Cấu trúc điều khiển quá trình trao đổi công suất hữu công của thiết bị kho điện sử dụng siêu tụ tích hợp trong hệ thống điện ốc đảo nguồn phát hỗn hợp gió – diesel

A control structure of active power exchange of a supercapacitor energy storage system integrated in hybrid wind-diesel isolated power systems

Phạm Tuấn Anh[1, 2], Nguyễn Phùng Quang[1]
[1]Hanoi University of Science and Technology
[2]Vietnam Maritime University
Email: phamtuananh@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Điện năng ở những khu vực hải đảo (nơi mà lưới điện quốc gia không vươn tới) thường sinh ra bởi các tổ hợp phát điện diesel. Năng lượng gió được xem là tiềm năng để bổ sung cho hệ thống điện hải đảo – RAPS. Biến động công suất tác dụng đầu ra hệ phát điện sức gió (PĐSG) làm ảnh hưởng tiêu cực đến tính ổn định tần số lưới trong RAPS do tác động điều chỉnh của bộ điều tốc diesel không theo kịp biến động nhanh và bất thường của gió. Thiết bị kho điện sử dụng siêu tụ được điều khiển trao đổi công suất hai chiều cho phép ổn định ngắn hạn công suất tác dụng đầu ra hệ PĐSG giúp cải thiện tính ổn định của tần số lưới là đối tượng nghiên cứu của bài báo này.

Từ khóa: Hệ thống điện hải đảo, hệ thống phát điện sức gió, tổ hợp phát điện diesel, thiết bị kho điện.

Abstract: Diesel-based power generation is popular on an island (where located far from the nation electrical grid). Wind energy is potential source contributed to remote area power systems (RAPS) on islands. Output active power fluctuations of wind energy conversion systems negatively affect on grid frequency because governor actions can hardly keep pace with wind variation. Supercapacitor energy storage systems have the ability to stabilize grid frequency in RAPS via controlled bidirectional active power exchanging process.

Keywords: Remote area power systems, wind energy conversion systems, diesel-generator set, energy storage systems

Chữ viết tắt

RAPS	Remote Area Power Systems
PĐSG	Phát điện sức gió
ESS	Energy Storage Systems

1. Đặt vấn đề

Điện năng giữ một vai trò then chốt trong phát triển kinh tế xã hội. Nhưng hơn 1,3 tỷ người trên thế giới vẫn chưa được tiếp cận với điện [1, 2] ở những khu vực xa xôi như các hải đảo, vùng núi cao, vùng băng tuyết - những nơi mà lưới điện quốc gia không có khả năng vươn tới. Hệ thống điện ở những khu vực đó tạm gọi tên là hệ thống điện ốc đảo hay Remote Area Power Systems (RAPS)[3]. Nguồn điện trong RAPS sinh ra từ các tổ hợp phát điện diesel, quy mô phụ tải nhỏ và vừa, lưới điện có dung lượng hạn chế mang tính chất lưới yếu độc lập hoàn toàn với lưới điện quốc gia mang tính chất lưới cứng. Các nguồn năng lượng tái tạo đặc biệt là năng lượng gió được xem là tiềm năng để bổ sung cho hệ thống điện ốc đảo. RAPS thông thường lấy nguồn năng lượng từ tổ hợp phát điện diesel làm nền (là nguồn cung cấp năng lượng chính), nguồn năng lượng từ hệ thống phát điện sức gió (PĐSG) được huy động để giảm thiểu lượng tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch[4, 5].. Khi nguồn phát sức gió được huy động cùng với nguồn phát diesel, sự chia sẻ công suất tác dụng giữa các nguồn phát (với đặc điểm công suất cơ sản sinh từ turbine gió biến động theo tốc độ gió thất thường, ngẫu nhiên [6, 7]) dẫn tới đòi hỏi điều chỉnh công suất liên tục đưa tới hệ thống điều khiển tốc độ của động cơ diesel để điều chỉnh công suất cơ của động cơ sơ cấp. Trong khi đó ở RAPS, nguồn phát diesel đóng vai trò hình thành lưới, tần số lưới tỷ lệ với tốc độ quay của động cơ sơ cấp diesel. Chính hiện tượng điều chỉnh liên tục công suất nguồn phát làm cho tần số lưới luôn biến động gây suy giảm nghiêm trọng chất lượng điện năng, ảnh hưởng tiêu cực đến sự hoạt động của các thiết bị điện cũng như chính bản thân tuổi thọ của động cơ diesel[5].

