

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 14499-3-2:2025

IEC/TS 62933-3-2:2023

Xuất bản lần 1

**HỆ THỐNG LƯU TRỮ ĐIỆN NĂNG –
PHẦN 3-2: HOẠCH ĐỊNH VÀ ĐÁNH GIÁ TÍNH NĂNG
CỦA HỆ THỐNG LƯU TRỮ ĐIỆN NĂNG –
YÊU CẦU BỔ SUNG ĐỐI VỚI CÁC ỨNG DỤNG LIÊN QUAN
ĐẾN NGUỒN CÔNG SUẤT BIẾN ĐỘNG LỚN VÀ
TÍCH HỢP NGUỒN NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO**

*Electrical energy storage (EES) systems – Part 3-2: Planning and performance
assessment of electrical energy storage systems – Additional requirements for power
intensive and renewable energy sources integration related applications*

HÀ NỘI – 2025

Mục lục

Lời nói đầu.....	5
1 Phạm vi áp dụng.....	7
2 Tài liệu viện dẫn.....	7
3 Thuật ngữ, định nghĩa, thuật ngữ viết tắt và ký hiệu.....	9
3.1 Thuật ngữ và định nghĩa.....	9
3.2 Thuật ngữ và ký hiệu viết tắt.....	10
4 Các yếu tố cần xem xét trong hoạch định tổng thể và đánh giá tính năng cho hệ thống lưu trữ điện năng (EES).....	13
4.1 Ứng dụng của hệ thống lưu trữ điện năng (EES).....	13
4.2 Điều kiện và yêu cầu kết nối với lưới điện.....	18
4.3 Thiết kế hệ thống EES.....	23
4.4 Quy mô và các tham số kết quả của hệ thống EES.....	32
4.5 Tuổi thọ dịch vụ của các hệ thống EES.....	39
5 Điều chỉnh/điều khiển tần số.....	47
5.1 Điều chỉnh tần số sơ cấp và thứ cấp.....	47
5.2 Điều khiển tần số nhanh.....	63
6 Hỗ trợ điện áp lưới (Q(U)), hỗ trợ volt/var.....	72
6.1 Ứng dụng của hệ thống EES.....	72
6.2 Các điều kiện và yêu cầu để kết nối với lưới điện.....	73
6.3 Thiết kế các hệ thống EES.....	73
6.4 Quy mô và các tham số kết quả của các hệ thống EES.....	74
6.5 Tuổi thọ của các hệ thống EES.....	75
7 Giảm thiểu hiện tượng sụt điện áp (P(U)).....	76
7.1 Ứng dụng của các hệ thống EES.....	76
7.2 Điều kiện và yêu cầu kết nối lưới điện.....	78
7.3 Thiết kế của các hệ thống EES.....	78
7.4 Quy mô và các tham số kết quả của hệ thống EES.....	80
7.5 Tuổi thọ vận hành của các hệ thống EES.....	82
8 Ứng dụng liên quan đến tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo.....	83
8.1 Làm mịn công suất của các nguồn năng lượng tái tạo.....	83
8.2 Ổn định sản xuất (năng lượng) của nguồn năng lượng tái tạo.....	90
8.3 Hệ thống EES tại các trạm sạc điện kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo.....	94
9 Giảm dao động công suất (POD).....	100
9.1 Ứng dụng của hệ thống EES.....	100

9.2 Điều kiện và yêu cầu kết nối với lưới điện	103
9.3 Thiết kế hệ thống EES.....	104
9.4 Xác định quy mô và các tham số kết quả của hệ thống EES	106
9.5 Tuổi thọ của các hệ thống EES.....	109
Phụ lục A (tham khảo) Chỉ số tính năng chính có liên quan đến từng ứng dụng hệ thống EES.....	113
Phụ lục B (tham khảo) Phân quyền mặc định cho các vai trò.....	115
Phụ lục C (tham khảo) Các yêu cầu bảo trì cụ thể liên quan đến công nghệ EES.....	120
Thư mục tài liệu tham khảo	131

TCVN 14499-3-2:2025

Lời nói đầu

TCVN 14499-3-2:2025 hoàn toàn tương đương với IEC/TS 62933-3-2:2023;

TCVN 14499-3-2:2025 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC/E18 *Pin và ắc quy* biên soạn, Viện Tiêu chuẩn Chất lượng Việt Nam đề nghị, Ủy ban Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng Quốc gia thẩm định, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bộ TCVN 14499 (IEC 62933), *Hệ thống lưu trữ điện năng* gồm các tiêu chuẩn sau:

- TCVN 14499-1:2025 (IEC 62933-1:2024), Phần 1: Từ vựng;
- TCVN 14499-2-1:2025 (IEC 62933-2-1:2017), Phần 2-1: Thông số kỹ thuật và phương pháp thử – Quy định kỹ thuật chung;
- TCVN 14499-2-2:2025 (IEC/TS 62933-2-2:2022), Phần 2-2: Thông số kỹ thuật và phương pháp thử – Ứng dụng và thử nghiệm tính năng;
- TCVN 14499-2-200:2025 (IEC/TR 62933-2-200:2021), Phần 2-200: Thông số kỹ thuật và phương pháp thử – Nghiên cứu các trường hợp điển hình của hệ thống lưu trữ điện năng đặt trong trạm sạc EV sử dụng PV;
- TCVN 14499-3-1:2025 (IEC/TS 62933-3-1:2018), Phần 3-1: Hoạch định và đánh giá tính năng của hệ thống lưu trữ điện năng – Quy định kỹ thuật chung;
- TCVN 14499-3-2:2025 (IEC/TS 62933-3-2:2023), Phần 3-2: Hoạch định và đánh giá tính năng của hệ thống lưu trữ điện năng – Yêu cầu bổ sung đối với các ứng dụng liên quan đến nguồn công suất biến động lớn và tích hợp nguồn năng lượng tái tạo;
- TCVN 14499-3-3:2025 (IEC/TS 62933-3-3:2022), Phần 3-3: Hoạch định và đánh giá tính năng của hệ thống lưu trữ điện năng – Yêu cầu bổ sung cho các ứng dụng tiêu thụ nhiều năng lượng và nguồn điện dự phòng;
- TCVN 14499-4-1:2025 (IEC 62933-4-1:2017), Phần 4-1: Hướng dẫn các vấn đề về môi trường – Quy định kỹ thuật chung;
- TCVN 14499-4-2:2025 (IEC 62933-4-2:2025), Phần 4-2: Hướng dẫn các vấn đề về môi trường – Đánh giá tác động môi trường của hồng học pin trong hệ thống lưu trữ điện hóa;
- TCVN 14499-4-3:2025, Phần 4-3: Các yêu cầu bảo vệ đối với hệ thống pin lưu trữ năng lượng theo các điều kiện môi trường;
- TCVN 14499-4-4:2025 (IEC 62933-4-4:2023), Phần 4-4: Yêu cầu về môi trường đối với hệ thống pin lưu trữ năng lượng (BESS) với pin tái sử dụng;

- TCVN 14499-5-1:2025 (IEC 62933-5-1:2024), Phần 5-1: Xem xét về an toàn đối với hệ thống EES tích hợp lưới điện – Quy định kỹ thuật chung;
- TCVN 14499-5-2:2025 (IEC 62933-5-2:2020), Phần 5-2: Yêu cầu an toàn đối với hệ thống EES tích hợp lưới điện – Hệ thống dựa trên nguyên lý điện hóa;
- TCVN 14499-5-3:2025 (IEC 62933-5-3:2017), Phần 5-3: Yêu cầu an toàn đối với hệ thống EES tích hợp lưới điện – Thực hiện sửa đổi ngoài kế hoạch hệ thống dựa trên nguyên lý điện hóa;
- TCVN 14499-5-4:2025, Phần 5-4: Phương pháp và quy trình thử nghiệm an toàn đối với hệ thống EES tích hợp lưới điện – Hệ thống dựa trên pin lithium ion.

Hệ thống lưu trữ điện năng (EES) –

Phần 3-2: Hoạch định và đánh giá tính năng của hệ thống lưu trữ điện năng – Yêu cầu bổ sung đối với các ứng dụng liên quan đến nguồn công suất biến động lớn và tích hợp nguồn năng lượng tái tạo

Electrical energy storage (EES) systems –

Part 3-2: Planning and performance assessment of electrical energy storage systems – Additional requirements for power intensive and renewable energy sources integration related applications

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này đưa ra các yêu cầu cho các ứng dụng liên quan đến nguồn công suất biến động lớn và tích hợp nguồn năng lượng tái tạo của hệ thống EES, bao gồm tích hợp lưới điện, chỉ số tính năng, xác định quy mô và hoạch định, vận hành và điều khiển, giám sát và bảo trì. Các ứng dụng nguồn công suất biến động lớn của hệ thống EES thường được sử dụng để cải thiện hiệu suất động của lưới điện bằng cách xả hoặc sạc dựa trên các chiến lược điều khiển tương ứng. Các ứng dụng liên quan đến tích hợp nguồn năng lượng tái tạo của hệ thống EES thường được sử dụng để giảm thiểu biến động ngắn hạn và/hoặc duy trì sự ổn định lâu dài. Tiêu chuẩn này bao gồm các ứng dụng sau của hệ thống EES:

- điều chỉnh/hỗ trợ tần số;
- hỗ trợ điện áp lưới (Q(U)) (“hỗ trợ vôn/var”);
- giảm thiểu hiện tượng sụt giảm điện áp;
- ứng dụng liên quan đến tích hợp nguồn năng lượng tái tạo;
- giảm dao động công suất (POD).

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau đây rất cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng các phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất bao gồm cả các sửa đổi, nếu có.

TCVN 7921-1 (IEC 60721-1), *Phân loại điều kiện môi trường – Phần 1: Tham số môi trường và độ khắc nghiệt*

TCVN 11996 (IEC 61850) (tất cả các phần), *Mạng và hệ thống truyền thông trong tự động hóa hệ thống điện*

IEC/TS 62786, *Distributed energy resources connection with the grid (Kết nối nguồn năng lượng phân tán với lưới điện)*

IEC/TS 62933-1:2018¹, *Electrical energy storage (EES) systems – Part 1: Vocabulary (Hệ thống lưu trữ điện năng (EES) – Phần 1: Từ vựng)*

TCVN 14499-3-1 (IEC/TS 62933-3-1), *Hệ thống lưu trữ điện năng – Phần 3-1: Hoạch định và đánh giá tính năng của hệ thống lưu trữ điện năng – Quy định kỹ thuật chung*

TCVN 14499-3-3 (IEC/TS 62933-3-3), *Hệ thống lưu trữ điện năng – Phần 3-3: Hoạch định và đánh giá tính năng của hệ thống lưu trữ điện năng – Yêu cầu bổ sung cho các ứng dụng tiêu thụ nhiều năng lượng và nguồn điện dự phòng*

IEC/TS 62933-5-1², *Hệ thống lưu trữ điện năng – Phần 5-1: Xem xét an toàn đối với hệ thống EES tích hợp lưới điện – Quy định kỹ thuật chung*

IEC/TS 62933-5-2³, *Hệ thống lưu trữ điện năng – Phần 5-2: Yêu cầu an toàn đối với hệ thống EES tích hợp lưới điện – Hệ thống dựa trên nguyên lý điện hóa*

IEC/IEEE 60255-118-1, *Measuring relays and protection equipment – Part 118-1: Synchrophasor for power systems – Measurements (Role đo lường và thiết bị bảo vệ – Phần 118-1: Đồng bộ pha trong hệ thống điện – Đo lường)*

ISO 5660-1, *Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement) (Thử nghiệm phản ứng với lửa – Tốc độ toả nhiệt, lượng khói sinh ra và tốc độ mất khối lượng – Phần 1: Tốc độ toả nhiệt (phương pháp dùng thiết bị đo hình nón) và tốc độ sinh khói (đo lường động))*

IEEE C37.118-2015, *IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems (Tiêu chuẩn IEEE về các đồng bộ pha cho hệ thống điện)*

¹ Hệ thống tiêu chuẩn quốc gia đã có TCVN 14499-1:2025 hoàn toàn tương đương với IEC 62933-1:2024.

² Hệ thống tiêu chuẩn quốc gia đã có TCVN 14499-5-1:2025 hoàn toàn tương đương với IEC 62933-5-1:2024.

³ Hệ thống tiêu chuẩn quốc gia đã có TCVN 14499-5-2:2025 hoàn toàn tương đương với IEC 62933-5-2:2020.

3 Thuật ngữ, định nghĩa, thuật ngữ viết tắt và ký hiệu

3.1 Thuật ngữ và định nghĩa

Trong tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa cho trong IEC/TS 62933-1 và các thuật ngữ và các định nghĩa dưới đây.

3.1.1

Đáp ứng tần số quét nhanh (fast frequency response)

Điều khiển tần số quét nhanh (fast frequency control)

Ứng dụng ngắn hạn của hệ thống EES được sử dụng để làm chậm tốc độ thay đổi tần số của hệ thống điện (IEV 601-01-01) trong trường hợp hỏng hóc đột ngột và giảm biên độ chênh lệch tần số quá độ, thông qua khả năng hỗ trợ tích cực tần số lưới điện bằng cách xả hoặc sạc rất nhanh (ví dụ trong vòng 100 ms).

3.1.2

Giảm biến động công suất (fluctuation reduction)

Làm mịn công suất (power smoothing)

Ứng dụng ngắn hạn của hệ thống EES được sử dụng để giảm sự dao động công suất của các khối phát điện (đặc biệt là các nguồn năng lượng tái tạo) liên quan đến điểm đấu nối của chúng (IEV 617-04-01) bằng cách nhận công suất tác dụng vào thời điểm sản lượng phát điện cao và bằng cách cung cấp thêm công suất tác dụng vào thời điểm sản lượng phát điện thấp.

3.1.3

Giảm dao động công suất (power oscillation damping)

POD

Ứng dụng ngắn hạn của hệ thống EES được sử dụng để hạn chế dao động công suất trong một hoặc nhiều lưới điện xoay chiều được kết nối (IEV 601-01-02) bằng cách điều khiển dòng công suất tác dụng hoặc phản kháng.

CHÚ THÍCH 1: Phạm vi dao động công suất tần số thấp thường là từ 0,1 Hz đến 2 Hz.

3.1.4

Điều khiển tần số sơ cấp (primary frequency control)

Điều chỉnh tần số sơ cấp (primary frequency regulation)

Ứng dụng ngắn hạn của hệ thống EES được sử dụng để ổn định tần số hệ thống điện (IEV 601-01-01) ở giá trị trạng thái ổn định thông qua khả năng đáp ứng với độ lệch tần số được đo.

CHÚ THÍCH 1: Nhìn chung, hệ thống điều khiển tần số sơ cấp sẽ tự động kích hoạt chức năng điều khiển tần số sơ cấp trong vòng vài giây sau khi đo được độ lệch tần số và được kích hoạt hoàn toàn trong vòng chưa đầy vài phút.

3.1.5

Ổn định sản lượng năng lượng tái tạo (renewable energy resources generation firming)

Ứng dụng dài hạn của hệ thống EES được sử dụng để tách biệt quá trình tạo ra nguồn năng lượng tái tạo và quá trình tiêu thụ năng lượng trong một thời gian cụ thể bằng cách nhận năng lượng trong các giai đoạn có lượng năng lượng tạo ra dư thừa và cung cấp năng lượng trong các giai đoạn có lượng năng lượng tiêu thụ dư thừa.

3.1.6

Điều khiển tần số thứ cấp (secondary frequency control)

Điều chỉnh tần số thứ cấp (secondary frequency regulation)

Ứng dụng ngắn hạn của hệ thống EES được sử dụng để khôi phục tần số hệ thống về tần số hệ thống danh nghĩa, thường theo điều chỉnh tần số sơ cấp.

CHÚ THÍCH 1: Nhìn chung, điều khiển tần số thứ cấp được kích hoạt thủ công hoặc tự động trong khoảng thời gian từ 30 s đến 15 min kể từ khi hoàn tất quá trình điều chỉnh tần số sơ cấp.

3.1.7

Tốc độ tự xả (self-discharge rate)

Tỷ lệ phần trăm lượng năng lượng mất đi so với tổng dung lượng năng lượng của hệ thống EES trong thời gian nghỉ trong một khoảng thời gian đo xác định trước.

CHÚ THÍCH 1: Trong thời gian nghỉ, tất cả các thiết bị ngoại vi cần thiết đều được kích hoạt và do đó mức tiêu thụ năng lượng của chúng cũng được tính đến.

CHÚ THÍCH 2: Thời gian đo được xác định hợp lý theo đặc tính tự phóng điện của từng công nghệ EES.

3.1.8

Giảm thiểu sụt điện áp (voltage sag mitigation/voltage dip mitigation)

Ứng dụng ngắn hạn của hệ thống EES được sử dụng để bù cho sự sụt giảm điện áp trong một thời gian xác định và cho một công suất cực đại được xác định trước, khi xảy ra sụt điện áp tại POC chính.

CHÚ THÍCH 1: Các sự kiện về chất lượng điện được mô tả trong IEC/TS 62749. Sụt điện áp và giảm áp thường được sử dụng như từ đồng nghĩa.

3.2 Thuật ngữ và ký hiệu viết tắt

3.2.1 Thuật ngữ viết tắt

ACE	Lỗi kiểm soát khu vực	area control error
AGC	Điều khiển phát điện tự động	automatic generation control
BAMU	Đơn vị quản lý cụm pin	battery array management unit
BCU	Đơn vị điều khiển pin	battery control unit
BESS	Hệ thống lưu trữ năng lượng pin	battery energy storage system

BMS	Hệ thống quản lý pin	battery management system
BMU	Đơn vị quản lý pin	battery management unit
CAES	Lưu trữ năng lượng bằng không khí nén	compressed air energy storage
DER	Nguồn năng lượng phân tán	distributed energy resources
EES	Lưu trữ năng lượng điện	electrical energy storage
EESS	Hệ thống lưu trữ điện năng	electrical energy storage system
EMC	Tương thích điện từ	electromagnetic compatibility
EMS	Hệ thống quản lý năng lượng	energy management system
EV	Xe điện	electric vehicle
FAT	Kiểm tra chấp nhận tại nhà máy	factory acceptance test
FES	Lưu trữ năng lượng bằng bánh đà	flywheel energy storage
FFC	Điều khiển tần số phẳng	flat frequency control
FFR	Đáp ứng tần số nhanh	fast frequency response
FTC	Điều khiển đường dây liên kết phẳng	flat tie-line control
HMI	Giao diện người-máy	human machine interface
HVAC	Hệ thống sưởi ấm, thông gió và điều hòa không khí	heating, ventilation and air conditioning
HVDC	Dòng điện một chiều cao thế	high voltage direct current
LCC	Bộ chuyển đổi điều khiển dòng	line-commutated converter
MOI	Mômen quán tính	moment of inertia
OFRT	Khả năng chịu đựng quá tần số	over-frequency ride through
OVRT	Khả năng chịu đựng quá điện áp	over-voltage ride through
PCC	Điểm ghép nối chung	point of common coupling
PCS	Hệ thống chuyển đổi năng lượng	power conversion subsystem / power conversion system
PFR	Đáp ứng tần số sơ cấp	primary frequency response
PMU	Đơn vị đo pha	phase measurement unit
POC	Điểm đấu nối	point of connection
POD	Giảm dao động công suất	power oscillation damping

PV	Quang điện	photovoltaic
ROCOF	Tốc độ thay đổi tần số	rate of change of frequency
RSDR	Giảm độ lệch chuẩn của tốc độ tăng giảm công suất	reduction in standard deviation of ramp rate
RSDP	Giảm độ lệch chuẩn của công suất	reduction in standard deviation of power
SAT	Kiểm tra chấp nhận tại hiện trường	site acceptance test
SCADA	Hệ thống điều khiển và thu thập dữ liệu từ xa	supervisory control and data acquisition
SCR	Tỷ lệ ngắn mạch	short-circuit ratio
SFR	Đáp ứng tần số thứ cấp	secondary frequency response
SMES	Lưu trữ năng lượng từ trường siêu dẫn	superconducting magnetic energy storage
SOC	Trạng thái sạc	state of charge
SOH	Trạng thái sức khỏe	state of health
SSI	Tương tác dưới đồng bộ	subsynchronous interaction
SSR	Cộng hưởng dưới đồng bộ	subsynchronous resonance
SVC	Bộ bù công suất tĩnh	static var compensator
TBC	Điều khiển liên kết có tính đến độ lệch tần số	tie-line load frequency bias control
UFRT	Khả năng chịu đựng dưới tần số	under-frequency ride through
UVRT	Khả năng chịu đựng dưới điện áp	under-voltage ride through

3.2.2 Ký hiệu

P	Công suất tác dụng
Q	Công suất phản kháng
S	Công suất biểu kiến
f	Tần số
U	Điện áp
I	Dòng điện

4 Các yếu tố cần xem xét trong hoạch định tổng thể và đánh giá tính năng cho hệ thống lưu trữ điện năng (EES)

4.1 Ứng dụng của hệ thống lưu trữ điện năng (EES)

4.1.1 Mục đích chức năng của các hệ thống EES

4.1.1.1 Quy định chung

Trong việc hoạch định các hệ thống EES, điều quan trọng là hiểu rõ mục đích mà các hệ thống này cần được sử dụng. Cũng có thể hình dung rằng các hệ thống EES có thể hoạt động không chỉ cho một ứng dụng duy nhất. Do đó, cần mô tả các ứng dụng dự kiến của hệ thống EES trong lưới điện mà chúng kết nối.

Các ứng dụng của hệ thống EES có thể được phân biệt theo các tiêu chí khác nhau cần thiết cho các ứng dụng của hệ thống EES:

- Nhu cầu về hàm lượng năng lượng;
- Nhu cầu về công suất tác dụng đầu vào và đầu ra;
- Nhu cầu về tần số chuyển tiếp pha trong quá trình sạc và xả;
- Nhu cầu về thời gian đáp ứng và tính năng tốc độ tăng giảm công suất;
- Nhu cầu về trao đổi công suất phản kháng bổ sung với hệ thống cung cấp điện;
- Nhu cầu về khả năng hoạt động độc lập và khả năng khởi động lại trong tình huống mất điện.

Ngoài các ứng dụng liên quan đến công suất tác dụng và năng lượng, một hệ thống EES có thể cung cấp nhiều dịch vụ bổ sung. Các điều từ 4.1.1.2 đến 4.1.1.5 phân biệt giữa các ứng dụng nguồn công suất biến động lớn cũng như các ứng dụng tiêu thụ nhiều năng lượng và ứng dụng nguồn dự phòng.

4.1.1.2 Ứng dụng nguồn công suất biến động lớn

Các hệ thống EES cho các ứng dụng yêu cầu công suất cao thường có nhu cầu về tính năng đáp ứng nhanh, cho các chuyển tiếp pha sạc và xả thường xuyên hoặc cho việc trao đổi công suất phản kháng bổ sung với hệ thống điện. Một số công nghệ EES đã phát triển, đặc biệt là lưu trữ năng lượng trường từ siêu dẫn (SMES), siêu tụ điện, lưu trữ năng lượng bánh đà (FES) và pin lithium loại công suất, có mật độ công suất cao nhưng mật độ năng lượng thấp, và có thể được sử dụng trong các ứng dụng này. Các ứng dụng bao gồm:

- Hỗ trợ/điều chỉnh tần số lưới;
- Hỗ trợ điện áp lưới;
- Hỗ trợ chất lượng điện năng;
- Điều khiển dòng công suất phản kháng;
- Giảm dao động công suất (POD).

4.1.1.3 Ứng dụng liên quan đến tích hợp nguồn năng lượng tái tạo

Bằng cách tích hợp các hệ thống EES, nhiều biện pháp quản lý tải, năng lượng, chất lượng công suất và hoạt động có thể được thực hiện, có thể được sử dụng một cách thuận lợi kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo. Các ứng dụng này bao gồm:

- làm mịn công suất;
- ổn định sản lượng;
- ứng dụng cho trạm sạc điện kết hợp với nguồn năng lượng tái tạo;
- quản lý tải (giảm biến động tải);
- quản lý hoạt động.

4.1.1.4 Ứng dụng tiêu thụ nhiều năng lượng

Các ứng dụng tiêu thụ nhiều năng lượng có thể cung cấp công suất cần thiết trong một khoảng thời gian dài. Việc vận hành cô lập của hệ thống EES cung cấp công suất cần thiết cho các lưới điện nội bộ mà không phụ thuộc vào nguồn điện bên ngoài. Các ứng dụng tiêu thụ nhiều năng lượng của hệ thống EES bao gồm:

- giảm biến động năng lượng;
- vận hành lưới điện cô lập.

4.1.1.5 Ứng dụng nguồn dự phòng

Trong trường hợp mất điện lưới bên ngoài, ứng dụng nguồn dự phòng có thể cung cấp công suất cần thiết cho tất cả các tải hoặc chỉ các tải khẩn cấp trong lưới nội bộ. Ứng dụng nguồn dự phòng của hệ thống EES là:

- cung cấp nguồn dự phòng và hỗ trợ khẩn cấp.

4.1.2 Các yêu cầu liên quan đến ứng dụng

4.1.2.1 Quy định chung

Để đạt được chức năng yêu cầu, phần cứng và phần mềm được chọn của hệ thống EES phải đáp ứng một số yêu cầu chức năng chính. Các yêu cầu chức năng chính này (không nhất thiết phải liên quan trực tiếp đến hệ thống EES) được mô tả trong 4.1.2.

Do đó, thiết bị được chọn phải có các đặc tính chức năng chính này (ví dụ cấp nguồn và tiêu thụ điện năng) để thực hiện chức năng phù hợp cho ứng dụng. Các yêu cầu điển hình được liệt kê từ 4.1.2.2 đến 4.1.2.13. Phụ lục A cung cấp thêm thông tin về các chỉ số liên quan đến từng ứng dụng của hệ thống EES.

4.1.2.2 Yêu cầu về công suất

Để xác định các nhu cầu về đầu vào và đầu ra công suất, các giá trị công suất sau có thể được sử dụng để định nghĩa các yêu cầu liên quan đến công suất cho hệ thống EES:

- công suất tác dụng danh định, P [W];
- công suất phản kháng danh định, Q [var];
- công suất biểu kiến danh định, S [VA];
- công suất đầu vào và đầu ra danh định [W];
- công suất đầu vào và đầu ra ngắn hạn (danh định) [W];
- công suất phản kháng ngắn hạn [var];
- mật độ công suất [W/kg], [W/m³];
- tốc độ tăng giảm công suất [W/min].

4.1.2.3 Yêu cầu về thời gian

Các giá trị thời gian để biểu thị khoảng thời gian của một ứng dụng công suất nhất định có thể được sử dụng để xác định yêu cầu tính năng về năng lượng và công suất cho hệ thống EES:

- khoảng thời gian sạc/xả danh định;
- thời gian công suất đầu vào/đầu ra ngắn hạn danh định.

4.1.2.4 Yêu cầu về năng lượng

Để xác định nhu cầu về tiêu thụ năng lượng và cấp nguồn tại điểm đấu nối (POC), các giá trị năng lượng sau có thể được sử dụng để xác định các yêu cầu liên quan đến năng lượng cho hệ thống EES tại POC:

- dung lượng năng lượng danh định [kWh];
- dung lượng năng lượng thực tế [kWh];
- mật độ năng lượng [kWh/kg, kWh/m³].

Các yêu cầu về năng lượng cần xem xét sự suy giảm dung lượng theo thời gian để đáp ứng tuổi thọ vận hành.

4.1.2.5 Yêu cầu về hiệu suất

Để mô tả hiệu suất của quá trình chuyển đổi hoặc vận chuyển năng lượng cũng như của quá trình lưu trữ năng lượng, các giá trị hiệu suất liên quan đến năng lượng và công suất sau có thể được sử dụng để xác định các yêu cầu hiệu suất cho hệ thống EES:

- hiệu suất công suất [%];
- hiệu suất hệ thống chuyển đổi năng lượng (PCS) [%];

- hiệu suất năng lượng chu kỳ sạc xả [%];
- tốc độ tự xả [%/ngày].

4.1.2.6 Yêu cầu về thời gian đáp ứng và tốc độ tăng giảm công suất

Các yêu cầu về tốc độ, tức là, tốc độ đạt đến giá trị thực với độ chính xác đủ khi cho trước giá trị đặt, có thể được xác định bởi các yêu cầu về thời gian đáp ứng và tốc độ tăng giảm công suất:

- thời gian đáp ứng bước;
- tốc độ tăng giảm công suất;
- thời gian ổn định;
- thời gian đo tần số.

Khi chuyển đổi giữa quá trình sạc và xả, các giá trị sau có thể được sử dụng:

- thời gian nghỉ;
- thời gian dừng;
- thời gian chuyển tiếp.

4.1.2.7 Yêu cầu và đặc tính điều khiển

Để đạt được chức năng mong muốn, các thuật toán và đặc tính phù hợp cần được triển khai khi điều khiển hệ thống EES:

- khả năng điều chỉnh tần số với đặc tính tần số-công suất tác dụng ($P(f)$);
- khả năng hỗ trợ điện áp với đặc tính điện áp-công suất phản kháng ($Q(U)$);
- giảm thiểu sụt điện áp;
- làm mịn (công suất) nguồn năng lượng tái tạo;
- ổn định (năng lượng) nguồn năng lượng tái tạo;
- hệ thống EES trong các trạm sạc điện kết hợp với nguồn năng lượng tái tạo;
- giảm dao động công suất;
- khả năng khởi động lại trong tình huống mất điện.

CHÚ THÍCH: Trong một số trường hợp, hỗ trợ điện áp để ngăn ngừa sụt giảm điện áp sau sự cố truyền tải ($N - 1$) yêu cầu cả công suất phản kháng và công suất tác dụng. Ứng dụng liên quan đến hỗ trợ điện áp của hệ thống EES chủ yếu xem xét các đặc tính công suất phản kháng.

4.1.2.8 Yêu cầu về quy mô, khối lượng và kích thước

Cũng có thể có các yêu cầu đối với hệ thống EES liên quan đến kích thước không gian và khối lượng:

- kích thước (chiều dài, chiều rộng, chiều cao) [m], diện tích [m^2], thể tích [m^3];

- khối lượng [kg, t].

4.1.2.9 Yêu cầu và đặc tính liên quan đến an ninh

Cũng có thể có các yêu cầu cho hệ thống EES liên quan đến an ninh:

- an ninh thiết bị;
- an ninh mạng;
- an toàn hoạt động;
- các biện pháp bảo vệ an ninh;
- an toàn phòng cháy chữa cháy;
- tuân thủ các tiêu chuẩn an ninh cụ thể cho từng kịch bản.

4.1.2.10 Yêu cầu và đặc tính liên quan đến tuổi thọ

Cũng có thể có các yêu cầu cho hệ thống EES về mặt tuổi thọ:

- số lượng chu kỳ tối thiểu tổng cộng, mỗi năm hoặc mỗi ngày;
- tuổi thọ tối thiểu;
- nhiệt độ môi trường và các điều kiện khí hậu khác.

4.1.2.11 Yêu cầu và đặc tính liên quan đến khả năng tương thích môi trường

Cũng có thể có các yêu cầu cho hệ thống EES liên quan đến tác động và khả năng tương thích với môi trường:

- lượng phát thải CO₂ tối đa trong quá trình sản xuất, vận hành và thải bỏ;
- lượng phát thải tiếng ồn tối đa trong quá trình sản xuất, vận hành và thải bỏ;
- các chất khác thải ra ngoài không khí, nước hoặc đất (có thể phụ thuộc vào công nghệ lưu trữ được sử dụng trong hệ thống EES) trong quá trình sản xuất, vận hành và thải bỏ.

4.1.2.12 Yêu cầu về khả năng sử dụng và mức độ sẵn sàng

Nếu đây là một ứng dụng liên quan đến an toàn, có thể có yêu cầu về khả năng sử dụng và mức độ sẵn sàng của hệ thống EES:

- số lượng hệ thống dự thừa;
- thời gian ngừng hoạt động tối đa mỗi năm;
- tỷ lệ sử dụng hệ thống tối thiểu;
- các hoạt động bảo trì phòng ngừa và bảo trì khắc phục.

CHÚ THÍCH: Bảo trì phòng ngừa là một loại bảo trì được thực hiện nhằm mục đích đánh giá và/hoặc giảm thiểu sự suy giảm và giảm xác suất hỏng hóc của một thiết bị. Bảo trì khắc phục là loại bảo trì được thực hiện sau khi nhận diện hỏng hóc và nhằm phục hồi thiết bị về trạng thái mà nó có thể thực hiện chức năng yêu cầu.

4.1.2.13 Yêu cầu và đặc tính liên quan đến hiệu quả kinh tế

Cũng có thể có những cân nhắc về hiệu quả kinh tế cho hệ thống EES:

- chi phí đầu tư tối đa;
- chi phí vận hành tối đa;
- chi phí quản lý tối đa.

Trong giai đoạn hoạch định, điều này có thể ảnh hưởng đến việc lựa chọn công nghệ được sử dụng trong hệ thống EES (ví dụ công nghệ lưu trữ của hệ thống tích trữ).

4.2 Điều kiện và yêu cầu kết nối với lưới điện

4.2.1 Quy định chung

Các yêu cầu từ lưới điện mà hệ thống EES được nối đến được mô tả trong 4.2. Chúng bao gồm các yêu cầu, điều kiện và giới hạn của lưới điện, và yêu cầu cho nhà vận hành cùng các quy định pháp lý và quy định kỹ thuật/chức năng.

4.2.2 Thông số lưới điện tại POC dự kiến

Trong 4.2.2 mô tả môi trường điện của hệ thống EES, mà phải được xem xét trong thiết kế hệ thống EES. Nó chứa các thông số và yêu cầu của lưới điện, chủ yếu là các thông số điện, ràng buộc, phạm vi vận hành và yêu cầu của lưới điện tại POC (chính).

Các thông số chính của lưới tại POC mà hệ thống EES được nối đến phải được xem xét trong giai đoạn hoạch định. Những thông số này bao gồm:

- điện áp danh nghĩa của hoạt động ;
- phạm vi điện áp vận hành cho thiết bị;
- biến đổi điện áp tạm thời;
- tần số danh nghĩa;
- biến đổi tần số bình thường liên tục;
- biến đổi tần số tạm thời;
- dòng ngắn mạch và thời gian ngắn mạch;
- đồng bộ hóa máy cắt;
- đấu nối trung tính;
- bảo vệ nối đất

TCVN 14499-3-2:2025

- đặc tính chỉ thị liên quan đến chất lượng dạng sóng điện áp;
- các yêu cầu bảo vệ.

4.2.3 Điều kiện vận hành

Trong 4.2.3 xem xét các yêu cầu liên quan đến điều kiện vận hành, bao gồm môi trường không điện của hệ thống EES:

- nhiệt độ (môi trường);
- độ ẩm;
- sét;
- động đất;
- ngập lụt/nước, mưa;
- áp suất.
- gió;
- băng và tuyết;
- xâm nhập của sinh vật (ví dụ: chuột, côn trùng hoặc con người);
- dao động và rung động cộng hưởng;
- bụi và khói;
- môi trường ăn mòn;
- sương mặn/nước muối/chất ăn mòn hóa học;
- cháy (bên trong và bên ngoài);
- nguồn điện từ bên ngoài;
- bức xạ mặt trời;
- tích tụ trầm tích.

Theo vị trí lắp đặt, các yêu cầu cụ thể cho từng địa điểm cần được xem xét trong giai đoạn hoạch định.

Ngoài ra, phải xem xét phân loại điều kiện môi trường theo IEC 60721-1. Khi cần thiết, những người hoạch định hệ thống EES nên tham khảo IEC 60721-3-3, IEC 60364-5-51 hoặc IEC/TS 62933-4-1 để có hướng dẫn về các điều kiện môi trường.

4.2.4 Yêu cầu và hạn chế của nhà vận hành lưới điện hoặc nhà vận hành hệ thống

4.2.4.1 Quy định chung

Trong 4.2.4 liệt kê các yêu cầu và hạn chế chủ yếu xuất phát từ cấu trúc lưới điện và hoạt động của hệ thống EES. Những thông số này thường được cung cấp bởi nhà vận hành lưới điện hoặc hệ thống và có thể được đưa vào các yêu cầu cụ thể về lưới điện dựa trên quy phạm lưới địa phương.

Mức điện áp của hệ thống EES phải đáp ứng yêu cầu của các đối tượng ứng dụng, và mức điện áp cần phải được xác định toàn diện theo tính năng, vị trí và các điều kiện cụ thể của hệ thống EES.

Khi lựa chọn POC mà hệ thống EES được nối vào, cần xem xét các khía cạnh sau:

- yêu cầu về an ninh lưới;
- vấn đề về khả năng ngắn mạch;
- khả năng tải;
- tác động đến chất lượng điện năng.

4.2.4.2 Profin hệ thống điện tại POC

Profin hệ thống điện tại POC được xác định bởi dải điều kiện tần số và điện áp ở trạng thái ổn định và động trong đó hệ thống EES phải duy trì kết nối với POC và cung cấp các khả năng và chức năng yêu cầu của hệ thống EES. Hơn nữa, việc chấp nhận sự tắc nghẽn điện tử công suất, dưới một số mức giảm điện áp và quá điện áp, cũng như khả năng tần số quá độ tạm thời cần được nêu rõ (xem IEC/TS 62786), cũng như các kịch bản ứng dụng và quy định địa phương nếu cần. Các hạng mục sau cần được xem xét:

- chu kỳ làm việc;
- biểu đồ phụ tải;
- đóng góp của dòng ngắn mạch;
- đóng góp vào hài điện áp/dòng điện;
- khả năng duy trì hoạt động khi điện áp giảm hoặc tăng (UVRT/OVRT).
- khả năng duy trì hoạt động khi tần số giảm hoặc tăng (UFRT/OFRT);
- truyền công suất tác dụng trong trường hợp lỗi và phục hồi sau khi đã khắc phục lỗi;
- cung cấp công suất phụ trợ từ bên ngoài hoặc bên trong;
- độ chính xác và dung sai của các giá trị/phép đo;
- các yêu cầu về giám sát/dữ liệu;
- các yêu cầu bổ sung của lưới điện (bao gồm giao diện phần cứng và phần mềm).

4.2.4.3 Phạm vi cho phép đối với quản lý năng lượng

Vi giá trị ban đầu tại đầu mỗi chu kỳ làm việc cần nằm trong một phạm vi hàm lượng năng lượng nhất định, có thể cần một chu kỳ phục hồi để đưa hệ thống EES về trạng thái ban đầu hoặc trạng thái cụ thể

TCVN 14499-3-2:2025

mà tại đó có thể thực hiện lại các chu kỳ làm việc. Các bậc tự do trong các chu kỳ phục hồi phụ thuộc chủ yếu vào yêu cầu của lưới điện. Liên quan đến xác định quy mô của hệ thống EES, các giá trị đặc trưng của quá trình phục hồi cần được chỉ rõ:

- phạm vi công suất đầu ra hoặc đầu vào tác dụng cho phép, bao gồm các giá trị công suất đầu ra hoặc đầu vào tác dụng tối đa và tối thiểu;
- thời gian tối thiểu và tối đa;
- thời gian phục hồi tối thiểu và tối đa có sẵn để khôi phục hệ thống EES giữa các chu kỳ làm việc;
- các yêu cầu hoặc hạn chế có thể liên quan đến công suất đầu vào và đầu ra phản kháng;
- phạm vi các giá trị tần số cho phép;
- tốc độ thay đổi tối đa cho phép của công suất tác dụng và phản kháng;
- phạm vi giá trị hệ số công suất cho phép tại POC chính;
- các yêu cầu có thể liên quan đến hệ số công suất.

4.2.4.4 Chu kỳ làm việc

Ứng dụng của hệ thống EES thường liên quan đến việc xác định một hoặc nhiều chu kỳ làm việc phù hợp mà hệ thống EES thường phải thực hiện tại POC chính để đáp ứng yêu cầu hoạt động của nó.

Cần xác định rõ các chu kỳ làm việc, bao gồm:

- thời gian của chu kỳ làm việc và tần suất mong đợi (số lần mỗi ngày/tuần/năm);
- đặc tính công suất tác dụng yêu cầu tại POC chính của hệ thống EES, có thể bao gồm các khoảng dung sai cho phép (độ vượt quá và/hoặc độ giảm thấp tối đa);
- dạng yêu cầu công suất phản kháng tại POC chính của hệ thống EES, có thể bao gồm các khoảng dung sai cho phép (độ vượt quá và/hoặc độ giảm thấp tối đa).

Đặc tính công suất tác dụng và công suất phản kháng tại POC có thể bao gồm các khoảng thời gian trong đó công suất tác dụng và/hoặc công suất phản kháng bằng không. Từ các đặc tính này, cần có khả năng xác định tốc độ thay đổi của công suất tác dụng và công suất phản kháng.

4.2.4.5 Tuổi thọ

Tuổi thọ vận hành yêu cầu của hệ thống EES cần được quy định với sự xem xét thích hợp về sự lão hóa của hệ thống và các công việc bảo trì và phục hồi cần thiết có thể có.

Trong IEC/TS 62933-1, các thuật ngữ liên quan đến tuổi thọ sau đây được định nghĩa, và có thể được sử dụng cho yêu cầu của các hệ thống EES:

- tuổi thọ vận hành;
- tuổi thọ vận hành mong đợi.

- Kết thúc tuổi thọ vận hành.

4.2.4.6 Yêu cầu về dữ liệu

Với mục đích vận hành và hoạch định, nhà vận hành mạng lưới hoặc nhà vận hành trạm điều khiển mức cao hơn thường yêu cầu một số dữ liệu vận hành và dự báo từ hệ thống EES, ví dụ:

- dung lượng năng lượng đầu vào/đầu ra thực tế;
- khả năng công suất đầu vào/đầu ra thực tế;
- dự báo về công suất đầu vào và đầu ra, bao gồm cả khoảng thời gian.

4.2.4.7 An toàn

Trong IEC/TS 62933-1 và IEC/TS 62933-5-1, các thuật ngữ sau đây liên quan đến an toàn được định nghĩa, có thể được sử dụng cho các yêu cầu của hệ thống EES:

- tình trạng an toàn;
- tình trạng không an toàn;
- đánh giá rủi ro;
- đánh giá mức độ rủi ro.

4.2.5 Tiêu chuẩn và quy định địa phương

4.2.5.1 Quy định chung

Hệ thống EES kết nối với lưới điện phải tuân thủ các tiêu chuẩn và có thể phải tuân thủ quy định địa phương để đảm bảo vận hành an toàn và ổn định cho hệ thống EES và lưới điện. Tất cả các tiêu chuẩn ảnh hưởng đến thiết kế hệ thống EES cần được nghiên cứu trong giai đoạn hoạch định.

4.2.5.2 Tiêu chuẩn kết nối lưới điện

4.2.5.2.1 Quy phạm lưới điện

Các yêu cầu kỹ thuật quan trọng nhất cho việc đấu nối lưới mà hệ thống EES phải đáp ứng được mô tả trong quy phạm lưới điện. Quy phạm này xác định nguyên tắc quản trị mối quan hệ với hệ thống EES và các tiêu chuẩn kỹ thuật mà lưới và hệ thống EES phải đáp ứng.

4.2.5.2.2 Tiêu chí đánh giá tính năng tiêu chuẩn

Đối với một số ứng dụng, hệ thống EES nên chứng minh các đặc tính tính năng nhất định khi kết nối với lưới, chẳng hạn như các tiêu chí đủ điều kiện, để có được sự chấp thuận tham gia thị trường điều khiển sơ cấp.

4.2.5.2.3 Lựa chọn mức điện áp và nguyên tắc POC

Việc lựa chọn mức điện áp và POC phải tuân thủ các quy định kỹ thuật liên quan và đáp ứng các yêu cầu kinh tế và an toàn của lưới cho hệ thống EES.

TCVN 14499-3-2:2025

Mức điện áp của hệ thống EES phải đáp ứng yêu cầu của các đối tượng ứng dụng và cần được xác định một cách toàn diện theo công suất, vị trí ứng dụng và các điều kiện cụ thể của hệ thống EES.

Việc lựa chọn POC cần xét đến:

- các yêu cầu về an ninh lưới điện;
- vấn đề về khả năng ngắn mạch;
- khả năng tải;
- tác động lên chất lượng điện năng.

