

# NGHIÊN CỨU CÁC KIẾN TRÚC VÀ GIẢI THUẬT ĐIỀU KHIỂN TRẠM SẠC XE ĐIỆN VÀ TRẠM SẠC XE ĐIỆN HAI BÁNH TRONG BỐI CẢNH VIỆT NAM

RESEARCH ON THE ARCHITECTURES AND CONTROL ALGORITHMS FOR ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS AND ELECTRIC TWO-WHEELER CHARGING STATIONS IN THE CONTEXT OF VIETNAM

Nguyễn Ngọc Văn<sup>1</sup>, Đàm Khắc Nhân<sup>1</sup>,  
Nguyễn Hữu Đức<sup>1,\*</sup>

## TÓM TẮT

Các cam kết mạnh mẽ của Việt Nam tại COP26 thể hiện quyết tâm hướng tới mục tiêu phát triển bền vững trong đó nhiệm vụ trọng tâm cơ bản là thúc đẩy việc sử dụng năng lượng sạch, hạn chế phát thải trong mọi ngành và lĩnh vực. Điện khí hóa giao thông, tăng cường tỷ lệ sử dụng năng lượng tái tạo có thể xem là một trong những giải pháp hướng tới kinh tế xanh và bền vững. Tại Việt Nam, với tiềm năng lớn về năng lượng tái tạo và tỷ lệ sử dụng xe gắn máy lớn, quá trình chuyển dịch trong lĩnh vực giao thông và năng lượng có những đặc điểm riêng biệt. Nhằm thúc đẩy xu hướng này, các nghiên cứu về hạ tầng hỗ trợ, đặc biệt là hạ tầng sạc trong bối cảnh Việt Nam là rất cần thiết. Bài báo này thực hiện nghiên cứu về các kiến trúc hạ tầng và các giải thuật vận hành điều khiển trạm sạc trên thế giới đồng thời đề xuất kiến trúc hạ tầng sạc phù hợp với xu hướng và bối cảnh Việt Nam. Các đề xuất liên quan đến tích hợp năng lượng tái tạo vào hạ tầng sạc cũng được phân tích cụ thể trong nghiên cứu.

**Từ khóa:** Xe điện hai bánh; xe đạp điện; xe máy điện; trạm sạc; điện mặt trời.

## ABSTRACT

Vietnam's strong commitments at COP26 demonstrate the determination towards sustainable development goals, in which the primary task is to promote the use of clean energy and reduce emissions in all sectors. Traffic electrification, promotion of renewable energy usage can be considered as effective solutions towards a green and sustainable economy. In Vietnam, with the great potential of renewable energy and high rate of motorcycle adoption, the transition in the transport and energy sectors has distinct characteristics. In order to promote the transition, studies on supporting infrastructure, especially charging stations in the context of Vietnam, are essential. This article conducts research on charging infrastructure architectures and control algorithms for electric vehicle charging stations, then analyses and proposes suitable architectures for electric two-wheelers charging stations in the context of Vietnam. Proposals related to the integration of renewable sources into the charging infrastructure are also specifically analyzed in the paper.

**Keywords:** Electric two-wheelers; e-bikes; electric mopeds; electric motorcycles; charging stations; solar energy.

<sup>1</sup>Trường Đại học Điện lực

\*Email: ducnh@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 26/6/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 02/8/2022

Ngày chấp nhận đăng: 29/8/2022

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tại hội nghị COP26, Việt Nam đã đưa ra cam kết mạnh mẽ và đóng góp có trách nhiệm nhằm ứng phó với biến đổi khí hậu toàn cầu. Các cam kết và đóng góp của Việt Nam được cộng đồng quốc tế đánh giá cao, mở ra nhiều cơ hội hợp tác về tăng trưởng ít phát thải, thúc đẩy phát triển kinh tế tuần hoàn, thích ứng với biến đổi khí hậu. Nhằm thực hiện các cam kết này, chính phủ đã vạch ra một lộ trình tổng thể gồm 8 nhiệm vụ trọng tâm [1] hướng tới mục tiêu phát triển kinh tế bền vững, ít phát thải. Một trong các nhiệm vụ trọng tâm được đề cập là giảm phương tiện sử dụng nhiên liệu hóa thạch, khuyến khích nghiên cứu, phát triển và sử dụng xe điện. Theo đó, bộ Giao thông vận tải cần nghiên cứu về sự phù hợp tham gia tuyên bố chấm dứt việc sản xuất xe chạy bằng xăng, dầu từ nay đến năm 2040 và xây dựng lộ trình chuyển đổi phương tiện giao thông sử dụng năng lượng sạch.

Với việc chiếm hơn ¼ tổng lượng phát thải khí nhà kính trên toàn thế giới [2, 3], điện khí hóa giao thông được xem là một chiến lược công nghệ then chốt nhằm giảm phát thải, đa dạng hóa lĩnh vực năng lượng và phát triển bền vững. Tại Việt Nam, các nghiên cứu gần đây cũng cho thấy tiềm năng và xu hướng chuyển dịch sang phương tiện chạy điện, đặc biệt là tại các khu vực đô thị [4, 5]. Tuy nhiên so với các quốc gia phát triển - nơi ô tô điện phát triển mạnh mẽ, các đặc thù kinh tế xã hội và cơ sở hạ tầng hiện hữu tại các nước đang phát triển nói chung và Việt Nam nói riêng dẫn đến các đặc điểm khác biệt về phát triển giao thông bền vững trong đó sự chuyển dịch từ xe máy chạy xăng sang xe điện hai bánh được đánh giá là phù hợp. Sự chuyển dịch này, một mặt nhằm đáp ứng nhu cầu di chuyển tại các đô thị, cung cấp giải pháp kết nối hiệu quả với hệ thống giao thông công cộng, mặt khác cũng đặt ra nhiều cơ hội lẫn thách thức trong lĩnh vực năng lượng nhằm đáp ứng nhu cầu điện năng của các phương tiện chạy điện [4].

Cùng cần lưu ý rằng, so với các quốc gia khác, Việt Nam có tiềm năng lớn về năng lượng tái tạo nói chung và điện mặt trời nói riêng [6]. Chuyển đổi năng lượng, khai thác có

hiệu quả tiềm năng năng lượng tái tạo là chìa khóa để thực hiện các cam kết về biến đổi khí hậu cũng như góp phần chủ động, đa dạng hóa các nguồn năng lượng và giảm sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch vốn bị tác động lớn bởi địa chính trị trên thế giới.

Từ năm 2017, các cơ chế FIT đã góp phần thúc đẩy mạnh mẽ sự phát triển của năng lượng tái tạo tại Việt Nam nói chung và điện mặt trời nói riêng. Tính đến hết năm 2021, tổng công suất đặt các nguồn năng lượng tái tạo đạt 20.670MW, chiếm 27% tổng công suất đặt toàn hệ thống (76.620MW); sản lượng điện từ nguồn năng lượng tái tạo đã đạt 31,508 tỷ kWh, chiếm 12,27% tổng sản lượng điện sản xuất toàn hệ thống [7].

Theo đó, Việt Nam đã có 70 dự án điện gió (công suất 3.987MW) đã vận hành thương mại, sản lượng điện sản xuất năm 2021 đạt 3,34 tỷ kWh, chiếm 1,3% tổng sản lượng điện sản xuất toàn hệ thống [7].

Về điện mặt trời, riêng sản lượng điện từ các nguồn điện mặt trời trong năm 2021 chiếm khoảng 10,8% tổng sản lượng điện sản xuất toàn hệ thống. Đối với điện mặt trời áp mái, tới cuối tháng 12 năm 2020, cả nước có khoảng 105212 hệ thống điện mặt trời mái nhà với tổng công suất lắp đặt lên tới 9730,87MWp [8]

Tác dụng tích cực của năng lượng tái tạo nói chung và điện mặt trời nói riêng là không thể phủ nhận. Tuy nhiên, tỷ trọng ngày càng lớn của điện mặt trời cũng tạo ra các thách thức đối với vận hành các hệ thống truyền tải, phân phối, giảm quán tính của hệ thống điện, ảnh hưởng tới độ ổn định của lưới, chất lượng điện năng và hiệu quả điều độ [9]. Với đặc trưng là nguồn phát không có quán tính, mức thâm nhập cao của điện mặt trời tạo ra chênh lệch phụ tải lớn giữa thấp điểm và cao điểm khiến cho hệ thống phải thay đổi nhiều lần công suất phát của các tổ máy nhiệt điện khí, than trong ngày, hoặc phải ngừng các tổ máy nhiệt điện khi phụ tải giảm vào các ngày cuối tuần làm tăng chi phí do hiệu suất các tổ máy suy giảm và chi phí dừng / khởi động các tổ máy [10]. Các tác động bất lợi này dẫn tới các đề xuất về chính sách với xu hướng giảm dần giá FIT nhằm khuyến khích việc sản xuất và tiêu thụ điện mặt trời tại chỗ (prosumer) thay vì đưa lên lưới.

Như vậy, hiện có hai yếu tố có thể có tác động lớn tới lưới điện phân phối đô thị tại Việt Nam. Thứ nhất là sự xuất hiện ngày càng nhiều của xe điện hai bánh vốn chưa xét tới khi xây dựng và phát triển lưới phân phối. Thứ hai là sự tham gia của các nguồn năng lượng tái tạo phân tán với quán tính thấp, công suất ra khá bất định và khó dự báo [11].

