

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

TUYỂN TẬP HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA
CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG
VÀ ỨNG PHÓ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU (ENCCR - 2026)

TUYỂN TẬP HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA
CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG
VÀ ỨNG PHÓ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU (ENCCR - 2026)

TUYỂN TẬP HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA: CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG VÀ ỨNG PHÓ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU (ENCCR - 2026)



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI



HỘI THẢO KHOA HỌC QUỐC GIA

**CÔNG NGHỆ NĂNG LƯỢNG VÀ ỨNG DỤNG BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU
(ENCCR – 2026)**

Hà Nội, 6/2026

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

MỤC LỤC

1. COP26 và tác động đến ngành dầu khí biển Việt Nam: thực trạng và định hướng “Dầu khí xanh”	1
<i>Trương Hoài Nam, Mai Văn Cảnh, Đồng Thị Minh Hà</i>	
2. Ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong sàng lọc và lựa chọn phương pháp gia tăng thu hồi dầu, thử nghiệm tại mỏ Tê Giác Trắng	13
<i>Đặng Duy, Nguyễn Tiến Hùng, Nguyễn Hải An</i>	
3. Ảnh hưởng của hóa lỏng đất đến bể chứa xăng dầu và biện pháp phòng ngừa	23
<i>Đặng Quang Huy, Phạm Văn Hùng, Vũ Minh Ngạn</i>	
4. Đánh giá cấu trúc bộ chuyển đổi DC/AC một pha điện mặt trời đến việc lựa chọn thông số bộ lọc sóng hài đảm bảo tiêu chuẩn kết nối	31
<i>Đỗ Đức Thành, Ngô Thanh Tuấn</i>	
5. Cơ sở kỹ thuật - kinh tế của mô hình cụm CCUS tập trung và định hướng cho Việt Nam	39
<i>Doãn Thị Trâm, Lê Quang Duyệt, Nguyễn Khắc Long, Nguyễn Văn Thành, Trần Văn Quảng</i>	
6. Investigation of seasonal correlation between land surface temperature and spectral indices: A case study in Gia Lai province	51
<i>Eaint Chit Phone, Le Mai Son, Nguyen Manh Hung</i>	
7. Assessing the influence of surface characteristics on evapotranspiration in evergreen forest ecosystems	57
<i>Le Mai Son, Nguyen Thu Ha</i>	
8. Ứng dụng mặt phản xạ mô phỏng đáy biển phục vụ dự báo địa nhiệt cho khu vực Đông Bắc bể trầm tích Nam Côn Sơn	64
<i>Lê Ngọc Ánh, Nguyễn Hải Bình, Bùi Thái Sơn, Hà Văn Thành, Vương Gia Bảo</i>	
9. Quản lý rủi ro sinh cát trong phát triển mỏ tầng Mioxen giữa, bể Cửu Long dưới góc nhìn tích hợp yếu tố địa kỹ thuật và kinh tế	71
<i>Lê Vũ Quân, Nguyễn Văn Thịnh</i>	
10. Tích hợp thuộc tính địa chấn và phân tách phổ nghiên cứu dự báo vỉa chứa địa tầng Oligocen muộn khu vực lô X bể Cửu Long	80
<i>Nguyễn Duy Mười, Lê Ngọc Ánh, Nguyễn Thị Minh Hồng, Bùi Thị Ngân, Nguyễn Thị Thu Hằng</i>	
11. Ảnh hưởng các yếu tố tới sự phát triển chiều cao khe nứt đối với giếng X tầng Oligocene trong quá trình nứt vỉa thủy lực	87
<i>Nguyễn Hữu Trường</i>	
12. Thực trạng và thách thức khi triển khai lưu giữ CO₂ trong thành hệ địa chất tại Việt Nam	97
<i>Nguyễn Khắc Long, Trương Văn Từ, Nguyễn Văn Thành, Doãn Thị Trâm, Phạm Hồng Sơn, Đỗ Minh Cường</i>	
13. Hydrogen trắng (hydrogen tự nhiên): Cơ chế hình thành, tiềm năng và định hướng nghiên cứu cho Việt Nam	108
<i>Nguyễn Thế Vinh, Lê Quang Duyệt, Nguyễn Hải An</i>	

Đánh giá cấu trúc bộ chuyển đổi DC/AC một pha điện mặt trời đến việc lựa chọn thông số bộ lọc sóng hài đảm bảo tiêu chuẩn kết nối

Đỗ Đức Thành, Ngô Thanh Tuấn*
Trường Đại học Mở - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

TÓM TẮT

Sự đa dạng trong cấu trúc của các bộ biến đổi DC/AC cho nguồn phát điện sử dụng năng lượng mặt trời khi kết nối với lưới điện hạ áp. Phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM) được sử dụng để tạo ra sóng điều hòa hình sin ở đầu ra bộ chuyển đổi với cấu trúc sơ đồ cầu đầy đủ (H4). Bộ lọc sóng hài ở tại vị trí đầu ra bộ biến đổi đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo các tiêu chuẩn kết nối. Quá trình tính toán thiết kế bộ lọc phải xem xét đến đặc điểm của nguồn gây nhiễu và độ suy giảm nhiễu của bộ lọc. Bằng cách bổ sung thêm nối kết phía một chiều và phía xoay chiều trong quá trình chuyển mạch van sẽ hạn chế đáng kể thành phần nhiễu không đối xứng. Từ đó có thể nâng cao đặc tính làm việc của bộ chuyển đổi, làm giảm nhẹ yêu cầu trong quá trình thiết kế bộ lọc nhiễu. Trong bài báo này sẽ nghiên cứu đặc tính nhiễu của một số dạng cấu trúc bộ chuyển đổi điển hình như H4, H5, H6 và HERIC. Thông qua kết quả mô phỏng trong công cụ Matlab/Simulink sẽ đánh giá đáp ứng của bộ lọc sóng hài với tiêu chuẩn sóng hài tại vị trí kết nối.

