

PHÂN TÍCH KINH TẾ KỸ THUẬT HỆ THỐNG ĐIỆN MẶT TRỜI MÁI NHÀ CHO HỘ GIA ĐÌNH TẠI HÀ NỘI

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF ROOFTOP PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR HOUSEHOLDS IN HANOI

Nguyễn Ngọc Văn, Nguyễn Hữu Đức

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 05/7/2025, Ngày chấp nhận đăng: 11/8/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu này tập trung vào việc xác định công suất lắp đặt tối ưu cho hệ thống điện mặt trời mái nhà nhằm đáp ứng hiệu quả nhu cầu tiêu thụ điện của hộ gia đình tại Hà Nội. Dựa trên dữ liệu bức xạ mặt trời thực tế, mức tiêu thụ điện trung bình của hộ gia đình, và biểu giá điện bậc thang hiện hành, nghiên cứu này tìm cách xác định công suất tối ưu của hệ thống điện mặt trời mái nhà dựa trên mô phỏng và tối ưu hóa bằng phần mềm HOMER. Kết quả cho thấy tùy thuộc mức tiêu thụ điện trung bình của hộ gia đình, có thể xác định giá trị công suất lắp đặt tối ưu của hệ thống điện mặt trời mái nhà mà tại đó chi phí đầu tư và hiệu quả kinh tế đạt mức cân bằng hợp lý cho hộ tiêu dùng điện điển hình tại Hà Nội.

Từ khóa:

Hệ thống điện mặt trời mái nhà, HOMER.

Abstract:

This study focuses on determining the optimal installed capacity of rooftop solar power systems to efficiently meet the electricity demand of households in Hanoi. Based on actual solar radiation data, average household electricity consumption, and the current tiered electricity pricing scheme, the study aims to identify the optimal system capacity through simulation and optimization using HOMER software. The results indicate that, depending on the average electricity consumption of a household, it is possible to determine an optimal installed capacity at which the investment cost and economic efficiency are reasonably balanced for a typical electricity consumer in Hanoi.

Keywords:

Rooftop photovoltaic systems, HOMER.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong bối cảnh nhu cầu tiêu thụ điện tại khu vực đô thị ngày càng tăng cao, đặc biệt là vào mùa hè, điện mặt trời mái nhà (ĐMTMN) có thể được xem là một trong những giải pháp thiết thực nhằm giảm áp lực cho lưới điện quốc gia, giảm chi phí

điện năng cho người tiêu dùng, đồng thời góp phần thực hiện các cam kết của Việt Nam nhằm đưa mức phát thải ròng về 0 vào năm 2050. Tại Hà Nội, với mật độ dân cư cao và mức tiêu thụ điện bình quân hộ gia đình thuộc nhóm dẫn đầu cả nước, việc triển khai có hiệu quả các hệ thống ĐMTMN là yêu cầu cấp thiết.

Một trong những thách thức trong đánh giá tính khả thi của hệ thống ĐMTMN là xác định công suất lắp đặt phù hợp để vừa đáp ứng nhu cầu tiêu thụ điện vừa đảm bảo hiệu quả kinh tế kỹ thuật [1]. Việc đánh giá xác định cần xét đến các yếu tố như sự thay đổi về bức xạ mặt trời, cơ cấu biểu giá điện hiện hành và sự đa dạng về nhu cầu tiêu thụ điện của các hộ gia đình.

Nghiên cứu này sử dụng phần mềm HOMER nhằm: 1) Xác định quy mô công suất PV tối ưu phù hợp với điều kiện bức xạ mặt trời và mức tiêu thụ điện của hộ dân tại Hà Nội đồng thời 2) Xác định chi phí đầu tư và thời gian hoàn vốn ứng với hệ thống ĐMTMN tối ưu cho hộ gia đình.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ MÔ HÌNH HỆ THỐNG