Các yếu tố trên là những thách thức mới đối với việc vận hành hiệu quả, ổn định lưới phân phối đô thị tại Việt Nam đồng thời cũng là những đặc trưng khác biệt của Việt Nam so với các quốc gia khác đòi hỏi cần thiết phải tiến hành những nghiên cứu từ kinh nghiệm thế giới áp dụng cho bối cảnh Việt Nam.

Các nghiên cứu cũng như triển khai thực tiễn các giải pháp sạc cho xe điện hiện nay trên thế giới chủ yếu đề cập đến trạm sạc dành cho xe ô tô điện với nguồn cấp cho trạm

sạc là từ nguồn điện lưới. Hiện chưa có nhiều nghiên cứu về trạm sạc dành cho xe đạp điện/xe máy điện với các đặc thù khác với trạm sạc ô tô điện như: (1) Công suất, dung lượng ắc quy của phương tiện nhỏ; (2) Số lượng phương tiện sạc cùng thời điểm tại một trạm sạc có thể lên tới vài trăm xe; (3) phù hợp với điều kiện tại các nước đang phát triển. Một số nghiên cứu gần đây có đề cập đến giải pháp sạc cho xe đạp điện / xe máy điện như các nghiên cứu [12, 13]. Tuy nhiên, các nghiên cứu đó chỉ giới hạn ở việc phát triển trạm sạc tích hợp điện mặt trời dành cho xe điện hai bánh mà chưa chú ý đến kiến trúc trạm sạc phù hợp cũng như các thuật toán phối hợp sạc giữa các phương tiện nhằm đạt được các mục tiêu kinh tế kỹ thuật.

Xuất phát từ những yếu tố trên, trong nghiên cứu này, các tác giả đề cập đến các giải thuật và kiến trúc sạc cho xe điện trên thế giới, tập trung vào một vài khía cạnh kỹ thuật, đồng thời đề xuất kiến trúc và giải pháp vận hành điều khiển trạm sạc phù hợp với bối cảnh Việt Nam. Đóng góp chính của nghiên cứu này được thể hiện ở các điểm:

- Nghiên cứu về các kiến trúc của trạm sạc trên thế giới.
- Nghiên cứu các khía cạnh liên quan đến điều khiển vận hành trạm sạc xe điện.
- Từ thực tiễn về xu hướng phát triển xe điện, đề xuất kiến trúc trạm sạc phù hợp với bối cảnh Việt Nam.

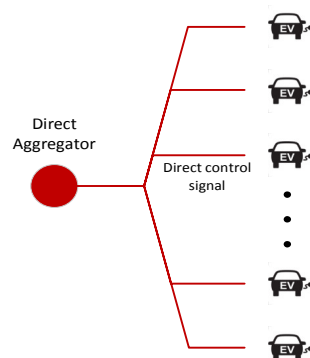
## 2. CÁC KIẾN TRÚC TRẠM SẠC TRÊN THẾ GIỚI

Nhìn chung, quá trình sạc các EV có thể được thực hiện theo các kiến trúc tập trung (centralized), phi tập trung (decentralized) hoặc phân cấp (hierarchical).

Trong trạm sạc, EV Aggregator là thực thể chịu trách nhiệm kiểm soát quá trình sạc/xả của các EV trong trạm sạc [14]. Aggregator có thể trực tiếp hoặc gián tiếp điều phối nhóm EV. Một Aggregator trực tiếp (Direct Aggregator) sẽ quyết định chiến lược sạc cho từng EV trong khi Aggregator gián tiếp (Indirect Aggregator) sẽ quảng bá các tín hiệu mang thông tin tới các EV nhằm phối hợp sạc.

### 2.1. Kiến trúc sạc tập trung

Trong kiến trúc này, kế hoạch sạc của mỗi EV được quyết định bởi một Aggregator trực tiếp. Aggregator này thu thập yêu cầu sạc của tất cả các EV và giải quyết bài toán tối ưu theo các mục tiêu nào đó nhằm xác định tốc độ sạc của mỗi EV.



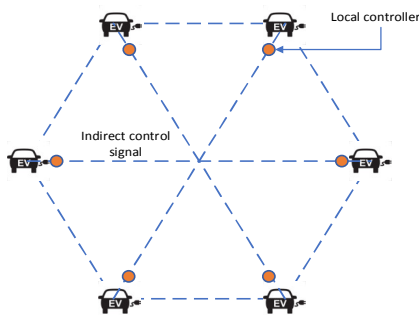
Hình 1. Kiến trúc sạc tập trung

Kiến trúc tập trung có ưu điểm là thường tạo ra các giải pháp tối ưu toàn cục khi thông tin của toàn hệ thống đều được cung cấp cho Aggregator. Đồng thời kiến trúc trạm sạc dạng tập trung cũng có thể dễ dàng xét tới các ràng buộc đi kèm của EV, của lưới cũng như các trạng thái toàn cục khác của hệ thống.

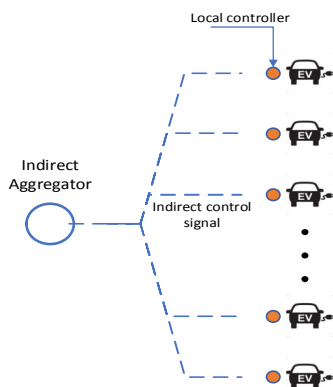
Tuy nhiên, ngoài các ưu điểm trên, kiến trúc tập trung đòi hỏi chủ phương tiện cần từ bỏ một số quyền quyết định liên quan đến điều khiển sạc. Ngoài ra kiến trúc này cũng tồn tại các vấn đề về tính riêng tư, bảo mật thông tin về trạng thái xe điện và chủ phương tiện (như thời điểm bắt đầu/kết thúc sạc, thói quen, hành vi sạc, quãng đường di chuyển, lịch di chuyển...). Hơn nữa, trong quá trình điều khiển sạc, nếu xuất hiện sự cố tại Aggregator có thể gây sụp đổ toàn hệ thống. Nhược điểm này dẫn tới nhu cầu xây dựng hệ thống dự phòng (backup system) cho các trạm sạc theo kiến trúc sạc tập trung.

Đối với kiến trúc sạc tập trung, một thách thức lớn là khả năng mở rộng. Độ phức tạp của bài toán điều khiển sạc tối ưu tăng nếu thời gian sạc được chia thành nhiều thời đoạn nhỏ và/hoặc số lượng EV trong trạm sạc lớn. Do đó, kiến trúc trạm sạc dạng tập trung đòi hỏi cao về khả năng tính toán. Độ phức tạp tăng lên khi số biến điều khiển và ràng buộc tăng. Hơn nữa, kiến trúc tập trung đòi hỏi chủ phương tiện phải cung cấp cho bộ điều khiển trung tâm toàn bộ thông tin về nhu cầu sạc và đặc tính kỹ thuật của EV. Do đó, nếu số lượng EV lớn, kiến trúc trạm sạc tập trung có thể kém hiệu quả về mặt điện toán cũng như đòi hỏi lớn về hạ tầng truyền thông.

**2.2. Kiến trúc sạc phi tập trung**



Hình 2. Kiến trúc sạc phi tập trung (dạng 1)



Hình 3. Kiến trúc sạc phi tập trung (dạng 2)

Trong kiến trúc này các EV có thể tự giải quyết bài toán sạc của chính nó ở quy mô nhỏ thông qua các bộ điều khiển cục bộ (local controller) tại vị trí EV đó. Như vậy, giải pháp sạc phi tập trung không phải lúc nào cũng luôn tương ứng với chiến lược sạc tối ưu toàn cục, đặc biệt là khi thiếu thông tin đầy đủ của hệ thống.

Tuy nhiên, so với kiến trúc tập trung, kiến trúc phi tập trung có ưu điểm là dễ mở rộng đồng thời để triển khai trong thực tiễn. Ngoài ra, do sử dụng các bộ điều khiển cục bộ, kiến trúc sạc phi tập trung khó bị sụp đổ hệ thống hơn khi xảy ra lỗi mạng, đặc biệt là khi các bộ điều khiển cục bộ được thiết kế nhằm hoạt động trong các tình huống truyền thông gặp sự cố. Phụ thuộc vào cấu trúc mạng truyền thông, có thể chia kiến trúc trạm sạc phi tập trung thành hai dạng:

- Dạng 1 (hình 2): Các EV xác định kế hoạch sạc của chính nó rồi trao đổi thông tin tới các EV khác trong mạng lưới. Quá trình diễn ra liên tục cho tới khi đạt tới trạng thái cân bằng toàn cục. Kiến trúc dạng này không cần thiết phải có Aggregator. Tuy nhiên, việc liên tục trao đổi thông tin giữa các EV tạo gánh nặng về truyền thông, đặc biệt khi số lượng EV lớn.

- Dạng 2 (hình 3): Sử dụng một Aggregator gián tiếp làm nhiệm vụ thu thập thông tin đồng thời quảng bá thông tin tới các EV. Khi đó nhu cầu truyền thông sẽ giảm đi so với dạng 1.

