



TẬP 60 - SỐ 6

6/2024

P-ISSN 1859-3585
E-ISSN 2615-9619

TẠP CHÍ Khoa học và CÔNG NGHỆ

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

HANOI UNIVERSITY OF INDUSTRY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

MÔ PHỎNG SỐ

tác động của đạn và sóng xung kích
lên tấm composite làm từ sợi tre

ẢNH HƯỞNG

của nhiệt độ đến đặc tính làm việc
của lõi từ trong các bộ biến đổi DC-DC

TỔNG BIÊN TẬP

PGS. TS. Phạm Văn Đông

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

Chủ tịch hội đồng

PGS. TS. Trần Đức Quý

Đại học Công nghiệp Hà Nội

GS. TS. Đặng Quang Á

Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

PGS. TS. Phạm Văn Bổng

Đại học Công nghiệp Hà Nội

PGS. TS. Vũ Mạnh Chiến

Đại học Québec, Canada

PGS. TS. Trịnh Trọng Chương

Đại học Công nghiệp Hà Nội

GS. TS. Trần Thọ Đạt

Đại học Kinh tế Quốc dân

GS. TS. Chu Văn Đạt

Học viện Kỹ thuật Quân sự

GS. TS. Trần Văn Địch

Đại học Bách khoa Hà Nội

GS. TSKH. Bành Tiến Long

Đại học Bách khoa Hà Nội

VS. GS. TSKH. Trần Đình Long

Hội Điện lực Việt Nam

GS. TS. Đặng Thị Loan

Đại học Kinh tế Quốc dân

GS. TSKH. Hồ Đắc Lộc

Đại học Công nghệ TP. HCM

PGS. TS. Nguyễn Thị Hồng Nga

Đại học Công nghiệp Hà Nội

PGS. TS. Lê Hồng Quân

Đại học Công nghiệp Hà Nội

GS. TSKH. Nguyễn Xuân Quỳnh

Viện NC Điện tử - Tin học - Tự động hóa

PGS. TS. Vũ Minh Tân

Đại học Công nghiệp Hà Nội

GS. TS. Vũ Đức Thi

Viện Công nghệ thông tin - ĐHQGHN

GS. TS. Nguyễn Thanh Thủy

Đại học Công nghệ - ĐHQGHN

GS. TS. Trần Văn Sung

Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

GS. TSKH. Đặng Ứng Vận

Đại học Hòa Bình

PGS. TS. Hồ Anh Văn

Viện Khoa học và Công nghệ Nhật Bản

BAN BIÊN TẬP

Phạm Văn Đông - Trưởng ban

Đặng Văn Bính

Dư Đình Viên

Đỗ Huyền Cư

KHOA HỌC - CÔNG NGHỆ

- Ảnh hưởng của nhiệt độ đến đặc tính làm việc của lõi từ trong các bộ biến đổi DC - DC
- Đề xuất một mô hình vật lý về hệ số công suất tuabin gió trục ngang
- Nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số động cơ đến đặc tính bù trong phương pháp điều khiển bù đặc tính tĩnh động cơ PMSM công suất nhỏ
- Nghiên cứu xây dựng hệ bám điện thủy lực kênh hướng cho pháo tàu AK-176M ứng dụng điều khiển thích nghi
- Nghiên cứu và mô phỏng cân bằng công suất trong hệ thống microgrid với nhiều nguồn phát
- Ổn định điện áp máy phát đồng bộ trên cơ sở sử dụng bộ điều khiển trượt
- Xây dựng điều khiển trượt cho thiết bị bù điều khiển dòng công suất UPFC

- Giải pháp phân loại chữ Hán viết tay với sự hỗ trợ của tối ưu siêu tham số
- Nâng cao hiệu quả trong phân tích hệ thống: Cấu trúc phương thức để giảm thứ tự hệ thống bất biến theo thời gian tuyến tính
- Phân loại mặt đường sử dụng mô hình học máy có giám sát trên bộ dữ liệu của cảm biến quán tính
- Hệ thống nhận dạng bệnh cây trồng hiệu quả ứng dụng trong nông nghiệp thông minh
- Khảo sát các phương pháp ước tính tư thế người trong các hoạt động huấn luyện dựa trên học sâu, thiết kế framework cho hệ thống huấn luyện bắn súng thông minh
- Tổng quan các phương pháp kết hợp học sâu và kỹ thuật hình ảnh trong đánh giá sinh trưởng thực vật
- Ứng dụng YOLOV8 nhận diện bệnh trên tôm

- Ảnh hưởng của mức độ biến dạng đến tổ chức hợp kim nhôm AA7075 khi chuẩn bị tổ chức bán lỏng bằng phương pháp ép chu kỳ trong khuôn kín
- Mô phỏng số tác động của đạn và sóng xung kích lên tấm composite làm từ sợi tre
- Nghiên cứu ảnh hưởng của hình học ống mao dẫn đến áp suất ổ thủy tinh bằng phương pháp mô phỏng số
- Nghiên cứu đánh giá mức độ hoạt động của cơ người trong quá trình vận động thông qua tín hiệu điện cơ
- Nghiên cứu giải pháp công nghệ chế tạo vỏ liều đạn 548B từ hợp kim nhôm bằng mô phỏng số
- Nghiên cứu bộ điều khiển hybrid PID cho hệ thống treo chủ động

- Ứng dụng IoT thiết kế xe mini car giám sát

- Ứng dụng mô phỏng CFD để đánh giá và nâng cao độ đồng đều của phân bố tác nhân sấy trong thiết bị sấy bơm nhiệt

- Nhiệt phân phân lộn trong buồng phản ứng ghi cố định và chuyển hoá hắc ín khi đi qua xúc tác Ni/Al₂O₃ và hơi nước ở nhiệt độ thấp
- Khảo sát thay đổi tính chất của vải làm quần lót trên thị trường

- Nghiên cứu độ rỗng và độ thoát khí sử dụng mô hình vòng sợi của vải dệt kim single dệt vòng kép sợi spandex ứng dụng cho quần áo thể thao
- Đánh giá khả năng xử lý phẩm màu của vật liệu nano bạc tổng hợp từ dịch chiết lá bạc hà
- Khảo sát thành phần hóa học cận chiết n-hexane cây địa puồng diêm (*Clematis buchananiana* Buch-Ham.ex DC.)

