NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

Họ và tên NCS: Trần Viết Thành

Tên đề tài luận án: *Nghiên cứu đề xuất các giải pháp điều khiển thiết bị tích trữ điện năng nhằm nâng cao ổn định hệ thống điện khi có sự tích hợp nguồn năng lượng tái tạo*

Ngành đào tạo: Kỹ thuật điện

Mã số: 9520201

Cơ sở đào tạo: Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng

Người hướng dẫn 1:

- Họ và tên: PGS.TS Nguyễn Hữu Hiếu
- Cơ quan công tác: Đại học Bách Khoa Đà Nẵng, Đại học Đà Nẵng

Người hướng dẫn 2:

- Họ và tên: TS Lê Cao Quyền
- Cơ quan công tác: Công ty Cổ phần Tư vấn xây dựng Điện 4

Hiện nay, việc sử dụng các thiết bị tích trữ điện năng để nâng cao ổn định hệ thống điện có tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo (NLTT) đang được các nhà khoa học, kỹ sư và chuyên gia trong nước cũng như trên thế giới quan tâm, do tỷ trọng các nguồn này trong hệ thống điện tăng nhanh, trong khi các giải pháp kỹ thuật bảo đảm ổn định tần số, chất lượng điện năng và an toàn vận hành lưới điện trước tính biến động, khó dự báo của NLTT còn hạn chế. Về lý thuyết, luận án phân tích cơ chế suy giảm quán tính và mất ổn định tần số trong hệ thống điện có tỷ trọng NLTT cao, xây dựng mô hình điều khiển cho hai loại thiết bị tích trữ điện năng là hệ thống pin lưu trữ năng lượng (BESS) và nhà máy thủy điện tích năng (TĐTN), cùng chiến lược vận hành phối hợp giữa chúng. Về thực tiễn, các mô hình được kiểm chứng trên lưới điện chuẩn IEEE 39-Bus đã sửa đổi và lưới điện thực tế Việt Nam (hệ thống 500/220kV khu vực Tây Nguyên và khu vực Ninh Thuận có TĐTN Bác Ái), làm cơ sở tham khảo cho công tác tư vấn, quy hoạch và vận hành hệ thống điện có tỷ trọng NLTT cao. Những đóng góp chính của luận án như sau:

1. Đóng góp của luận án về lý thuyết

Đóng góp thứ nhất của luận án về lý thuyết là phát triển mô hình điều khiển BESS theo nguyên lý độ sụt giảm phi tuyến thích ứng có phản hồi trạng thái sạc (SOC), với các vòng điều khiển nối tầng: Công suất tác dụng – Tần số, Công suất tác dụng – Công suất phản kháng, Công suất phản kháng – Điện áp và Vòng dòng điện. Đặc tính điều khiển thay đổi theo độ lệch tần số và SOC, nhờ đó BESS phản ứng mạnh khi độ lệch tần số lớn và hạn chế sạc/xả không cần thiết khi dao động nhỏ. Mô hình giảm tốc độ thay đổi tần số (Rate of Change of Frequency – RoCoF) trung bình khoảng 23 – 52% so với khi không có BESS.

Đóng góp thứ hai của luận án về lý thuyết là xây dựng mô hình điều khiển nhà máy TĐTN tốc độ thay đổi (VS-PSHP) kết hợp bài toán tối ưu đa mục tiêu bằng thuật toán Di truyền (chi phí nhiên liệu – phát thải CO_2 – tổn thất năng lượng) để xác định chế độ bơm/phát tối ưu của TĐTN Bác Ái. Từ đó làm rõ vai trò phủ đỉnh – điền đáy và hỗ trợ ổn định tần số

của TĐTN so với các phương án sử dụng nhiệt điện than và LNG.

Đóng góp thứ ba của luận án về lý thuyết là đề xuất Chiến lược vận hành phối hợp (COS) BESS – TĐTN dựa trên mức năng lượng dư thừa (Es)/thiếu hụt (Ed) của các nguồn NLTT, phân vai hai thiết bị theo thang thời gian: BESS đảm nhận các biến động nhanh, ngắn hạn; TĐTN đảm nhận cân bằng năng lượng trong chu kỳ dài và quá trình phục hồi tần số sau sự cố.

2. Đóng góp của luận án về phương pháp

Đóng góp thứ nhất của luận án về phương pháp là xây dựng và mô phỏng mô hình điều khiển BESS đề xuất trên phần mềm DIgSILENT PowerFactory, so sánh với mô hình CBEST và trường hợp không có BESS trên lưới điện chuẩn IEEE 39-Bus đã sửa đổi và lưới điện 500/220kV khu vực Tây Nguyên qua sáu kịch bản (mây che phủ nhà máy điện mặt trời, mất tổ máy phát, mất phụ tải, sự cố máy biến áp). Mô hình đề xuất cho tần số cực trị tốt hơn mô hình CBEST ở cả sáu kịch bản và đáp ứng yêu cầu của Thông tư 25/2016/TT-BCT.