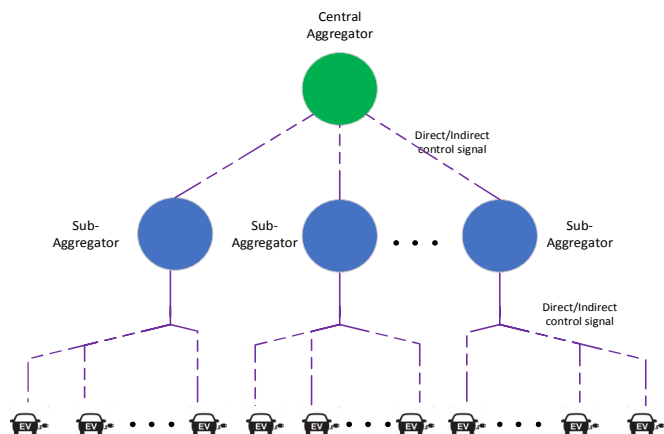
Nhìn chung, trong kiến trúc phi tập trung, tín hiệu điều khiển mang thông tin có tính định hướng cho các bộ điều khiển cục bộ thực hiện lập kế hoạch sạc. Nếu tín hiệu gửi tới các bộ điều khiển cục bộ là giống nhau và các bộ điều khiển cục bộ xử lý chung hàm mục tiêu, các bộ điều khiển cục bộ sẽ có xu hướng tính toán kế hoạch sạc tương tự nhau cho các EV. Chẳng hạn nếu tín hiệu gửi tới các bộ điều khiển cục bộ là tín hiệu về giá dịch vụ theo thời điểm sử dụng và các bộ điều khiển cục bộ được thiết kế để tính toán kế hoạch sạc cho EV sao cho tối ưu về chi phí. Khi đó một lượng lớn EV sẽ được sạc vào giờ giá thấp có thể tạo ra phụ tải đỉnh mới và phá vỡ mục tiêu tối ưu của Aggregator.

**2.3. Kiến trúc sạc phân cấp**

Với kiến trúc này, nhiệm vụ tính toán kế hoạch sạc được phân bổ cho nhiều Aggregator trực tiếp hoặc gián tiếp thông qua topology truyền thông dạng cây. Mỗi Aggregator phụ trách một nhóm EV đồng thời có ảnh hưởng tới việc ra quyết định của các Aggregator khác. Kiến trúc phân cấp cân bằng những ưu điểm của kiến trúc tập trung và kiến trúc phi tập trung theo các cách khác nhau.

Nhìn chung, kiến trúc phân cấp có thể hình thành từ việc kết hợp các nhóm EV theo kiến trúc tập trung hoặc phi tập trung. Nếu mỗi nhóm EV là tập trung, nhóm đó được quản lý bởi một Sub-Aggregator trực tiếp. Ngược lại nếu mỗi nhóm EV tuân theo kiến trúc phi tập trung dạng 2, nhóm đó được quản lý bởi một Sub-Aggregator gián tiếp và việc tính toán kế hoạch sạc sẽ do bộ điều khiển cục bộ đặt tại các EV đảm nhiệm. Các Sub-Aggregator cũng có thể

được quản lý trực tiếp hoặc gián tiếp bởi một Central-Aggregator ở cấp trên (hình 4).

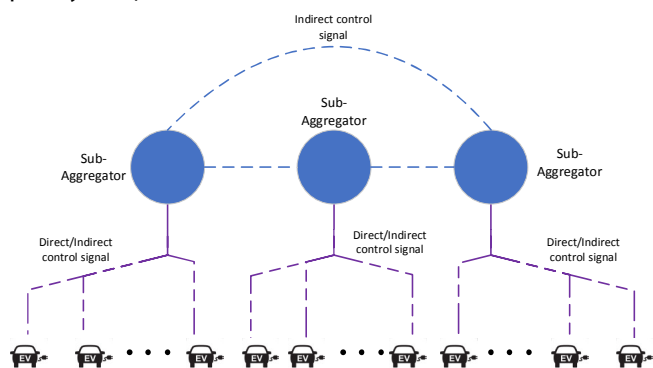


Hình 4. Kiến trúc sạc phân cấp có Central-Aggregator

Nếu Central-Aggregator quản lý trực tiếp các Sub-Aggregator thì Central-Aggregator sẽ chịu trách nhiệm tính toán kế hoạch sạc cho từng Sub-Aggregator nhằm đạt mục tiêu tối ưu toàn cục. Dựa trên kế hoạch sạc đã được xác định, các Sub-Aggregator sẽ tính toán kế hoạch sạc cho từng EV trong nhóm nó quản lý.

Nếu Central-Aggregator quản lý gián tiếp các Sub-Aggregator, thì Central-Aggregator đóng vai trò thu thập và quảng bá thông tin tới các Sub-Aggregator.

Nhìn chung, kiến trúc sạc phân cấp sẽ duy trì hành vi sạc phi tập trung ở các EV nếu các nhóm EV tuân theo kiến trúc phi tập trung. Ngoài ra, nếu sử dụng Central-Aggregator quản lý các Sub-Aggregator thì kiến trúc sạc phân cấp vẫn khá dễ tổn thương nếu Central-Aggregator gặp sự cố. Biện pháp đề xuất là bỏ qua Central-Aggregator mà thay bằng mạng truyền thông giữa các Sub-Aggregator (hình 5). Như vậy nếu liên kết truyền thông giữa hai Sub-Aggregator nào đó bị sự cố, một đường truyền khác giữa các Sub-Aggregator sẽ đảm bảo khả năng hoạt động của hệ thống. Tuy nhiên, trường hợp nếu Sub-Aggregator nào đó bị sự cố thì quá trình sạc các EV do Sub-Aggregator đó quản lý sẽ bị mất điều khiển.



Hình 5. Kiến trúc sạc phân cấp không có Central-Aggregator

### 3. CÁC GIẢI PHÁP ĐIỀU KHIỂN VẬN HÀNH TRẠM SẠC

Hiện nay chưa có các nghiên cứu về giải thuật điều khiển vận hành trạm sạc dành cho xe điện hai bánh. Các

nghiên cứu chủ yếu tập trung vào giải thuật điều khiển vận hành trạm sạc dành cho xe ô tô điện. Nhìn chung, việc xem xét đánh giá các giải thuật vận hành điều khiển trạm sạc ô tô điện cũng phần nào có thể tham khảo và áp dụng cho trạm sạc xe điện hai bánh.

Hầu hết các nghiên cứu đều xem bài toán sạc EV là bài toán tối ưu có ràng buộc trong đó tốc độ sạc (công suất sạc) và thời gian sạc được xem là các biến tối ưu. Các ràng buộc rất đa dạng như ràng buộc kỹ thuật của lưới, ràng buộc về yêu cầu của Aggregator và yêu cầu của chủ phương tiện ...

Các bài toán điều khiển trạm sạc có thể được phân loại xét trên khía cạnh vận hành (kỹ thuật) và khía cạnh kinh tế. Mỗi một khía cạnh cũng có thể được xét trên quan điểm của các chủ thể khác nhau như: đơn vị vận hành lưới điện; EV Aggregator; chủ phương tiện. Tuy nhiên, việc phân định giữa khía cạnh kỹ thuật và kinh tế cũng không thực sự rõ ràng do các mục tiêu đạt được về mặt kỹ thuật cũng có thể giúp cải thiện chỉ tiêu kinh tế ở một mức độ nào đó và ngược lại.

#### 3.1. Khía cạnh kỹ thuật

Các giải thuật điều khiển vận hành trạm sạc có thể thực hiện theo các mục tiêu kỹ thuật sau:

##### Điều chỉnh tải (load regulation)

Trong các giải thuật điều chỉnh tải, nhiều nghiên cứu tập trung vào mục tiêu san phẳng đồ thị tải tổng (gồm tải thông thường và tải sạc). Bằng cách làm giảm phụ tải đỉnh có thể làm giảm nguy cơ quá tải máy biến áp, đường dây cũng như các thiết bị hạ tầng điện khác. Mặt khác, việc san phẳng đồ thị tải giúp loại trừ nhu cầu phải tăng/giảm đột ngột công suất phát (tăng, giảm lượng lớn công suất ra của máy phát) để đáp ứng nhu cầu phụ tải đỉnh do đó cho phép các máy phát vận hành ở trạng thái ổn định với hiệu suất cao nhất.

Việc sạc EV có kiểm soát nhằm lấp đầy vùng thấp tải ban đêm (thường là thời điểm tải non-EV thấp nhất) cũng được đề cập rộng rãi trong các nghiên cứu. Mặc dù tác động sạc/xả của một EV đơn lẻ lên micro grid hoặc lưới phân phối là tương đối nhỏ, nhưng tác động tổng hợp của số lượng lớn các EV có thể rất đáng kể.

Khi xét tới mục tiêu điều chỉnh tải, các ràng buộc cần thỏa mãn gồm ràng buộc về lượng năng lượng sạc yêu cầu, ràng buộc về công suất sạc/xả, các ràng buộc về quá tải, ràng buộc về điện áp tại điểm kết nối ...

Các cách tiếp cận mục tiêu điều chỉnh tải rất đa dạng. Nghiên cứu [15] tìm cách tối thiểu hóa độ biến động của profile tải tổng nhằm san phẳng đồ thị tải và lấp đầy trong khi [16] tác động đến hành vi sạc của chủ phương tiện thông qua giá điện. Theo đó EV Aggregator có thể quảng bá tín hiệu điều khiển, ví dụ như tín hiệu giá điện biến thiên theo tổng nhu cầu tải. Khi đó mỗi chủ phương tiện sẽ tìm cách tối thiểu hóa chi phí sạc bằng cách lập kế hoạch sạc ở thời điểm giá điện thấp, thông qua đó có thể lấy đầy vùng tải thấp. Ở mỗi bước lập, dựa trên tín hiệu điều khiển nhận

được từ Aggregator mà từng EV sẽ cập nhật profile sạc nhằm tối thiểu tổng chi phí (gồm chi phí điện năng và chi phí phạt khi lệch khỏi kế hoạch sạc đã được tính ở bước lập trước đó). Giải thuật được chứng minh hoạt động tốt ngay cả khi mất đồng bộ tại mỗi bước lập. Do đó, giải thuật đề xuất là tương đối mạnh đối với trẻ truyền thông và lỗi. Tương tự cách tiếp cận này, nghiên cứu [17] tập trung vào vấn đề sạc EV ở các tốc độ rời rạc.