2.1. Phương pháp nghiên cứu

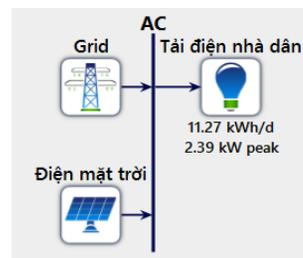
Nghiên cứu này thực hiện tính toán kinh tế kỹ thuật nhằm xác định công suất lắp đặt tối ưu của hệ thống điện mặt trời dựa trên phần mềm HOMER. Phần mềm này được phát triển bởi Phòng Thí nghiệm năng lượng tái tạo quốc gia Hoa Kỳ (National Renewable Energy Laboratory - NREL) – là công cụ mô phỏng và tối ưu hóa các hệ thống năng lượng phân tán được ứng dụng rộng rãi trên toàn thế giới. HOMER cho phép người dùng thiết kế cấu hình hệ thống phù hợp bằng cách phân tích các tổ hợp thiết bị khác nhau (PV, ắc quy lưu trữ, lưới điện...) dưới các điều kiện kỹ thuật, tài chính cụ thể và đưa ra phương án cấu hình tối ưu với chi phí hiện tại thuần (NPC) nhỏ nhất [2].

Tại Việt Nam, HOMER đã được sử dụng trong một số nghiên cứu đánh giá tiềm năng hệ thống PV tại các khu công nghiệp, vùng nông thôn, hoặc khu vực hải đảo [3], [4]. Tuy nhiên, các nghiên cứu tập trung tối ưu hệ thống ĐMTMN cho hộ gia đình tại khu vực đô thị như Hà Nội với các ràng buộc về nhu cầu phụ tải hộ gia đình, và cơ cấu biểu giá điện vẫn còn hạn chế.

2.2 Mô hình hệ thống

Hệ thống điện mặt trời đề xuất được mô hình hóa và mô phỏng bằng phần mềm HOMER thông qua mô phỏng chuỗi thời gian hàng giờ trong suốt vòng đời 25 năm. HOMER phân tích hoạt động hệ thống theo từng giờ, so sánh năng lượng mặt trời khả dụng với nhu cầu tải, xác định phần năng lượng tái tạo dư thừa, và tính toán các chỉ tiêu kinh tế. Các chỉ số đầu ra chính gồm chi phí hiện tại thuần (NPC), chi phí điện quy dẫn (LCOE) và lượng điện mua từ lưới hàng năm.

Cấu hình hệ thống năng lượng khi xét đến hệ thống ĐMTMN được thể hiện như Hình 1. Hệ thống năng lượng gồm hệ thống ĐMTMN (gồm các mảng PV và bộ biến đổi), lưới điện và tải tiêu thụ điện hộ gia đình.



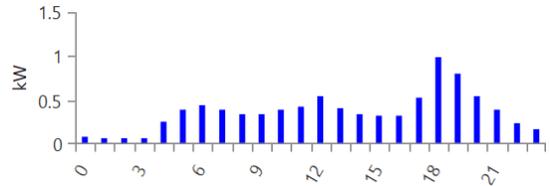
Hình 1. Mô hình hệ thống

3. TRƯỜNG HỢP NGHIÊN CỨU VÀ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

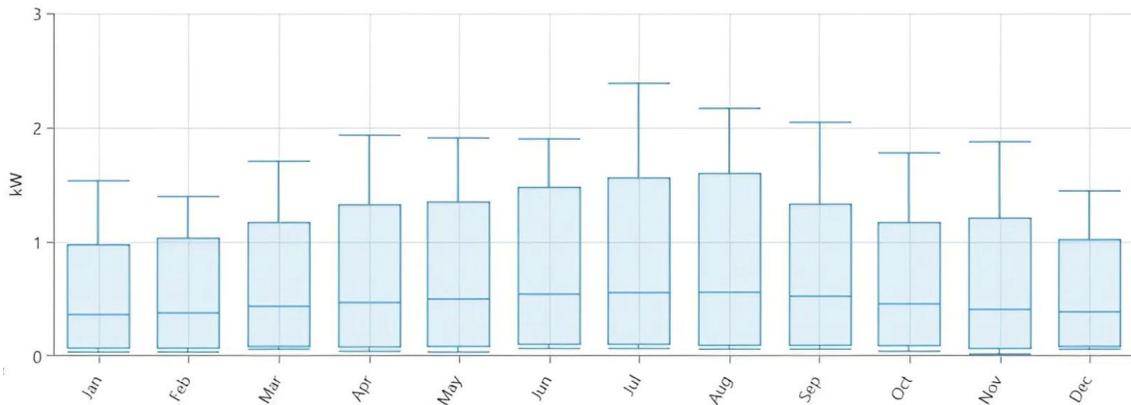
3.1. Đồ thị phụ tải

Đồ thị phụ tải được sử dụng trong nghiên cứu là phụ tải hộ gia đình điển hình tại Hà Nội (Hình 2). Đồ thị gồm 3 đỉnh: buổi sáng khoảng từ 6h-7h, buổi trưa khoảng từ 11h-12h và buổi tối khoảng từ 18h-20h. Đặc tính tải điển hình của hộ gia đình theo thời

điểm trong ngày và biến động tải hàng tháng được thể hiện tương ứng trong Hình 2 và Hình 3.