Từ khóa: Bộ chuyển đổi DC/AC; Điện mặt trời; Bộ lọc sóng hài; Độ méo sóng hài.

1. Đặt vấn đề

Các nguồn năng lượng tái tạo sẽ đóng vai trò then chốt để giải quyết vấn đề cạn kiệt tài nguyên hóa thạch và giảm phát thải CO₂ hướng tới phát thải ròng về không (Net-Zero) vào năm 2050 (Thủ tướng Chính phủ, 2023). Theo chỉ thị số 20/CT-TTg của Thủ tướng chính phủ đến năm 2030 thì 50% hộ tiêu thụ lắp đặt điện mặt trời áp mái (Thủ tướng Chính phủ, 2020) sẽ dẫn đến những thách thức trong quá trình vận hành ổn định của lưới điện hạ áp (Huy và Loan, 2023). Các nguồn điện mặt trời sử dụng bộ nghịch lưu DC/AC với phương pháp điều chế độ rộng xung là nguồn phát xạ sóng hài đáng kể lên lưới điện hạ áp. Để hạn chế mức độ sóng hài phát lên lưới thì bộ lọc ở vị trí đầu ra bộ chuyển đổi là cần phải xem xét kỹ lưỡng. Theo tiêu chuẩn kết nối với lưới điện hạ áp thì tổng độ méo sóng hài điện áp không được vượt quá 6,5% và độ méo sóng hài riêng tối đa là 3% (Bộ Công Thương, 2015). Với dải công suất nhỏ (dưới 10 kW), các tấm pin quang điện thường được gắn trên mái nhà các hộ dân dụng và kết nối trực tiếp vào lưới điện hạ áp (Chính phủ, 2024).

Dạng cấu trúc không có máy biến áp của bộ chuyển đổi DC/AC một pha được quan tâm đến do thiếu yếu tố cách ly giữa phía DC và AC (Khan và nnk., 2019). Với dạng cấu trúc này, vấn đề dòng điện rò khép mạch thông qua điện dung ký sinh phía một chiều. Thông thường, bộ lọc nhiễu không đối xứng gồm hai cuộn dây quấn trên mạch từ chỉ phản ứng với thành phần không đối xứng (CM choke) được sử dụng để hạn chế giá trị dòng điện rò này. Đối với hệ thống một pha hai dây dẫn, việc bố trí các cuộn cảm đối xứng riêng trên dây pha và dây trung tính không chỉ làm suy giảm nhiễu đối xứng (DM) mà còn có tác dụng làm giảm giá trị dòng rò tại vị trí kết nối. Quá trình thiết kế bộ lọc sóng hài cũng phụ thuộc vào đặc tính nguồn nhiễu tương ứng với các cấu trúc khác nhau của bộ chuyển đổi. Các nghiên cứu về bộ biến đổi DC/AC một pha chủ yếu tập trung vào giảm dòng điện rò hoặc hạn chế nhiễu không đối xứng ở dải tần số âm thanh. Đặc biệt là việc khảo sát hiệu quả giảm sóng hài của bộ lọc đầu ra với các mô hình bộ chuyển đổi DC/AC điện mặt trời quy mô nhỏ chưa được quan tâm thích đáng.

Cấu trúc bộ chuyển đổi DC/AC đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì độ nhiễu sóng hài tại vị trí kết nối. Cấu trúc cầu đầy đủ (Full-bridge) với phương pháp điều chế độ rộng xung PWM đơn cực là trường hợp xấu nhất được xem xét để làm cơ sở nghiên cứu các phương pháp khác. Các cấu trúc làm giảm nhiễu không đối xứng như cấu trúc H5, HERIC, H6 do hãng sản xuất SMA, Sunways, Integram đề xuất tương ứng (Zeb và nnk., 2018). Nguyên lý cơ bản là giữ cho thành phần điện áp không đối xứng không đổi trong quá trình chuyển mạch của các van. Kết quả suy giảm dòng điện rò đã được kiểm chứng trong tài liệu (Zeb

* Tác giả liên hệ
Email: ngothanhtuan@humg.edu.vn

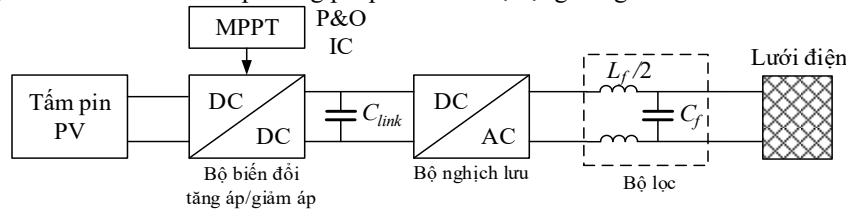
và nnk., 2018) cho dải tần số âm thanh. Nhưng với dải tần số sóng hài (dưới 2kHz) vẫn chưa được khảo sát cụ thể. Trong bài báo này sẽ đi phân tích chi tiết ảnh hưởng của các cấu trúc bộ chuyển đổi DC/AC đến việc lựa chọn giá trị bộ lọc sóng hài đảm bảo tiêu chuẩn kết nối với lưới điện hạ áp.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguồn năng lượng điện mặt trời áp mái

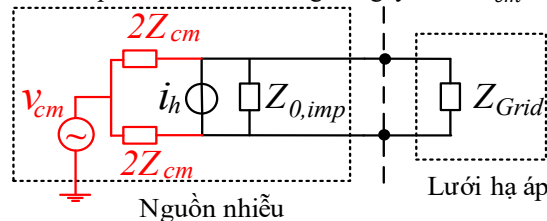
2.1.1. Tổng quan về hệ thống điện mặt trời