- Khảo sát thành phần hóa học phần phân đoạn dichloromethane loài long đóm (*gentiana scabra bunge*)
- Nghiên cứu halosyt biến tính bằng hydroperoxit và khả năng hấp phụ Pb²⁺ trong nước
- Về sai phân của gradient đối với hàm thuộc lớp C^{1,1} trên không gian Hilbert

KINH TẾ - XÃ HỘI

- Các yếu tố ảnh hưởng tới hành vi đầu tư tài chính cá nhân của sinh viên Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội
- Kế toán quản trị chi phí tại các doanh nghiệp sản xuất phần mềm trong điều kiện ứng dụng hệ thống ERP
- Xây dựng thang đo chuẩn hóa đo lường văn hóa trường đại học

- 3 Bùi Anh Tuấn, Nguyễn Tiến Dũng, Bùi Thị Duyên
- 8 Nguyễn Tuấn Anh, Nguyễn Hữu Đức
- 13 Vũ Hữu Thích
- 16 Phạm Tuấn Thành, Hoàng Hải Sơn, Hoàng Mạnh Cường
- 24 Nguyễn Duy Minh
- 30 Đặng Tiến Trung, Nguyễn Thị Thu Hiền
- 34 Hoàng Thị Thu Hà, Trần Thị Kim Thanh, Tạ Tuấn Hữu, Nguyễn Văn Cảnh, Nguyễn Trung Hiếu
- 38 Vũ Thị Duyên
- 42 Dương Hòa An, Nguyễn Thanh Tùng, Nguyễn Văn Vy, Đỗ Văn Đình
- 46 Ngô Văn Công, Trần Đức Nghĩa, Nguyễn Đình Nga, Trần Đức Tân
- 51 Bùi Văn Hậu, Nguyễn Thiên Tân, Phạm Anh Tuấn, Hoàng Trọng Minh
- 57 Vũ Minh Hoàng, Trương Quốc Hùng, Nguyễn Thị Lan, Trần Thị Hải Anh, Trương Khánh Nghĩa
- 69 Hà Quang Hưng, Vũ Minh Trung, Chu Đức Hà, Phạm Minh Triển
- 79 Viên Thanh Nhã, Nguyễn Thị Kim Phụng, Đặng Ngô Duy Cát, Trần Vinh Phúc, Lê Đình Phú Cường, Phạm Thành Công, Lê Đình Hồng Mạnh
- 84 Đào Văn Lưu, Hoàng Tú, Nguyễn Anh Tuấn, Đặng Văn Thức
- 88 Phùng Văn Minh, Nguyễn Xuân Thành, Vũ Cao Cường, Lê Minh Thái
- 94 Nguyễn Trọng Thanh, Trần Thế Hùng, Bùi Tuấn Anh, Nguyễn Quốc Dũng
- 101 Nguyễn Hà Sơn, Cao Đăng Quyết, Phạm Văn Hà, Nguyễn Thành Trung
- 105 Nguyễn Mạnh Tiến, Lại Đăng Giang, Nguyễn Đình Phương, Nguyễn Hữu Lương
- 112 Hoàng Thăng Bình, Trần Thị Thu Hương, Nguyễn Đức Ngọc, Nguyễn Tuấn Anh
- 118 Đoàn Thanh Sơn, Đỗ Kim Hoàng, Phạm Văn Kiên, Phạm Hoàng Tú, Lê Đức Hiếu
- 121 Nguyễn Đức Trung, Nguyễn Trường Giang, Nguyễn Đức Nam, An Đại Đức, Nguyễn Đức Huy, Phạm Đức Bình, Nguyễn Hữu Khải, Nguyễn Thị Thảo
- 126 Lê Đức Dũng, Trần Văn Bảy
- 130 Nguyễn Thị Kim Thu, Nguyễn Thị Thanh Huyền, Lưu Thị Tho
- 135 Chu Diệu Hương
- 139 Lại Thị Hoan, Trần Thúy Nga, Hồ Phương Hiến, Lù Seo Di
- 144 Nguyễn Đức Thắng, Nguyễn Tuấn Anh, Ngô Thị Phương, Đỗ Thị Thanh Huyền, Phạm Thị Nhung, Nguyễn Thị Oanh, Nguyễn Minh Việt, Lê Minh Hà
- 148 Bùi Thị Thu Trang
- 152 Lê Thị Phương Thảo, Vũ Kim Thu, Nguyễn Thế Hữu, Lê Thị Duyên
- 157 Lâm Trần Phương Thủy
- 160 Đỗ Hải Hưng, Khương Thị Quỳnh An
- 165 Cao Thị Huyền Trang, Nguyễn Tố Uyên, Trần Thu Hương
- 172 Ngô Văn Quang, Vũ Đình Khoa, Nguyễn Thị Nguyệt Dung