Hình 2. Đồ thị phụ tải ngày hộ gia đình



Hình 3. Biến động tải theo tháng

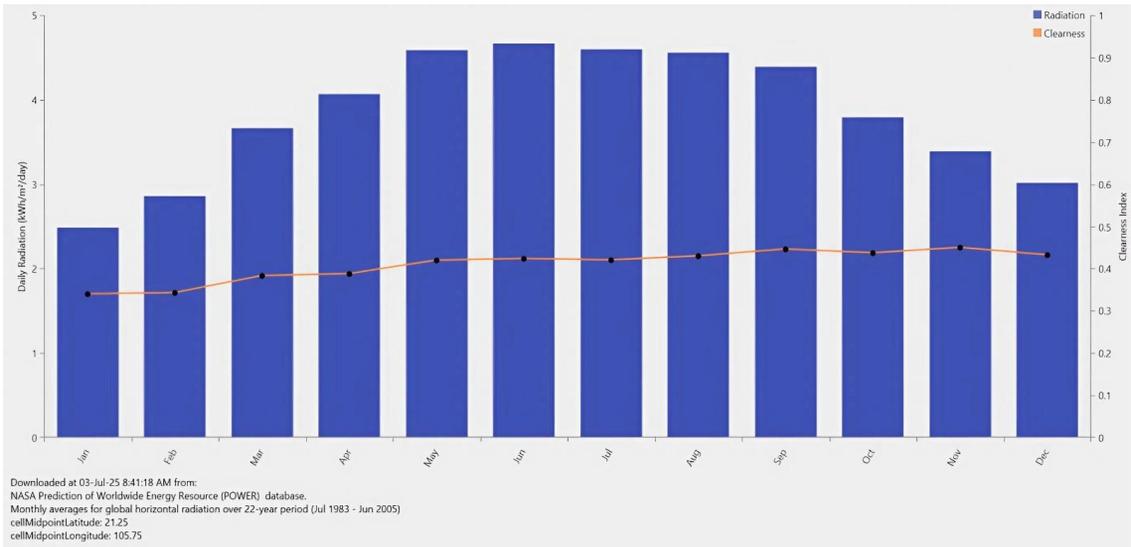
Nghiên cứu sẽ áp dụng cho nhiều mức tiêu thụ điện năng khác nhau của hộ gia đình từ mức 400 kWh/tháng đến 2000 kWh/tháng với mục đích tính toán công suất lắp đặt hệ thống điện mặt trời mái nhà tối ưu tương ứng với mức tiêu thụ của hộ gia đình.

3.2. Dữ liệu bức xạ mặt trời và chỉ số độ trong bầu khí quyển

Bức xạ tại Hà Nội được lấy từ cơ sở dữ liệu của NASA được thu thập trong khoảng thời gian 22 năm từ 1983-2005. Giá trị trung bình của bức xạ mặt trời tại tọa độ nghiên cứu (21o1.7'N, 105o50.0'E) là 3,84 kWh/m²/ngày và chỉ số độ trong của bầu khí quyển là 0,409 (Bảng 1, Hình 4).

Bảng 1. Bức xạ mặt trời và chỉ số độ trong bầu khí quyển

Tháng	Chỉ số độ trong	Bức xạ hàng ngày (kWh/m ² /ngày)
1	0,340	2,490
2	0,343	2,860
3	0,383	3,660
4	0,387	4,070
5	0,419	4,590
6	0,423	4,670
7	0,420	4,600
8	0,430	4,560
9	0,446	4,390
10	0,437	3,790
11	0,450	3,390
12	0,432	3,020
Trung bình	0,409	3,84