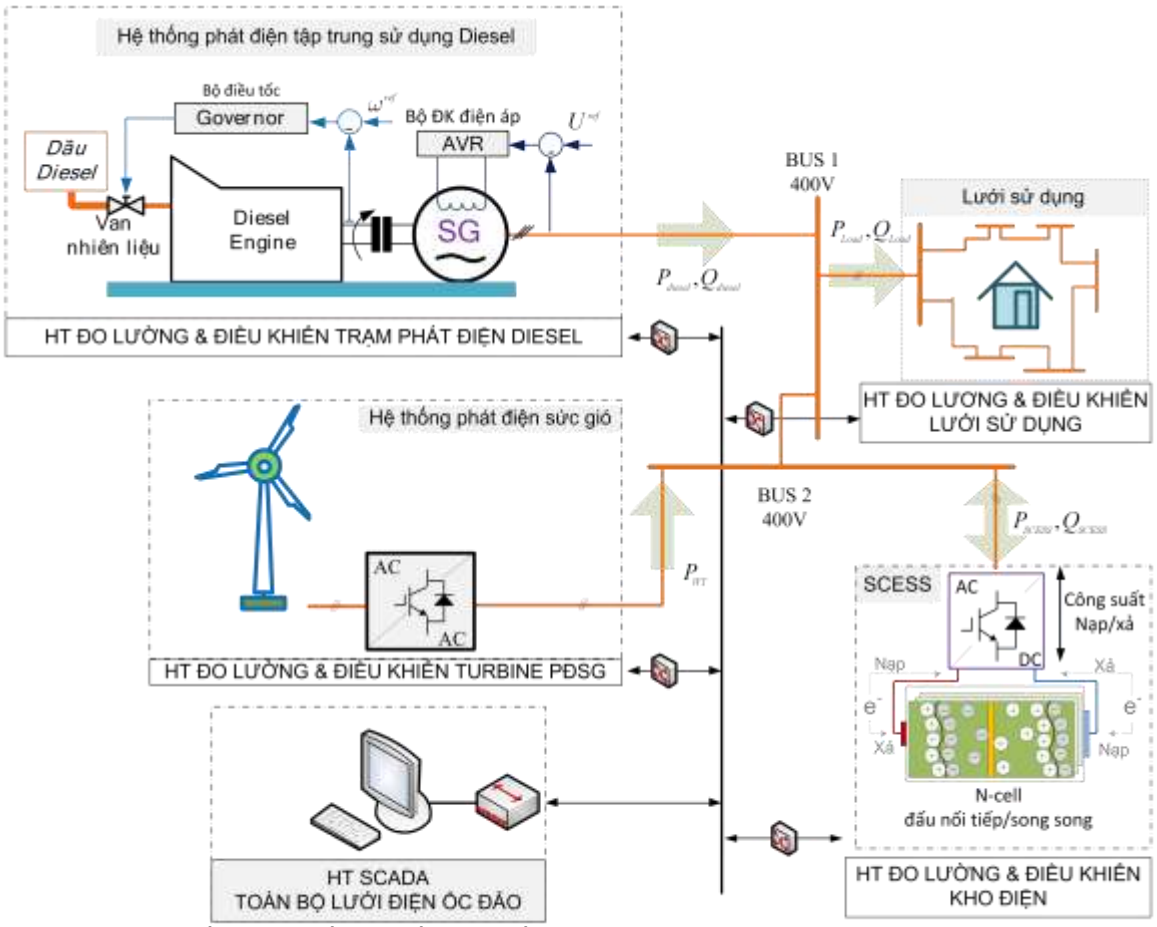
Giải pháp điều độ nguồn phát sức gió là không khả thi, thay vào đó người ta sử dụng giải pháp "*vá – patch*" những biến động của công suất tác dụng đầu ra hệ PĐSG bằng thiết bị kho điện: tích hợp kho điện tại từng turbine PĐSG (bù phân tán) hoặc tích hợp kho điện tại bus chung của các nguồn phát (bù tập trung). Kho điện sẽ hấp thụ công suất khi nguồn sơ cấp dư thừa và giải phóng công suất khi nguồn sơ cấp thiếu hụt. Khả năng "*vá*" những khoảng lỗi lõm đến đâu, trong thời gian bao lâu phụ thuộc vào mục tiêu điều độ cấp trên như: Ổn định ngắn hạn, ổn định theo đặc điểm phụ tải, ổn định theo mùa…Theo [5, 6, 8-10] thiết bị kho điện lúc này đóng vai trò là một hệ thống phụ trợ, một chức năng mở rộng của hệ thống phát điện sức gió. Kho điện được điều khiển nạp/xả một cách hợp lý để hỗ trợ ổn định công suất đầu ra của turbine PĐSG. Điều khiển quá trình trao đổi năng lượng giữa kho điện với lưới bản chất là quá trình

điều khiển các bộ biến đổi điện tử công suất DC-DC và DC-AC. Thuật toán lọc thông thấp sẽ được sử dụng để xác định lượng đặt công suất (tầng điều khiển cấp thiết bị) cho tầng điều khiển cấp bộ biến đổi. Bài báo này sẽ giới thiệu một số kết quả nghiên cứu về vấn đề sử dụng thiết bị kho điện bù phân tán. Quá trình trao đổi công suất hai chiều giữa kho điện với lưới với cấu trúc điều khiển phù hợp giúp hỗ trợ ổn định tần số trong lưới điện hải đảo nguồn phát hỗn hợp gió-diesel.

2. Cấu trúc hệ thống điện hải đảo RAPS

Để minh họa cho chức năng của ESS giúp ổn định ngắn hạn công suất đầu ra của hệ PĐSG tránh lây lan các biến động công suất có thể dẫn tới nguy cơ mất ổn định hệ thống, một cấu trúc hệ thống điện hải đảo đủ để đáp ứng các yêu cầu về kiểm nghiệm chất lượng quá trình điều khiển ổn định ngắn hạn công suất turbine PĐSG như minh họa ở hình H.1. Hệ thống có cấu trúc AC-BUS tập trung, không sử dụng lưới truyền tải trung thế, khoảng cách từ nguồn phát đến phụ tải ngắn (một vài km) nên bỏ qua điện kháng đường dây. Đối với nguồn phát diesel, các tổ hợp phát điện diesel được đơn giản hóa bằng một tổ hợp có công suất tương đương cấp nguồn chính cho toàn bộ hệ thống qua BUS1-400V. Thiết bị kho điện được tích hợp vào ngay phía đầu ra của hệ PĐSG tại BUS2-400V.

Phương án bù phân tán được lựa chọn cho phép kiểm soát và can thiệp trực tiếp vào công suất đầu ra đối với từng hệ PĐSG, hiệu quả tác động trực tiếp ngay tại mỗi đầu ra của hệ PĐSG. Theo khuyến cáo của IEC [3, 11], SCESS đem lại khả năng điều chỉnh ổn định tần số với khung thời gian cỡ giây, cỡ phút với công suất yêu cầu cỡ kW. Chính những công nghệ tích trữ năng lượng như thủy điện, khí nén thậm chí acqui lại không phát huy hiệu quả trong hệ thống phát điện sức gió đối với bài toán ổn định ngắn hạn công suất đầu ra để hỗ trợ ổn định tần số lưới. Giải pháp bù phân tán chỉ yêu cầu thiết kế các bộ biến đổi công suất nhỏ (tương đương với 20% công suất từng nguồn phát riêng lẻ) đem lại tính khả thi (trong trường hợp đưa vào sản xuất thử nghiệm) cao hơn so với khả năng chế tạo các bộ biến đổi với công suất lớn (tương đương với công suất của cả hệ thống nếu chọn giải pháp bù tập trung). Thêm vào đó, cần thiết phải nhắc lại rằng: Kho điện đóng vai trò là thiết bị phụ trợ cho turbine PĐSG. Vì vậy, kho điện không tham gia đối phó, xử lý các chế độ làm việc không bình thường của lưới điện như: Ngắn mạch, lồi/lõm điện áp, mất đối xứng điện áp/dòng điện. Vấn đề này do hệ thống điều khiển bộ biến đổi phía lưới trong hệ PĐSG chịu trách nhiệm đã được quy định trong *Grid-Codes* [8](Bộ quy tắc do cơ quan quản trị hệ thống điện ban hành), khi xảy ra hiện tượng không bình thường, kho điện được phép tự cô lập để bảo vệ an toàn cho thiết bị. Kho điện cũng không hỗ trợ toàn bộ lưới (bù tập trung)



