

MỘT CÁCH TIẾP CẬN MỚI ĐỂ QUẢN LÝ CÁC THIẾT BỊ ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT ĐƯỢC TÍCH HỢP TRONG MẠNG LƯỚI TRUYỀN TẢI VÀ PHÂN PHỐI ĐIỆN NĂNG

Nguyễn Tiên Dũng*

Trường Đại học Lương Thế Vinh, Số 9 Đường Cầu Đông, Phường Nam Định, Tỉnh Ninh Bình, Việt Nam

* Tác giả liên hệ: nguyentieldung@ltvu.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận: 03/03/2026
Ngày hoàn thiện: 18/03/2026
Ngày chấp nhận: 26/03/2026
Ngày đăng: 31/03/2026

TỪ KHÓA

Mạng lưới truyền tải và phân phối điện năng,
Bộ điều chỉnh PID,
Mạng nơ-ron nhân tạo,
Học tăng cường,
Thiết bị điện tử công suất.

TÓM TẮT

Bài báo đánh giá thực trạng phổ biến của các thiết bị điện tử công suất được tích hợp trong mạng lưới truyền tải và phân phối điện năng theo yêu cầu của các phụ tải và đòi hỏi cải thiện chất lượng của điện năng, đặc biệt khi các nguồn điện năng có được từ năng lượng tái tạo đang ngày càng được tích hợp vào lưới truyền tải và phân phối điện năng. Phân tích đánh giá các cách quản lý lưới truyền tải và phân phối điện năng: quản lý theo cách truyền thống; quản lý theo cách ứng dụng máy học; quản lý theo cách kết hợp. Phân tích ưu nhược điểm của từng phương pháp và rút ra kết luận về cách tiếp cận mới trong quản lý lưới truyền tải và phân phối điện năng là cách kết hợp PID-Rgulators cổ điển với Mạng nơ-ron nhân tạo với cách tiếp cận "Học tăng cường", để duy trì được nguồn cung cấp điện năng chất lượng cao trong bối cảnh gia tăng liên tục mức tiêu thụ điện năng.

A NEW APPROACH TO MANAGING POWER ELECTRONICS INTEGRATED INTO POWER TRANSMISSION AND DISTRIBUTION NETWORKS

Tien Dung Nguyen*

Luong The Vinh University, 9 Cau Dong Street, Nam Dinh Ward, Ninh Binh Province, Viet Nam

*Corresponding Author: nguyentieldung@ltvu.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: Mar 03, 2026
Revised: Mar 18, 2026
Accepted: Mar 26, 2026
Published: Mar 31, 2026

KEYWORDS

Power Transmission and Distribution Network,
PID-Regulators,
Artificial Neural Networks,
Intensive training,
Power Electronics Devices.

ABSTRACT

This paper assesses the current state of power electronic devices integrated into power transmission and distribution networks to meet load demands and improve power quality, especially as renewable energy sources are increasingly integrated into these networks. It analyzes and evaluates various power transmission and distribution grid management approaches: traditional management; machine learning-based management; and hybrid management. The advantages and disadvantages of each method are analyzed, and conclusions are drawn regarding a new approach to power transmission and distribution grid management: combining classical PID-Rgulators with Artificial Neural Networks using a "Reinforcement Learning" approach to maintain high-quality power supply in the context of continuously increasing power consumption.

1. Đặt vấn đề

Đầu thế kỷ 21 được đánh dấu bằng những khám phá đáng kinh ngạc trong các lĩnh vực: điện tử; khoa học máy tính; điều khiển học; và robot. Các nhà máy công nghiệp; phương tiện giao thông; trang thiết bị kỹ thuật quân sự; phòng thí nghiệm; đô thị; cơ sở giáo dục và đào tạo; v.v., đang cho thấy sự tràn ngập các thiết bị điện tử với nhiều mục đích và với nhiều mức công suất khác nhau, bao gồm cả những thiết bị tiêu thụ điện với dòng điện tiêu thụ phi tuyến tính. Do đó, gánh nặng tăng tải tiêu thụ điện năng đối với mạng lưới truyền tải và phân phối điện năng (Power Transmission and Distribution Network “PTDN”) là ngày càng tăng.