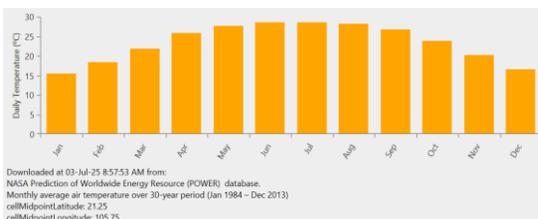
Hình 4. Bức xạ mặt trời và chỉ số độ trong của bầu khí quyển

3.3. Dữ liệu nhiệt độ

Nhiệt độ ảnh hưởng đến hiệu suất của hệ thống điện mặt trời. Nhiệt độ tại Hà Nội được thu thập từ cơ sở dữ liệu NASA trong khoảng thời gian 30 năm từ 1984-2013. Dữ liệu nhiệt độ tại địa điểm nghiên cứu được thể hiện như trong Bảng 2 và Hình 5.

Bảng 2. Dữ liệu nhiệt độ trung bình

Tháng	Nhiệt độ (°C)	Tháng	Nhiệt độ (°C)
1	15,530	7	28,480
2	18,290	8	28,110
3	21,730	9	26,690
4	25,790	10	23,750
5	27,660	11	20,120
6	28,520	12	16,470



Hình 5. Nhiệt độ trung bình các tháng trong năm

3.4. Hệ thống điện mặt trời

Hệ thống điện mặt trời trong nghiên cứu này gồm các tấm pin mặt trời và inverter hòa lưới bám tải không lưu trữ, không phát lên lưới. Tuổi thọ của hệ thống 25 năm. Hệ số suy hao của hệ thống là còn lại 80% sau 25 năm.

Theo nghiên cứu [5], được công bố vào năm 2020, chi phí đầu tư cho 1 kWp ĐMTMN tại Việt Nam nằm trong khoảng từ 850-1200 USD/kWp (22-31 triệu VNĐ). Tuy nhiên đến thời điểm gần đây, chi phí này đã giảm đáng kể về mức 360-440 USD/kWp (9-11 triệu VNĐ) [6]. Do đó trong nghiên cứu này, giả thiết chi phí đầu tư của hệ thống ĐMTMN hoàn chỉnh là 10.000.000 VNĐ/kWp, chi phí thay thế 0 VNĐ/kWp và chi phí vận hành bảo trì 0 VNĐ/năm. Các tham số đầu vào được thể hiện trong Hình 6.

Hình 6. Tham số đầu vào hệ thống điện mặt trời

3.5. Dữ liệu giá điện

Giá điện cho hộ gia đình được tính theo biểu giá điện sinh hoạt 6 bậc theo Quyết định số 1279/QĐ-BCT ngày 09/05/2025 của Bộ Công Thương [7] (Bảng 3). Dữ liệu về giá điện là cơ sở để tính thời gian hoàn vốn của hệ thống.

Bảng 3. Biểu giá điện sinh hoạt áp dụng cho hộ gia đình

Bậc	Mức tiêu thụ (kWh)	Giá bán điện (VNĐ/kWh)
1	0 - 50	1984
2	51 - 100	2050

3	101 – 200	2380
4	201 – 300	2998
5	301 – 400	3350
6	Từ 401 kWh trở lên	3460

Để nhập dữ liệu giá điện vào HOMER, trong nghiên cứu này, giá điện được mô hình hóa đơn giản trên cơ sở tính giá điện trung bình ứng với các mức tiêu thụ điện của hộ gia đình. Theo đó, nghiên cứu này xét mức tiêu thụ điện điển hình của hộ gia đình trong tháng từ 400-2500 kWh. Giá điện trung bình ứng với các mức tiêu thụ điện được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Giá điện trung bình ứng với các mức tiêu thụ khác nhau

Điện năng tiêu thụ (kWh)	Bậc 1	Bậc 2	Bậc 3	Bậc 4	Bậc 5	Bậc 6	Tổng tiền điện (VNĐ)	Giá điện trung bình (VNĐ)
400	50	50	100	100	100	0	1.149.600	2.874
700	50	50	100	100	100	300	2.270.700	3.244
1000	50	50	100	100	100	600	3.391.740	3.392
1300	50	50	100	100	100	900	4.512.780	3.471
1600	50	50	100	100	100	1200	5.633.820	3.521
1900	50	50	100	100	100	1500	6.754.860	3.555
2200	50	50	100	100	100	1800	7.875.900	3.580
2500	50	50	100	100	100	2100	8.996.940	3.599