H. 1 *Cấu trúc hệ thống điện ốc đảo nguồn phát hỗn hợp gió – diesel với phương án ESS phân tán*

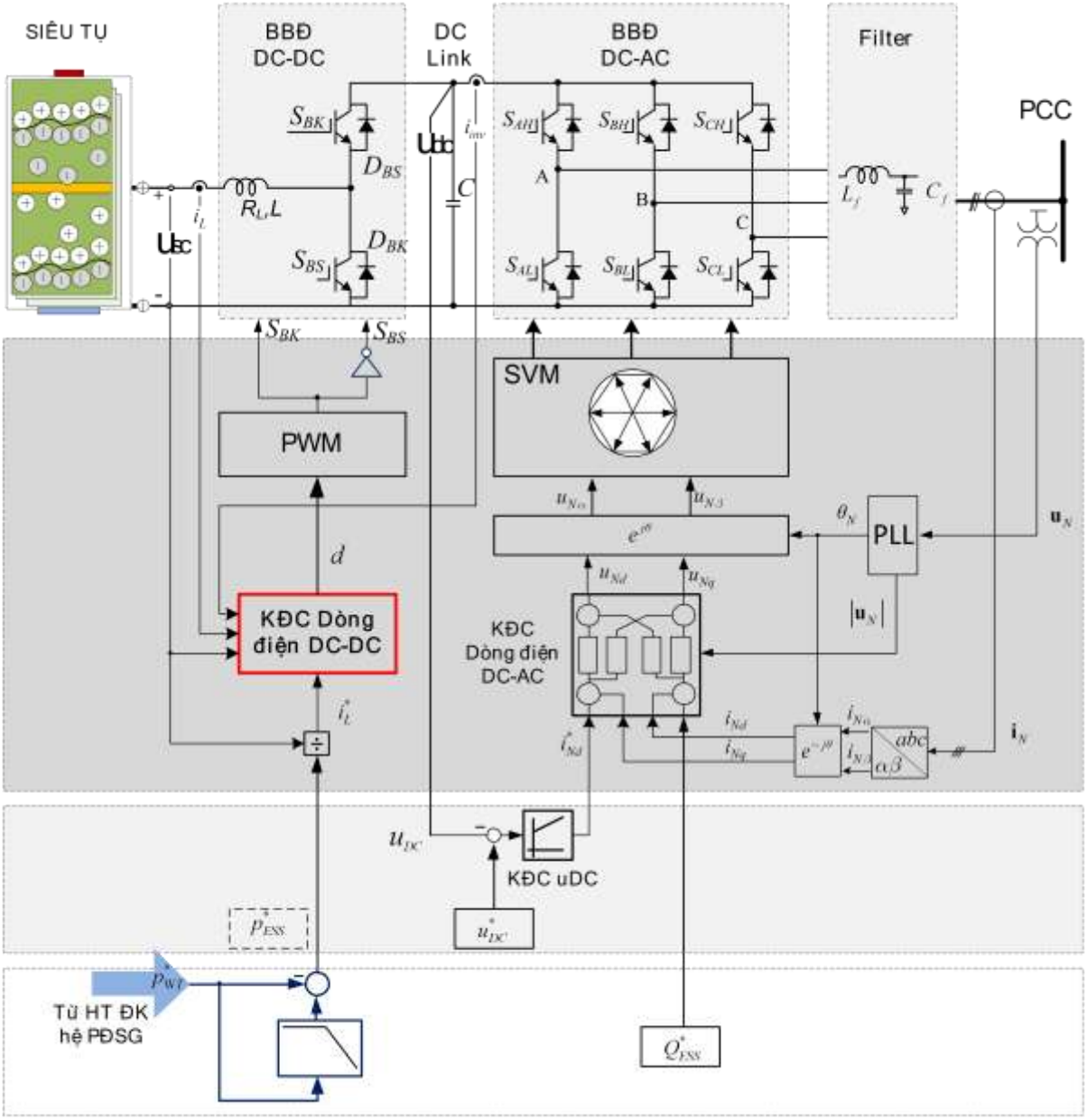
nên sẽ không xử lý vấn đề hỗ trợ phụ tải đỉnh, vấn đề gián đoạn tạm thời của nguồn phát (không hỗ trợ chức năng UPS).

3. Các vấn đề điều khiển ESS

Trong hệ thống điện hải đảo phân chia thành nhiều cấp điều khiển, các nguồn phát có vai trò khác nhau trong hệ thống sẽ phải đáp ứng các yêu cầu về điều khiển khác nhau. Đối với RAPS nguồn phát hỗn hợp gió – diesel có tích hợp thiết bị kho điện:

- Nguồn phát diesel đóng vai trò thiết lập lưới cơ sở.
- Hệ PĐSG được điều khiển cấp năng lượng lên lưới.
- Kho điện đóng vai trò là một thiết bị phụ trợ thực hiện chức năng ổn định ngắn hạn công suất đầu ra của hệ PĐSG tránh lây lan các biến động công suất có thể dẫn tới nguy cơ mất ổn định hệ thống. Mục đích ổn định ngắn hạn công suất tác dụng đầu ra của WT có thể được diễn đạt theo một cách khác là những biến động công suất có tần số lớn hơn tần số được lựa chọn sẽ được hấp thụ bởi thiết bị kho điện. Giá trị công suất đặt P_{WT}^{ref} của một hệ PĐSG là kết quả của *bài toán tracking công suất*. Giá trị P_{WT}^{ref} do từ tầng điều khiển cấp hệ thống gửi đến tầng điều khiển turbine. Áp dụng thuật toán lọc thông thấp đối với P_{WT}^{ref} mang bản chất *loại bỏ các thành phần công suất dao động tần số cao*. Như vậy, tác động hấp thụ công suất dư thừa và bù đắp công suất khi thiếu hụt sẽ được quyết định khi so sánh giá trị giữa hai tín hiệu.

Để thực hiện nhiệm vụ hấp thụ nhanh những biến động công suất đầu ra của hệ PĐSG, cấu trúc điều khiển được đề xuất như thể hiện trên hình H.2 nhằm mục tiêu điều khiển độc lập hai thành phần công suất P và Q: Giá trị tham chiếu của thành phần công suất tác dụng P do vòng điều khiển bên ngoài đưa tới;



H. 2 *Cấu trúc điều khiển thiết bị kho điện sử dụng siêu tụ*

Trong bài báo này giả thiết lượng đặt $Q^*_{ESS} = 0$ nghĩa là không trao đổi công suất phản kháng. SCESS tích hợp ngay ở đầu ra của WT nên giả thiết điện kháng đường dây từ WT đến SCESS có thể bỏ qua, không xuất hiện biến động điện áp tại điểm kết nối PCC.

