

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
KHOA CƠ - ĐIỆN

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC VỀ CƠ KHÍ - ĐIỆN - TỰ ĐỘNG HÓA

*National Conference on Mechanical, Electrical, Automation Engineering
(MEAE2025)*



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

KHOA CƠ - ĐIỆN

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC VỀ
CƠ KHÍ - ĐIỆN - TỰ ĐỘNG HÓA

*National Conference on Mechanical, Electrical, Automation
Engineering*

(MEAE2025)

VỚI CHỦ ĐỀ :

“CÔNG NGHỆ VÀ NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO”

BAN TỔ CHỨC

1. GS.TS Trần Thanh Hải, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Trưởng ban
2. PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Phó Trưởng ban
3. PGS.TS Khổng Cao Phong, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Phó Trưởng ban
4. PGS.TS Triệu Hùng Trường, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
5. PGS.TS Nguyễn Ngọc Khánh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
6. TS Ngô Thanh Tuấn, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
7. PGS.TS Nguyễn Văn Xô, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
8. PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
9. PGS.TS Nguyễn Đức Khoát, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
10. PGS.TS Đỗ Như Ý, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
11. TS Nguyễn Thạc Khánh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
12. TS Phạm Thị Thủy, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
13. ThS Hà Văn Thủy, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
14. PGS.TS Trịnh Trọng Chương, Trường ĐH Công nghiệp Hà Nội	Ủy viên
15. TS Lê Anh Tuấn, Trường ĐH Công nghiệp Hà Nội	Ủy viên
16. PGS.TS Đỗ Anh Tuấn, Công ty CP Kỹ thuật Công nghiệp Á Châu	Ủy viên
17. GS.TS Đinh Văn Chiến, Hội khoa học và công nghệ mỏ Việt Nam	Ủy viên
18. TS Tạ Ngọc Hải, Hội khoa học và công nghệ mỏ Việt Nam	Ủy viên
19. PGS.TS Bùi Minh Định, Đại học Bách Khoa Hà Nội	Ủy viên
20. TS Trịnh Minh Hoàng, Đại học Bách Khoa Hà Nội	Ủy viên
21. PGS.TS Lê Thu Quý, Viện Nghiên cứu Cơ khí	Ủy viên
22. TS Nguyễn Lâm Khánh, Trường ĐH Giao thông vận tải	Ủy viên
23. TS Bùi Thanh Danh, Trường ĐH Giao thông vận tải	Ủy viên
24. TS Đỗ Trung Hiếu, Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - TKV	Ủy viên
25. Ông Đoàn Việt Tuấn, Công ty than Mạo Khê – TKV	Ủy viên

BAN KHOA HỌC

1. GS.TS Trần Thanh Hải, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Trưởng ban
2. PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Phó Trưởng ban
3. PGS.TS Khổng Cao Phong, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Phó Trưởng ban
4. TS Ngô Thanh Tuấn, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
5. PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
6. PGS.TS Nguyễn Đức Khoát, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
7. PGS.TS Nguyễn Văn Xô, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
8. PGS.TS Đỗ Như Ý, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
9. TS Nguyễn Thạc Khánh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên

- | | |
|--|---------|
| 10. TS. Phạm Thị Thủy, Trường Đại học Mỏ - Địa chất | Ủy viên |
| 11. PGS.TS Trịnh Trọng Chương, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội | Ủy viên |
| 12. TS Nguyễn Lâm Khánh, Trường ĐH Giao thông vận tải | Ủy viên |
| 13. PGS.TS Đỗ Anh Tuấn, Công ty CP Kỹ thuật Công nghiệp Á Châu | Ủy viên |
| 14. GS.TS Đinh Văn Chiến, Hội khoa học và công nghệ mỏ Việt Nam | Ủy viên |

BAN BIÊN TẬP

- | | |
|-----------------------------|----------------|
| 1. PGS.TS Khổng Cao Phong | Trưởng ban |
| 2. TS Ngô Thanh Tuấn | Phó trưởng ban |
| 3. PGS.TS Nguyễn Viết Nghĩa | UV |
| 4. TS Nguyễn Thạc Khánh | Ủy viên |
| 5. PGS.TS Đặng Văn Chí | Ủy viên |
| 6. TS Phạm Thị Thủy | Ủy viên |
| 7. PGS.TS Đỗ Như Ý | Ủy viên |
| 8. PGS.TS Nguyễn Văn Xô | Ủy viên |
| 9. CV Trịnh Trọng An | Ủy viên |

BAN THƯ KÝ

- | | |
|---------------------------|----------------|
| 1. TS Ngô Thanh Tuấn | Trưởng ban |
| 2. TS Hồ Việt Bun | Phó Trưởng ban |
| 3. TS Phạm Thị Thanh Loan | Ủy viên |
| 4. ThS Nguyễn Tiến Sĩ | Ủy viên |
| 5. ThS Nguyễn Thanh Tùng | Ủy viên |
| 6. ThS Trần Việt Linh | Ủy viên |

BAN LỄ TÂN

- | | |
|-------------------------|----------------|
| 1. TS Đoàn Công Luận | Trưởng ban |
| 2. TS Đỗ Đức Thành | Phó Trưởng ban |
| 3. ThS Ưông Quang Tuyến | Ủy viên |
| 4. CV Đào Thị Hiền | Ủy viên |
| 5. CV Nguyễn Thị Liên | Ủy viên |
| 6. ThS Đào Thị Thủy | Ủy viên |
| 7. KS Lê Thị Hồng Thắng | Ủy viên |

LỜI NÓI ĐẦU

Trong bối cảnh khoa học – công nghệ phát triển nhanh chóng và đóng vai trò trung tâm trong quá trình chuyển đổi công nghiệp, các lĩnh vực Cơ khí, Điện, Tự động hóa và Năng lượng tái tạo đang ngày càng khẳng định tầm quan trọng đối với sự phát triển bền vững của quốc gia. Những yêu cầu mới về tối ưu hóa năng lượng, tự động hóa hệ thống, ứng dụng trí tuệ nhân tạo và khai thác các nguồn năng lượng sạch đặt ra nhiệm vụ cấp thiết cho cộng đồng nghiên cứu trong nước phải không ngừng đổi mới tư duy và phương pháp tiếp cận.