4.2.5.3 Tiêu chuẩn chung và quy định địa phương

Hệ thống EES kết nối với lưới điện có thể phải tuân thủ các tiêu chuẩn quốc gia và các tiêu chuẩn có liên quan. Đối với việc đấu nối của các hệ thống EES, cần tuân thủ các quy định sau:

- quy định kỹ thuật;
- quy định về tự động hóa và truyền thông;
- quy định về đo năng lượng;
- quy định về bảo vệ rơ le và thiết bị an toàn tự động;
- quy định liên quan đến môi trường.

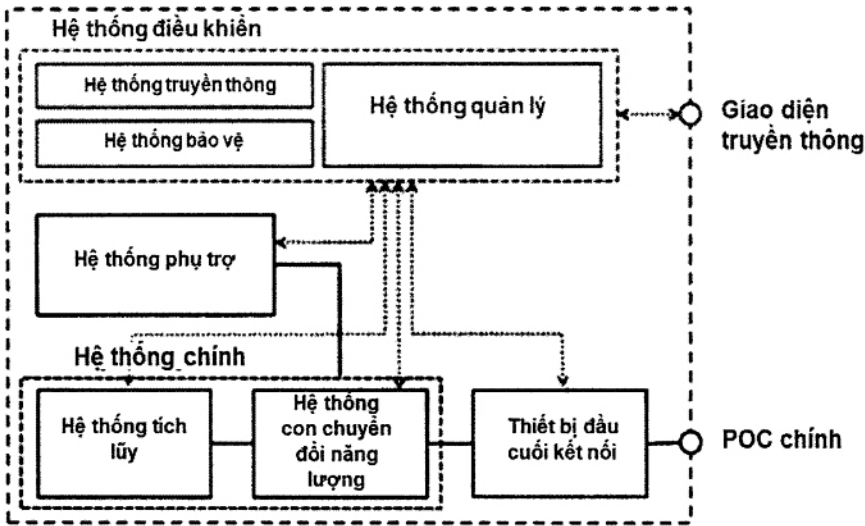
4.3 Thiết kế hệ thống EES

4.3.1 Quy định chung

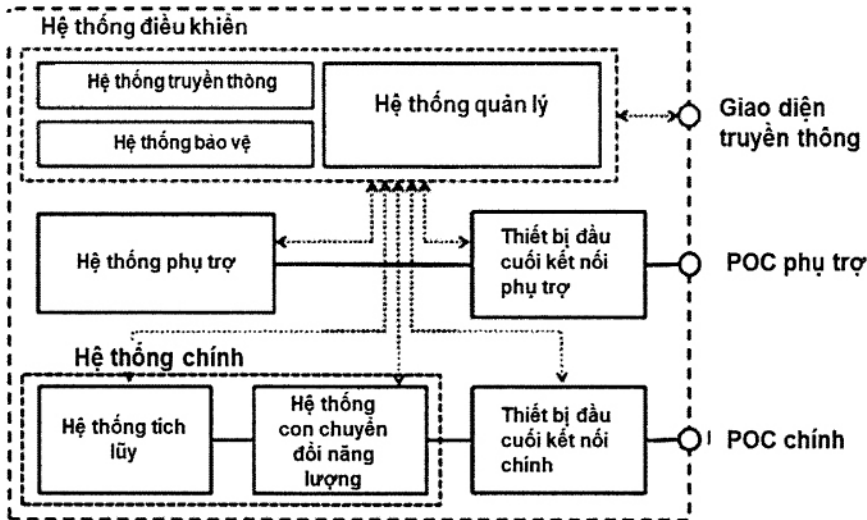
Điều 4.3 đề cập đến thiết kế và tích hợp lưới điện của các hệ thống EES cùng với các yêu cầu có thể phát sinh. Ngoài các yêu cầu liên quan đến các thành phần, 4.3 cũng chứa các quy định kỹ thuật về vận hành, điều khiển, trao đổi dữ liệu, giám sát và bảo trì.

4.3.2 Cấu trúc của hệ thống EES

Thiết kế của hệ thống EES bao gồm việc chọn kiến trúc hệ thống và lựa chọn các hệ thống con. Kiến trúc điển hình của một hệ thống EES, cấp nguồn cho hệ thống phụ trợ, được thể hiện trên Hình 1a).



a) Hệ thống EES không có POC phụ trợ



b) Hệ thống EES POC phụ trợ

Hình 1 – Các kiến trúc điển hình của hệ thống EES

Nếu hệ thống phụ trợ của một hệ thống EES được cấp từ một nguồn khác, kiến trúc phải được thể hiện trong Hình 1b).

Các yêu cầu của các hệ thống con trong một hệ thống EES được mô tả trong 4.3.3. Nói chung, đối với tất cả các hệ thống con, cần chỉ rõ đóng góp của chúng vào hiệu suất tổng thể của hệ thống, chẳng hạn như hiệu suất chu kỳ sạc xả.

4.3.3 Quy định kỹ thuật của các hệ thống con

4.3.3.1 Quy định chung

Để đáp ứng yêu cầu của toàn bộ hệ thống, cần phải phân tích các yêu cầu của hệ thống thành các yêu cầu của các hệ thống con. Các yêu cầu đối với các hệ thống con cần được xây dựng theo cách tổng quát và độc lập với công nghệ. Tuy nhiên, các yêu cầu phát sinh từ các hệ thống con (ví dụ về an toàn hoặc bảo trì), mà phụ thuộc vào công nghệ, cũng cần được xem xét.

Các ràng buộc giữa công suất danh định, năng lượng khả dụng, điều kiện môi trường và các khía cạnh bên trong/bên ngoài khác cũng cần được xem xét cho tất cả các hệ thống con.

4.3.3.2 Hệ thống tích trữ

Dung lượng năng lượng của hệ thống tích trữ trong hệ thống EES phải được đánh giá một cách phù hợp với dạng năng lượng. Dung lượng năng lượng của hệ thống tích trữ trực tiếp ảnh hưởng đến công suất đầu vào và đầu ra danh định tại POC chính, tức là nó ảnh hưởng đến các giá trị công suất đầu vào và đầu ra tại POC chính cũng như thời gian mà công suất đầu vào và đầu ra có thể được áp dụng tại POC chính.

Các hệ thống tích trữ phải đáp ứng các quy định kỹ thuật về tính năng trong suốt tuổi thọ vận hành của chúng. Điều này bao gồm tuổi thọ vận hành của chúng trong các điều kiện sử dụng ví dụ như dạng hoạt động (xem IEC/TS 62933-1:2018, Hình 1), điều kiện môi trường, chu kỳ bảo trì, v.v.

a) Yêu cầu chung

Thông tin sau đây phải được cung cấp bất kể công nghệ nào được áp dụng:

Đối với mỗi hệ thống tích trữ, dung lượng năng lượng lưu trữ và công suất sạc và xả tối đa phải được xem xét, vì điều này có ảnh hưởng trực tiếp đến toàn bộ hệ thống EES.

Hàm lượng năng lượng hiện có cũng quan trọng đối với hệ thống EES. Một phương pháp dự báo, tức là cách ước lượng hàm lượng năng lượng sau khi sạc hoặc xả với một công suất nhất định trong một khoảng thời gian nhất định, cần được cung cấp.

Giá trị tuổi thọ vận hành điển hình (có thể phân biệt giữa lão hóa chu kỳ và lão hóa theo thời gian) cũng cần được chỉ rõ. Thông tin về mật độ năng lượng và mật độ công suất cũng cần được cung cấp để có thể so sánh với các hệ thống tích trữ khác nếu cần thiết.

Thông tin về các chu kỳ vận hành và bảo trì cần thiết cũng cần được cung cấp. Nhu cầu công suất phụ trợ của hệ thống tích trữ cũng cần được chỉ ra, nếu có:

- các tham số hiệu suất của hệ thống tích trữ;
- hiệu suất sạc của hệ thống tích trữ;
- hiệu suất xả của hệ thống tích trữ;
- tự xả hoặc “hiệu suất lưu trữ năng lượng” của hệ thống tích trữ.

b) Yêu cầu cụ thể

Nếu có các yêu cầu cụ thể đối với công nghệ tích trữ áp dụng, thì các yêu cầu này cần được đề cập ở đây. Ví dụ, nếu cần giảm công suất sạc hoặc xả trong một số khu vực hoạt động nhất định, điều này cần được chỉ rõ. Nếu có quy định đặc biệt cần xem xét cho hệ thống tích trữ (ví dụ đối với thải bỏ), điều này cần được nêu rõ ở đây, vì có thể liên quan đến hoạch định. Nếu có cách ly galvanic giữa POC và hệ thống tích trữ, điều này cũng cần được chỉ ra ở đây.

4.3.3.3 Hệ thống chuyển đổi năng lượng

Hệ thống chuyển đổi năng lượng thực hiện chuyển đổi công suất của hệ thống tích trữ thành công suất điện tại POC, thường là công suất đầu ra AC trong quá trình xả của hệ thống tích trữ, và có thể chuyển đổi công suất đầu vào AC từ lưới điện thành công suất phù hợp để sạc cho hệ thống tích trữ. Việc chuyển đổi này có thể được thực hiện bằng các hệ thống điện và/hoặc cơ học. Hệ thống chuyển đổi năng lượng ảnh hưởng đến đặc tính công suất biểu kiến của hệ thống EES. Hệ thống chuyển đổi năng lượng cũng có thể ảnh hưởng đến chất lượng điện năng tại POC.

Nói chung, hệ thống chuyển đổi năng lượng được nối với hệ thống tích trữ và với đầu nối (chính). Đối với các vấn đề hoạch định, hệ thống chuyển đổi năng lượng phải bao gồm tất cả các thiết bị truyền công suất giữa đầu nối và hệ thống tích trữ, ví dụ như bất kỳ loại máy biến áp công suất, bộ lọc sin hoặc các phần tử chuyển mạch nào.

a) Yêu cầu chung

Thông tin sau đây phải được cung cấp bất kể công nghệ nào được áp dụng:

Nhu cầu công suất phụ trợ của hệ thống chuyển đổi năng lượng cũng cần được chỉ ra ở đây, nếu có. Nếu có cách ly galvanic giữa POC và hệ thống tích trữ, điều này cũng cần được nêu rõ:

- các tham số tính năng của hệ thống chuyển đổi;
- hiệu suất sạc của hệ thống chuyển đổi năng lượng;
- hiệu suất xả của hệ thống chuyển đổi năng lượng.

b) Yêu cầu cụ thể

Nếu có các yêu cầu cụ thể đối với công nghệ chuyển đổi công suất áp dụng, thì các yêu cầu này cần được đề cập ở đây. Loại chuyển đổi (AC/DC, AC/AC, bơm/máy phát, v.v.) cũng như các phạm vi hoạt động, chẳng hạn như phạm vi điện áp DC hoặc tần số, phải được cung cấp.

4.3.3.4 Hệ thống phụ trợ

Tất cả các thiết bị cần thiết để thực hiện các chức năng phụ trợ của hệ thống EES phải được sử dụng, ví dụ như hệ thống HVAC (sưởi ấm, thông gió và điều hòa không khí) và hệ thống chống cháy.

a) Yêu cầu chung

Thông tin sau đây phải được cung cấp bất kể công nghệ nào được áp dụng:

Nhu cầu công suất phụ trợ tổng thể của hệ thống EES mà hệ thống phụ trợ phải xử lý cũng cần được chỉ ra ở đây. Nhu cầu công suất phụ trợ cho mọi trạng thái hoạt động quan trọng của EES phải được cung cấp, trong phạm vi dự kiến của các điều kiện khí hậu như nhiệt độ không khí ngoài trời và bức xạ mặt trời. Phải cung cấp thông tin về cấu trúc của hệ thống phụ trợ.

Hơn nữa, các yêu cầu về độ dự phòng và nguồn cung cấp điện đệm (trong trường hợp mất nguồn cung cấp) cũng cần được nêu rõ, nếu có.

b) Yêu cầu cụ thể

Nếu có các yêu cầu cụ thể đối với công nghệ của hệ thống phụ trợ áp dụng, thì các yêu cầu này cần được đề cập ở đây.

4.3.3.5 Hệ thống điều khiển và quản lý

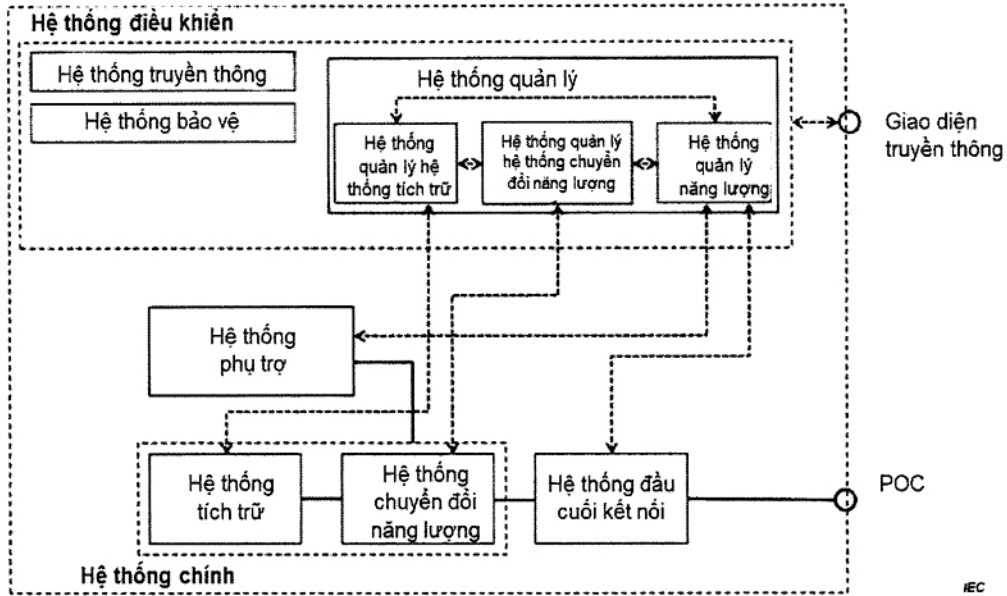
Một hệ thống để giám sát và điều khiển hệ thống EES phải được sử dụng. Hệ thống điều khiển có thể bao gồm hệ thống truyền thông, hệ thống bảo vệ và hệ thống quản lý. Trong giai đoạn hoạch định, các khả năng điều khiển từ xa cần thiết và các chế độ hoạt động mà hệ thống điều khiển sẽ hỗ trợ cần được nêu rõ, xem xét các yêu cầu của quy phạm lưới điện địa phương áp dụng được.

Hệ thống EES cần được thiết kế sao cho việc mất nguồn cung cấp không ảnh hưởng đến độ an toàn của hệ thống EES và khả năng khởi động lại của hệ thống EES. Thời gian mất điện tối đa cần được xem xét (ví dụ, một nguồn dự phòng cụ thể phải được thiết kế). Một khái niệm ngắt kết nối an toàn và dừng hệ thống an toàn phải được thỏa thuận giữa nhà cung cấp và người sử dụng hệ thống EES.

Tất cả các chức năng bảo vệ phải được mô tả với chức năng và giá trị kích hoạt.

a) Yêu cầu chung

Kiến trúc điển hình của hệ thống EES được thể hiện trên Hình 1 mô tả hệ thống quản lý như một hệ thống đơn lẻ. Khi một hệ thống EES được thiết kế và lắp đặt, thường có các hệ thống quản lý riêng biệt cho hệ thống tích trữ và hệ thống chuyển đổi năng lượng. Ngoài ra, hệ thống quản lý năng lượng có thể được bố trí để điều khiển hoạt động nội bộ của các hệ thống EES và tương tác với các hệ thống điện lưới. Hình 2 mô tả cấu trúc chi tiết của hệ thống quản lý, bao gồm hệ thống quản lý cho hệ thống tích trữ, hệ thống quản lý cho hệ thống chuyển đổi năng lượng và hệ thống quản lý năng lượng. Tùy thuộc vào thiết kế, các hệ thống này có thể được cung cấp dưới dạng các hệ thống riêng biệt hoặc dưới dạng các chức năng trong một hệ thống duy nhất.



Hình 2 – Kiến trúc điển hình của hệ thống EES với cấu trúc chi tiết của hệ thống quản lý

Hệ thống quản lý bao gồm hệ thống quản lý cho hệ thống tích trữ và hệ thống chuyển đổi năng lượng. Hệ thống quản lý năng lượng có thể được bao gồm trong hệ thống quản lý. Các yêu cầu chức năng cho hệ thống quản lý của hệ thống tích trữ, hệ thống chuyển đổi năng lượng và hệ thống quản lý năng lượng được xác định như sau:

- Hệ thống quản lý cho hệ thống tích trữ:
 - chức năng đo lường;
 - chức năng tính toán;
 - chức năng điều khiển;
 - chức năng truyền thông;
 - chức năng bảo vệ;
- Hệ thống quản lý cho hệ thống chuyển đổi năng lượng:
 - chức năng đo lường;
 - chức năng điều khiển;
 - chức năng bảo vệ;
 - chức năng truyền thông;
 - chức năng ghi lại;
 - chức năng giám sát;

- Hệ thống quản lý năng lượng:
 - chức năng điều khiển: lập lịch, điều khiển các hệ thống con của hệ thống EES;
 - chức năng truyền thông: truyền thông với các hệ thống con của hệ thống EES và các hệ thống điện lưới;
 - chức năng tính toán: dự báo thay đổi tải, công suất sạc/xả, thống kê;
 - chức năng giám sát: công suất đầu vào/đầu ra, trạng thái của các hệ thống chính.

b) Yêu cầu cụ thể

Nếu có các yêu cầu cụ thể đối với công nghệ của hệ thống điều khiển được áp dụng thì các yêu cầu này phải được nêu tại đây.

4.3.4 Tích hợp các hệ thống EES vào lưới điện

4.3.4.1 Các xem xét chung

Kế hoạch đấu nối và kết cấu của toàn bộ hệ thống được sử dụng để nhận biết ứng dụng được cung cấp trong 4.3.4.

Hệ thống EES phải phù hợp với các yêu cầu của nhà vận hành lưới điện.

Đấu nối hệ thống EES với lưới điện phải được mô tả, kể cả giao diện đóng cắt, các khả năng ngắt và cách ly kỳ vọng, phối hợp kế hoạch bảo vệ (chức năng bảo vệ, thời gian tác động, v.v.) và việc đặt các máy biến áp đo lường trong phép đo.

Để nhận biết tác động hiệu quả và giám sát hệ thống EES từ quan điểm lưới điện, hệ thống EES cần vận hành theo đặc tính danh định và khả năng hiện tại của nó thông qua thông tin được trao đổi với các hệ thống quản lý điện cục bộ và/hoặc từ xa. Nhà vận hành lưới điện có thể quản lý trực tiếp hoặc gián tiếp hệ thống EES.

Nếu hệ thống EES được sử dụng trong môi trường vận hành cô lập thì không yêu cầu tương tác giữa hệ thống EES và lưới bên ngoài. Tuy nhiên, trong trường hợp này, hệ thống EES có thể tương tác với các nguồn năng lượng phân tán như PV, tuabin gió, v.v. và phối hợp vận hành của chúng hoặc chấp nhận sự phối hợp đó.

4.3.4.2 Thành phần và yêu cầu bổ sung

Cấu trúc và các yêu cầu đối với những thành phần bổ sung của hệ thống, ví dụ như công tắc nhanh hoặc mạch bypass, phải được đưa ra.

4.3.5 Vận hành và điều khiển

4.3.5.1 Quy định chung

Hệ thống EES phải có khả năng trao đổi thông tin với nhà vận hành lưới điện và, khi có sự thỏa thuận chung, phải có thể được giám sát và điều khiển bởi nhà vận hành lưới điện. Để bảo đảm vận hành an toàn của lưới điện và hệ thống EES, hệ thống EES phải đáp ứng các yêu cầu sau:

- Các tham số và lệnh trao đổi giữa hệ thống EES và hệ thống điều hành lưới điện phải được thống nhất.
- Tùy thuộc vào yêu cầu của hệ thống địa phương, hệ thống EES phải chấp nhận các hướng dẫn điều khiển và điều chỉnh của nhà vận hành lưới điện.

IEC 61850 (tất cả các phần) phải được sử dụng, và có thể xem xét các tiêu chuẩn khác, để xác định các yêu cầu đối với vận hành và điều khiển hệ thống EES, ví dụ như đối với mô hình dữ liệu của hệ thống EES hoặc đối với các chế độ vận hành và điều khiển.

Các chế độ điều khiển của hệ thống EES phải được lựa chọn phù hợp với các yêu cầu cụ thể trong các kịch bản ứng dụng khác nhau.

Trong IEC/TS 62933-1, các thuật ngữ sau liên quan đến vận hành và điều khiển hệ thống EES được định nghĩa:

- trạng thái hoạt động;
- trạng thái chờ;
- trạng thái dừng;
- tín hiệu hoạt động;
- tắt máy;
- quy trình vận hành;
- dừng khẩn cấp;
- chế độ vận hành;
- tự ý cách ly;
- cách ly không mong muốn;
- điều khiển lưu lượng công suất tác dụng;
- điều khiển dòng điện trên đường dây;
- điều khiển tần số lưới;
- điều khiển điện áp nút;
- giảm thiểu sự cố chất lượng điện;
- điều khiển lưu lượng công suất phản kháng;
- ứng dụng kết hợp và khẩn cấp;

- giảm thiểu mất điện.

4.3.5.2 Các trạng thái vận hành của hệ thống điều khiển

Có nhiều loại trạng thái vận hành khác nhau có thể được áp dụng cho việc điều khiển một hệ thống EES. Nếu được kết nối với lưới, hệ thống EES có thể được vận hành với nhiều loại điều khiển công suất tác dụng khác nhau, chẳng hạn như:

- hỗ trợ tần số lưới;
- điều khiển tự ý cách ly và khả năng khởi động lại sau khi mất điện;
- giới hạn công suất tác dụng;
- điều khiển công suất tác dụng thủ công;
- điều khiển công suất tác dụng theo kiểu mẫu;
- điều khiển tự động theo tải;
- chế độ điều khiển công suất cho hỗ trợ điện áp lưới;
- chế độ điều khiển giá trị cố định;
- chế độ điều khiển liên quan đến điện áp;
- chế độ điều khiển liên quan đến công suất tác dụng;
- giảm công suất tác dụng liên quan đến điện áp.

4.3.6 Giám sát

4.3.6.1 Quy định chung

Trong quá trình vận hành của hệ thống EES, nhiều giá trị (ví dụ điện áp, dòng điện, nhiệt độ) được đo và giám sát. Để cho phép nhà vận hành hệ thống theo dõi các giá trị quan trọng của hệ thống EES, cần có một giao diện dữ liệu để trao đổi dữ liệu giám sát. Các giá trị quan trọng bao gồm các hạng mục sau:

- giá trị cho hệ thống tích trữ: điện áp, dòng điện, nhiệt độ, các thông số hoặc chỉ số chính liên quan đến công nghệ (ví dụ: tốc độ quay của bánh đà, mô men quán tính (MOI) của rotor), v.v.
- giá trị cho hệ thống chuyển đổi năng lượng: công suất tác dụng, công suất phản kháng, tần số, điện áp, dòng điện, chế độ hoạt động, v.v.

Giao diện giám sát của hệ thống EES phải đáp ứng các yêu cầu sau:

- thỏa thuận về các giá trị của hệ thống EES cần được giám sát;
- cung cấp dữ liệu giám sát theo yêu cầu của nhà vận hành lưới, tùy thuộc vào yêu cầu chức năng.

Ngoài các giá trị nội bộ, hệ thống EES cũng phải giám sát các giá trị điện tại POC (ví dụ điện áp, dòng điện, trao đổi công suất tác dụng và phản kháng hoặc năng lượng khả dụng). Ngoài ra, trạng thái của thiết bị trong hệ thống EES cũng phải được giám sát (ví dụ thiết bị chuyển mạch hoặc vị trí của các công

tắc điều chỉnh trên máy biến áp). Phải sử dụng IEC 61850 (tất cả các phần); các tiêu chuẩn khác có thể được xem xét.

4.3.6.2 Yêu cầu chung

Thông tin phải được cung cấp bất kể công nghệ nào được áp dụng.

Các yêu cầu về dữ liệu cho việc giám sát các hệ thống EES phải được nêu ở đây.

4.3.6.3 Yêu cầu cụ thể

Nếu có các yêu cầu cụ thể liên quan đến việc giám sát hệ thống EES, thì những yêu cầu này phải được nêu ở đây, chẳng hạn như cho các hệ thống tích trữ hoặc các hệ thống chuyển đổi năng lượng.

4.3.7 Bảo trì

Thông tin về chu kỳ bảo trì và thời gian ngừng hoạt động trong quá trình bảo trì hệ thống EES phải được cung cấp, chẳng hạn như kiểm tra định kỳ của hệ thống tích trữ hoặc hệ thống chuyển đổi năng lượng.

Hơn nữa, việc bảo trì các hệ thống EES và các hệ thống của chúng thường phụ thuộc rất nhiều vào công nghệ. Những yêu cầu này phải được cung cấp.

4.3.8 Giao diện truyền thông

Các yêu cầu cho việc trao đổi thông tin của hệ thống EES với các hệ thống khác được mô tả ở đây. Việc trao đổi thông tin có thể bao gồm giao tiếp với hệ thống cấp trên, giám sát, điều khiển, đo lường và ghi lại các lỗi. Các giao diện truyền thông nên tuân theo các mô hình dữ liệu và hoạt động truyền thông phù hợp với các tiêu chuẩn để đảm bảo khả năng tương tác với lưới điện.

Hệ thống EES phải duy trì đồng bộ thời gian trong quá trình vận hành với các hệ thống con và hệ thống cấp trên. Hệ thống EES phải sử dụng các giao thức truyền thông dựa trên tiêu chuẩn. Mô hình dữ liệu thông tin cần xem xét các tiêu chuẩn liên quan. IEC 61850 (tất cả các phần) phải được sử dụng; các tiêu chuẩn khác như DNP3⁴ có thể được xem xét.

4.4 Quy mô và các tham số kết quả của hệ thống EES

4.4.1 Quy định chung

Xem xét tất cả các yêu cầu từ 4.1, 4.2 và 4.3, hệ thống EES có thể được xác định quy mô. Kích thước và các tham số kết quả của hệ thống EES phải được mô tả trong 4.4.2.

4.4.2 Quy mô

4.4.2.1 Quy định chung

⁴ DNP (Distributed Network Protocol): Giao thức truyền thông.

TCVN 14499-3-2:2025

Để xác định quy mô của hệ thống EES, tất cả các yêu cầu và hạn chế từ 4.1 đến 4.3 cần được xem xét. Trong giai đoạn hoạch định, cần xem xét khả năng suy giảm tính năng của hệ thống EES trong suốt vòng đời. Các chu kỳ bảo trì cần thiết và các điều kiện làm việc cũng phải được tính đến.

Các chu kỳ hoạt động yêu cầu, thời gian phục hồi được xác định và tuổi thọ cần thiết có thể được sử dụng để xác định quy mô của hệ thống EES. Đối với hệ thống EES đã được xác định quy mô, các chu kỳ hoạt động yêu cầu có thể được đáp ứng và hệ thống có thể phục hồi trong thời gian xác định suốt toàn bộ tuổi thọ theo một chiến lược vận hành nhất định.

Tất cả các chu kỳ hoạt động (chồng chéo) cần thiết để mô tả khả năng vận hành tổng thể của hệ thống EES cần được xem xét để xác định các giá trị đặc trưng của các chu kỳ hoạt động. Các chu kỳ phục hồi và các giá trị đặc trưng của chúng cũng nên được chồng chéo.

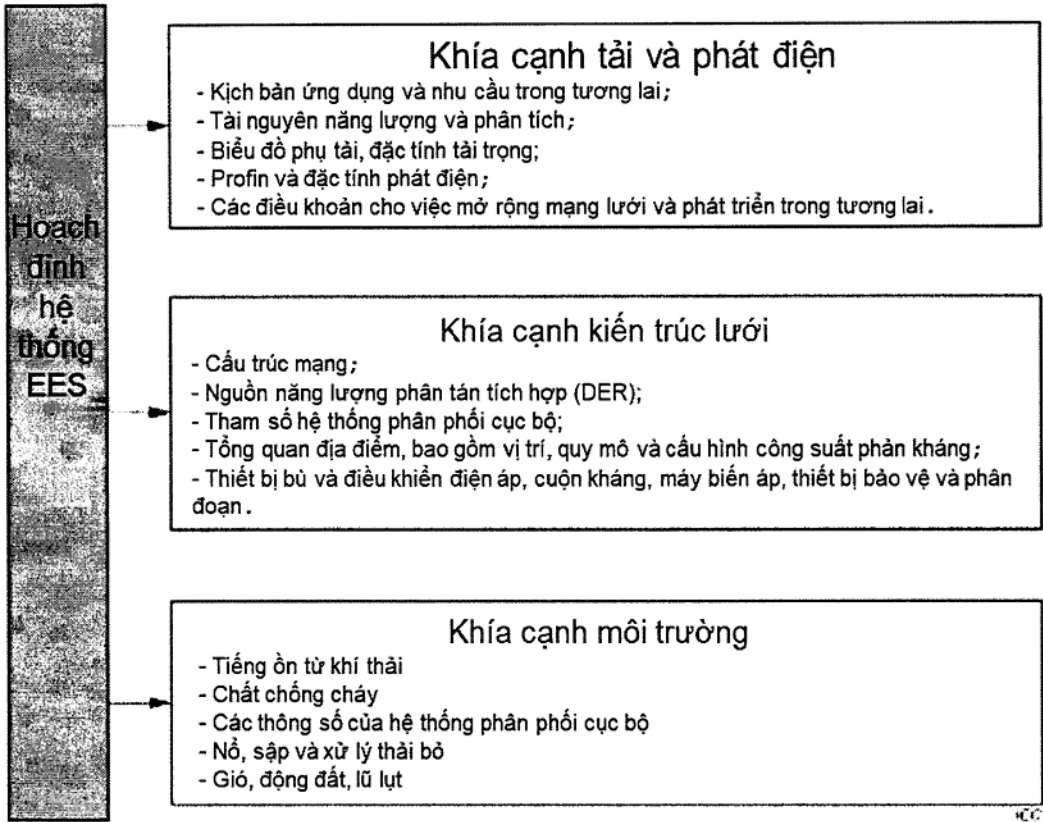
4.4.2.2 Yêu cầu cho việc xác định quy mô và hoạch định

Khi thực hiện quá trình xác định quy mô và hoạch định cho hệ thống EES, các yêu cầu sau đây cần được đáp ứng:

- Khả năng công suất và dung lượng lưu trữ năng lượng phải được đáp ứng.
- Các chiến lược điều khiển khác nhau phải được xem xét.
- Tuổi thọ và lão hóa của các thành phần và hệ thống con, đặc tính sạc-xả và chu kỳ sạc-xả phải được xem xét.
- Nói chung, tất cả các yêu cầu từ 4.1 đến 4.3 phải được nghiên cứu và xem xét trong quá trình hoạch định và thiết kế EES.

4.4.2.3 Tổng quan về quá trình hoạch định và thiết kế EES

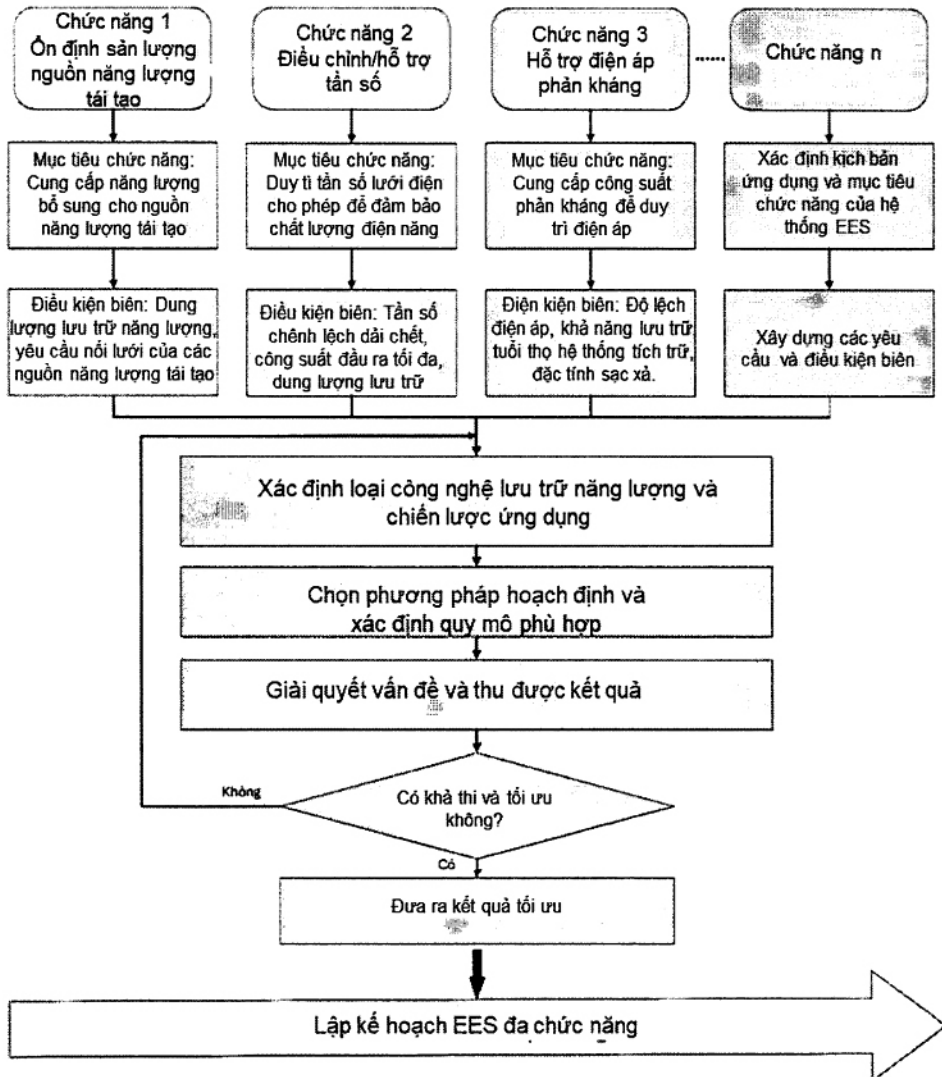
Hình 3 minh họa các chủ đề chính mà phải được nghiên cứu trong các khía cạnh hoạch định và thiết kế EES.



Hình 3 – Tổng quan về các khía cạnh hoạch định và thiết kế EES

Trong nhiều trường hợp, các hệ thống EES được hoạch định với các ứng dụng đa chức năng. Hình 4 đưa ra một ví dụ về quy trình hoạch định EES với các ứng dụng đa chức năng. Các quy trình chính bao gồm:

- xác định mục tiêu chức năng: yêu cầu phân phối công suất và tối thiểu năng lượng EES;
- xem xét các hạn chế: cân bằng năng lượng EES, cân bằng công suất hệ thống, giới hạn vận hành SOC, v.v.



Hình 4 – Ví dụ về quy trình hoạch định EES với các ứng dụng đa chức năng

Các ứng dụng đa chức năng điển hình của hệ thống EES được thể hiện trong Bảng 1

Bảng 1 – Ứng dụng đa chức năng điển hình của hệ thống EES

Chức năng ứng dụng	Kịch bản điển hình				
	Tích hợp nguồn năng lượng tái tạo	Phía phát điện	Phía truyền tải và phân phối	Phía người sử dụng	Lưới điện nhỏ có các máy phát phân phối
Điều chỉnh tần số	✓	✓	✓	✓	
Hỗ trợ điện áp phản kháng	✓		✓		
Giảm thiểu sụt điện áp				✓	
Ổn định công suất ra	✓				✓
POD	✓	✓	✓		✓
Cắt tải đỉnh		✓	✓	✓	
Khởi động đen		✓			✓
Nguồn điện dự phòng		✓	✓	✓	✓

4.4.3 Đặc tính và hạn chế của hệ thống EES

4.4.3.1 Quy định chung

Kết quả từ việc xác định quy mô hệ thống EES là các giá trị và thông số đặc trưng của hệ thống EES. Các thông số liên quan phải được cho trong tờ dữ liệu và cân có các thông tin sau:

- điện áp danh định và điện áp danh nghĩa
- tần số danh định và tần số danh nghĩa
- khả năng công suất
 - công suất tác dụng đầu vào và đầu ra danh định
 - công suất biểu kiến danh định
 - công suất phản kháng danh định
 - hệ số công suất danh định
 - thời gian sạc danh định
 - thời gian xả danh định
 - công suất tác dụng đầu vào và đầu ra ngắn hạn

TCVN 14499-3-2:2025

- công suất phản kháng ngắn hạn
- thay đổi tối đa của công suất theo thời gian
- mật độ công suất (theo khối lượng / theo thể tích)
- thời gian truy cập (thời gian giữa nhu cầu công suất và việc phát ra 50% năng lượng đã lưu trữ)
- Tính năng đáp ứng bước
 - thời gian đáp ứng bước
 - thông số thời gian đáp ứng
 - tốc độ tăng dần
 - thời gian ổn định
- giá trị dung lượng năng lượng
 - dung lượng năng lượng danh định tại thời điểm bắt đầu và kết thúc tuổi thọ vận hành
 - (dung lượng năng lượng cho công suất đầu vào/đầu ra danh định tại POC)
 - mật độ năng lượng (theo khối lượng / theo thể tích)
 - độ sạc sâu
 - độ xả sâu
 - năng lượng lưu trữ trên đầu tư
- giá trị hiệu suất năng lượng
 - hiệu suất chu kỳ sạc xả danh định tại thời điểm bắt đầu và kết thúc tuổi thọ vận hành
 - (chu kỳ sạc xả trên toàn bộ dung lượng năng lượng danh định với công suất tác dụng đầu vào/đầu ra danh định tại POC)
- hệ thống tích trữ
 - "dung lượng năng lượng đã lấp đặt" liên quan đến quy trình đo dung lượng của hệ thống tích trữ
 - tỷ lệ tự xả
- hệ thống phụ trợ
 - tiêu thụ công suất phụ trợ
 - tần số danh định của hệ thống phụ trợ
 - hệ số công suất danh định của hệ thống phụ trợ
 - điện áp danh định của hệ thống phụ trợ
 - công suất biểu kiến danh định của hệ thống phụ trợ

- tiêu thụ năng lượng danh định của hệ thống phụ trợ
- tiêu thụ năng lượng ở chế độ chờ danh định của hệ thống phụ trợ
- giá trị tuổi thọ
 - giá trị khi kết thúc tuổi thọ vận hành
- sử dụng (cơ sở thiết kế)
 - chu kỳ làm việc
 - hiệu suất chu kỳ sạc xả của chu kỳ làm việc ở cuối tuổi thọ vận hành
 - thời gian phục hồi
 - chu kỳ (tương đương) đầy đủ mỗi ngày/năm
 - tuổi thọ vận hành dự kiến
 - độ bền chu kỳ
- điều kiện môi trường tham chiếu
 - dải nhiệt độ môi trường
 - độ ẩm
- điểm đấu nối
 - POC chính
 - POC phụ trợ

Nói chung, giá trị danh định của một đại lượng được sử dụng làm quy định kỹ thuật, được thiết lập cho một tập hợp điều kiện vận hành cụ thể của một thành phần, thiết bị hoặc hệ thống. Khi quy định các giá trị danh định cho mục đích hoạch định hệ thống EES, các giới hạn vận hành quan trọng của biểu đồ khả năng công suất, giảm khả năng do lão hóa, điều kiện môi trường thay đổi và các yếu tố giới hạn khác phải được xem xét. Tất cả các giá trị danh định được sử dụng cho mục đích hoạch định phải liên quan đến thời điểm kết thúc tuổi thọ vận hành.

Tiêu thụ công suất phụ trợ có thể thay đổi trong suốt tuổi thọ vận hành của hệ thống EES và do đó phải được đánh giá cho toàn bộ tuổi thọ vận hành của hệ thống cũng như cho các điều kiện môi trường dự kiến tại địa điểm lắp đặt. Ảnh hưởng của các điều kiện thời tiết cực đoan đối với hiệu suất tổng thể của hệ thống EES cũng cần được xem xét.

Định nghĩa về giá trị ở cuối tuổi thọ vận hành được cho trong IEC/TS 62933-1. Thử nghiệm tiêu thụ công suất phụ trợ được cho trong IEC 62933-2-1.

4.5 Tuổi thọ dịch vụ của các hệ thống EES

4.5.1 Quy định chung

Điều 4.5 đề cập đến tuổi thọ vận hành của các hệ thống EES, bao gồm đánh giá tính năng ban đầu và liên tục, cũng như các khía cạnh giám sát, bảo trì, chẩn đoán và ngừng hoạt động.

4.5.2 Lắp đặt

Việc lắp đặt các hệ thống EES thường phụ thuộc vào công nghệ, ví dụ như yêu cầu an toàn cho các hệ thống EES điện hóa trong IEC/TS 62933-5-2. Những ghi chú về lắp đặt hệ thống EES cũng được cho trong IEC/TS 62933-3-1.

Có thể có một số quy định cụ thể tại địa điểm như:

- các quy định pháp lý và xây dựng cụ thể;
- quy định địa phương về khoảng cách tối thiểu đến các tòa nhà dân cư và đường giao thông;
- quy định điện (ví dụ khoảng cách điện tối thiểu hoặc cung cấp điểm nối đất thích hợp, cách điện, bảo vệ điện);
- tiêu chuẩn cho việc lắp đặt thiết bị điện (ví dụ cho cáp và đầu nối);
- các quy định an toàn pháp lý và cụ thể;
- các quy định về môi trường pháp lý và cụ thể;
- đảm bảo tính khả dụng cho người và phương tiện;
- nếu cần, cung cấp không gian và lối đi cho công việc bảo trì và hoạt động (bao gồm không gian lưu trữ cho thiết bị an toàn);
- điều kiện vận hành;
- nếu cần, lắp đặt các biện pháp hạn chế và kiểm soát quyền truy cập (ví dụ an ninh để ngăn chặn truy cập từ những người không được phép hoặc từ việc trao đổi dữ liệu không được phép (an ninh mạng));
- nếu yêu cầu, sử dụng các vật liệu không cháy và/hoặc vật liệu có tính dễ cháy giới hạn (ví dụ theo ISO 5660-1);
- nếu cần, lắp đặt hệ thống phát hiện/chữa cháy thích hợp;
- có thể tách biệt các hệ thống con (ví dụ phòng pin tách biệt với các thiết bị điện khác);
- nếu cần, tích hợp các hệ thống điều hòa không khí thích hợp; điều này có thể cần thiết để tuân thủ các đặc tính cụ thể của công nghệ, chẳng hạn như cho các hệ thống pin.

4.5.3 Đánh giá tính năng

4.5.3.1 Yêu cầu chung

Nhà cung cấp hệ thống phải cung cấp thông tin cần thiết về hệ thống EES. Điều này đảm bảo rằng các người dùng tiềm năng (chẳng hạn như một công ty điện lực) có đủ thông tin để đánh giá tính năng của hệ thống. Các yêu cầu bảo trì và giá trị ở cuối tuổi thọ cần được cung cấp và tương thích với ứng dụng.

Đánh giá tính năng của các hệ thống EES kết nối lưới có thể bao gồm các thử nghiệm liên quan đến công suất đầu vào và đầu ra danh định, dung lượng năng lượng, thời gian đáp ứng, hiệu suất năng lượng và PCS, khả năng điều khiển công suất, đáp ứng tần số hoặc điện áp, hỗ trợ chất lượng điện năng, chức năng bảo vệ và tái kết nối, v.v.

IEC 62933-2-1 đề cập đến việc thử nghiệm các hệ thống EES.

4.5.3.2 Thử nghiệm chấp nhận tại hiện trường (SAT)

Theo IEC/TS 62933-1, thử nghiệm chấp nhận tại hiện trường (SAT) là một hoạt động tại chỗ nhằm chứng minh rằng hệ thống EES tuân thủ các thông số kỹ thuật hệ thống và hướng dẫn lắp đặt.

Có thể thực hiện các thử nghiệm chấp nhận tại nhà máy (FAT) trước thử nghiệm chấp nhận tại hiện trường. Theo IEC/TS 62933-1, thử nghiệm chấp nhận tại nhà máy (FAT) là một hoạt động tại nhà máy nhằm chứng minh rằng hệ thống EES, các hệ thống con, thành phần và các hệ thống/thiết bị bổ sung tuân thủ các thông số kỹ thuật.