Công suất tác dụng trao đổi với lưới chính là công suất của DC-DC trao đổi với DC-link (nếu bỏ qua các loại tổn hao). Điều khiển dòng điện phóng/nạp siêu tụ (hay là dòng điện chảy qua cuộn cảm) chính là điều khiển dòng công suất giữa siêu tụ với DC-link thông qua BBĐ DC-DC. Cân bằng điện áp DC-link phản ánh cân bằng của quá trình trao đổi công suất giữa siêu tụ với lưới xoay chiều 3 pha. Trong bài báo này, vấn đề điều khiển ổn định điện áp một chiều trung gian do cấu trúc điều khiển phía DC-AC chịu trách nhiệm; Nhiệm vụ điều khiển chiều và độ lớn công suất tác dụng trao đổi với DC-Link do bộ điều khiển phía DC-DC thực hiện. Thuật toán lọc thông thấp sẽ được sử dụng để xác định lượng đặt công suất (tầng điều khiển cấp thiết bị) cho tầng điều khiển cấp bộ biến đổi. Bộ biến đổi DC-AC được điều khiển theo phương pháp VOC sử dụng các bộ điều khiển kinh điển PI, Dead-beat [8, 12]. Với bộ biến đổi DC-DC, tác giả không đi theo con đường điều khiển độc lập hai chế độ nạp và xả năng lượng của kho điện như ở các công trình [9, 13-16] mà xuất phát từ mô hình hợp nhất hai chế độ trao đổi năng lượng đã được xây dựng ở [10, 17] để thiết kế điều khiển theo phương pháp điều khiển tuyến tính là điểm bổ sung của tác giả so với các công trình [18-26].

3.1 Điều khiển BBĐ DC-AC

Nội dung thiết kế điều khiển BBĐ DC-AC [17] với phương pháp điều khiển tựa hướng điện áp lưới (VOC) áp dụng theo [12].

Mô hình (1) được sử dụng như xuất phát điểm để thiết kế khâu điều chỉnh dòng điện phía lưới với:

- Hai thành phần e_{Nd} và e_{Nq} đóng vai trò là nhiễu cố định có thể loại bỏ được bằng khâu bù nhiễu.
- Biến điều khiển là điện áp đầu ra của bộ nghịch lưu.
- Các vector trạng thái là thành phần dòng i_{Nd}, i_{Nq}

$$\begin{cases} \mathbf{u}_N = R_D \mathbf{i}_N + L_D \dfrac{d\mathbf{i}_N}{dt} + \mathbf{e}_N \\ \mathbf{i}_N = \mathbf{i}_T + \mathbf{i}_F \end{cases}$$

$$\mathbf{i}_T(k+1) = \mathbf{\Phi}_N \mathbf{i}_T(k) + \mathbf{H}_N \mathbf{u}_N(k) - \mathbf{H}_N \mathbf{e}_{Nv}(k) \quad (1)$$

$$\mathbf{\Phi}_N = \begin{bmatrix} 1-\dfrac{T}{T_D} & \omega_N T \\ -\omega_N T & 1-\dfrac{T}{T_D} \end{bmatrix}; \mathbf{H}_N = \begin{bmatrix} \dfrac{T}{L_D} & 0 \\ 0 & \dfrac{T}{L_D} \end{bmatrix}$$

Cũng theo tài liệu [12], mục tiêu thiết kế khâu điều chỉnh dòng với đáp ứng dead-beat và đảm bảo tách kênh giữa hai thành phần dòng điện thì mô hình khâu điều chỉnh dòng có dạng như (2).

$$\mathbf{R}_{IN} = \frac{\mathbf{I} - z^{-1}\mathbf{\Phi}_N}{1 - z^{-2}} \quad (2)$$

Sử dụng nguyên tắc cân bằng năng lượng trong hệ và giả thiết bỏ qua tổn hao thu được phương trình (3).

$$\frac{1}{2} C \frac{du_{DC}^2}{dt} = p_{inv} - p_{SC} \quad (3)$$

Đặt biến điều khiển $\eta = u_{DC}^2$ thì (3) viết lại như (4).

$$\frac{1}{2} C \frac{d\eta}{dt} = \frac{3}{2} u_{Nd} i_d - p_{SC} \quad (4)$$

Chuyển (4) sang miền Laplace thu được hàm truyền đạt của đối tượng như (5).

$$G_u(s) = \frac{k}{Cs} \frac{1}{1 + 2T_{RI} s} \quad (5)$$
$$k = 3u_{Nd}$$

Theo [27], thực hiện tổng hợp bộ điều khiển sử dụng phương pháp tối ưu đối xứng cho đối tượng ta thu được bộ điều khiển PI với các tham số như (6).

$$G_{RUdc}(s) = k_{pu}\left(1 + \frac{1}{T_u s}\right) \quad (6)$$
$$k_{pu} = \frac{C}{k}\frac{1}{4T_{RI}}; T_u = 8T_{RI}$$

3.2 Điều khiển BBĐ DC-DC

Xuất phát từ mô hình động học BBĐ DC-DC hai chiều không cách ly như (7) với Hệ số điều chế d chính là giá trị trung bình của tín hiệu chuyển mạch trong một chu kỳ chuyển mạch, các biến trạng thái là các giá trị trung bình của dòng điện chảy qua cuộn cảm $x_1 = i_{L\ 0}$ và điện áp trên tụ DC-link $x_2 = u_{DC\ 0}$

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \dfrac{-R_L}{L} x_1 + \dfrac{1}{L} x_2 d - \dfrac{u_{SC}}{L} \\ \dot{x}_2 = \dfrac{-1}{C} x_1 d + \dfrac{i_{inv}}{C} \end{cases} \quad (7)$$

Mô hình (7) có đặc điểm quan trọng là khả năng chuyển tự nhiên (không cưỡng bức, không khóa chuyển) giữa chế độ nạp-xả của dòng điện thông qua tác động thay đổi hệ số điều chế. Vấn đề này đã được kiểm chứng trong [17]. Để thiết kế điều khiển sao cho dòng điện trung bình qua cuộn cảm tương ứng với biến trạng thái x_1 bám theo giá trị đặt i_{Lref} cả về dấu và độ lớn có thể áp dụng hai phương pháp: thiết kế điều khiển phi tuyến hoặc thiết kế tuyến tính dựa trên mô hình tuyến tính hóa quanh điểm làm việc. Bài báo này giới thiệu cách thiết kế điều khiển tuyến tính.