Nhằm thúc đẩy trao đổi học thuật, công bố kết quả nghiên cứu và tăng cường liên kết giữa cơ sở đào tạo – viện nghiên cứu – doanh nghiệp, Trường Đại học Mở – Địa chất phối hợp với các đơn vị tổ chức Hội nghị khoa học toàn quốc về Cơ khí, Điện và Tự động hóa năm 2025 (MEAE2025) với chủ đề “Công nghệ và năng lượng tái tạo”. Hội nghị là diễn đàn khoa học uy tín, nơi tập hợp các công trình nghiên cứu mới, các giải pháp công nghệ tiên tiến và các hướng tiếp cận hiện đại trong bối cảnh chuyển dịch năng lượng và phát triển xanh.

Ban Tổ chức tin rằng Tuyển tập công trình khoa học MEAE2025 sẽ là nguồn tư liệu có giá trị, phản ánh nỗ lực nghiên cứu nghiêm túc, mang tính học thuật và ứng dụng cao của đội ngũ các nhà khoa học Việt Nam. Các kết quả được công bố tại Hội nghị không chỉ đóng góp cho tri thức chung, mà còn gợi mở nhiều định hướng quan trọng phục vụ đào tạo, nghiên cứu và chuyển giao công nghệ.

Thay mặt Ban Tổ chức, chúng tôi xin trân trọng cảm ơn Đảng ủy, Hội đồng Trường, Ban Giám hiệu Trường Đại học Mở – Địa chất; các cơ quan, đơn vị phối hợp; các tác giả, nhà khoa học, nhà phản biện và doanh nghiệp đã đồng hành, hỗ trợ và đóng góp thiết thực cho sự thành công của Hội nghị.

Trân trọng.

TM. BAN TỔ CHỨC



PGS.TS Khổng Cao Phong

MỤC LỤC

1. Năng lượng tái tạo - Thực trạng và định hướng tương lai.....	1
2. Ứng dụng phương pháp số mô phỏng cogging torque của LSPMSM có xét đến ảnh hưởng của rãnh nghiêng Stato	5
3. Tối ưu hóa tham số bộ điều khiển lực khoan trên máy CNC bằng thuật toán di truyền.....	10
4. Tối ưu hóa tham số bộ điều khiển vị trí trên máy CNC bằng thuật toán di truyền	15
5. Giải pháp xử lý tự động quan trắc độ nghiêng lệch trụ điện gió trên bờ bằng máy toàn đạc không gương	20
6. Ảnh hưởng tổng trở sóng của cột tới quá điện áp sét trên đường dây truyền tải 220 kV ...	27
7. Tối ưu hoá tham số thiết kế trong Ansys Mechanical	35
8. Lắp đặt chống sét van kết hợp với cải thiện hệ thống nối đất nâng cao hiệu quả chống sét cho đường dây trung áp trên không tại Việt Nam	39
9. Tối ưu hóa thông số bộ lọc sóng hài của bộ biến đổi nguồn năng lượng mặt trời công suất nhỏ kết nối với lưới điện hạ áp.....	46
10. Phân tích ứng suất, biến dạng của lõi rèn trong quá trình rèn biên dạng rãnh xoắn.....	52
11. Mạng nơ-ron tích hợp vật lý: tổng quan và ứng dụng trong công nghiệp năng lượng, quốc phòng và hàng không vũ trụ	55
12. Thiết kế bộ điều khiển lqr cho động cơ dc ứng dụng thuật toán tối ưu FA.....	61
13. Nghiên cứu ảnh hưởng của chiều dày lớp đệm và lớp hấp thụ của pin mặt trời màng mỏng $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$	68
14. Phát hiện vật thể lạ trên băng tải bằng mô hình học máy	74
15. Nghiên cứu ảnh hưởng độ nghiêng của tấm pin 2 mặt kính đến hiệu suất hệ thống điện mặt trời.....	81
16. Develop a LSTM model to forecast runoff flow in time series.....	85
17. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng cắt giảm công suất phát đến lcoe của dự án điện gió.....	91
18. Xây dựng phần mềm xây dựng kế hoạch phát điện bằng thuật toán quy hoạch động	97
19. Điều khiển tự động và nhận diện sản phẩm lỗi cho hệ thống chiết rót.....	104

TỐI ƯU HÓA THÔNG SỐ BỘ LỌC SÓNG HÀI CỦA BỘ BIẾN ĐỔI NGUỒN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI CÔNG SUẤT NHỎ KẾT NỐI VỚI LƯỚI ĐIỆN HẠ ÁP

Đỗ Đức Thành^{1,*}, Ngô Thanh Tuấn²

¹ Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, doducthanh@humg.edu.vn;

² Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam, ngothanhtuan@humg.edu.vn;