“PTDN” sẽ không còn được coi là tốt với việc chỉ duy trì các chỉ số chất lượng điện năng cao ở mức điện năng tiêu thụ trung bình cao. “PTDN” chỉ được coi là tốt khi thỏa mãn: bù đắp được cho sự mất cân bằng tải và các thành phần công suất phản kháng; thích ứng với những thay đổi tải (theo mùa - theo ngày - các thay đổi động khác) trong mô hình tiêu thụ điện năng; đảm bảo cung cấp điện năng chất lượng cao cho các tải tiêu thụ điện năng ở xa các nhà máy điện. Những vấn đề này thường được giải quyết bằng cách lắp đặt các thiết bị điện tử công suất (Power Electronics Devices “PED”) trong “PTDN”.

“PED” thiết bị chuyển đổi công suất điện theo các cách khác nhau nhằm cải thiện chất lượng điện năng trong một phân đoạn cụ thể của “PTDN”. Quyết định sử dụng loại “PED” nào sẽ tùy thuộc bản chất của tải tiêu thụ điện năng và trạng thái của chính “PTDN”, “PED” có thể là thiết bị cân bằng [2]; bộ bù công suất phản kháng [3]; thiết bị lưu trữ điện năng [4]; các thiết bị chuyển đổi điện tử công suất khác. Việc sử dụng “PED” giúp cải thiện chất lượng điện năng theo tiêu chí: nâng các chỉ số chất lượng điện năng lên các giá trị chuẩn hóa khi không cần nâng cấp đáng kể các cơ sở hạ tầng của “PTDN” hiện hữu. Điều này, đến lượt “PED”, cho phép hiện đại hóa theo kế hoạch và tập trung của tổ hợp “PTDN” cho dù với bất kể các vấn đề gì của từng phân đoạn riêng lẻ của “PTDN”.

Tuy nhiên, ở giai đoạn phát triển hiện nay của “PED” còn những hạn chế đáng kể: chi phí chế tạo tương đối cao; chất lượng chưa hoàn toàn đáp ứng được các nhiệm vụ cần giải quyết (như: bù công suất phản kháng; khắc phục sự bất đối xứng của “PTDN”; v.v). Việc giảm chi phí và cải thiện hiệu suất của “PED” sẽ mở ra khả năng sử dụng rộng rãi hơn các “PED”, qua đó tăng các chỉ số chất lượng điện năng và thúc đẩy sự phát triển bền vững của “PTDN” quốc gia.

“PED” của bất kỳ nào cũng có thể chia thành: phần điện động lực và hệ thống quản lý. Phần điện động lực là bao gồm tất cả các thành phần vật lý bảo đảm việc truyền tải điện năng từ nguồn điện động lực đến tải tiêu thụ điện năng. Hệ thống quản lý, về phía nó, đảm bảo thu thập và xử lý thông tin từ các cảm biến, tạo ra các tác động quản lý để quản lý phần điện động lực của “PED” và hỗ trợ trao đổi dữ liệu với các hệ thống quản lý ở cấp cao hơn (như trung tâm điều độ lưới điện khu vực hoặc quốc gia; các điểm làm việc tự động tại các trạm biến áp).

Hiện nay, các phần tử công suất của phần điện động lực của các loại “PED” chính đã được nghiên cứu và phát triển khá chi tiết. Tuy nhiên, ngay cả những nghiên cứu và phát triển chuyên sâu phần điện động lực cũng chỉ mang lại những cải thiện tương đối nhỏ về các chỉ tiêu chất lượng

(hiệu suất; chất lượng khi đáp ứng tức thời; v.v) điện năng của “PED”. Hơn nữa, cũng có thể nhận thấy đã và đang xảy ra sự chậm trễ trong nghiên cứu phát triển các khóa bán dẫn công suất (được coi là yếu tố cốt lõi của hầu hết các loại “PED”).