Lý thuyết trò chơi cũng là một công cụ hứa hẹn có thể được sử dụng để phối hợp sạc các EV bằng cách tối ưu hành vi sạc của từng chủ phương tiện riêng lẻ. Trong [18], một trò chơi phi phối hợp được thiết lập nhằm phối hợp một lượng lớn EV có liên hệ yếu với nhau thông qua giá điện chung. Trò chơi đề xuất dựa trên kiến trúc phi tập trung, trong đó Aggregator gián tiếp quảng bá tổng nhu cầu tải tới các EV sau khi thu thập chiến lược sạc của tất cả các EV. Đáp lại, các EV sẽ cập nhật lại chiến lược sạc và báo cáo chiến lược mới cập nhật tới Aggregator. Quá trình lặp đi lặp lại cho tới khi hệ số phạt (áp dụng lên độ lệch của từng chiến lược sạc riêng lẻ đối với chiến lược sạc trung bình của cả nhóm EV) mất đi hoặc đủ nhỏ. Điều đặc biệt là phụ tải vùng thấp điểm được lấp đầy tại trạng thái cân bằng Nash (Nash Equilibrium - NE) - một trạng thái mà ở đó không EV nào được hưởng lợi nếu đơn phương chệch khỏi chiến lược sạc đã chọn [16].

Dựa trên kiến trúc phi tập trung, [15] đưa ra một thuật toán online để điều chỉnh tải EV thông qua một Aggregator gián tiếp có nhiệm vụ đưa ra tín hiệu tham chiếu sạc dựa trên tổng tải EV theo thời gian thực. Sau khi nhận được tín hiệu tham chiếu, mỗi EV thực hiện quyết định sạc hoặc không sạc bằng cách so sánh SOC của nó với tín hiệu tham chiếu. Điểm quan trọng của giải thuật này là online, không dựa vào dự báo và do đó nó không bị ảnh hưởng bởi sai số dự báo.

Sử dụng quy hoạch động và lý thuyết trò chơi, thuật toán lấp tải đầy và cắt đỉnh được phát triển trong [19]. Vấn đề lập kế hoạch sạc mỗi EV được giải quyết sử dụng thuật toán quy hoạch động quy nạp xuôi.

Trong [20], đề cập đến cách tiếp cận không lập nhằm lập kế hoạch sạc tuần tự từng EV ở một thời điểm. Giải thuật nhằm mục đích tối thiểu cả độ biến động của tổng phụ tải cũng như tải đỉnh. Một hệ số được chọn nhằm điều chỉnh mức ưu tiên giữa 2 mục tiêu nêu trên. Mỗi khi một EV mới được kết nối, nó nhận từ Aggregator gián tiếp profile tải tổng (gồm tải thông thường và tải sạc các EV đã được lập kế hoạch sạc trước đó). Dựa trên thông tin đó, EV vừa kết nối sẽ giải bài toán tối ưu địa phương để tìm profile sạc của nó sau đó báo cáo về Aggregator. Aggregator nhận thông tin và tính toán lại profile tải tổng (xét thêm cả profile sạc vừa nhận) và gửi tới EV kế tiếp. Giải thuật này quyết định profile sạc của một EV duy nhất một lần tại thời điểm EV đó được kết nối. Mặc dù việc truyền thông hai chiều phạm vi rộng tại mỗi bước thời gian đã được loại trừ, nhược điểm của giải thuật trên là tồn tại thời gian chờ của EV trong trường hợp nhiều EV được kết nối cùng một thời điểm.

Trong nghiên cứu [21], các tác giả sử dụng cách lập kế hoạch tuần tự để thiết kế một kế hoạch sạc phi tập trung nhằm mục tiêu bình phương cực tiểu sai số giữa tổng tải theo thời gian thực và điểm tham chiếu được ước lượng offline trên cơ sở sử dụng dữ liệu của cả tải non-EV và EV.

Một số giải thuật điều chỉnh tải có thể xét tới các mục tiêu kép thông qua các ràng buộc như ràng buộc quá tải của máy biến áp [22]; ràng buộc về khả năng cấp điện của lưới cho trạm sạc [23, 24]; ràng buộc về điện áp tại điểm kết nối [25, 26] hoặc đồng thời cả ràng buộc quá tải và ràng buộc điện áp [27]. Giải thuật trong [28] tìm cách tích hợp mức tải của máy biến áp vào tín hiệu giá. Cách tiếp cận khác là sử dụng giải thuật đàn kiến (ant-based swarm algorithm) nhằm cung cấp tín hiệu cho các EV mỗi khi tổng tải vượt quá khả năng cung cấp của máy biến áp [29]. Với phương pháp chia đôi (bisection method), nghiên cứu [30] xác định mức tải thỏa mãn nhu cầu năng lượng của các EV trong đó ràng buộc quá tải của máy biến áp được xử lý bằng cách giảm nhu cầu năng lượng của các EV với một tỷ lệ riêng nào đó.

#### **Tối đa hóa hiệu quả vận hành trạm sạc**

Một khía cạnh quan trọng khác xét trên quan điểm của người vận hành trạm sạc là nâng cao hiệu quả vận hành. Hàm mục tiêu có thể là tối đa hóa hiệu quả sử dụng các nguồn tái tạo tích hợp tại trạm sạc, giảm lượng điện năng tiêu thụ từ lưới hoặc phối hợp sạc/xả nhằm bám theo kế hoạch năng lượng day-ahead [31].

Nghiên cứu [32] đưa ra giải thuật phi tập trung và đề xuất hạ tầng thông tin dựa trên bằng chứng (token-based IT infrastructure). Hạ tầng này cung cấp dịch vụ năng lượng qua token phát và tiêu thụ năng lượng nhằm cực đại mức sử dụng trung bình của nguồn phát trong khi đảm bảo tổng công suất thực tế tiêu thụ bởi các EV nhỏ hơn tổng công suất được phân bổ cho việc sạc EV.

Việc cân bằng kế hoạch phát điện theo thời gian thực được nghiên cứu trong [31] với cách tiếp cận theo lý thuyết trò chơi. Trong giai đoạn đầu, các chủ xe điện tham gia một trò chơi phi phối hợp với các chiến lược sạc nhằm xác định nhu cầu điện năng day-ahead sao cho tối thiểu chi phí. Dựa trên đó, Aggregator quyết định kế hoạch phát điện hoặc mua điện cho ngày hôm sau. Trong giai đoạn hai, chủ phương tiện tham gia trò chơi theo thời gian thực để điều chỉnh profile sạc sao cho gần với nhu cầu điện năng đã được dự tính trước đó.

#### **Quản lý và cung cấp các dịch vụ phụ trợ**

Trạm sạc có thể được điều khiển nhằm cung cấp các dịch vụ phụ trợ như điều áp, điều tần, dự phòng quay, bù công suất tác dụng, công suất phản kháng. Đặc biệt, khi tỷ lệ thâm nhập của các nguồn năng lượng tái tạo (điện gió, điện mặt trời) lớn, sự tham gia của lượng lớn xe điện có thể góp phần giải quyết các vấn đề về tính không liên tục và bất định của nguồn tái tạo.

Khi có cơ chế khuyến khích phù hợp, xe điện có thể chủ động tham gia cung cấp các dịch vụ phụ trợ như:



- Điều tần: Đây là dịch vụ phụ trợ trong thời gian ngắn với mục đích thiết lập cân bằng tức thời giữa phát và tiêu thụ. Năng lượng được tích trữ ở ắc quy của các EV có thể được dùng để tinh chỉnh tần số và điện áp lưới bằng cách sạc khi lượng phát vượt quá tiêu thụ và xả khi nhu cầu tải vượt quá công suất phát. Với mục tiêu này, nghiên cứu [33] đưa ra giải thuật điều khiển V2G (Vehicle to Grid) phi tập trung, trong đó Aggregator ước lượng khả năng điều chỉnh của nhóm EV. Bất cứ khi nào độ lệch tần số ra ngoài dải được xác định trước, các EV với SOC phù hợp sẽ xả năng lượng sử dụng phương pháp điều khiển droop control tần số thích nghi. Trong nghiên cứu [34] tương tác giữa Aggregator và các EV được mô hình hóa như là một trò chơi phi tập trung, trong đó việc thưởng - phạt đối với EV được hiểu là số tiền mà EV nhận được khi tham gia vào dịch vụ điều tần.

- Điều áp: Nghiên cứu [35] đề xuất giải thuật lập nhằm điều khiển điện áp, trong đó Aggregator gián tiếp broadcast điện áp các nút dựa trên profile sạc của các EV trong lần lập trước đó. Theo đó, các EV sẽ cập nhật các profile sạc nhằm hạn chế ảnh hưởng của chúng lên điện áp nút.

- Dự phòng quay: Nghiên cứu [36] phát triển giải thuật V2G nhằm cung cấp dịch vụ dự phòng quay phân tán với mức tin cậy khác nhau. Khi thiếu công suất phát hoặc khi mất điện, khách hàng có mức tin cậy cấp điện thấp sẽ cắt điện và dịch vụ dự phòng quay phân tán do các EV cung cấp được dùng để cấp nguồn cho các khách hàng với mức tin cậy cấp điện cao hơn.