TÓM TẮT

Bộ biến đổi nguồn năng lượng mặt trời công suất nhỏ khi kết nối trực tiếp với lưới điện hạ áp là một nguồn phát sinh nhiễu rất lớn. Mức độ nhiễu tồn tại ở vị trí kết nối của phụ thuộc chủ yếu vào đặc tính suy giảm của bộ lọc sóng hài. Việc tuân thủ tiêu chuẩn kết nối lưới của bộ biến đổi này không chỉ xác định trong điều kiện phòng thí nghiệm mà phải xem xét đến điều kiện vận hành thực tế. Các thông số cấu trúc của bộ lọc sóng hài không thể xác định được chính xác và quá trình thu thập, thống kê cũng mang tính xác suất. Do đó quá trình thiết kế bộ lọc thường sử dụng phương pháp 'thử-sai' rất tốn kém thời gian và mang lại hiệu quả kém. Hơn nữa, đặc tính cộng hưởng trong mạch khi xem xét thành phần điện cảm và điện ký dung sinh cũng ảnh hưởng lớn đến đặc tính suy giảm nhiễu ở vùng tần số cao. Trong bài báo này đề xuất hướng nghiên cứu sử dụng phương pháp thống kê nhằm tối ưu hóa tham số bộ lọc sóng hài và kiểm chứng sự tuân thủ tiêu chuẩn khi kết nối lưới điện thông qua mô phỏng trong phần mềm Matlab/Simulink.

Từ khóa: Bộ lọc sóng hài, Bộ biến đổi, Năng lượng mặt trời, Lưới hạ áp.

1. Mở đầu

Vấn đề kết nối nguồn năng lượng điện mặt trời áp mái với dải công suất nhỏ phải đáp ứng một số yêu cầu kỹ thuật chung như chất lượng sóng hài, tiêu chuẩn tương thích điện từ,... (Bộ Công Thương, 2015; TCVN, 2016; Bộ Công Thương, 2020; Zeb & nnk., 2018). Theo chỉ thị số 20/CT-TTg của Thủ tướng chính phủ đến năm 2030 (Thủ tướng chính phủ 2020) yêu cầu 50% hộ tiêu thụ điện phải lắp đặt điện mặt trời áp mái. Với đặc điểm bộ biến đổi DC/AC kết nối lưới trực tiếp sử dụng phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM) có thể là nguồn gây nhiễu lớn ảnh hưởng đến chế độ làm việc bình thường của lưới điện hạ áp (Huy & Loan, 2023; Hậu, 2020). Do đó, việc đảm bảo tiêu chuẩn kết nối của bộ biến đổi nguồn năng lượng mặt trời là vấn đề đáng được quan tâm, đặc biệt là bộ lọc nhiễu đầu ra bộ biến đổi.

Thông thường, một bộ lọc thông thấp (còn gọi là bộ lọc sóng hài) được lắp đặt ở đầu ra của bộ biến đổi DC/AC làm giảm giá trị của tổng độ biến dạng sóng hài (THD) theo các giới hạn cụ thể (Shih& nnk, 1996; Wu & nnk., 2017). Các sóng hài tần số cao (nhiều) phát sinh đi kèm theo phương

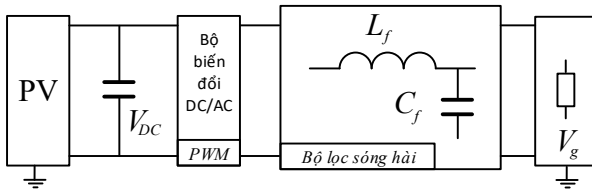
pháp điều chế PWM của bộ biến đổi có thể được suy giảm hoặc triệt tiêu phụ thuộc vào cấu trúc bộ lọc. Các nguồn điện phân tán như bộ biến đổi nguồn năng lượng mặt trời khi kết nối với lưới điện hạ áp cần đáp ứng những giới hạn theo tiêu chuẩn tương thích điện từ (EMC). Các thông số của bộ lọc thông thấp sẽ ảnh hưởng lớn đến chất lượng điện áp và các vấn đề EMC khi kết nối với mạng lưới điện (Do & Hirsch, 2020).

Về nguyên tắc, các thông số bộ lọc được lựa chọn để đảm bảo chất lượng điện áp hoặc sự làm việc ổn định của hệ thống điện như giảm thiểu dòng điện rò, hoặc mức độ gợn sóng điện áp, hoặc nâng cao hệ số công suất (Shih& nnk, 1996; Do & Hirsch, 2020; Anh, 2016). Thông số phù hợp của các thành phần bộ lọc cần được xác định theo dải công suất đầu ra và các tiêu chuẩn kết nối cụ thể. Do các thông số bộ lọc mang tính bất định cao nên phương pháp thống kê theo xác suất là cần thiết để giải quyết vấn đề này. Thông qua mô hình ngẫu nhiên Monte-Carlo (MC) có thể dự đoán được đáp ứng đầu ra cũng như trích xuất các thông số theo đặc tính làm việc mong muốn.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình điện mặt trời áp mái công suất nhỏ

Cấu trúc bộ chuyển đổi không có máy biến áp một pha được sử dụng làm mô hình nghiên cứu với phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM) đơn cực (Hình 1). Dải công suất đỉnh đầu ra được nghiên cứu từ 1kW đến 10kW. Điện áp xoay chiều đầu ra V_g là 230V và điện áp một chiều V_{DC} là 400V. Tần số chuyển mạch của phương pháp PWM f_{sw} được xem xét trong khoảng 2 kHz đến 20 kHz.