EDITOR-IN-CHIEF

Assoc. Prof. PhD. Pham Van Dong

EDITOR BOARD

CHAIRMAN

Assoc. Prof. PhD. Tran Duc Quy
Hanoi University of Industry

Prof. PhD. Dang Quang A
Vietnam Academy of Science and Technology
Assoc. Prof. PhD. Pham Van Bong
Hanoi University of Industry
Assoc. Prof. PhD. Vu Manh Chien
University of Québec, Canada
Assoc. Prof. PhD. Trinh Trong Chuong
Hanoi University of Industry
Prof. PhD. Tran Tho Dat
National Economics University, Vietnam
Prof. PhD. Chu Van Dat
Military Technical Academy
Prof. PhD. Tran Van Dich
Hanoi University of Science and Technology
Prof. Dr. Sc. Banh Tien Long
Hanoi University of Science and Technology
Acad. Prof. Dr. Sc. Tran Dinh Long
Vietnam Electrical Engineering Association
Prof. PhD. Dang Thi Loan
National Economics University, Vietnam
Prof. Dr. Sc. Ho Dac Loc
Ho Chi Minh City University of Technology
Assoc. Prof. PhD. Nguyen Thi Hong Nga
Hanoi University of Industry
Assoc. Prof. PhD. Le Hong Quan
Hanoi University of Industry
Prof. Dr. Sc. Nguyen Xuan Quynh
Vietnam Research Institute of Electronics,
Informatics and Automation
Assoc. Prof. PhD. Vu Minh Tan
Hanoi University of Industry
Prof. PhD. Vu Duc Thi
The Information Technology Institute - VNU
Prof. PhD. Nguyen Thanh Thuy
University of Engineering and Technology - VNU
Prof. PhD. Tran Van Sung
Vietnam Academy of Science and Technology
Prof. Dr. Sc. Dang Ung Van
Peace University, Vietnam
Assoc. Prof. PhD. Ho Anh Van
Japan Advanced Institute of Science and Technology

EDITORS

Pham Van Dong - Head
Dang Van Binh
Du Dinh Vien
Do Huyen Cu

SCIENCE - TECHNOLOGY

- Effect of temperature on working characteristics of magnetic core in DC - DC converters **3** Bui Anh Tuan, Nguyen Tien Dzung, Bui Thi Duyen
- Toward a physics-based model of power coefficient in horizontal-axis wind turbine **8** Nguyen Tuan Anh, Nguyen Huu Duc
- Research on the influence of motor parameters on compensation characteristics in the static characteristic compensation control method of small capacity PMSM motors **13** Vu Huu Thich
- Research on developing a hydraulic power-driven directional channel for AK-176M ship cannon applying adaptive control **16** Pham Tuan Thanh, Hoang Hai Son, Hoang Manh Cuong
- Study and simulation of power balance in a microgrid with multiple sources **24** Nguyen Duy Minh
- Synchronous generator voltage stability on the basis of using a sliding mode controller **30** Dang Tien Trung, Nguyen Thi Thu Hien
- Sliding mode controller design for UPFC power line control compensation device **34** Hoang Thi Thu Ha, Tran Thi Kim Thanh, Ta Tuan Huu, Nguyen Van Canh, Nguyen Trung Hieu
- Handwritten Chinese character classification solution with hyperparameter optimization support **38** Vu Thi Duyen
- Enhancing efficiency in system analysis: Modal truncation for linear time-invariant system order reduction **42** Duong Hoa An, Nguyen Thanh Tung, Nguyen Van Vy, Do Van Dinh
- Road surface classification using supervised machine learning model and inertial data **46** Ngo Van Cong, Tran Duc Nghia, Nguyen Dinh Nga, Tran Duc Tan
- The effective application of crop disease recognition systems in smart agriculture **51** Bui Van Hau, Nguyen Thien Tan, Pham Anh Tuan, Hoang Trong Minh
- Deep learning - based human pose estimation methods for training activities: A comprehensive review and framework design for intelligent shooting training systems **57** Vu Minh Hoang, Truong Quoc Hung, Nguyen Thi Lan, Tran Thi Hai Anh, Truong Khanh Nghia
- A review of utilizing deep learning and imaging for plant growth assessment **69** Ha Quang Hung, Vu Minh Trung, Chu Duc Ha, Pham Minh Trien
- YOLOV8 application to identify diseases in shrimp **79** Vien Thanh Nha, Nguyen Thi Kim Phung, Dang Ngo Duy Cat, Tran Vinh Phuc, Le Dinh Phu Cuong, Pham Thanh Cong, Le Dinh Hong Manh
- Effect of deformation levels on AA7075 aluminum alloy microstructure when preparing semi-solid microstructure using multidirectional forging **84** Dao Van Luu, Hoang Tu, Nguyen Anh Tuan, Dang Van Thuc
- Numerical simulation of the impact of bullets and shock waves on composite plates made from bamboo fibers **88** Phung Van Minh, Nguyen Xuan Thanh, Vu Cao Cuong, Le Minh Thai
- Investigating the influence of capillary tube geometry on hydrostatic head pressure using numerical simulations **94** Nguyen Trong Thanh, Tran The Hung, Bui Tuan Anh, Nguyen Quoc Dzung
- Research on evaluating the activity level of human muscles during movement by electromechanical **101** Nguyen Ha Son, Cao Dang Quyet, Pham Van Ha, Nguyen Thanh Trung
- Research on technological solution for manufacturing 548B cartridge case from aluminum alloy using numerical simulation **105** Nguyen Manh Tien, Lai Dang Giang, Nguyen Dinh Phuong, Nguyen Huu Luong
- Research a hybrid PID controller for an active suspension system **112** Hoang Thang Binh, Tran Thi Thu Huong, Nguyen Duc Ngoc, Nguyen Tuan Anh
- Application internet of things design mini car monitoring **118** Doan Thanh Son, Do Kim Hoang, Pham Van Kien, Pham Hoang Tu, Le Duc Hieu
- CFD simulation application to evaluate and enhance the homogeneity of air distribution in heat pump dryer **121** Nguyen Duc Trung, Nguyen Truong Giang, Nguyen Duc Nam, An Dai Duc, Nguyen Duc Huy, Pham Duc Binh, Nguyen Huu Khai, Nguyen Thi Thao
- Pig manure pyrolysis in dual fixed-bed reactor and Ni/Al₂O₃ catalytic steam reforming tar at low temperature **126** Le Duc Dzung, Tran Van Bay
- Studying changes properties of underwear fabrics on the market **130** Nguyen Thi Kim Thu, Nguyen Thi Thanh Huyen, Luu Thi Tho
- Research of the porosity and air permeability using loop model of plate single knitted fabric with spandex yarn for sportswear application **135** Chu Dieu Huong
- Investigation of ability to degradation of dyes using silver nanoparticles **139** Lai Thi Hoan, Tran Thuy Nga, Ho Phuong Hien, Lu Seo Di
- Isolation and structure elucidation of some compounds from the n-hexane extract of *Clematis buchananiana* Buch-Ham. ex DC. **144** Nguyen Duc Thang, Nguyen Tuan Anh, Ngo Thi Phuong, Do Thi Thanh Huyen, Pham Thi Nhung, Nguyen Thi Oanh, Nguyen Minh Viet, Le Minh Ha
- Investigate the chemical composition of dichloromethane fraction of *gentiana scabra bunge* **148** Bui Thi Thu Trang
- Study on modified halloysite with hydrogen peroxide and the ability to adsorb Pb²⁺ from aqueous environment **152** Le Thi Phuong Thao, Vu Kim Thu, Nguyen The Huu, Le Thi Duyen
- On the difference operator of gradient of C^{1,1}- functions on Hilbert spaces **157** Lam Tran Phuong Thuy

