

## HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THÔNG MINH CHO CÁC MÔ HÌNH LƯỚI ĐIỆN VI MÔ CÔNG NGHIỆP VỚI MỨC ĐỘ TÍCH HỢP Ở MỨC CAO CỦA CÁC NGUỒN ĐIỆN NĂNG TỪ NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO

Nguyễn Tiến Dũng\*

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

\* Tác giả liên hệ: nguyentindung@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

Năng lượng tái tạo,  
Điều khiển thông minh,  
Chất lượng điện năng,  
Lưu trữ năng lượng,  
Dự báo thích ứng,

### TÓM TẮT

Lưới điện vi mô công nghiệp (industrial microgrid) là một hệ thống năng lượng cục bộ có khả năng tự chủ, vận hành độc lập hoặc kết nối với lưới điện lớn. Trong bối cảnh chuyển đổi năng lượng 4.0, việc tích hợp cao các nguồn năng lượng tái tạo (RES) như điện mặt trời, điện gió đặt ra nhiều thách thức cho việc điều khiển và vận hành lưới điện vi mô, đặc biệt là trong lĩnh vực công nghiệp là nơi tải tiêu thụ nhạy cảm với sụt áp, méo hài, dao động tần số và mất ổn định nguồn cung. Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết và các vấn đề thực tiễn trong thiết kế hệ thống điều khiển thông minh cho lưới điện vi mô công nghiệp. Các khối chức năng chính bao gồm: cân bằng công suất tác dụng và phản kháng, đảm bảo chất lượng điện năng, duy trì độ ổn định và độ tin cậy. Bài báo nhấn mạnh vai trò của dự báo thích ứng, trí tuệ nhân tạo, ưu tiên tải, lưu trữ năng lượng và điều khiển đa cấp. Kết luận rút ra rằng, hiệu quả của lưới điện vi mô công nghiệp không chỉ phụ thuộc vào tỷ lệ năng lượng tái tạo mà quan trọng hơn là mức độ phối hợp thông minh giữa dự báo, điều độ, lưu trữ và bảo vệ tải trọng yếu. Hệ thống điều khiển thông minh thực sự là chìa khóa để cân bằng giữa ổn định kỹ thuật, hiệu quả kinh tế và bền vững môi trường.

## AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR INDUSTRIAL MICROGRID ODELS WITH A HIGH LEVEL OF INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Tien Dung Nguyen\*

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

\*Corresponding Author: nguyentindung@ltvu.edu.vn

### ARTICLE INFO

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

### KEYWORDS

Renewable energy,  
Intelligent control,  
Power quality,  
Energy storage,  
Adaptive forecasting.

### ABSTRACT

An industrial microgrid is a localized energy system capable of autonomous operation, functioning either independently or in connection with a larger power grid. In the context of the Energy 4.0 transition, the high integration of renewable energy sources (RES) such as solar and wind power poses numerous challenges for the control and operation of microgrids, particularly in the industrial sector where loads are sensitive to voltage sags, harmonic distortion, frequency fluctuations, and supply instability. This paper presents the theoretical foundation and practical issues in the design of intelligent control systems for industrial microgrids. The main functional blocks include active and reactive power balancing, power quality assurance, and stability and reliability maintenance. The paper emphasizes the role of adaptive forecasting, artificial intelligence, load prioritization, energy storage, and multi-layer control. It concludes that the effectiveness of an industrial microgrid depends not only on the share of renewable energy but, more importantly, on the degree of intelligent coordination among forecasting, dispatching, storage, and critical load protection. An intelligent control system is truly the key to balancing technical stability, economic efficiency, and environmental sustainability.