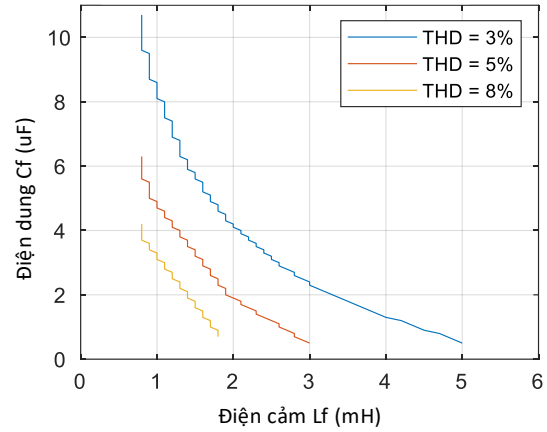
Hình 1. Mô hình cấu trúc hệ thống điện mặt trời (Do & Hirsch, 2021).

Để đảm bảo tiêu chuẩn chất lượng sóng hài khi kết nối trực tiếp lưới điện hạ áp, bộ lọc sóng hài (L_f - C_f) được đặt ở đầu ra của bộ biến đổi một chiều – xoay chiều DC/AC (Nhu & Huy, 2023; Anh, 2016; Chương & Huy, 2018). Bên cạnh đó, bộ lọc nhiễu tần số cao được sử dụng nhằm hạn chế nhiễu chế độ không đối xứng tạo bởi phương pháp PWM đơn cực đến giới hạn cho phép trong dải tần số âm thanh (150kHz ÷ 30MHz). Đối với dải tần số cao, các thành phần ký sinh sẽ ảnh hưởng đến mức độ suy giảm nhiễu và do đó giá trị nhiễu tồn tại vị trí kết nối sẽ biến động trong một phạm vi tương đối lớn.

2.2. Độ méo sóng hài

Giá trị độ méo sóng hài tổng đã được đề cập trong một số tiêu chuẩn và quy định là 8%, 5% hoặc 3% (Do & Hirsch, 2021). Các giá trị này được sử dụng để tính toán, lựa chọn các giá trị tối ưu của bộ lọc sóng hài cho một ứng dụng cụ thể để đáp ứng các tiêu chuẩn kết nối và quy định mức sóng hài trong quá trình vận hành. Trong tài liệu đã đưa ra giá trị thông số bộ lọc L_f - C_f cho hệ thống quang điện có công suất đỉnh 3,5kWp với tần số điều biến là 4kHz (Hình 2) đáp ứng các giá trị độ méo sóng hài tổng THD khác nhau (Do & Hirsch, 2021). Khi dải công suất phát của nguồn quang điện và tần số điều biến PWM thay đổi, giá trị phù hợp của thông số bộ lọc cũng sẽ khác đi. Đặc biệt là tiêu chuẩn kết nối lưới điện hạ áp ở

Việt quy định tổng độ biến dạng sóng hài điện áp không vượt quá 6,5% và biến dạng riêng lẻ là 3% (Bộ Công Thương, 2015). Do đó, cần phải có một phương pháp tiếp cận toàn diện để giải quyết vấn đề này.



Hình 2. Thông số bộ lọc cho công suất 3,5kWp và tần số điều biến là 4kHz (Do & Hirsch, 2020).

2.3. Quy trình thiết kế bộ lọc Lf-Cf

2.3.1. Dải thông số bộ lọc

Giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của các thông số bộ lọc sóng hài LC sẽ được xác định theo các điều kiện vận hành thông qua các phương trình toán học. Giá trị độ tự cảm tối thiểu L_{fmin} được xác định bằng điều kiện dòng điện ít nhấp nhô với mức gợn sóng tối đa là 10% đến 20% dòng điện định mức I_{dm} :

$$L_{fmin} = \frac{0,25.V_{dc}.T_{sw}}{(0,1 \text{ đến } 0,2).I_{dm}} \quad (1)$$

trong đó V_{dc} là điện áp DC (điện áp cực-cực), T_{sw} là thời gian chuyển mạch, $T_{sw} = 1/f_{sw}$.

Trong quá trình thiết kế bộ lọc LC, nên chọn tần số góc f_{cf} cao hơn 10 lần so với tần số cơ bản f_1 và nhỏ hơn một nửa tần số điều biến PWM f_{sw} ($10f_1 < f_{cf} < 0,5f_{sw}$). Do đó, giá trị độ tự cảm lớn nhất L_{fmax} được xác định bởi tần số góc tối thiểu f_{cfmin} và giá trị điện dung lớn nhất C_{fmax} :

$$L_{fmax} = \frac{1}{(2\pi f_{cfmin})^2.C_{fmax}} \quad (2)$$

trong đó f_{cfmin} biểu thị tần số góc tối thiểu ($f_{cfmin} = 10f_1 = 500 \text{ Hz}$), tần số cơ bản $f_1 = 50 \text{ Hz}$.

Căn cứ theo điều kiện vận hành, điện dung lớn nhất C_{fmax} được xác định bằng lượng công suất phản kháng lấy ra của bộ lọc nhỏ hơn 15% công suất định mức P_{dm} , vì vậy:

$$C_{fmax} = \frac{0,15.P_{dm}}{2\pi f_1.V_g^2} \quad (3)$$

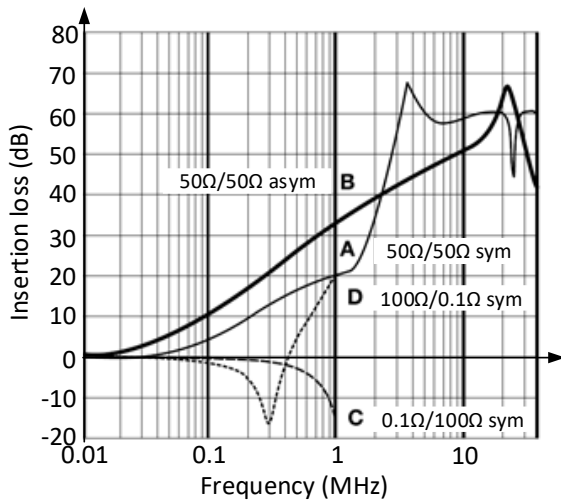
Tương tự như vậy, điện dung tối thiểu C_{fmin} được chọn để giới hạn điện áp gợn sóng đỉnh-đỉnh tối đa trong phạm vi từ 5% đến 10% điện áp lưới V_g , như sau:

$$C_{fmin} = \frac{\sqrt{2}I_{dm}}{1,1.V_g.2\pi.f_1.(0,05 \text{ đến } 0,1)V_g} \quad (4)$$