4.5.3.3 Đánh giá tính năng định kỳ và theo sự kiện

Các thử nghiệm và kiểm tra định kỳ nên được thực hiện, có thể bao gồm:

- thử nghiệm chức năng giám sát;
- kiểm tra và ghi lại điều kiện làm việc của các chức năng của hệ thống EES như công suất danh định và dung lượng năng lượng, đặc tính sạc và xả, thời gian đáp ứng, hiệu suất năng lượng, v.v., với nhu cầu phụ tải thực tế;
- kiểm tra một phần và toàn bộ các chức năng bảo vệ chung và đặc biệt của hệ thống EES;
- kiểm tra môi trường hoạt động của hệ thống EES (ví dụ hệ thống kiểm soát cháy, hệ thống thông gió, hệ thống chiếu sáng và hệ thống điều chỉnh nhiệt độ).

Sau khi cài tạo, hiện đại hóa hoặc nâng cấp hệ thống EES, SAT hoặc một số thử nghiệm theo thỏa thuận phải được thực hiện lại. Ngoài các hạng mục thử nghiệm thường xuyên, có thể tiến hành các thử nghiệm chức năng khác, ví dụ liên quan đến điều chỉnh tần số, dự phòng khẩn cấp/khởi động đen, điều chỉnh điện áp hoặc hỗ trợ chất lượng điện năng.

4.5.4 Vận hành và điều khiển

4.5.4.1 Quy định chung

Nếu hệ thống EES được kết nối với lưới điện, hoạt động của hệ thống EES phải tuân thủ các quy định liên quan đến vận hành lưới và các chức năng an toàn yêu cầu. Hệ thống EES phải đáp ứng các yêu cầu của quy phạm lưới điện.

4.5.4.2 Điều khiển công suất tác dụng

Các hệ thống EES kết nối lưới tham gia vào việc phân phối lưới điện cần tuân thủ các nguyên tắc điều khiển phân cấp và phân phối thống nhất, và điều khiển công suất sạch và xả của họ theo các hướng dẫn của cơ quan phân phối lưới điện. Profin hoạt động dự kiến nên liên quan đến chu kỳ làm việc đã đồng ý. Thời gian phục hồi cũng nên được cung cấp bởi nhà vận hành lưới điện. Hệ thống EES phải đáp ứng các yêu cầu về thời gian đáp ứng.

Nếu các hệ thống EES kết nối lưới tham gia vào việc điều chỉnh tần số hoặc điện áp hoặc các hoạt động hỗ trợ khác theo các hướng dẫn của cơ quan phân phối lưới điện, thời gian đáp ứng liên quan đến công suất tác dụng không được lớn hơn các giá trị đã định trước.

Đối với các hệ thống EES tham gia hỗ trợ điện khẩn cấp, việc hỗ trợ công suất hệ thống phải được thực hiện theo hướng dẫn của thỏa thuận lập lịch lưới hoặc cơ quan điều độ lưới trong trường hợp xảy ra sự cố lưới cục bộ và mất điện. Trong trường hợp khẩn cấp, thời gian hoạt động tối đa với công suất đầu ra tối đa không được ngắn hơn một khoảng thời gian đã định trước (ví dụ 15 min hoặc 30 min). Cơ quan điều độ lưới có thể trực tiếp giới hạn lượng công suất trao đổi giữa hệ thống EES và lưới điện.

Liên quan đến công suất đầu ra của hệ thống EES, độ sai lệch giữa giá trị đặt và giá trị thực tế không được vượt quá một giá trị đã định trước (ví dụ 2 %).

4.5.4.3 Điều khiển công suất phản kháng

Hệ số công suất của hệ thống EES kết nối lưới phải đáp ứng các yêu cầu về chất lượng điện năng. Khi hệ thống EES phải điều chỉnh cả công suất tác dụng và công suất phản kháng, cần có một thỏa thuận về các ưu tiên, ví dụ như công suất tác dụng sẽ có ưu tiên cao hơn công suất phản kháng.

Nếu các hệ thống EES kết nối lưới tham gia vào việc điều chỉnh điện áp lưới theo hướng dẫn của cơ quan điều độ lưới, thời gian đáp ứng của họ liên quan đến công suất phản kháng không được lớn hơn một giá trị đã định trước (ví dụ 200 ms, 10 chu kỳ). Liên quan đến công suất phản kháng đầu ra của hệ thống EES, độ sai lệch giữa giá trị đặt và giá trị thực tế không được vượt quá một giá trị đã định trước (ví dụ 5 %).

4.5.4.4 Đáp ứng khẩn cấp trong trường hợp hỏng hệ thống EES sự cố lưới điện

Trong trường hợp hệ thống EES gặp điều kiện làm việc bất thường hoặc khẩn cấp, nguyên nhân phải được điều tra và các biện pháp thích hợp phải được thực hiện để đảm bảo an toàn cho thiết bị.

Có thể có hai kế hoạch đáp ứng khẩn cấp khác nhau:

a) Trong trường hợp điều kiện làm việc bất thường:

- Hệ thống EES sẽ dừng hoạt động do sự cố trong hệ thống điện; các hoạt động phải được thực hiện theo hướng dẫn điều độ.

- Nếu có bất kỳ sự bất thường nào như cảnh báo hoặc hành động bảo vệ xảy ra trong quá trình vận hành của EES, tất cả các thành phần của hệ thống EES phải được kiểm tra lần lượt để đảm bảo tính toàn vẹn của hệ thống EES.
- Khi tín hiệu cảnh báo được kích hoạt, hệ thống EES không được ngay lập tức tắt; thay vào đó, việc giám sát thời gian thực về hoạt động của hệ thống EES phải được thực hiện và tổ chức kiểm tra và xử lý tại chỗ.

b) Trong trường hợp tai nạn:

- Trong trường hợp có lỗi nghiêm trọng trong quá trình hoạt động (ví dụ cháy, nổ, thiên tai), cần thực hiện dừng khẩn cấp và ngắt cầu dao; thông báo cho những người có trách nhiệm theo quy định địa phương.
- Tổ chức nhân sự liên quan để thực hiện kiểm tra tại chỗ và có các hành động phù hợp với sự cố, có thể bao gồm:
 - kiểm tra tất cả thiết bị, phát hiện các bộ phận hỏng và sửa chữa hoặc thay thế các bộ phận này;
 - kiểm tra các giao diện truyền thông;
 - thực hiện các thử nghiệm định kỳ;
 - kiểm tra xem các thông số hoạt động quan trọng (như dòng điện sạc và xả, điện áp, nhiệt độ và các thông số khác) có vượt quá phạm vi bình thường hay không;
 - kiểm tra xem hệ thống kiểm soát cháy có gửi cảnh báo cháy hay không.
 - kiểm tra xem có dấu hiệu khói hoặc cháy trên thiết bị hay không;
 - kiểm tra xem hệ thống tích trữ có bị hỏng hoặc có cảnh báo lỗi hay không;
 - kiểm tra xem hệ thống điều khiển có bị hỏng hoặc có lỗi hay không.

4.5.5 Giám sát

4.5.5.1 Quy định chung

Dữ liệu giám sát phải được cung cấp định kỳ hoặc khi có yêu cầu cho hệ thống vận hành lưới điện. Dữ liệu giám sát phải được ghi lại theo sự kiện hoặc định kỳ. Dữ liệu giám sát được thu thập, phân loại và phân tích định kỳ để quyết định về hoạt động hoặc bảo trì có thể xảy ra. Phụ lục B cung cấp thông tin thêm về phân công quyền hạn mặc định cho các vai trò trong các trạng thái giám sát và bảo trì khác nhau.

4.5.5.2 Giám sát lưới điện

Các tham số liên quan đến lưới điện phải được giám sát:

- điện áp và dòng điện tại điểm đấu nối (POC);
- công suất tác dụng và công suất phản kháng trao đổi giữa hệ thống EES và lưới điện.

4.5.5.3 Giám sát thiết bị chuyển mạch

Hệ thống giám sát phải đáp ứng các yêu cầu của giao tiếp lưới điện liên quan đến bảo vệ rơ le, thiết bị an toàn tự động, hệ thống tự động hóa, thiết bị điều độ và các hoạt động khác. Dữ liệu của các thiết bị chuyển mạch cần được giám sát bao gồm:

- vị trí nấc điều chỉnh của máy biến áp, trạng thái đóng cắt của các máy cắt điện bên trong EES;
- vị trí nấc điều chỉnh chính của máy biến áp, trạng thái đóng cắt của các máy cắt điện tại POC.

4.5.6 Bảo trì

4.5.6.1 Quy định chung

Ngoài việc bảo dưỡng, sửa chữa hoặc thay thế các bộ phận cần thiết, bảo trì còn bao gồm cả việc kiểm tra chức năng. Các yêu cầu bảo trì chung bao gồm:

- kiểm tra và ghi lại quá trình truyền và nhận dữ liệu giữa hệ thống quản lý lưu trữ năng lượng và từng hệ thống con để xác minh rằng chúng đang hoạt động đúng chức năng;
- kiểm tra các báo động và chức năng bảo vệ;
- kiểm tra chức năng của hệ thống truyền thông để đảm bảo truyền thông thỏa đáng với hệ thống điều khiển cấp cao hơn;
- kiểm tra xem hệ thống EES và các hệ thống con của nó có chỉ báo hoạt động bình thường và làm việc đúng hay không, ví dụ bằng cách kiểm tra các cảnh báo và thông báo và kiểm tra sự trao đổi thông tin;
- kiểm tra định kỳ các hệ thống con của hệ thống EES (hệ thống quản lý, hệ thống tích trữ và hệ thống chuyển đổi năng lượng) theo các quy định kỹ thuật phụ thuộc vào công nghệ;
- giữ cho các hệ thống con được kết nối đúng cách và chắc chắn, đồng thời được nối đất tin cậy;
- đảm bảo tất cả các chỉ số hoạt động và giá trị đo của hệ thống EES và các hệ thống con của nó nằm trong phạm vi bình thường;
- đảm bảo rằng các điều kiện môi trường (ví dụ nhiệt độ và độ ẩm xung quanh) đáp ứng các yêu cầu hoạt động của từng hệ thống con;
- thực hiện các biện pháp cần thiết kịp thời để kiểm tra và xử lý trong trường hợp hoạt động bất thường hoặc hỏng hóc;

- thu thập, phân tích và kiểm tra dữ liệu của hệ thống EES;
- kiểm tra các chức năng điều khiển và điều chỉnh của hệ thống EES:
 - thử nghiệm thường xuyên;
 - thử nghiệm sau khi đại tu và nâng cấp;
 - kiểm tra chức năng bảo vệ của hệ thống EES;
 - kiểm tra môi trường hoạt động của hệ thống EES;
- thay thế thiết bị có tuổi thọ vận hành đã hết hoặc sắp hết.

4.5.6.2 Bảo trì định kỳ

Bảo trì định kỳ của hệ thống EES phải bao gồm:

- thử nghiệm bảo trì và hoạt động của hệ thống EES phải được thực hiện theo tài liệu hướng dẫn của nhà chế tạo, v.v., với các kỹ thuật và chu kỳ phù hợp;
- kế hoạch bảo trì (kiểm tra, đưa vào vận hành) phải được thiết lập và bao gồm các hạng mục bảo trì;
- một báo cáo bảo trì phải được chuẩn bị bao gồm:
 - ngày tạo báo cáo bảo trì;
 - người chịu trách nhiệm;
 - các hạng mục bảo trì định kỳ;
 - tài liệu về các công việc bảo trì đã thực hiện (kiểm tra trực quan, bảo trì tình trạng lắp đặt, bảo trì tình trạng bảo vệ);
 - hồ sơ gồm tất cả các điều kiện không phù hợp, bao gồm các linh kiện thay thế và các biện pháp khắc phục đã thực hiện.

Hác linh kiện thay thế và các biện pháp cên đưn linh kiện thay thế và các biện pháp khắc phục đã thực hiện. trường hợp hoạt động bất thường hoặc hỏng 4.5.6.3 Yêu c.3 kiện thay thế và các biện pháp tích try

Yêu cầu bảo trì chung cho hệ thống tích trữ bao gồm các hạng mục sau:

a) Quy định chung:

- Hệ thống tích trữ phải có tấm nhãn hoàn chỉnh do nhà chế tạo cung cấp.
- Các giá đỡ đặt trên hệ thống tích trữ không được bị biến dạng. Giá đỡ kim loại và đế phải được nối đất tin cậy. Mỗi nối đất phải được xiết chặt và điện trở của nó phải được kiểm tra xác nhận.
- Mạch điện chính của hệ thống tích trữ phải được kết nối đúng cách và chắc chắn, và thiết bị tản nhiệt/thiết bị nhiệt phụ trợ phải hoạt động bình thường.

TCVN 14499-3-2:2025

- Hệ thống tích trữ phải được trang bị đầy đủ các chức năng bảo vệ. Trước khi sạc-xả hệ thống tích trữ, các yêu cầu bảo vệ tương ứng như giá trị ngưỡng phải được xác định.

b) Kiểm tra tuần tra:

- Phòng chứa hệ thống tích trữ hoặc cabin chế tạo sẵn phải được thông gió trước khi nhân viên trực đi vào.
- Nhiệt độ và độ ẩm của hệ thống tích trữ hoặc cabin chế tạo sẵn phải nằm trong phạm vi hoạt động. Thiết bị chiếu sáng phải nguyên vẹn và còn hoạt động.
- Thiết bị kiểm soát nhiệt độ như HVAC phải nằm trong phạm vi hoạt động.
- Kiểm tra cách điện của các bộ phận mang điện.
- Kiểm tra nối đất của vỏ kim loại và giá đỡ.
- Kiểm tra các thiết bị thông gió.
- Kiểm tra không gian làm việc an toàn.
- Kiểm tra thiết bị chiếu sáng.

c) Xử lý tình trạng bất thường và sự cố:

- Khi hệ thống tích trữ bị xả quá mức, sạc quá mức hoặc bị ngắn mạch thì cần dừng lại để kiểm tra.
- Khi điện áp của hệ thống tích trữ nằm ngoài giới hạn quy định của nhà chế tạo, các biện pháp khắc phục cần thiết phải được thực hiện theo quy định của nhà chế tạo trong những trường hợp như vậy. Không thực hiện việc sạc hoặc xả tùy tiện vì điều này có thể dẫn đến hỏng hóc nghiêm trọng. Khi hệ thống tích trữ, đặc biệt là hệ thống dựa trên pin, bị sạc/xả liên tục, sự chênh lệch điện áp giữa các thành phần của hệ thống tích trữ (tức là, cell/môđun pin trong hệ thống pin) có xu hướng vượt quá giá trị cho phép. Do đó, cần thiết phải cân bằng lại điện áp. Trong hệ thống dựa trên pin, quá trình cân bằng điện áp của cell là cần thiết.
- Khi xảy ra tình huống bất thường như khói, cháy hoặc nổ trong hệ thống tích trữ, cần phải sơ tán nhân viên xung quanh kịp thời, và ngay lập tức thực hiện các biện pháp phù hợp theo kế hoạch khẩn cấp; ngăn chặn lan truyền sự cố và báo cáo kịp thời.

4.5.6.4 Yêu cầu bảo trì cụ thể liên quan đến công nghệ EES

Các yêu cầu bảo trì liên quan được cung cấp trong Phụ lục C.

4.5.6.5 Yêu cầu bảo trì cụ thể cho hệ thống chuyển đổi năng lượng

a) Quy định chung:

- Hệ thống chuyển đổi năng lượng phải có tấm nhãn hoàn chỉnh do nhà chế tạo cung cấp.
- Vỏ của hệ thống chuyển đổi năng lượng cần có ký hiệu nối đất tiêu chuẩn. Giá đỡ kim loại và nền phải được nối đất tin cậy. Mỗi nối đất phải được xiết chặt và điện trở của nó phải được kiểm tra.

- Hệ thống chuyển đổi năng lượng phải có chức năng bảo vệ hoàn chỉnh. Trước khi bắt đầu hoạt động, các yêu cầu bảo vệ tương ứng của hệ thống chuyển đổi năng lượng phải được xác định.

b) Kiểm tra tuần tra:

- Điện áp và dòng điện AC/DC của hệ thống chuyển đổi năng lượng nằm trong phạm vi hoạt động.
- Đèn báo và đèn nguồn của hệ thống chuyển đổi năng lượng nguyên vẹn và còn hoạt động.
- Giao diện người-máy (HMI) của hệ thống chuyển đổi năng lượng không báo cáo lỗi và không có thông tin báo động phần cứng và cấu hình.
- Chế độ hoạt động của hệ thống chuyển đổi năng lượng và vị trí chuyển mạch của công tắc lựa chọn được thiết lập đúng.
- Nhiệt độ trong nhà của hệ thống chuyển đổi năng lượng nằm trong phạm vi hoạt động.
- Thiết bị chiếu sáng và hệ thống thông gió đang hoạt động.
- Hệ thống làm mát và nguồn điện không gián đoạn của hệ thống chuyển đổi năng lượng hoạt động đúng mà không có tiếng ồn bất thường.
- Kiểm tra cách điện của các bộ phận mang điện.
- Kiểm tra nối đất của vỏ kim loại và giá đỡ.
- Kiểm tra các thiết bị thông gió.
- Kiểm tra không gian làm việc an toàn.
- Kiểm tra thiết bị chiếu sáng.

c) Xử lý tình trạng bất thường và sự cố:

- Hệ thống chuyển đổi năng lượng phải được tắt ngay lập tức trong trường hợp sự cố hoặc hỏng hóc để kiểm tra và xử lý. Các hồ sơ tương ứng phải được ghi lại và báo cáo cho người phụ trách liên quan. Hồ sơ bao gồm, nhưng không giới hạn ở, trường hợp sự cố và mã sự cố, model và số hiệu thiết bị, và thời gian sự cố.
- Khi hệ thống điều khiển của hệ thống chuyển đổi năng lượng hoạt động bất thường, cần dừng lại để kiểm tra.
- Khi công suất đầu ra của hệ thống chuyển đổi năng lượng nằm ngoài phạm vi hoạt động, các thành phần công suất, môđun điều khiển và kênh giao tiếp điều khiển phải được dừng lại để kiểm tra.
- Việc xử lý sự cố của hệ thống chuyển đổi năng lượng phải được kích hoạt sau một khoảng thời gian nhất định kể từ khi mất điện (ví dụ 30 min) để đảm bảo an toàn.

4.5.6.6 Yêu cầu bảo trì cụ thể cho hệ thống quản lý

a) Quy định chung:

TCVN 14499-3-2:2025

- Các đường dây thu thập tín hiệu đo như nhiệt độ, dòng điện, điện áp, v.v. của hệ thống quản lý được kết nối tin cậy, không bị lỏng hoặc rơi ra.
- Đèn chỉ báo trạng thái hoạt động và giao diện giám sát của hệ thống quản lý hoạt động bình thường mà không xuất hiện cảnh báo.
- Các thông số cấu hình liên quan đến quản lý cảnh báo, bảo vệ, điều khiển sạc/xả và các chức năng khác của hệ thống quản lý phải được thiết lập theo danh sách giá trị thông số đã được phê duyệt. Khi cần thay đổi các giá trị thông số cấu hình, danh sách thông số cấu hình phải được cập nhật lại và thực hiện bởi nhân sự trực ca có thẩm quyền vận hành.
- Hệ thống quản lý giao tiếp với hệ thống chuyển đổi năng lượng và hệ thống giám sát mà không xảy ra lỗi truyền thông.

b) Kiểm tra tuần tra:

- Đèn báo và đèn nguồn của hệ thống quản lý vẫn nguyên vẹn và còn hoạt động.
- Nhiệt độ, dòng điện, điện áp và các giá trị đo khác của hệ thống quản lý phải nằm trong phạm vi hoạt động mà không có cảnh báo.
- Tình trạng sạc của hệ thống con tích trữ nằm trong phạm vi hoạt động.

c) Xử lý tình trạng bất thường và sự cố:

- Khi hệ thống quản lý gặp sự cố truyền thông, cáp truyền thông phải được kiểm tra để xác minh xem có bị lỏng hoặc tiếp xúc kém không.
- Khi hệ thống quản lý hiển thị tín hiệu báo động và hành động bảo vệ trong quá trình hoạt động và không thể đặt lại được, cần dừng lại để kiểm tra.
- Khi hệ thống quản lý gặp sự cố, máy chủ của hệ thống quản lý và môđun công suất phải được kiểm tra.

5 Điều chỉnh/điều khiển tần số

5.1 Điều chỉnh tần số sơ cấp và thứ cấp

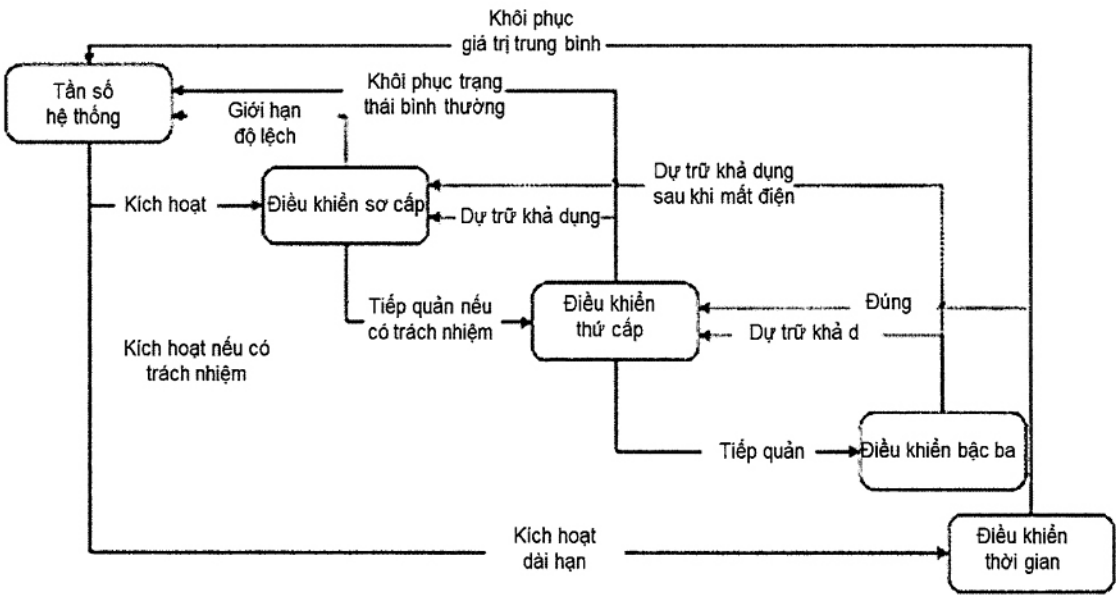
5.1.1 Ứng dụng của hệ thống EES

5.1.1.1 Mục đích chức năng của hệ thống EES

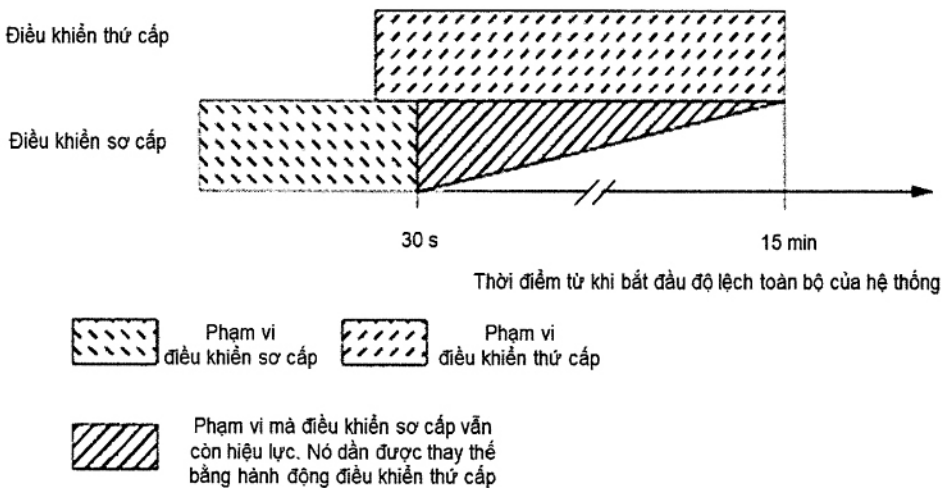
Hệ thống EES có khả năng hỗ trợ tích cực tần số lưới bằng cách xả hoặc sạc trong các khoảng thời gian ngắn và trung bình (ví dụ 30 s và 15 min). Khi tần số giảm xuống dưới điểm đặt mong muốn, hệ thống EES sẽ giảm công suất sạc hoặc tăng công suất xả để chống lại hoặc giảm thiểu một phần độ lệch tần số, nhằm hỗ trợ tần số lưới, bằng một phần hoặc toàn bộ khả năng công suất tác dụng của nó. Ngược lại, khi tần số tăng lên trên điểm đặt mong muốn, có thể được chống lại hoặc giảm thiểu một phần bằng cách tăng tốc độ sạc hoặc giảm tốc độ xả của hệ thống EES.

5.1.1.2 Yêu cầu liên quan đến ứng dụng

Hầu hết các nhà vận hành hệ thống điện đã xác định việc điều chỉnh tần số là điều chỉnh tần số sơ cấp và thứ cấp. Điều chỉnh tần số sơ cấp của hệ thống EES có nghĩa là khi tần số của lưới điện lệch khỏi giá trị danh định, hệ thống điều khiển sẽ tự động điều chỉnh tăng hoặc giảm công suất tác dụng của bộ lưu trữ năng lượng, giới hạn sự thay đổi tần số của lưới điện và duy trì quá trình điều khiển tự động tần số lưới. Hệ thống EES tham gia vào điều chỉnh tần số thứ cấp, tức là nhận và bám theo các chỉ dẫn tải do cơ quan điều độ phát hành. Việc kích hoạt và khoảng thời gian có thể khác nhau giữa các quốc gia và thường được xác định bởi các quy phạm lưới điện. Sơ đồ khối của điều khiển tần số và sơ đồ nguyên lý của thời điểm hoặc khoảng thời gian của chúng được thể hiện trên Hình 5 và Hình 6.



Hình 5 – Ví dụ về sơ đồ khối điều khiển tần số



Hình 6 – Ví dụ về sơ đồ khối thời gian/khoảng thời gian điều chỉnh tần số

Trong các ứng dụng điều chỉnh tần số, ngoài các yêu cầu ứng dụng được liệt kê trong 4.1.2, phải xem xét các yêu cầu sau đây.

a) Thời gian đáp ứng đầy đủ

Thời gian đáp ứng dự trữ sơ cấp đầy đủ của hệ thống EES là khoảng thời gian giữa sự xuất hiện của độ lệch tần số và việc kích hoạt tương ứng của dự trữ. Thời gian đáp ứng mô tả tốc độ mà hệ thống có thể đáp ứng với sự thay đổi.

Thời gian đáp ứng không được vượt quá 30 s trong ENTSO-E ⁵.

b) Độ trễ kích hoạt

Độ trễ kích hoạt là khoảng thời gian giữa sự xuất hiện của độ lệch tần số và thời điểm khi công suất đã tăng/giảm 5 % so với công suất yêu cầu.

c) Thời gian kích hoạt

Khi ở trạng thái bình thường, việc kích hoạt là liên tục. Khi tần số của hệ thống điện ở trạng thái cảnh báo và trạng thái khẩn cấp, thời gian kích hoạt của dự trữ sơ cấp sẽ được xác định bởi từng nhà vận hành hệ thống. Thời gian này thường lớn hơn hoặc bằng 15 min, nhưng nhỏ hơn hoặc bằng 30 min.

d) Thời gian tăng giảm

Thời gian tăng giảm là khoảng thời gian cần thiết để tăng/giảm công suất từ 5 % đến 95 % công suất yêu cầu.

e) Công suất đầu vào và đầu ra ngắn hạn (danh định)

Áp dụng 4.1.2.2.

CHÚ THÍCH: Ba trạng thái tần số của hệ thống điện có thể được xác định như sau:

1) Tần số của hệ thống điện ở trạng thái bình thường khi:

- Giá trị tuyệt đối của độ lệch tần số so với tần số danh nghĩa f_n nhỏ hơn 200 mHz; và
- Giá trị tuyệt đối của độ lệch tần số không cao hơn 50 mHz trong quá 15 min và không cao hơn 100 mHz trong quá 5 min.

2) Tần số của hệ thống điện ở trạng thái cảnh báo khi:

- Giá trị tuyệt đối của độ lệch tần số so với tần số danh nghĩa f_n nhỏ hơn 200 mHz; và
- Giá trị tuyệt đối của độ lệch tần số đã cao hơn 50 mHz trong quá 15 min hoặc đã cao hơn 100 mHz trong quá 5 min.

⁵ Xem Thư mục tài liệu tham khảo.

Sự kết thúc của trạng thái cảnh báo, tức là trở về trạng thái bình thường, xảy ra ngay khi giá trị tuyệt đối của độ lệch tần số nhỏ hơn 50 mHz.

3) Tần số của hệ thống điện ở trạng thái khẩn cấp khi:

– Giá trị tuyệt đối của độ lệch tần số cao hơn hoặc bằng 200 mHz.

5.1.2 Điều kiện và yêu cầu kết nối với lưới

Áp dụng 4.2.

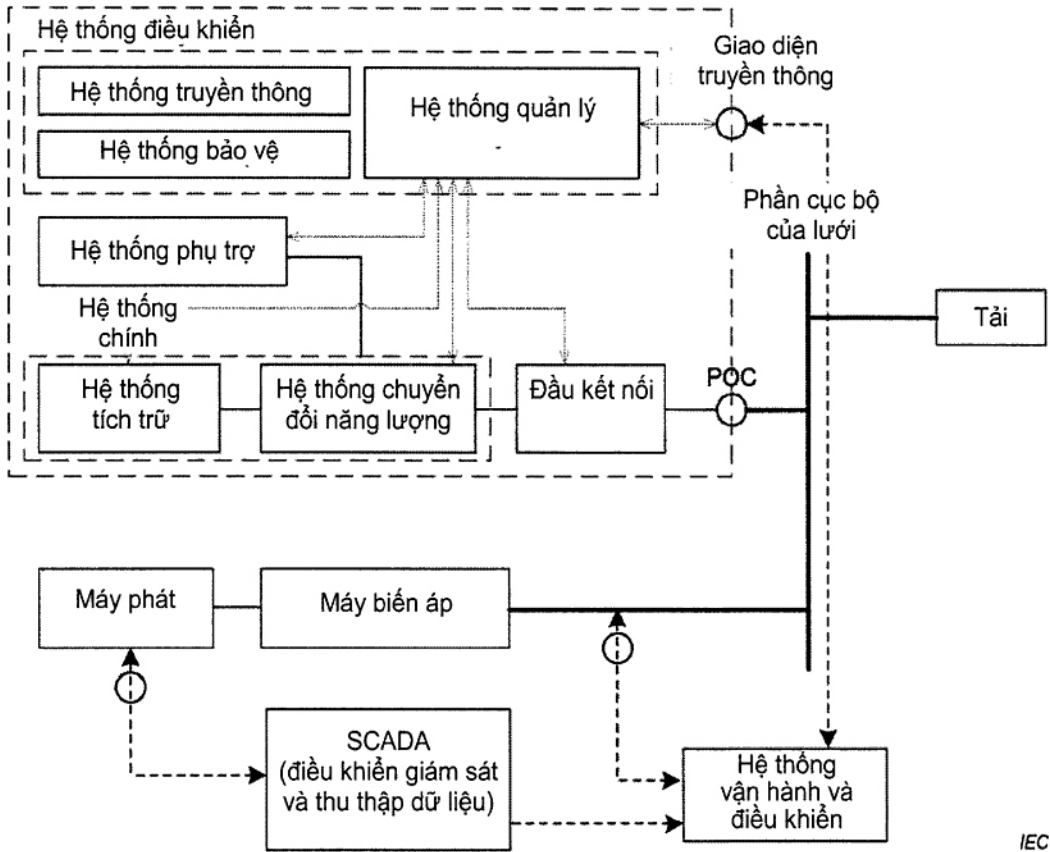
5.1.3 Thiết kế của hệ thống EES

5.1.3.1 Cấu trúc của hệ thống EES

Cấu trúc và các thành phần của hệ thống EES được xác định trong 4.3.2 cũng áp dụng cho các ứng dụng điều chỉnh tần số. Ngoài ra, cần xem xét thêm một số yếu tố. Hệ thống EES cho các ứng dụng điều chỉnh tần số có thể được lắp đặt kết hợp với máy phát điện, nhằm nâng cao hiệu quả của các ứng dụng điều chỉnh tần số. Một cấu hình điển hình của hệ thống EES kết hợp với máy phát điện được thể hiện trên Hình 7.

Điều chỉnh tần số sơ cấp của hệ thống EES được thực hiện tự động dựa trên tần số lưới. Khi tần số lưới giảm hoặc tăng, hệ thống EES sẽ tăng hoặc giảm sự trao đổi công suất, để đảm bảo tần số lưới được duy trì trong khoảng cho phép.

Trong chế độ điều khiển điều độ, biến thiên công suất tác dụng của điều chỉnh tần số thứ cấp của hệ thống EES được tự động thiết lập bởi hệ thống điều khiển tự động phát điện (AGC) thông qua hệ thống điều khiển giám sát và thu thập dữ liệu (SCADA). Khi công suất đặt thay đổi, bộ điều khiển trung tâm của hệ thống EES gửi lệnh điều chỉnh công suất, và hệ thống EES sẽ phát ra hoặc nhận công suất tác dụng được xác định bởi lịch trình để hoàn thành sự thay đổi công suất tác dụng của điều chỉnh tần số thứ cấp.



Hình 7 – Ví dụ về cấu trúc hệ thống của hệ thống EES đối với điều chỉnh tần số kết hợp với máy phát điện

5.1.3.2 Thông số kỹ thuật của các hệ thống con

Áp dụng 4.3.3.

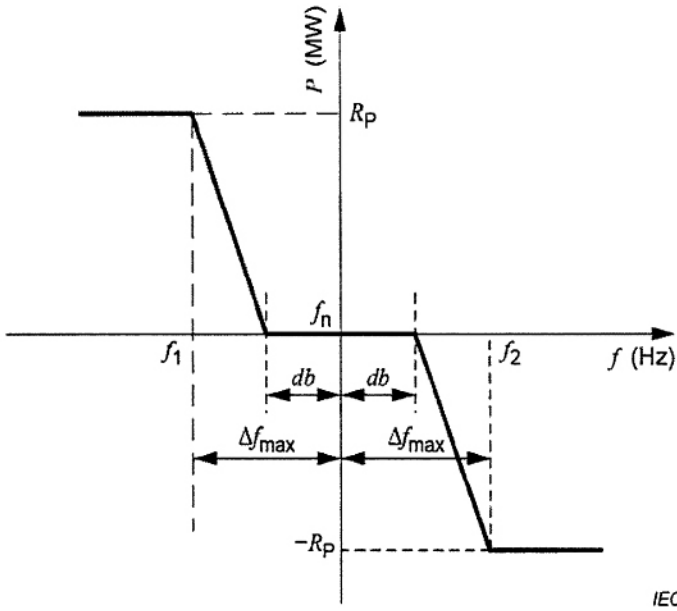
5.1.3.3 Tích hợp lưới của hệ thống EES

Áp dụng 4.3.4.

5.1.3.4 Vận hành và điều khiển

a) Chế độ điều khiển giảm tần số

Điều chỉnh tần số sơ cấp chủ yếu được thực hiện bằng chế độ điều khiển giảm tần số như thể hiện trên Hình 8.



Hình 8 – Ví dụ về điều khiển giảm tần số với dải chết tần số

CHÚ THÍCH: Dự trữ công suất tác dụng R_p , gọi là “dự trữ sơ cấp”, có thể được điều chỉnh tăng hoặc giảm bởi nhà vận hành hệ thống.

Hệ thống EES phải được trang bị bộ điều chỉnh tần số sơ cấp. Trong chế độ điều khiển này, sự thay đổi công suất tác dụng đầu ra của hệ thống EES tỷ lệ thuận với độ lệch tần số theo chiều âm. Mức công suất đầu ra giảm dần khi tần số tăng lên, dựa theo công thức điều khiển sau và tuân theo quy ước dấu công suất tác dụng (giá trị dương của P tương ứng với việc phát công suất vào lưới, trong khi giá trị âm của P tương ứng với việc nhận công suất từ lưới):

$$P - P_c = K_1 \times (f - f_n \pm db)$$

trong đó

- P công suất tác dụng đầu ra của hệ thống EES (MW);
- P_c giá trị đặt của công suất tác dụng của hệ thống EES tại tần số danh nghĩa f_n (MW);
- f tần số đo được trên lưới (Hz);
- f_n tần số danh nghĩa (50 Hz hoặc 60 Hz);
- K_1 hệ số khuếch đại tỷ lệ đối với đặc tính $P(f)$ của hệ thống EES (MW/Hz);
- db dải chết của điều chỉnh tần số sơ cấp. Tham số này phải có khả năng điều chỉnh và cuối cùng được thiết lập về 0.

Chế độ điều khiển giảm tần số có thể bao gồm một dải chết có chủ đích tương ứng với một dải tần số mà trong đó không có sự thay đổi công suất tác dụng được phát vào, mặc dù tần số biến thiên nằm trong dải này. Giá trị của dải chết này phải có khả năng điều chỉnh;

TCVN 14499-3-2:2025

Hệ số khuếch đại tỷ lệ K_1 của hệ thống EES phải có khả năng điều chỉnh. Hệ số này nằm trong khoảng giữa giá trị tối thiểu $K_{1,\min}$ và giá trị tối đa $K_{1,\max}$ do nhà vận hành hệ thống xác định. Trong hoạt động, giá trị của các hệ số khuếch đại tăng và giảm có thể khác nhau, và giá trị của mỗi hệ số phải:

Đảm bảo huy động toàn bộ công suất dự trữ sơ cấp RP do hệ thống EES cung cấp đối với bất kỳ độ lệch tần số nào có biên độ lớn hơn hoặc bằng giá trị lớn nhất (khuyến nghị là 200 mHz theo ENTSO-E).

- đảm bảo huy động toàn bộ dự trữ sơ cấp R_P do hệ thống EES cung cấp đối với bất kỳ độ lệch tần số nào có biên độ lớn hơn hoặc bằng Δf_{\max} (khuyến nghị là 200 mHz theo ENTSO-E),
- khi $f > f_n$ hoặc khi $f < f_n$:
 - phải duy trì ổn định trong khoảng thời gian ít nhất từ 15 min đến 30 min và phù hợp với sự thay đổi của giá trị đặt công suất;
 - không phụ thuộc vào sự biến thiên của tần số.

Việc kích hoạt chức năng điều chỉnh tần số sơ cấp phải được bắt đầu càng sớm càng tốt sau khi xảy ra hiện tượng lệch tần số. Tuy nhiên, một độ trễ kích hoạt là gần như không thể tránh khỏi. Độ trễ này bao gồm thời gian mà thiết bị giám sát tần số cần để phát hiện độ lệch tần số, cộng với thời gian để truyền lệch phản hồi, và thời gian để hệ thống EES bắt đầu thay đổi công suất đầu ra (tính theo MW). Để đảm bảo rằng độ trễ kích hoạt này nằm trong giới hạn cho phép, không được vượt quá giá trị tối đa t_1 do nhà vận hành hệ thống điện quy định.

Hệ thống EES phải cung cấp dịch vụ điều chỉnh tần số sơ cấp một cách liên tục và thường xuyên trong trạng thái vận hành bình thường. Công suất dự trữ sơ cấp đã kích hoạt tương ứng phải bằng giá trị nhỏ hơn giữa R_P và $-K_1 \cdot \Delta f$.

Thời gian để hệ thống EES đạt mức kích hoạt đầy đủ không được vượt quá giá trị tối đa t_2 do nhà vận hành hệ thống điện quy định ($t_2 < 30$ s được khuyến nghị bởi ENTSO-E cho Châu Âu đại lục). Việc kích hoạt toàn bộ dung lượng dự trữ sơ cấp phải tăng ít nhất theo tuyến tính trong trường hợp tần số giảm, và phải giảm ít nhất theo tuyến tính trong trường hợp tần số tăng.

Đáp ứng kết hợp của điều chỉnh tần số phải tuân thủ các yêu cầu sau:

- việc kích hoạt điều chỉnh tần số không được phép trì hoãn một cách chủ động và phải bắt đầu càng sớm càng tốt sau khi xảy ra độ lệch tần số;
- trong trường hợp độ lệch tần số bằng hoặc lớn hơn 200 mHz, ít nhất 50 % công suất điều chỉnh tần số tối đa phải được cung cấp muộn nhất sau 15 s;
- trong trường hợp độ lệch tần số bằng hoặc lớn hơn 200 mHz, 100 % công suất điều chỉnh tần số tối đa phải được cung cấp muộn nhất sau 30 s;
- trong trường hợp độ lệch tần số bằng hoặc lớn hơn 200 mHz, quá trình kích hoạt toàn bộ công suất điều chỉnh tần số phải tăng ít nhất theo tuyến tính trong khoảng thời gian từ 15 s đến 30 s;

- trong trường hợp độ lệch tần số nhỏ hơn 200 mHz, công suất điều chỉnh tần số đã kích hoạt tương ứng phải tỷ lệ với độ lệch tần số và tuân theo đặc tính thời gian tương tự như đã nêu ở bốn điểm trên.

CHÚ THÍCH: Xem Quy định của Ủy ban Châu Âu (EU) 2017/1485 trong Thư mục tài liệu tham khảo.

b) Điều chỉnh tần số thứ cấp

Điều chỉnh tần số thứ cấp được thực hiện bởi nhà vận hành hệ thống điện thông qua phần mềm điều khiển phát điện tự động (AGC). AGC tính toán sai số điều khiển khu vực (ACE) của một vùng cân bằng dựa trên dòng công suất điện lưới và số đo tần số.

Tùy theo cách hiển thị tín hiệu ACE, tín hiệu ACE có thể được phân thành FFC, FTC và TBC. Hiện nay, TBC là chế độ điều khiển được sử dụng phổ biến nhất, vì có thể đảm bảo ổn định kép về tần số và công suất đường dây liên kết, phù hợp hơn với các hệ thống điện liên thông hiện đại. Mỗi vùng sử dụng giá trị ACE để điều chỉnh lệnh công suất đầu ra của các tổ máy điều tần trong vùng, nhằm đảm bảo cân bằng giữa phát điện và phụ tải của hệ thống.

Để giảm thiểu sai số điều khiển khu vực ACE và duy trì tần số lưới điện gần với giá trị danh nghĩa f_n , nhà vận hành hệ thống điện phải liên tục điều chỉnh cân bằng giữa cung và cầu. Để thực hiện điều này, phần mềm AGC sẽ gửi tín hiệu thiết lập công suất điều chỉnh tần số đến tất cả các nguồn năng lượng tham gia dự trữ tần số thứ cấp (bao gồm các tổ máy phát điện, hệ thống EES, đáp ứng nhu cầu phụ tải). Hệ thống EES phải điều chỉnh công suất tác dụng đầu ra của mình theo tín hiệu đó.

Điều chỉnh tần số thứ cấp yêu cầu các hệ thống EES phải cung cấp đủ dung lượng điều chỉnh và đáp ứng được tốc độ thay đổi công suất nhất định. Trong quá trình vận hành AGC, chức năng điều chỉnh tần số sơ cấp vẫn phải được duy trì.