Đóng góp thứ hai của luận án về phương pháp là kết hợp đồng thời ba mục tiêu chi phí nhiên liệu, phát thải CO_2 và tổn thất năng lượng trong một bài toán tối ưu đa mục tiêu giải bằng thuật toán Di truyền, xác định tập nghiệm Pareto thay vì tối ưu riêng từng mục tiêu. Đồng thời đánh giá hiệu quả kinh tế theo tổng chi phí vận hành quy về giá trị hiện tại (TCO) trong 20 năm và phân tích độ nhạy theo tỷ suất chiết khấu.

Đóng góp thứ ba của luận án về phương pháp là mô phỏng chiến lược COS trên mô hình lưới điện khu vực Ninh Thuận trong DIgSILENT PowerFactory với dữ liệu phụ tải và nguồn NLTT theo giờ của hai tháng điển hình (tháng 3 và tháng 11) và kịch bản ngắn mạch thoáng qua tại thanh cái 500kV Ninh Sơn, cho phép đánh giá đồng thời vai trò của BESS – TĐTN đối với mức mang tải đường dây truyền tải và ổn định tần số.

3. Đóng góp của luận án về ứng dụng thực tiễn

Đóng góp thứ nhất của luận án về thực tiễn là mô hình điều khiển BESS đề xuất, cùng khung vận hành SOC 20 – 85% và cơ chế phản hồi SOC, có thể được tham khảo khi xây dựng, cập nhật quy định đấu nối, vận hành BESS và khi lập lệnh điều độ đối với BESS, đặc biệt tại các khu vực có tốc độ thay đổi tần số cao do tích hợp nguồn NLTT lớn.

Đóng góp thứ hai của luận án về thực tiễn là các kết quả tính toán cho TĐTN Bác Ái: chế độ vận hành tối ưu khoảng 9 giờ bơm và 7 giờ phát mỗi ngày; TCO trong 20 năm thấp hơn phương án xây mới nhà máy LNG cùng quy mô khoảng 2.913 triệu USD (tỷ suất chiết khấu 10%/năm) và gần tương đương phương án tận dụng các nguồn nhiệt điện hiện hữu; Khi mây che làm suy giảm khoảng 5.000 MW công suất điện mặt trời khu vực Ninh Thuận, TĐTN giữ tần số trong khoảng 48,4 – 50,8 Hz (khi không có TĐTN là 45,8 – 53,4 Hz). Đây là căn cứ tham khảo cho các đơn vị tư vấn, quy hoạch và điều độ khi lập biểu đồ huy động nguồn.

Đóng góp thứ ba của luận án về thực tiễn là chiến lược COS áp dụng cho lưới điện khu vực Ninh Thuận giảm mức mang tải cực đại của hai đường dây 500kV Vĩnh Tân – Đồng Nai và Vĩnh Tân – Hồng Phong từ 111 – 117,8% xuống không quá 91,5%, hạn chế cắt giảm

công suất NLTT do quá tải lưới; Khi ngắn mạch thoáng qua, tần số cực tiểu tăng từ 49,891 Hz lên 49,903 Hz và thời gian xác lập rút ngắn từ khoảng 1,0 s xuống 0,4 s. Kết quả có thể tham khảo cho các khu vực có mật độ NLTT cao tương tự như Tây Nguyên, Nam Trung Bộ.

4. Đóng góp của luận án về tri thức khoa học

Đóng góp thứ nhất của luận án về tri thức khoa học là làm rõ vai trò của điện áp, công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q, bên cạnh SOC, trong điều khiển BESS (mô hình CBEST chỉ xét SOC và Q), làm cơ sở xây dựng mô hình điều khiển BESS phản ánh sát đặc tính vận hành thực tế.

Đóng góp thứ hai của luận án về tri thức khoa học là làm rõ cơ chế bổ trợ giữa BESS và TĐTN theo cả năng lượng và thời gian: trong ngày điển hình, TĐTN hấp thụ khoảng 85% điện năng dư thừa được tích trữ, BESS đảm nhận phần nhỏ và các biến động ngắn hạn. Khi sự cố, BESS đạt công suất cực đại 417,3 MW sau khoảng 5 ms để kìm hãm suy giảm tần số, TĐTN đạt 742,1 MW sau khoảng 0,56 s để phục hồi tần số. Cách phân vai này giúp khắc phục hạn chế của từng công nghệ khi vận hành độc lập.

Đà Nẵng, ngày 18 tháng 11 năm 2026

Nghiên cứu sinh

Trần Viết Thành