Giá trị tần số điều biến PWM của bộ biến đổi DC/AC cần được xem xét một cách cẩn trọng, nó có giá trị nằm trong khoảng từ 2kHz đến 20kHz. Thông thường, tần số điều biến càng cao thì có thể thu được THD_v của dạng sóng điện áp đầu ra càng thấp. Các thông số phù hợp của bộ lọc sóng hài này được xác định tùy thuộc vào tần số điều biến PWM và dải công suất đầu ra tương ứng.

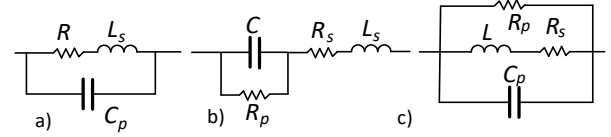
2.3.2. Đặc tính suy giảm nhiễu

Đặc tính suy giảm nhiễu của bộ lọc sóng hài và bộ lọc nhiễu phụ thuộc vào cấu trúc các bộ lọc, tổng trở nguồn nhiễu và tổng trở nối lưới (Hình 3). Các thông số cấu trúc của bộ lọc sóng hài và bộ lọc nhiễu tần số cao được thu thập theo phương pháp thống kê dựa trên các cấu trúc điển hình của các nhà sản xuất hiện có trên thị trường hiện nay (Hình 3). Đặc tính suy giảm đối với nhiễu đối xứng và không đối xứng phụ thuộc vào giá trị tổng trở đầu vào và đầu ra. Trong trường hợp tổng trở khác với trị số trở kháng tiêu chuẩn 50Ω, mức tiêu hao thay đổi lớn theo trị số tần số nhiễu. Vì vậy, cần nghiên cứu điều kiện đảm bảo tiêu chuẩn kết nối lưới với giá trị tổng trở lưới thực tế tại điểm đấu nối.



Hình 3. Đặc tính suy giảm của bộ lọc 16A, $L_{cm} = 0,65mH$ (SCHAFFNER, 2020).

Hình 4 trình bày mô hình thành phần điện dung ký sinh của điện trở, điện dung và điện cảm. Thông thường, các giá trị ký sinh (R_p , R_s , L_s , C_p) rất khó xác định, phụ thuộc vào nhiều yếu tố như kích thước, cấu trúc mạch in,... Các giá trị này sẽ ảnh hưởng lớn đặc tính suy giảm nhiễu ở tần số cao.

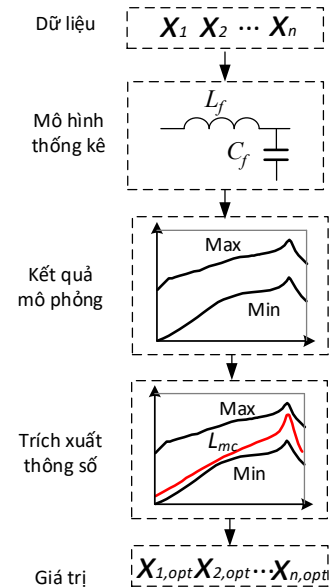


Hình 4. Thành phần ký sinh: a. Điện trở (R), b. Điện dung (C), và c. Điện cảm (L) – (Paul, 2006).

3. Nội dung và kết quả nghiên cứu

3.1. Phương pháp mô hình thống kê

Do đặc điểm các thông số không thể xác định được nên việc sử dụng mô hình mô phỏng ngẫu nhiên Monte-Carlo là phù hợp. Các thông số điều kiện biên được thu thập thông qua phương pháp thống kê và các giá trị khả dĩ của chúng có thể khảo sát với phân bố đều với số lượng mẫu đủ lớn. Hình 5 đưa ra thuật toán nhằm xác định và trích xuất các thông số trong mô hình thống kê. Tiêu chuẩn đo lường khoảng cách Euclide (DME) được sử dụng để tìm đường đặc tính ngẫu nhiên Monte-Carlo gần nhất với đường đặc tính thực tế.



Hình 5. Lưu đồ trích xuất thông số.

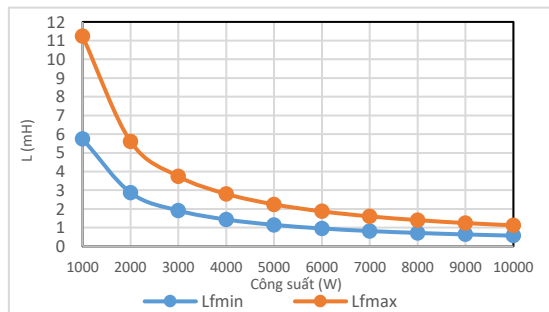
Để đảm bảo tính phổ quát, dải giá trị đầu vào được xác định theo các điều kiện giới hạn đảm bảo tiêu chuẩn chung. Kết quả đầu ra được sử dụng để dự đoán đáp ứng tương ứng với thông

số khả dĩ đầu vào. Ngoài ra, nếu xác định được dạng đường đặc tính làm việc mong muốn thì thông qua mô hình ngẫu nhiên có thể trích xuất các thông số phù hợp. Việc này rất hữu ích cho quá trình thiết kế và giảm thiểu thời gian tính toán, thực nghiệm.