Ngược lại với phần điện động lực thì hệ thống quản lý của “PED” lại được cải thiện đáng kể bằng cách sử dụng những tiến bộ mới nhất trong lĩnh vực: khoa học toán học và thông tin; các cách tiếp cận mô hình hóa máy tính [5]; công nghệ mạng “neural” với sự tăng cường khả năng tiếp cận cho các chuyên gia trong nhiều lĩnh vực khác nhau.

2. Mục tiêu nghiên cứu và phương pháp nghiên cứu

Mục tiêu nghiên cứu là có thể đề xuất một cách tiếp cận mới trong quản lý vận hành lưới điện truyền tải và phân phối điện năng với thực trạng như đã nêu.

Phân tích những tiến bộ về Mạng nơ-ron nhân tạo và ứng dụng của nó để Regulators, qua đó xem xét khả năng ứng dụng trong quản lý lưới điện với cách tiếp cận “Học tăng cường” mạnh mẽ; Phân tích sâu tính phi tuyến tính của các loại Thiết bị điện tử công suất được tích hợp trong lưới điện; xem xét cách tiếp cận chính hiện có trong quản lý lưới điện, đề xuất một cách tiếp cận mới để thiết lập một hệ thống quản lý có tính kết hợp những ưu điểm của hai “Regulators” nêu trên.

3. Nội dung và kết quả nghiên cứu

3.1. Quản lý theo cách “PID-Regulators” cổ điển

Cách tiếp cận chính để quản lý mọi quy trình công nghệ bất kỳ, đặc biệt hoạt động của “PID-Regulators” của “PED” đã được nghiên cứu sâu và sử dụng rộng rãi. Nhiệm vụ của “PID-Regulators” là duy trì một vài thông số của “PED” (thí dụ, điện áp đầu ra của “PED”) ở một mức xác định. “PID-Regulators” tính toán ra tín hiệu quản lý là tín hiệu tổng của ba thành phần sai lệch của biến được quản lý: thành phần tỷ lệ (P); thành phần tích phân (I); và thành phần vi phân (D), và tạo ra tác động quản lý lên đối tượng được quản lý. Một bộ “PID-Regulators” có cấu hình đúng là duy trì giá trị được quản lý ở mức xác định trong chế độ tĩnh và nhanh chóng đưa giá trị này trở về giới hạn mong muốn khi chịu tác động của các loại nhiễu loạn.

Biểu thức toán học mô tả hoạt động của “PID-Regulators” có dạng như sau:

$$u(t) = K_p u(t) + K_i \int_0^T e(t) dt + K_d de(t)/dt.$$

Ở đây

K_p ; K_i ; K_d là các hệ số số của các thành phần tỷ lệ;

tích phân; và vi phân của “Regulators” tương ứng;

$e(t)$ là giá trị tức thời của sai lệch của giá trị được điều chỉnh so với giá trị cho trước.

Bằng cách điều chỉnh các hệ số số, tốc độ phản ứng của “PID-Regulators” đối với những thay đổi đột ngột của giá trị được quản lý sẽ được điều chỉnh sao cho giá trị được quản lý có dao động không đổi trong chế độ tĩnh.

“PID-Regulators” là công cụ mạnh quản lý hệ thống bất kỳ nào, trong đó có “PED”. Thành phần vi phân cho phép điều chỉnh nhanh phản ứng một cách nhanh nhất với sai lệch lớn; thành phần tỷ lệ giảm thiểu hiện tượng vượt ngưỡng (tối thiểu hóa độ quá chỉnh); thành phần tích phân đảm bảo sự quản lý ổn định ở chế độ tĩnh.

Tuy được dùng phổ biến, cách tiếp cận này vẫn có một số nhược điểm:

+ Thứ nhất, việc cài đặt “PID-Regulator” cho hệ thống phi tuyến tính — quá trình phức tạp; lặp đi lặp lại. Không thể tính toán tất cả các tính năng của một hệ thống thực khi thực hiện tính toán và mô hình hóa, bởi vậy cần phải có bước cài đặt tinh cho bộ điều chỉnh trên thiết bị thực tế trước khi đưa vào vận hành.