## 1. Mở đầu

Lưới điện vi mô công nghiệp (còn gọi là lưới điện siêu nhỏ công nghiệp), Hình 1 là một hệ thống năng lượng điện cục bộ có đặc điểm: có cấu trúc lưới điện riêng trong một khu vực cụ thể; có khả năng tự chủ trong hoạt động. Một hệ thống như vậy sẽ có nguồn phát điện riêng, bao gồm cả các nguồn năng lượng tái tạo, như điện mặt trời; điện gió, và nó có khả năng đáp ứng nhu cầu của các tải tiêu thụ điện năng ở mức cao điểm. Hệ thống lưới điện vi mô này chính là một phiên bản thu nhỏ của hệ thống cung cấp điện năng tập trung, được thiết kế để tăng độ tin cậy cung cấp điện năng; tang tính độc lập về năng lượng điện thông qua đa dạng hóa các nguồn cung điện năng và giảm chi phí cho thanh toán hóa đơn tiêu thụ điện năng.



**Hình 1:** Minh họa Lưới điện vi mô công nghiệp

Lưới điện vi mô đã tồn tại từ khi bắt đầu quá trình điện khí hóa xã hội. Trong thế kỷ 20, lưới điện vi mô đã xuất hiện ở các khu vực xa xôi nhằm phục vụ công đồng dân cư phân tán. Nguyên nhân phải sử dụng lưới điện vi mô là để cung cấp điện năng có hiệu quả nhất về chi phí cho những địa điểm dân cư xa xôi mà việc xây dựng đường dây truyền tải điện năng đến nhưng điểm dân cư đó là không thể hoặc quá tốn kém. Trong những thập kỷ gần đây, các khía cạnh mới đã xuất hiện làm cho việc sử dụng lưới điện vi mô không còn là chỉ cho các điểm cư dân xa xôi nữa. Công ty Navigant Research là Công ty chuyên cung cấp số liệu thống kê hàng quý về các dự án lưới điện siêu nhỏ có kết nối lưới điện lớn và lưới điện siêu nhỏ từ rất xa trong các giai đoạn lập kế hoạch phát triển của sáu khu vực địa lý khác nhau. Kể từ năm 2018, Navigant Research đã xác định được hơn 240 dự án lưới điện siêu nhỏ với tổng công suất hơn 1.239 MW. Theo tính toán, lưới điện siêu nhỏ từ rất xa chiếm gần 40% tổng công suất lưới điện siêu nhỏ trên toàn cầu (7604,4MW). Lưới điện siêu nhỏ địa phương chiếm một phần khiêm tốn trong tổng số lưới điện siêu nhỏ ở các nước phát triển.

Trong những năm gần đây, giữa bối cảnh nhu cầu năng lượng điện trên toàn cầu ngày càng tăng và những thách thức môi trường ngày càng nghiêm trọng, dẫn đến mức tiêu thụ điện năng đã tăng nhanh hơn sản lượng điện năng. Sự phát triển trong ngành phát điện năng đang diễn ra theo hai hướng: sản xuất điện năng có tính tập trung và phân tán (bao gồm cả các nguồn năng lượng tái tạo (Renewable Energy Sources - RES). Năng lượng tái tạo, với tư cách là năng lượng sạch; hiệu quả; bền vững, đã được sử dụng rộng rãi trên toàn thế giới. Lưới điện thông minh cung cấp kỹ thuật hỗ trợ cho việc sử dụng hiệu quả các nguồn năng lượng tái tạo và giải quyết các thách thức về giải bài toán cung - cầu điện năng.

## 2. Cơ sở lý thuyết điều khiển lưới điện siêu nhỏ

Năng lượng tái tạo là một phần thiết yếu của quá trình chuyển đổi năng lượng 4.0 và sự phát triển bền vững của ngành điện lực. Lưới điện thông minh có thể tích hợp và quản lý năng lượng tái tạo tốt hơn, đồng thời góp phần vào sự phát

triển bền vững của ngành năng lượng.

Nghiên cứu sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo trong lưới điện thông minh nhằm mục đích tối ưu hóa việc lập kế hoạch hoạt động của hệ thống cung cấp điện năng. Bằng cách dự báo; phân phối; và quản lý năng lượng tái tạo thì có thể giảm sự phụ thuộc vào năng lượng truyền thống; giảm lượng khí thải cacbon; và cải thiện hiệu quả cũng như độ tin cậy của hệ thống cung cấp điện năng.