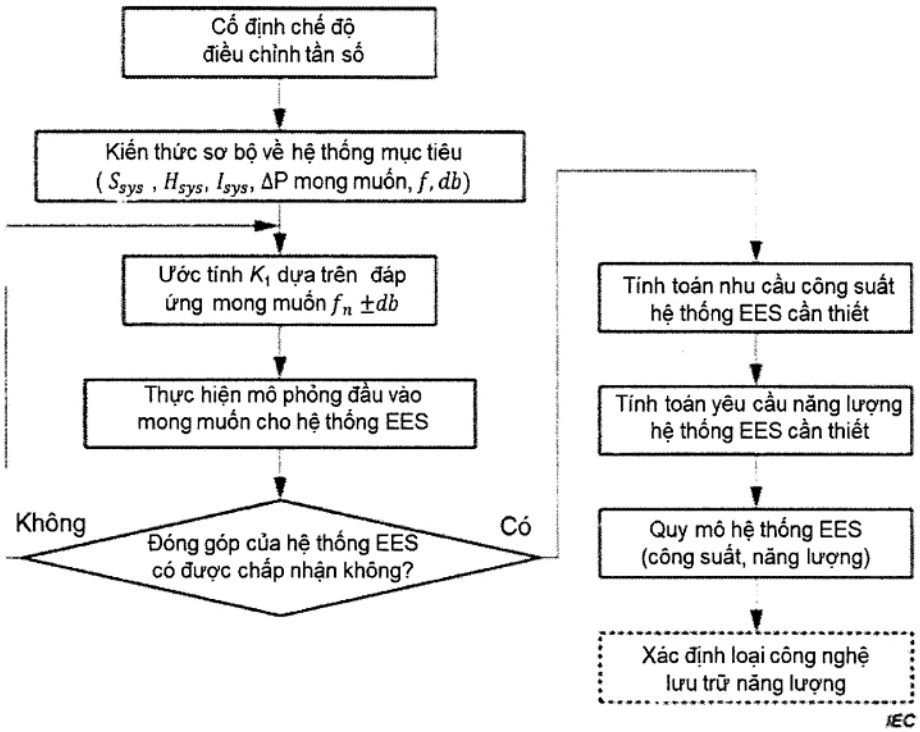
5.1.3.5 Giao diện truyền thông

Áp dụng 4.3.8.

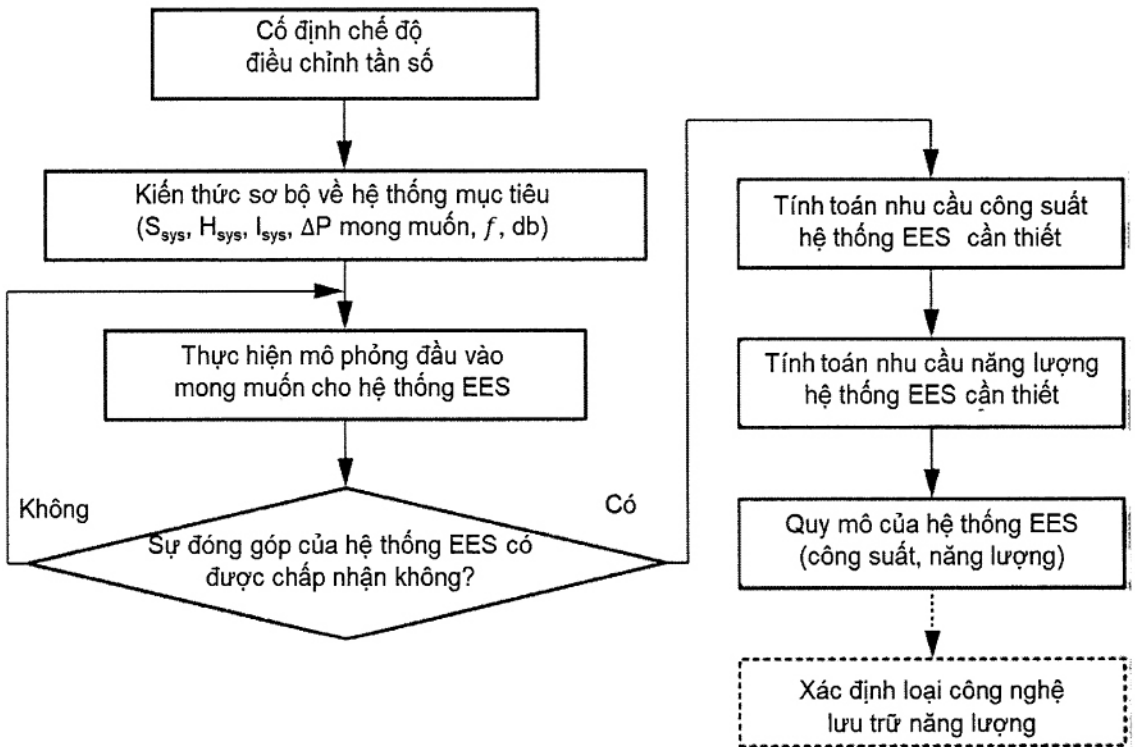
5.1.4 Quy mô và các tham số kết quả của hệ thống EES

5.1.4.1 Xác định quy mô

a) Quy trình xác định quy mô của hệ thống EES đối với điều chỉnh tần số được trình bày trên Hình 9 và Hình 10.



Hình 9 – Ví dụ về quá trình xác định quy mô hệ thống EES đối với điều chỉnh tần số sơ cấp



Hình 10 – Ví dụ về quá trình xác định quy mô hệ thống EES đối với điều chỉnh tần số thứ cấp

Trên Hình 9, phương pháp sử dụng kiến thức sơ bộ về hệ thống mục tiêu, cụ thể là quy mô hệ thống (S_{sys}), quán tính hệ thống (H_{sys}) và đặc tính công suất/tần số (I_{sys}). Người dùng phải quyết định giá trị mất cân bằng công suất mục tiêu (ΔP) mà hệ thống EES sẽ được xác định quy mô.

Ngoài ra, nếu hệ thống EES tham gia cả điều chỉnh tần số sơ cấp và thứ cấp, phương pháp xác định quy mô sẽ khác. Để đảm bảo rằng hệ thống EES có thể điều chỉnh tần số một cách đều đặn, công suất phải được lựa chọn theo giá trị công suất lớn nhất yêu cầu trong cả điều chỉnh tần số sơ cấp và thứ cấp. Việc chọn dung lượng năng lượng là tổng của dung lượng cần thiết cho điều chỉnh tần số sơ cấp và dung lượng cần thiết cho điều chỉnh tần số thứ cấp.

b) Yêu cầu về xác định quy mô

Khi kích thước hệ thống EES cho các ứng dụng điều chỉnh tần số, cần xem xét không chỉ các ràng buộc về trạng thái hoạt động của hệ thống, mà còn cả các ràng buộc về công suất và dung lượng sạc/xả năng lượng.

Để tránh hệ thống EES sạc hoặc xả quá thường xuyên, dài chết của điều chỉnh tần số sử dụng các máy phát điện thông thường là để tham khảo.

Trong thời gian ổn định công suất đầu ra của điều chỉnh tần số sơ cấp, công suất đầu ra tối đa là công suất danh định của hệ thống EES hoặc công suất vào/ra ngắn hạn, nếu áp dụng.

Để cấu hình dung lượng của hệ thống EES cho điều chỉnh tần số, công suất đầu ra hoạt động của các máy phát điện thông thường là để tham khảo, và dung lượng của hệ thống EES phải đáp ứng nhu cầu điều chỉnh tần số tăng và giảm tại bất kỳ thời điểm nào.

Hệ thống EES bị giới hạn bởi năng lượng. Do dung lượng hữu hạn của hệ thống tích trữ, có nguy cơ mất đi khả năng điều chỉnh tần số hiệu quả trong trường hợp có sự sai lệch lâu dài của tần số hệ thống. Do đó, quản lý năng lượng là điều cần thiết để đảm bảo kích hoạt liên tục, đặc biệt trong các trạng thái hệ thống chịu áp lực.

5.1.4.2 Đặc tính và hạn chế của hệ thống EES

Áp dụng 4.4.3.

5.1.5 Tuổi thọ vận hành của hệ thống EES

5.1.5.1 Lắp đặt

Áp dụng 4.5.2.

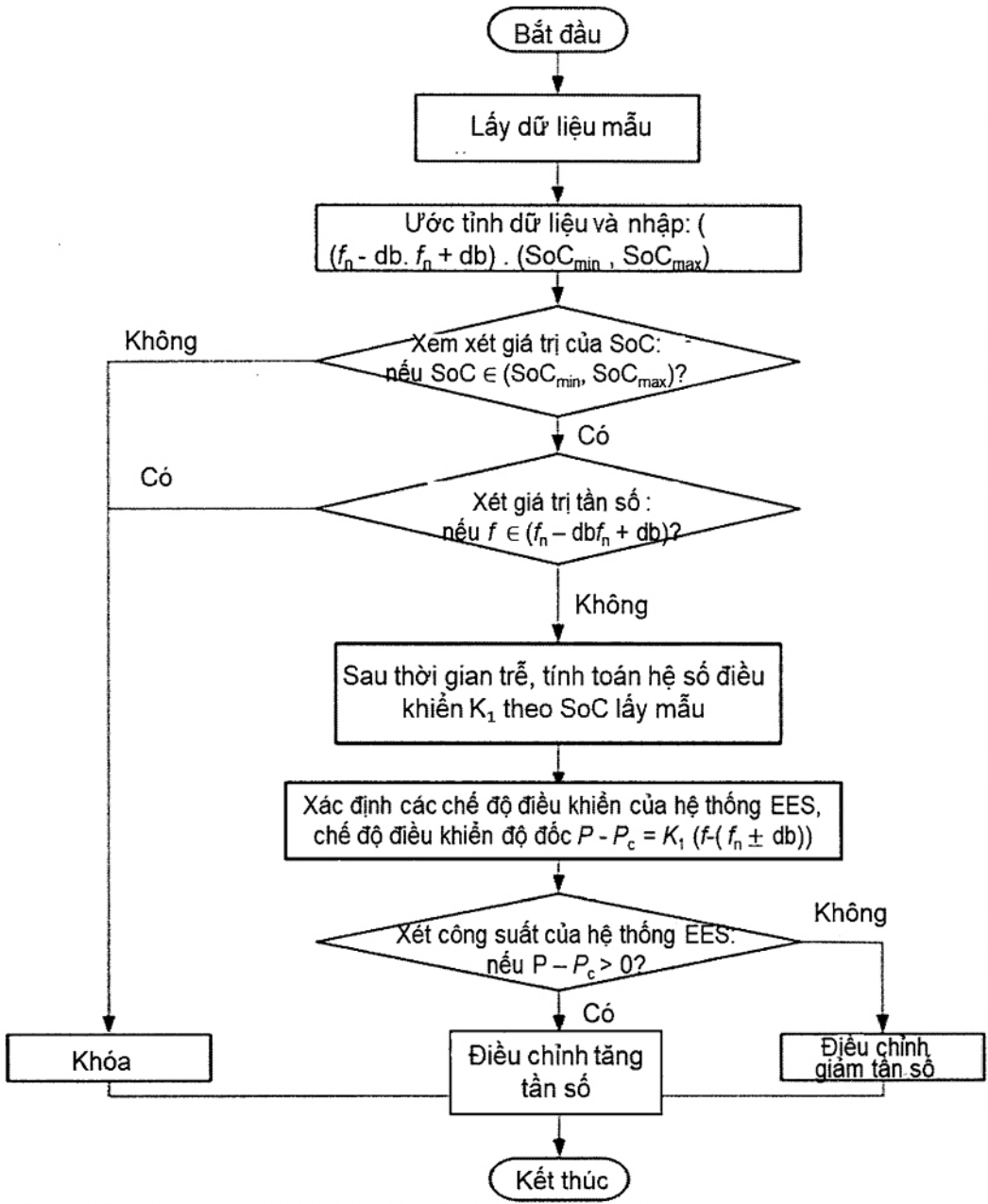
5.1.5.2 Đánh giá tính năng

Áp dụng 4.5.3.

5.1.5.3 Vận hành và điều khiển

a) Điều chỉnh tần số sơ cấp

Như được thể hiện trong Hình 8, nếu tần số của lưới điện nằm trong dải chết, hệ thống EES không tham gia vào việc điều chỉnh tần số. Δf_{max} là sai lệch tần số tối đa cho phép. Khi giá trị tần số nằm giữa f_1 và giá trị tối thiểu của dải chết, hệ thống EES giảm công suất sạc hoặc tăng công suất xả theo đường cong giảm tần số. Khi tần số lưới điện nằm giữa giá trị tối đa của dải chết và f_2 , hệ thống EES tăng công suất sạc hoặc giảm công suất xả theo đường cong giảm tần số. Khi tần số lưới điện thấp hơn f_1 hoặc cao hơn f_2 , hệ thống EES kích hoạt toàn bộ dự trữ công suất. Quá trình vận hành và điều khiển được thể hiện trong Hình 11.



Hình 11 – Ví dụ về chiến lược điều khiển của hệ thống EES tham gia vào điều chỉnh tần số sơ cấp

CHÚ THÍCH: Mức SOC không tải của hệ thống EES có thể được đặt ở 50 %, cho phép hệ thống EES tham gia vào cả hoạt động điều chỉnh tần số tăng và giảm. K1 là hệ số khuếch đại của hệ thống EES tương ứng với điều chỉnh tần số sơ cấp, và nó phải được điều chỉnh theo SOC thực tế của hệ thống EES.

Khả năng của một hệ thống EES tham gia vào điều chỉnh tần số sơ cấp được đặc trưng bởi:

- Một dự trữ công suất tác dụng RP, gọi là “dự trữ sơ cấp”, có thể được sử dụng tăng hoặc giảm bởi nhà vận hành hệ thống.
- Một chiến lược điều khiển cho phép cung cấp lượng dự trữ được giao khi tần số lệch khỏi giá trị danh nghĩa f_n hoặc khỏi dải chết đã chỉ định (nếu có).
- Một thời gian động (thời gian trễ, thời gian để kích hoạt hoàn toàn, thời gian kích hoạt đầy đủ).

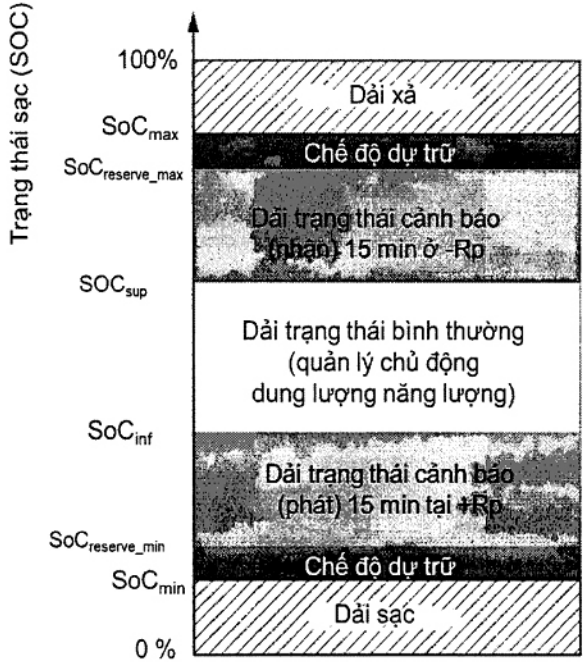
Dự trữ sơ cấp phải được kích hoạt càng sớm càng tốt sau khi phát hiện sự lệch tần số so với giá trị danh nghĩa f_n hoặc từ một dải chết đã chỉ định (nếu có), mà không cần tín hiệu điều khiển từ nhà vận hành hệ thống điện.

Các mức độ SOC khác nhau được trình bày trong Bảng 2 và Hình 12.

Bảng 2 – Ví dụ về định nghĩa các trạng thái sạc khác nhau

Mức SOC	Định nghĩa
SoC_{sup}	Ngưỡng SOC cao hơn ở trạng thái bình thường, cho phép xả dự trữ sơ cấp R_P theo hướng giảm trong khoảng thời gian t_3
SoC_{inf}	Ngưỡng SOC thấp hơn ở trạng thái bình thường, cho phép xả dự trữ sơ cấp R_P theo hướng tăng trong khoảng thời gian t_3
SoC_{max}	Ngưỡng giới hạn trên của SOC ở trạng thái bình thường, tương ứng với một ràng buộc an toàn đối với hệ thống EES
SoC_{min}	Ngưỡng giới hạn dưới của SOC ở trạng thái bình thường, tương ứng với một ràng buộc an toàn đối với hệ thống EES
$SoC_{reserve_max}$	Ngưỡng SOC mà trên ngưỡng đó chế độ dự trữ được kích hoạt nhằm kiểm soát tình trạng bão hòa của hệ thống lưu trữ.
$SoC_{reserve_min}$	Ngưỡng SOC mà dưới ngưỡng đó chế độ dự trữ được kích hoạt nhằm kiểm soát tình trạng bão hòa của hệ thống lưu trữ.

Có một giả thuyết rằng $PC = 0$ và không có hoạt động nào khác như điều chỉnh tần số thứ cấp hoạt động đồng thời, và hệ thống EES phải có khả năng duy trì việc kích hoạt đầy đủ dự trữ công suất tác dụng trong thời gian tối thiểu t_3 (15 min theo quy định của ENTSO-E cho Châu Âu đại lục).



Hình 12 – Ví dụ về ngưỡng SOC và chế độ lưu trữ của hệ thống EES

CHÚ THÍCH: 0 % và 100 % là giới hạn tương đối của SOC, liên quan đến công suất dự trữ cho việc điều chỉnh tần số, không phải là giới hạn tuyệt đối của SOC. $SoC \in [SoC_{inf}, SoC_{sup}]$ có thể được định nghĩa là dải trạng thái bình thường. $SoC \in [SoC_{reserve_min}, SoC_{inf}]$ hoặc $SoC \in [SoC_{sup}, SoC_{reserve_max}]$ có thể được định nghĩa là dải trạng thái cảnh báo.

Để đảm bảo dự trữ năng lượng cho việc điều chỉnh tần số sơ cấp tăng và giảm trong một khoảng thời gian t_3 tương ứng với thời gian kích hoạt đầy đủ, hệ thống lưu trữ năng lượng (EES) phải có tỷ lệ E_{useful}/R_P lớn hơn $2 t_3$, trong đó E_{useful} là dung lượng năng lượng hữu ích (tính bằng kWh hoặc MWh) của hệ thống EES và là dung lượng năng lượng để thực hiện điều khiển dự trữ sơ cấp.

Hệ thống EES phải cung cấp điều chỉnh tần số sơ cấp miễn là dự trữ năng lượng không bị cạn kiệt hoặc bão hòa. Để đảm bảo tính liên tục của hoạt động và khả năng có sẵn của dự trữ năng lượng, cần có quản lý chủ động đối với năng lượng được lưu trữ.

Để cho phép quản lý chủ động năng lượng được lưu trữ và cung cấp dự trữ sơ cấp đồng thời, công suất tối đa trong chế độ sạc và xả, tương ứng là $P_{gen,max}$ và $P_{load,max}$, phải lớn hơn 110 % dự trữ sơ cấp R_P .

Hệ thống EES ở chế độ dự trữ bất cứ khi nào mức sạc (SoC) vượt quá ngưỡng $SoC_{reserve,max}$ hoặc thấp hơn $SoC_{reserve,min}$ (xem Hình 12).

Để không hạn chế sự tham gia của hệ thống EES vào dự trữ sơ cấp khi thay đổi điểm đặt công suất tác dụng của hệ thống EES, giá trị tối đa của điểm đặt công suất tác dụng $P_{C,max}$ phải nhỏ hơn hoặc bằng $P_{gen,max} - R_P$ và $P_{load,max} - R_P$ cùng lúc.

Việc quản lý chủ động năng lượng lưu trữ sẽ có khả năng thay đổi điểm đặt công suất tác dụng P_C , nhằm duy trì SoC ở trạng thái bình thường, cho phép phát hành R_P tăng hoặc giảm trong thời gian t_3 . Trạng thái sạc này sẽ có giới hạn trên và dưới, SoC_{inf} và SoC_{sup} , đảm bảo phát hành R_P tăng hoặc giảm trong thời gian t_3 .

Một số quy phạm lưới điện (ví dụ như RTE⁶) sẽ yêu cầu hạn chế động đối với sự thay đổi của P_C :

P_C là giá trị hằng số trong mỗi bước thị trường trong ngày (ví dụ 15 min), và thay đổi theo một tốc độ tăng/giảm tối đa.

Mục tiêu là P_C phải thay đổi từ từ so với $K \cdot \Delta f$, để không chống lại/trung hòa hoạt động điều chỉnh tần số.

Trong trường hợp có sự thay đổi liên tục của điểm đặt công suất, các độ dốc (MW/min) phải được cấu hình và không dẫn đến sự thay đổi từ 0 đến điểm đặt công suất tối thiểu (hoặc tối đa) trong thời gian ít hơn 15 min.

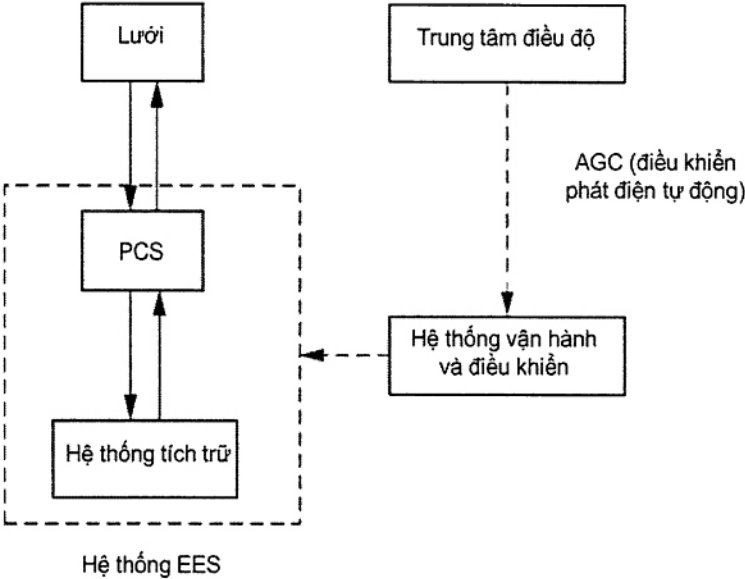
Trong trạng thái cảnh báo hoặc trạng thái khẩn cấp, việc thay đổi điểm đặt công suất tác dụng phải tránh nếu thay đổi này đi ngược lại nhu cầu của hệ thống điện (ví dụ, không được phép thay đổi điểm đặt công suất tác dụng xuống nếu tần số dưới tần số danh nghĩa f_n).

Nếu dự trữ năng lượng bị cạn kiệt hoặc bão hòa hoặc khi chế độ dự trữ được kích hoạt, hệ thống EES phải tái tạo lại dự trữ năng lượng khi tần số hệ thống trở về trạng thái bình thường cho đến khi nó nằm trong dải trạng thái bình thường.

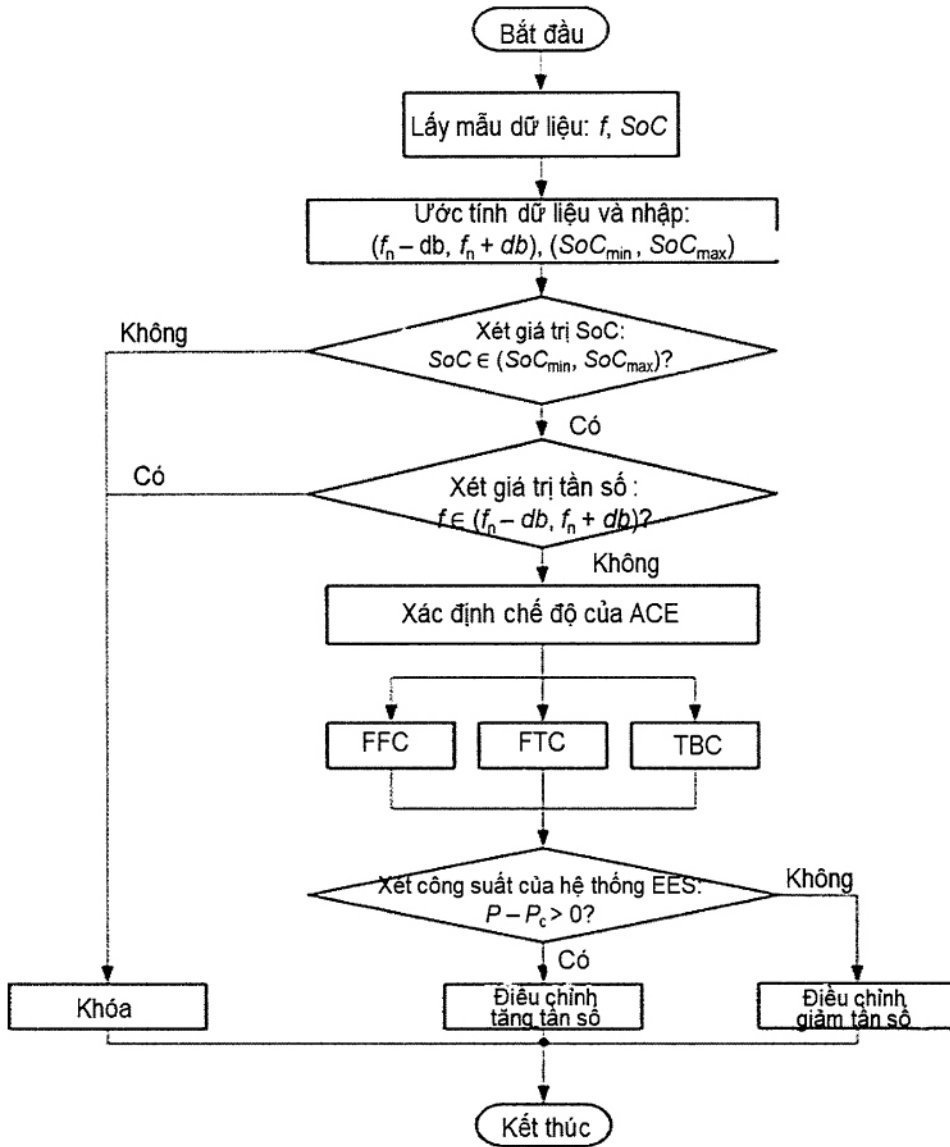
Trong dải trạng thái bình thường, hệ thống EES sẽ đáp ứng với sự lệch tần số bình thường, trong khi ở chế độ dự trữ, hệ thống EES sẽ chỉ đáp ứng với sự lệch tần số ngắn hạn. Trong giai đoạn chuyển tiếp từ dải trạng thái bình thường sang chế độ dự trữ và ngược lại, hệ thống EES sẽ đáp ứng với sự kết hợp của lệch tần số bình thường và lệch tần số ngắn hạn.

b) Điều chỉnh tần số thứ cấp: Khi hệ thống EES được yêu cầu nhận công suất tác dụng từ lưới, tín hiệu điều chỉnh tần số được gửi đến hệ thống vận hành và điều khiển, sau đó được gán cho hệ thống lưu trữ và bộ chuyển đổi năng lượng (PCS) để điều khiển (xem Hình 13), trong khi năng lượng được lưu trữ trong hệ thống lưu trữ. Tương tự, khi hệ thống EES được yêu cầu phát công suất tác dụng, lệnh điều chỉnh tần số được gửi đến hệ thống vận hành và điều khiển và được gán cho hệ thống lưu trữ và PCS. Năng lượng được phát hành bởi hệ thống EES vào lưới điện. Quá trình vận hành và điều khiển được hiển thị trong Hình 14.

⁶ RTE (Réseau de Transport d'Électricité): Nhà vận hành hệ thống truyền tải điện quốc gia của Pháp.



Hình 13 – Ví dụ về hệ thống EES tham gia điều chỉnh tần số thứ cấp



Hình 14 – Ví dụ về chiến lược điều khiển của hệ thống EES tham gia điều chỉnh tần số thứ cấp

CHÚ THÍCH: SOC chế độ nghỉ của hệ thống EES có thể được đặt ở 50 %, cho phép hệ thống EES tham gia vào cả hoạt động điều chỉnh tần số tăng và giảm.

5.1.5.4 Giám sát

Trao đổi dữ liệu là cần thiết để tích hợp tốt hệ thống EES vào hệ thống điện trong các khoảng thời gian khác nhau. Dữ liệu được trao đổi, tùy thuộc vào tầm quan trọng của hệ thống EES và sự tham gia của nó trong các hoạt động phụ trợ, phải tương thích và nhất quán với các hệ thống điều khiển từ xa và hệ thống liên lạc do nhà vận hành hệ thống điện sử dụng với các bên tham gia khác.

Sự phù hợp của các hệ thống dành riêng cho việc trao đổi dữ liệu phải được xác minh dựa trên các yêu cầu tính năng được quy định bởi nhà vận hành hệ thống điện."

Hệ thống EES phải có nền tảng về giao tiếp mạng thông tin và khả năng thu thập dữ liệu từ các loại thiết bị khác nhau. Các dữ liệu liên quan của hệ thống EES phải có khả năng truy cập vào nền tảng giám sát tập trung và vận hành, bảo trì.

Khi hệ thống EES được sử dụng để điều chỉnh tần số lưới điện, hệ thống EES phải vận hành tự động hoặc từ xa theo mục tiêu trong kịch bản. Trạng thái hoạt động của hệ thống EES phải được giám sát để kiểm tra xem tín hiệu điều khiển từ xa và đo lường từ xa của hệ thống EES có bình thường hay không.

Thông tin về điện áp, dòng điện, công suất tác dụng, công suất phản kháng, mức sạc, cảnh báo bất thường và lỗi của đơn vị lưu trữ năng lượng trong hệ thống EES phải được giám sát. Các thông tin như cảnh báo bất thường của các thiết bị khác cũng phải được giám sát.

5.2 Điều khiển tần số nhanh

5.2.1 Ứng dụng của hệ thống EES

5.2.1.1 Mục đích chức năng của hệ thống EES

Hệ thống EES có khả năng hỗ trợ tần số lưới điện một cách chủ động bằng cách xả hoặc sạc nhanh chóng (ví dụ, trong vòng 100 ms). Điều khiển tần số nhanh của hệ thống EES là để mô phỏng quá trình năng lượng quán tính của các máy phát điện truyền thống dựa trên tốc độ thay đổi của tần số. Mục đích là làm chậm tốc độ thay đổi tần số của hệ thống trong trường hợp sự cố đột ngột, giảm biên độ của sự chênh lệch tần số tạm thời, tăng độ giảm chấn của hệ thống, và tăng cường sự ổn định của hệ thống.

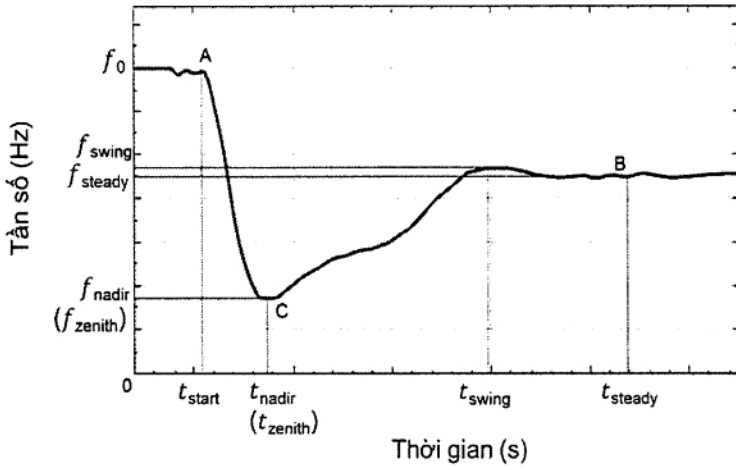
Trong điều này, thời gian kích hoạt nhanh và tốc độ thay đổi là rất quan trọng. Hơn nữa, lượng công suất tác dụng cũng rất quan trọng (mật độ công suất cao).

Vì hệ thống EES chỉ cần trong thời gian ngắn (để bù đắp đến khi có đáp ứng sơ cấp đầy đủ), mật độ năng lượng không quan trọng. Đáp ứng công suất tác dụng tối đa thường cần trong thời gian ít hơn 15 min.

5.2.1.2 Yêu cầu liên quan đến ứng dụng

Trong một mạng lưới điện cân bằng, tần số lưới điện được duy trì ổn định gần với tần số danh định (ví dụ, 50 Hz hoặc 60 Hz). Nếu công suất phát lớn hơn công suất tải, tần số lưới điện sẽ tăng. Nếu công suất phát nhỏ hơn công suất tải, tần số lưới điện sẽ giảm. Vì vậy, hệ thống EES có khả năng hỗ trợ tần số lưới điện bằng cách xả hoặc sạc.

Một ví dụ về đường cong tần số với điều khiển tần số nhanh được thể hiện trong Hình 15, bao gồm dao động tần số đầu tiên.



Hình 15 – Ví dụ về đường cong tần số với điều khiển tần số nhanh

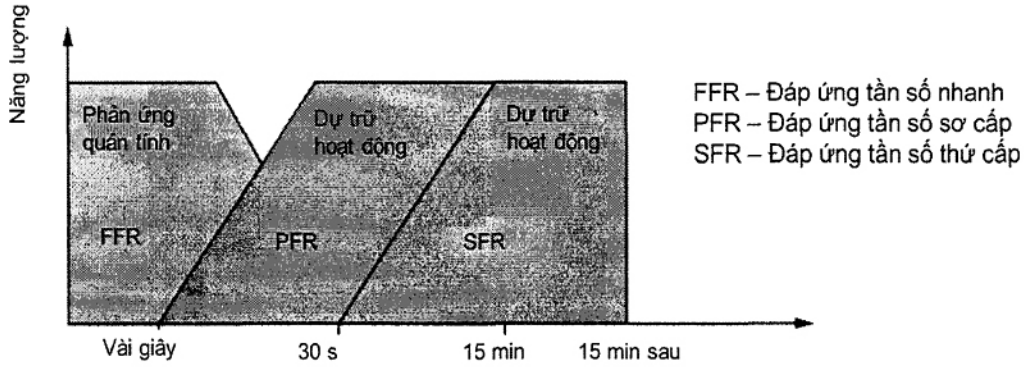
Các thông số chính mô tả dao động tần số đầu tiên bao gồm:

- f_0 : tần số trước khi xảy ra sự cố;
- f_{nadir} (f_{zenith}): tần số tối thiểu/tối đa toàn cầu;
- f_{steady} : tần số trạng thái ổn định sau sự cố;
- f_{swing} : tần số khi dao động tần số đầu tiên kết thúc;
- t_{start} : bắt đầu dao động tần số đầu tiên sau sự cố;
- t_{nadir} (t_{zenith}): thời gian của f_{nadir} (f_{zenith});
- t_{steady} : thời gian khi tần số đạt trạng thái ổn định f_{steady} ;
- t_{swing} : kết thúc dao động tần số đầu tiên;
- $ROCOF_{010}$: df trong 10 % đầu tiên của t_{nadir} (t_{zenith});
- $ROCOF_{060}$: df trong khoảng thời gian từ 20 % đến 80 % t_{nadir} (t_{zenith});
- $ROCOF_{100}$: df tại t_{nadir} (t_{zenith}).

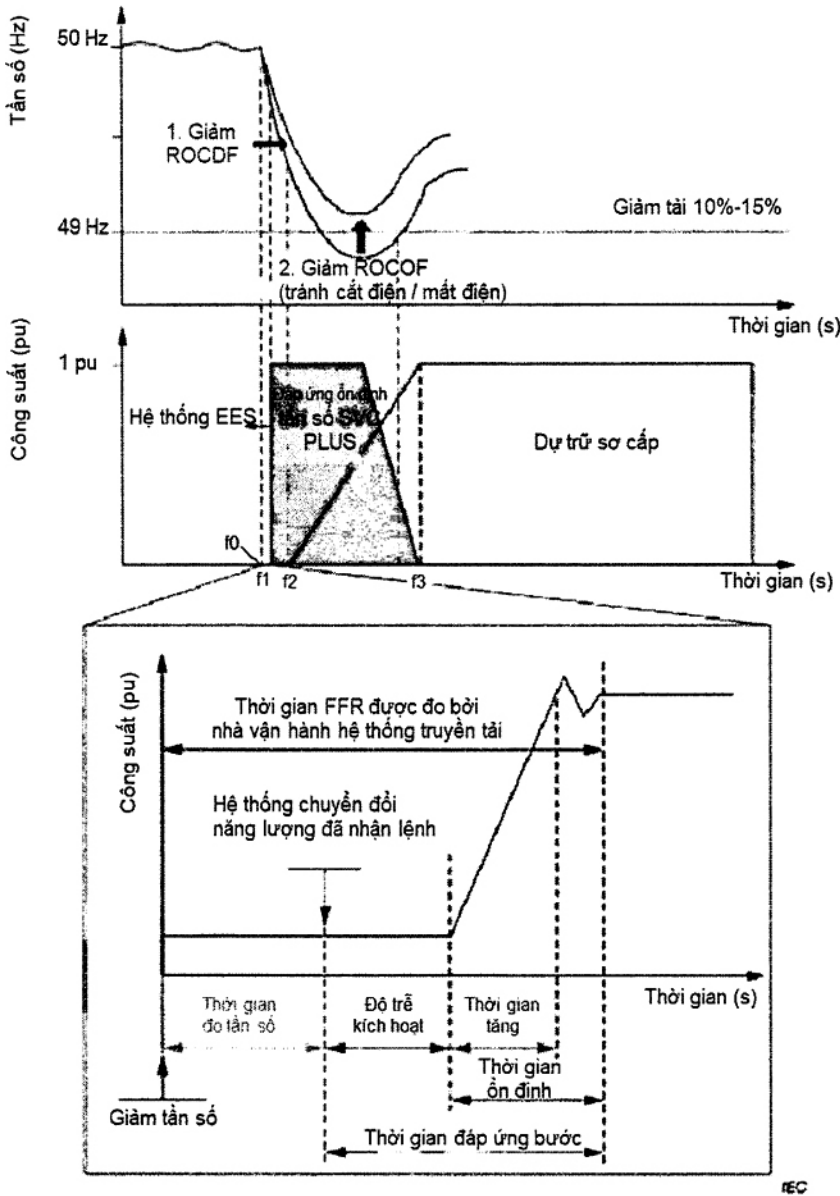
Các hệ thống có quán tính cao có động học tần số chậm với độ giảm chấn cao, dẫn đến các dao động tần số thấp. Với sự thâm nhập cao của các tuabin gió truyền thống và hệ thống quang điện mặt trời, quán tính khả dụng giảm. Do đó, tác động của mất cân bằng giữa phát điện và tải lên sự ổn định của hệ thống tăng lên. Đối với các khối quay, những giây đầu tiên, tức là dao động tần số đầu tiên, là thời gian quan trọng nhất. Tại đây, tốc độ thay đổi tần số (ROCOF) là cao nhất. Sau vài giây, đáp ứng sơ cấp của các máy phát đồng bộ được kích hoạt và tần số được ổn định.

Các đáp ứng tần số sơ cấp và thứ cấp đã được biết đến và sử dụng rộng rãi trong vận hành hệ thống điện, được thể hiện trong Hình 16. Vấn đề chính là đáp ứng quán tính được hiển thị trong Hình 17, tức là thời gian cho đến khi dự trữ tần số sơ cấp hoàn toàn hoạt động. Cần lưu ý rằng đáp ứng quán tính không hoàn toàn giống với đáp ứng tần số nhanh, bởi vì việc đo tần số có một độ trễ nhất định, và thời gian trễ này khác nhau đối với các hệ thống khác nhau. Tùy thuộc vào các quy phạm lưới điện khác nhau, thời gian này có thể kéo dài vài giây. Những thách thức chính đối với đáp ứng tần số nhanh là:

- a) tăng f_{nadir} để tránh cắt giảm tải (tần số thấp) và giảm f_{zenith} để tránh ngắt kết nối phát điện (tần số cao);
- b) giảm ROCOF để tránh việc các tổ máy phát điện bị ngắt, áp dụng trong phản ứng tần số nhanh, tức là đóng vai trò cầu nối giữa sự cố mất điện và đáp ứng tần số sơ cấp.



Hình 16 – Ví dụ về các vùng hoạt động của các loại đáp ứng tần số khác nhau



Hình 17 – Ví dụ về đường cong tần số và công suất đầu ra của hệ thống EES theo thời gian

"Các thông số chính mô tả thời gian điều khiển tần số nhanh bao gồm:

- t_0 : thời điểm tần số bắt đầu giảm;
- t_1 : bao gồm thời gian đo tần số và thời gian đáp ứng bước;
- t_2 : thời điểm điều chỉnh tần số sơ cấp bắt đầu;
- t_3 : thời điểm điều khiển tần số nhanh kết thúc.

Điều khiển tần số nhanh có thể được thực hiện bằng cách xem xét giá trị f để tính toán $P(f)$ (nhanh hơn so với đáp ứng tần số sơ cấp), và/hoặc xem xét ROCOF để tính toán $P(ROCOF)$.

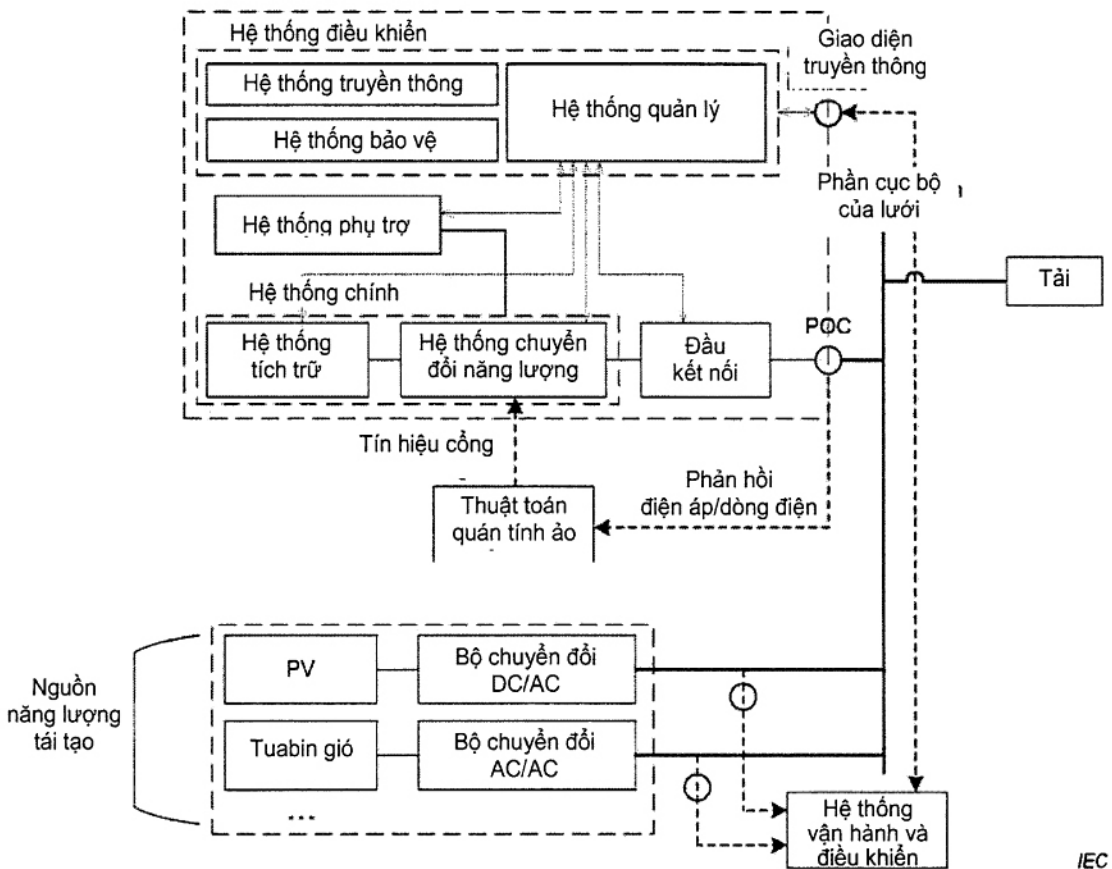
5.2.2 Điều kiện và yêu cầu kết nối lưới

Áp dụng 4.2.

5.2.3 Thiết kế hệ thống EES

5.2.3.1 Cấu trúc của hệ thống EES

Cấu trúc và các thành phần của hệ thống EES được định nghĩa trong mục 4.3.2 cũng được áp dụng cho các ứng dụng điều khiển tần số nhanh. Ngoài ra, còn có những cân nhắc bổ sung. Hệ thống EES cho các ứng dụng điều khiển tần số nhanh nên được lắp đặt kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo như hệ thống quang điện mặt trời (PV), tuabin gió, v.v. Một cấu hình điển hình của hệ thống EES kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo được thể hiện trong Hình 18.