ECONOMICS - SOCIETY

- Factors affecting personal financial investment behavior of students at Hanoi University of Industry **160** Do Hai Hung, Khuong Thi Quynh An
- Cost management accounting in software manufacturing enterprises under ERP system application conditions **165** Cao Thi Huyen Trang, Nguyen To Uyen, Tran Thu Huong
- Building a standardized measurement scale for cultural assessment at the university **172** Ngo Van Quang, Vu Dinh Khoa, Nguyen Thi Nguyet Dung

XÂY DỰNG ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT CHO THIẾT BỊ BÙ ĐIỀU KHIỂN DÒNG CÔNG SUẤT UPFC

SLIDING MODE CONTROLLER DESIGN FOR UPFC POWER LINE CONTROL COMPENSATION DEVICE

Hoàng Thị Thu Hà¹, Trần Thị Kim Thanh^{2,*}, Tạ Tuấn Hữu²,
Nguyễn Văn Cảnh³, Nguyễn Trung Hiếu²

DOI: <http://doi.org/10.57001/huih5804.2024.202>

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, kiểm soát dòng điện ngày càng trở nên quan trọng trong lĩnh vực hệ thống truyền tải điện thông minh. Bộ điều khiển dòng công suất hợp nhất (UPFC) cung cấp khả năng điều khiển dòng công suất tác dụng và phản kháng theo thời gian thực. Bài báo trình bày kết quả tổng hợp bộ điều khiển trượt (SMC) cho thiết bị bù điều khiển dòng công suất (UPFC). Bộ điều khiển đã giúp ổn định công suất lưới điện, giảm ảnh hưởng của tải phi tuyến và hiện tượng sóng hài đến tính ổn định của lưới điện. Chất lượng của bộ điều khiển được đánh giá thông qua kết quả mô phỏng hệ truyền tải lưới điện 500kV bằng phần mềm Matlab-Simulink.

Từ khóa: Thiết bị bù dòng công suất; điều khiển trượt; công suất; truyền tải điện năng.

ABSTRACT

In recent years, power flow control has become increasingly important in the field of intelligent power transmission systems. The Unified Power Flow Controller (UPFC) provides real-time control of active and reactive power flows. This article presents the results of synthesizing a sliding regulator (SMC) for a power flow control compensation device (UPFC). The controller has helped stabilize grid capacity, reducing the influence of nonlinear loads and harmonic phenomena on grid stability. The quality of the proposed controller is evaluated through simulation results of the 500kV power grid transmission system using Matlab-Simulink software.

Keywords: Unified power flow controller; sliding mode control; power; electricity transmission.

¹Trường Đại học Thành Đô

²Trường Đại học Điện lực

³Trường Trung cấp Kinh tế - Kỹ thuật Bắc Thăng Long

*Email: thanhhttk@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 28/3/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2024

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

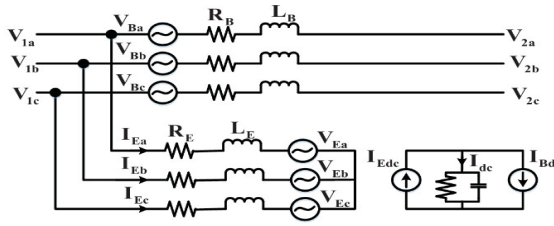
Trong những năm gần đây, nhu cầu điện năng ngày càng tăng khiến đường dây truyền tải trong tình trạng quá tải và dẫn đến mất ổn định hệ thống điện. Chính vì vậy cần có các giải pháp thiết thực để cải thiện khả năng truyền tải điện và

vận hành đường dây hiện có. Trong các phương pháp truyền thống, việc sử dụng máy biến áp lệch pha, tụ điện song song và tụ điện nối tiếp giúp tăng khả năng truyền tải điện và cải thiện tính ổn định của hệ thống điện [1]. Thiết bị FACTS (Flexible alternating current transmission system) đã được đề xuất cho việc truyền tải điện, nhằm tăng lưu lượng điện và công suất đường dây cũng như cải thiện độ ổn định của hệ thống. Trong số các thiết bị thực tế, UPFC là thiết bị điều khiển luồng công suất, tạo ra dòng công suất tác dụng và công suất phản kháng độc lập trong đường dây truyền tải. Việc cải thiện tính ổn định của hệ thống phụ thuộc vào việc sử dụng phương pháp điều khiển phù hợp của bộ điều khiển UPFC [2]. Có nhiều kỹ thuật điều khiển khác nhau đã được phát triển để cải thiện hiệu suất của UPFC. Phương pháp Lyapunov trực tiếp [3], bộ điều khiển dựa trên lý thuyết điều khiển thông thường như PID [4], mạng nơron [5], logic mờ [6] và điều khiển dự báo [7] là một số phương pháp đã được phát triển trong tài liệu.