Sự biến động và bất ổn của khí hậu sẽ làm ảnh hưởng lớn đến chất lượng của năng lượng tái tạo, điều này đặt ra những thách thức cho hệ thống cung cấp điện năng. Giải quyết vấn đề này bằng cách xây dựng hệ thống cung cấp điện năng thông minh, hệ thống này có thể cân bằng sự biến động của sản lượng năng lượng tái tạo; tăng khả năng phục hồi và tính linh hoạt của hệ thống cung cấp điện năng, thông qua điều độ thông minh; công nghệ lưu trữ điện năng và phản ứng tích cực với nhu cầu tiêu thụ điện năng.

Cơ sở lý thuyết điều khiển lưới điện siêu nhỏ thường được xây dựng xung quanh một số khối liên kết với nhau. Khối đầu tiên liên quan đến sự cân bằng công suất tác dụng với công suất phản kháng. Với tỷ lệ cao của năng lượng tái tạo trong lưới điện siêu nhỏ thì việc duy trì sự cân bằng công suất này sẽ không tuyến tính nữa, vì sản lượng điện năng không chỉ thay đổi theo lịch trình mà còn chịu ảnh hưởng của các yếu tố thời tiết. Khối thứ hai liên quan đến chất lượng điện năng: đối với người tiêu dùng công nghiệp thì hiện tượng: sụt áp; méo hài; quá tải; dao động tần số, là rất đáng quan tâm và chúng ảnh hưởng rõ đến chất lượng hoạt động công nghiệp. Khối thứ ba gồm các vấn đề về tính ổn định; độ tin cậy, tức là khả năng của lưới điện siêu nhỏ duy trì được hoạt động trong các trường hợp khẩn cấp; chuyển mạch; chế độ đảo. Chính sự kết hợp của các khối này đã định hình nên sự hiểu biết hiện đại về một chế độ làm việc hiệu quả mà không chỉ đơn thuần là giảm thiểu chi phí.

Các chế độ làm việc của lưới điện siêu nhỏ có thể gồm: chế độ nối lưới, chế độ này lưới điện siêu nhỏ được đồng bộ hóa với lưới điện bên ngoài; chế độ tự chủ, trong đó việc điều khiển vận hành lưới điện siêu nhỏ được thực hiện bằng cách sử dụng các nguồn lực riêng của bản thân nó.

Đối với các doanh nghiệp công nghiệp thì chế độ tự chủ của lưới điện siêu nhỏ sẽ có giá trị lớn, vì chế độ này làm tăng tính độc lập về năng lượng và tăng khả năng phục hồi của các quy trình công nghệ quan trọng. Tuy nhiên, việc chuyển đổi chế độ làm việc của lưới điện siêu nhỏ không phải là nhiệm vụ đơn giản mà khá phức tạp. Nó không chỉ yêu cầu sự chuyển mạch của các mạch mà còn phải tính đến sự phối hợp nhanh chóng của tần số; điện áp; tải; và dự trữ điện năng. Vì lý do này, các đánh giá về phương pháp điều khiển lưới điện siêu nhỏ thường nhấn mạnh đến tầm quan trọng của kiến trúc đa cấp, trong đó các vòng điều khiển cục bộ được kết hợp với sự thông minh cấp cao hơn.

## 3. Thách thức thực tiễn và yêu cầu điều khiển thông minh

Dự báo cũng đóng vai trò quan trọng trong lý thuyết điều khiển. Với sự tích hợp cao của các nguồn năng lượng tái tạo, độ chính xác dự báo trở thành yếu tố quan trọng trong chất lượng điều khiển. Dự báo không chỉ cần thiết cho sản xuất điện năng từ mặt trời và gió, mà còn cho mức tiêu thụ điện năng; dung lượng lưu trữ; định tài dự kiến; và khả năng thiếu điện năng. Việc sử dụng công cụ trí tuệ nhân tạo trong lĩnh vực này có vẻ đặc biệt phù hợp vì nó thuận cho việc xét các mối quan hệ phi tuyến tính; tính mùa vụ; và dữ liệu đầu vào thay đổi nhanh chóng. Các ấn phẩm về quản lý năng lượng trong cộng

## HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THÔNG MINH CHO CÁC MÔ HÌNH LƯỚI ĐIỆN VI MÔ CÔNG NGHIỆP VỚI MỨC ĐỘ TÍCH HỢP Ở MỨC CAO CỦA CÁC NGUỒN ĐIỆN NĂNG TỪ NĂNG

đồng lưới điện siêu nhỏ đã chỉ ra rằng, các thuật toán phân tích dự đoán có thể cải thiện độ chính xác của quyết định và giảm sự không chắc chắn trong quy hoạch điện năng.

Do đó có thể cho rằng, nền tảng lý thuyết để quản lý các chế độ làm việc của lưới điện vi mô công nghiệp khi có sự tích hợp cao của các nguồn năng lượng tái tạo là phải dựa trên sự kết hợp giữa các nguyên tắc kỹ thuật điện cổ điển với các phương pháp mới của kỹ thuật số. Độ tin cậy; cân bằng công suất; tính ổn định; và chất lượng điện năng, vẫn luôn là nền tảng. Nhưng với tỷ lệ cao trong tích hợp của các nguồn năng lượng tái tạo thì điều khiển thông minh sẽ trở lên vô cùng quan trọng. Chính hệ thống điều khiển thông minh sẽ liên kết: việc dự báo; tự động hóa; sự thích ứng; các nguồn lực phân tán, thành một hệ thống duy nhất có khả năng duy trì hoạt động hiệu quả và ổn định của lưới điện vi mô công nghiệp.

Trong thực tế, bất kỳ sự sai lệch nào trong điều kiện vận hành của lưới điện vi mô công nghiệp đều ảnh hưởng đến quá trình sản xuất. Trong lĩnh vực dân dụng thì sự dao động tải thường chỉ đơn giản là thay đổi tải tiêu thụ điện năng (lịch trình tải thay đổi), còn trong lĩnh vực công nghiệp thì hoàn toàn khác. Ở đây, các điều kiện vận hành được liên kết với các động cơ điện; trạm bơm; máy nén; lò nung; thông gió; và dây chuyền tự động. Vì thế, một hệ thống điều khiển thông minh không chỉ xem xét các thông số của nguồn phát điện năng và lưới điện mà còn phải xét đến độ nhạy của quá trình đối với các tải cụ thể. Trong hệ thống có năng lượng tái tạo được tích hợp cao, khả năng của hệ thống trong việc chủ động: xác định nguy cơ thiếu điện năng; phân phối lại dòng chảy năng lượng; và duy trì nguồn cung cấp điện năng một cách ổn định mà không làm gián đoạn sản xuất, là đặc biệt quan trọng.

Thực tế cho thấy rằng, thách thức chính nằm ở tính chất biến đổi của việc sản xuất điện năng từ năng lượng tái tạo. Điện năng mặt trời phụ thuộc: bức xạ mặt trời; độ che phủ của mây; và các yếu tố theo mùa. Điện năng gió, thậm chí còn dễ bị biến động hơn nhiều. Với lưới điện vi mô công nghiệp, những điều này có nghĩa là lưới điện vi mô công nghiệp hoạt động không thể chỉ dựa trên một lịch trình cố định. Cần có một mô hình thích ứng, trong đó: các quyết định được đưa ra phải dựa trên các phép đo lường hiện tại theo thời gian thực; dự báo và các kích bản phản ứng được xác định trước. Nghiên cứu sử dụng năng lượng tái tạo trong lưới điện thông minh chỉ ra rằng, hiệu quả của việc tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo phụ thuộc trực tiếp vào chất lượng phối hợp giữa sản xuất và lưu trữ điện năng với sự biến động của tải tiêu thụ điện năng, cũng như độ chính xác của các thuật toán điều khiển theo thời gian thực. Từ góc nhìn thực tiễn, một hệ thống điều khiển thông minh thường phải giải quyết được một số nhóm nhiệm vụ. Thứ nhất, nó phải dự báo được tải và sản lượng điện năng được tạo ra từ năng lượng tái tạo. Thứ hai, nó xác định được chế độ tối ưu cho việc lưu trữ điện năng. Thứ ba, nó điều khiển sự tương tác với lưới điện bên ngoài; tính chọn được thời điểm có lợi nhất để lấy điện năng từ lưới điện bên ngoài và thời điểm sử dụng các nguồn điện năng địa phương. Thứ tư, nó điều khiển tốt việc giới hạn hoặc phân phối lại một phần tải thứ cấp trong khoảng thời gian tải cao điểm. Cách tiếp cận này đặc biệt quan trọng đối với các doanh nghiệp có sự biến động mạnh về tải tiêu thụ điện năng trong ngày, nơi mà tải cao điểm trùng về thời gian với sản lượng điện năng địa phương giảm đi. Việc ứng dụng các thuật toán trí tuệ nhân tạo trong các