- Bù công suất tác dụng công suất phản kháng: Nghiên cứu [37] đề xuất giải thuật V2G nhằm bù công suất tác dụng với mục đích cung cấp công suất tác dụng với chi phí nhỏ nhất. Aggregator nhận thông tin đo lường hiện tại của việc thay đổi đột ngột công suất tác dụng, sau đó tín hiệu lệnh xác định rõ lượng công suất tác dụng cần bù được đưa tới các EV. Giải thuật bù công suất phản kháng được đề cập trong [38] trong đó hàm mục tiêu của Aggregator nhằm cực tiểu tổng lượng công suất phản kháng cần bù còn hàm mục tiêu của từng EV nhằm cực tiểu tổng chi phí (gồm chi phí dùng đồ, chi phí năng lượng, chi phí phạt).

#### **Các mục tiêu kỹ thuật khác**

Tối thiểu tổn thất công suất sạc, tối thiểu hóa sự thoái hóa của ắc quy: Một số chiến lược sạc được xây dựng nhằm tối thiểu tổn thất công suất trong quá trình sạc hoặc kéo dài tuổi thọ của ắc quy. Nghiên cứu [39] sử dụng thuật toán đồng thuận (consensus algorithm) nhằm tối thiểu tổn thất công suất trong quá trình sạc trong khi vẫn thỏa mãn các ràng buộc của hệ thống. Một hướng nghiên cứu khác là thiết kế các giải thuật nhằm bảo vệ ắc quy khỏi thoái hóa sớm với SOC tối thiểu và SOC tối đa cần được xác định rõ [36, 40]. Một số giải thuật khác có tính đến chi phí thoái hóa ắc quy trong hàm mục tiêu [41, 36].

Đảm bảo công bằng sạc: có nhiều quan điểm khác nhau về công bằng sạc. Có thể kể đến như "đến trước phục vụ trước", "deadline sớm nhất được phục vụ trước", "thời gian sạc ngắn nhất được phục vụ trước", "chính sách sổ số"

[20]... Ngoài ra cũng có một số nghiên cứu đề xuất giải thuật sạc trong đó tính công bằng được đảm bảo dựa trên chi phí mà các EV sẵn sàng trả, được định nghĩa dưới dạng một tham số gọi là willingness-to-pay (WTP) [42]. Kết quả cho thấy khi các EV với WTP lớn hoàn tất sạc, chi phí sạc trở nên rẻ hơn đối với các EV có WTP nhỏ hơn. Cách tiếp cận khác có thể chia sẻ công suất sạc giữa các EV tương tự như chia sẻ kênh truyền trong hệ thống truyền thông trong đó các EV được sạc trong nhiều quãng thời gian ngắn gắn với các "gói sạc" (charge packet) [43].

Tăng độ thuận lợi của chủ phương tiện: các giải thuật có thể nhằm mục tiêu giảm thời gian sạc trong khi vẫn đảm bảo các ràng buộc kỹ thuật. Mục tiêu tăng độ thuận tiện cho chủ phương tiện cũng có thể xem xét cực đại tốc độ sạc của EV, tức là SOC mong muốn sẽ đạt được trong thời gian nhỏ nhất. Nghiên cứu [44] đề xuất một phương thức điều khiển cục bộ trong đó các EV có thể hoạt động một cách độc lập mà không dựa vào các tín hiệu điều khiển bên ngoài. Đặc biệt là, mỗi EV đơn lẻ cực đại hóa tốc độ sạc trong khi duy trì dòng tải và điện áp tại điểm kết nối nằm trong giới hạn cho phép. Cũng cần lưu ý rằng ràng buộc tốc độ sạc cần được xem xét nhằm tránh biến động lớn của tốc độ sạc tại những thời điểm kế tiếp nhau nhằm mục tiêu kéo dài tuổi thọ của ắc quy.

### **3.2. Khía cạnh kinh tế**

#### **Tối thiểu chi phí vận hành lưới**

Chi phí phát điện là một vấn đề quan trọng trong vận hành lưới. Nghiên cứu [45] đưa ra một framework hai chiều nhằm tối thiểu chi phí nhiên liệu và chi phí khởi động - dừng máy phát.

Ngoài việc tối thiểu hóa chi phí phát điện, giải thuật trong [46] còn xét đến sạc EV với lượng phát thải CO<sub>2</sub> ít nhất. Hàm mục tiêu trong [47] được thiết lập như là bài toán tối ưu đa mục tiêu nhằm tối thiểu hóa cả chi phí phát điện và chi phí sạc EV. Với hệ thống được đề xuất, Central-Aggregator tối ưu việc điều độ hệ thống sử dụng kế hoạch sạc gần nhất của các EV và thay đổi tín hiệu giá điện để các Sub-Aggregator cập nhật lại kế hoạch sạc. Quá trình trên lặp lại cho tới khi hệ thống đạt được trạng thái cân bằng. Trong [48], giải thuật mức trên nhằm mục tiêu cực tiểu chi phí hoạt động tổng của hệ thống qua việc kết hợp điều độ máy phát và các Aggregator còn giải thuật ở mức dưới tính toán chiến lược sạc/xả cho mỗi EV theo các lệnh điều độ từ mức trên.

#### **Tối đa doanh thu bán điện**

Nếu xác định trước lượng năng lượng yêu cầu bởi các nhóm EV, bên bán điện sẽ lựa chọn giá điện nhằm cực đại doanh thu. Theo đó các nhóm EV chọn tổng lượng năng lượng mà nhóm muốn mua nhằm tối ưu lợi ích. Game hội tụ về điểm cân bằng, trong đó các nhóm EV đạt được chiến lược sạc cân bằng đối với giá điện tối ưu được bên bán điện đưa ra [49].

#### **Tối đa lợi nhuận của EV Aggregator**

Thực tế, Aggregator cung cấp dịch vụ sạc cho khách hàng và kiếm lợi nhuận. Thông thường, các Aggregator đặt mua điện năng theo giá bán buôn thông qua các hợp đồng

dài hạn hoặc bằng cách tham gia vào thị trường điện day-ahead dựa trên dự báo giá điện [50].

Trường hợp một Central-Aggregator đặt hàng điện năng từ lưới ở giá điện theo thời điểm sử dụng (giá điện TOU) và bán lại điện năng theo giá điện bán lẻ. Bên cạnh mục tiêu cực đại lợi nhuận, việc không thỏa mãn nhu cầu sạc của phương tiện cũng có thể bị phạt bằng cách đưa vào hệ số phạt trong hàm mục tiêu nhằm làm tăng mức tín nhiệm cung cấp dịch vụ [51].

Một biểu giá dịch vụ sạc cao có thể làm khách hàng quay lưng và làm giảm doanh thu của Aggregator trong khi biểu giá dịch vụ thấp có thể dẫn tới việc trạm sạc phải phục vụ lượng lớn EV mà không thu được lợi nhuận thích đáng. Một cách khác nhằm mục tiêu tối đa lợi nhuận của EV Aggregator là thông qua tối thiểu chi phí mua điện từ lưới theo giá TOU [52].

Ngoài ra, EV Aggregator cũng có thể trang bị cho trạm sạc các nguồn điện tái tạo và có doanh thu từ việc bán điện cho lưới và EV. Nếu lượng điện năng tạo ra bởi các nguồn tái tạo không đủ đáp ứng nhu cầu sạc thì Aggregator mua bổ sung điện từ lưới ở giá bán lẻ. Nếu trạm sạc dư thừa điện, điện năng dư thừa được bán lên lưới ở giá bán buôn [53].

#### **Tối thiểu chi phí sạc**

Xét trên quan điểm của chủ phương tiện, mỗi chủ phương tiện đều mong muốn tối thiểu hóa chi phí sạc cho phương tiện của mình. Do đó, với một nhóm EV, vấn đề tối thiểu hóa chi phí sạc có thể xem như là một trò chơi không hợp tác giữa các phương tiện. Mỗi phương tiện tự lựa chọn chiến lược sạc nhằm tối thiểu chi phí và công bố chiến lược sạc với các EV khác để cập nhật các đáp ứng mới. Quá trình cập nhật diễn ra cho tới khi không còn chiến lược sạc mới nào được công bố bởi bất cứ EV nào. Kết quả là sẽ xảy ra trạng thái cân bằng Nash trong đó không phương tiện nào có thể đơn phương tối thiểu chi phí sạc đồng thời không EV nào được hưởng lợi nếu không công bố đúng chiến lược sạc của nó [54, 55].

Trong [56], một trung tâm dữ liệu thông báo tới các EV giá trị trung bình và phương sai của tải EV trong quá khứ, mà dựa trên đó các EV tính toán thời điểm hiệu quả nhất về chi phí để tiến hành sạc. Game tiếp diễn trong ngày hôm sau với thông tin được cập nhật từ ngày trước đó và như vậy mỗi ngày là một bước lặp của game nhằm tìm kiếm trạng thái cân bằng Nash. Quan trọng nhất là các bộ sạc thông minh có xu hướng liên tục học chiến lược sạc tốt hơn. Tuy nhiên, tất cả các cách tiếp cận theo lý thuyết trò chơi ở trên cần rất nhiều năng lực về điện toán do thường xuyên thực hiện các bước lặp. Trái lại, nghiên cứu [57] đề xuất giải thuật tìm kiếm nhằm cực tiểu chi phí sạc trong thị trường điện được điều tiết vận hành dưới biểu giá TOU.

Một số nghiên cứu, ngoài việc nhằm cực tiểu chi phí sạc, còn xét tới cực tiểu quá tải máy biến áp [58] hoặc tuân thủ ràng buộc quá tải [59].