Hệ thống điện sử dụng năng lượng mặt trời thông qua bộ nghịch lưu DC/AC với phương pháp điều chế độ rộng xung PWM phát lên lưới điện hạ áp (Hình 1). Với dải công suất nhỏ chỉ vài kW, các pin quang điện được lắp đặt trên mái nhà của các hộ tiêu thụ dân dụng. Trong trường hợp này, bộ chuyển đổi DC/AC một pha được nối với lưới điện để phát năng lượng dư thừa từ hệ thống pin quang điện. Khi công suất phát lớn hơn, khoảng trên 10 kW sẽ sử dụng bộ biến đổi DC/AC ba pha được nối trực tiếp với lưới điện hạ áp 380/220 V. Bộ lọc sóng hài được lắp đặt ở vị trí đầu ra nhằm đảm bảo tiêu chuẩn sóng hài khi kết nối với lưới điện hạ áp. Quá trình tính toán, thiết kế bộ lọc cần phải xem xét đến cấu trúc bộ biến đổi và quá trình phát xạ sóng hài đầu ra đi kèm với phương pháp điều chế độ rộng xung.



Hình 1. Mô hình điện mặt trời PV một pha (Do và Hirsch, 2020).

Khi các ứng dụng điện mặt trời kết nối với điện áp, đặc tính nhiễu sẽ được xem xét với 2 thành phần đối xứng (v_{dm}) và nhiễu không đối xứng (v_{cm}). Biểu thức xác định các thành phần nhiễu: $v_{dm} = v_{a0} - v_{b0}$ và $v_{cm} = (v_{a0} + v_{b0})/2$. Trong đó, v_{a0} và v_{b0} là điện áp các dây dẫn so với đất. Đối với thành phần nhiễu đối xứng, nguồn điện mặt trời có thể được xem xét như một nguồn dòng hài i_h (sơ đồ Norton). Giá trị nghịch đảo của tổng dẫn đầu ra ($Z_{0,imp}$) được xác định tùy theo các thông số cấu trúc của bộ biến đổi và bộ lọc sóng hài. Đối với thành phần nhiễu không đối xứng, sơ đồ Thévenin được sử dụng với nguồn nhiễu v_{cm} và tổng trở không đối xứng Z_{cm} . Tổng trở tương đương phía lưới Z_{Grid} được biểu diễn tương ứng với tổng trở đo lường tại vị trí kết nối. Do có sự tồn tại của thành phần nhiễu không đối xứng v_{cm} nên tồn tại một dòng điện khép mạch qua điện dung ký sinh của tấm pin PV và điểm nối đất của lưới hạ áp. Dòng điện này được gọi là dòng điện rò, giá trị của nó phụ thuộc lớn vào nguồn gây nhiễu v_{cm} .

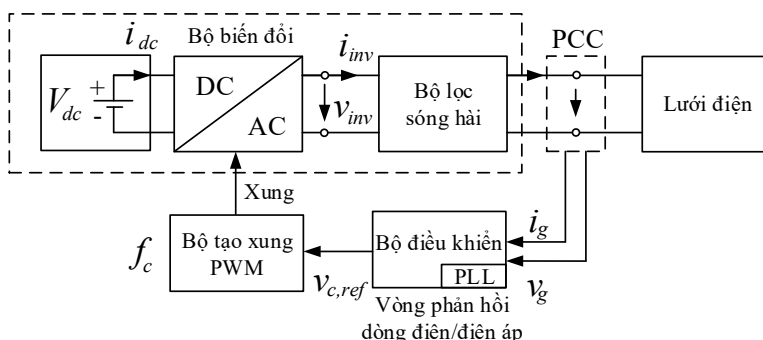


Hình 2. Nguồn nhiễu của hệ thống PV (Amara và nnk., 2018).

2.1.2. Bộ lọc sóng hài

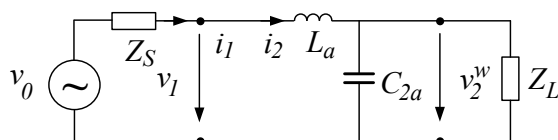
Thiết kế bộ lọc sóng hài dựa vào đặc điểm của nguồn nhiễu là bộ chuyển đổi DC/AC với phương pháp điều chế độ rộng xung PWM. Tín hiệu xung điều chế được tạo ra với tín hiệu tham chiếu điện áp $V_{c,ref}$ từ bộ điều khiển tỷ lệ tích phân (Hình 3). Một bộ lọc sóng hài được đặt ở đầu ra bộ nghịch lưu DC/AC để hạn chế độ méo sóng hài ở dải tần số thấp đến 2 kHz. Việc lựa chọn thông số bộ lọc phải đảm bảo giá trị hài điện áp phải nhỏ hơn giá trị ngưỡng theo tiêu chuẩn lưới điện tại vị trí điểm kết nối (PCC). Tổng độ méo sóng hài điện áp theo TCVN là 6,5% và biến dạng thành phần riêng lẻ là 3% (Bộ Công Thương, 2015). Công thức để xác định giá trị THD của dạng sóng điện áp và dòng điện như sau: $THD_v(\%) = \sqrt{\sum_{i=2}^n V_i^2 / V_1} \cdot 100$ và $THD_i(\%) = \sqrt{\sum_{i=2}^n I_i^2 / I_1} \cdot 100$. Trong đó: V_i và I_i là độ lớn của các thành phần hài riêng lẻ bậc i ; V_1 và I_1 là thành phần sóng điều hòa cơ bản ($f_1 = 50\text{Hz}$). Giá trị tần số điều biến PWM cũng ảnh hưởng lớn đến tổng độ méo sóng hài THD yêu cầu. Thông thường, tần số điều biến f_c càng lớn thì giá trị tổng độ méo sóng hài điện áp đầu ra càng nhỏ. Tuy nhiên, bộ chuyển đổi DC/AC cũng sẽ phát xạ các nhiễu tần số cao là bội số của tần số điều biến PWM nằm trong dải tần số âm thanh (150 kHz ÷ 30 MHz). Nếu mức độ suy giảm nhiễu của bộ lọc không đảm bảo thì mức độ nhiễu tồn tại ở vị trí kết nối có thể sẽ vi phạm theo tiêu chuẩn tương thích điện từ (EMC). Do đó, cần khảo sát thêm với các giá trị tần số điều biến

của bộ chuyển đổi DC/AC cho ứng dụng điện mặt trời áp mái công suất nhỏ nối trực tiếp với lưới điện hạ áp.