3.6. Công suất lắp đặt tối ưu

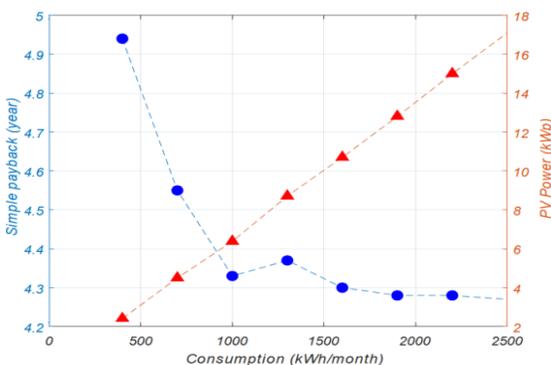
HOMER tính toán công suất lắp đặt hệ thống ĐMTMN tối ưu tương ứng với từng mức tiêu thụ của hộ gia đình. Bảng 5 thể

hiện sản công suất tối ưu của hệ thống ĐMTMN, sản lượng điện mặt trời, lượng điện năng không được phát lên lưới, chi phí đầu tư và thời gian hoàn vốn.

Bảng 5. Công suất lắp đặt hệ thống điện mặt trời tối ưu

Điện năng (kWh/tháng)	Công suất PV tối ưu (kW)	Sản lượng PV (kWh/năm)	Sản lượng thừa (kWh/năm)	Sản lượng thực dùng (kWh)	Tiết kiệm (VNĐ/năm)	Chi phí đầu tư (VNĐ)	Thời gian hoàn vốn (năm)
400	2,41	2556	857	1699	4.883.181	24.100.000	4,94
700	4,50	4780	1731	3049	9.890.520	45.000.000	4,55
1000	6,38	6771	2429	4342	14.726.935	63.800.000	4,33
1300	8,71	9250	3506	5744	19.939.545	87.100.000	4,37
1600	10,70	11352	4289	7063	24.869.794	107.000.000	4,30
1900	12,80	13631	5213	8418	29.927.585	128.000.000	4,28
2200	15,00	15966	6180	9786	35.033.435	150.000.000	4,28
2500	17,10	18124	7007	11117	40.007.593	171.000.000	4,27

Hình 7 thể hiện công suất lắp đặt hệ thống ĐMTMN tối ưu và thời gian hoàn vốn tùy theo mức tiêu thụ điện năng trung bình của hộ gia đình.



Hình 7. Công suất lắp đặt PV tối ưu và thời gian hoàn vốn theo lượng điện năng tiêu thụ

Nhận thấy khi lượng sử dụng điện càng lớn thì nên lắp đặt công suất của hệ thống điện mặt trời lớn hơn. Thời gian hoàn vốn cho

hệ thống điện mặt trời lắp đặt cho hộ gia đình tại Hà Nội là trong khoảng từ 4-5 năm. Kết quả này cũng khá đồng nhất với thời gian hoàn vốn của hệ thống ĐMTMN không có lưu trữ trong nghiên cứu [8] [9].

4. KẾT LUẬN

Việc lắp đặt hệ thống điện mặt trời áp mái cho hộ gia đình là một giải pháp hiệu quả để giảm chi phí điện năng và tăng tính chủ động về nguồn năng lượng. Với điều kiện bức xạ mặt trời trung bình tại Hà Nội và nhu cầu tiêu thụ điện ngày càng tăng, hệ thống ĐMTMN có khả năng cung cấp một phần đáng kể nhu cầu điện sinh hoạt.

Kết quả mô phỏng cho thấy, khi đầu tư hệ thống ĐMTMN có công suất phù hợp với mức tiêu thụ điện, hộ gia đình có thể:

- Tiết kiệm chi phí điện năng hàng tháng, đặc biệt với các hộ sử dụng nhiều điện vào ban ngày.
- Rút ngắn thời gian hoàn vốn xuống còn khoảng 4–5 năm, trong khi hệ thống có tuổi thọ 20–25 năm.
- Tận dụng được các chính sách khuyến khích của nhà nước như không cần

giấy phép xây dựng, thủ tục phòng cháy chữa cháy.