IEC

Hình 18 – Ví dụ về cấu trúc hệ thống của các hệ thống EES cho ứng dụng điều khiển tần số nhanh kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo

5.2.3.2 Thông số kỹ thuật của các hệ thống con

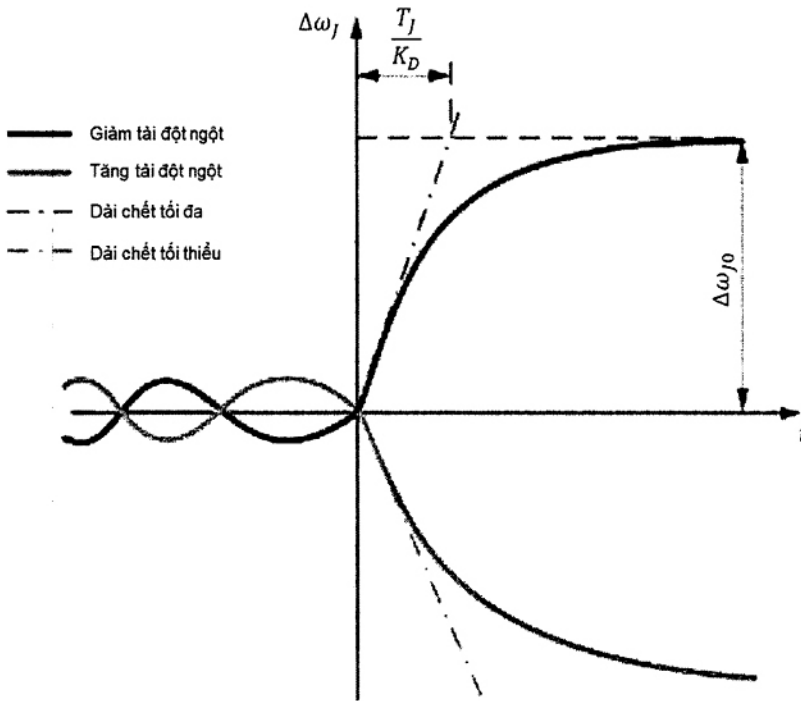
Áp dụng 4.3.3.

5.2.3.3 Tích hợp hệ thống EES vào lưới điện

Áp dụng 4.3.4.

5.2.3.4 Vận hành và điều khiển

Điều khiển tần số nhanh là sự kết hợp của các thuật toán điều khiển, hệ thống EES và thiết bị điện tử công suất, mô phỏng quán tính của hệ thống điện truyền thống với một hằng số quán tính cụ thể. Điều khiển quán tính ảo là một phương pháp phổ biến của hệ thống EES để điều khiển tần số nhanh. Khi ROCOF vượt quá dải chết, hệ thống EES bắt đầu mô phỏng đáp ứng quán tính ảo của máy phát điện truyền thống dựa trên tốc độ thay đổi tần số, nhằm làm chậm tốc độ thay đổi tần số trong trường hợp hệ thống bị sự cố đột ngột và giảm biên độ của sự chênh lệch tần số tạm thời, như được thể hiện trong Hình 19, trong đó $\Delta\omega_J$ là độ lệch tần số góc, $\Delta\omega_{J0}$ là độ lệch tần số góc ở trạng thái ổn định, T_J là hằng số thời gian của quán tính và K_D là hệ số giảm chấn



Hình 19 – Đường cong độ lệch tần số

Công thức tính điều khiển quán tính ảo của hệ thống EES như sau:

$$\Delta P_{IR}(t) = \begin{cases} K_{IR} (df_t/dt) & df_t/dt \leq R_{min} \text{ hoặc } df_t/dt \geq R_{max} \\ R_{min} < df_t/dt < R_{max} \end{cases}$$

trong đó

$\Delta P_{IR}(t)$ là công suất phát ra tại thời điểm t ;

K_{IR} là hệ số quán tính ảo;

df_t/dt là ROCOF tại thời điểm t ;

R_{min} là giới hạn âm của dải chết của tỷ lệ thay đổi tần số;

R_{max} là giới hạn dương của dải chết của tỷ lệ thay đổi tần số.

TCVN 14499-3-2:2025

Một phương pháp điều khiển khác là thực hiện một đường cong tương tự như đường cong giảm tần số công suất, nhưng với tỷ lệ thay đổi của tần số ở trục x thay vì tần số.

Một số phương pháp điều khiển khác là:

- a) bơm công suất tác dụng theo tỷ lệ với độ lệch tần số đo được (đáp ứng tỷ lệ);
- b) bơm một lượng công suất tác dụng cố định khi tần số đạt đến một điểm kích hoạt đã định trước (đáp ứng bước);
- c) bơm công suất tác dụng theo tỷ lệ với ROCOF tính toán được (đáp ứng đạo hàm);
- d) bơm một lượng công suất tác dụng cố định khi đạt đến một ROCOF đã định trước (đáp ứng bước);
- e) giảm tải được kiểm soát theo tỷ lệ với độ lệch tần số đo được hoặc ROCOF (đáp ứng tỷ lệ hoặc đạo hàm);
- f) giảm tải một lượng cố định theo tần số đã định trước hoặc khi ROCOF đạt đến (đáp ứng bước).

5.2.3.5 Giao diện truyền thông

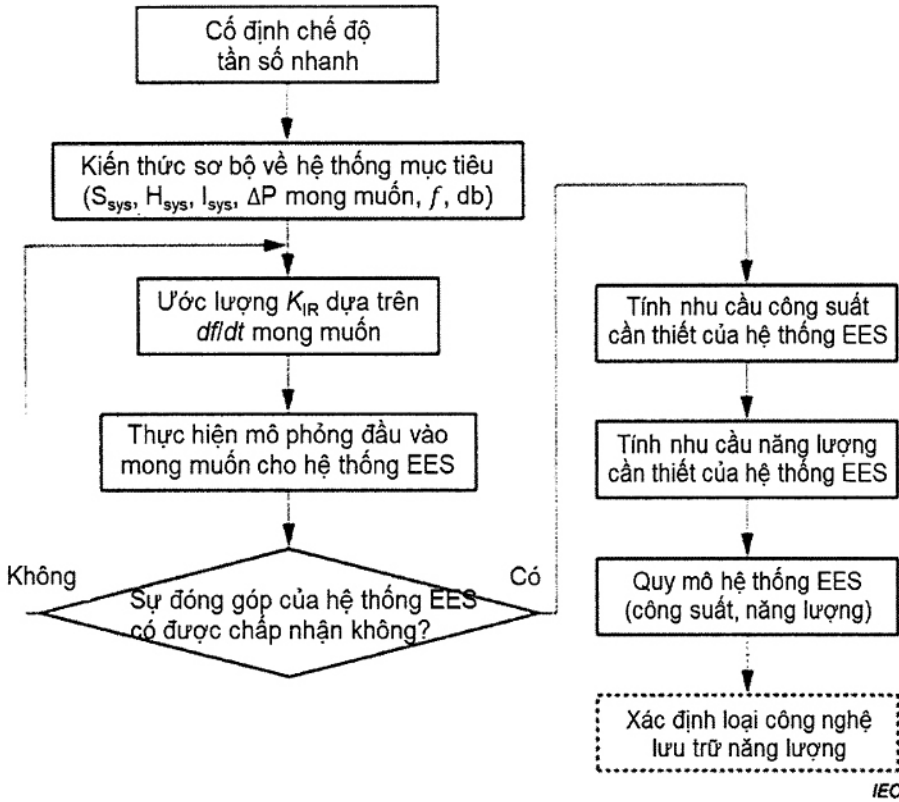
Áp dụng 4.3.8.

5.2.4 Kích thước và các tham số kết quả của hệ thống EES

5.2.4.1 Kích thước

- a) Quá trình xác định quy mô của hệ thống EES

Quá trình xác định quy mô tổng quát của hệ thống EES cho điều khiển tần số nhanh được thể hiện trong Hình 20.



IEC

Hình 20 – Ví dụ về quy trình xác định quy mô của hệ thống EES cho điều khiển tần số nhanh

Trên Hình 20, phương pháp này sử dụng kiến thức sơ bộ về hệ thống mục tiêu, bao gồm kích thước hệ thống (S_{sys}), quán tính hệ thống (H_{sys}), và đặc tính công suất/tần số (I_{sys}). Người dùng sẽ quyết định mức độ mất cân bằng công suất mục tiêu (ΔP) mà hệ thống EES phải được xác định quy mô.

b) Các yêu cầu cho việc xác định quy mô

Đầu vào hoạch định cho hệ thống EES phải bao gồm các thông số sau:

- đặc tính hệ thống điện tại POC chính;
- chức năng mục tiêu: điều khiển tần số;
- xác định $P_{EES\ system}$ hoặc $Q_{EES\ system}$ cần thiết và thời gian $t_{EES\ system}$ thích hợp của hệ thống EES cũng như các yêu cầu cho việc điều khiển hệ thống.

5.2.4.2 Đặc tính và hạn chế của hệ thống EES

Áp dụng 4.4.3.

5.2.5 Tuổi thọ vận hành của hệ thống EES

5.2.5.1 Cài đặt

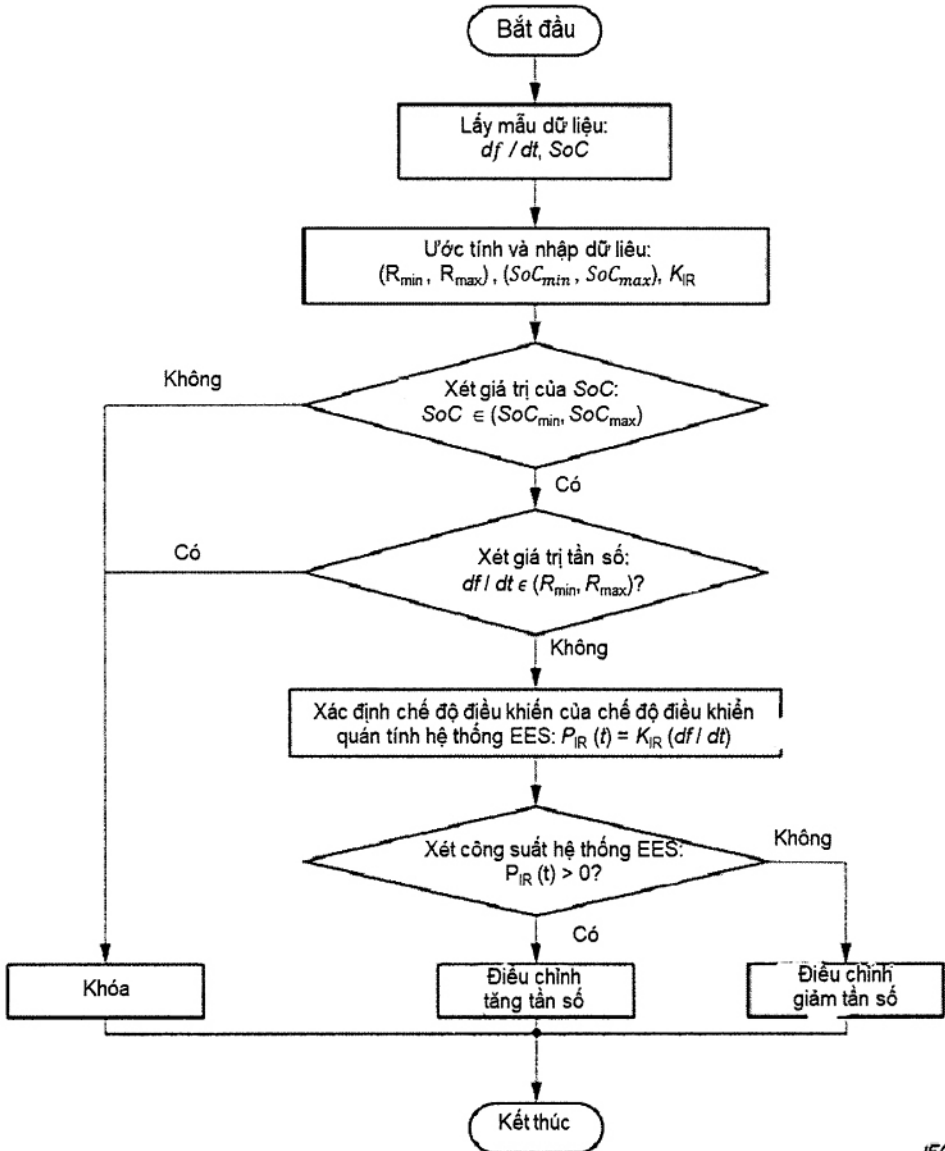
Áp dụng 4.5.2.

5.2.5.2 Đánh giá tính năng

Áp dụng 4.5.3.

5.2.5.3 Vận hành và điều khiển

Điều khiển tần số nhanh của hệ thống EES có thể điều khiển quá trình động của các thay đổi tần số. Khi tải thay đổi đột ngột, liên kết quán tính tương ứng đảm bảo rằng hệ thống EES liên tục và nhanh chóng bơm công suất tác dụng vào lưới điện, khiến tần số từ từ chuyển sang giá trị trạng thái ổn định mới. Quá trình vận hành và điều khiển được thể hiện trong Hình 21.



Hình 21 – Ví dụ về chiến lược điều khiển của hệ thống EES tham gia vào điều khiển tần số nhanh

IEC

CHÚ THÍCH: SOC chế độ nghỉ của hệ thống EES có thể được đặt ở 50 %, cho phép hệ thống EES tham gia vào cả hoạt động điều chỉnh tần số tăng và giảm.

5.2.5.4 Giám sát

Áp dụng 5.1.5.4.

6 Hỗ trợ điện áp lưới (Q(U)), hỗ trợ volt/var

6.1 Ứng dụng của hệ thống EES

6.1.1 Mục đích chức năng của hệ thống EES

Một yêu cầu đối với nhà vận hành hệ thống điện là duy trì điện áp trong giới hạn quy định. Các nguồn lực hỗ trợ điện áp là cần thiết để bù đắp các tác động của công suất phản kháng, để hệ thống truyền tải có thể hoạt động một cách ổn định. Trong một số trường hợp cụ thể, công suất tác dụng cũng cần thiết cho việc hỗ trợ/điều chỉnh điện áp.

Thông thường, một số nguồn được sử dụng để tạo ra công suất phản kháng. Những nguồn chung này có thể được thay thế bằng các hệ thống EES với cách tiếp cận điều khiển trung tâm hoặc phân tán. PCS của các hệ thống EES được sử dụng cho hỗ trợ điện áp nên có khả năng hoạt động với hệ số công suất biến đổi, để nhận và cung cấp công suất phản kháng hoặc công suất volt-ampere phản kháng. Khả năng này có sẵn trong tất cả các PCS được sử dụng trong các hệ thống lưu trữ hiện nay. Hỗ trợ điện áp lưới thường được sử dụng như một hoạt động phụ trợ, không phải là một kịch bản ứng dụng riêng biệt. Kế hoạch hỗ trợ điện áp lưới có thể thay đổi và bao gồm việc điều khiển công suất phản kháng và công suất thực để đạt được điều khiển điện áp mong muốn.

6.1.2 Các yêu cầu liên quan đến ứng dụng

Thiết bị được chọn phải có các đặc tính sau, để thực hiện đúng chức năng cho ứng dụng.

a) Sai lệch điện áp

Sai lệch điện áp là tỷ lệ của sự khác biệt giữa điện áp đo được tại POC và điện áp danh định.

$$\Delta V\% = \frac{V_{POC} - V_R}{V_R} \times 100 \%$$

$\Delta V\%$ là tỷ lệ phần trăm sai lệch điện áp;

V_{POC} là điện áp đo được tại POC;

V_R là điện áp danh định.

b) Thời gian phản hồi công suất phản kháng

Thời gian phản hồi công suất phản kháng là thời gian phản hồi của hệ thống EES khi đáp ứng một tín hiệu lệnh công suất phản kháng. Thời gian phản hồi là khoảng thời gian mà một hệ thống EES ở chế độ chờ cần để nhận hoặc cung cấp công suất phản kháng đạt 98 % công suất phản kháng danh định từ một phép đo công suất phản kháng ban đầu.

c) Tốc độ gia tăng công suất phản kháng

Tốc độ gia tăng công suất phản kháng là tốc độ thay đổi của công suất phản kháng mà một hệ thống EES nhận hoặc cung cấp, được biểu thị dưới dạng thay đổi phần trăm trong công suất phản kháng danh định theo thời gian (phần trăm mỗi giây).

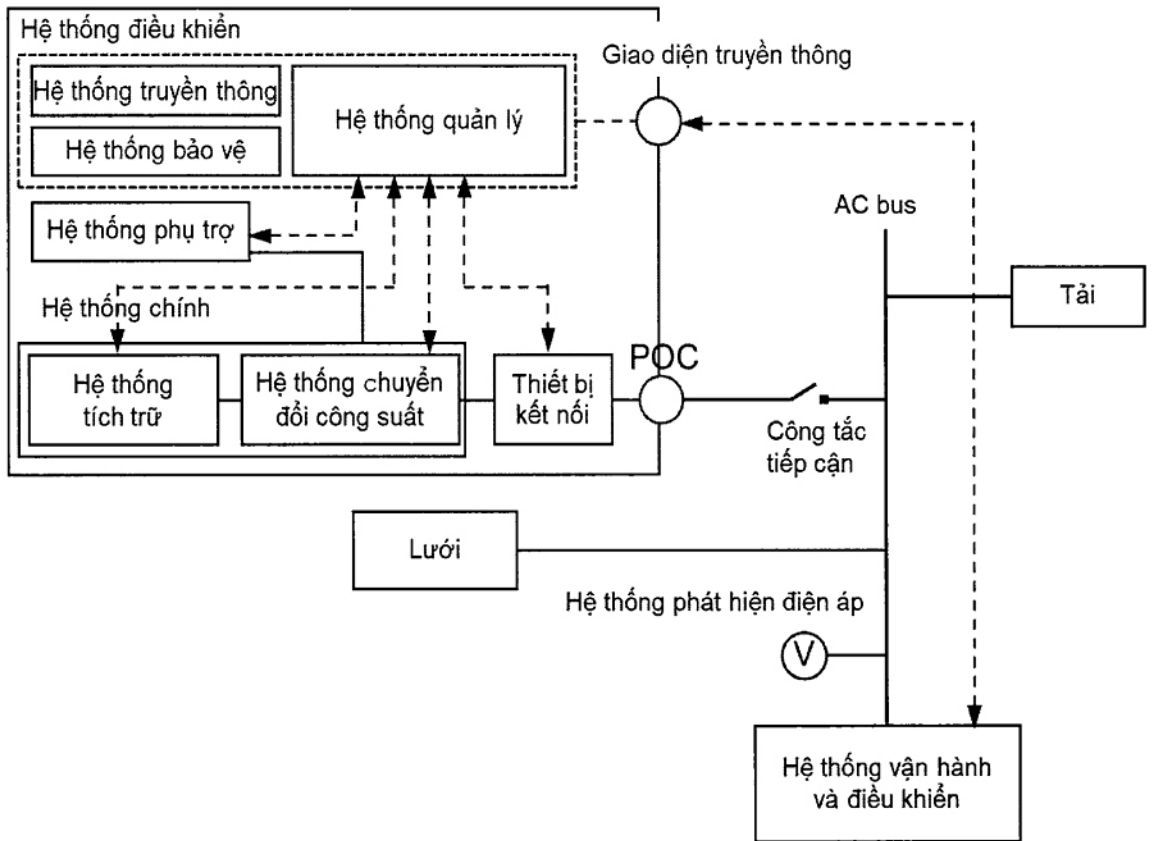
6.2 Các điều kiện và yêu cầu để kết nối với lưới điện

Áp dụng 4.2.

6.3 Thiết kế các hệ thống EES

6.3.1 Cấu trúc của các hệ thống EES

Cấu trúc và các thành phần của hệ thống EES được định nghĩa trong 4.3.2 cũng áp dụng cho ứng dụng hỗ trợ điện áp lưới. Cũng có những cân nhắc bổ sung. Một hệ thống EES cho các ứng dụng hỗ trợ điện áp lưới nên được lắp đặt cùng với lưới điện để cải thiện hiệu quả của ứng dụng hỗ trợ điện áp lưới. Một ví dụ về cấu trúc hệ thống của hệ thống EES cho hỗ trợ điện áp lưới được hiển thị trên Hình 22. Trong số những thứ khác, hệ thống phát hiện điện áp có trách nhiệm phát hiện điện áp, hệ thống điều khiển và quản lý, để phân tích thông tin điện áp và sau đó gửi tín hiệu điều chỉnh điện áp đến hệ thống quản lý.



Hình 22 – Ví dụ về cấu trúc hệ thống của hệ thống EES để hỗ trợ điện áp lưới

6.3.2 Quy định kỹ thuật của các hệ thống con

Áp dụng 4.3.3.

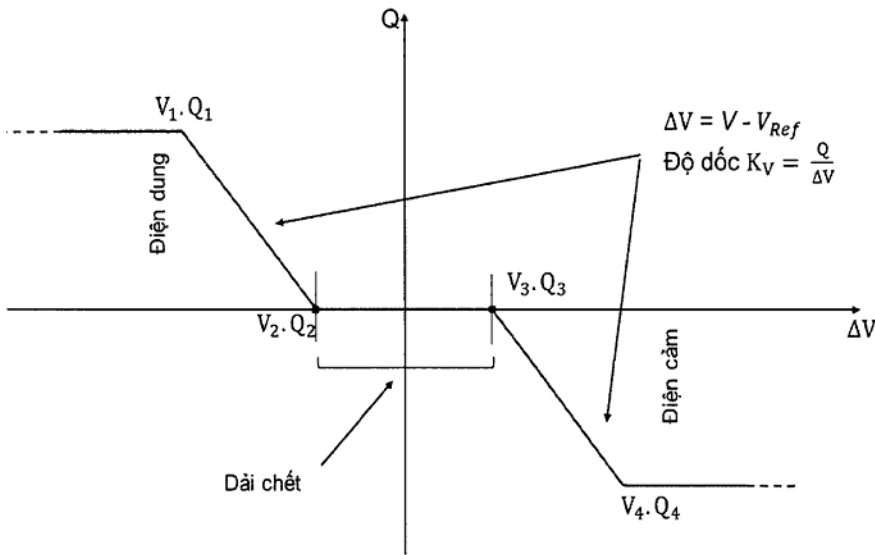
6.3.3 Tích hợp lưới điện của các hệ thống EES

Áp dụng 4.3.4.

6.3.4 Vận hành và điều khiển

Việc ứng dụng hệ thống EES để hỗ trợ điện áp lưới được thực hiện bằng cách nhận hoặc cung cấp công suất phản kháng cho lưới điện. Như được thể hiện trên Hình 23, có bốn điểm được đánh dấu từ V_1 đến V_4 . Đường cong tuyến tính từng đoạn sẽ bao gồm cho mỗi điểm một điện áp, được đưa ra dưới dạng phần trăm của điện áp tham chiếu V_{Ref} , và một mức công suất phản kháng mong muốn, được đưa ra dưới dạng phần trăm của công suất phản kháng khả dụng, xem mô tả bên dưới.

Theo định nghĩa, mức công suất phản kháng mong muốn được giả định là không thay đổi cho các điện áp dưới V_1 (ví dụ ở mức Q_1) và trên điểm điện áp cao nhất, tại Q_4 . Như đã thể hiện, điểm đầu tiên trong cấu hình hỗ trợ điện áp là điểm điện áp thấp nhất và điểm cuối cùng là điểm điện áp cao nhất.



Hình 23 – Ví dụ về sơ đồ biểu diễn hỗ trợ điện áp phản kháng

CHÚ THÍCH: Trên hình, dải chết có thể thay đổi được và mặc định bằng không ($V_2 = V_3$).

Hệ thống EES được sử dụng để hỗ trợ điện áp nên có khả năng hoạt động với hệ số công suất biến đổi, để nhận và cung cấp công suất phản kháng.

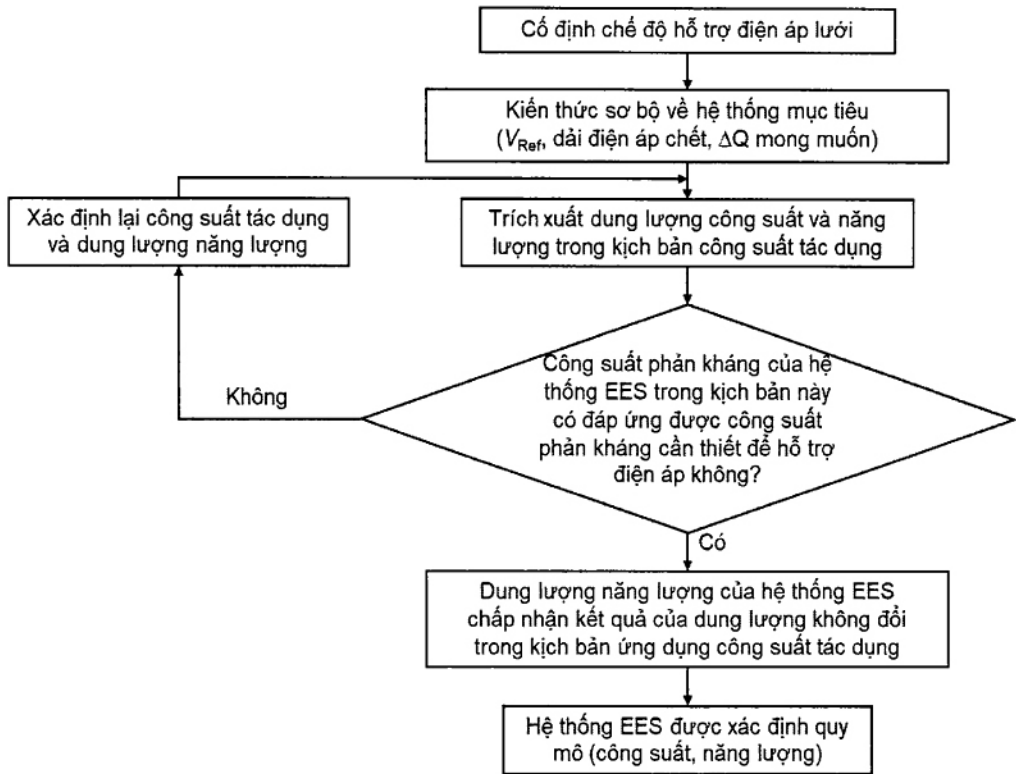
6.3.5 Giao diện truyền thông

Áp dụng 4.3.8.

6.4 Quy mô và các tham số kết quả của các hệ thống EES

6.4.1 Xác định quy mô

a) Quy trình xác định quy mô của hệ thống EES để hỗ trợ điện áp được thể hiện trên Hình 24.



Hình 24 – Ví dụ về quá trình xác định quy mô hệ thống EES cho hỗ trợ điện áp

b) Yêu cầu về kích thước

Khi thực hiện quá trình xác định quy mô của hệ thống EES, các yêu cầu sau đây phải được đáp ứng:

- Năng lực cung cấp và lưu trữ của trạm điện phải được xem xét khi xác định quy mô của hệ thống EES.
- Các chiến lược điều khiển khác nhau phải được xem xét khi xác định quy mô của hệ thống EES.
- Tuổi thọ của hệ thống tích trữ, đặc tính sạc-xả, khoảng thời gian sạc-xả tối ưu và tính kinh tế phải được xem xét khi xác định quy mô của hệ thống EES.
- Năng lực lưu trữ năng lượng phải được xác định một cách toàn diện theo các đặc tính trong quá khứ của điện áp lưới và sự khác biệt theo mùa của biểu đồ tải.

6.4.2 Đặc tính và hạn chế của các hệ thống EES

Áp dụng 4.4.3.

6.5 Tuổi thọ của các hệ thống EES

6.5.1 Lắp đặt

Áp dụng 4.5.2.

6.5.2 Đánh giá tính năng

Áp dụng 4.5.3.

6.5.3 Vận hành và điều khiển

Mục tiêu điều khiển của chế độ này là điện áp của hệ thống điện. Khi hệ thống điện không thể cung cấp mức điện áp ổn định, việc điều khiển công suất phản kháng của hệ thống EES được khởi động để cân bằng công suất phản kháng, từ đó điều chỉnh gián tiếp điện áp của hệ thống điện và giúp điện áp phục hồi về phạm vi cho phép. Khi điện áp của hệ thống điện trở về một phạm vi hợp lý, hệ thống EES sẽ tự động thoát khỏi chức năng điều chỉnh điện áp. Hỗ trợ điện áp lưới cũng liên quan đến công suất thực và SOC.

6.5.4 Giám sát

Các thông số sau đây phải được giám sát:

- Cảnh báo sự cố thiết bị;
- Tín hiệu trạng thái thiết bị (ví dụ trạng thái của cầu dao và công tắc: Bật/Tắt);
- Nhiệt độ hoạt động;
- Tham số đường cong đáp ứng cho công suất phản kháng đầu ra so với điện áp.

Các tham số sau đây là cần thiết để xác định xem hệ thống EES có thể thực hiện chức năng điều chỉnh điện áp lưới dựa trên điện áp của hệ thống hay không:

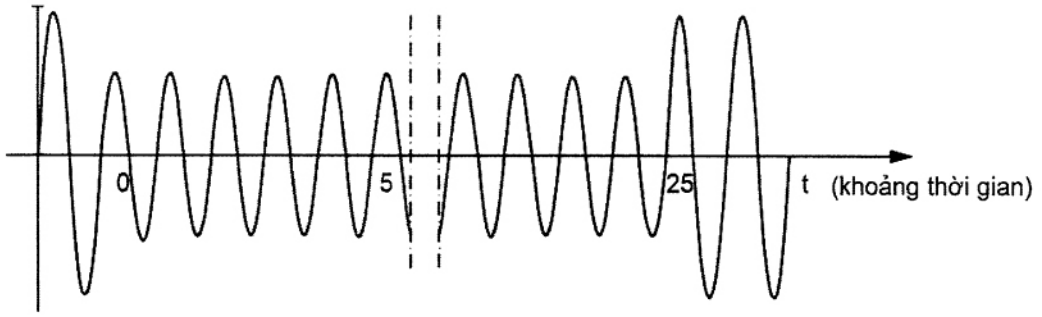
- Điện áp (U): Đại diện cho điện áp trong quá trình vận hành hệ thống EES.
- Công suất thực (P): Đại diện cho công suất thực được cung cấp trong quá trình sạc hoặc xả của hệ thống EES, không bao gồm công suất cần thiết để thỏa mãn các tải phụ.
- Công suất phản kháng (Q): Đại diện cho công suất phản kháng được cung cấp trong quá trình sạc hoặc xả của hệ thống EES, không bao gồm công suất phản kháng liên quan đến các tải phụ.
- Dòng điện phản kháng (I_r): Dòng điện phản kháng được PCS điều khiển trực tiếp. Các giới hạn dòng điện này là tương ứng với giới hạn dòng điện trong đường dẫn công suất thực và được thiết kế để ưu tiên cho các đơn đặt hàng công suất thực hơn là công suất phản kháng.

7 Giảm thiểu hiện tượng sụt điện áp (P(U))

7.1 Ứng dụng của các hệ thống EES

7.1.1 Mục đích chức năng của các hệ thống EES

Sự kiện sụt điện áp được định nghĩa là các vấn đề về chất lượng điện năng khi giá trị trung bình bình phương của điện áp AC giảm xuống dưới 0,9 đơn vị và trên 0,01 đơn vị, kéo dài từ 0,5 chu kỳ đến 1 phút. Việc cung cấp công suất thực để bù đắp sự sụt điện áp là đặc trưng cho hệ thống EES được kết nối với các mạng phân phối. Hình 25 cho thấy một ví dụ về sự sụt điện áp trong IEC 61000-4-11 và các điều sau đây áp dụng



Hình 25 – Ví dụ về sụt điện áp

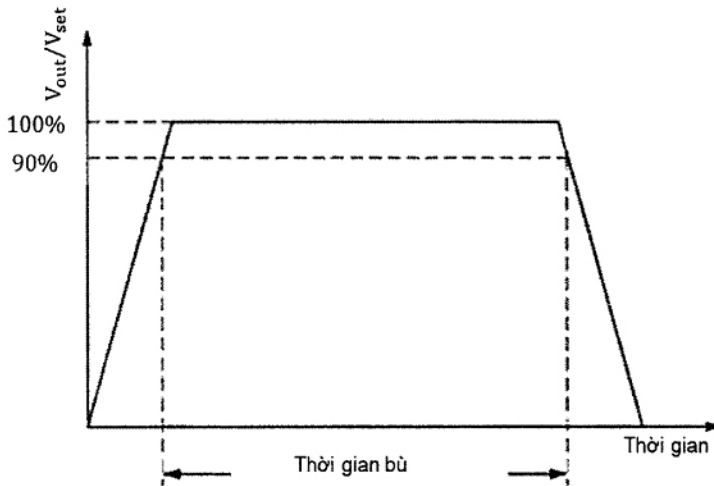
Sụt điện áp có thể có ảnh hưởng mạnh đến các khách hàng yêu cầu cung cấp điện có độ tin cậy cao. Nhiều hệ thống EES có thể giảm thiểu sự sụt điện áp bằng cách bơm vào công suất thực/công suất phản kháng trong thời gian lên đến 1 min.

Việc áp dụng hệ thống EES để giải quyết sự sụt điện áp không yêu cầu hệ thống EES cung cấp cho khách hàng đủ năng lượng. Vì sự sụt điện áp liên quan đến việc xả, năng lượng còn lại khởi đầu có thể lên đến $SoC_{reserve_max}$ và giới hạn dưới là $SoC_{reserve_min}$ (để đảm bảo rằng hệ thống EES có thể cung cấp công suất đỉnh ở giới hạn dưới của phạm vi năng lượng còn lại).

7.1.2 Yêu cầu liên quan đến ứng dụng

a) Thời gian bù

Thời gian bù là khoảng thời gian từ khi giá trị điện áp đầu ra (V_{out}) tăng lên 90 % giá trị điện áp đặt (V_{set}) đến khi điện áp đầu ra giảm xuống 90 % giá trị thiết lập, như được thể hiện trong Hình 26.



Hình 26 – Ví dụ về thời gian bù của hệ thống EES để giảm thiểu sụt điện áp

b) Công suất bù danh định

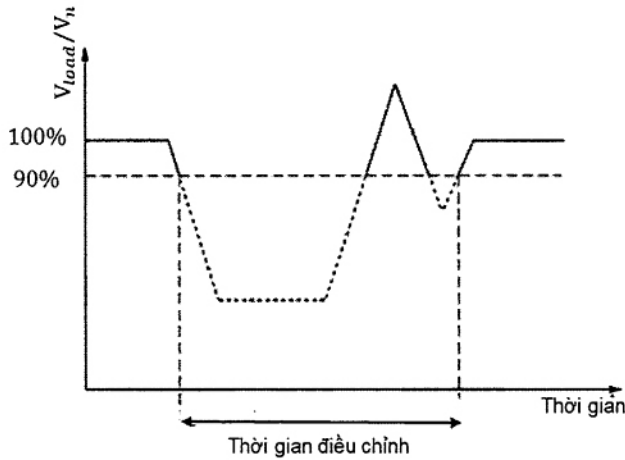
Công suất bù danh định là tích của điện áp bù danh định của hệ thống EES và dòng điện danh định.

c) Thời gian bù danh định

Thời gian bù danh định là thời gian mà hệ thống EES cần để hoạt động ở công suất bù danh định, không được ít hơn 1 min.

d) Thời gian điều chỉnh

Khi điện áp lưới giảm xuống 90 % giá trị điện áp danh nghĩa (V_n), thời gian điều chỉnh như được thể hiện trong Hình 27, chỉ ra thời gian mà hệ thống EES cần để góp phần cuối cùng bù lại giá trị điện áp tải (V_{load}) về 90 % điện áp danh nghĩa của lưới.



Hình 27 – Ví dụ về thời gian điều chỉnh của hệ thống EES để giảm thiểu sụt điện áp

e) Yêu cầu về năng lượng

Áp dụng 4.1.2.4.

f) Yêu cầu về tính năng

Áp dụng 4.1.2.5.

g) Yêu cầu về thời gian phản hồi và tốc độ tăng giảm công suất

Áp dụng 4.1.2.6.

7.2 Điều kiện và yêu cầu kết nối lưới điện

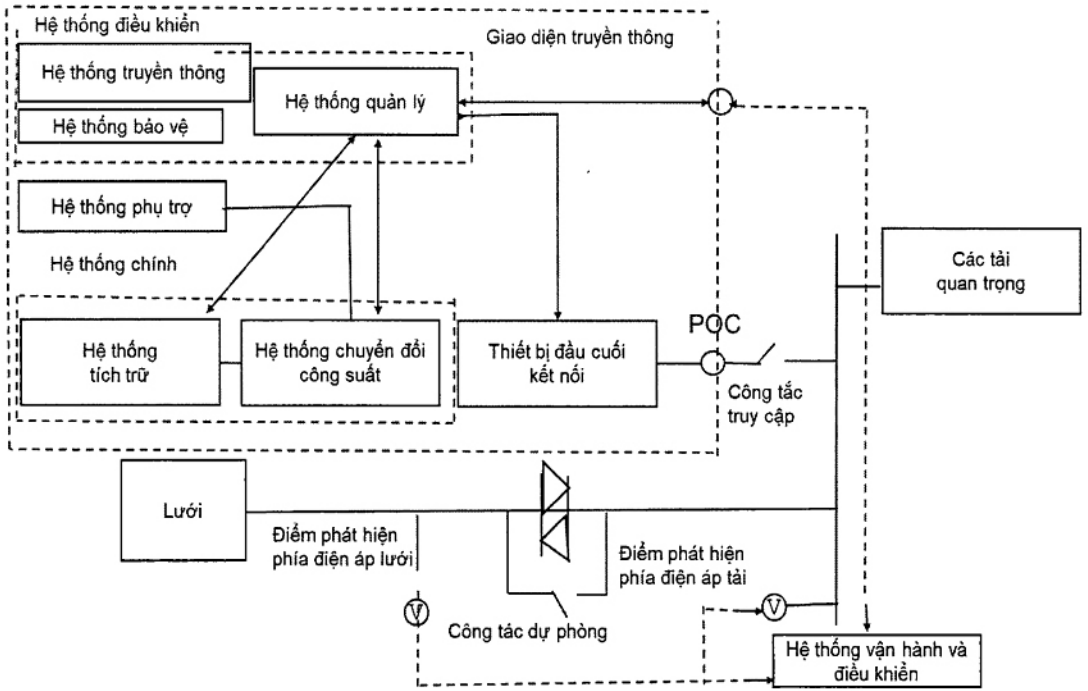
Áp dụng 4.2.

7.3 Thiết kế của các hệ thống EES

7.3.1 Cấu trúc của các hệ thống EES

Cấu trúc và các thành phần của hệ thống EES được định nghĩa trong 4.3.2 cũng được áp dụng cho ứng dụng giảm thiểu sụt điện áp. Ngoài ra, còn có những cân nhắc bổ sung. Hệ thống EES cho ứng dụng giảm thiểu sụt điện áp nên được lắp đặt kết hợp với các tải quan trọng để cải thiện hiệu quả của ứng

dụng giảm thiểu sụt điện áp. Một ví dụ về cấu trúc hệ thống của hệ thống EES cho việc giảm thiểu sụt điện áp được thể hiện trên Hình 28.



Hình 28 – Ví dụ về cấu trúc hệ thống của hệ thống EES cho việc giảm thiểu sụt điện áp

Việc tích hợp lưới điện của hệ thống EES cho việc giảm thiểu sụt điện áp chủ yếu bao gồm lưới điện, hệ thống phát hiện điện áp, hệ thống EES, công tắc, các tải quan trọng, và hệ thống vận hành hành và điều khiển. Khi điện áp lưới ở trạng thái bình thường, lưới điện cung cấp điện cho các tải quan trọng và hệ thống EES. Các hệ thống phát hiện điện áp ở phía lưới và phía tải phát hiện điện áp theo thời gian thực để xác định xem có xảy ra sụt điện áp hay không. Khi xảy ra, hệ thống EES có thể giảm thiểu sụt điện áp bằng cách tiêm công suất thực trong thời gian lên đến 1 min. Công tắc tĩnh nhanh chóng cách ly tải quan trọng khỏi lưới điện. Công tắc bypass có thể được cấu thành từ các công tắc cơ khí, như cầu dao và rơ le tiếp điểm, để bảo vệ thiết bị và thực hiện chức năng bypass. Hệ thống vận hành hành và điều khiển là trung tâm giám sát và điều khiển, có trách nhiệm nhận tín hiệu sụt điện áp, giám sát trạng thái thực tế của hệ thống EES và điều khiển hệ thống EES để xả điện.

7.3.2 Quy định kỹ thuật của các hệ thống con

Áp dụng 4.3.3.

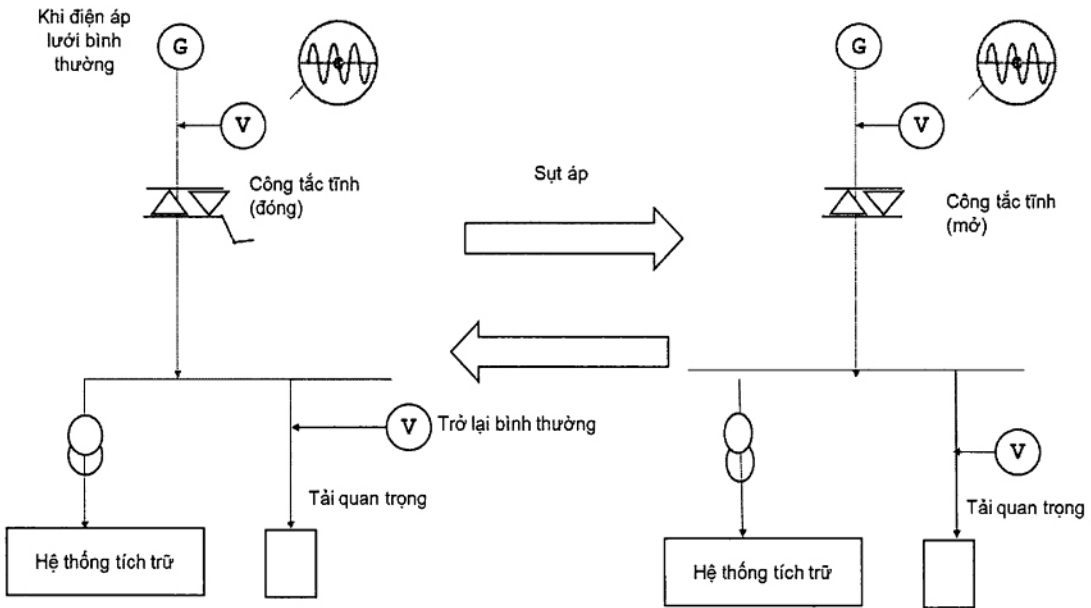
7.3.3 Tích hợp lưới điện của các hệ thống EES

Áp dụng 4.3.4.

7.3.4 Vận hành và điều khiển

Một ví dụ về chiến lược điều khiển cho ứng dụng giảm thiểu sụt điện áp được thể hiện trong Hình 29. Khi điện áp lưới ở điều kiện bình thường, công tắc tĩnh ở trạng thái đóng, và lưới điện cung cấp điện cho

các tải quan trọng và hệ thống EES. Hệ thống phát hiện điện áp giám sát điện áp lưới và điện áp tải quan trọng theo thời gian thực. Khi giá trị RMS của điện áp lưới giảm xuống 90 % của giá trị danh định, công tắc tĩnh phải được tắt, và hệ thống EES cung cấp điện cho tải quan trọng. Sau khi điện áp lưới trở lại giá trị bình thường, công tắc tĩnh phải được bật, hệ thống EES ngừng xả điện, và lưới điện trở lại trạng thái hoạt động ổn định ban đầu.