Trong một hệ thống điện, có chứa nhiều bất định do những thay đổi về thông số, đặc tính của hệ thống, sự thay đổi của phụ tải và các sai số trong mô hình hóa nên các điểm vận hành có thể thay đổi. Vì vậy cần một bộ điều khiển phù hợp để điều khiển UPFC. SMC là một phương pháp điều khiển hiện đại đã được ứng dụng trong nhiều hệ thống kỹ thuật. SMC có khả năng khắc phục yếu tố bất định của mô hình động. Bài viết này trình bày một phương pháp điều khiển trượt cho UPFC, nhằm đảm bảo sự ổn định nhất thời cho lưới điện truyền tải.

2. MÔ HÌNH UPFC TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

UPFC được sử dụng để điều khiển dòng công suất trong hệ thống truyền tải bằng cách điều khiển trở kháng, cường độ điện áp và góc pha. Bộ điều khiển này mang lại nhiều ưu điểm về vận hành tĩnh và động của hệ thống điện. Cấu trúc cơ bản của UPFC bao gồm hai bộ biến tần nguồn áp (VSI); trong đó một bộ chuyển đổi được mắc song song với đường truyền, một bộ chuyển đổi kia mắc nối tiếp với đường dây truyền tải. Hình 1 thể hiện mạch tương đương của UPFC. Mỗi bộ chuyển đổi của UPFC có thể tạo ra hoặc hấp thụ công suất tác dụng hoặc công suất phản kháng từ đường dây truyền tải một cách độc lập.



Hình 1. Mạch tương đương UPFC

Trong đó: Chỉ số “abc” biểu thị các biến trong tọa độ ba pha; i_E là dòng điện đi vào biến tần nối tiếp; u_E , u_B là điện áp đầu ra biến tần nối tiếp và biến tần Shunt;

Theo [8], phương trình cân bằng điện áp đầu vào UPFC có dạng:

$$u_1 = R_E i_E + L_E \frac{di_E}{dt} + u_E \quad (1)$$

$$u_1 = -u_B + R_B i_B + L_B \frac{di_B}{dt} + u_2 \quad (2)$$

Các biến tần được kết nối với mạng điện qua máy biến áp, vì vậy:

$$|u_E| = u_{dc} K_E m_E \quad (3)$$

$$|u_B| = u_{dc} K_B m_B \quad (4)$$

Điện áp biến tần nối tiếp và shunt cũng như điện áp đầu vào và đầu ra có:

$$u_{1a} = |u_1| \delta_1 \quad (5)$$

$$u_{2a} = |u_2| \delta_2 \quad (6)$$

$$u_{Ea} = |u_E| \delta_E \quad (7)$$

$$u_{Ba} = |u_B| \delta_B \quad (8)$$

Trong các phương trình trên (m_B, δ_B) và (m_E, δ_E) là tỷ số điều chế và góc pha; (K_B, K_E) là tỷ số biến đổi của bộ biến đổi nối tiếp và bộ chuyển đổi song song tương ứng.

Bằng cách viết phương trình (1) và (2) theo trục d-q, có:

$$u_{1d} = -u_{Bd} + R_B i_{Bd} + L_B \frac{di_{Bd}}{dt} - \omega i_{Bq} + u_{2d} \quad (9)$$

$$u_{1q} = -u_{Bq} + R_B i_{Bq} + L_B \frac{di_{Bq}}{dt} - \omega i_{Bd} + u_{2q} \quad (10)$$

$$u_{1d} = R_E i_{Ed} + L_E \frac{di_{Ed}}{dt} - \omega i_{Eq} + u_{Ed} \quad (11)$$

$$u_{1q} = R_E i_{Eq} + L_E \frac{di_{Eq}}{dt} - \omega i_{Ed} + u_{Eq} \quad (12)$$

Có thể thu được u_B , u_E theo trục d-q như sau:

$$u_{Bd} = u_{dc} K_B m_B \cos \delta_B \quad (13)$$

$$u_{Bq} = u_{dc} K_B m_B \sin \delta_B \quad (14)$$

$$u_{Ed} = u_{dc} K_E m_E \cos \delta_E \quad (15)$$

$$u_{Eq} = u_{dc} K_E m_E \sin \delta_E \quad (16)$$

Từ các phương trình (1)-(16) và xem xét dòng điện trên hai trục d-q trong các bộ chuyển đổi nối tiếp, Shunt và điện áp liên kết DC như các biến trạng thái, ta có phương trình trạng thái sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-R_B}{L_B} & \frac{\omega}{\omega_b} & 0 & 0 & \frac{u_1}{L_B} \\ -\omega & \frac{-R_B}{L_B} & 0 & 0 & \frac{u_2}{L_B} \\ 0 & 0 & \frac{-R_E}{L_E} & \frac{\omega}{\omega_b} & \frac{-u_3}{L_E} \\ 0 & 0 & \frac{-\omega}{\omega_b} & \frac{-R_E}{L_E} & \frac{-u_4}{L_E} \\ -\frac{3}{2}u_1C & -\frac{3}{2}u_1C & -\frac{3}{2}u_1C & -\frac{3}{2}u_1C & \frac{-C}{R_p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} + \omega_b \begin{bmatrix} \frac{1}{L_B} & 0 & \frac{-1}{L_B} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_B} & 0 & \frac{-1}{L_B} & 0 \\ \frac{1}{L_E} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_E} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_E} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{1d} \\ V_{1q} \\ V_{2d} \\ V_{2q} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Trong đó: $X = [i_{Bd} \ i_{Bq} \ i_{Ed} \ i_{Eq} \ u_{dc}]^T$; $u_1 = K_B m_B \cos \delta_B$; $u_2 = K_B m_B \sin \delta_B$; $u_3 = K_E m_E \cos \delta_E$; $u_4 = K_E m_E \sin \delta_E$

3. XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN SMC

Phương trình động lực học phi tuyến của hệ thống:

$$\dot{X} = f(X) + g(X) \quad (18)$$

Trong đó, $f(X)$, $g(X)$ là các hàm phi tuyến và bất định, X là biến trạng thái.