#### **4. TRẠM SẠC XE ĐIỆN XÉT TRONG BỐI CẢNH VIỆT NAM**

Nhìn chung, việc triển khai các trạm sạc xe điện thông minh, linh hoạt không những cho phép đáp ứng được nhu

cầu sạc của phương tiện mà còn có tiềm năng tham gia vào hệ thống năng lượng, thị trường điện và góp phần làm tăng việc sử dụng năng lượng tái tạo và giảm phát thải. Tuy nhiên, các thách thức bao gồm các giải pháp vận hành điều khiển thỏa mãn các mục tiêu khác nhau, thỏa mãn các ràng buộc kỹ thuật, các đòi hỏi về phần cứng và hệ thống truyền thông.

#### **4.1. Trạm sạc xe điện hai bánh - Tập trung hay phi tập trung?**

Các nghiên cứu gần đây cho thấy xu hướng chuyển dịch từ xe gắn máy chạy xăng sang xe điện hai bánh được cho là phù hợp với điều kiện kinh tế xã hội và cơ sở hạ tầng tại các đô thị lớn ở Việt Nam và đây cũng là điểm khác biệt so với quá trình chuyển dịch trong điện khí hóa giao thông so với các quốc gia khác [4, 5].

Các xe điện hai bánh hiện nay thường được sạc tại nhà bằng các bộ sạc chuyên dụng đi kèm xe. Do có công suất sạc không quá lớn, các bộ sạc thường là dạng một chiều (chỉ cho phép sạc) được kết nối với nguồn một pha dân dụng nhằm cung cấp năng lượng cho ắc quy mà chưa quan tâm tới giá điện cũng như tác động lên lưới và các tải khác [11].

Sự phát triển bền vững của giao thông đô thị được thúc đẩy bởi giao thông công cộng và các phương tiện cỡ nhỏ được kết nối hiệu quả với hệ thống giao thông công cộng. Sự kết hợp của xe điện hai bánh với phương tiện công cộng, mặt khác góp phần vào hệ thống giao thông đô thị ít ô nhiễm và bền vững. Với viễn cảnh đó, xe điện hai bánh có thể sẽ được tập trung ở các điểm trung chuyển, bãi đỗ công cộng, các khu văn phòng hoặc bãi đỗ xe tòa nhà. Kết quả là lượng lớn phương tiện tại bãi đỗ có thể được sạc đồng thời tạo ra tổng nhu cầu điện năng lớn, trực tiếp ảnh hưởng tới lưới điện khu vực và các tải lân cận [11].

Việc sạc không kiểm soát có thể làm tăng tải đỉnh, quá tải hạ tầng điện, tăng tổn thất điện năng và tổn thất điện áp [60]. Tuy nhiên, các bất lợi đó có thể được hạn chế hoặc thậm chí tạo ra một số tiềm năng nếu như các tải sạc được dự báo lập kế hoạch tốt. Các lợi ích có thể bao gồm tăng mức độ thâm nhập của điện tái tạo và xe điện mà không đòi hỏi nâng cấp đáng kể hạ tầng hiện hữu hoặc cung cấp các dịch vụ kỹ thuật khác. Ắc quy xe điện có thể xem là thiết bị tích trữ năng lượng, do đó có thể hấp thụ điện năng ở giờ thấp điểm hoặc khi dư thừa năng lượng tái tạo và xả năng lượng tại giờ tải đỉnh nghĩa là có thể cải thiện đồ thị tải, cung cấp các dịch vụ cắt đỉnh, lấp vùng tải đáy...

Trong kiến trúc phi tập trung, việc điều phối quá trình sạc xả của các xe điện thường được áp dụng thông qua tín hiệu giá dịch vụ nhằm hướng dẫn các phương tiện chủ động lập kế hoạch sạc để tối ưu chi phí. Chẳng hạn EV Aggregator hoặc người vận hành lưới, dựa trên mục tiêu của mình, có thể đưa ra biểu giá dịch vụ sạc đồng thời quảng bá biểu giá đó tới các phương tiện nhằm gián tiếp thay đổi hành vi sạc của các phương tiện. Sự thay đổi hành vi sạc của mỗi phương tiện có thể giúp Aggregator hoặc người vận hành lưới đạt được mục tiêu ở phạm vi hệ thống. Ở kiến trúc này, giải thuật cũng cần liên tục cập nhật tín hiệu giá và quảng bá

tín hiệu giá mới do các phương tiện có thể lựa chọn đồng thời sạc vào giờ biểu giá thấp, gây ra các phụ tải đỉnh mới và ảnh hưởng tới mục tiêu của Aggregator.

Với công suất tiêu thụ lớn, kiến trúc sạc phi tập trung có thể phù hợp với ô tô điện do biểu giá dịch vụ có tác động đáng kể tới hành vi tiêu thụ điện. Tuy nhiên, cách tiếp cận này có thể không phù hợp đối với xe điện hai bánh do tín hiệu giá có thể không đủ hấp dẫn để thay đổi hành vi sạc khi lượng năng lượng và công suất tiêu thụ của xe điện hai bánh thường rất nhỏ so với ô tô điện. Vì vậy, khi xét tới việc sạc hàng trăm xe điện hai bánh tại bãi đỗ, cần thiết phải có một bộ điều khiển trung tâm (có thể kèm theo dự phòng nóng) chịu trách nhiệm quản lý và điều phối sạc. Chủ phương tiện chỉ nên chịu trách nhiệm ở một phạm vi nào đó như cung cấp các thông tin về nhu cầu sạc, thời điểm kết thúc sạc... cho bộ điều khiển hoặc lựa chọn các tùy chọn có sẵn do trạm sạc khuyến nghị.

Đối với kiến trúc tập trung, các nghiên cứu cho thấy khả năng mở rộng là nhược điểm lớn. Khi số lượng phương tiện tăng, nhu cầu về điện toán tăng lên và việc giải các bài toán tối ưu có ràng buộc trở nên rất phức tạp và đòi hỏi nhiều thời gian tính toán [61, 62]. Điều đó dẫn tới kiến trúc tập trung có thể không thực tế khi triển khai giải pháp sạc ở phạm vi lớn và theo thời gian thực [63]. Như vậy, các thuật toán dựa trên kiến trúc tập trung cũng nên đặc biệt quan tâm đến độ phức tạp và thời gian tính toán.

Để tăng khả năng mở rộng, kiến trúc phân cấp cũng có thể là một lựa chọn khi phối hợp nhiều trạm sạc xe điện hai bánh trong một khu vực. Theo đó, mỗi trạm sạc có thể được quản lý bởi một bộ điều khiển tập trung (có dự phòng) đóng vai trò là Sub-Aggregator nhằm tính toán và xác định kế hoạch sạc cho từng phương tiện mà nó quản lý. Các Sub-Aggregator này có thể được liên kết với nhau tạo thành mạng lưới hoặc liên kết với nhau thông qua một Central-Aggregator. Nhìn rộng ra, thậm chí một trạm sạc lên tới hàng nghìn phương tiện cũng hoàn toàn có thể áp dụng kiến trúc phân cấp để giảm gánh nặng tính toán cho Aggregator. Lúc này, trạm sạc có thể chia thành nhiều khu vực, mỗi khu vực được thiết kế theo kiến trúc tập trung, phục vụ vài chục/ vài trăm xe và do một Sub-Aggregator đảm nhận. Các Sub-Aggregator đó được quản lý chung bởi một Central-Aggregator của trạm sạc.

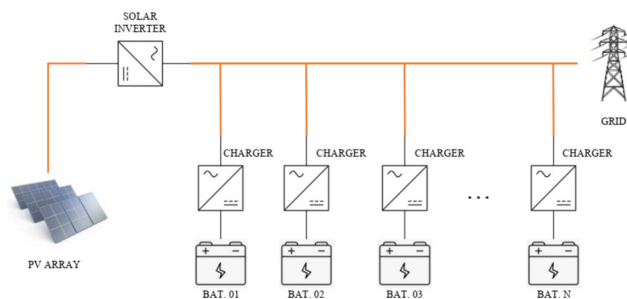
**4.2. Tiềm năng tích hợp năng lượng tái tạo cho trạm sạc xe điện tại Việt Nam**

Sự tham gia của xe điện có thể là giải pháp hứa hẹn làm tăng tỷ lệ tiêu thụ tại chỗ năng lượng tái tạo và giảm nhu cầu điện năng từ lưới. Điều này một mặt góp phần đáp ứng nhu cầu năng lượng của xe điện, mặt khác năng lượng tái tạo được sản xuất và tiêu thụ tại chỗ thay vì đưa lên lưới, do đó hạn chế những ảnh hưởng bất lợi tới hoạt động của lưới phân phối và giảm nhu cầu cần phải nâng cấp, củng cố lưới.

Các nghiên cứu chỉ ra rằng, lượng phát thải của xe điện phụ thuộc vào tỷ lệ năng lượng sạch cấp cho xe [64]. Do đó, lượng phát thải chỉ giảm đáng kể nếu xe điện được sạc bằng năng lượng sạch. Trong bối cảnh Việt Nam, với tiềm

năng điện tái tạo lớn, việc tích hợp điện tái tạo, đặc biệt là điện mặt trời, vào trạm sạc là lựa chọn hấp dẫn bởi các yếu tố:

- Chi phí phần cứng của hệ thống điện mặt trời ngày càng giảm.
- Các panel quang điện có thể được đặt làm mái che tại trạm sạc hoặc đặt trên nóc các tòa nhà lân cận trạm sạc.
- Tích hợp điện mặt trời mang lại hiệu quả kinh tế do góp phần giảm lượng điện năng mua từ lưới đồng thời giảm tỷ lệ điện mặt trời thâm nhập trực tiếp vào lưới.
- Ấc quy xe điện nếu được điều khiển hợp lý có thể giúp khai thác tối ưu năng lượng mặt trời.
- Điện năng được sản xuất và tiêu thụ tại chỗ, đón đầu xu hướng giảm dần giá FIT.
- Các hệ thống điện mặt trời thường có chi phí vận hành và bảo trì thấp.