Hình 29 – Ví dụ về chiến lược điều khiển cho ứng dụng giảm thiểu sụt điện áp

7.3.5 Giao diện truyền thông

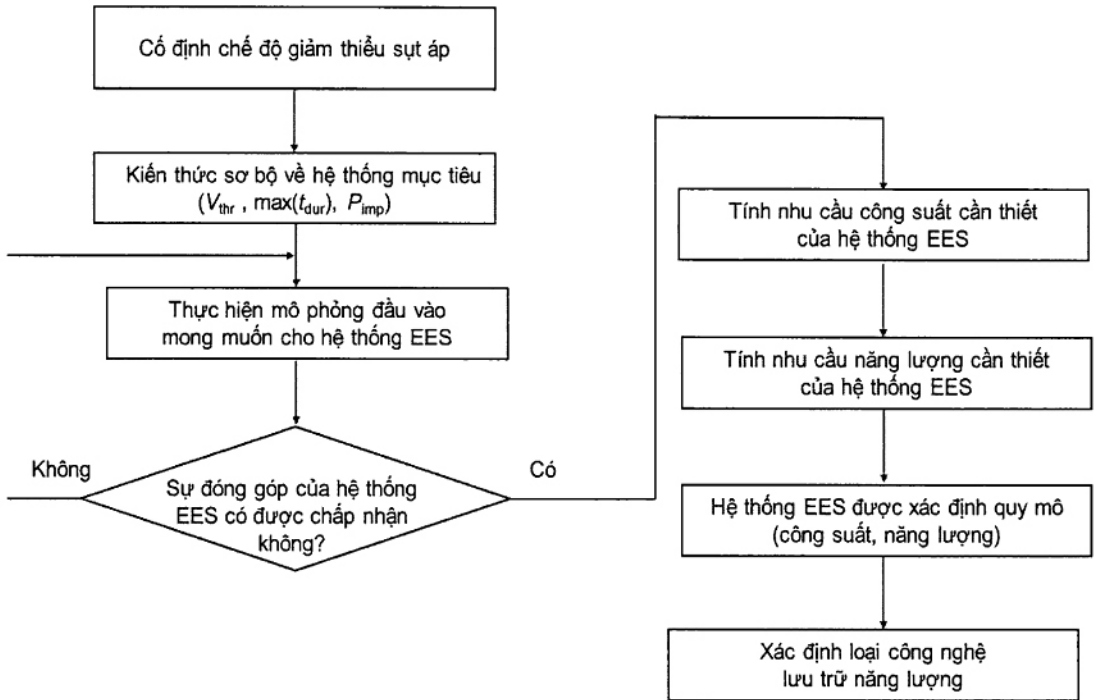
Áp dụng 4.3.8.

7.4 Quy mô và các tham số kết quả của hệ thống EES

7.4.1 Xác định quy mô

a) Quá trình xác định quy mô của hệ thống EES

Quá trình xác định quy mô chung của hệ thống EES cho việc giảm thiểu sụt điện áp được thể hiện trên Hình 30.



Hình 30 – Ví dụ về quá trình xác định quy mô hệ thống EES cho việc giảm thiểu sụt điện áp

CHÚ THÍCH: Trong hình, V_{thr} là ngưỡng điện áp được sử dụng để xác định sự bắt đầu và kết thúc của sụt điện áp. $max(t_{dur})$ là thời gian tối đa của sụt điện áp để đạt được V_{thr} , và P_{imp} là công suất tải quan trọng.

b) Các yêu cầu cho kích thước

Các yêu cầu sau đây phải được xem xét để xác định công suất của hệ thống EES cho việc giảm thiểu sụt điện áp:

- Tính năng hỗ trợ điện áp động của PCS cần được xem xét.
- Nghiên cứu các đường cong sụt điện áp trong quá khứ phải được sử dụng để xác định quy mô:
 - Thời gian sụt điện áp [s], độ sâu sụt điện áp [%] và thời gian phục hồi lưới [s hoặc min]
- Nghiên cứu độ chống chịu và công suất khởi động của tải quan trọng:
 - Độ chống chịu tải [%/s], công suất khởi động tải [kW]
- Quyết định về thông số kỹ thuật và kích thước của hệ thống:

$$T_s = T_d + T_{off} + T_{pcs} < T_{imm}$$

$$P_s > P_{irr}$$

$$T_c > T_{his} + T_{con} + T_{on} > T_{rec}$$

$$E > P_{rate} \times I_c$$

$$T_{int} = T_{next} < T_{his,int}$$

trong đó:

T_s	là thời gian chuyển mạch của hệ thống;
T_d	là thời gian phát hiện sụt điện áp;
T_{off}	là thời gian tắt công tắc chính;
T_{pcs}	là thời gian kích hoạt hoặc thay đổi chế độ của PCS (từ sạc-xả sang cách ly-xả);
T_{imm}	là thời gian chịu đựng an toàn của tải quan trọng;
P_s	là công suất hệ thống trong thời gian rất ngắn;
P_{inr}	là công suất khởi động của tải quan trọng;
T_c	là thời gian bù của hệ thống;
T_{his}	là thời gian sụt điện áp trong quá khứ;
T_{con}	là thời gian xác nhận điện áp lưới;
T_{on}	là thời gian bật công tắc chính;
T_{rec}	là thời gian phục hồi lưới (tùy thuộc vào nhà cung cấp hoạt động);
EEE	là dung lượng lưu trữ của hệ thống;
P_{rate}	là công suất danh định của tải quan trọng;
T_{int}	là thời gian khoảng cách của hệ thống;
T_{next}	là khả năng của hệ thống từ giữa hai lần sụt điện áp liên tiếp;
$T_{his,int}$	là khoảng thời gian sụt điện áp trong quá khứ.

7.4.2 Đặc tính và các hạn chế của hệ thống EES

Áp dụng 4.4.3.

7.5 Tuổi thọ vận hành của các hệ thống EES

7.5.1 Lắp đặt

Áp dụng 4.5.2.

7.5.2 Đánh giá tính năng

Áp dụng 4.5.3.

7.5.3 Vận hành và điều khiển

Quá trình điều khiển của hệ thống EES khi xảy ra sự cố sụt điện áp trong lưới điện như sau:

- Trong điều kiện làm việc bình thường, công tắc tĩnh được đóng, và tải được cung cấp điện bởi lưới điện.
- Hệ thống vận hành và điều khiển lấy đặc tính yêu cầu điện áp lưới trong thời gian thực.
- Hệ thống vận hành và điều khiển có thể phát hiện lỗi và gửi lệnh cho công tắc tĩnh và PCS. Công tắc tĩnh sẽ nhanh chóng được ngắt kết nối sau khi nhận được lệnh, và tải phải được ngắt kết nối khỏi lưới điện.

Sau khi nhận được lệnh, PCS thiết lập điện áp đầu ra danh định và bắt đầu cung cấp điện để đảm bảo rằng tải quan trọng được cấp điện bởi hệ thống EES sau khi công tắc tĩnh bị ngắt kết nối. Ứng dụng giảm thiểu sụt điện áp yêu cầu sự hợp tác của các thành phần khác nhau trong hệ thống.

7.5.4 Giám sát

- Hệ thống giám sát sẽ tự động hoàn thành việc phát hiện sụt điện áp, bắt đầu bù đắp, ngừng bù đắp và các hoạt động khác để đảm bảo rằng điện áp phía tải nằm trong khoảng cho phép.
- Hệ thống giám sát sẽ có một giao diện người-máy cho hoạt động tại chỗ và sẽ có một giao diện giao tiếp để phát hiện và điều khiển từ xa.
- Hệ thống giám sát ít nhất sẽ thực hiện các thao tác sau trên giao diện giám sát tại chỗ: ngắt công tắc, khởi động và dừng thiết bị, và đặt lại tín hiệu.
- Hệ thống giám sát sẽ tự động hoàn thành các hoạt động mất điện ngoại trừ công tắc cô lập.
- Hệ thống giám sát sẽ hiển thị thông tin cần thiết để cho phép nhân viên vận hành và bảo trì quan sát hoạt động của thiết bị và xác định nguyên nhân sự cố.

Dữ liệu của các thiết bị chuyển mạch cần được giám sát bao gồm:

- trạng thái chuyển mạch của công tắc tĩnh và công tắc bỏ qua ở phía lưới;
- trạng thái chuyển mạch của công tắc truy cập ở POC.

Hệ thống giám sát sẽ có ít nhất các tính năng sau:

- a) hiển thị trạng thái hoạt động;
- b) hiển thị sơ đồ hệ thống chính (bao gồm thông tin vị trí của mỗi công tắc);
- c) hiển thị tương tự (điện áp hệ thống, điện áp tải, dòng thiết bị, điện áp DC);
- d) chức năng ghi sự kiện và hiển thị truy vấn;
- e) chức năng ghi chép và hiển thị: khi điện áp hệ thống bất thường hoặc thiết bị bị lỗi, nó có thể tự động ghi lại dữ liệu quan trọng (điện áp, dòng, vị trí công tắc, v.v.) trước và sau sự kiện. Thời gian ghi chép lớn hơn 2 phút và tần số lấy đặc tính yêu cầu không nhỏ hơn 5 kHz
- f) hiển thị trạng thái vận hành của hệ thống làm mát.

8 Ứng dụng liên quan đến tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo

8.1 Làm mịn công suất của các nguồn năng lượng tái tạo

8.1.1 Các ứng dụng của hệ thống EES

8.1.1.1 Mục đích chức năng của hệ thống EES

Hệ thống EES có thể làm mịn sự dao động công suất của các nguồn năng lượng tái tạo bằng cách nhận hoặc phát điện vào thời điểm thích hợp. Thời gian này được xác định bởi hệ thống điều khiển, dẫn đến

tín hiệu công suất tổng hợp ít biến động hơn ở mức phân phối hoặc truyền tải. Mục tiêu chính của ứng dụng này là giúp đáp ứng yêu cầu về tốc độ thay đổi công suất. Thời gian làm mịn được xác định bởi hệ thống điều khiển, thường trong khoảng vài giây đến vài phút.

8.1.1.2 Yêu cầu liên quan đến ứng dụng

Thiết bị được lựa chọn phải có các đặc tính sau để thực hiện đúng chức năng của ứng dụng.

a) Hiệu quả làm mịn công suất của năng lượng tái tạo

Các chỉ số sau được phát triển để đặc trưng mức độ mà các nguồn năng lượng tái tạo (công suất) được làm mịn hiệu quả bởi hệ thống EES:

1) Giảm độ lệch chuẩn của công suất (RSDP)

Chỉ số để định lượng tác động mà thiết bị của hệ thống EES có đối với việc làm mịn đầu ra công suất của năng lượng tái tạo được gọi là "giảm độ lệch chuẩn của công suất" (RSDP). Sự giảm độ lệch chuẩn (η_{RSDP}) giữa công suất chưa được làm mịn và công suất đã được làm mịn mô tả mức độ mà công suất có thể lệch khỏi giá trị trung bình của nó, để cho thấy độ mịn mà của hệ thống EES:

$$\eta_{RSDP} = 100 \times \left(1 - \frac{\sigma_{smooth}}{\sigma_{unsmooth}} \right)$$

trong đó:

σ_{smooth} là độ lệch chuẩn của năng lượng tái tạo dư thừa đã được làm mịn

$\sigma_{unsmooth}$ là độ lệch chuẩn của năng lượng tái tạo dư thừa chưa được làm mịn

2) Giảm độ lệch chuẩn của tốc độ thay đổi công suất (RSDR)

Sự giảm tốc độ thay đổi công suất (η_{RSDR}) đại diện cho khả năng của hệ thống EES trong việc làm giảm tốc độ mà các dao động công suất xảy ra:

$$\eta_{RSDR} = 100 \times \left(1 - \frac{\zeta_{smooth}}{\zeta_{unsmooth}} \right)$$

trong đó:

ζ_{smooth} là độ lệch chuẩn của tốc độ thay đổi dung lượng năng lượng tái tạo đã được làm mịn

$\zeta_{unsmooth}$ là độ lệch chuẩn của tốc độ thay đổi dung lượng năng lượng tái tạo chưa được làm mịn

3) Giảm biên độ dao động tối đa - tối thiểu

Giảm biên độ tối đa - tối thiểu η_{swing} là một phép đo trực quan về tính hữu ích của hệ thống EES bằng cách định lượng mức độ giảm dao động công suất lớn nhất trong ngày. Ý nghĩa của chỉ số này là xác định biên độ giảm thiểu dao động công suất tối đa $P_{swing,max}$ trong ngày. Một hệ thống làm mịn tính năng cao sẽ giảm tốt những dao động công suất tối đa này. Việc giảm biên độ tối đa - tối thiểu có thể được xác định là sự giảm của:

$$\hat{R}(n) = X(n) - \frac{1}{N+1} \sum_{n=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} X(n)$$

$$P_{\text{swing,max}} = \max|\hat{R}(n)|$$

$$\eta_{\text{swing}} = 100 \times \left(1 - \frac{\hat{R}_{\text{smooth}}(m)}{P_{\text{swing,max}}}\right)$$

trong đó

N là số đặc tính yêu cầu mỗi phút của đầu ra năng lượng tái tạo

X(n) là tín hiệu dung lượng năng lượng tái tạo

$\hat{R}(n)$ là phần dư của X(n)

m là chỉ số tuyến tính của $P_{\text{swing,max}}$

Bằng cách xem xét giá trị lớn nhất của hàm phần dư $\hat{R}(n)$ của tập dữ liệu công suất chưa làm mịn được mô tả ở trên, có thể xác định độ lớn của dao động công suất lớn nhất trong ngày cụ thể đó.

b) Yêu cầu về năng lượng

Áp dụng 4.1.2.4.

c) Yêu cầu về tính năng

Áp dụng 4.1.2.5.

d) Yêu cầu về thời gian phản hồi và tốc độ tăng giảm

Áp dụng 4.1.2.6.

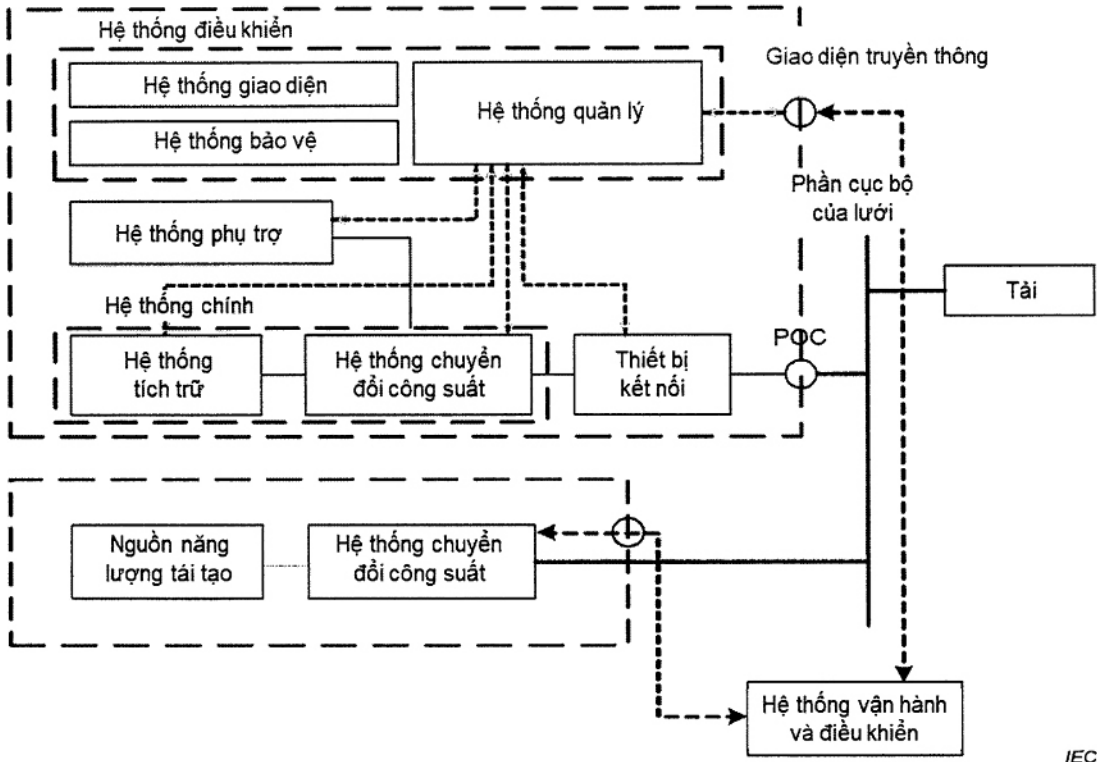
8.1.2 Điều kiện và yêu cầu kết nối với lưới điện

Áp dụng 4.2.

8.1.3 Thiết kế của các hệ thống EES

8.1.3.1 Cấu trúc của các hệ thống EES

Cấu trúc hệ thống EES và các thành phần được định nghĩa trong 4.3.2 cũng được áp dụng cho ứng dụng làm mịn nguồn năng lượng tái tạo (công suất). Ngoài ra, còn có các cân nhắc bổ sung. Hệ thống EES nên được lắp đặt kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo như điện mặt trời (PV), tuabin gió, v.v. Một ví dụ về cấu trúc hệ thống EES kết nối với các nguồn năng lượng tái tạo được hiển thị trên Hình 31. Hệ thống EES và các nguồn năng lượng tái tạo có thể được liên kết với hệ thống vận hành và điều khiển thông qua các giao diện truyền thông.



IEC

Hình 31 – Cấu trúc hệ thống của hệ thống EES kết nối với các nguồn năng lượng tái tạo

8.1.3.2 Quy định kỹ thuật của các hệ thống con

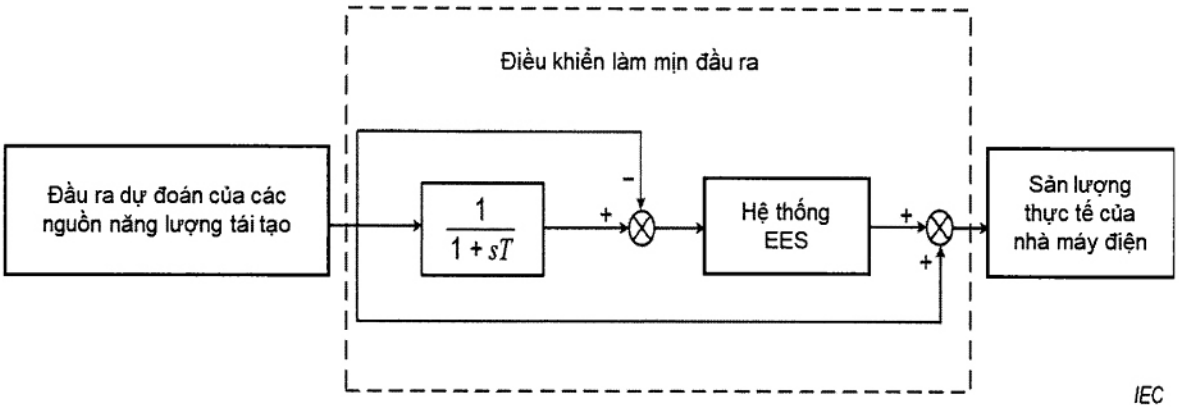
Áp dụng 4.3.3.

8.1.3.3 Tích hợp hệ thống EES với lưới điện

Áp dụng 4.3.4.

8.1.3.4 Vận hành và điều khiển

Theo các yêu cầu vận hành trong việc làm mịn (công suất) của nguồn năng lượng tái tạo, chương trình làm mịn tự động trong hệ thống điều khiển sẽ điều khiển hệ thống EES để xử lý nguồn năng lượng tái tạo theo phạm vi làm mịn đã đặt, nhằm đạt được sự biến động công suất ổn định trong phạm vi quy định. Một ví dụ về chiến lược điều khiển cho việc làm mịn (công suất) của nguồn năng lượng tái tạo được thể hiện trong Hình 32.



IEC

Hình 32 – Ví dụ về chiến lược điều khiển cho ứng dụng làm mịn (công suất) năng lượng tái tạo

8.1.3.5 Giao diện truyền thông

Áp dụng 4.3.8.

8.1.4 Kích thước và các tham số kết quả của hệ thống EES

8.1.4.1 Kích thước

a) Quá trình xác định quy mô của hệ thống EES

Quá trình xác định quy mô tổng quát của hệ thống EES cho việc làm mịn năng lượng tái tạo (công suất) được hiển thị trên Hình 33.

Hình 33 – Quá trình xác định quy mô hệ thống EES làm mịn (công suất) của các nguồn năng lượng tái tạo

Trên Hình 33, T_i là khoảng thời gian thiết lập, N là số đặc tính yêu cầu mỗi phút của đầu ra năng lượng tái tạo, và D_i là giới hạn thay đổi đầu ra cho phép trong khoảng thời gian T_i .

Có ba dạng biểu thức toán học khác nhau cho các ràng buộc thay đổi đầu ra trên thang thời gian T_i :

- Giới hạn dao động công suất tức thời: đối với bất kỳ hai thời điểm $t, t - T_i$ với khoảng thời gian là T_i , công suất tức thời $P_{net}(t), P_{net}(t - N T_i)$ phải thỏa mãn ràng buộc giới hạn dao động được mô tả trong công thức sau.

$$-D_i \leq P_{net}(t) - P_{net}(m) \leq D_i \quad (NT \leq m \leq 0)$$

- Giới hạn dao động công suất trung bình: đối với hai khoảng thời gian liền kề $t - T_i \sim t, t \sim t + T_i$ cách nhau bởi T_i , sự chênh lệch của công suất trung bình giữa hai khoảng này phải nằm trong giới hạn dao động D_i .

$$-D_i \leq \frac{1}{NT_i} \sum_{m=t}^{t+NT_i-1} (P_{net}(m) - P_{net}(m - NT_i)) \leq D_i$$

- Giới hạn dao động công suất: đối với khoảng thời gian $t \sim t + T_i$ với khoảng thời gian T_i , sự chênh lệch giữa công suất tối đa và công suất tối thiểu trong khoảng thời gian này phải nhỏ hơn giới hạn thay đổi công suất D_i theo quy mô thời gian này.

$$\max_{m = t, t + 1, \dots, t + NT_i} P_{\text{net}}(m) - \min_{m = t, t + 1, \dots, t + NT_i} P_{\text{net}}(m) \leq D_i$$

b) Yêu cầu cho việc xác định quy mô

Khi thực hiện quá trình xác định quy mô của hệ thống EES, cần được đáp ứng các yêu cầu sau đây:

- Năng lực cung cấp điện và lưu trữ của nhà máy điện cần được xem xét khi xác định quy mô của hệ thống EES.
- Các yêu cầu kết nối lưới điện của nguồn năng lượng tái tạo cần được xem xét.
- Các chiến lược điều khiển khác nhau cần được xem xét khi xác định quy mô của hệ thống EES.
- Tuổi thọ của hệ thống tích trữ, đặc tính sạc-xả, khoảng thời gian sạc-xả tối ưu và tính kinh tế cần được xem xét khi xác định quy mô của hệ thống EES.
- Năng lực của hệ thống EES cần được xác định một cách toàn diện dựa trên các đặc tính đầu ra trong quá khứ của nguồn năng lượng tái tạo và sự khác biệt theo mùa của công suất đầu ra.

8.1.4.2 Đặc tính và các hạn chế của hệ thống EES

Áp dụng 4.4.3.

8.1.5 Tuổi thọ vận hành của hệ thống EES

8.1.5.1 Lắp đặt

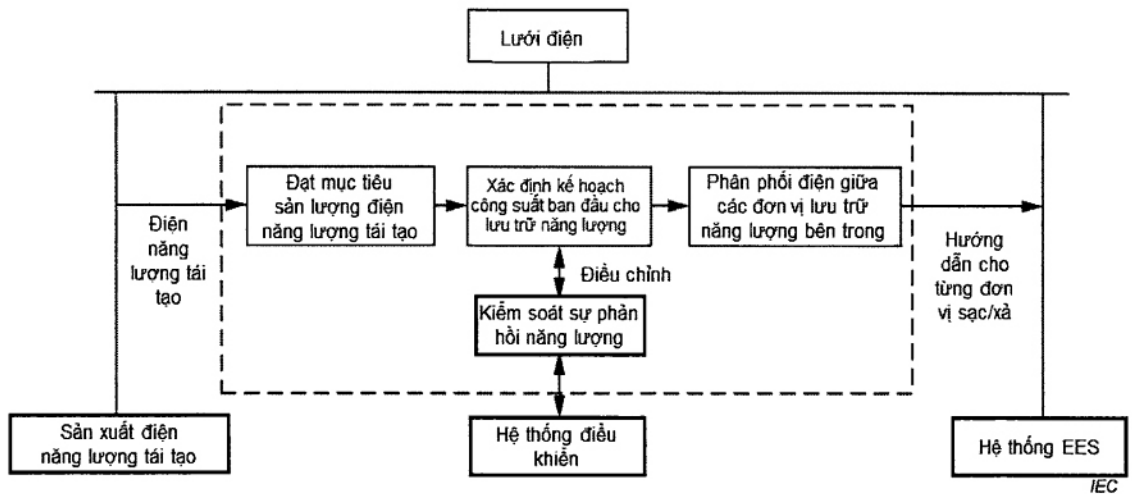
Áp dụng 4.5.2.

8.1.5.2 Đánh giá tính năng

Áp dụng 4.5.3.

8.1.5.3 Vận hành và điều khiển

Các quy trình cơ bản của hệ thống EES trong việc làm mịn (điện) nguồn năng lượng tái tạo được trình bày trên Hình 34.



Hình 34 – Ví dụ về các quy trình cơ bản làm mịn (công suất) của các nguồn năng lượng tái tạo

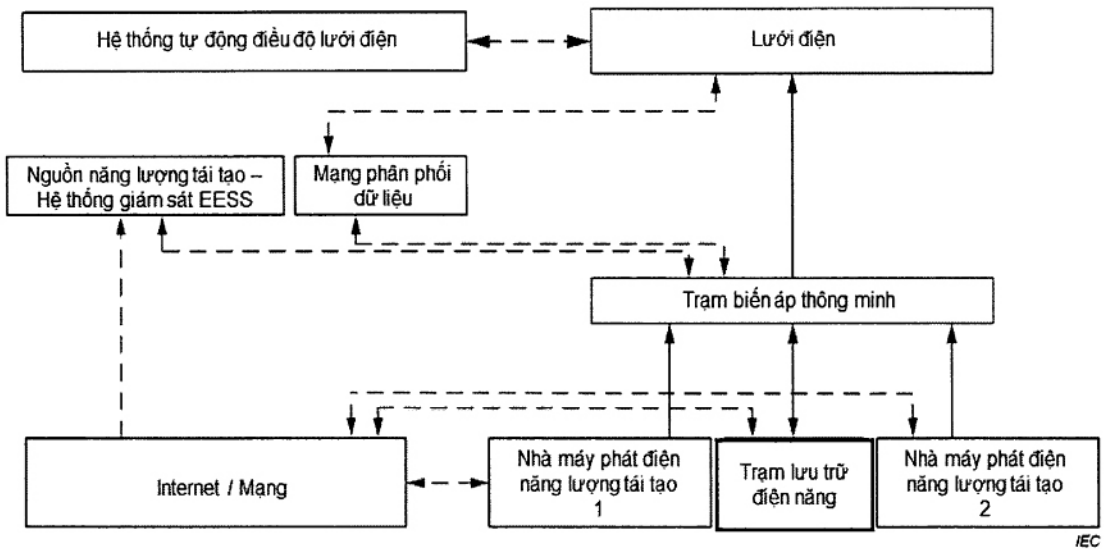
Trước tiên, mục tiêu đầu ra của nguồn năng lượng tái tạo được xác định. Sau đó, kế hoạch công suất ban đầu của hệ thống lưu trữ năng lượng được xác định dựa trên mục tiêu đầu ra của nguồn năng lượng tái tạo và được điều chỉnh bằng cách phản hồi trạng thái năng lượng. Cuối cùng, việc phân phối công suất được thực hiện giữa các đơn vị nội bộ của hệ thống lưu trữ để xác định lệnh sạc và xả công suất của từng đơn vị. Kết quả làm mịn công suất tại POC cần được kiểm tra với bất kỳ yêu cầu nào của quy phạm lưới điện đối với loại nhà máy điện hỗn hợp này. Trong số đó, việc xác định mục tiêu đầu ra năng lượng tái tạo và điều khiển phản hồi trạng thái năng lượng là cốt lõi của chiến lược làm mịn năng lượng tái tạo.

Mục tiêu đầu ra năng lượng tái tạo đề cập đến công suất mong đợi sau khi hệ thống EES thực hiện làm mịn. Các phương pháp thu thập mục tiêu đầu ra năng lượng tái tạo chủ yếu bao gồm: các thuật toán điều khiển lọc như lọc bậc nhất, lọc Kalman và lọc sóng, cùng với các thuật toán điều khiển khác như trung bình trượt, trung bình có trọng số và điều khiển dự đoán mô hình.

Các tham số điều khiển chính của mỗi thuật toán điều khiển là khác nhau và chúng ảnh hưởng đến mục tiêu của năng lượng tái tạo cũng như hiệu ứng làm mịn của hệ thống lưu trữ năng lượng đối với các nguồn năng lượng tái tạo.

8.1.5.4 Giám sát

Sơ đồ hệ thống giám sát cho hệ thống EES nhằm làm mịn nguồn năng lượng tái tạo được trình bày trong Hình 35. Các đường liền trong Hình 35 chỉ ra hướng dòng điện. Nhà máy phát điện nguồn năng lượng tái tạo cung cấp điện cho lưới điện thông qua trạm biến áp. Dòng điện giữa nhà máy điện lưu trữ năng lượng và trạm biến áp là hai chiều, thể hiện hành vi sạc và xả của trạm lưu trữ năng lượng. Các đường chấm chấm chỉ ra các tín hiệu đo lường và tín hiệu điều khiển giữa nhà máy phát điện nguồn năng lượng tái tạo, nhà máy điện lưu trữ năng lượng, trạm biến áp và hệ thống giám sát. Thông tin trao đổi giữa hệ thống giám sát và hệ thống điều độ cấp trên được xuất ra một cách đồng nhất qua trạm biến áp.



Hình 35 – Hệ thống EES cho hệ thống giám sát công suất của các nguồn năng lượng tái tạo

Khi hệ thống EES được sử dụng để làm mịn đầu ra của nguồn năng lượng tái tạo, hệ thống EES sẽ hoạt động tự động hoặc từ xa theo mục tiêu trong kịch bản. Trạng thái hoạt động của hệ thống EES cần được giám sát để kiểm tra xem tín hiệu từ xa và đo lường từ xa của hệ thống EES có bình thường hay không. Thông tin về điện áp, dòng điện, công suất tác dụng, công suất phản kháng, cảnh báo bất thường và sự cố của đơn vị lưu trữ năng lượng trong hệ thống EES phải được giám sát. Thông tin như cảnh báo bất thường của các thiết bị khác cũng phải được giám sát.

Chức năng của hệ thống giám sát sẽ bao gồm SCADA, chẩn đoán và cảnh báo sớm, phân tích toàn cảnh, điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng, thu thập thời gian thực trạng thái hoạt động của thiết bị và các tham số làm việc, dự đoán công suất, tải dữ liệu lên lớp điều độ cấp trên, phân phối công suất dựa trên lệnh điều độ và trạng thái hoạt động của hệ thống EES, và thay đổi chế độ vận hành.

8.2 Ổn định sản xuất (năng lượng) của nguồn năng lượng tái tạo

8.2.1 Ứng dụng của các hệ thống EES

8.2.1.1 Mục đích chức năng của các hệ thống EES

Ứng dụng ổn định sản xuất năng lượng từ nguồn năng lượng tái tạo sử dụng hệ thống EES để cung cấp năng lượng bổ sung cho sản xuất năng lượng tái tạo. Hệ thống EES sẽ xả công suất khi sản xuất năng lượng tái tạo không đủ so với ngưỡng, và sạc công suất khi tình huống đảo ngược. Đầu ra kết hợp của hệ thống EES và sản xuất năng lượng tái tạo sẽ ổn định trong khoảng thời gian mong muốn. Ngưỡng này được xác định từ dự báo sản xuất năng lượng tái tạo trong khoảng thời gian mong muốn. Khoảng thời gian này thường từ 15 min đến vài giờ.

8.2.1.2 Các yêu cầu liên quan đến ứng dụng

Thiết bị được chọn cần có các đặc tính sau, để cung cấp đầy đủ chức năng cho ứng dụng.

a) Độ tin cậy của đường cong đầu ra theo lịch trình của hệ thống

Mức độ phù hợp giữa đường cong đầu ra theo lệnh điều độ và đường cong đầu ra theo lịch trình có thể được biểu diễn bằng khoảng cách điều chỉnh:

$$z(x, y) = \sum_{i=1}^N |x_i - y_i|$$

x_i là giá trị của đường cong đầu ra theo lịch trong khoảng thời gian thứ i

y_i là giá trị của đường cong đầu ra theo lịch trình trong khoảng thời gian thứ i

N là số đoạn trong một ngày

$z(x, y)$ là khoảng cách giữa hai đường cong x và y

b) Yêu cầu về năng lượng

Áp dụng 4.1.2.4.

c) Yêu cầu về tính năng

Áp dụng 4.1.2.5.

d) Yêu cầu về thời gian phản hồi và tốc độ gia tăng

Áp dụng 4.1.2.6.

8.2.2 Các điều kiện và yêu cầu kết nối với lưới điện

Áp dụng 4.2.

8.2.3 Thiết kế hệ thống EES

8.2.3.1 Cấu trúc của hệ thống EES

Áp dụng 4.3.2.

8.2.3.2 Quy định kỹ thuật của các hệ thống con

Áp dụng 4.3.3.

8.2.3.3 Tích hợp lưới điện của hệ thống EES

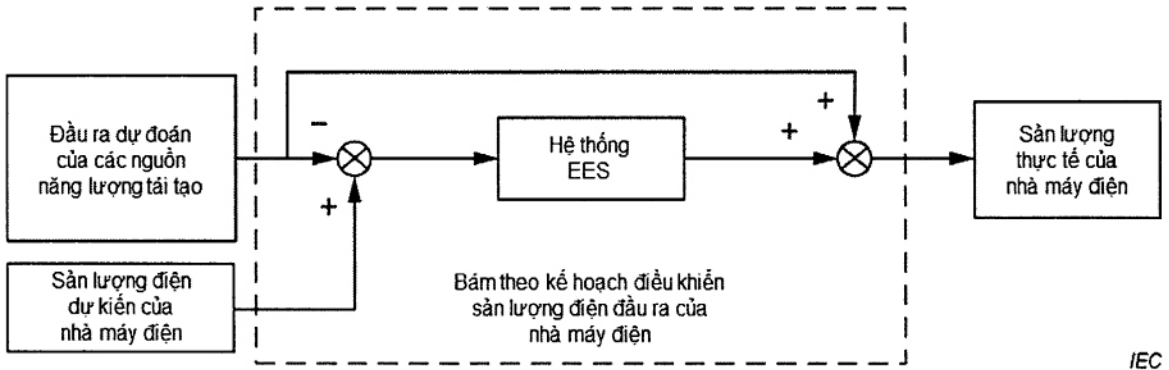
Áp dụng 4.3.4.

8.2.3.4 Vận hành và điều khiển

Ý tưởng tổng thể của việc củng cố sản xuất năng lượng từ các nguồn năng lượng tái tạo bằng cách sử dụng hệ thống EES là theo dõi kế hoạch sản xuất điện của trạm điện như một mục tiêu, và xem xét năng lượng còn lại của hệ thống EES, công suất danh định, trạng thái năng lượng và các ràng buộc khác ảnh hưởng đến khả năng đầu ra công suất và vận hành tối ưu của hệ thống EES. Một ví dụ về chiến lược

điều khiển cho việc củng cố sản xuất năng lượng từ các nguồn năng lượng tái tạo được thể hiện trên Hình 36.

Vận hành và điều khiển của hệ thống EES cần gồm hai bước. Đầu tiên, giá trị vận hành dự kiến của hệ thống EES được lập trong môđun điều khiển theo dõi kế hoạch đầu ra của nhà máy điện. Thứ hai, giá trị vận hành dự kiến của hệ thống EES được điều chỉnh theo thời gian thực trong môđun điều khiển phản hồi của hệ thống EES. Giá trị vận hành dự kiến của hệ thống EES dựa trên độ lệch giữa giá trị dự đoán ngắn hạn về đầu ra công suất và kế hoạch sản xuất điện của trạm điện. Công suất đầu ra theo thời gian thực của hệ thống EES được xác định bởi công suất danh định và năng lượng còn lại của hệ thống EES.



IEC

Hình 36 – Ví dụ về chiến lược điều khiển cho ứng dụng ổn định năng lượng của các nguồn năng lượng tái tạo

8.2.3.5 Giao diện truyền thông

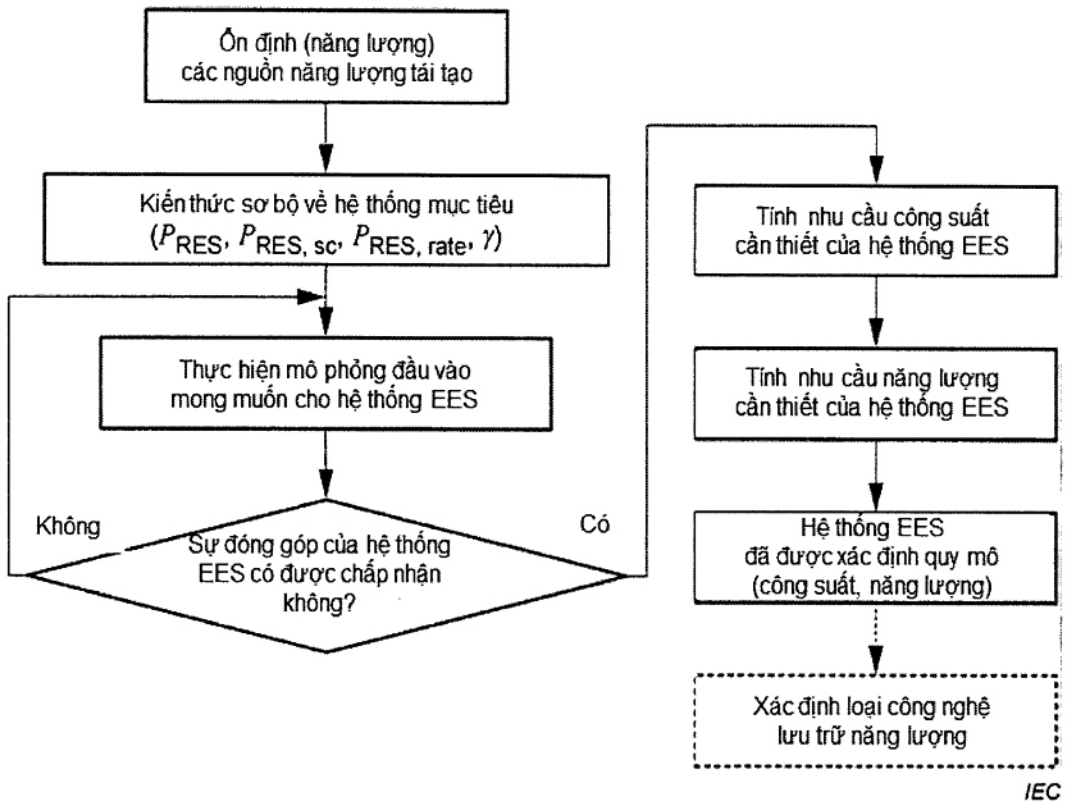
Áp dụng 4.3.8.

8.2.4 Quy mô và các tham số kết quả của hệ thống EES

8.2.4.1 Xác định quy mô

a) Quá trình xác định quy mô của hệ thống EES

Quá trình xác định quy mô tổng quát của hệ thống EES cho việc củng cố sản xuất năng lượng từ các nguồn năng lượng tái tạo được thể hiện trên Hình 37.



Hình 37 – Ví dụ về quá trình xác định quy mô của hệ thống EES để ổn định sản xuất (năng lượng) của các nguồn năng lượng tái tạo

CHÚ THÍCH 1: Trong hình, P_{RES} là công suất thực tế của các nguồn năng lượng tái tạo; $P_{RES, sc}$ là công suất đầu ra đã được lên lịch của các nguồn năng lượng tái tạo; $P_{RES, rate}$ là công suất danh định của các nguồn năng lượng tái tạo; và γ là hệ số sai lệch.

CHÚ THÍCH 2: Công suất thực tế của các nguồn năng lượng tái tạo sau khi hệ thống EES được điều chỉnh nằm trong phạm vi công suất cho phép nhiều nhất có thể. Trong đó, khoảng công suất cho phép của các nguồn năng lượng tái tạo $P_{RES, sc}(t) - \gamma P_{RES, rate}, P_{RES, sc}(t) + \gamma P_{RES, rate}$ bao gồm $P_{RES}(t)$ và khoảng sai số dự báo cho phép $-\gamma P_{RES, rate}, \gamma P_{RES, rate}$. Khoảng sai số dự báo thường được lấy là độ lệch dương và âm bằng γ lần công suất danh định.

b) Yêu cầu về kích thước

Khi thực hiện quá trình xác định quy mô của hệ thống EES, cần đáp ứng được các yêu cầu sau:

- Công suất cung cấp và khả năng lưu trữ của trạm điện phải được xem xét khi xác định quy mô của hệ thống EES.
- Các chiến lược điều khiển khác nhau cần được xem xét khi xác định quy mô của hệ thống EES.
- Tuổi thọ của hệ thống tích trữ, đặc tính sạc-xả, khoảng thời gian sạc-xả tối ưu và tính kinh tế cần được xem xét khi xác định quy mô của hệ thống EES.

- Trạm điện EES phải đáp ứng các yêu cầu về đường cong công suất của kế hoạch điều độ.
- Công suất đầu vào và đầu ra của hệ thống EES phải tương thích với công suất đầu ra của nhà máy năng lượng tái tạo và đường cong công suất của kế hoạch điều độ.
- Công suất của hệ thống EES phải được xác định một cách toàn diện dựa trên các yếu tố như đường cong công suất của kế hoạch điều độ, đặc tính đầu ra trong quá khứ của các nguồn năng lượng tái tạo, và sự khác biệt theo mùa của công suất đầu ra.

8.2.4.2 Đặc tính và các hạn chế của hệ thống EES

Áp dụng 4.4.3.

8.2.5 Tuổi thọ vận hành của hệ thống EES

8.2.5.1 Lắp đặt

Áp dụng 4.5.2.

8.2.5.2 Đánh giá tính năng

Áp dụng 4.5.3.

8.2.5.3 Vận hành và điều khiển

Áp dụng 8.1.5.3.

8.2.5.4 Giám sát

Áp dụng 8.1.5.4.

8.3 Hệ thống EES tại các trạm sạc điện kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo

8.3.1 Ứng dụng của hệ thống EES

8.3.1.1 Mục đích chức năng của hệ thống EES

Kết hợp với nguồn năng lượng tái tạo, hệ thống EES được sử dụng để nhận năng lượng điện trong các khoảng thời gian thấp điểm và hỗ trợ tải sạc nhanh trong các khoảng thời gian cao điểm, qua đó giảm hiệu quả sự chênh lệch giữa tải cao điểm và thấp điểm, loại bỏ nhu cầu công suất sạc EV từ lưới điện, và cải thiện hiệu quả vận hành hệ thống.

Bằng cách sử dụng hệ thống EES, công suất sạc cao hơn công suất tối đa có sẵn từ lưới điện bên ngoài có thể đạt được. Việc sử dụng năng lượng tái tạo cao hơn và lợi ích cao hơn từ chênh lệch giá ban ngày và ban đêm có thể được thực hiện.

8.3.1.2 Yêu cầu liên quan đến ứng dụng

Thiết bị được chọn phải có các đặc tính sau để cung cấp đúng chức năng cho ứng dụng:

- a) Giảm tải trọng tối đa - tối thiểu trong một khoảng thời gian.
- b) Tăng cường sử dụng năng lượng tái tạo:

TCVN 14499-3-2:2025

Việc sử dụng năng lượng tái tạo là tỷ lệ giữa năng lượng tái tạo sử dụng và tổng năng lượng tiêu thụ.

c) Yêu cầu về năng lượng

Áp dụng 4.1.2.4.

d) Yêu cầu về tính năng

Áp dụng 4.1.2.5.

e) Yêu cầu về thời gian đáp ứng và tốc độ gia tăng.

Áp dụng 4.1.2.6.