Hình 3. Nguyên lý hoạt động của bộ chuyển đổi DC/AC.

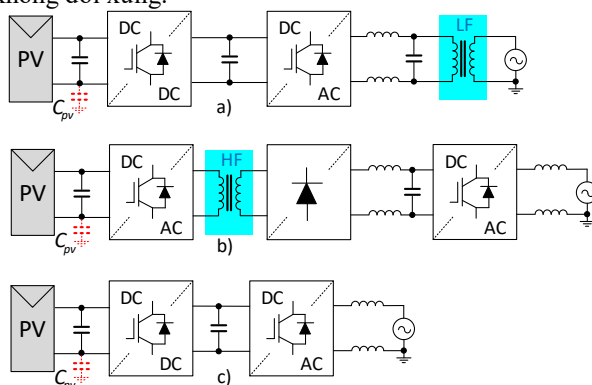
Cấu trúc bộ lọc sóng hài gồm một số dạng điện hình như sau: chỉ có điện cảm (L), điện cảm và điện dung (LC, CL), sơ đồ hình π (CLC), chỉ có điện dung (C) và sơ đồ hình T (LCL). Đối với ứng dụng điện mặt trời một pha, bộ lọc gồm có một điện cảm và một điện dung (LC) được sử dụng. Để có thể đánh giá hiệu quả bộ lọc nhiễu ở vị trí đầu ra bộ chuyển đổi, các thành phần đối xứng và không đối xứng của nhiễu tổng được phân tách riêng. Dựa trên khái niệm độ suy giảm nhiễu của đường truyền trước và sau khi bỏ sung các bộ lọc có thể đánh giá hiệu quả của chúng theo thành phần cấu tạo của bộ lọc. Đối với bộ lọc sóng hài tổng quát cho nhiễu đối xứng DM, cấu trúc gồm điện cảm L và điện dung C được sử dụng phổ biến.



Hình 4. Mô hình tính toán độ suy giảm nhiễu.

2.1.3. Cấu trúc không máy biến áp (Transformerless topology)

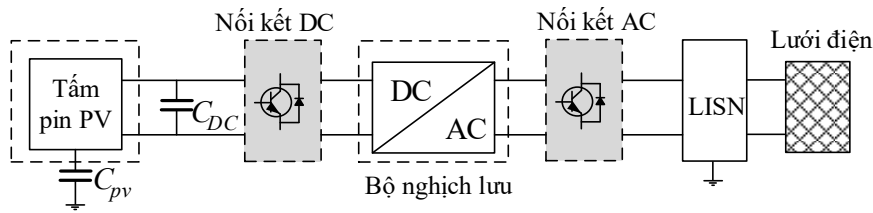
Các cấu trúc điển hình của nguồn điện mặt trời công suất nhỏ được giới thiệu trên Hình 5. Thông thường, có 3 cấu hình bộ biến đổi DC/AC như sau: có máy biến áp (MBA) tần số thấp (LF), máy biến áp cao tần (HF), cấu trúc không có máy biến áp. Mỗi dạng cấu trúc có những đặc điểm riêng trong quá trình thiết kế và vận hành. Cấu trúc hệ thống điện có máy biến áp do có khối lượng lớn nên chỉ phù hợp cho ứng dụng mặt trời công suất lớn (hàng trăm kW đến hàng MW). Máy biến áp tần số cao với lõi thép ferrite sử dụng tần số điều biến cao hơn 20 kHz phù hợp cho điện mặt trời áp mái dân dụng với dải công suất khoảng 3 kW. Với chi phí thấp, kích thước nhỏ gọn và hiệu suất cao nên cấu trúc không máy biến áp được sử dụng cho các ứng dụng điện mặt trời. Do thiếu cách ly nên cấu trúc này gặp phải vấn đề lớn với dòng điện rò bởi nhiễu không đối xứng khi sử dụng phương pháp PWM đơn cực. Vì vậy, cần thiết đề xuất các cấu trúc khác để làm suy giảm nhiễu không đối xứng.



Hình 5. Bộ chuyển đổi: a. MBA thường, b. MBA cao tần và c. Không có MBA (Khan và nnk., 2019).