Bộ điều khiển được thiết kế đảm bảo cho biến trạng thái bám theo tín hiệu đặt, biến sai lệch được định nghĩa như sau:

$$e = X - X^d \quad (19)$$

Chọn mặt trượt có dạng:

$$s = \dot{e} + \lambda e \quad (20)$$

Với λ là tham số thiết kế. Điều kiện trượt được xác định:

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dt} s^2 \leq -\eta |s| \Rightarrow s\dot{s} \leq -\eta |s| \Rightarrow \dot{s} \leq -\eta \text{sgn}(s) \quad (21)$$

Để hệ ổn định tiệm cận, chọn luật điều khiển như sau:

$$u = -g(X)^{-1} f(X) + (\dot{X}^d + (K_1 + K_2 \int (X - X^d) dt + \eta \text{sgn}(s))) \quad (22)$$

Trong đó, K_1 và K_2 là các thông số thiết kế. Công suất tác dụng và công suất phản kháng của bộ biến đổi nối tiếp được định nghĩa là các biến trạng thái của hệ thống $X = [P_s \ Q_s]^T$.

Sai số theo biến trạng thái được xác định như sau:

$$\dot{S}_{ps} = \ddot{e}_{ps} + \lambda \dot{e}_{ps} = (\ddot{P}_s - \ddot{P}_s^d) + \lambda (\dot{P}_s - \dot{P}_s^d) \quad (23)$$

$$\dot{S}_{Qs} = \ddot{e}_{Qs} + \lambda \dot{e}_{Qs} = (\ddot{Q}_s - \ddot{Q}_s^d) + \lambda(\dot{Q}_s - \dot{Q}_s^d) \quad (24)$$

Với P_s, Q_s lần lượt là công suất tác dụng và công suất phản kháng. Nếu chúng ta xem xét điều khiển chế độ trượt bậc hai cho công suất tác dụng và phản kháng, sự biến đổi của bề mặt trượt dựa trên (6) và (7) sẽ được định nghĩa như các phương trình sau:

$$\begin{aligned} \dot{S}_p &= (\ddot{P}_s - \ddot{P}_s^d) + \lambda(\dot{P}_s - \dot{P}_s^d) \\ &\leq -\eta \operatorname{sgn}(S_p) = -\eta \operatorname{sgn}((\dot{P}_s - \dot{P}_s^d) + \lambda(P_s - P_s^d)) \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{Qs} &= (\ddot{Q}_s - \ddot{Q}_s^d) + \lambda(\dot{Q}_s - \dot{Q}_s^d) \\ &\leq -\eta \operatorname{sgn}(S_{Qs}) = -\eta \operatorname{sgn}((\dot{Q}_s - \dot{Q}_s^d) + \lambda(Q_s - Q_s^d)) \end{aligned} \quad (26)$$

Mặt khác ta có:

$$\dot{x} = a|e(t)|^{0.5} \operatorname{sgn}(e(t)) + b \int_0^t \operatorname{sgn}(e(s)) ds \quad (27)$$

Thay (25) và (26) vào (27), thu được phương trình mặt trượt bậc hai. Mặt trượt trên được xác định như sau:

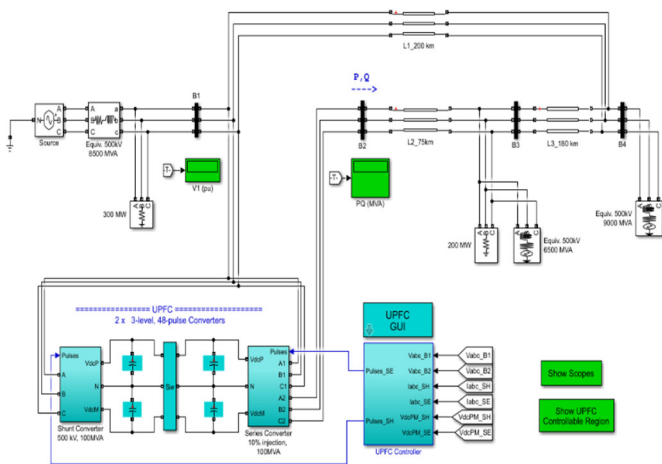
$$\operatorname{sat}(S_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } S_k > \phi \\ \frac{S_k}{\phi} & \text{if } |S_k| > \phi \\ -1 & \text{if } S_k < -\phi \end{cases} \quad (28)$$

Trong (28), ϕ là giới hạn dao động. Điện áp tham chiếu u_{qr} và u_{dr} được xác định:

$$\begin{bmatrix} V_q \\ V_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{p1}(P_s - P_s^d) + K_{i1} \int (P_s - P_s^d) + K_{p2} \operatorname{sat}(S_p) + K_{i2} \int \operatorname{sat}(S_p) \\ K_{q1}(Q_s - Q_s^d) + K_{i1} \int (Q_s - Q_s^d) + K_{p2} \operatorname{sat}(S_{Qs}) + K_{i2} \int \operatorname{sat}(S_{Qs}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_q \\ V_d \end{bmatrix}_{se} \quad (29)$$

Theo luật điều khiển được xác định trong (29), với $K_{p1}, K_{q1}, K_{p2}, K_{q2}$ là tham số thiết kế, đảm bảo hệ ổn định và giảm hiện tượng dao động của điều khiển trượt.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