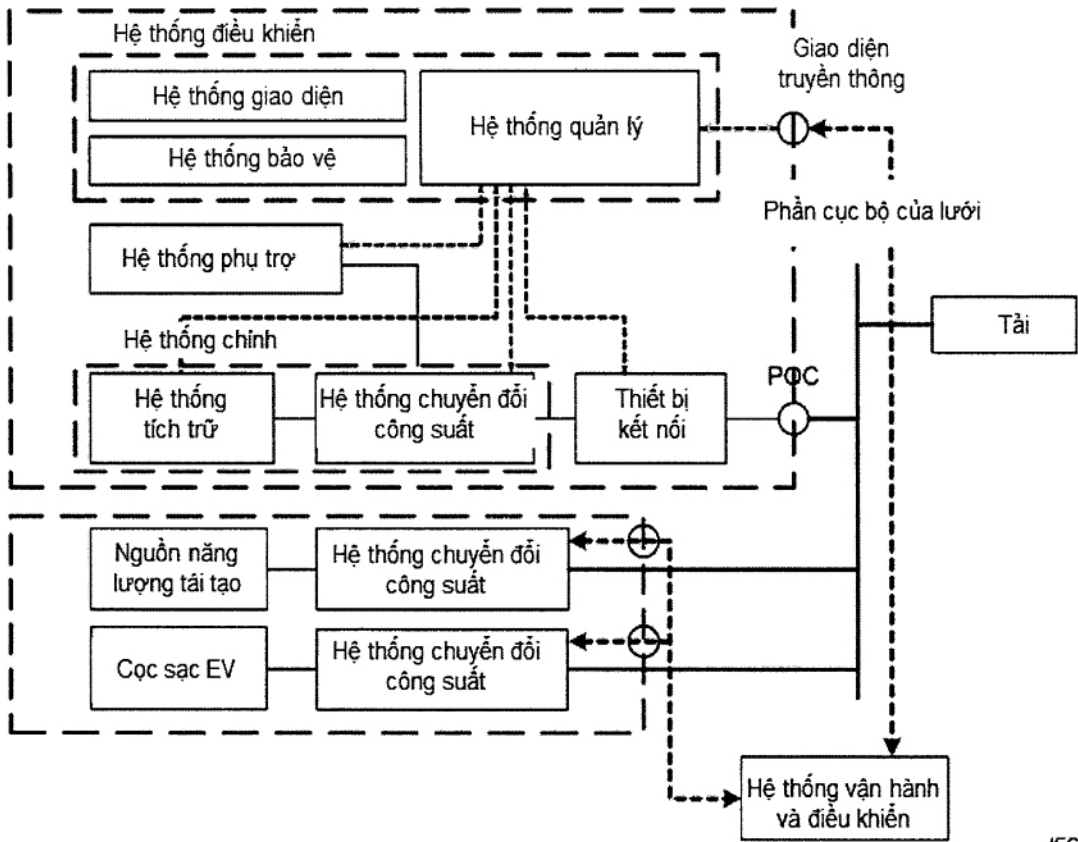
8.3.2 Điều kiện và yêu cầu kết nối với lưới điện

Áp dụng 4.2.

8.3.3 Thiết kế hệ thống EES

8.3.3.1 Cấu trúc của hệ thống EES

Cấu trúc và các thành phần của hệ thống EES được xác định trong 4.3.2 cũng áp dụng cho các trạm sạc điện kết hợp với các ứng dụng nguồn năng lượng tái tạo. Ngoài ra, còn có các yếu tố bổ sung cần xem xét. Hệ thống EES nên được lắp đặt kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo và các cột sạc EV. Một ví dụ về cấu trúc hệ thống của hệ thống EES tại các trạm sạc điện kết hợp với năng lượng tái tạo được thể hiện trên Hình 38.



IEC

Hình 38 – Ví dụ về cấu trúc hệ thống của hệ thống EES trong các trạm sạc điện kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo

8.3.3.2 Quy định kỹ thuật của các hệ thống con

Áp dụng 4.3.3 áp dụng.

8.3.3.3 Tích hợp lưới điện của hệ thống EES

Áp dụng 4.3.4 áp dụng.

8.3.3.4 Vận hành và điều khiển

Khi tành và điều khiển ệhi tành, h 24 h và điều khiển ệ h 24 h và điều khiển c điện nh trong 4.3.2 cũng áp dụng cho các trạm sạc điện kết hợp với các ứng dụng nguồn năng lượng tái tạo. Ngoàiiiá theo thời gian sử dụng. Để phát huy tối đa ưu điểm của hệ thống EES trong các chế độ ứng dụng khác nhau, thời gian phân đoạn và phân đoạn của chế độ sạc và xả của hệ thống EES dựa trên phân tích tổng hợp công suất tải trong cả ngày.

8.3.3.5 Giao diện truyền thông

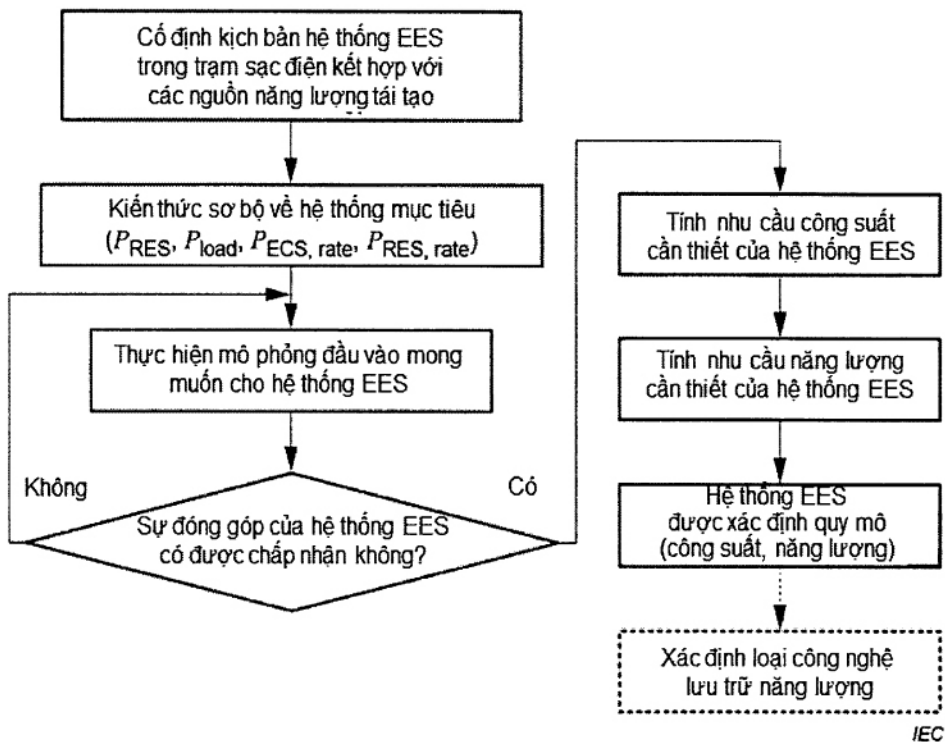
Áp dụng 4.3.8 áp dụng.

8.3.4 Quy mô và các tham số kết quả của hệ thống EES

8.3.4.1 Xác định quy mô

a) Quá trình xác định quy mô của hệ thống EES

Quá trình xác định quy mô tổng quát của hệ thống EES tại các trạm sạc điện kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo được thể hiện trên Hình 39.



Hình 39 – Quá trình xác định quy mô hệ thống EES tại các trạm sạc điện kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo

CHÚ THÍCH: Trong hình, P_{RES} là công suất đầu ra thực tế của các nguồn năng lượng tái tạo; P_{load} là công suất tải; $P_{ECS, rate}$ là công suất danh định của các trạm sạc điện; và $P_{RES, rate}$ là công suất đầu ra danh định của các nguồn năng lượng tái tạo.

b) Yêu cầu về kích thước

Khi thực hiện quá trình xác định quy mô của hệ thống EES, cần đáp ứng được các yêu cầu sau:

- Tính toán phân bổ công suất của hệ thống EES cần xem xét các đặc tính của hệ thống tích trữ, đặc tính sạc-xả và khoảng thời gian sạc-xả tối ưu cùng với tính kinh tế.
- Hệ thống EES được sử dụng để định hình tải phải được thiết lập phù hợp với điều kiện tải thực tế và chế độ vận hành của lưu trữ năng lượng. Tùy thuộc vào mức điện áp truy cập, các trạm lưu trữ năng lượng được sử dụng để định hình tải thường có các loại sau: 400 V, 10 kV và 35 kV. Công suất tối đa của hệ thống EES kết nối lưới phải tuân thủ theo cấp công suất. Ví dụ, ở Trung Quốc, cấp công suất của một trạm lưu trữ năng lượng 400 V khoảng 100 kW; hệ thống EES kết nối với lưới điện 10 kV có công suất danh định khoảng 1 MW; và hệ thống EES kết nối với lưới điện 35 kV có công suất danh định vài MW.

- Thời gian xả bền vững có thể dựa trên thời gian đỉnh đến đáy của tải khu vực. Công suất của hệ thống EES phải được cấu hình từ 5% đến 20% công suất của máy biến áp, hoặc xác định sau khi tính toán.
- Hệ thống EES cho phản hồi nhu cầu phải đáp ứng các yêu cầu về công suất và thời gian phản hồi nhu cầu. Công suất của hệ thống EES phải được xác định dựa trên chiến lược vận hành của chính nó, công suất và thời gian nhu cầu, cùng với các yếu tố kinh tế.

8.3.4.2 Đặc tính và các hạn chế của hệ thống EES

Áp dụng 4.4.3.

8.3.5 Tuổi thọ vận hành của hệ thống EES

8.3.5.1 Lắp đặt

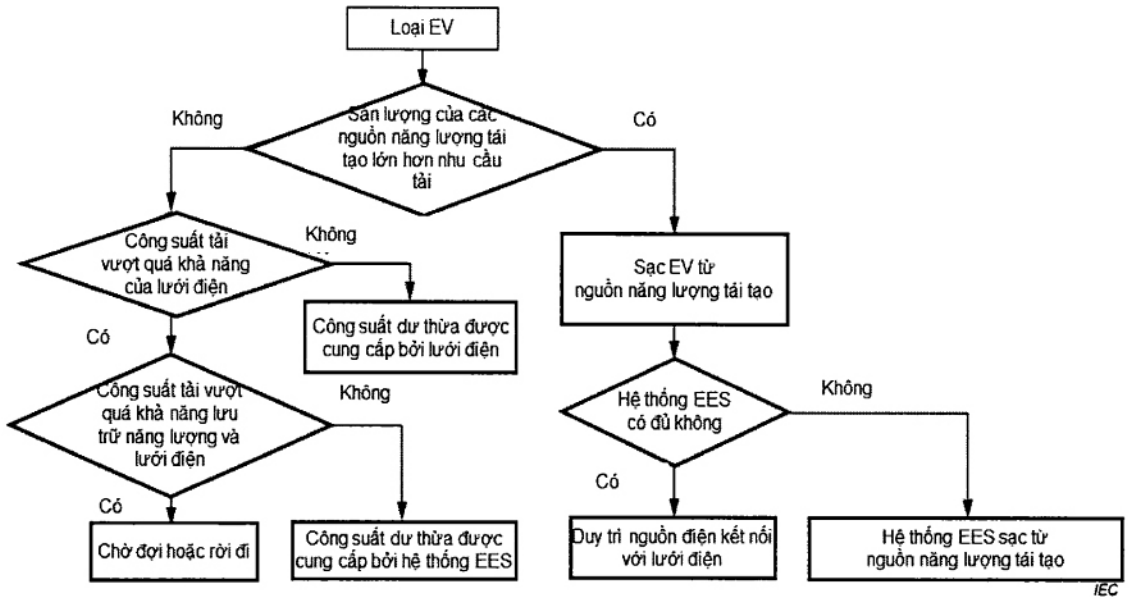
Áp dụng 4.5.2.

8.3.5.2 Đánh giá tính năng

Áp dụng 4.5.3.

8.3.5.3 Vận hành và điều khiển

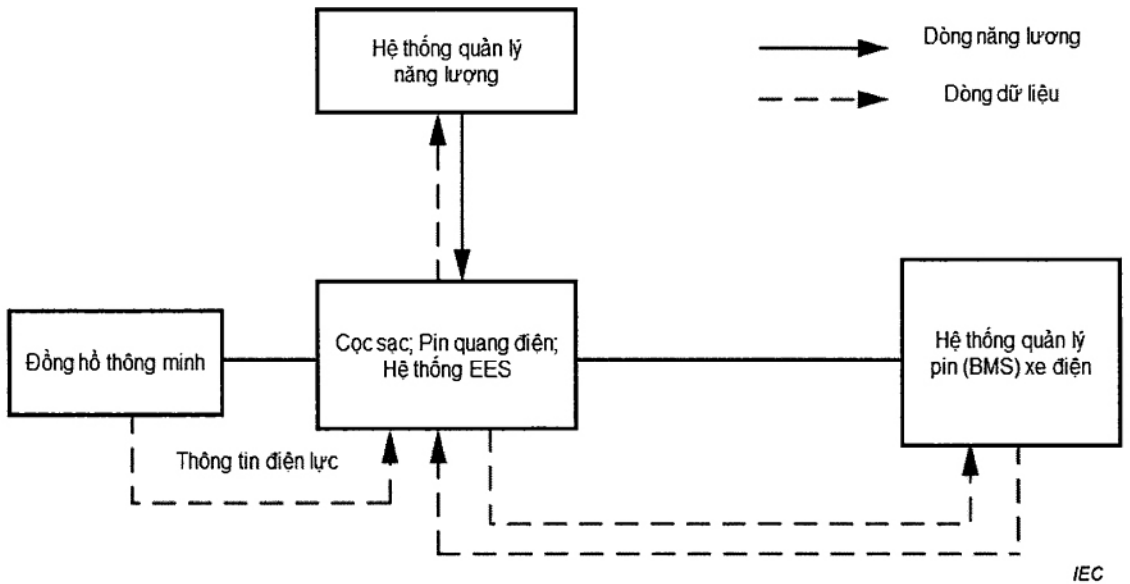
Sau khi xe điện (EV) vào trạm sạc, chế độ sạc được chọn theo công suất đầu ra của từng nguồn năng lượng. Khi công suất đầu ra của các nguồn năng lượng tái tạo lớn hơn nhu cầu tải, xe điện được sạc bằng công suất của các nguồn năng lượng tái tạo, và công suất còn lại được sạc vào hệ thống lưu trữ năng lượng hoặc kết nối với lưới điện. Khi công suất đầu ra của các nguồn năng lượng tái tạo không đáp ứng nhu cầu tải, nó được bổ sung bởi hệ thống EES hoặc được sạc lại từ lưới điện. Khi không có công suất đầu ra từ các nguồn năng lượng tái tạo, nó được cung cấp bởi lưới điện. Nếu nhu cầu công suất vượt quá cung cấp từ lưới điện, nhu cầu tải dư thừa phải được bổ sung bởi hệ thống lưu trữ năng lượng. Chọn chế độ cụ thể được thể hiện trên Hình 40.



Hình 40 – Chọn chế độ sạc cho xe điện (EV)

8.3.5.4 Giám sát

Kiến trúc hệ thống giám sát của các trạm sạc điện kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo và hệ thống EES được thể hiện trên Hình 41. Trong số đó, thông tin tương tác giữa các hệ thống khác nhau được trình bày trên Bảng 3.



Hình 41 – Cấu trúc hệ thống giám sát các trạm sạc điện kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo và hệ thống EES

Bảng 3 – Ví dụ về tương tác thông tin giữa các hệ thống khác nhau

Bộ thu thập thông tin	Thông tin liên quan đến giám sát	Phương pháp / Giao thức truyền thông	Thiết bị nhận thông tin
Đồng hồ thông minh	Thông tin điện lực	Truyền thông 485	Cọc sạc; nguồn năng lượng tái tạo; hệ thống EES
Cọc sạc; nguồn năng lượng tái tạo; hệ thống EES	Dung lượng lưu trữ năng lượng; thời gian tham gia; trạng thái thiết bị; thông tin người dùng, v.v.	Ethernet	Hệ thống quản lý năng lượng
Hệ thống quản lý năng lượng	Lệnh sạc và xả, dòng điện, công suất; thông tin thời gian	Ethernet	Cọc sạc; nguồn năng lượng tái tạo; hệ thống EES
Cọc sạc; nguồn năng lượng tái tạo; hệ thống EES	Trạng thái thiết bị; trạng thái kết nối; điện áp, dòng điện, công suất sạc và xả; thông tin điện năng; chế độ hoạt động; giới hạn điện áp và dòng điện tối đa.	Truyền thông CAN	Hệ thống quản lý pin (BMS) xe điện
Hệ thống quản lý pin (BMS) xe điện	Thông tin người dùng; chế độ hoạt động; thời gian tham gia; giới hạn trên và dưới của việc sạc và xả năng lượng lưu trữ; lệnh khởi động/dừng; thông tin dòng điện của hệ thống lưu trữ; điện áp sạc và xả; giá trị dòng điện; thông tin trạng thái của hệ thống quản lý pin (BMS); dòng điện và thời gian sạc/xả tối đa hoặc tối ưu, v.v.	Truyền thông CAN	Cọc sạc; nguồn năng lượng tái tạo; hệ thống EES

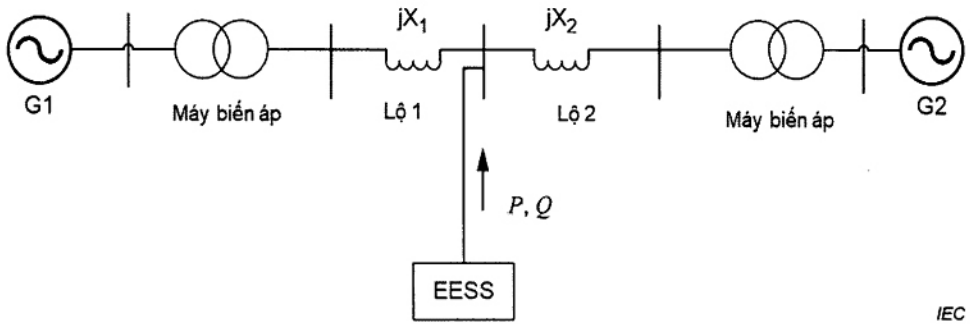
9 Giảm dao động công suất (POD)

9.1 Ứng dụng của hệ thống EES

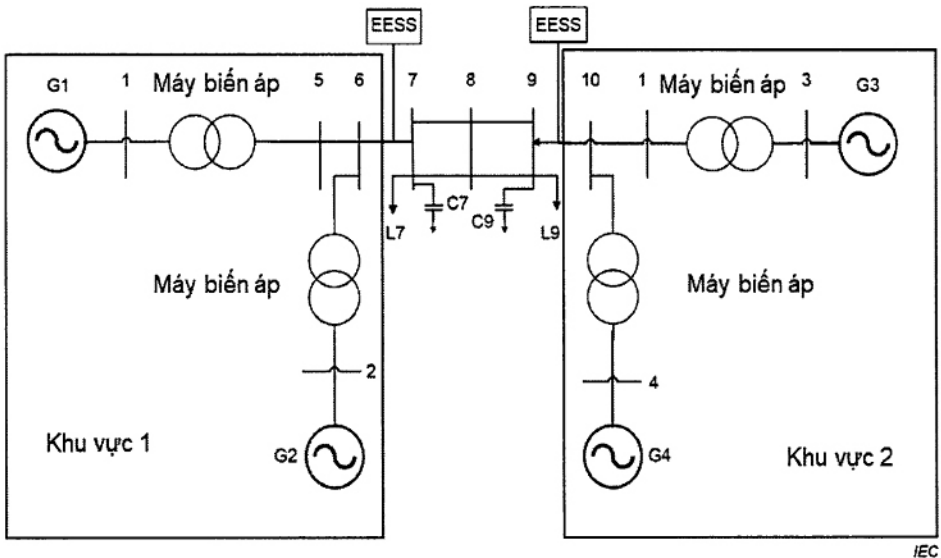
9.1.1 Mục đích chức năng của hệ thống EES

Trong các hệ thống điện lớn liên kết với nhau, một số dao động có thể gây ra những rối loạn trong hệ thống. Do đó, việc giảm dao động công suất là cần thiết để bù đắp các tác động tiêu cực mà các dao động có thể gây ra trong toàn bộ hoạt động của lưới điện. Hệ thống EESS sẽ cải thiện khả năng giảm dao động công suất thông qua việc điều chỉnh công suất tác dụng (POD-P) và điều chỉnh công suất phản kháng (POD-Q), như được thể hiện trên Hình 42 và Hình 43. Tuy nhiên, hiệu ứng POD đối với sự ổn

định của hệ thống do EESS gây ra là khác nhau tùy thuộc vào cấu trúc và đặc tính của hệ thống. Tính toán phân bổ công suất của hệ thống EES cần xem xét các đặc tính của hệ thống tích trữ, đặc tính sạc-xả và khoảng thời gian sạc-xả tối ưu và kinh tế. Hơn nữa, việc giảm dao động công suất có thể được thực hiện bởi một số hệ thống EES kết nối với lưới điện. Điều này có nghĩa là ứng dụng POD sẽ là một trong những chức năng của hệ thống EES và sẽ được xếp chồng lên tính năng thông thường. Do đó, các yêu cầu cụ thể cho các quy định kỹ thuật của hệ thống con phải xét đến công suất và năng lượng danh định dự kiến từ sự đóng góp của EESS vào chính sách POD tổng thể của nhà vận hành lưới điện, bên cạnh các yêu cầu ban đầu từ các ứng dụng EESS khác. Thời gian đáp ứng và tốc độ tăng giảm công suất cho ứng dụng POD cần được kiểm tra và xem xét khi thêm bộ điều khiển POD vào EESS.



Hình 42 – Sơ đồ nguyên lý cấu trúc hệ thống của một hệ thống thanh cái vô hạn đơn lẻ được kết nối với hệ thống EES



Hình 43 – Sơ đồ nguyên lý cấu trúc hệ thống điện hình gồm bốn máy phát và hai khu vực được kết nối với hệ thống EES

Các loại dao động cần xem xét là:

a) Dao động điện cơ (cục bộ và giữa các khu vực) có thể xảy ra do các liên kết yếu giữa các hệ thống điện hoặc máy phát điện. Các dao động này liên quan đến việc trao đổi công suất nhưng cũng bao gồm cả dao động điện áp và dòng điện có thể gây ra sự ngắt của các đường dây hoặc máy phát điện và do đó dẫn đến những rối loạn nghiêm trọng.

b) Các dao động khác gây ra bởi SSR (cộng hưởng dưới đồng bộ) có thể được xem xét. SSR có thể xuất hiện trong các đường dây trên không bù tần số hoặc HVDC (chủ yếu là LCC, bộ chuyển đổi kích hoạt theo dòng). Một loại dao động tương tự là sự tương tác dưới đồng bộ giữa các máy phát điện kết nối điện tử công suất (PV và gió) và các đường dây trên không bù tần số và/hoặc HVDC (chủ yếu là LCC).

c) Dao động liên quan đến máy phát điện kết nối điện tử công suất (PV và gió) kết nối với một hệ thống yếu, với tỷ số ngắn mạch rất thấp ($SCR = \text{công suất ngắn mạch } (SCC_{POC}) / \text{công suất danh định của nhà máy điện } (P_{n, \text{nà máy điện}})$). Tần số dao động có thể nằm trong khoảng từ 4 Hz đến 35 Hz.

d) Dao động cường bức do tương tác điều khiển.

9.1.2 Các yêu cầu liên quan đến ứng dụng

Đối với bốn chế độ dao động trên, hệ thống EES có thể cung cấp POD-P và POD-Q cần thiết để cải thiện khả năng giảm dao động của hệ thống theo tần số dao động, chu kỳ thời gian và các đặc tính khác của hệ thống.

a) Dao động điện cơ

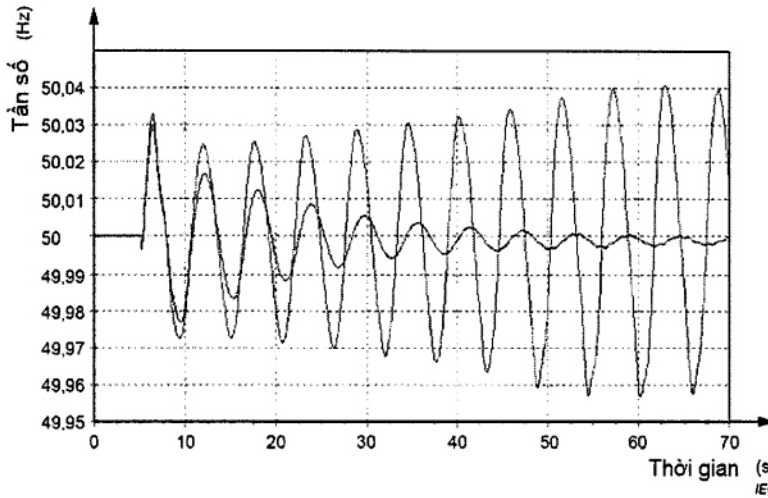
Việc giảm dao động bằng điều khiển POD sẽ giúp cải thiện độ ổn định của tín hiệu nhỏ cũng như các dao động do các rối loạn lớn gây ra. Giá trị tần số điển hình cho những dao động này nằm trong khoảng từ 0,01 Hz đến 0,5 Hz trong trường hợp dao động giữa các khu vực và từ 0,5 Hz đến 3 Hz trong trường hợp dao động cục bộ.

Trong trường hợp hệ thống điện có độ giảm dao động không đủ, bất kỳ rối loạn nhỏ nào cũng có thể gây ra góc máy quay dao động xung quanh giá trị ổn định của nó tại tần số tự nhiên của hệ thống điện cơ. Dao động góc sẽ dẫn đến dao động công suất tương ứng xung quanh công suất ổn định đang được truyền. Việc giảm dao động không đủ có thể là một vấn đề lớn trong một số hệ thống điện và, trong một số trường hợp, nó có thể là yếu tố giới hạn cho công suất có thể truyền tải.

Những dao động này cũng có thể xảy ra trong trường hợp có rối loạn lớn, chẳng hạn như trong sự cố ngắn mạch sau khi đã xử lý sự cố.

Vì dao động công suất là một sự kiện động lực kéo dài, nên cần phải thay đổi công suất tác dụng và bù công suất phản kháng áp dụng để chống lại sự dao động tăng tốc và giảm tốc của các máy bị rối loạn, và do đó, giảm dao động của công suất, tần số và điện áp trong hệ thống.

Hình 44 cho thấy sự phát triển của mô phỏng dao động công suất với (màu xanh) và không có (màu đỏ) năm hệ thống lưu trữ năng lượng pin (BESS) được đặt đúng vị trí trong một lưới truyền tải.



Hình 44 – Mô phỏng giảm dao động công suất với năm BESS trong lưới truyền tải

b) Dao động SSR và SSI

Dao động có thể xuất hiện do hiện tượng cộng hưởng giữa hệ thống điện và hệ thống cơ học của các máy phát đồng bộ (SSR). Tần số điện của dao động có thể nằm trong khoảng từ 15 Hz đến 35 Hz trong một hệ thống tần số 50 Hz. Trong trường hợp này, hệ thống EES cần phải có thời gian phản hồi rất ngắn, vì công suất đầu ra cần thay đổi trong, ví dụ, $(1/30 \text{ Hz}) = 33 \text{ ms}$. Trong trường hợp này, POD-Q được ưu tiên, vì nó sẽ không gây áp lực lên hệ thống phụ tích trữ, nhưng số lần có thể được xem xét khi cần giảm dao động cho POD-P (cần tránh lão hóa nhanh).

Ngoài ra, dao động cũng có thể xuất hiện giữa các nhà máy điện kết nối bằng điện tử công suất và hệ thống điện (tương tác dưới đồng bộ, SSI).

c) Liên quan đến sản xuất điện tử công suất (PV + gió, v.v.)

Dao động có thể xuất hiện giữa việc sản xuất điện kết nối bằng điện tử công suất và lưới điện hoặc giữa nhiều nhà máy điện kết nối điện tử công suất, do sự yếu kém của hệ thống điện tại POC.

d) Dao động cưỡng bức

Dao động có thể xuất hiện do các vấn đề trong điều khiển nhà máy điện.

9.2 Điều kiện và yêu cầu kết nối với lưới điện

Áp dụng 4.2.

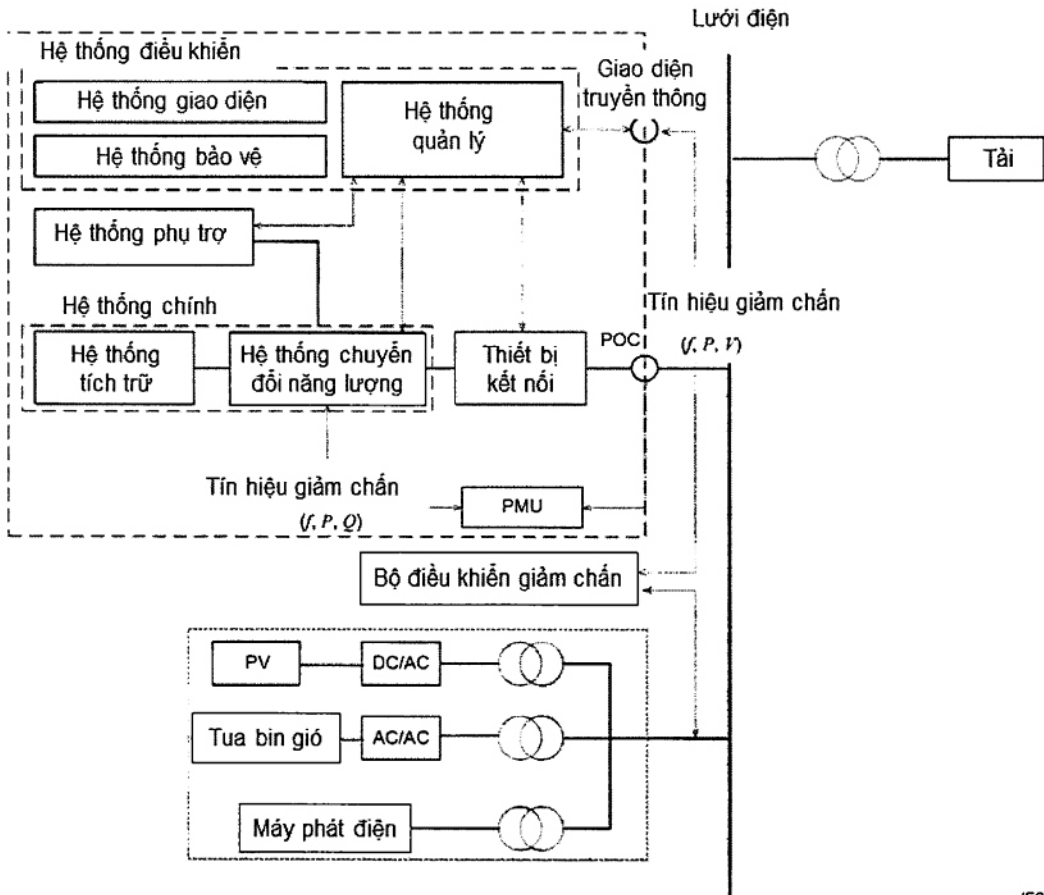
Ngoài ra, khi giảm dao động giữa các khu vực, hệ thống EES có thể được yêu cầu nhận và xử lý chính xác tín hiệu từ các đơn vị đo pha từ xa (PMU) và thực hiện các yêu cầu tương ứng từ các quy phạm lưới điện.

9.3 Thiết kế hệ thống EES

9.3.1 Cấu trúc của hệ thống EES

Hệ thống EES cho POD nên xem xét việc đo tần số và điện áp rất chính xác, không chỉ tại POC mà còn tại một vị trí từ xa sẽ phục vụ như một tham chiếu cho toàn bộ lưới điện khi thực hiện POD như một chiến lược điều phối. Do đó, có thể cần các thành phần bổ sung như các đơn vị đo pha (PMU), và các hệ thống truyền thông thích hợp không chỉ cho việc điều phối điều khiển mà còn cho việc thu thập tần số và công suất từ xa phải được yêu cầu theo tiêu chuẩn IEC/IEEE 60255-118-1 hoặc các tiêu chuẩn tương tự, khi khả năng quan sát tại POC cần được cải thiện nếu có thể.

Như được thấy trong Hình 45, bộ điều khiển POD sẽ nhận công suất đường dây chủ động (P), tần số hệ thống điện (f) hoặc điện áp (U) làm tín hiệu đầu vào từ các nguồn cục bộ hoặc từ xa và sẽ cung cấp công suất đầu ra chủ động hoặc phản kháng tương ứng của EESS để chống lại dao động.



Hình 45 – Ví dụ về cấu trúc hệ thống của hệ thống EES cho POD

9.3.2 Thông số hệ thống phụ

Áp dụng 4.3.3.

9.3.3 Tích hợp lưới của hệ thống EES

Việc giảm dao động (POD) có thể được thực hiện bởi hệ thống EES như trong sơ đồ được hiển thị trong Hình 45. Theo sơ đồ này, POD sẽ nhận các phép đo về tần số hoặc điện áp tại POC hoặc phép đo công suất tác dụng của một đường dây lân cận. Tùy chọn, để cải thiện tính năng POD, điều khiển POD có thể nhận tín hiệu tần số và công suất tác dụng từ xa thông qua các PMU, theo các giao thức truyền thông thích hợp (IEC 61850 (tất cả các phần), IEEE C37.118™-2015) để có khả năng quan sát tốt hơn các hiện tượng dao động giữa các khu vực. Khi phép đo cục bộ cung cấp khả năng quan sát đủ/ tốt về các dao động, phép đo cục bộ nên được ưu tiên hơn tín hiệu từ xa. Điều khiển POD phải được cài đặt để chọn tín hiệu cục bộ hoặc từ xa và sẽ cung cấp công suất tác dụng hoặc phản kháng tương ứng để chống lại dao động.

9.3.4 Vận hành và điều khiển

Hệ thống EES sẽ bao gồm một hệ thống điều khiển để giảm dao động bằng cách điều chỉnh công suất tác dụng (POD-P) và điều chỉnh công suất phản kháng (POD-Q).

Các dao động cần được giảm sẽ nằm trong khoảng $[f_{POD_min}, f_{POD_max}]$. Giá trị điển hình cho khoảng này tùy thuộc vào từng loại dao động công suất đã được nêu trong phần 9.1.1.

Bộ điều khiển POD-P tạo ra một tín hiệu điều chế được chồng lên giá trị tham chiếu công suất tác dụng của đường dây Pref. Điều này gây ra sự điều chế công suất đầu ra chủ động của hệ thống EES, giảm dao động.

Bộ điều khiển POD-Q tạo ra một tín hiệu điều chế được chồng lên giá trị tham chiếu điện áp của đường dây Vref. Điều này gây ra sự điều chế công suất phản kháng đầu ra của hệ thống EES, giảm dao động. Khi sử dụng công nghệ có thể gây lão hóa, nên xem xét một vùng chết trong điều khiển để tránh vận hành quá mức hệ thống EES.

Bộ điều khiển POD sẽ dựa vào công suất đường dây chủ động (P) hoặc tần số hệ thống điện (f) làm tín hiệu đầu vào.

Yêu cầu cho điều khiển POD:

- POD_Q có thể được kích hoạt cùng với POD_P, và với các bộ điều khiển hệ thống còn lại (điều khiển công suất-tần số, điều khiển điện áp, v.v.) mà không có khả năng xảy ra lỗi.
- Bộ điều khiển POD có thể được kích hoạt/tắt bất kỳ lúc nào. Mọi thay đổi phải được thông báo đến/từ trung tâm điều khiển.
- Chức năng điều khiển này có thể được kích hoạt và tắt một cách mượt mà cả qua trạm điều khiển cục bộ và từ xa (SCADA), mà không có sự thay đổi đột ngột trong các đại lượng hoạt động.
- POD_Q không nên mất hiệu quả khi hoạt động đồng thời với Q(U), volt/var.
- Khi cần thiết, có thể sử dụng tín hiệu từ xa cho cả việc kích hoạt và điều chế công suất tác dụng và phản kháng.

- Phân phối dòng điện chủ động cho điều khiển công suất-tần số và POD-P sẽ có thể điều chỉnh và có thể thay đổi bất kỳ lúc nào. Công suất dành riêng cho bộ điều khiển POD-P nên có thể điều chỉnh và nhỏ hơn một giới hạn nhất định (P_{POD_limit}) trong giai đoạn hoạch định.
- Phân phối dòng điện phản kháng cho điều khiển điện áp và POD-Q sẽ có thể điều chỉnh và có thể thay đổi bất kỳ lúc nào. Công suất dành riêng cho bộ điều khiển POD-Q nên có thể điều chỉnh và nhỏ hơn một giới hạn tối đa (Q_{POD_limit}) trong giai đoạn hoạch định. Trong trường hợp có dao động cần được giảm và cần nhiều P hơn công suất có sẵn tại thời điểm này trong hệ thống, bộ điều khiển POD-P sẽ ưu tiên hơn điều khiển công suất-tần số và toàn bộ công suất tác dụng cần thiết đến giới hạn tối đa (P_{POD_limit}) phải được sử dụng cho việc giảm dao động.
- Trong trường hợp có dao động cần được giảm và cần nhiều Q hơn công suất có sẵn tại thời điểm này trong hệ thống, bộ điều khiển POD-Q sẽ ưu tiên hơn điều khiển điện áp và toàn bộ dòng điện phản kháng cần thiết đến giới hạn tối đa (Q_{POD_limit}) phải được sử dụng cho việc giảm dao động.

9.3.5 Giao diện truyền thông

Áp dụng 4.3.8.

Cần xem xét thêm khi sử dụng tín hiệu tần số và công suất từ xa, nhưng chúng không được cung cấp bởi trung tâm điều phối điều khiển. Do đó, trong trường hợp này, một cổng truyền thông bổ sung sẽ cần thiết cho mục đích này với các yêu cầu đặc biệt cho tín hiệu tần số và công suất, đáp ứng các yêu cầu IEC 61850 (tất cả các phần) hoặc IEEE C37.118-2015.

9.4 Xác định quy mô và các tham số kết quả của hệ thống EES

9.4.1 Xác định quy mô

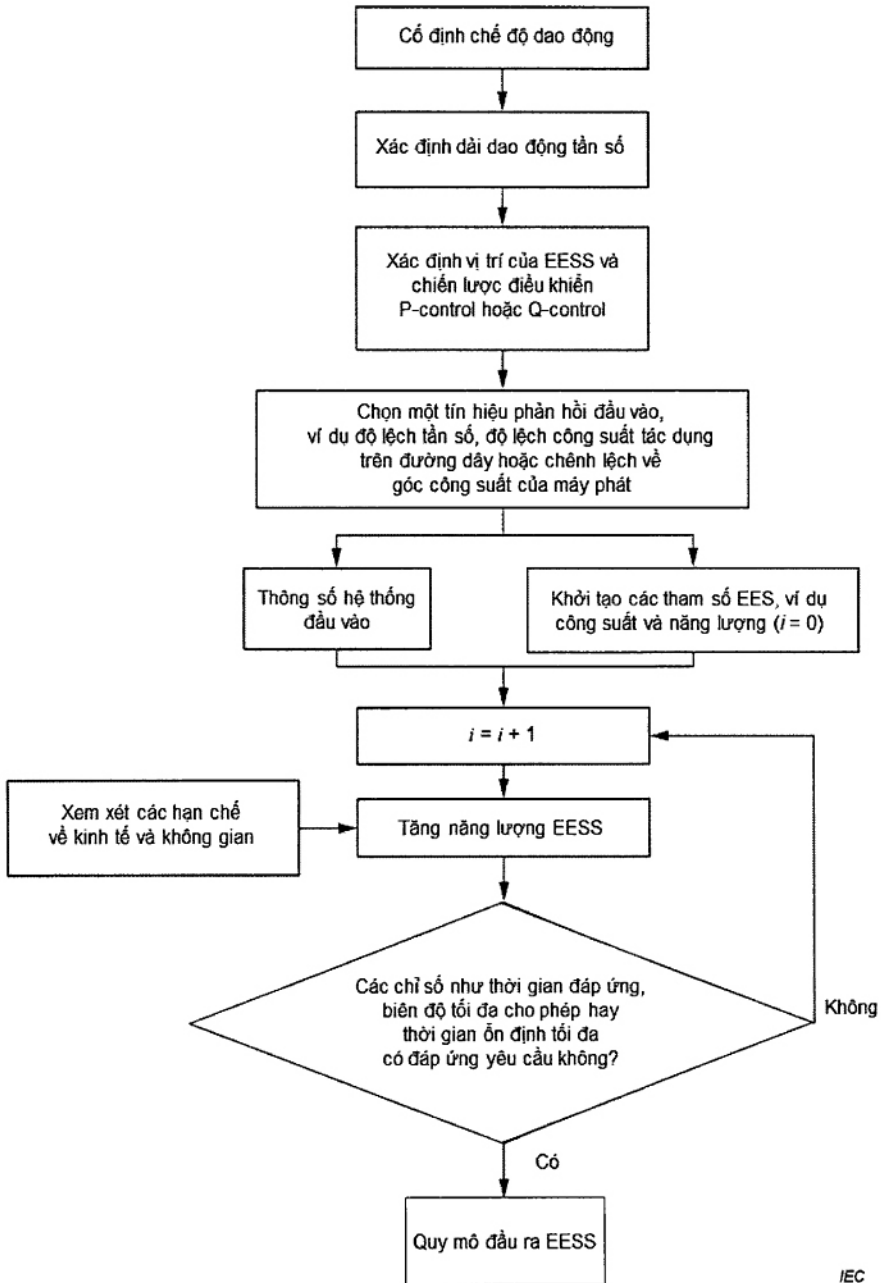
a) Quy định chung

- Năng lực lưu trữ của EESS nên được xác định theo chi phí, các hạn chế của địa điểm và các chỉ tiêu kỹ thuật cần đạt được (như thời gian đáp ứng, biên độ tối đa cho phép và thời gian ổn định tối đa, v.v.).
- Các nguyên tắc chung về vị trí lắp đặt EESS như sau:
 - Tốt hơn là lắp đặt thiết bị lưu trữ năng lượng ở đầu nhận công suất hơn là ở đầu truyền công suất trong cùng một điều kiện.
 - Việc lắp đặt EESS tại một nút có khoảng cách điện ngắn từ điểm sự cố sẽ có ảnh hưởng rõ rệt hơn đến độ ổn định của hệ thống điện khi có sự nhiễu nhỏ.
 - Lắp đặt EESS trên thanh cái của máy phát điện với hệ số tham gia lớn (liên quan đến dao động tần số thấp) cho thấy hiệu quả tốt hơn lên dao động tần số thấp.
 - Ưu tiên là lắp đặt EESS ở vị trí tải nhẹ.

CHÚ THÍCH: Khi khả năng POD là một phần của yêu cầu trong mã lưới để cho phép kết nối hệ thống EES với lưới điện, quá trình xác định quy mô cho ứng dụng POD sẽ tuân theo các thông số kỹ thuật về tính năng POD được bao gồm trong một hệ thống EES dự kiến cho các ứng dụng khác.

b) Quá trình xác định quy mô của EESS

Quá trình xác định quy mô tổng quát của hệ thống EES cho ứng dụng POD được hiển thị trong Hình 46.



Hình 46 – Ví dụ về quá trình xác định quy mô hệ thống EES cho ứng dụng POD

c) Yêu cầu đối với việc xác định quy mô

Các yêu cầu sau đây cần được tính đến để xác định dung lượng năng lượng của hệ thống EES cho ứng dụng POD và để xác định các vị trí tối ưu cho tính năng tối ưu của bộ điều khiển POD:

- Để xác định dao động cần được giảm chấn, tần số dao động nên nằm trong dải tần mà bộ điều khiển POD được thiết kế.
- Công suất tác dụng và phản kháng được sử dụng trong bộ điều khiển POD nên tỷ lệ thuận với biên độ của dao động (Δf). Thông thường, đại lượng cần giảm chấn là tần số hoặc công suất tác dụng. Ngoài ra, giá trị của tỷ lệ giảm chấn cho phép cần được xem xét. Ví dụ, một số quy tắc lưới điện chỉ ra rằng một dao động được chấp nhận nếu tỷ lệ giảm chấn lớn hơn 5%. Tỷ lệ giảm chấn được định nghĩa như sau:

$$\varepsilon (\%) = -\sigma \times \frac{100}{(\omega^2 + \sigma^2)^{\frac{1}{2}}}$$

trong đó σ là hệ số giảm chấn của thành phần mũ của dao động và $\omega = 2\pi \times f$.