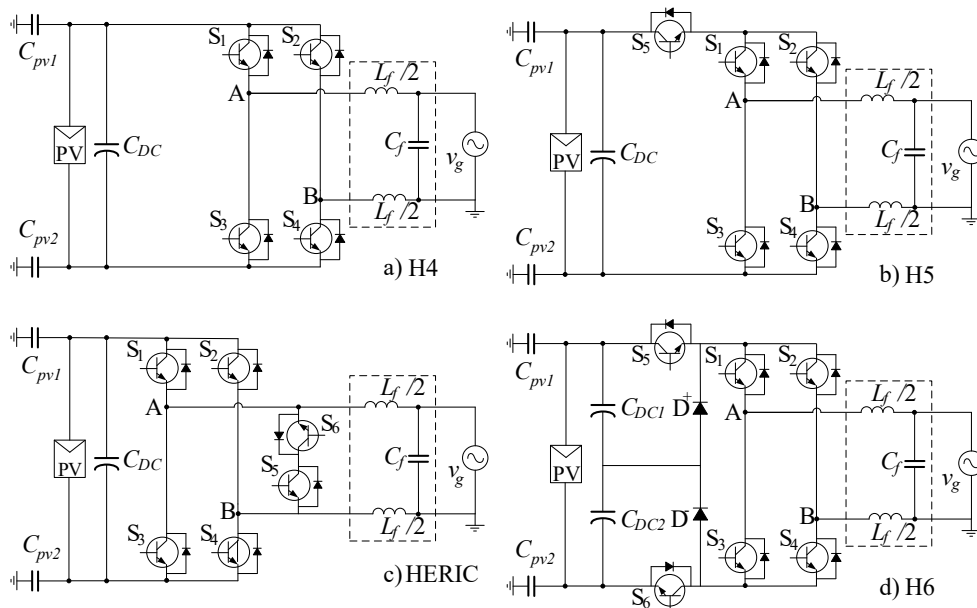
Một số cấu trúc bộ biến đổi đã được nghiên cứu nhằm cải thiện đặc tính nhiễu không đối xứng CM bằng cách bổ sung thêm các khóa đóng cắt (Zeb và nnk., 2018). Nguyên lý cơ bản là giữ cho điện áp không đổi

xúng có trị số không đổi trong quá trình chuyển mạch. Một số giải pháp kỹ thuật được đề xuất như phân tách phía một chiều khỏi phía xoay chiều, triệt tiêu nhiễu không đối xứng trong chu kỳ tự do của đi-ốt hoặc sử dụng cấu hình nối đất chung (Hình 6).



Hình 6. Giải pháp cải thiện thành phần nhiễu không đối xứng (Do và Hirsch, 2021).

Hình 7 trình bày cấu trúc giảm nhiễu thành phần không đối xứng cho ứng dụng điện mặt trời như H5, HERIC và H6 (Zeb và nnk., 2018). Cấu trúc H5 được hãng SMA đề xuất thay đổi các van S1 và S2 đóng cắt theo chu kỳ lưới, khóa S5 được đặt ở phía DC hoạt động ở chế độ ngắt gián đoạn đồng bộ với tần số chuyển mạch. Thông qua khóa H5, dòng điện rò sẽ bị ngắt quãng và tạo ra trạng thái tổng trở cao đối với nhiễu không đối xứng. Dựa trên khái niệm bộ chuyển đổi tin cậy và hiệu suất cao hãng sản xuất Sunways đã đề xuất cấu trúc HERIC bổ sung thêm 2 khóa S5 và S6 ở phía xoay chiều AC. Các van S5 và S6 hoạt động chu kỳ của điện áp lưới tạo nên dạng sóng điện áp đầu ra ba mức. Cấu trúc cầu đầy đủ với việc nối tắt phía một chiều (DC bypass) được gọi là cấu trúc H6 do hãng Ingeteam xây dựng. Hai khóa đóng cắt và đi-ốt được bổ sung ở phía DC để ngắt quãng pin quang điện khỏi phía xoay chiều AC trong trạng thái điện áp qua không. Như vậy, nhiễu thành phần không đối xứng có thể được giảm đáng kể thông qua giải pháp nối kết 2 phía của bộ biến đổi DC/AC (Hình 6). Trong đó, phương pháp nối kết phía DC đối với cấu trúc bộ biến đổi H5, H6 và nối kết phía AC cho cấu trúc HERIC. Kết quả làm giảm trị số dòng điện rò đã được ghi nhận trong tài liệu (Zeb và nnk., 2018; Do và Hirsch, 2021).



Hình 7. Cấu trúc DC/AC điển hình: a. H4, b. H5, c. HERIC và d. H6 (Zeb và nnk., 2018).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

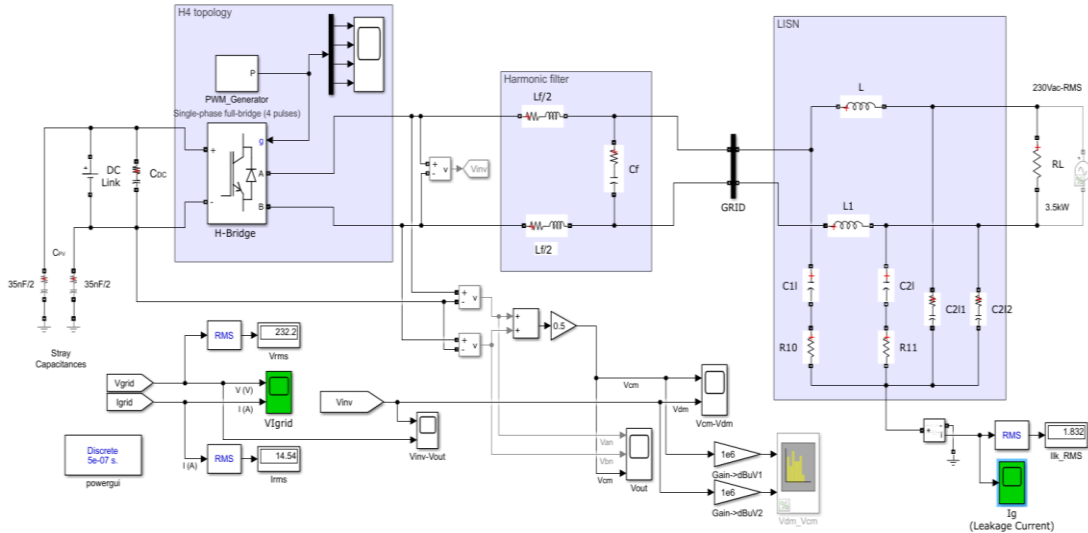
Để khảo sát và phân tích tác động của cấu trúc bộ biến đổi đến lựa chọn thông số bộ lọc sóng hài khi tích hợp nguồn điện mặt trời áp mái một pha vào lưới điện hạ áp sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết và mô hình hóa mô phỏng hệ thống. Thông qua kết quả mô phỏng sẽ đưa ra khuyến nghị thông số bộ lọc sóng hài phù hợp cho một đối tượng cụ thể.