Hình 6. Sơ đồ khối trạm sạc tích hợp điện mặt trời

Hình 6 thể hiện sơ đồ cấu trúc của trạm sạc xe điện có tích hợp điện mặt trời. Nếu các bộ sạc là hai chiều, ắc quy xe điện có thể nạp/xả năng lượng, mang lại nhiều tiềm năng kỹ thuật hứa hẹn.

**5. KẾT LUẬN**

Bài báo thực hiện nghiên cứu về các kiến trúc và các giải thuật điều khiển, vận hành trạm sạc từ đó đánh giá và đề xuất các kiến trúc phù hợp với bối cảnh Việt Nam.

Có thể thấy rằng, mỗi kiến trúc trạm sạc có những ưu nhược điểm riêng. Nếu như kiến trúc trạm sạc tập trung dễ dàng đạt được tối ưu toàn cục thì lại có nhược điểm về khả năng mở rộng, dễ mất điều khiển khi đổ vỡ hệ thống và tồn tại các vấn đề về tính riêng tư, bảo mật thông tin về trạng thái xe điện và chủ phương tiện. Ngược lại, mặc dù khả năng mở rộng được cải thiện và ít khả năng mất điều khiển khi đổ vỡ hệ thống, kiến trúc phi tập trung khó đạt được mục tiêu tối ưu toàn cục, đồng thời tín hiệu quảng bá hướng dẫn sạc trong kiến trúc phi tập trung cũng đòi hỏi phải liên tục cập nhật cho tới khi đạt trạng thái cân bằng toàn cục.

Do công suất sạc và lượng năng lượng yêu cầu nhỏ, kiến trúc trạm sạc phi tập trung dựa trên việc quảng bá tín hiệu giá có thể không hiệu quả trong việc thay đổi hành vi sạc của từng phương tiện. Vì vậy, đối với trạm sạc xe điện hai bánh, việc sử dụng một bộ điều khiển trung tâm nhằm điều phối quá trình sạc của từng phương tiện là cần thiết. Tuy nhiên, để giảm đòi hỏi về năng lực điện toán và thời



gian tính toán trong trường hợp trạm sạc phục vụ hàng nghìn phương tiện, có thể chia trạm sạc thành nhiều khu vực được thiết kế theo kiến trúc tập trung và quản lý bởi Sub-Aggregator. Sau đó các Sub-Aggregator được liên kết trực tiếp với nhau hoặc được quản lý bởi một Central-Aggregator chung cho trạm sạc.

Với đặc thù có tiềm năng lớn về năng lượng tái tạo, đặc biệt là điện mặt trời, giải pháp tích hợp điện mặt trời áp mái vào trạm sạc xe điện hai bánh cho thấy giải pháp hiệu quả trong việc giảm nhu cầu năng lượng và công suất từ lưới, khai thác tiềm năng điện mặt trời áp mái. Năng lượng sạch được sản xuất và phục vụ mục đích chính là tiêu thụ tại chỗ, đón đầu xu hướng giảm giá FIT. Khả năng tiếp cận điện mặt trời đối với trạm sạc cũng tương đối thuận tiện do có thể lắp các module PV trên mái nhà/văn phòng gắn với vị trí để xe hoặc lắp đặt / sử dụng làm mái che phương tiện.

Với xu hướng phát triển các phương tiện chạy điện, đồng thời chi phí lắp đặt các hệ thống điện mặt trời ngày càng giảm, vấn đề tích hợp điện mặt trời vào trạm sạc có thể xem là giải pháp xanh và bền vững, giải quyết các vấn đề ô nhiễm khí thải, đặc biệt là tại các thành phố lớn. Điều này cũng phù hợp với lộ trình thực hiện cam kết của Việt Nam theo COP26.

#### LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được nhận sự hỗ trợ từ Đề tài Bộ Công Thương với mã số 078.2020 ĐT.Bo/HĐKH-CN ngày 15 tháng 01 năm 2020 và Trường Đại học Điện Lực.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Office of the Government, 2022. *Thông báo số 30/TB-VPCP - Kết luận của Thủ tướng Chính phủ - Trưởng Ban chỉ đạo quốc gia tại cuộc họp lần thứ nhất Ban chỉ đạo quốc gia triển khai thực hiện cam kết của Việt Nam tại Hội nghị lần thứ 26 các bên tham gia Công ước khung của Liên hợp quốc về biến đổi khí hậu*.
- [2]. L. Li, Z. Wang, F. Gao, S. Wang, J. Deng, 2020. *A family of compensation topologies for capacitive power transfer converters for wireless electric vehicle charger*. Appl. Energy, Vol. 260, 114156.
- [3]. A. Ali, M.M. Khan, J. Yuning, Y. Ali, M.T. Faiz, J. Chuanwen, 2019. *ZVS/ZCS Vienna rectifier topology for high power applications*. IET Power Electron., 12 (5) 1285–1294.
- [4]. D. N. Huu, V. N. Ngoc, 2021. *Analysis Study of Current Transportation Status in Vietnam's Urban Traffic and the Transition to Electric Two-Wheelers Mobility*. Sustainability, vol. 13, no. 10: 5577.
- [5]. D. N. Huu, V. N. Ngoc, 2021. *A Research on the Trend of Transport Electrification in Vietnam and the Feasibility of PV-Integrated Charging Station for Electric Two-wheelers at Electric Power University*. in 2021 11th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE), pp. 255-260.
- [6]. E. R. Sanseverino, H. L. T. Thuy, M.H. Pham, M. L. D. Silvestre, N. N. Quang, S. Favuzza, 2020. *Review of Potential and Actual Penetration of Solar Power in Vietnam*. Energies, 2020
- [7]. *Green Energy Development, Long-Term Orientation of the Government of Vietnam*. Accessed: Apr. 20, 2022. [Online]. Available: <https://congthuong.vn/phat-trien-nang-luong-xanh-dinh-huong-dai-han-cua-chinh-phu-viet-nam-173383.html>
- [8]. VEPG. *Factsheet on Rooftop Solar Development-December 2020*. Vietnam Energy Partnership Group, Accessed: Apr. 15, 2022. [Online]. Available: [https://vepg.vn/wp-content/uploads/2021/02/VEPG\\_RTS\\_Factfile\\_Dec\\_2020\\_EN\\_fin.pdf](https://vepg.vn/wp-content/uploads/2021/02/VEPG_RTS_Factfile_Dec_2020_EN_fin.pdf)
- [9]. K. A. Alboaouh, S. Mohagheghi, 2020. *Impact of Rooftop Photovoltaics on the Distribution System*. Journal of Renewable Energy.
- [10]. <https://baodautu.vn/con-41-du-an-dien-mat-troi-lon-trong-quy-hoach-nhung-chua-van-hanh-d166042.html>
- [11]. D. N. Huu, V. N. Ngoc, 2022. *A Three-Stage of Charging Power Allocation for Electric Two-Wheeler Charging Stations*. IEEE Access, vol. 10, pp. 61080-61093.
- [12]. C. Mouli, Gautham R., P. V. Duijsen, F. Grazian, A. Jamodkar, P. Bauer, O. Isabella, 2020. *Sustainable E-Bike Charging Station That Enables AC, DC and Wireless Charging from Solar Energy*. Energies, vol. 13, no. 14: 3549.
- [13]. Dhaked DK, Birla D, 2021. *Microgrid Designing for Electrical Two-Wheeler Charging Station Supported by Solar PV and Fuel Cell*. Indian Journal of Science and Technology, vol. 14(30), pp. 2517-2525.
- [14]. S. Hussain, C. Z. El-Bayeh, C. Lai, U. Eicker, 2021. *Multi-Level Energy Management Systems Toward a Smarter Grid: A Review*. IEEE Access, vol. 9, pp. 71994-72016.
- [15]. Q. Li, T. Cui, R. Negi, F. Franchetti, M. D. Ilic, 2011. *On-line decentralized charging of plug-in electric vehicles in power systems*. arXiv:1106.5063.
- [16]. L. Gan, U. Topcu, S. H. Low, 2013. *Optimal decentralized protocol for electric vehicle charging*. IEEE Trans. Power Syst., vol. 28, no. 2, pp. 940–951.
- [17]. L. Gan, U. Topcu, S. H. Low, 2012. *Stochastic distributed protocol for electric vehicle charging with discrete charging rate*. Proc. IEEE Power Energy Soc. General Meeting, San Diego, CA, USA, pp. 1–8.
- [18]. Z. Ma, D. S. Callaway, I. A. Hiskens, 2013. *Decentralized charging control of large populations of plug-in electric vehicles*. IEEE Trans. Control Syst. Technol., vol. 21, no. 1, pp. 67–78.
- [19]. A. Oualle, A. Hably, S. Bacha, 2015. *Optimal management and integration of electric vehicles to the grid: Dynamic programming and game theory approach*. Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol., Seville, Spain, pp. 2673–2679.
- [20]. G. Binetti, A. Davoudi, D. Naso, B. Turchiano, F. L. Lewis, 2015. *Scalable real-time electric vehicles charging with discrete charging rates*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 6, no. 5, pp. 2211–2220.
- [21]. M. C. Kisacikoglu, F. Erden, N. Erdogan, 2018. *Distributed control of PEV charging based on energy demand forecast*. IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 14, no. 1, pp. 332–341.
- [22]. A. Ghavami, K. Kar, A. Gupta, 2016. *Decentralized charging of plug-in electric vehicles with distribution feeder overload control*. IEEE Trans. Autom. Control, vol. 61, no. 11, pp. 3527–3532.
- [23]. W.J. Ma, V. Gupta, U. Topcu, 2014. *On distributed charging control of electric vehicles with power network capacity constraints*. Proc. Amer. Control Conf. (ACC), Portland, OR, USA, pp. 4306–4311.
- [24]. J. Li, C. Li, Z. Wu, X. Wang, K. L. Teo, C. Wu, 2018. *Sparsity-promoting distributed charging control for plug-in electric vehicles over distribution networks*. Appl. Math. Modell., vol. 58, pp. 111–127.
- [25]. M. Liu, P. K. Phanivong, Y. Shi, D. S. Callaway, 2017. *Decentralized charging control of electric vehicles in residential distribution networks*. IEEE Trans. On Control Systems Technology, vol. 99, pp. 1–16.
- [26]. M. Liu, P. K. Phanivong, D. S. Callaway, 2017. *Electric vehicle charging control in residential distribution network: A decentralized event-driven realization*. Proc. 56<sup>th</sup> IEEE Annu. Conf. Decis. Control, Melbourne, VIC, Australia, pp. 214–219.
- [27]. R. Smruti Sarangi, P. Dutta, K. Jalan, 2012. *IT infrastructure for providing energy-as-a-service to electric vehicles*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 2, pp. 594–604.