- SCR (Tỷ lệ ngắn mạch = $SCC/P_{n, EESS}$) cần được xem xét khi xác định các điều khiển POD_P và POD_Q. Điều này sẽ xác định Q_{POD_limit} và P_{POD_limit} .
- Khả năng quan sát: Các hệ thống EES cần được đặt tại vị trí sao cho dao động có thể được quan sát bởi bộ điều khiển POD. Đối với các dao động liên vùng, các vị trí tốt nhất là những vị trí xa khỏi trung tâm dao động, tức là ở cuối các hệ thống bị ảnh hưởng bởi dao động. Trong một số trường hợp, nếu hệ thống EES được đặt tại một trạm biến áp không nằm ở cuối hệ thống, có thể cần sử dụng tín hiệu từ xa từ các điểm cuối của hệ thống để cải thiện khả năng quan sát.
- Khả năng điều khiển: Để giảm hiệu quả biên độ của dao động, cần đặt hệ thống EES tại trạm biến áp mà các loại dao động công suất có khả năng điều khiển tốt. Khả năng điều khiển POD cần được tính toán cho mỗi điểm đấu nối (POC) và các loại dao động, biên độ dao động dự kiến, v.v. Nó phải được xác định bởi nhà vận hành hệ thống.
- Sự lão hóa: Tùy thuộc vào công nghệ được sử dụng cho hệ thống EES và đặc tính dao động, hoạt động của POD có thể gây ra mất tuổi thọ đáng kể do số chu kỳ làm việc rất cao. Điều này cần được xem xét trong giai đoạn hoạch định để kiểm tra cách định nghĩa các điều khiển cho từng loại dao động và số lần hoạt động dự kiến.
- Trong một số trường hợp, phản hồi của bộ điều khiển POD-Q có thể bị giới hạn để tránh biến động điện áp vượt quá tiêu chí cho phép (các giá trị từ 4% đến 5% là điển hình).
- Để tăng tính năng của các bộ điều khiển POD, và để có khả năng đối phó với tình huống N-1, các hệ thống EES nên được phân tán tại nhiều địa điểm

9.4.2 Đặc tính và hạn chế của các hệ thống EES

Các đặc tính cụ thể cần xem xét khi triển khai ứng dụng POD bao gồm:

TCVN 14499-3-2:2025

- Tỷ lệ phần trăm của công suất tác dụng, $P_{\text{POD_limit}}$ (đầu vào/đầu ra) cho tính năng POD-P [$P_{\text{POD_limit}}$: lượng công suất tác dụng danh định được dành riêng cho POD-P].
- Tỷ lệ phần trăm của công suất phản kháng, $Q_{\text{POD_limit}}$ (đầu vào/đầu ra) cho tính năng POD-Q [$Q_{\text{POD_limit}}$: lượng công suất phản kháng danh định được dành riêng cho POD-Q].
- Tỷ lệ phần trăm dung lượng năng lượng dành cho POD.
- Thời gian trễ: Thời gian cần thiết để truyền tín hiệu đầu vào tới bộ điều khiển. Tần số dao động càng cao, thời gian trễ yêu cầu càng ngắn.
- Thời gian đáp ứng: Tần số dao động càng cao, thời gian đáp ứng yêu cầu càng ngắn. Trong trường hợp này, yêu cầu không phải là một bước ra công suất mà là đáp ứng dao động tần số bằng dao động công suất (P hoặc Q).
- Thời gian ổn định: Tần số dao động càng cao, thời gian ổn định yêu cầu càng ngắn. Có khả năng, đáp ứng của hệ thống EES trong ứng dụng này phải được mô tả tốt hơn khi thực hiện đánh giá theo dõi tín hiệu, do sự thay đổi công suất đầu ra cần thiết cho POD.

9.5 Tuổi thọ của các hệ thống EES

9.5.1 Lắp đặt

Áp dụng 4.5.2.

9.5.2 Đánh giá tính năng

a) Các chỉ số đánh giá trực tiếp

- Độ lệch góc quay của rôto máy phát
- Độ lệch vận tốc góc của rôto máy phát
- Tốc độ thay đổi vận tốc góc của rôto máy phát
- Độ lệch công suất truyền qua đường dây liên kết
- Độ lệch tần số tại các điểm nhất định của lưới điện

b) Các chỉ số đánh giá gián tiếp

- Biên độ dao động (J) trong chu kỳ tiếp theo, có thể được tính bằng:

$$J = \frac{1}{T} \int_{t=0}^t |P_{\text{line}} - P_{\text{line},0}| dt$$

trong đó

P_{line} là công suất trên đường dây liên kết tại thời điểm t

$P_{\text{line},0}$ là công suất trên đường dây liên kết tại thời điểm ban đầu

- Sự thay đổi của tỷ lệ giảm chấn có hoặc không có hệ thống EES.

9.5.3 Vận hành và điều khiển

Chế độ điều khiển này sẽ hoạt động ở chế độ độc lập. Tuy nhiên, nó có thể được kích hoạt và hủy kích hoạt mượt mà cả từ trạm vận hành cục bộ và từ xa (SCADA). Ngoài ra, một số đầu vào như điều chỉnh tần số cho tính năng POD, hệ số điều khiển, các khoảng chết có thể xảy ra và các giá trị của các thông số khác có thể được thiết lập cả tại chỗ và từ xa. Hình 47 minh họa một ví dụ về chiến lược điều khiển của hệ thống EES tham gia vào POD.

a) Các yêu cầu chung của POD, đến từ các quy phạm lưới điện hoặc quy định, phải được đáp ứng.

b) Chiến lược vận hành và điều khiển cụ thể trong Hình 47 như sau:

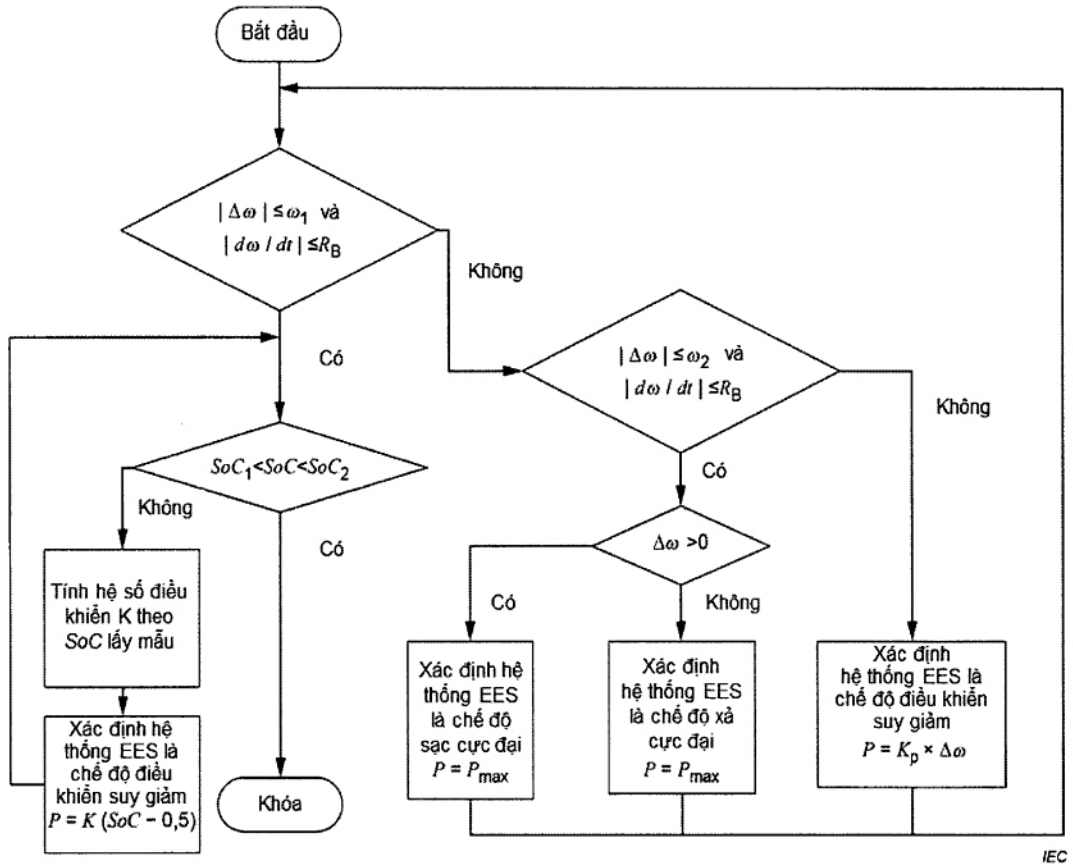
Các ngưỡng tốc độ rôto cụ thể ω_1 , ω_2 , $\Delta\omega_{max}$, và RB được thiết lập theo đơn vị cụ thể:

Nếu $\Delta\omega > \omega_2$ và $|d\omega/dt| > RB$, điều này có nghĩa là hệ thống đang thiếu công suất nghiêm trọng, hệ thống EES phải cung cấp công suất tác dụng kịp thời, và lệnh dòng điện của hệ thống EES phải ngay lập tức tăng lên giới hạn dòng điện tới I_d, max của bộ chuyển đổi lưu trữ năng lượng. Hệ thống EES sẽ liên tục cung cấp công suất dương tối đa P_{max} để hỗ trợ lưới điện nhằm giảm thiểu $\Delta\omega$ và $d\omega/dt$.

Nếu $\Delta\omega < -\omega_2$ và $|d\omega/dt| > RB$, điều này có nghĩa là hệ thống đang dư thừa công suất nghiêm trọng, hệ thống EES phải ngay lập tức nhận công suất từ hệ thống, và lệnh dòng điện của hệ thống EES phải ngay lập tức đảo ngược đến giới hạn dòng điện $-I_d, max$ để cung cấp công suất ngược tối đa $-P_{max}$ hỗ trợ lưới điện.

Nếu $\omega_1 < |\Delta\omega| \leq \omega_2$ và $|d\omega/dt| \leq RB$, hệ thống EES có thể chuyển sang chế độ điều chỉnh tốc độ và cung cấp mômen giảm chấn cần thiết cho lưới điện theo công thức $P=K_p \times \Delta\omega$. Dao động phải được giảm tiếp để cải thiện chất lượng tần số của lưới điện.

Nếu $\omega_0 - \omega_1 < \omega < \omega_0 + \omega_1$ và $|d\omega/dt| \leq RB$, điều này có nghĩa là quá trình dao động của hệ thống đã hoàn toàn kết thúc, và hệ thống EES ngay lập tức chuyển sang chế độ điều chỉnh SOC để đảm bảo rằng SOC (trạng thái sạc) được duy trì trong phạm vi hợp lý.



Hình 47 – Ví dụ về chiến lược điều khiển của hệ thống EES tham gia vào POD

CHÚ THÍCH: SOC chế độ nghỉ của hệ thống EES có thể được đặt ở mức trung bình (ví dụ, $SoC_1 = 0,4$ đến $0,45$ $SoC_2 = 0,5$ đến $0,55$), cho phép hệ thống EES tham gia vào cả hoạt động điều chỉnh tăng và giảm.

ω_1, ω_2 là giá trị tối đa và tối thiểu cho phép của độ lệch vận tốc quay (vòng/phút)

R_B là giá trị tối đa cho phép của $d\omega/dt$

K là hệ số tỷ lệ cho đặc tính $P-\Delta SOC$ của hệ thống EES (MW/Hz)

K_p là hệ số tỷ lệ cho đặc tính $P-\Delta \omega$ của hệ thống EES (MW/rpm)

9.5.4 Giám sát

Việc giám sát và bảo trì do việc triển khai ứng dụng này sẽ không khác biệt so với việc giám sát và bảo trì dự kiến của các ứng dụng khác, vì nó dự kiến phải được bổ sung vào các ứng dụng khác của các hệ thống EES trong hầu hết các trường hợp. Hơn nữa, hệ thống EES có thể hoạt động với tốc độ sạc hoặc xả rất lớn trong POD, do đó cần giám sát thêm nhiều tham số:

- a) nhiệt độ môđun;
- b) công suất sạc/xả tối đa.

Mọi thông tin trao đổi liên quan đến việc đo đạc POC địa phương và hoạt động của hệ thống trong các sự kiện POD phải được thực hiện theo các yêu cầu của quy phạm lưới điện hoặc nhu cầu của nhà vận hành.

Việc ghi chép nhật ký với độ chính xác phù hợp cho việc nghiên cứu các sự kiện sau này là rất được khuyến nghị.

Phụ lục A
(tham khảo)

Chỉ số tính năng chính có liên quan đến từng ứng dụng hệ thống EES

Đối với các chỉ số chính liên quan đến từng ứng dụng hệ thống EES, xem Bảng A.1.

Bảng A.1 – Các chỉ số có liên quan đến từng ứng dụng hệ thống EES

Chỉ số	Điều chỉnh tần số	Hỗ trợ điện áp lưới (Q(U), hỗ trợ vôn/var)	Hỗ trợ chất lượng điện năng (P(u), giảm thiểu sụt điện áp)	Ứng dụng liên quan đến tích hợp nguồn năng lượng tái tạo			Tắt dần dao động công suất (POD)
				Làm mịn nguồn năng lượng tái tạo (công suất)	Bám theo kế hoạch phát (sản lượng) hoặc ổn định nguồn năng lượng tái tạo	Hệ thống EES trong trạm sạc điện kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo	
Năng lượng lưu trữ	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Hiệu suất chu kỳ sạc xả	✓			✓	✓	✓	
Thời gian đáp ứng và tốc độ tăng giảm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tốc độ mất năng lượng chế độ chờ					✓	✓	
Tốc độ tự xả					✓	✓	
Sự thay đổi trạng thái sạc	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Hiệu suất chu kỳ sạc xả	✓			✓	✓		

của chu kỳ làm việc							
Bám theo tín hiệu chuẩn		✓		✓	✓		✓
Ổn định năng lượng	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Dung lượng xả		✓					
Dung lượng sạc		✓					
Dung lượng net		✓					
Công suất sạc lớn nhất	✓						
Công suất xả lớn nhất	✓		✓				

Phụ lục B
(tham khảo)

Phân quyền mặc định cho các vai trò

Đối với phân quyền mặc định cho các vai trò, xem Bảng B.1.

**Bảng B.1 – Phân quyền mặc định cho các vai trò
trong các trạng thái giám sát và bảo trì khác nhau**

Vai trò quyền hạn	Nhà vận hành hệ thống EES tiện ích	Người lập lịch công suất tiện ích	Nhà tổng hợp bên thứ ba	Nhà vận hành hệ thống EES	Nhân viên bảo trì	Nhà cung cấp hệ thống EES	Khách xem
Khi EESS ở trạng thái bình thường				X X			
Xem trạng thái vận hành hiện tại	√	√	√	√	√	√	
Đặt EESS vào trạng thái khóa				√			
Đặt hệ thống con của EESS vào chế độ bảo trì/kiểm tra				√	√		
Xem vai trò và quyền	√	√	√	√	√	√	
Sửa đổi vai trò và quyền				√		√	
Giám sát thông tin EESS cấp địa điểm				√	√	√	
Giám sát trạng thái, chế độ và đo lường EESS	√	√	√	√	√	√	√
Giám sát nhật ký hoạt động	√	√	√	√	√	√	
Giám sát nhật ký bảo mật							
Giám sát dữ liệu trong quá khứ	√	√	√	√			
Giám sát thông tin cấu hình				√	√	√	

Cập nhật tham số của các chế độ chức năng	√	√	√	√			
Kích hoạt các chế độ chức năng	√		√	√			
Vô hiệu hóa các chế độ chức năng	√		√	√			
Phát lệnh ngắt kết nối với lưới điện	√		√	√	√		
Phát lệnh kết nối với lưới điện				√			
Phát lệnh điều khiển hoạt động	√		√	√			
Gửi lịch trình	√		√	√			
Kích hoạt lịch trình	√		√	√			
Vô hiệu hóa lịch trình	√		√	√			
Thêm mục vào nhật ký hoạt động	√		√	√	√		
Thực hiện các thử nghiệm chẩn đoán					√		
Ban lệnh kiểm tra							
Bổ sung hoặc cập nhật phần mềm							
Cập nhật mức độ bảo mật							
Sửa đổi cấu hình							
Khi EESS ở trạng thái khóa				X			
				X			
Xem trạng thái vận hành hiện tại	√	√	√	√	√	√	√
Đặt EESS vào trạng thái khóa				√			

Đặt hệ thống con của EESS vào chế độ bảo trì/kiểm tra				√	√		
Xem vai trò và quyền				√	√	√	
Sửa đổi vai trò và quyền				√		√	
Giám sát thông tin EESS cấp địa điểm				√	√	√	
Giám sát trạng thái, chế độ và đo lường EESS	√		√	√	√	√	√
Giám sát nhật ký hoạt động				√	√	√	
Giám sát nhật ký bảo mật				√	√		
Giám sát dữ liệu trong quá khứ				√	√		
Cập nhật tham số của các chế độ chức năng				√			
Kích hoạt các chế độ chức năng				√			
Vô hiệu hóa các chế độ chức năng				√			
Phát lệnh ngắt kết nối với lưới điện	√		√	√	√		
Phát lệnh kết nối với lưới điện				√			
Phát lệnh điều khiển hoạt động				√			
Gửi lịch trình				√			
Kích hoạt lịch trình				√			
Vô hiệu hóa lịch trình				√			
Thêm mục vào nhật ký hoạt động				√	√		
Thực hiện các thử nghiệm chẩn đoán					√		

Ban lệnh kiểm tra							
Bổ sung hoặc cập nhật phần mềm							
Cập nhật mức độ bảo mật							
Sửa đổi cấu hình							
Khi EESS ở trạng thái cục bộ hoặc bảo trì				X			
				X			
Xem trạng thái vận hành hiện tại	√	√	√	√	√	√	
Đặt EESS vào trạng thái khóa				√			
Đặt hệ thống con của EESS vào chế độ bảo trì/kiểm tra				√	√		
Xem vai trò và quyền				√	√	√	
Sửa đổi vai trò và quyền				√		√	
Giám sát thông tin EESS cấp địa điểm				√	√	√	
Giám sát trạng thái, chế độ và đo lường EESS				√	√	√	√
Giám sát nhật ký hoạt động				√	√	√	
Giám sát nhật ký bảo mật				√	√		
Giám sát dữ liệu trong quá khứ				√	√		
Cập nhật tham số của các chế độ chức năng				√			
Kích hoạt các chế độ chức năng							
Vô hiệu hóa các chế độ chức năng				√			

Phát lệnh ngắt kết nối với lưới điện				√			
Phát lệnh kết nối với lưới điện							
Phát lệnh điều khiển hoạt động							
Gửi lịch trình							
Kích hoạt lịch trình							
Vô hiệu hóa lịch trình							
Thêm mục vào nhật ký hoạt động				√	√		
Thực hiện các thử nghiệm chẩn đoán					√	√	
Ban lệnh kiểm tra					√	√	
Bổ sung hoặc cập nhật phần mềm					√	√	
Cập nhật mức độ bảo mật					√	√	
Sửa đổi cấu hình					√	√	

Phụ lục C

(tham khảo)

Các yêu cầu bảo trì cụ thể liên quan đến công nghệ EES

C.1 Quy định chung

Phụ lục C cung cấp một số ví dụ về các yêu cầu bảo trì cho các công nghệ EES khác nhau. Các ngưỡng hoặc giá trị dưới đây chỉ mang tính tham khảo và có thể thay đổi theo từng công nghệ cụ thể.

C.2 Lưu trữ năng lượng điện hóa

C.2.1 Acquy axit chì

Các hạng mục kiểm tra bảo trì thường xuyên như sau:

- Trạng thái sạc (SOC)
 - SOC có thể được đặt trong khoảng từ 15 % đến 100 % hoặc trong phạm vi được nhà chế tạo quy định.
- Điện áp tối đa của cell
 - Điện áp tối đa của cell trong quá trình sạc có thể được đặt thấp hơn 2,35 V hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
- Điện áp tối thiểu của cell
 - Điện áp tối thiểu của cell trong quá trình xả có thể được đặt lớn hơn 1,75 V hoặc không nhỏ hơn 2,00 V khi hở mạch hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
- Chênh lệch điện áp mạch hở giữa các cell, trong quá trình xả và sạc
 - Các giá trị ngưỡng có thể được nhà vận hành hoặc nhà chế tạo quy định.
- Nhiệt độ tối đa của cell
 - Nhiệt độ tối đa của cell có thể được đặt thấp hơn 55 °C hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
- Nhiệt độ tối thiểu của cell
 - Nhiệt độ tối thiểu của cell có thể được đặt cao hơn -20 °C hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
- Chênh lệch nhiệt độ giữa các cell
 - Chênh lệch nhiệt độ giữa các cell có thể được đặt thấp hơn 3 °C hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
- Kiểm tra ngoại quan
 - Không có hiện tượng phồng rộp, không có vết nứt, không có hư hại, không có axit rò rỉ hoặc chảy, và bề mặt được giữ khô.

TCVN 14499-3-2:2025

- Các dấu hiệu trên tấm nhãn và các cực âm dương rõ ràng, và các cực được kết nối chắc chắn mà không bị biến dạng.
- Hàm lượng khí
 - Nồng độ hydro có thể được đặt không vượt quá 4 % thể tích trong không khí hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
 - Nếu giá trị phát thải khí trong thí nghiệm cao hơn giá trị đã giả định trong tiêu chuẩn này, thì yêu cầu thông gió phải được điều chỉnh, tức là tăng cường.
- Kiểm tra kết nối ac quy
 - Kiểm tra độ chặt của kết nối ốc vít: Độ chặt đúng của kết nối ốc vít cần phải đạt được trong quá trình lắp đặt, sử dụng vòng đệm lò xo hình nón và sử dụng cờ lê kiểm soát mômen xoắn cách điện. Giá trị mômen xoắn đúng như quy định của nhà chế tạo phải được thực hiện.
 - Trong quá trình vận hành của ac quy, không nên tiếp cận các bề mặt kim loại này bằng công cụ vì có thể xảy ra hiện tượng ngắn mạch. Thay vào đó, chất lượng kết nối đúng cần được kiểm tra bằng cách giám sát các kết nối bằng nhiệt kế hồng ngoại không tiếp xúc để phát hiện bất kỳ nhiệt độ cục bộ bất thường nào. Kiểm tra này nên được thực hiện trong quá trình xả.

Các hạng mục bảo trì định kỳ hàng quý và tiêu chí đánh giá như sau:

- Hộp điện và khối ac quy
 - Không có rò rỉ
 - Không có mùi lạ (như mùi hôi, mùi chua, mùi cháy, v.v.).
- Cấu trúc hệ thống
 - Không có gỉ sét, bẩn, biến dạng, hư hại hoặc thiếu bộ phận
 - Các bộ phận cơ khí có thể hoạt động bình thường
- Các bộ phận và thiết bị điện
 - Không có gỉ sét, bẩn, biến dạng, hư hại hoặc thiếu;
 - Không có sự lỏng lẻo hay lắp đặt không tin cậy;
 - Không có hiện tượng tan chảy, bốc khói hoặc cháy;
 - Hoạt động bình thường và tất cả các hướng dẫn đều đầy đủ.
- Dây nối
 - Không có bẩn, nhiễu, hư hại hoặc thiếu;
 - Không có sự lỏng lẻo hoặc kết nối và lắp đặt không tin cậy;

- Không có hiện tượng tan chảy hoặc bốc cháy.
- Các hạng mục khác
 - Kênh/đường ống không bị tắc;
 - Không có hiện tượng ngưng tụ hơi nước;
 - Quạt làm mát của hộp điện hoạt động bình thường;
 - Tất cả các khóa của hệ thống không có hiện tượng mở bất thường.
- Phân tích sự đồng nhất của acquy
 - Trong cùng một điều kiện, chênh lệch điện áp từ tối đa đến tối thiểu trong một module acquy không được vượt quá 100 mV hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
- Đo nhiệt độ:
 - Nhiệt kế hồng ngoại phải phù hợp với thiết bị chuẩn.
- Hiệu chuẩn âm kế:
 - Âm kế phải phù hợp với thiết bị chuẩn.
- Kiểm tra nguồn cung cấp UPS:
 - Xác định xem nó có bị hỏng hay không theo hướng dẫn của UPS.
- Kiểm tra hệ thống quản lý acquy:
 - Cầu dao không có hiện tượng nóng lên và ngắt;
 - Contactor có phản hồi tín hiệu bình thường, hoạt động nhạy, không bị đổi màu và không bị nóng;
 - Cầu chì phải dẫn điện bình thường và điện trở phải nằm trong khoảng bình thường;
 - Hệ thống quản lý acquy (BMS) có điện áp cung cấp ổn định và nguồn cung cấp liên tục, tin cậy;
 - Đơn vị điều khiển acquy (BCU)/Đơn vị quản lý acquy (BMU) hiển thị bình thường, không có báo động, và các kết nối cũng như các đường dây truyền thông không bị lỏng;
 - Đơn vị quản lý cụm acquy (BAMU) có độ nhạy cao, chức năng giám sát bình thường, và thiết lập các tham số báo động/bảo vệ một cách tin cậy.

C.2.2 Pin lithium ion

Các hạng mục kiểm tra bảo trì thường xuyên như sau:

- Trạng thái sạc (SOC)
 - SOC có thể được đặt từ 15 % đến 100 % hoặc trong phạm vi được nhà chế tạo quy định.
- Điện áp tích trữ

TCVN 14499-3-2:2025

- Điện áp tích trữ có thể được đặt từ $2,80\text{ V} \times N$ đến $3,60\text{ V} \times N$, trong đó N là số lượng cell, hoặc trong phạm vi được nhà chế tạo quy định.
- Chênh lệch điện áp giữa điện áp đầu ra của pin và điện áp tích trữ
 - Giá trị tuyệt đối của chênh lệch điện áp có thể được đặt nhỏ hơn 3 V hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
- Điện áp cell tối đa
 - Điện áp cell tối đa có thể được đặt nhỏ hơn $3,75\text{ V}$ hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
- Điện áp cell tối thiểu
 - Điện áp cell tối thiểu có thể được đặt lớn hơn $2,60\text{ V}$ hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
- Chênh lệch điện áp của các cell
 - Chênh lệch điện áp của các cell có thể được đặt nhỏ hơn 300 mV hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
- Nhiệt độ cell tối đa
 - Nhiệt độ cell tối đa có thể được đặt nhỏ hơn $55\text{ }^\circ\text{C}$ hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
- Nhiệt độ cell tối thiểu
 - Nhiệt độ cell tối thiểu có thể được đặt lớn hơn $0\text{ }^\circ\text{C}$ trong trạng thái sạc và $-30\text{ }^\circ\text{C}$ trong trạng thái xả, hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
- Chênh lệch nhiệt độ của các cell
 - Chênh lệch nhiệt độ của các cell có thể được đặt nhỏ hơn $5\text{ }^\circ\text{C}$ hoặc theo quy định của nhà chế tạo.
- Kiểm tra ngoại quan
 - Không có rò rỉ, không biến dạng, không nứt, không hư hại, không bẩn và giữ bề mặt khô ráo
 - Cục được kết nối chắc chắn mà không bị biến dạng.
- Tính toàn vẹn và tính hợp lệ của dữ liệu
 - Không thiếu dữ liệu;
 - Không có dữ liệu bất thường.
- Thông tin báo động
 - Các hạng mục bảo trì định kỳ nửa năm và tiêu chí đánh giá của acqy axit chì cũng áp dụng cho pin lithium ion.

C.2.3 Pin natri sulfua

Các hạng mục bảo trì và tiêu chí đánh giá như sau:

Thời gian bảo trì thường xuyên thường là một lần mỗi tháng. Tuy nhiên, thời gian này cần được xác định tùy thuộc vào điều kiện môi trường của pin.

- Tình trạng xung quanh pin natri sulfua
 - Không có vật liệu không cần thiết hoặc vật liệu dễ cháy.
- Ngoại hình của vỏ pin
 - Không có biến dạng hoặc gỉ sét nghiêm trọng trên vỏ.
- Hoạt động
 - Không có âm thanh lạ;
 - Không có mùi lạ.
- Điều hòa không khí
 - Không có bất thường trong ngoại quan hoặc tiếng ồn bất thường.
- Hệ thống
 - Không có hành vi bất thường hoặc cảnh báo.
- Làm sạch và thay thế bộ lọc
 - Làm sạch bộ lọc bằng tay, máy thổi hoặc máy hút bụi;
 - Làm sạch bộ lọc mỗi nửa năm và điều chỉnh tùy thuộc vào điều kiện xung quanh pin;
 - Thay thế bộ lọc bằng bộ lọc mới tùy thuộc vào điều kiện sử dụng của bộ lọc.

Các hạng mục bảo trì định kỳ và tần suất cần tuân theo yêu cầu của nhà chế tạo. Các hạng mục định kỳ thường bao gồm:

- Kiểm tra ngoại quan của vỏ, mạch (mạch chính và mạch phụ chính) và sự xâm nhập của nước mưa;
- Đo điện trở cách điện của mạch (mạch chính và mạch phụ chính);
- Kiểm tra hoạt động của thiết bị như quạt ac quy, v.v;
- Thay thế các bộ phận tiêu hao.

C.2.4 Pin dòng chảy

Các hạng mục bảo trì thường xuyên và tiêu chí đánh giá như sau:

Thời gian bảo trì thường xuyên thường là một lần mỗi tháng. Tuy nhiên, thời gian này cần được xác định tùy thuộc vào điều kiện môi trường của pin.

TCVN 14499-3-2:2025

- Khối pin
 - Hình thức không bị biến dạng hay hư hỏng;
 - Không có rò rỉ chất lỏng.
- Hệ thống chất lỏng
 - Không có biến dạng hoặc hư hại trong thiết bị cấu thành hệ thống chất lỏng như máy bơm, ống dẫn, bể chứa, van, v.v.;
 - Không có rò rỉ chất lỏng;
 - Mức chất lỏng trong bể chứa chất lỏng phải đáp ứng các yêu cầu đã chỉ định và mức nước chỉ định phải nhất quán với mức nước thực tế;
 - Giá trị áp suất khí bảo vệ phải đáp ứng các yêu cầu đã chỉ định.
- Hệ thống
 - Không có hành vi bất thường hoặc báo động.
- Khác
 - Không có điều kiện bất thường trong quá trình kiểm tra bằng mắt;
 - Không có âm thanh và mùi lạ trong quá trình hoạt động;
 - Kiểm tra tình trạng của các bộ lọc và làm sạch hoặc thay thế chúng tùy thuộc vào tình trạng ô nhiễm và điều kiện sử dụng.

Các hạng mục bảo trì định kỳ và tần suất phải được thực hiện theo yêu cầu của nhà chế tạo. Các hạng mục định kỳ thường bao gồm:

- Kiểm tra ngoại quan của vỏ bọc, mạch điện (mạch chính và mạch phụ);
- Đo điện trở cách điện của mạch (mạch chính và mạch phụ);
- Kiểm tra hoạt động của các thiết bị như bơm, quạt ac quy, van, cảm biến rò rỉ, v.v.;
- Thay thế các bộ phận tiêu hao.

C.3 Lưu trữ năng lượng cơ học

C.3.1 Lưu trữ năng lượng khí nén

Các hạng mục bảo trì và tiêu chí đánh giá như sau:

- Cần có phụ tùng cho các bộ phận tiêu hao của nhà máy lưu trữ năng lượng khí nén; cần thiết lập kho phụ tùng và kiểm tra hồ sơ định kỳ.
- Thời gian bảo trì thiết bị nhà máy lưu trữ năng lượng khí nén không được vượt quá một tháng và phải đáp ứng yêu cầu thời gian bảo trì của nhà chế tạo thiết bị.

- Bảo trì hàng ngày của máy nén cần đáp ứng các yêu cầu sau:
 - Thân máy nén phải sạch sẽ và không có bụi bẩn;
 - Tất cả các bu lông phải chắc chắn;
 - Độ cao dầu của đồng hồ báo mức dầu là bình thường, và không có bụi bẩn làm ảnh hưởng đến việc xác danh định dầu;
 - Tất cả các điểm đo trên thân máy nén phải bình thường mà không bị lỏng;
 - Hệ thống không khí tươi trong phòng biến tần phải duy trì sự ổn định của nhiệt độ phòng biến tần;
 - Quạt của thân biến tần phải được giữ sạch để tránh bị tắc nghẽn.
- Bảo trì hàng ngày của máy nén turbo cần đáp ứng các yêu cầu sau:
 - Thân máy nén turbo phải sạch sẽ và không có bụi bẩn;
 - Mạch dầu của mỗi bushing ổ bi của máy nén turbo phải thông suốt;
 - Tất cả các van xả của máy nén turbo phải linh hoạt mà không bị kẹt;
 - Chất lượng dầu bôi trơn máy nén turbo và dầu chịu lửa phải nằm trong giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn;
 - Tất cả các điểm đo trên thân máy nén turbo phải bình thường mà không bị lỏng;
 - Hệ thống niêm phong trục phải bình thường mà không bị rò rỉ.
- Bảo trì hàng ngày của thiết bị lưu trữ khí cần đáp ứng các yêu cầu sau:
 - Tốc độ giảm áp suất của thiết bị lưu trữ khí không được vượt quá giá trị thiết kế;
 - Tất cả các điểm đo của thiết bị lưu trữ khí phải bình thường mà không bị lỏng;
 - Thân van an toàn của thiết bị lưu trữ khí phải bình thường mà không có vật lạ.
- Bảo trì định kỳ của bộ trao đổi nhiệt cần đáp ứng các yêu cầu sau:
 - Thân bộ trao đổi nhiệt phải sạch sẽ và không có vật lạ;
 - Lớp cách nhiệt của thân bộ trao đổi nhiệt phải hoàn chỉnh và không bị hư hại;
 - Lớp cách nhiệt của thân bộ trao đổi nhiệt không được rò rỉ dầu thủy lực;
 - Lớp cách nhiệt của thân bộ trao đổi nhiệt không được có phần bị thấm dầu; nếu có, cần phải được thay thế kịp thời.

C.3.2 Lưu trữ năng lượng bằng bánh đà

Các yêu cầu bảo trì của thiết bị lưu trữ năng lượng bằng bánh đà như sau:

- Động cơ chính của thiết bị lưu trữ năng lượng bằng bánh đà
 - Các bộ phận kết nối không được lỏng lẻo;
 - Không phát hiện rung động rõ ràng trong quá trình vận hành của động cơ chính;
 - Hệ thống điều khiển không có lỗi hoặc báo động trong quá trình vận hành.
- Các thành phần điện của thiết bị lưu trữ năng lượng bằng bánh đà
 - Không có phần nào bị thiếu, hư hại, ăn mòn hoặc bẩn của các thành phần điện, và các đầu nối dây phải chắc chắn và không có bất thường;
 - Lưới lọc của tủ điện cần được làm sạch hoặc thay thế định kỳ.
- Bảo trì ổ trục
 - Nếu có các bộ phận ổ trục cơ khí trong hệ thống ổ trục, cần tiến hành bảo trì định kỳ theo yêu cầu thời gian vận hành liên tục của ổ trục thiết bị;
 - Thiết bị phụ trợ của thiết bị lưu trữ năng lượng bằng bánh đà;
 - Nên thực hiện kiểm tra định kỳ hàng năm. Nếu chu kỳ kiểm tra và bảo trì của thiết bị phụ trợ ít hơn 1 năm, cần thực hiện kiểm tra và bảo trì theo chu kỳ tối thiểu;
 - Nếu áp dụng chế độ làm mát bằng nước, cần kiểm tra và xác nhận hoạt động bình thường của máy làm lạnh nước, mức nước làm mát bình thường và xác nhận không có rò rỉ ống dẫn nước làm mát;
 - Nếu áp dụng chế độ làm mát bằng không khí cưỡng bức, cần kiểm tra và xác nhận quạt làm mát hoạt động bình thường;
 - Kiểm tra và xác nhận máy bơm chân không hoạt động bình thường.

C.4 Lưu trữ điện năng

C.4.1 Lưu trữ năng lượng bằng siêu tụ

Các hạng mục bảo trì và tiêu chí đánh giá như sau.

- Bảo trì các môđun siêu tụ cần đáp ứng các yêu cầu sau:
 - Môđun tụ điện không được biến dạng hoặc hư hại về ngoại quan, và các biện pháp cố định phải tốt.
 - Tụ điện không có rò rỉ.
 - Độ đồng đều điện áp của các siêu tụ trong cùng một môđun phải đáp ứng yêu cầu về vận hành và bảo trì.
 - Độ đồng đều nhiệt độ của hệ thống siêu tụ phải đáp ứng yêu cầu về vận hành và bảo trì.

- Tính năng cách điện của môđun và hệ thống siêu tụ phải đáp ứng các yêu cầu của các tiêu chuẩn liên quan.
- Bảo trì hệ thống quản lý nhiệt của siêu tụ
 - Bảo trì hệ thống quản lý nhiệt của siêu tụ cần đáp ứng các yêu cầu sau:
- Hệ thống làm mát:
 - Máy điều hòa, quạt và các thiết bị làm mát khác phải hoạt động bình thường mà không có cảnh báo.
 - Nhiệt độ môi trường làm việc của siêu tụ phải đáp ứng yêu cầu thiết kế.
 - Nhiệt độ tối đa và tối thiểu của hệ thống siêu tụ phải đáp ứng yêu cầu thiết kế.
- Bảo trì cáp của hệ thống siêu tụ phải tuân theo các quy định sau:
 - Các phần kết nối của công tắc, thanh bus, mối nối cáp và các bộ phận khác không được có sự lỏng lẻo, hư hỏng, ăn mòn hoặc các hiện tượng bất thường khác. Các điểm đấu nối điện lỏng cần được gia cố lại, và các bộ phận bị hư hại nghiêm trọng cần được thay thế. Kết nối của mỗi bộ phận phải tin cậy sau khi sửa chữa và bảo trì;
 - Cáp kết nối không bị hư hại, quá nhiệt hoặc lão hóa;
 - Cầu chì trong tình trạng tốt;
 - Cáp được kết nối đúng cách, và nhãn mác rõ ràng và nguyên vẹn.
- Bảo trì hệ thống quản lý siêu tụ cần đáp ứng các yêu cầu sau:
 - Các công tắc, đầu nối và cáp của hệ thống giám sát phải không có sự lỏng lẻo, hư hỏng, ăn mòn, quá nhiệt, lão hóa hoặc kết nối sai, và các thành phần hỏng cần được thay thế khi cần thiết;
 - Không có bụi trên bảng điều khiển, trong khi không có hiện tượng quá nhiệt, ăn mòn, lỏng lẻo hoặc hư hỏng trên các thành phần;
 - Các dụng cụ đo lường và cảm biến cần được hiệu chuẩn chính xác;
 - Độ sai lệch giữa giá trị tham số hiển thị của hệ thống quản lý siêu tụ và giá trị hiển thị của dụng cụ đo là trong phạm vi hợp lý;
 - Trạng thái hiển thị của môđun điều khiển là chính xác, đặc tính hành động tốt và hoạt động của hệ thống là bình thường;
 - Giới hạn cảnh báo, bảo vệ hoặc ngắt kết nối được thiết lập đúng và đáp ứng yêu cầu thiết kế, như điện áp, dòng điện, SOC, giới hạn nhiệt độ, áp suất, v.v.

C.4.2 Lưu trữ năng lượng từ trường siêu dẫn (SMES)

Các yêu cầu bảo trì cho thiết bị lưu trữ năng lượng từ trường siêu dẫn như sau:

- **Môđun nam châm siêu dẫn**
 - Kiểm tra ngoại quan của các kết nối và cách điện;
 - Không có vấn đề ngắn mạch hoặc mạch hở trong bài kiểm tra dẫn điện tổng thể;
 - Giá trị dòng điện quan trọng được hiệu chuẩn định kỳ;
 - Kiểm tra xem cách điện có bị lão hóa hay không, bao gồm kiểm tra ở nhiệt độ bình thường và kiểm tra ở nhiệt độ hoạt động;
 - Kiểm tra xem phân bố từ trường có nhất quán với giá trị thiết kế hay không;
 - Nếu phần dẫn điện hoặc phần cách điện của nam châm siêu dẫn cần phải được thay thế, vật liệu dẫn điện sẽ phải thực hiện kiểm tra toàn diện về các đặc tính điện, từ, nhiệt và cơ học kết hợp với môi trường hoạt động của nam châm siêu dẫn, và vật liệu cách điện sẽ phải thực hiện kiểm tra toàn diện về các đặc tính kết hợp với phạm vi nhiệt độ hoạt động và môi trường chân không của nam châm.
- **Môđun nhiệt độ thấp**
 - Kiểm tra khả năng kín của Dewar đối với các chất lỏng cryogenic hoặc duy trì chân không;
 - Không có âm thanh và rung động bất thường trong quá trình vận hành của máy lạnh, và đầu ra công suất là bình thường;
 - Kiểm tra môi chất nhiệt độ thấp để xác minh các đặc tính của nó phù hợp với yêu cầu thiết kế SMES;
 - Bộ bơm chân không không có âm thanh và rung động bất thường trong quá trình hoạt động, và giá trị chân không của Dewar đáp ứng tiêu chuẩn;
 - Không có âm thanh và rung động bất thường trong quá trình vận hành của máy làm mát nước, mức nước làm mát và nhiệt độ nước là bình thường, và không có rò rỉ trong đường ống.
- **Môđun điện**
 - Các thành phần điện của bộ chuyển đổi không có bụi bẩn, ăn mòn, hư hỏng và các bộ phận thiếu, các đầu nối dây điện chắc chắn không có bất thường;
 - Việc ngắt kết nối và đóng của công tắc siêu dẫn có thể kiểm soát và tính năng đáp ứng yêu cầu thiết kế, tức là, khả năng chịu điện áp đáp ứng yêu cầu thiết kế khi công tắc được ngắt, và khả năng mang dòng điện và giá trị điện trở quan trọng đáp ứng yêu cầu thiết kế khi công tắc được đóng.
- **Môđun giám sát**
 - Các cảm biến được đặt chính xác và tin cậy và được hiệu chuẩn định kỳ, cấp tín hiệu và phích cắm được kết nối chắc chắn không bị hư hỏng;

- Phần mềm và phần cứng của hệ thống giám sát hoạt động bình thường, và không có thiết bị nào bị ngắt kết nối;
- Dữ liệu phát hiện nằm trong khoảng bình thường.

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] IEC 60050-601, *Vocabulary related to electricity generation, transmission, and distribution, providing definitions and terminology.*
- [2] IEC 60050-617, *Vocabulary focused on the organization and market aspects of electricity; detailing terms used in electricity markets.*
- [3] IEC 60364-5-51, *Guidelines for the selection and installation of electrical equipment in buildings, outlining common rules.*
- [4] IEC 60721-3-3, *Classification of environmental conditions for stationary equipment, addressing parameters and their severities.*
- [5] IEC/TR 61000-2-8, *Insights into voltage dips and short interruptions in public power supply systems, including statistical data.*
- [6] IEC 61000-4-11, *Testing techniques for equipment immunity against voltage dips, short interruptions, and voltage variations.*
- [7] IEC/TS 62749, *Assessment of power quality characteristics of electricity supplied by public networks.*
- [8] IEC 62933-2-1, *Specifications and testing methods for electrical energy storage (EES) systems.*
- [9] IEC/TS 62933-4-1, *Guidance on environmental issues related to EES systems.*
- [10] Commission Regulation (EU) 2017/1485, *Guidelines for electricity transmission system operation within the EU.*
- [11] ENTSO-E, *Load-frequency control and performance.*
- [12] EPRI 3002013530, *Energy Storage Integration Council (ESIC) Energy Storage Test Manual.*
- [13] EPRI 1021936, *Function Requirements for Electric Energy Storage Applications on the Power System Grid.*
- [14] IEEE P2030.2, *Guidelines for interoperability of energy storage systems with the electric power infrastructure.*
- [15] MESA, *ESS Specification, December 2018 Draft.*
- [16] PNM Final Technology Performance Report, Smart Grid Demonstration Project, Public Service Company of New Mexico – *PV Plus Battery for Simultaneous Voltage Smoothing and Peak Shifting.*
- [17] PNNL-22010 Rev 2/SAND2016-3078 R, *Protocol for measuring and expressing the performance of energy storage systems uniformly.*
- [18] SAND2013-5131 DOE/EPRI 2013, *Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA.*
- [19] SAND2016-3078R, *Protocol for Uniformly Measuring and Expressing the Performance of Energy Storage Systems.*

[20] SAND2016-3474, *Determination of Duty Cycle for Energy Storage Systems in a PV Smoothing Application.*

[21] SAND2014-2883, *Performance Assessment of the PNM Prosperity Electricity Storage Project – A Study for the DOE Energy Storage Systems Program.*

[22] SAND2016-3636, *Determination of Duty Cycle for Energy Storage Systems in a Renewables (Solar) Firming Application.*