3. Kết quả mô phỏng và thảo luận

3.1. Mô phỏng cấu trúc bộ chuyển đổi DC/AC

3.1.1. Mô hình mô phỏng bộ chuyển đổi DC/AC cho điện mặt trời áp mái

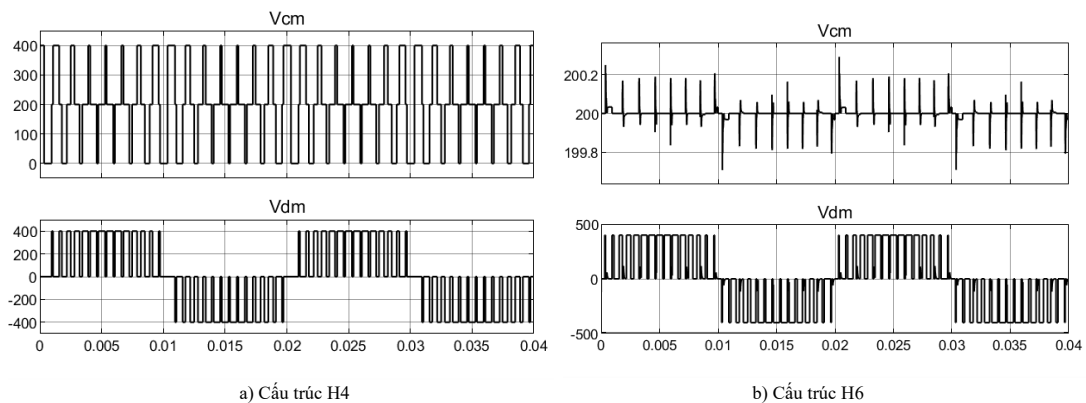
Cấu trúc các bộ chuyển đổi (H4, H5, HERIC và H6) sẽ được mô phỏng trong Matlab/Simulink với một bộ lọc sóng hài tại vị trí đầu ra (Hình 7). Mô hình tổng trở ghép nối mạng LISN (50 μ H//50 Ω) được sử dụng để giả lập việc đo lường các thông số trong điều kiện phòng thí nghiệm. Hình 8 mô tả sơ đồ mô phỏng hệ thống điện mặt trời áp mái với cấu trúc cầu đầy đủ H4. Thông số sơ đồ mô phỏng như sau: điện dung ký sinh của các tấm pin mặt trời C_{pv} bằng 35 nF, điện áp một chiều là 400 V, điện áp xoay chiều là 230 V, giá trị tụ điện dung một chiều C_{DC} lấy bằng 200 μ F (Do và Hirsch, 2020). Dạng sóng điện áp sẽ được xem xét với thành phần đối xứng và không đối xứng. Trong phần tiếp theo sẽ trình bày chi tiết dạng sóng điện áp đầu ra và dòng điện rò giữa hai loại sơ đồ cấu trúc điện hình: sơ đồ cầu đầy đủ (H4) và sơ đồ cải tiến H6.



Hình 8. Sơ đồ mô phỏng trong Matlab/simulink cho cấu trúc cầu đầy đủ (H4).

3.1.2. Kết quả mô phỏng

Để minh họa rõ ràng hơn việc thay đổi trật tự đóng mở các khóa chuyển mạch đến dạng sóng điện áp đầu ra của bộ chuyển đổi DC/AC, giá trị tần số điều biến f_c bằng 750 Hz được sử dụng. Hình 9a đưa ra dạng sóng điện áp cho thành phần không đối xứng (v_{cm}) và thành phần đối xứng (v_{dm}) đối với sơ đồ H4. Có thể nhận thấy rằng, thành phần điện áp không đối xứng luôn tồn tại trong quá trình chuyển mạch van bởi phương pháp PWM đơn cực. Với cấu trúc H6, nhờ giải phân tách phía một chiều DC bởi phía xoay chiều AC nên có thể giữ giá trị điện áp không đối xứng v_{cm} gần như không đổi trong suốt chu kỳ (Hình 9b). Thông qua việc phân tách hai thành phần nhiễu không đối xứng và đối xứng có thể khảo sát ảnh hưởng của chúng đến giá trị nhiễu còn lại tại vị trí đầu nối. Để tạo ra tín hiệu sóng điện áp có dạng gần hình sin và hạn chế mức độ nhiễu phát vào lưới điện, bộ lọc sóng hài (L-C) cần được lắp đặt ở phía đầu ra của bộ biến đổi.



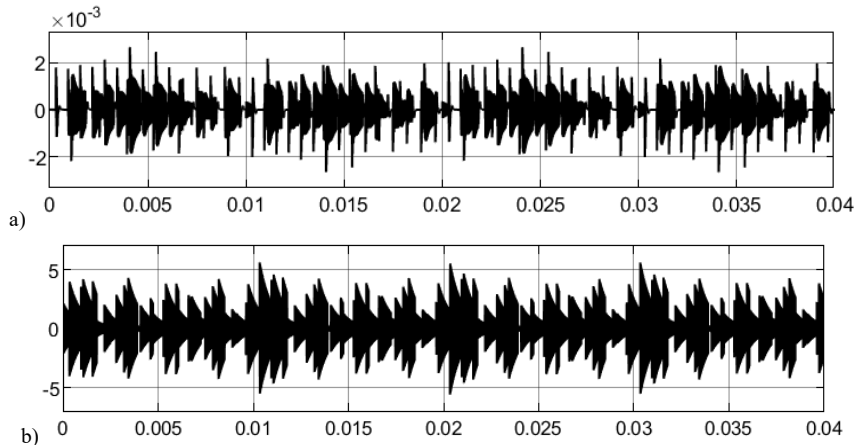
Hình 9. Dạng sóng điện áp đầu ra: a. H4 và b. H6.