nhiệm vụ dự báo và điều khiển sẽ giúp giảm thiểu sai sót trong việc ra quyết định và giảm số lượng các tình huống không mong muốn trong quá trình vận hành vẫn được duy trì với độ trễ nhất định.

Một vấn đề trong thực tế cần đặc biệt quan tâm là việc lựa chọn cấu trúc lưới điện siêu nhỏ công nghiệp. Đối với các cơ sở công nghiệp thì các giải pháp kỹ thuật dựa trên AC và cấu trúc kết hợp sử dụng các phần AC và DC thì đều khả thi. Sự lựa chọn nào chủ yếu phụ thuộc thành phần tải tiêu thụ điện năng; loại nguồn điện phân tán; sự tồn tại thiết bị lưu trữ điện năng; và các yêu cầu đối với công nghệ chuyển đổi. Các đánh giá về thiết kế lưới điện siêu nhỏ đều cho rằng, không tồn tại giải pháp phổ quát. Trong thiết kế đề xuất thì cấu trúc mạng ban đầu được điều chỉnh để phù hợp với bản chất của sản xuất công nghiệp; hồ sơ tiêu thụ điện năng; và đặc điểm của các nguồn điện năng cục bộ, điều này sẽ bảo đảm tính ổn định trong hoạt động của lưới điện vi mô công nghiệp. Kinh nghiệm cho thấy rằng, một lỗi xảy ra ở giai đoạn thiết kế cấu trúc sẽ dẫn đến tổn thất tăng lên; thuật toán điều khiển sẽ phải phức tạp hơn; và suy giảm tính linh hoạt tổng thể của hệ thống lưới điện vi mô công nghiệp.

Vấn đề ưu tiên phục vụ của lưới điện vi mô công nghiệp cũng đóng vai trò quan trọng. Trong một cơ sở công nghiệp, không phải tất cả các tải tiêu thụ điện năng đều có tầm quan trọng như nhau. Thiết bị chu kỳ liên tục; hệ thống an toàn; bộ điều khiển; và các bộ truyền động quan trọng, phải được ưu tiên cung cấp điện năng. Những tải tiêu thụ điện năng ít nhạy cảm thì có thể tạm thời chuyển sang chế độ hạn chế cung cấp điện năng. Trong trường hợp này, hệ thống điều khiển thông minh không chỉ hoạt động như một bộ điều chỉnh các thông số điện năng mà còn là một cơ chế phân cấp hoạt động. Nó xếp hạng các tải tiêu thụ điện năng; đánh giá trữ lượng điện năng lưu trữ, từ đó chọn kích bản cắt tải (chấp nhận được) tiêu thụ điện năng và kiểm soát các yếu tố quan trọng nhất của chuỗi quy trình. Đây là nơi số hóa có tác động thực tiễn lớn nhất, vì các quyết định không được đưa ra một cách thủ công, mà phải dựa trên logic được đào tạo trước kết hợp với dữ liệu vận hành theo thời gian thực.