Khi thiết kế bộ điều khiển dòng điện, ta có thể giả thiết biến động của điện áp trên tụ là chậm hơn rất nhiều so với dòng điện chảy qua cuộn cảm. Thêm vào đó, giả sử bộ điều khiển ổn định điện áp trên DC-link trong cấu trúc điều khiển của DC-AC phát huy hiệu quả thì u_{DC} sẽ được duy trì là hằng số. Vì vậy, khi tuyến tính hóa quanh điểm làm việc đối với hệ (7) ta có các giả thiết biến động của điện áp DC-link bị bỏ qua ($x_2 = 0$). Thực hiện tuyến tính hóa phương trình đầu tiên của (7) quanh điểm làm việc (X_{1e}, X_{2e}) thu được :

$$\dot{\tilde{x}}_1 = \frac{-R_L}{L} \tilde{x}_1 + \frac{1}{L} X_{2e} \tilde{d} \quad (8)$$

Hàm truyền đạt giữa dòng điện chảy qua cuộn cảm và hệ số điều chế như sau:

$$G_{PiL}(s)=\frac{\tilde{x}_1(s)}{\tilde{d}(s)}=\frac{\frac{X_{2e}}{R_L}}{\frac{L}{R_L}s+1}\triangleq\frac{K_C}{T_C s+1} \qquad (9)$$

Theo [27-29], (9) có dạng hệ bậc 1 nên cấu trúc điều khiển PI được sử dụng để đảm bảo sai lệch tĩnh triệt tiêu với mô tả toán học như (10), đáp ứng quá độ của hệ kín sẽ tốt nhất khi điểm không của bộ điều khiển gần như khử được điểm cực của đối tượng điều khiển

$$G_{CiL}(s)=K_{PiL}+\frac{K_{IiL}}{s} \qquad (10)$$

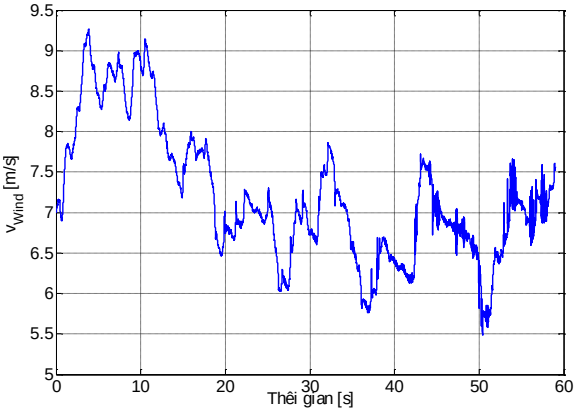
Chi tiết về các các vấn đề điều khiển SCESS trong hệ thống điện hải đảo nguồn phát hỗn hợp gió – diesel có thể tìm thấy ở [17].

4. Kết quả mô phỏng

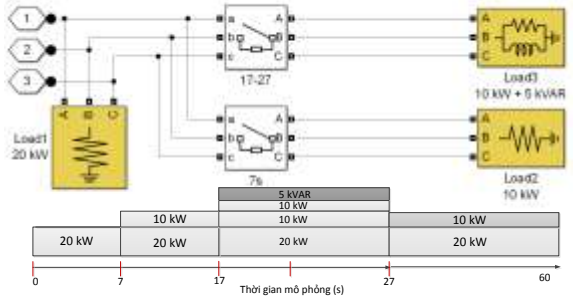
Tác giả sử dụng phần mềm MATLAB/Simulink/SimPowerSystems để kiểm tra hiệu quả ổn định ngắn hạn công suất tác dụng đầu ra turbine PĐSG trong hệ thống điện hải đảo nguồn phát hỗn hợp gió – diesel với cấu trúc điều khiển đã đề xuất. Trước hết các quá trình động học của hệ RAPS nguồn phát hỗn hợp gió – diesel được khảo sát. Sau đó, RAPS được tích hợp SCESS để kiểm chứng khả năng lọc các biến động công suất đầu ra hệ PĐSG. Tác giả sử dụng profile gió như minh họa trên hình H. 3 là dữ liệu thu được từ mô hình tạo gió ngẫu nhiên được nghiên cứu và phát triển bởi phòng thí nghiệm quốc gia về năng lượng tái tạo thuộc đại học kỹ thuật Đan mạch [30]. Kịch bản thay đổi tải như thể hiện trên hình H. 4 với tham số mô phỏng như thể hiện ở Bảng 1. Hình H. 5 thể hiện kết quả mô phỏng động học của hệ thống điện ốc đảo khi chỉ có nguồn phát diesel.

Bảng 1. Tham số mô phỏng hệ thống

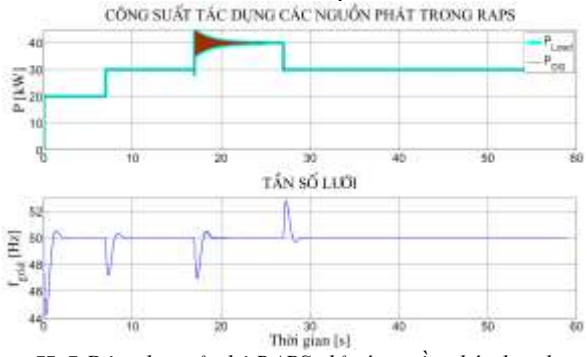
	Tên tham số	Giá trị	Đơn vị
	Tham số hệ phát điện sức gió		
1	Bán kính cánh turbine	5	m
2	Tốc độ gió trung bình	7	m/sec
3	Chiều cao cột	30	m
4	Tốc độ gió "cut-in"; "cut-out"	3; 25	m/sec
5	Mật độ không khí	1.25	Kg/m^3
6	Điện trở stator PMG	0.1764	Ω
7	Điện cảm phần ứng PMG	4.24	mH
8	Số đôi cực	18	
9	Công suất danh định máy phát	20	kW
	Tham số hệ phát điện Diesel		
10	Công suất danh định	60	kVA
11	Điện áp danh định	400	V
12	Tần số danh định	50	Hz
13	Tốc độ danh định	1500	Rpm
	Tham số kho điện sử dụng siêu tụ		
	Điện dung siêu tụ	4.1429	F
14	Điện trở tương đương	0.28	Ω
15	Điện cảm mạch DC-DC	1.4	mH
16	Điện trở cuộn cảm mạch DC-	0.05	Ω
	DC		
17	Điện dung tụ DC-link	650	µF
18	Điện cảm cuộn lọc DC-AC	2	mH
19	Điện trở cuộn cuộn lọc DC-AC	0.05	Ω



