển thị của thiết bị sử dụng màn hình GLCD cho phép hiển thị đầy đủ các thông số một cách thuận lợi.

2.2. Thiết kế và cấu hình phần cứng

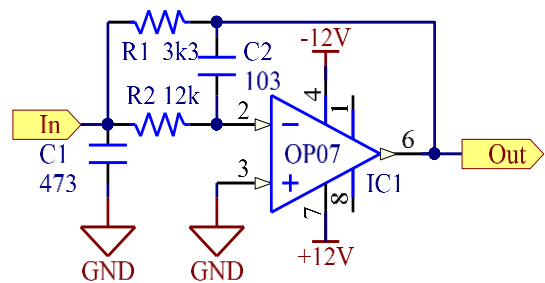
Phần cứng của thiết bị phân tích chất lượng điện năng bao gồm những khối chính:

- Khối xử lý trung tâm sử dụng vi điều khiển ARM STM32F407 [6]. Để thuận lợi cho việc hiệu chỉnh thiết bị ở đây chúng tôi sử dụng KIT phát triển STM32F4 Discovery. Đây là KIT đa năng có tích hợp sẵn bộ nạp ST-linkV2. Trung tâm của KIT là lõi xử lý ARM Cortex4 STM32F407VGT hoạt động ở tần số 168 MHz, 1 Mbyte bộ nhớ ROM, 192 Kbyte bộ nhớ RAM, 24 kênh ADC 12-bit,... Chíp hoạt động ở điện áp 3.3 V.



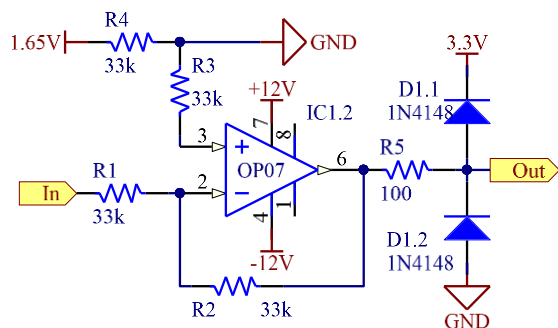
Hình 2. Kit STM32F407 Discovery

- Khối cảm biến dòng sử dụng cảm biến CSNE151-100 của Honeywell có độ chính xác $\pm 0,25\%$. Cảm biến điện áp sử dụng loại HNV025A với độ chính xác là $\pm 0,6\%$. Các tín hiệu dòng điện, điện áp tại đầu ra của cảm biến được đưa tới bộ lọc thông thấp để loại bỏ các hài bậc cao trước khi đưa tới các kênh ADC của MCU. Đây là bộ lọc bậc 2 có các tham số: tần số cắt $f_c = 1150$ Hz, hệ số dao động $D = 1$, chỉ số chất lượng $Q = 0,707$.



Hình 3. Bộ lọc thông thấp

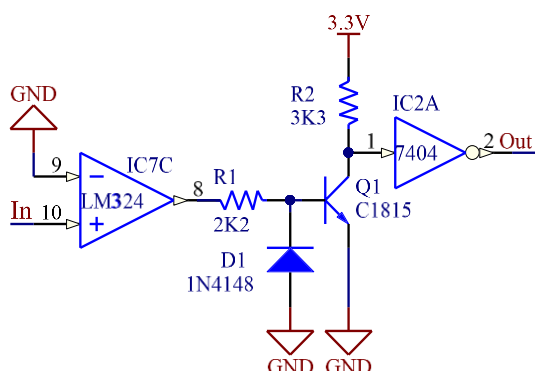
Tín hiệu sau khi qua bộ lọc là tín hiệu xoay chiều, để nối tín hiệu trên với kênh ADC cần phải thực hiện hiệu chỉnh tín hiệu xoay chiều thành tín hiệu có giá trị dương (hình 4).



Hình 4. Mạch hiệu chỉnh

Việc tính toán tần số cùng hệ số công suất dựa trên kết quả đo thời gian giữa hai sự kiện ngắt của tín hiệu dòng điện và ngắt của tín hiệu điện áp. Hình 5 là sơ đồ mạch

điện phát hiện điểm 0 của dòng và áp. Tín hiệu Triger tại đầu ra của mạch điện sẽ được đưa tới chân ngắt của MCU.



Hình 5. Mạch phát hiện điểm 0 của các tín hiệu dòng điện và điện áp

2.3. Cấu hình phần cứng

Cấu hình phần cứng thể hiện trong bảng 1. Có 6 kênh đo (điện áp, dòng điện) được kết nối với 6 kênh ADC 12-bit và 6 kênh ngắt như trong bảng 1.