+ Thứ hai, “PID-Regulators” cổ điển không thể thay đổi được các hệ số khi điều kiện vận hành thay đổi. Do đó, khi chế độ làm việc của “PTDN” thay đổi và khi các thành phần và linh kiện bị già hóa thì hiệu suất của “PID-Regulators” cổ điển sẽ giảm sút.

+ Thứ ba, đối với mỗi hệ thống cụ thể thì cần phải cài đặt riêng cho “PID-Regulators” tương ứng. Điều này đặc biệt đúng cho bước cài đặt tinh trên thiết bị thực tế. Bởi vậy, như là một nguyên tắc, không thể có cấu hình “PID-Regulators” duy nhất cho khả năng quản lý tất cả các thiết bị cùng loại.

Để giải quyết vấn đề này, nhiều cách tiếp cận khác nhau được sử dụng, như thuật toán tính chọn hệ số; “PID-Regulators” tự cài đặt; “Regulators” logic mờ; v.v. Tuy nhiên, không có cách tiếp cận nào trong số này có thể khắc phục hoàn toàn những hạn chế của “PID-Regulators” cổ điển.

Dù đã được tập trung nghiên cứu phát triển, nhưng cho đến nay vẫn chưa xuất hiện một cách tiếp cận thay thế hoàn hảo nào, vừa bảo đảm có được sự đơn giản và linh hoạt của “PID-Regulators” cổ điển, lại vừa dễ cài đặt và vận hành hơn.

3.2. Quản lý theo cách “Artificial Neural Networks (ANN)”

Hiện nay, gắn liền với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ “neural” là khả năng ứng dụng máy học vào nhiều lĩnh vực kỹ thuật khác nhau, trong đó có hệ thống quản lý đang được nghiên cứu phát triển nhanh [6].

Cơ sở cho ứng dụng của “ANN” vào hệ thống quản lý nằm ở bản chất của “ANN”, “ANN” như là một bộ xấp xỉ phổ quát. Nhờ kiến trúc linh hoạt và khả năng thích ứng của “ANN”, nên “ANN” cho phép xác định được các hàm điều khiển có tính đúng với hầu hết bản chất và độ phức tạp của giá trị (đối tượng) được quản lý. Thí dụ, thậm chí ngay cả với một “ANN” có kiến trúc đơn giản (là mạng truyền thẳng, trong đó thông tin chỉ được truyền đi theo một hướng và không tồn tại kết nối tuần hoàn), thì cũng có khả năng xấp xỉ các mối quan hệ phụ thuộc phi tuyến tính phức tạp của tín hiệu quản lý của “PED” vào các giá trị được đo lường khác nhau: dòng điện và điện áp tại các nút của phần điện động lực của thiết bị; tích phân và vi phân chúng.

Tuy nhiên, để triển khai thành công công nghệ “Neural Networks” trong từng hệ thống quản lý của “PED” riêng rẽ thì việc chỉ đơn giản là thay thế “Regulators” bằng “Neural Networks” sẽ là chưa đúng và chưa đủ, vì một “Neural Networks” chưa được huấn luyện sẽ không thể đạt được hiệu suất của “PID-Regulators” đã được cài đặt tinh chỉnh xác. Việc huấn luyện (hay còn gọi là đào tạo) “Neural Networks” là cần thiết, để thực hiện được việc này thì cần một lượng lớn dữ liệu, gồm: các mảng giá trị đã đo lường được (thí dụ, dòng điện; điện áp); mảng giá trị các tín hiệu đầu ra; mảng giá trị trạng thái hệ thống tương ứng. Tất nhiên, dữ liệu lớn như vậy là không thể thu thập một cách liên tục trong mạng, lượng dữ liệu thu thập được sẽ chỉ là rất ít và chúng hầu như không có dữ liệu của nhiều; cấu trúc và tính hoàn hảo.