H. 3 *Profile gió sử dụng trong quá trình mô phỏng[30]*



H. 4 *Kịch bản thay đổi tải*

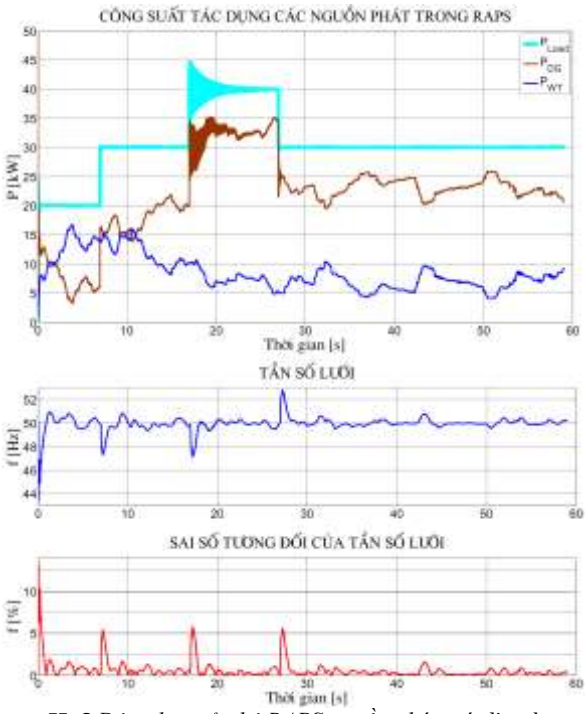


H. 5 *Động học của hệ RAPS chỉ có nguồn phát diesel*

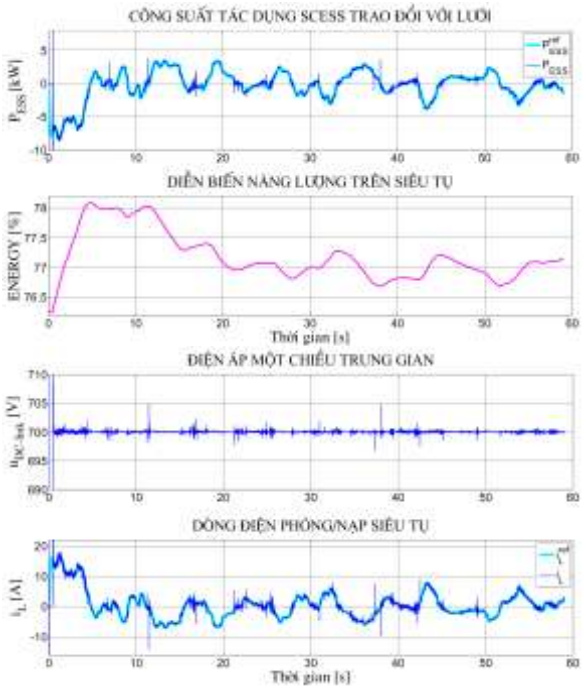
Khi có sự thay đổi tải làm cho trạng thái cân bằng giữa nguồn phát và tiêu thụ tức thời bị thay đổi dẫn tới tần số lưới bị biến động. Sau đó, bộ điều tốc sẽ tác động điều chỉnh công suất cơ cung cấp cho máy phát để đưa hệ thống trở lại trạng thái cân bằng, tần số lưới trở lại với giá trị định mức 50 Hz.

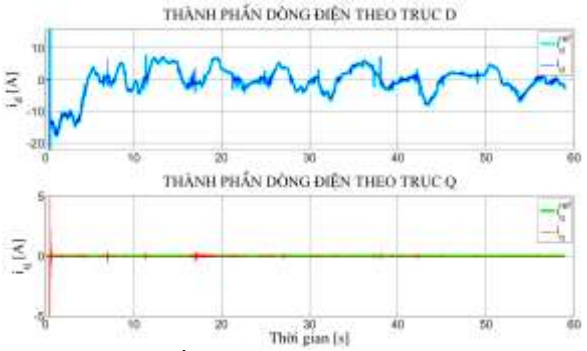
Khi có sự tham gia của nguồn phát sức gió, công suất tác dụng huy động từ nguồn phát diesel được giảm xuống như thể hiện trên hình H. 6. Tuy nhiên, vấn đề ổn định tần số hệ thống lúc này lại không còn được đảm bảo: tần số lưới liên tục biến động ngay cả khi không có sự thay đổi tải. Hiện tượng này xảy ra là do sự biến động liên tục của nguồn phát sức gió gây ra sự mất cân bằng liên tục giữa nguồn phát và phụ tải. Nói cách khác, hệ thống luôn làm việc ở trạng thái động, mất cân bằng ngắn hạn. Như vậy, chất lượng điện năng không được đảm bảo, cần phải khắc phục hiện

tượng mất cân bằng ngắn hạn đó bằng giải pháp sử dụng thiết bị kho điện sẽ được thể hiện ngay sau đây.

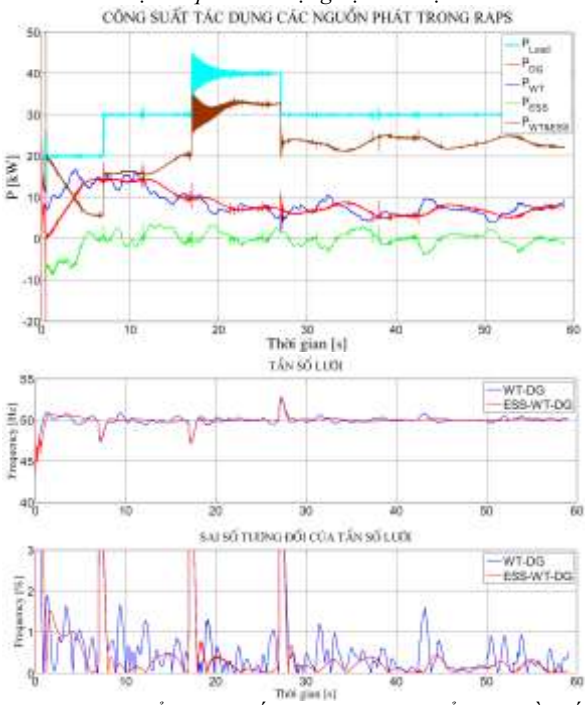


H. 6 *Động học của hệ RAPS nguồn phát gió-diesel*





H. 7 *Một số quá trình động học của hệ SCESS*



H. 8 *Tác dụng ổn định ngắn hạn và hiệu quả ổn định tần số lưới trong hệ RAPS nguồn phát hỗn hợp gió – diesel khi tích hợp thiết bị kho điện SCESS*