Ngoài còn có các module chức năng khác như: loa chip, GLCD hiển thị dữ liệu, các phím chức năng điều khiển thiết bị, module giao tiếp theo chuẩn RS232...

Bảng 1. Cấu hình phần cứng kênh đo

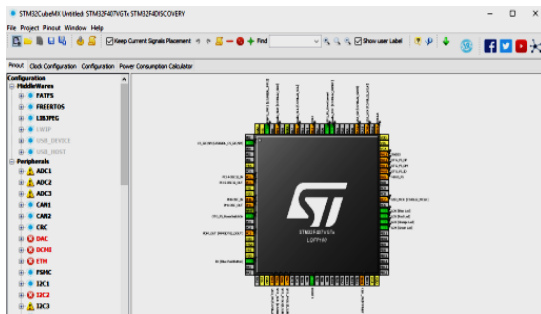
TT	Tín hiệu	Kênh	Chân
1	Điện áp pha A	AD12	PC2
2	Điện áp pha B	AD14	PC4
3	Điện áp pha C	AD8	PB0
4	Dòng điện pha A	AD11	PC1
5	Dòng điện pha B	AD1	PA1
6	Dòng điện pha C	AD9	PB1
7	Ngắt áp pha A	EXTI7	PE7

TT	Tín hiệu	Kênh	Chân
8	Ngắt áp pha B	EXTI9	PE9
9	Ngắt áp pha C	EXTI11	PE11
10	Ngắt dòng pha A	EXTI8	PE8
11	Ngắt dòng pha B	EXTI10	PE10
12	Ngắt dòng pha C	EXTI12	PE12

3. THIẾT KẾ PHẦN MỀM

Mã nguồn của thiết bị được phát triển theo trình biên dịch Keil C và công cụ hỗ trợ thiết lập hệ thống Cube-MX của Microelectronics [7]. Một chu kỳ tính toán sẽ thực hiện các công việc sau:

- Cho phép ngắt của tất cả 6 kênh (dòng, áp) để đo tần số và hệ số công suất. Tần số được đo bằng cách khi xảy ra ngắt của tín hiệu điện áp thì đọc giá trị của Timer9 sau đó reset giá trị thanh ghi này. Tần số xung Timer9 là 1 MHz. Như vậy tần số lưới được tính theo công thức $f = 10^6/x$. Trong đó x là giá trị thanh ghi của Timer. Tương tự như trên có thể tính được khoảng thời gian lệch giữa dòng điện và điện áp để quy ra hệ số công suất.
- Kết thúc quá trình tính toán tần số và hệ số công suất thì các sự kiện ngắt sẽ bị cấm, MCU sẽ chuyển sang đọc dữ liệu điện áp, dòng điện từng pha và thực hiện việc lọc số để tách các thành phần bậc 1, bậc 3 và bậc 5 trong tín hiệu điện áp/dòng điện. Tham số các bộ lọc số được lấy từ kết quả nghiên cứu trong [3]. Chu kỳ lấy mẫu và lọc số là $T = 50\mu s$ và được thực hiện bởi sự kiện ngắt của Timer10.



Hình 6. Cấu hình MCU bằng Cube-MX

Theo [2], quá trình quá độ của các bộ lọc kéo dài 0,25s tương ứng với 5000 chu kỳ xử lý. Để giảm bớt lượng lưu trữ chuỗi dữ liệu, MCU sẽ thực hiện phép lọc số trong 5000 chu kỳ đầu nhưng không lưu giữ dữ liệu. Bắt đầu từ chu kỳ thứ 5001 tới chu kỳ thứ 50400, MCU sẽ thực hiện xử lý lọc số và lưu giữ dữ liệu thành các chuỗi x_i (0) đến x_i (399) phục vụ cho việc tính các giá trị hiệu dụng của các thành phần hài và sóng cơ bản theo công thức [2]:

$$X_{hdi} = \sqrt{\frac{1}{100} \sum_{j=0}^{399} x_i^2(j)}$$

4. KẾT QUẢ CHẾ TẠO VÀ THỬ NGHIỆM

4.1. Kết quả chế tạo

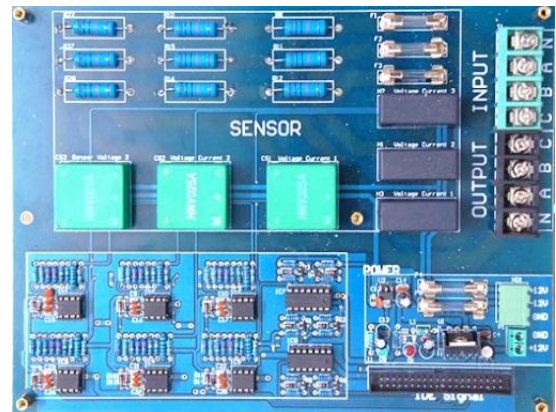


Hình 7. Mạch xử lý và hiển thị

Chúng tôi đã hoàn thành chế tạo thử nghiệm thiết bị phân tích chất lượng điện năng (hình 7, 8 và 9). Mạch hiển thị và xử lý bao gồm: KIT STM32F4 Discovery, khối màn hình GLCD 12864, khối phím chức năng và khối truyền thông nối tiếp theo chuẩn RS232.