Do thành phần nhiễu không đối xứng tồn tại đi kèm với phương pháp điều chế PWM đơn cực nên dòng điện rò có giá trị lớn và dao động trong phạm vi rộng (Hình 10a). Trị số bình quân phương (RMS) của giá

trị dòng điện rò đo lường được 1,681 A tương ứng với tần số điều biến 750 Hz. Trong khi đó, nhờ giữ được thành phần điện áp không đối xứng gần như không đổi nên giá trị dòng điện rò chỉ là 0,61 mH cho cấu trúc H6 (Hình 10b). Như vậy, bằng cách thay đổi cấu trúc bộ chuyển đổi có thể làm giảm đáng kể trị số nhiễu không đối xứng và giảm thiểu nguy cơ về vấn đề dòng điện rò trong quá trình vận hành.

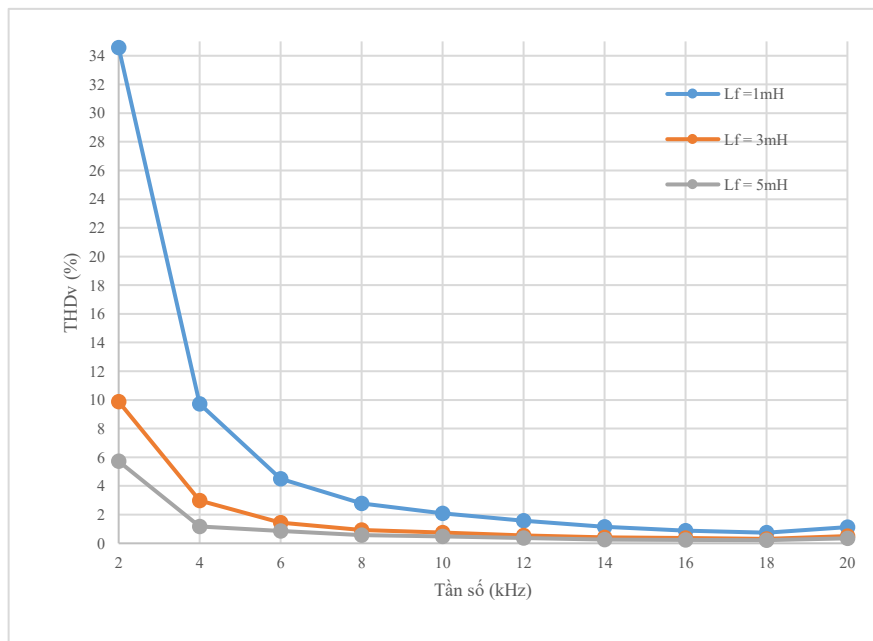
3.2. Thông số bộ lọc sóng hài

Căn cứ trên giá trị tổng độ méo sóng hài điện áp THD_V tiêu chuẩn tại vị trí kết nối có thể xác định được các tham số của bộ lọc sóng hài đáp ứng được yêu cầu. Quá trình đo lường giá trị tổng độ méo sóng hài sử dụng công cụ phân tích chuỗi Fourier nhanh trong phần mềm Matlab (FFT analysis). Tuy nhiên, giá trị tổng độ méo sóng hài lại phụ thuộc chính vào cấu trúc bộ biến đổi, thông số bộ lọc, tần số điều biến PWM. Do đó, cần khảo sát sơ bộ sự thay đổi của giá trị tổng độ méo sóng hài đầu ra theo các biến số này.



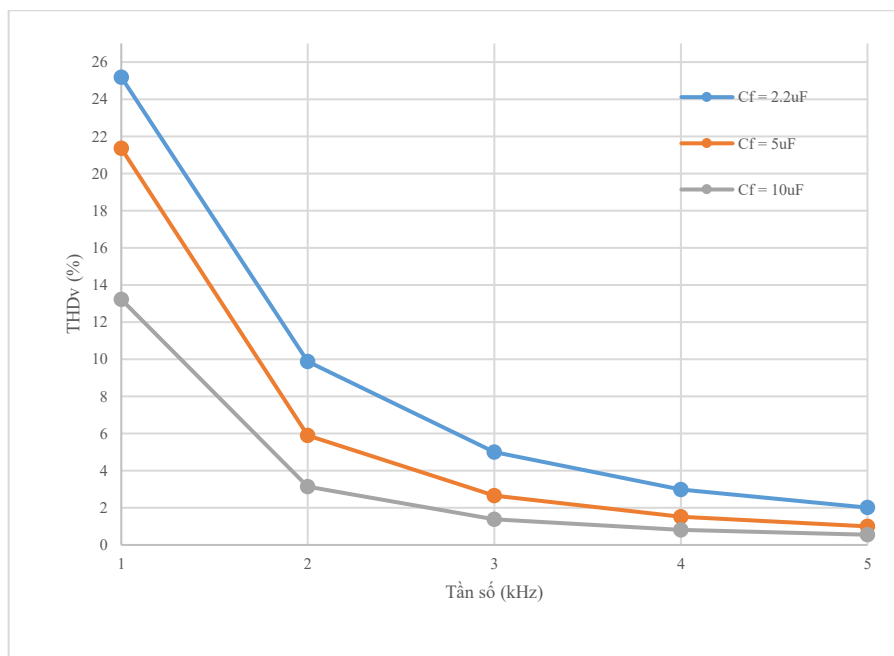
Hình 10. Trị số dòng điện rò: a. H4 và b. H6.