Do đó, cách duy nhất cho phép sử dụng hiệu quả “ANN” trong hệ thống quản lý “PED” (được tích hợp vào “PTDN”) là cách tiếp cận “Học tăng cường”. Thuật toán này cho phép hệ thống “ANN” trong “PED” được huấn luyện lặp đi lặp lại trên mô hình máy tính, không cần đầu tư thiết bị đắt tiền. Bằng cách “Thử-Sai” này cho một hệ thống quản lý, sau một số lần “Thử-Sai” xác định thì hệ thống quản lý này sẽ được đưa vào vận hành với đặc tính: hệ số “Độ tò mò” của nó sẽ có giá trị nhất định và đã được giảm bớt nhiều một cách nhân tạo, đủ để nó hoạt động ổn định theo thuật toán “Học

tăng cường” trước đó.

3.3. Quản lý theo cách “Hệ thống Quản lý kết hợp”

Như vậy, hệ thống quản lý “Neural Network” là một hướng phát triển tốt và có những ưu điểm hơn so với “Regulators” cổ điển, nhưng nó cũng có những thuộc tính nhược điểm, như: không có tính hội tụ; rất phức tạp trong thu thập dữ liệu; cần phải đào tạo mô hình mô phỏng của “PED”.

Tuy nhiên, nếu kết hợp hệ thống quản lý cổ điển với hệ thống quản lý “ANN” sẽ tạo ra một hệ thống quản lý mới cho “PED” có nhiều ưu điểm hơn so với từng hệ thống quản lý riêng rẽ. Hệ thống quản lý mới này sẽ kết hợp trong nó: “Học tăng cường” mạnh mẽ và nguyên lý tinh chỉnh “Neural Networks” của các hệ số của “PID-Regulators” cổ điển.

“Học tăng cường” mạnh mẽ cho phép loại bỏ một trong những nhược điểm đáng kể của “ANN” bộc lộ rõ rệt khi sử dụng nó vào các thiết bị công nghiệp, đó là nhược điểm: thiếu tính hội tụ được đảm bảo của hàm quản lý. Nói chung, dạng chính xác của hàm quản lý được “Xấp xỉ” bởi “ANN” thì thường không biết rõ (hệ thống như thế thì được gọi là “Hộp đen”), nên không thể khẳng định rằng, hàm “Xấp xỉ” này không mâu thuẫn với luật quản lý cần thiết nào trong một số mạch. “Học tăng cường” mạnh mẽ gợi ý cho sự chuyển sang một luật quản lý ổn định (mặc dù không tối ưu) trong trường hợp đầu ra của “ANN” hình thành một tác động vượt quá giới hạn cho trước, điều này cho phép nâng cao độ tin cậy của hệ thống lên mức tin cậy của “Regulators” cổ điển, đồng thời vẫn giữ được tính linh hoạt của hệ thống “Neural Networks” và loại bỏ nhu cầu tính toán và cài đặt tinh một cách thủ công cho các hệ số số.

Việc thay sự quản lý “Neural Networks” trực tiếp bằng sự quản lý “Neural Networks” gián tiếp, trong đó “ANN”, thay vì tự tạo ra các tác động quản lý (tác động điều khiển) của chính nó thì nó lại tạo ra các hệ số của “PID-Regulator”, điều này cho phép tăng đáng kể sự Học (huấn luyện) của “ANN” và đơn giản hóa hình thành các hàm được sử dụng khi Học của “ANN”.