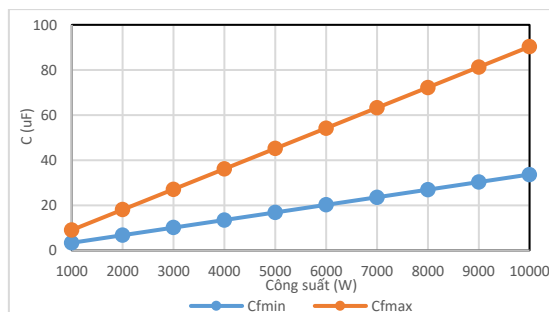
3.2. Thiết kế bộ lọc sóng hài

3.2.1. Dải thông số bộ lọc sóng hài

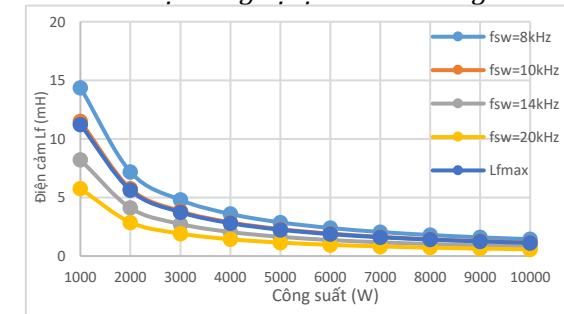
Phạm vi phù hợp của các thông số bộ lọc được tính toán dựa trên phương trình trên. Kết quả giá trị lớn nhất (L_{fmax}) và nhỏ nhất (L_{fmin}) được đưa ra trên Hình 6. Tương tự như vậy, giá trị điện dung lớn nhất và nhỏ nhất sẽ được xác định (Hình 7).



Hình 6. Điện cảm bộ lọc theo dải công suất.



Hình 7. Điện dung bộ lọc theo dải công suất.

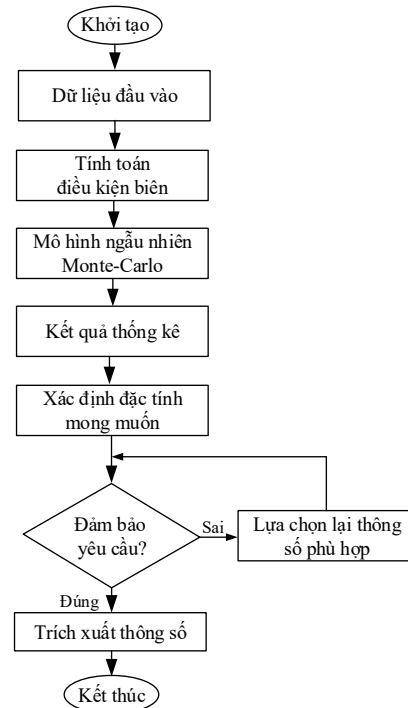


Hình 8. Giá trị điện cảm L_f và tần số chuyển mạch

Khi tần số điều biến khác nhau, giá trị điện cảm L_{fmin} tính toán sẽ thay đổi. Đặc biệt là ở vùng giá trị thấp dưới 10kHz của tần số điều biến,

giá trị điện cảm tối thiểu yêu cầu còn lớn hơn cả giá trị điện cảm L_{fmax} (Hình 8). Do đó, cần phải có phương pháp tiếp cận toàn diện để xác định thông số bộ lọc đảm bảo tiêu chuẩn kết nối lưới hạ áp.

Dựa trên phương pháp mô hình ngẫu nhiên Monte-Carlo và công cụ mô phỏng Simulink trong phần mềm Matlab có thể đưa ra giá trị phù hợp nhất của các thông số bộ lọc đáp ứng tiêu chuẩn kết nối. Hình 9 đề xuất lưu đồ thuật toán xác định các thông số cấu trúc phù hợp của bộ lọc tương ứng với đặc tính suy giảm mong muốn. Kết quả thống kê dựa vào mô hình ngẫu nhiên có thể dự đoán được đáp ứng đầu ra dựa trên các dữ liệu thiết kế đầu vào. Đồng thời, cũng có thể trích xuất được các thông số bộ lọc đáp ứng yêu cầu đầu ra cụ thể. Do đó, phương pháp tiếp cận này mang tính phổ quát và có tính khả thi cao trong việc thiết kế và tối ưu hóa thông số và cấu trúc bộ lọc.

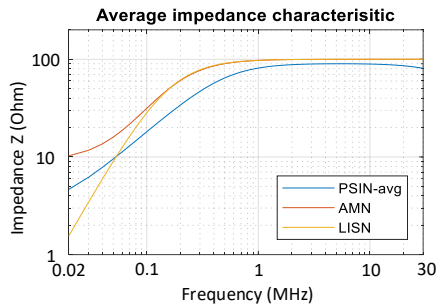


Hình 9. Lưu đồ thuật toán.