Mạch đo lường bao gồm 3 cảm biến dòng điện và 3 cảm biến điện áp cùng với các mạch tiền xử lý (mạch lọc và mạch chuyển đổi) sử dụng vi mạch OP07 (hình 8) cho phép hạn chế sai lệch do điện áp offset gây nên.

Thiết bị hoàn thiện mô tả như trong hình 8. Toàn bộ thiết bị được đặt trong vỏ hộp xách tay cấp bảo vệ IP01 chống bụi, nước thuận lợi cho việc đo lường phân tích chất lượng điện năng.



Hình 8. Mạch đo lường

Thiết bị có một số chức năng cơ bản sau:

Phân tích chất lượng điện năng của từng pha: tổng hài, các thành phần hài bậc 3 bậc 5 và sóng cơ bản, hệ số công suất, tần số lưới.

- Phân tích sự lệch pha trên tải, tính toán dòng trung tính;

- Sử dụng công nghệ vi xử lý, xử lý tín hiệu số để phân tích.

Thiết bị dạng xách tay phù hợp cho việc kiểm tra lưu động. Kích thước sản phẩm 27x24,6x12,4 cm, trọng lượng 0,5 kg, tiện lợi, cơ động trong việc vận chuyển có khả năng chống nước, chịu bụi, chịu được cường độ cao trong môi trường công nghiệp.



Hình 9. Thiết bị phân tích chất lượng điện năng di động

4.2. Kết quả thử nghiệm

Điều kiện môi trường: Thử nghiệm trong môi trường bảo đảm các yêu cầu về quy phạm an toàn điện được ban hành và môi trường tiêu chuẩn quy định cho mỗi thiết bị và phép thử nghiệm.

Bối cảnh thực hiện: Thử nghiệm cùng một đối tượng đo, tiến hành cùng thời điểm với thiết bị đo chuyên dụng Fluke 437-II [8]. Tiến hành đo 3 thời điểm khác nhau, mỗi lần cách nhau 90 phút với tải điện trở 15 kW.



Hình 10. Giao diện hiển thị công suất và tần số trên màn hình GLCD

Giá trị được ghi trong bảng 2 là giá trị trung bình của các kết quả 3 lần đo. Hình 10 và hình 11 là kết quả đo trên 1 pha cho các tham số công suất, tần số và giá trị điện áp, cùng các thành phần hài bậc 3 và bậc 5 trên tải.



Hình 11. Giao diện hiển thị điện áp và các thành phần hài điện áp

Bảng 2. Kết quả thử nghiệm

Thông số	Kết quả trên sản phẩm	Trên thiết bị Fluke 437-II [8]
Điện áp pha, V	222,677	224,73
Sóng điện áp cơ bản, V	222,373	224,00
Sóng điện áp bậc 3, V	5,050	7,804

Thông số	Kết quả trên sản phẩm	Trên thiết bị Fluke 437-II [8]
Sóng điện áp bậc 5, V	5,870	6,905
Tổng độ méo điện áp	0,035	0,047
Dòng pha, A	1,994	2,015
Sóng dòng điện cơ bản, A	1,992	1,998
Sóng dòng điện bậc 3, A	0,041	0,072
Sóng dòng điện bậc 5, A	0,024	0,038
Tổng độ méo dòng điện	0,024	0,041
Tần số (f), Hz	49,882	49,861
Hệ số công suất (cosφ)	0,989	0,987
Công suất 1 pha (P), W	450,826	452,800

5. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

5.1. Kết luận

Kết quả đo thử nghiệm cho thấy:

- Thiết bị do chúng tôi chế tạo bước đầu đã thực hiện được cơ bản các phép đo và phân tích những thông số theo yêu cầu thiết kế. Sai số giữa các lần đo luôn ổn định sau 3 lần đo (sai số về dòng điện và điện áp dưới 1,5% và sai số công suất luôn dưới 3,5%).

- Sai số về điện áp bậc 3, bậc 5 của sản phẩm so với thiết bị đo chuyên dụng còn cao, điều này xuất phát từ các nguyên nhân: sai số của cảm biến, tần số trích mẫu xử lý chưa đủ lớn, quá trình hiệu chỉnh thiết bị chưa chính xác.