Hình 11 đưa ra kết quả đo lường tổng độ méo sóng hài đầu ra tương ứng với các giá trị điện cảm là 1 mH, 3 mH và 5 mH khi tần số điều biến thay đổi từ 2 kHz đến 20 kHz. Cấu trúc cầu đầy đủ H4 được xem xét với giá trị điện dung của bộ lọc được giữ không đổi trong quá trình mô phỏng ($C_f = 2,2 \mu F$). Có thể nhận thấy, với giá trị THD_V tiêu chuẩn bằng 6,5% khi tần số điều biến thấp sẽ yêu cầu giá trị điện cảm tương đối lớn và ngược lại. Thông qua các kịch bản mô phỏng với dải biến thiên của thông số điện cảm bộ lọc có thể xác định được vùng tham số phù hợp cho một cấu trúc cụ thể.



Hình 11. THD_V phụ thuộc vào điện cảm L_f .

Tương tự như vậy, thông qua việc thay đổi giá trị điện dung bộ lọc C_f cũng sẽ quan sát được giá trị tổng độ méo sóng hài đầu ra như trên Hình 12 cho trường hợp giá trị điện cảm bằng 3 mH. Giá trị điện dung được sử dụng trong mô phỏng là 2,2 μF , 5 μF và 10 μF . Tần số điều biến PWM được xem xét ở dải giá trị thấp từ 1 kHz đến 5 kHz. Như vậy, việc lựa chọn giá trị điện dung phù hợp cũng đóng vai trò rất quan trọng cho việc đảm bảo giá trị tổng độ méo sóng hài tại vị trí kết nối.



Hình 12. THD_v phụ thuộc vào điện dung C_f .

4. Kết luận

Thông qua việc nghiên cứu một số cấu trúc bộ chuyển đổi điện hình DC/AC, một số nhận xét được rút ra như sau:

1. Phương pháp PWM đơn cực sử dụng trong cấu trúc bộ chuyển đổi tạo ra trở ngại lớn với dòng điện rò kèm theo nhiễu không đối xứng ở dải tần số âm thanh.
2. Thông qua việc giữ điện áp không đối xứng không đổi có thể làm suy giảm đáng kể giá trị nhiễu tồn tại ở điểm kết nối như các cấu trúc bộ biến đổi H5, HERIC, H6.
3. Độ méo sóng hài tổng THD_v đầu ra phụ thuộc nhiều vào giá trị tần số điều biến PWM và phương pháp tạo điện áp đầu ra bởi các loại cấu trúc bộ chuyển đổi.
4. Căn cứ theo giá trị tổng độ méo sóng hài yêu cầu theo tiêu chuẩn kết nối, thông số phù hợp của bộ lọc sẽ được đề xuất theo các kịch bản vận hành cụ thể.

Lời cảm ơn

Xin gửi lời trân trọng cảm ơn tới Trường Đại học Mỏ - Địa chất đã tài trợ kinh phí cho việc triển khai hướng nội dung nghiên cứu này theo đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở năm 2026, mã số T26-05.

Tài liệu tham khảo

- Bộ Công Thương, (2015). *Thông tư 39/2015/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 135/2024/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.*
- Do, D. T., and Hirsch, H., (2020). EMI filter performance of transformerless topology for photovoltaic applications. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe)*, pp. 1-6.
- Do, D. T., and Hirsch, H., (2021). Performance of representative transformer-less topologies for photovoltaic applications. *Joint IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal & Power Integrity and EMC Europe (EMC+SIPI)*, England, pp. 1-4.
- Khan, Md Noman H., Forouzes, M., Siwakoti, Y. P., Li, L., Kerekes, T., and Blaabjerg, F., (2019). Transformerless inverter topologies for single-phase photovoltaic systems: A comparative review. *IEEE*

Journal on Emerging and Selected Topics in Power Electronics, pp. 805-835. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2019.2908672>.

Nguyễn Phúc Huy và 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), tr. 2-14.

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

Thủ tướng Chính phủ, (2023). *Quyết định số 500/QĐ-TTg về việc phê duyệt Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050* (Quy hoạch điện VIII).

Zeb, Kamran, Khan, Imran, Uddin, Waqar, Khan, Muhammad Adil, Sathishkumar, P., Busarello, Tiago Davi Curi, Ahmad, Iftikhar, and Kim, H. J., (2018). A review on recent advances and future trends of transformerless inverter structures for single-phase grid-connected photovoltaic systems. *Energies*, pp. 1-33. <https://doi.org/10.3390/en11081968>.

ABSTRACT

Evaluating the structure of a single-phase DC/AC solar converter to determine harmonic filter parameters ensuring connection standards

Duc Thanh Do, Thanh Tuan Ngo

Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

Having diversity in the structure of DC/AC converters used for a solar power generation when connected to a low-voltage grid. Normally, a pulse width modulation (PWM) is used to generate a sinusoidal harmonic waveform at the converter output with a full-bridge structure (H4). A harmonic filter locates at the converter output play a crucial role in ensuring connection standards. The filter design process must consider the characteristics of the interference source and its attenuation characteristics. By adding DC decoupling and AC decoupling during the valve switching process, an asymmetric noise component can be significantly reduced. Thus, it can improve the converter performance and reduce the requirements during the noise filter design process. This paper studies the noise characteristics of several typical converter architectures such as H4, H5, H6 and HERIC. Through simulation results in Matlab/Simulink, the response of a harmonic filter will be evaluated to ensure a specific harmonic standard at the connection point.

Keywords: DC/AC converter; Solar power; Harmonic filter; Harmonic distortion.