3.2.2. Ảnh hưởng của tổng trở kết nối

Giá trị tổng trở 50Ω được xây dựng trong phòng thí nghiệm sử dụng bộ kết nối nguồn ảo (AMN) hoặc bộ ổn định trở kháng đường dây (LISN) để kiểm nghiệm đáp ứng tiêu chuẩn kết nối của hệ thống quang điện. Trên thực tế, giá trị điện trở đo lường thống kê trung bình (PSIN-avg, Hình 10) lại khác xa giá trị trong dải tần số âm thanh. Do đó, cần xem xét ảnh hưởng của giá trị

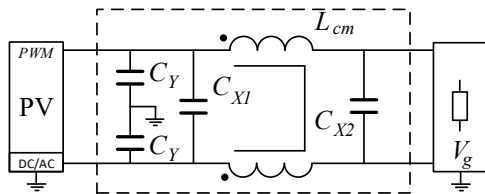
tổng trở thực tế đến mức độ nhiễu tồn tại tại vị trí kết nối. Với nhiễu tần số cao, mức độ suy giảm nhiễu cũng sẽ bị ảnh hưởng lớn bởi thành phần điện dung ký sinh của các phần tử bộ lọc.



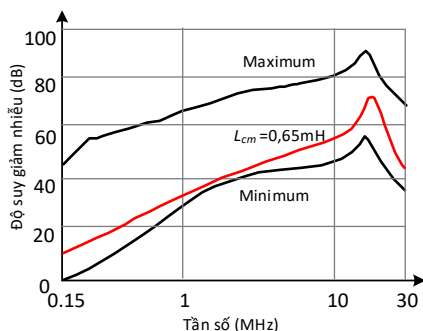
Hình 10. Giá trị tổng trở kết nối.

3.3. Thành phần ký sinh

Dựa trên định nghĩa về độ suy giảm nhiễu để đánh giá lượng suy nhiễu phụ thuộc vào cấu trúc đường truyền (Hình 11). Với nhiễu dẫn bởi quá trình điều chế PWM nằm trong dải tần số cao theo tần số điều biến (2÷20)kHz, các thành phần ký sinh sẽ ảnh hưởng lớn đến mức độ suy giảm nhiễu. Do đó, cần khảo sát và định lượng dải thông số phù hợp của chúng sử dụng phương pháp thống kê.



Hình 11. Bộ lọc nhiễu tần số cao EMI.



Hình 12. Kết quả mô hình thống kê.

Căn cứ trên mô hình ngẫu nhiên Monte-Carlo được sử dụng với hàm phân bố đều cho các thông số của bộ lọc nhiễu tần số cao (R_p , R_s , L_s , C_p) để khảo sát đặc tính suy giảm nhiễu trong dải tần số âm thanh (150kHz ÷ 30MHz). Thông qua quá trình thu thập các đặc tính nhiễu từ các nhà sản

xuất bộ lọc nhiễu điển hình, các khoảng giá trị biên sẽ được xác định. Tương tự như vậy, nếu đã biết đường đặc tính suy giảm nhiễu đầu ra (đường màu đỏ trên Hình 12) có thể xác định được các thông số đầu vào tương ứng khi so sánh với kết quả từ mô hình mô phỏng Monte-Carlo. Các thông số thành phần ký sinh được đưa ra trong Bảng 1 thông qua lưu đồ thuật toán trên Hình 9.

Bảng 1. Thông số thành phần điện dung ký sinh

TT	Thông số	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất
1	L_{cm}	0.1mH	12mH
2	C_p	1pF	50pF
3	R_p	1k Ω	100k Ω
4	C_X	50nF	0.1 μ F
5	L_{CX}	1nH	400nH
6	R_{CX}	0.01 Ω	0.8 Ω
7	C_Y	1nF	50nF
8	L_{CY}	1nH	50nH
9	R_{CY}	0.01 Ω	0.2 Ω

Các thông số được trích xuất từ các mô hình thống kê của bộ lọc nhiễu đóng vai trò rất quan trọng cho việc dự đoán đặc tính suy giảm nhiễu phù hợp cho các ứng dụng bộ biến đổi năng lượng với dải công suất khác nhau.

4. Thảo luận

Mô hình ngẫu nhiên dựa trên dữ liệu thống kê của các giá trị thực tế của thành phần cấu trúc bộ lọc sóng hài nhiễu. Kết quả thu thập mang tính chất thống kê và tán mạn trong phạm vi lớn. Việc xử lý lượng dữ liệu lớn cần sử dụng phương pháp luận mới và ứng dụng các công cụ máy tính hiện đại. Công cụ Matlab/Simulink là một giải pháp phù hợp cho việc giải quyết vấn đề này.

Tiêu chuẩn kết nối cho việc kết nối thiết bị bộ biến đổi vào lưới chủ yếu tập trung vào đặc tính sóng hài điện áp hoặc dòng điện với các giá trị định rõ theo tiêu chuẩn. Do đó, quá trình thiết kế bộ lọc sóng hài phải tuân thủ chặt chẽ quy định này.

Vấn đề tương thích điện từ cũng cần phải xem xét đến trong dải tần số âm thanh (150kHz ÷ 30MHz) đối với nhiễu dẫn liên quan đến tần số điều biến của phương pháp PWM. Khi đó, thông số bộ lọc nhiễu phải xét đến ảnh hưởng của thành phần ký sinh ở dải tần số này.

5. Kết luận

Dựa trên kết quả nghiên cứu cho mô hình bộ lọc nhiễu với bộ biến đổi nguồn năng lượng mặt trời kết nối với lưới điện hạ áp, một số khuyến nghị cụ thể như sau:

- Đề xuất dải giá trị tham số của bộ lọc sóng hài theo dải công suất của nguồn năng lượng mặt trời công suất nhỏ.

- Kiến nghị sử dụng mô hình ngẫu nhiên trong Matlab/Simulink để đưa ra giá trị chính xác cho tham số bộ lọc.