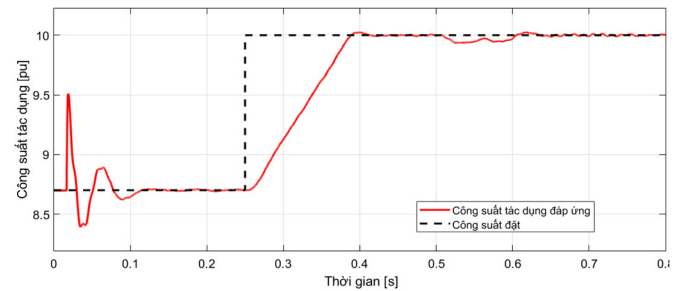


Hình 2. Mô phỏng hệ thống truyền tải 500kV dùng UPFC

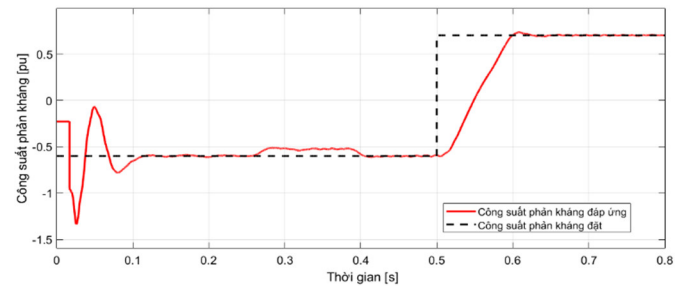
Bộ điều khiển luồng công suất hợp nhất (UPFC) được sử dụng để điều khiển luồng công suất trong hệ thống truyền tải 500kV. UPFC nằm ở đầu bên trái của đường L2 dài 75km, giữa bus B1 và B2 500kV, được sử dụng để điều khiển công suất tác dụng và phản kháng chạy qua bus B2 trong khi điều khiển điện áp ở bus B1. Nó bao gồm hai bộ chuyển đổi dựa

trên GTO 100MVA, ba cấp, 48 xung, một bộ được nối song song ở bus B1 và một bộ được nối nối tiếp giữa bus B1 và B2. Bộ chuyển đổi song song và nối tiếp có thể trao đổi nguồn điện thông qua bus DC. Bộ chuyển đổi nối tiếp có thể đưa tối đa 10% điện áp nối đất danh định (28,87kV) nối tiếp vào đường dây L2.

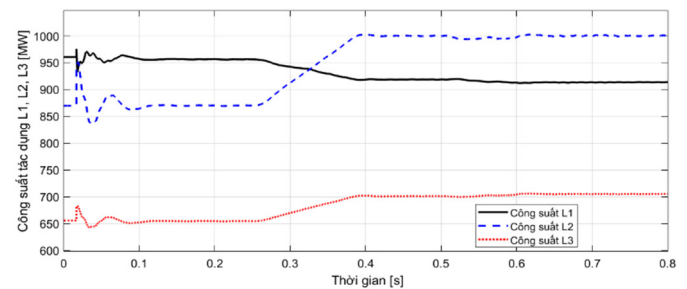
Trường hợp 1: Công suất tác dụng và phản kháng đặt ban đầu, $P_{ref} = +8,7\text{pu}/100\text{MVA}$ (+870MW) và $Q_{ref} = -0,6\text{pu}/100\text{MVA}$ (-60Mvar). Tại $t = 0,25$ giây, P_{ref} được đổi thành +10pu (+1000MW). Sau đó, tại thời điểm $t = 0,5$ giây, Q_{ref} được đổi thành +0,7pu (+70Mvar). Điện áp tham chiếu của bộ chuyển đổi shunt sẽ được giữ không đổi ở $V_{ref} = 1\text{pu}$ trong toàn bộ quá trình mô phỏng (thời gian bước = $0,3 \cdot 100 >$ thời gian dừng mô phỏng (0,8 giây)).



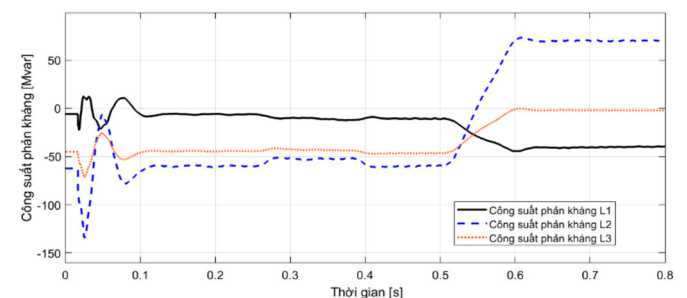
Hình 3. Đáp ứng công suất tác dụng



Hình 4. Đáp ứng công suất phản kháng



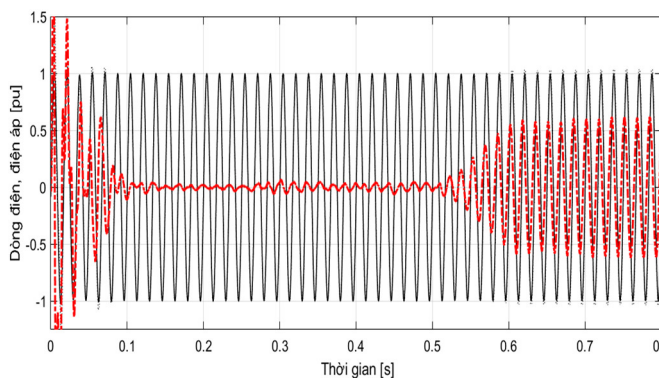
Hình 5. Công suất tác dụng trên các nhánh đường dây truyền tải