Công suất tác dụng đầu ra WT sẽ được *ổn định ngắn hạn* (làm trơn) nếu các thành phần công suất biến động tần số cao được hấp thụ bởi thiết bị kho điện. Thuật toán lọc thông thấp cho tín hiệu P_{WT}^{*} của quá trình điều khiển turbine PĐSG để xác định lượng đặt công suất P_{ESS}^{ref} mà hệ thống phải đáp ứng thông qua việc điều khiển các bộ biến đổi công suất DC-DC và DC-AC. Cấu trúc điều khiển SCESS chứng tỏ khả năng bám chính xác. Hình H. 7 cho thấy các đáp ứng động học của thiết bị kho điện SCESS tích hợp trong hệ thống điện ốc đảo nguồn phát hỗn hợp gió – diesel. Công suất tác dụng SCESS trao đổi với lưới được quy đổi thành giá trị dòng điện phóng nạp tụ đã bám chính xác theo giá trị đặt. Trong suốt quá trình trao đổi công suất, điện áp một chiều DC trung gian luôn được giữ ổn định ở giá trị định mức thể hiện đặc điểm ổn định động của quá trình trao đổi công suất hai chiều giữa SCESS với lưới. Bộ điều khiển Dead-beat đã phát huy tác dụng cho phép áp đặt thành công lượng đặt cho các thành phần dòng điện: Thành phần dòng điện i_d^* tỷ lệ với công suất tác dụng cần trao đổi; Thành phần dòng điện ngang trục được duy trì lượng đặt $i_q^* = 0$

nghĩa là không trao đổi công suất phản kháng với lưới.

Mục tiêu điều khiển cấp bộ biến đổi (cấp điều khiển thiết bị) đối với cả hai bộ biến đổi DC-DC và DC-AC được kiểm soát chính xác hoàn toàn là điều kiện đủ để có thể áp đặt đại lượng công suất tác dụng ở cấp điều khiển hệ thống (thuật toán xác định lượng đặt công suất) một cách chủ động, chính xác như thể hiện trên hình H. 8. SCESS đã tham gia tự động vào quá trình ổn định ngắn hạn công suất đầu ra của turbine PĐSG đem lại hiệu quả ổn định tần số lưới. Lưu ý rằng, SCESS không hỗ trợ những biến động tần số do thay đổi phụ tải đột ngột, những biến động đó thuộc về trách nhiệm của hệ thống điều khiển tần số sơ cấp (Primary control) của hệ thống phát điện diesel.

5. Kết luận

Thiết bị kho điện với cấu trúc điều khiển thích hợp và có hiệu quả đã đảm bảo khả năng ổn định ngắn hạn công suất tác dụng đầu ra của hệ phát điện sức gió. Nhờ đó, hiệu quả ổn định tần số lưới trong hệ thống điện hải đảo nguồn phát hỗn hợp gió – diesel đã được chứng minh thông qua mô phỏng. Một số kết quả được trình bày trong bài báo này có thể xem là tiền đề cho việc nghiên cứu tích hợp thiết bị kho điện vào một số hệ thống điện hải đảo nói riêng và vi lưới cô lập nói chung phù hợp với điều kiện Việt Nam giúp đảm bảo chất lượng điện năng, độ tin cậy vận hành, giảm thiểu sự tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch.

Tài liệu tham khảo

[1] ABB Power Generation, "*Integrating renewables into remote or isolated power networks and micro grids Innovative solutions to ensure power quality and grid stability*," ed, 2012.

[2] The IRENA, "*Electricity Storage and Renewables for Island Power - A Guide for Decision Makers*," 2012.

[3] IEC-The Electrical Energy Storage Project Team, "*Electrical Energy Storage, The Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme*," 2014.

[4] Nicu Bizon, Hossein Shayeghi, and Naser Mahdavi Tabatabaei, *Analysis, Control and Optimal Operations in Hybrid Power Systems: Advanced Techniques and Applications for Linear and Nonlinear Systems*: Springer-Verlag London, 2013.

[5] J. K. Kaldellis, "*Stand-alone and hybrid wind energy systems*," ed: Woodhead Publishing Limited, 2010.

[6] Panos M. Pardalos, Steffen Rebennack, Mario V. F. Pereira, Niko A. Iliadis, and Vijay Pappu, *Handbook of Wind Power Systems*: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.

[7] Fernando D. Bianchi, Hernán De Battista, and Ricardo J. Mantz, "*Wind Turbine Control Systems: Principles, Modelling and Gain Scheduling Design*," *© Springer-Verlag London Limited*, 2007.

[8] Marco Liserreand Pedro Rodríguez Remus Teodorescu, "*Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems*," ed: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-05751-3, 2011.

[9] Marcelo Gustavo Molina, "*Dynamic Modelling and Control Design of Advanced Energy Storage for Power System Applications. Source: Dynamic Modelling*," *ISBN 978-953-7619-68-8, pp. 290, January 2010, INTECH, Croatia, downloaded from SCIYO.COM*, 2010.

[10] Pham Tuan Anh, Vu Hoang Phuong, and Nguyen Phung Quang, "*Modeling and controlling of a supercapacitor energy storage system*," *Journal of Science and Technology Technical University*, vol. 103, pp. 001-006, 2014.

[11] IEC, "*Grid integration of large-capacity Renewable Energy sources and use of large-capacity Electrical Energy Storage*," *IEC MSB in cooperation with RASEI (the Renewable And Sustainable Energy Institute) at NIST (National Institute of Science and Technology, US) and the University of Colorado at Boulder, and SGCC (State Grid Corporation of China)*, 2014.

[12] NP Quang and JA Dittrich, "*Vector control of three phase AC machine– System Development in the Practice*," *Springer, Berlin – Heidelberg*, 2008.