- Trong các phép đo thì phép đo tần số và hệ số công suất có độ chính xác cao nhất. Vì công đoạn đo tần số và hệ số công suất thực chất là việc đếm giá trị thanh ghi của Timer trong khoảng thời gian giữa các sự kiện ngắt. Với tần số xung cấp cho Timer có giá trị 84 MHz thì độ chính xác của phép đo tần số và hệ số công suất cao.

5.2. Hướng phát triển

- Cần sử dụng MCU có tốc độ cao ví dụ STM32F7 hoặc công nghệ xử lý tín hiệu số DSP (Digital signal processor) để tăng tần số lấy mẫu xử lý.
- Nghiên cứu sử dụng các cảm biến có độ chính xác cao để giảm sai số. Mở rộng thang đo sóng hài đến bậc 50 và nâng cấp thiết bị để có thể đo phụ tải 3 pha công suất đến 150 kW.
- Tích hợp màn hình TFF hiển thị dữ liệu dưới dạng bảng biểu, đồ thị một cách trực quan thuận lợi cho việc quan sát và đánh giá.
- Tích hợp máy in mini trên thiết bị.
- Tích hợp chức năng kết nối mạng internet theo công nghệ GPRS để tăng cường việc kết nối giám sát từ xa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trương Việt Anh (2005); Chế tạo thiết bị nâng cao chất lượng điện năng; *Đề tài khoa học cấp cơ sở*; Đại học Sư phạm kỹ thuật TP. HCM.
- [2] Nguyễn Quốc Trung; *Xử lý tín hiệu và lọc số* (2006); Tập 1, 2, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [3] Trịnh Trọng Chương, Quách Đức Cường (2017); *Nghiên cứu thiết kế thiết bị phân tích chất lượng điện năng*; Tạp chí Khoa học và Công nghệ Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Số 38, 02-2017, trang 130-136.
- [4] Jeremy Twaits; *Power Quality Monitoring and Analysis*; National Instruments UK and Ireland; 2011.
- [5] Roger Dugan, Surya Santoso, Mark McGranaghan, H. Beaty (2002); *Electrical Power Systems Quality*; McGraw-Hill Professional.
- [6] STMicroelectronics; Reference manual STM32F405xx, STM32F407xx, STM32F415xx and STM32F417xx advanced ARM-based 32-bit MCUs; www.st.com, 2011.
- [7] STMicroelectronics; User manual Description of STM32F4xx HAL; www.st.com, 2015.
- [8] Fluke Corporation; *Fluke 430 Series II Three-Phase Energy and Power Quality Analyzers*; Technical Data, 2013.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Quách Đức Cường tốt nghiệp Trường Bách khoa Hà Nội năm 2002, tốt nghiệp Thạc sĩ tại Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh năm 2008 và tốt nghiệp Tiến sĩ tại Đại học Khoa học và Kỹ thuật Hoa Trung (Vũ Hán, Hồ Bắc, Trung Quốc) năm 2013. Hiện đang là Trưởng Bộ môn Tự động hóa, Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: kỹ thuật điều khiển, thiết kế hệ thống nhúng, điện tử công suất và truyền động điện, hệ thống năng lượng tái tạo, hệ thống thu thập và xử lý dữ liệu, mạng cảm biến không dây.



Tác giả Trịnh Trọng Chương hiện đang công tác tại Viện Công nghệ HaUI, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội. Tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 1999, chuyên ngành hệ thống điện. Tốt nghiệp Thạc sĩ Kỹ thuật điện năm 2003 và Tiến sĩ Kỹ thuật Điện năm 2012 chuyên ngành hệ thống điện.

Lĩnh vực nghiên cứu chính hiện nay: tái cấu hình lưới điện phân phối, ổn định điện áp trong hệ thống điện, sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả.



Tác giả Nguyễn Nhất Tùng, tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2005, tốt nghiệp Thạc sĩ (2006) và Tiến sĩ (2009) chuyên ngành kỹ thuật điện tại Đại học Bách khoa Grenoble, cộng hòa Pháp. Hiện đang làm việc và nghiên cứu tại Trường Đại học Điện Lực Hà Nội, là Trưởng Bộ môn Nhà máy điện và Trạm biến áp - Khoa Kỹ thuật điện.

Lĩnh vực nghiên cứu hiện nay: nhà máy điện và đường dây truyền tải, thiết bị hạn chế dòng ngắn mạch, thiết bị điện, năng lượng bền vững và tiết kiệm năng lượng.



Tác giả Hà Văn Chiến hiện đang công tác tại Bộ môn Hệ thống điện, Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội. Tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2007, chuyên ngành hệ thống điện.

Hướng nghiên cứu hiện nay: chất lượng điện năng, vật liệu kỹ thuật điện.