- Đánh giá việc tuân thủ tiêu chuẩn sóng hài khi kết nối trực tiếp với lưới điện hạ áp của các hệ thống quang điện.

Tài liệu tham khảo

Bộ công thương (2020), thông tư số 18/TT-BCT: Quy định về thứ tự ưu tiên, thủ tục cấp giấy chứng nhận đủ điều kiện phát triển dự án điện mặt trời nối lưới và hợp đồng mua bán điện.

Bộ công thương (2015), thông tư 39/TT-BCT ngày 18/11/2015 của Bộ Công thương: Quy định hệ thống điện phân phối, đảm bảo các tiêu chuẩn điện áp, tần số, sóng hài tại điểm lắp đặt đo đếm.

Chính phủ (2024), Nghị định 135/NĐ-CP: Quy định về cơ chế, chính sách khuyến khích phát triển điện mặt trời mái nhà tự sản xuất, tự tiêu thụ có đấu nối lưới điện quốc gia.

Lê Kim Anh (2016), "Nghiên cứu hệ thống điều khiển nối lưới sử dụng nguồn pin mặt trời", Tạp chí Khoa học Đại học Thủ Dầu Một, số 5(30).

Nguyễn Phúc Huy, Nguyễn Thị Thanh Loan (2023), "Giảm thiểu sóng hài trên lưới điện phân phối có tích hợp điện mặt trời", Tạp chí Khoa học Đại học Đông Á, tập 2, số 2(6) 2-14.

Nguyễn Thị Bích Hậu (2020), "Nghiên cứu cấu hình tối ưu cho hệ thống năng lượng mặt trời hòa lưới", Tạp chí Khoa học Công nghệ và Thực phẩm, số 20(4) 53-65.

Nguyễn Trường Nhu, Nguyễn Ngọc Xuân Huy (2023), "Tối đa hóa công suất thu được từ hệ thống pin năng lượng mặt trời bằng thuật toán P&O của kỹ thuật MPPT", Tạp chí Khoa học và công nghệ - Trường Đại học Bình Dương - Quyển 6, số 4.

TCVN 7447-7-712:2015 (IEC 60364-7-712:2002): Quy định các yêu cầu đối với hệ

thống lắp đặt điện của hệ thống nguồn PV, kể cả hệ thống có bộ biến đổi AC.

Thủ tướng Chính phủ (2020), Chỉ thị số 20/CT-TTg về việc tăng cường tiết kiệm điện giai đoạn 2020 – 2025.

Trịnh Trọng Chương, Bùi Văn Huy (2018), "Nghiên cứu, thiết kế hệ thống biến đổi điện tử công suất ứng dụng trong hệ thống năng lượng mặt trời kết nối lưới điện phân phối", Tạp chí Khoa học & Công Nghệ, số đặc biệt, 28-35.

Tiếng Anh

D. T. Do, and H. Hirsch (2020), "EMI filter performance of transformerless topology for photovoltaic applications", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe), pp. 1-6.

D. T. Do, and H. Hirsch (2020), "Probability distribution approach of EMI filter performance for photovoltaic applications", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal Integrity and Power Integrity (EMC+SIPI), pp. 681-684.

C. A. Paul (2006), Introduction to Electromagnetic Compatibility, 2nd Edition.

F. Y. Shih, D. Y. Chen, Y. P. Wu, and Y. T. Chen (1996), "A procedure for designing EMI filters for AC line applications", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 11, no. 1, pp. 1170-1181.

SCHAFFNER (2020), "General purpose EMI filter", 1-phase Filters, FN 2020, <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/000398716DS01/datasheet-398716-schaffner-fn-2020-16-06-fn-2020-16-06-emi-filter-250-v-ac-16-a-065-mh-w-x-h-71-mm-x-293-mm-1-pcs.pdf>.

Yuan-Kang Wu, Jhih-Hao Lin and Huei-Jeng Lin (2017), "Standards and guidelines for grid-connected photovoltaic generation systems: A Review and Comparison", IEEE Transaction on Industrial Applications, vol. 53, no. 4, pp. 3205-3216.

K. Zeb and et Al. (2018), "A review on recent advances and future trends of transformerless inverter structures for single-phase grid-connected photovoltaic systems", Energies, pp. 1-33.

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

Số 8 Tầng Bạt Hồ, phường Cửa Nam, TP. Hà Nội

ĐT: 024.39424620 - 39423346 * Fax: 024.38224784

Website: www.nxbgtvt.vn * Email: nxbgtvt@fpt.vn

CHỊU TRÁCH NHIỆM XUẤT BẢN, NỘI DUNG:

Giám đốc - Tổng Biên tập: Nguyễn Minh Nhật

BIÊN TẬP: **Dương Hồng Hạnh**

THIẾT KẾ: **Phương Linh**

Đối tác liên kết: Trường Đại học Mô - Địa chất

Địa chỉ: Số 18 phố Viên, phường Đông Ngạc, TP. Hà Nội

In 500 cuốn khổ 19 x 27cm, tại Công ty cổ phần in và thương mại Ngọc Hưng

Địa chỉ: 296 đường Phúc Diễn, TDP số 1, phường Xuân Phương, TP. Hà Nội.

Số xác nhận đăng ký xuất bản: 5321-2025/CXBIPH/2-110/GTVT.

Mã số sách tiêu chuẩn quốc tế - ISBN: 978-604-76-3274-9.

Quyết định xuất bản số: 114 LK/QĐ-XBGT ngày 18/12/2025.

In xong và nộp lưu chiểu năm 2025.



978-604-76-3274