[13] W. Kramer, S. Chakraborty, B. Kroposki, and H. Thomas, "*Advanced Power Electronic Interfaces for Distributed Energy Systems*," *Technical Report NREL/TP-581-42672*, March 2008.

[14] Zhang Gouju, Tang Xisheng, and Qi Zhiping, "*Research on Battery Supercapacitor Hybrid Storage and its application in MicroGrid*," *978-1-4244-4813-5/10/$25.00 IEEE*, 2010.

[15] Qicheng Ling and Yuping Lu, "*An Integration of Super Capacitor Storage Research for Improving Low-Voltage-Ride-Through in Power Grid with Wind Turbine*," *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2012 Asia-Pacific*, 2012.

[16] R Suryana, "*Frequency control of standalone wind turbine with supercapacitor*," *Telecommunications Energy Conference (INTELEC), 2011 IEEE 33rd International*, 2011.

[17] Phạm Tuấn Anh, "*Các phương pháp điều khiển thiết bị kho điện sử dụng trong hệ thống phát điện sức gió hoạt động ở chế độ ốc đảo*," Luận án tiến sĩ Điều khiển và tự động hóa, ĐH Bách khoa Hà Nội, 2015.

[18] Spyros I. Gkavanoudis and C.S Demoulias, "*A combined fault ride-through and power smoothing control method for full-converter wind turbines employing Supercapacitor Energy Storage System*," *Electric Power Systems Research 106 (2014) 62– 72*, 2014.

[19] S.I Gkavanoudis and C.S Demoulias, "*A new Fault Ride-Through Control Method for FullConverter Wind Turbines Employing Supercapacitor Energy Storage System*," *Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2012 47th International*, 2012.

[20] N. Mendis, K. M. Muttaqi, and S. Perera, "*Active Power Management of a Supercapacitor-Battery Hybrid Energy Storage System for Standalone Operation of DFIG based Wind Turbines*," *978-1-4673-0332-3/12/$31.00 © 2012 IEEE*, 2012.

[21] Nishad Mendis and Kashem Muttaqi, "*An integrated control approach for standalone operation of a hybridised wind turbine generating system with maximum power extraction capability*," *Electrical Power and Energy Systems 49 (2013) 339–348*, 2013.

[22] Nishad Mendis, Kashem M. Muttaqi, Saad Sayeef, and Sarath Perera, "*Application of a Hybrid Energy Storage in a Remote Area Power Supply System*," *IEEE International Energy Conference, 978-1-4244-9380-7/10/$26.00 ©2010 IEEE*, 2010.

[23] Liyan Qu and Wei Qiao, "*Constant Power Control and Fault-Ride-Through Enhancement of DFIG Wind Turbines with Energy Storage " 978-1-4244-3476-3/09/$25.00 ©2009 IEEE*, 2009.

[24] Haibo Liu, Chengxiong Mao, Jiming Lu, and Dan Wang, "*Electronic power transformer with supercapacitors storage energy system*," *Electric Power Systems Research 79 (2009) 1200–1208*, 2009.

[25] Junhong Zhang, "*Bidirectional DC-DC Power Converter Design Optimization, Modeling and Control*," *Dissertation submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy In Electrical Engineering*, 2008.

[26] Xuhui Wen Zhang Xuhui, Zhao Feng, and Guo Xinhua, "*A New Control Strategy for Bi-Directional DC-DC Converter in Electric Vehicle*," *Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, 2011.

[27] Nguyễn Doãn Phước, *Lý thuyết điều khiển tuyến tính*: NXB Khoa học và kỹ thuật, 2007.

[28] M. SAM FADALI, *Digital control engineering: Analysis and Design*: Elsevier Inc ISBN 13: 978-0-12-374498-2, 2009.

[29] ALEJANDRO MONTENEGRO LEÓN, "*Advanced power electronic for wind power generation buffering*," A Dissertation For The Degree Of Doctor Of Philosophy University Of Florida, 2005.

[30] Florin Iov, Anca Daniela Hansen, Poul Sørensen, and Frede Blaabjerg, "*Wind Turbine Blockset in Matlab/Simulink*," *Institute of Energy Technology, AALBORG UNIVERSITY*, 2004.

GS.TSKH. Nguyễn Phùng Quang nhận học vị Dipl.-Ing. (Uni.) tháng 9/1975, Dr.-Ing. tháng 11/1991 và Dr.-Ing. habil. tháng 4/1994, tất cả đều tại TU Dresden (TUD, CHLB Đức). Có nhiều năm làm việc trong thực tiễn công nghiệp Đức, góp phần cho ra đời các biến tần REFU 402 Vectovar, RD500 (công ty REFU Elektronik), Simovert 6SE42, Master Drive MC (tập đoàn Siemens).

1996-1998 là giảng viên của TUD, tại đây tháng 10/1997 được công nhận là Privatdozent. Về nước đầu 1999 và là giảng viên của ĐHBK Hà Nội từ đó đến nay. Tháng 2/2004 được TUD phong tặng chức danh Honorarprofessor, 11/2004 nhận chức danh Phó Giáo sư và 11/2009 Giáo sư về Tự động hóa của ĐHBK Hà Nội.

Là tác giả / đồng tác giả của hơn 150 bài báo, báo cáo hội nghị trong và ngoài nước. Là tác giả / đồng tác giả của 7 đầu sách chuyên khảo và tham khảo, trong đó có 3 quyển bằng tiếng Đức và 1 quyển tiếng Anh "*Vector Control of Three-Phase AC Machines – System Development in the Practice*" do nhà xuất bản Springer in năm 2008, tái bản năm 2015.

Các lĩnh vực nghiên cứu: điều khiển truyền động điện, điều khiển chuyển động và robot, điều khiển vector cho các loại máy điện, điều khiển điện tử công suất, điều khiển các hệ thống năng lượng tái tạo (sức gió, mặt trời), hệ thống điều khiển số, mô hình hóa và mô phỏng.

Pham Tuan Anh tốt nghiệp hệ Kỹ sư năm 2005 và hệ Thạc sỹ năm 2009 chuyên ngành Tự động hóa tại trường Đại học Hàng hải Việt Nam. Hiện đang là Nghiên cứu sinh ngành Kỹ thuật điều

khiển và Tự động hóa tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Các lĩnh vực quan tâm: Các công nghệ tích trữ năng lượng, hệ thống phát điện sức gió, nguồn phân tán.