- [28]. E. L. Karfopoulos, N. D. Hatziaargyriou, 2013. *A multi-agent system for controlled charging of a large population of electric vehicles*. IEEE Trans. Power Syst., vol. 28, no. 2, pp. 1196–1204.
- [29]. S. Xu, et al., 2013. *Ant-based swarm algorithm for charging coordination of electric vehicles*. Int. J. Distrib. Sensor Netw., vol. 9, no. 5.
- [30]. Y. Mou, H. Xing, Z. Lin, M. Fu, 2015. *Decentralized optimal demand side management for PHEV charging in a smart grid*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 6, no. 2, pp. 726–736.
- [31]. M. H. K. Tushar, A. W. Zeineddine, C. Assi, 2018. *Demand-side management by regulating charging and discharging of the EV, ESS, and utilizing renewable energy*. IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 14, no. 1, pp. 117–126.
- [32]. R. Smruti Sarangi, P. Dutta, K. Jalan, 2012. *IT infrastructure for providing energy-as-a-service to electric vehicles*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 2, pp. 594–604.
- [33]. H. Liu, Z. Hu, Y. Song, J. Lin, 2013. *Decentralized vehicle-to-grid control for primary frequency regulation considering charging demands*. IEEE Trans. Power Syst., vol. 28, no. 3, pp. 3480–3489.
- [34]. C. Wu, H. Mohsenian-Rad, J. Huang, 2012. *Vehicle-to-aggregator interaction game*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 1, pp. 434–442.
- [35]. O. Beaudé, Y. He, M. Hennebel, 2013. *Introducing decentralized EV charging coordination for the voltage regulation*. Proc. IEEE PES Int. Conf. Innov. Smart Grid Technol., Eur., Lyngby, Denmark, pp. 1–5.
- [36]. J. Tan, L. Wang, 2016. *Enabling reliability-differentiated service in residential distribution networks with PHEVs: A hierarchical game approach*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 2, pp. 684–694.
- [37]. Z. Peng, L. Hao, 2017. *Decentralized coordination of electric vehicle charging stations for active power compensation*. Proc. 86th IEEE Conf. Veh. Technol., Toronto, ON, Canada, pp. 1–5.
- [38]. B. Jiang, Y. Fei, 2013. *Decentralized scheduling of PEV on-street parking and charging for smart grid reactive power compensation*. Proc. IEEE Conf. Innov. Smart Grid Technol. (ISGT), Washington, DC, USA, pp. 1–6.
- [39]. Y. Xu, 2015. *Optimal distributed charging rate control of plug-in electric vehicles for demand management*. IEEE Trans. Power Syst., vol. 30, no. 3, pp. 1536–1545.
- [40]. H. Xing, M. Fu, Z. Lin, Y. Mou, 2016. *Decentralized optimal scheduling for charging and discharging of plug-in electric vehicles in smart grids*. IEEE Trans. Power Syst., vol. 31, no. 5, pp. 4118–4127, 2016.
- [41]. Y. He, B. Venkatesh, L. Guan, 2012. *Optimal scheduling for charging and discharging of electric vehicles*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 3, pp. 1095–1105.
- [42]. Z. Fan, 2012. *A distributed demand response algorithm and its application to PHEV charging in smart grids*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 3, pp. 1280–1290, 2012.
- [43]. P. Rezaei, J. Frolik, P. D. H. Hines, 2014. *Packetized plug-in electric vehicle charge management*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 2, pp. 642–650.
- [44]. P. Richardson, D. Flynn, A. Keane, 2011. *Local versus centralized charging strategies for electric vehicles in low voltage distribution systems*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 2, pp. 1020–1028, 2011.
- [45]. C. Shao, X. Wang, X. Wang, C. Du, B. Wang, 2016. *Hierarchical charge control of large populations of Evs*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 2, pp. 1147–1155.
- [46]. C. Ahn, C.T. Li, H. Peng, 2011. *Optimal decentralized charging control algorithm for electrified vehicles connected to smart grid*. J. Power Sources, vol. 196, no. 23, pp. 10369–10379, 2011.
- [47]. X. Xi, R. Sioshansi, 2014. *Using price-based signals to control plug-in electric vehicle fleet charging*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 3, pp. 1451–1464.
- [48]. W. Yao, J. Zhao, F. Wen, Y. Xue, G. Ledwich, 2013. *A hierarchical decomposition approach for coordinated dispatch of plug-in electric vehicles*. IEEE Trans. Power Syst., vol. 28, no. 3, pp. 2768–2778.
- [49]. W. Tushar, W. Saad, H. V. Poor, D. B. Smith, 2012. *Economics of electric vehicle charging: A game theoretic approach*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 4, pp. 1767–1778.
- [50]. D. Wu, C. D. Aliprantis, L. Ying, 2012. *Load scheduling and dispatch for aggregators of plug-in electric vehicles*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 1, pp. 368–376.
- [51]. W. Qi, Z. Xu, Z.-J. M. Shen, Z. Hu, Y. Song, 2014. *Hierarchical coordinated control of plug-in electric vehicles charging in multifamily dwellings*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 3, pp. 1465–1474.
- [52]. Z. Xu, Z. Hu, Y. Song, W. Zhao, Y. Zhang, 2014. *Coordination of PEVs charging across multiple aggregators*. Appl. Energy, vol. 136, pp. 582–589.
- [53]. W. Lee, L. Xiang, R. Schober, V. W. S. Wong, 2015. *Electric vehicle charging stations with renewable power generators: A game theoretical analysis*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 6, no. 2, pp. 608–617.
- [54]. A. Ghavami, K. Kar, A. Gupta, 2016. *Decentralized charging of plug-in electric vehicles with distribution feeder overload control*. IEEE Trans. Autom. Control, vol. 61, no. 11, pp. 3527–3532.
- [55]. E. L. Karfopoulos, N. D. Hatziaargyriou, 2013. *A multi-agent system for controlled charging of a large population of electric vehicles*. IEEE Trans. Power Syst., vol. 28, no. 2, pp. 1196–1204.
- [56]. S. Bahrami, M. Parniani, 2014. *Game theoretic based charging strategy for plug-in hybrid electric vehicles*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 5, pp. 2368–2375.
- [57]. Y. Cao, et al., 2012. *An optimized EV charging model considering TOU price and SoC curve*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 1, pp. 388–393.
- [58]. J. Hu, S. You, M. Lind, J. Ostergaard, 2014. *Coordinated charging of electric vehicles for congestion prevention in the distribution grid*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 2, pp. 703–711, 2014.
- [59]. D. M. Anand, R. T. de Salis, Y. Cheng, J. Moyne, D. M. Tilbury, 2015. *A hierarchical incentive arbitration scheme for coordinated PEV charging stations*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 6, no. 4, pp. 1775–1784.
- [60]. K. Clement-Nyns, E. Haesen, J. Driesen, 2010. *The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid*. IEEE Trans. Power Syst., vol. 25, no. 1, pp. 371–380.
- [61]. N. I. Nimalsiri, C. P. Mediwaththe, E. L. Ratnam, M. Shaw, D. B. Smith, S. K. Halgamuge, 2020. *A survey of algorithms for distributed charging control of electric vehicles in smart grid*. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 21, no. 11, pp. 4497–4515.
- [62]. S. Alshahrani, M. Khalid, M. Almuhami, 2019. *Electric vehicles beyond energy storage and modern power networks: Challenges and applications*. IEEE Access, vol. 7, pp. 99031–99064.
- [63]. S. Aghajan-Eshkevari, S. Azad, M. Nazari-Heris, M. T. Ameli, S. Asadi, 2022. *Charging and discharging of electric vehicles in power systems: An updated and detailed review of methods, control structures, objectives, and optimization methodologies*. Sustainability, vol. 14, no. 4, p. 2137.
- [64]. S. Rangaraju, L. De Vroey, M. Messagie, J. Mertens, J. Van Mierlo, 2015. *Impacts of electricity mix, charging profile, and driving behavior on the emissions performance of battery electric vehicles: A Belgian case study*. Appl. Energy, vol. 148, pp. 496–505.

---

**AUTHORS INFORMATION****Nguyen Ngoc Van, Dam Khac Nhan, Nguyen Huu Duc**

Electric Power University