4. Thảo luận

Chủ đề nâng cao tính hiệu quả quản lý các thiết bị điện tử công suất được tích hợp ở mức cao trong lưới truyền tải và phân phối điện năng (có tính đến đa dạng nguồn cung điện năng) đã và đang là một vấn đề được sự quan tâm lớn của các nhà khoa học trên toàn thế giới. (Công trình được thực hiện trong khuôn khổ dự án “Phát triển và nghiên cứu hệ thống quản lý mạng “neural” thích ứng cho nguồn điện liên tục cho mạng lưới có tải phi tuyến tính” với sự hỗ trợ tài trợ từ Đại học năng lượng Moskva để thực hiện chương trình nghiên cứu khoa học “Ưu tiên 2030: Công nghệ của Tương lai” trong giai đoạn 2024-2026.). Hội thảo đi đến kết luận rằng, cần phải ứng dụng những tiến bộ về khoa học kỹ thuật mới nhất (trong đó có AI) như là một cách tiếp cận mới trong Quản lý và vận hành lưới truyền tải và phân phối điện năng, đặc biệt ở những vùng tập trung nhiều nhà máy công nghiệp lớn (nơi tồn tại nhiều loại thiết bị điện tử công suất).

5. Kết luận

Để đảm bảo tính phát triển bền vững của “PTDN” thì một vấn đề quan trọng là phải nâng cao tính khả dụng và chất lượng làm việc của các loại “PED”, trong “PED” thì thành phần quan trọng nhất là hệ thống quản lý “MS” (Management System).

Việc phát triển và sử dụng cách tiếp cận kết hợp để quản lý “PED” sẽ kết hợp được những ưu điểm của cả “MS” cổ điển và “Neural Networks MS”, qua đó: giảm chi phí và rút ngắn

thời gian phát triển các “PED” mới; đơn giản hóa các bước cài đặt tinh và đưa vào vận hành. Các “PED” được trang bị “MS” kết hợp này sẽ có khả năng thích ứng với các chế độ vận hành thay đổi của “PTDN”, với nguyên nhân chính là sự bổ sung tải tiêu thụ điện năng và sự già hóa vật lý gây ra thay đổi thông số kỹ thuật của các linh kiện. Một “MS” kết hợp được phát triển cho loại “PED” nhất định với tập các giá trị đầu vào và các tác động đầu ra nhất định thì có thể sử dụng cho tất cả các “PED” cùng loại, không cần cài đặt thêm, tức “MS” mang tính phổ quát.

Như vậy, cách tiếp cận kết hợp để quản lý “PED” là cách kết hợp “PID-Regulators” cổ điển với “ANN” và “Học tăng cường” mạnh mẽ. Cách tiếp cận này hứa hẹn sẽ được triển khai trong các thiết bị được tích hợp vào “PTDN”, qua đó cho phép duy trì nguồn cung cấp điện năng chất lượng cao trong bối cảnh gia tăng liên tục mức tiêu thụ điện năng.

6. Tài liệu tham khảo

[1] Регулирование тока в многофазных двигателях с расщеплёнными обмотками при обрыве цепи управления силовым ключом / М. М. Лашкевич, К. Г. Федорова, А. Юсеф [и др.] // Вестник Московского энергетического института. 2024. № 4.С.11–20.DOI

10.24160/1993–6982–2024–4-11–20. EDN RFFJXY.

[2] Анализ влияния симметрирующих устройств на режимы работы распределительных сетей / А. М. Эльхоли, Д. И. Панфилов, М. Г. Асташев [и др.] // Электротехника.2024. № 6. С. 2–16. DOI 10.53891/00135860–2024–6-2–16. EDN KKVRBO.

[3] Системы управления полупроводниковыми регуляторами мощности в распределительных сетях / П. А. Рашитов, М. Г. Асташев, Д. И. Панфилов [и др.] // Электротехника. 2024. № 6. С. 25–33.DOI 10.53891/00135860–2024–6-25–33.EDN DXLN XU.

[4] Pawletta, Thorsten & Bartelt, Jan. (2023). Integration of Reinforcement Learning and Discrete Event Simulation Using the Concept of Experimental Frame.

[5] R. Krasnoperov, D. Bukin, D. Kuzenev and A. Mukhin, «Implementation of Low-Level Control Systems for Power Converters Based on Adaptive Artificial Neural Networks», 2025 IEEE 26th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), Altai, Russian Federation, 2025, pp. 940–944, doi: 10.1109/EDM65517.2025.11096867.