### 4. Lựa chọn cấu trúc và ưu tiên tải trong lưới điện vi mô công nghiệp

Việc triển khai các hệ thống lưới điện vi mô công nghiệp với các đặc điểm nêu trên sẽ gắn liền với vấn đề “Độ tin cậy”. Chỉ riêng tỷ lệ cao trong hệ thống của các nguồn năng lượng tái tạo sẽ chính là nguyên nhân độ tin cậy cung cấp điện năng của hệ thống này giảm đi, thậm chí nếu không được quản lý cẩn thận sẽ có thể làm trầm trọng thêm vấn đề điện năng bất ổn. Do đó, hiệu quả thực của lưới điện vi mô công nghiệp không được xác định bởi số lượng tấm pin mặt trời hoặc các nguồn tái tạo khác được kết nối, mà được quyết định bởi mức độ phối hợp giữa tất cả các yếu tố. Mô hình hiệu quả nhất dường như là mô hình, trong đó các nguồn điện năng từ năng lượng tái tạo được bổ sung vào việc thực hiện cung cấp điện năng, sẽ từ các thiết bị lưu trữ điện năng tái tạo; hệ thống điều chỉnh nhanh; và thuật toán dự đoán. Sự kết hợp này làm giảm đi sự biến động công suất nguồn; giảm tải cho lưới điện bên ngoài; và duy trì cấu trúc cung cấp điện năng có tính dễ dự đoán hơn cho doanh nghiệp.

Một vấn đề nữa liên quan đến khía cạnh kinh tế của lưới điện vi mô công nghiệp, đó là đối với lưới điện này thì điều khiển thông minh rất quan trọng không chỉ để ổn định kỹ thuật mà còn để kiểm soát chi phí. Các thuật toán có thể tính chọn ra một số kịch bản: chẳng hạn sử dụng điện năng được lưu trữ

trong khoảng thời gian cao điểm của phụ tải; tạm thời tăng thời gian chạy máy phát điện dự phòng hoặc ngược lại; chấp nhận điện năng từ lưới điện bên ngoài nếu tùy chọn này có lợi hơn và an toàn hơn. Kết quả là điều khiển thông minh trở thành công cụ không chỉ để ổn định cung cấp điện năng mà còn để tối ưu hóa theo hai mục tiêu: ổn định và kinh tế. Trong bối cảnh này, giá trị của các nền tảng kỹ thuật số để tích hợp: giám sát; dự báo; điều độ; và phân tích hệ thống, trong một khuôn khổ ra quyết định duy nhất là đặc biệt đáng quan tâm.

Cuối cùng, các khía cạnh thực tế của việc quản lý lưới điện vi mô công nghiệp cho các doanh nghiệp công nghiệp cho thấy rằng, việc tích hợp ở mức cao đối với các nguồn điện năng được sinh ra từ năng lượng tái tạo không đòi hỏi những điều chỉnh cục bộ mà chỉ là sự tái cấu trúc hệ thống logic cung cấp điện năng. Dự báo; Phân phối lại tài nguyên thích ứng; ưu tiên tải tiêu thụ điện năng; lưu trữ điện năng; và Điều khiển kỹ thuật số là rất quan trọng đối với lưới điện vi mô công nghiệp. Chính mô hình này làm cho lưới điện vi mô không chỉ tiên tiến về mặt công nghệ mà còn thực sự phù hợp cho hoạt động bền vững của cơ sở công nghiệp trong quá trình chuyển đổi năng lượng.

### 5. Độ tin cậy, hiệu quả kinh tế và số hóa

Tỷ lệ cao RES là nguyên nhân tiềm ẩn làm giảm độ tin cậy cung cấp điện nếu không được quản lý cẩn thận. Hiệu quả thực không được xác định bởi số lượng tấm pin mặt trời, mà bởi mức độ phối hợp giữa RES, thiết bị lưu trữ, hệ thống điều chỉnh nhanh và thuật toán dự đoán.