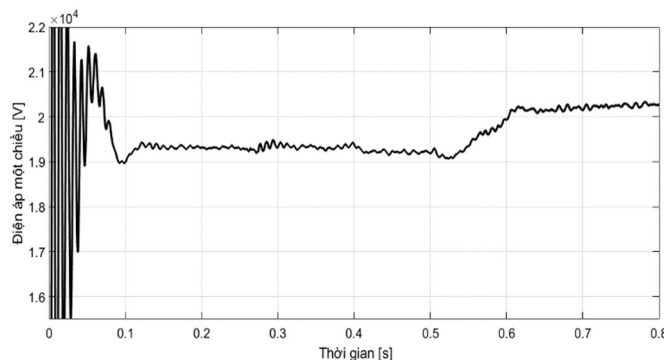
Hình 6. Công suất phản kháng trên các nhánh đường dây truyền tải

Trường hợp 2: Giá trị tham chiếu $[T_1 \ T_2 \ Q_1 \ Q_2]$

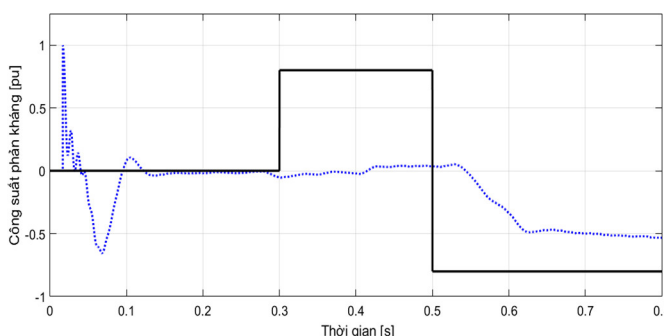
được đặt $[0,3 \ 0,5 \ +0,8 \ -0,8]$. Ở chế độ này, UPFC được vận hành như một nguồn công suất phản kháng thay đổi. Ban đầu, Q được đặt thành 0, sau đó tại $T_1 = 0,3$ giây Q được tăng lên $+0,8$ pu (UPFC hấp thụ công suất phản kháng) và tại $T_2 = 0,5$ giây, Q được đảo ngược thành $-0,8$ pu (UPFC tạo ra công suất phản kháng). Chạy mô phỏng và quan sát phản hồi động của UPFC. Khi $t = 0,5$ giây, Q được thay đổi từ $+0,8$ pu thành $-0,8$ pu. Khi $Q = +0,8$ pu, điện áp trễ so với dòng điện, cho thấy UPFC đang hấp thụ công suất phản kháng. Khi Q_{ref} được thay đổi từ $+0,8$ thành $-0,8$, độ dịch pha hiện tại đối với điện áp trễ 90° trong một chu kỳ. Việc điều khiển công suất phản kháng đạt được bằng cách thay đổi độ lớn của điện áp thứ cấp V_s được tạo ra bởi bộ chuyển đổi song song trong khi vẫn giữ nó cùng pha với điện áp thanh cái B1 V_p . Sự thay đổi cường độ V_s được thực hiện bằng cách điều khiển điện áp bus DC. Khi Q thay đổi từ $+0,8$ pu thành $-0,8$ pu, V_{dc} tăng từ 17,5kV lên 21kV.



Hình 7. Cường độ dòng điện, điện áp đầu ra UPFC



Hình 8. Điện áp một chiều



Hình 9. Công suất phản kháng

Nhận xét:

Kết quả sau khi mô phỏng cho thấy bộ SMC đã giúp UPFC đạt được các yêu cầu của một thiết bị bù điều khiển dòng công suất. Khi công suất tác dụng và công suất phản kháng trên đường truyền thay đổi, hệ thống nhanh chóng đáp ứng, với thời gian quá độ lớn nhất là 1,5 giây, sai số 0,01pu, không có dao động.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã mô hình hóa thiết bị bù UPFC, trên cơ sở đó đề xuất luật điều khiển SMC. Kết quả sau khi khảo sát cho thấy thiết bị bù đảm bảo được yêu cầu chất lượng, đảm bảo duy trì được công suất truyền tải. Có thể ứng dụng trong hệ thống truyền tải điện năng quốc gia như đường dây 500kV và các đường dây truyền tải khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. C. Chakraborty, H. H. C. Lu, D. D. C. Lu, "Power converters, control, and energy management for distributed generation," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62, 4466-4470, 2015.
- [2]. J. Yin, *Unified Power Flow Controller Technology and Application*. Academic Press, 2017.
- [3]. A. M. Shotorbani, A. Ajami, M. P. Aghababa, S. H. Hosseini, "Direct lyapunov theory-based method for power oscillation damping by robust finite-time control of unified power flow controller," *IET Generation, Transmission & Distribution*, 7, 7, 691-699, 2013.
- [4]. P. Kasinathan, R. Vairamani, S. Sundramoorthy, "Dynamic performance investigation of d-q model with PID controller-based unified power-flow controller," *IET Power Electronics*, 6, 5, 843-850, 2013.
- [5]. S. Mishra, "Neural-network-based adaptive UPFC for improving transient stability performance of power system," *IEEE Transactions on Neural Networks*, 17, 2, 461-470, March 2006.
- [6]. M. E. A. Farrag, G. A. Putrus, "Design of an Adaptive Neurofuzzy Inference Control System for the Unified Power-Flow Controller," *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27, 1, 53-61, 2012.
- [7]. S. Tiwari, R. Nares, R. Jha, "Neural network predictive control of UPFC for improving transient stability performance of power system," *Appl. Soft Comput.*, 11, 8, 4581-4590, 2011.
- [8]. M. Nayeripour, T. Niknam, S. Jam, "Design of sliding mode controller for UPFC to improve power oscillation damping," *Applied Soft Computing*, 11, 4766-4772, 2011.

AUTHORS INFORMATION

**Hoang Thi Thu Ha¹, Tran Thi Kim Thanh², Ta Tuan Huu²,
Nguyen Van Canh³, Nguyen Trung Hieu²**

¹Thanh Do University, Vietnam

²Electric Power University, Vietnam

³Northern Thanglong Economic Technical College, Vietnam