- Ngoài ra, hệ thống còn góp phần giảm phát thải CO₂ phù hợp với mục tiêu kinh tế kỹ thuật và môi trường.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả chân thành gửi lời cảm ơn sự hỗ trợ của Công ty TNHH Giải pháp Lưới điện Thông minh SES trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Phương Trường, Trần Minh Bằng, Lợi Nguyễn Phúc Ân, Nguyễn Tấn Hòa, "Phân tích kinh tế cho hệ thống điện mặt trời trên mái nổi lưới tại thành phố Thủ Dầu Một, tỉnh Bình Dương," Tạp Chí Khoa Học Và Công Nghệ - Đại Học Đà Nẵng UD-JST, vol. 11, no. 120, pp. 132–136, Jan. 2017.
- [2] P. V. Minh, S. Le Quang, and M.-H. Pham, "Technical Economic Analysis of Photovoltaic-Powered Electric Vehicle Charging Stations under Different Solar Irradiation Conditions in Vietnam," Sustainability, vol. 13, no. 6, p. 3528, Mar. 2021, doi: 10.3390/su13063528.
- [3] Đàm Khánh Linh and Vũ Minh Pháp, "Nghiên cứu giải pháp nâng cao hiệu quả cung cấp điện mặt trời tại đảo An Bình, tỉnh Quảng Ngãi," Tạp Chí Khoa Học Và Công Nghệ Năng Lượng - Trường Đại Học Điện Lực, vol. 33, pp. 55–66, Oct. 2023.
- [4] Nguyễn Hữu Hiếu, Phạm Văn Quang, and Bùi Văn Ga, "Tối ưu hóa mô-đun sản xuất điện tái tạo hòa lưới kết hợp mặt trời-gió-sinh khối ở Đảo Cù Lao Chàm," Tạp Chí Khoa Học Và Công Nghệ - Đại Học Đà Nẵng UD-JST, vol. 22, no. 11A, pp. 25–31, Nov. 2024.
- [5] T. T. Lan, S. Jirakiattikul, M. S. Chowdhury, D. Ali, L. D. Niem, and K. Techato, "The Effect of Retail Electricity Price Levels on the FI Values of Smart-Grid Rooftop Solar Power Systems: A Case Study in the Central Highlands of Vietnam," Sustainability, vol. 12, no. 21, p. 9209, Nov. 2020, doi: 10.3390/su12219209.
- [6] Celine Luu, "Vietnam considers differential solar rates for north," Vietnam Investment Review - the Ministry of Finance, Hanoi, July 29, 2024. [Online]. Available: <https://vir.com.vn/vietnam-considers-differential-solar-rates-for-north-113098.html>
- [7] "Quyết định số 1279/QĐ-BCT của Bộ Công thương: Quy định về giá bán điện." Bộ Công thương, Oct. 05, 2025. [Online]. Available: <https://vanban.chinhphu.vn/?pageid=27160&docid=213617>
- [8] T. N. Thanh, P. V. Minh, K. Duong Trung, and T. D. Anh, "Study on Performance of Rooftop Solar Power Generation Combined with Battery Storage at Office Building in Northeast Region, Vietnam," Sustainability, vol. 13, no. 19, p. 11093, Oct. 2021, doi: 10.3390/su131911093.
- [9] P. N. Tham, T. D. Thuy, P. K. Nam, and E. Papyrakis, "Policy uncertainty, public perception, and the preferences for rooftop solar power systems: A choice experiment study in Vietnam," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 208, p. 115067, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.rser.2024.115067.



Giới thiệu tác giả:

TS. Nguyễn Ngọc Văn tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ Kỹ thuật điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội và nhận bằng Tiến sĩ ngành Kỹ thuật Năng lượng tại Trường Đại học Điện lực. Hiện nay tác giả công tác tại Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu chính: Năng lượng tái tạo, Tích trữ năng lượng, Xe điện và Trạm sạc xe điện, Tích hợp các nguồn phân tán.



PGS. TS. Nguyễn Hữu Đức tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ Kỹ thuật điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội và nhận bằng Tiến sĩ tại Đại học Kỹ thuật Berlin (TU Berlin) năm 2014. Hiện nay tác giả công tác tại Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu chính: Năng lượng tái tạo, Tích hợp các nguồn Năng lượng tái tạo, Hệ thống điều khiển phân tán, Tích trữ năng lượng, Xe điện, Chính sách phát triển

Năng lượng tái tạo.