Về kinh tế, điều khiển thông minh giúp kiểm soát chi phí bằng cách tính chọn các kịch bản như: sử dụng điện lưu trữ trong giờ cao điểm, tăng thời gian chạy máy phát dự phòng, hoặc chấp nhận điện từ lưới bên ngoài nếu có lợi và an toàn hơn. Điều khiển thông minh trở thành công cụ tối ưu hóa hai mục tiêu: ổn định và kinh tế..

### 6. Thảo luận và kết luận

Thảo luận về chủ đề Lưới điện vi mô công nghiệp cho thấy rằng, hệ thống quản lý lưới điện vi mô thông minh dành cho doanh nghiệp công nghiệp đang trở thành yếu tố quan trọng bảo đảm cung cấp điện năng một cách bền vững với tỷ lệ cao của các nguồn năng lượng tái tạo. Tầm quan trọng của hệ điều khiển thông minh không chỉ được xác định bởi sự quan tâm ngày càng tăng đối với các nguồn điện năng có xuất xứ từ năng lượng tái tạo, mà còn bởi sự phức tạp của chính các quy trình vận hành, đòi hỏi phải đồng thời xem xét: cân bằng công suất; chất lượng điện năng; độ tin cậy của điện

năng cung cấp; và độ nhạy cảm về mặt công nghệ của tải công nghiệp.

Phần đầu của bài báo đã đặt nền tảng lý thuyết cho chủ đề này. Bài báo đã chỉ ra rằng, lưới điện vi mô không còn có thể được xem như một tập hợp đơn giản các nguồn điện năng và các tải tiêu thụ (điện năng) cục bộ. Lưới điện vi mô là một hệ thống phức tạp, nó được điều khiển, trong đó hoạt động của nó phụ thuộc vào sự phối hợp vận hành các thiết bị phát điện; thiết bị lưu trữ; công nghệ chuyển đổi và thuật toán số. Trong những trường hợp này, việc dự báo thích ứng và phối hợp các nguồn điện năng phân tán là vô cùng quan trọng, vì chúng đảm bảo duy trì sự ổn định vận hành trong điều kiện năng lượng tái tạo luôn biến đổi.

Phân tích thực tiễn cho thấy rằng, việc ưu tiên tải tiêu thụ điện năng; tính chọn kiến trúc lưới điện vi mô; lựa chọn thiết bị lưu trữ điện năng; phản ứng nhanh với những thay đổi thông số của các điều kiện bên ngoài và bên trong, sẽ là rất quan trọng đối với các doanh nghiệp công nghiệp.

Kết luận quan trọng nhất là việc tích hợp ở mức cao các nguồn điện năng có xuất xứ từ năng lượng tái tạo sẽ không bảo đảm hiệu quả. Kết quả tốt chỉ thực sự có được khi việc sản xuất điện năng từ năng lượng tái tạo được tích hợp vào một hệ thống với điều khiển thông minh thống nhất, có khả năng chủ động: xác định rủi ro; phân bổ lại nguồn điện năng và duy trì tốt tính liên tục của sản xuất.

### 7. Tài liệu tham khảo

- [1] Navigant Research. (2018). Microgrid Tracker 2Q18. Navigant Consulting, Inc. Navigant Research Identifies 239 New Microgrid Projects, Representing Nearly 959.7 MW of Additional Capacity
- [2] Hatziaargyriou, N. (2014). Microgrids: Architectures and Control. Wiley-IEEE Press. Doi: 10.1002/9781118720677
- [3] Lasseter, R. H. (2011). "Smart Distribution: Coupled Microgrids." Proceedings of the IEEE, 99(6), 1074-1082. Doi:10.1109/JPROC.2011.2114630
- [4] Olivares, D. E., et al. (2014). "Trends in Microgrid Control." IEEE Transactions on Smart Grid, 5(4), 1905-1919. Doi:10.1109/TSG.2013.2295514
- [5] Parhizi, S., Lotfi, H., Khodaei, A., & Bahramirad, S. (2015). "State of the Art in Research on Microgrids: A Review." IEEE Access, 3, 890-925.