

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

TRẦN QUANG THỌ

**ĐIỀU KHIỂN BỘ NGHỊCH LƯU NÓI LƯỚI
TRONG MẠNG ĐIỆN PHÂN PHỐI**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SỸ

NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỆN

MÃ SỐ: 62520202

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 6/2017.

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

Người hướng dẫn khoa học 1: *Vũ Sĩ Tuấn*.....PGC.TS. *Tuấn Việt Anh*
(Ghi rõ họ, tên, chức danh khoa học, học vị và chữ ký)

Người hướng dẫn khoa học 2: *Le Minh Phung*.....PGS.TS. *Le Minh Phung*
(Ghi rõ họ, tên, chức danh khoa học, học vị và chữ ký)

Luận án tiến sĩ được bảo vệ trước
HỘI ĐỒNG CHẤM BẢO VỆ LUẬN ÁN TIẾN SĨ
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
Ngày tháng năm 2017.

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 5 tháng 6 năm 2017.

Tác giả luận án

Trần Quang Thọ

INTRODUCTION

Project Motivation

The demands of the renewable energy sources coming from the sun and wind are increasing due to the high sustainability and enormous benefits of the green environment. However, several drawbacks are also shown in the system. Tapping into those energy sources and connecting them to the power network could begin the electricity generation, which is to provide the sufficient energy for human living. To provide the good quality and affordable price to the energy users, this research aims at improvement of the system power quality and meeting industry rigorous standards of performance and stringent government regulations. Grid-connected inverter is typically designed from the power semiconductor materials. With the new and improved design, the grid-connected inverters could contribute to the reduction of harmonics in grid-connected inverters therefore improve the power system quality. This thesis presents the new design, development & performance analysis of the Grid-connected inverter to ensure lower current harmonics in the power network and further improve the quality of the power system.

Objectives

Basing on the analysis of mathematical model of current ripples, the author has studied and proposed the four key solutions to reduce harmonics for grid-connected inverters as follows:

- A new modulation technique with the variable switching cycle in each half of the fundamental period uses a genetic algorithm results in no increase in switching loss and hardware.
- An improved strategy for estimating quickly and accurately the fundamental grid voltage parameters relies on the Levenberg-Marquardt algorithm integrated with feedback from outputs to update initial parameters for enhancing the synchronization quality.
- A maximum power point-tracking technique which uses a variable increment to deal with the DC voltage ripples of grid-connected photovoltaic inverters.
- An optimum method for determining the coefficients of current controller based on the Particle Swarm Optimization method which is a key tool to improve results and save money, time, and effort.

Scope and limitation

In this thesis, the author focuses on the modulation techniques, the estimation of fundamental grid voltage parameters using phase-locked loop for synchronization, the reduction of DC voltage ripples, and the optimal detection of controller coefficients.

The project research consists of one-phase and three-phase two-level grid-connected photovoltaic inverter systems with small and medium scales for their popular application.

The operating conditions of active and reactive power control are considered quantitatively to validate the performance of the solutions.

The concept “optimum” in the thesis is comprehended to achieve the best possible results by comparing with those of the existing methods.

Approach and research methodology

The thesis relies on the mathematical model of current ripples to identify the root causes of harmonics. Based on the scientific evidence and systematically collected data, the author proposed the four key methods to reduce harmonics of grid-connected inverters. The performance of the new inverters is also validated against the existing methods in the literature.

+ The analysis is implemented basing on the mathematical model of current ripples to help the project to have a general and scientific approach, leading to a right research orientation.

+ The simulation on MATLAB/Simulink is used to test the proposed methods for reduction of harmonics, demonstrating the high intuition and reliability in the expected survey domain.

+ The experiment using physical models with the hardware platforms including DSP-F28335 and DSpace-1103 helps validating the collected data and to ensure a high feasibility in actual applications.

The technical parameters are evaluated for reasonableness, consistency, and accuracy. The simulation and experiment results are compared quantitatively. The proposed techniques are evaluated with the existing methods.

Outline of the thesis

The thesis’s content consists of five chapters as follows:

Chapter 1: Overview of grid-connected inverter systems

Chapter 2: Modulation technique using variable switching cycle

Chapter 3: Fast and accurate estimation of fundamental grid voltage parameters

Chapter 4: Reduction of DC voltage ripples and determination of optimal current controller coefficients

Chapter 5: Conclusion and future work

Main contributions

In the author’s opinion, the main contributions of this dissertation are enumerated in the following.

✓ A new modulation technique

Chapter 2 presents a modulation technique with switching cycle varying in each half of fundamental period. This technique significantly reduces inverter harmonics without increase of switching loss and hardware. In addition, the selective harmonic elimination and the spectrum spread over a wide range of frequencies make individual harmonics decrease significantly.

✓ An improved strategy for estimating rapidly and accurately fundamental grid voltage parameters

The feedback of outputs to update initial parameters of the solution in chapter 3 makes the strategy converge rapidly to the minimum. The nature of the method is to solve the differential equation online using the conventional digital approach. This allows the proposed phase-locked loop to have no phase detector, no loop filter, and no voltage controlled oscillator.

✓ A novel maximum power point tracking technique

The proposed technique in chapter 4 uses the variable increment to deal with DC voltage ripples of grid-connected photovoltaic inverters. This leads to reducing inverter output harmonics without affecting dynamic response.

✓ An optimum determination of the coefficients of current controller

Due to the infinite of closed-loop transfer function of grid-connected inverters, the conventional methods for determining coefficients of current proportional-resonance controller can give the local minimum. The author proposed a method basing on Particle Swarm Optimization in chapter 4 to specify the global values for alleviating harmonics without requiring a lot of time and effort, and experience of designers.

Feasibility

The research methods of the thesis for reducing harmonics of grid-connected inverters surely contribute to the improvement of system power quality.

+ The proposed modulation technique for reducing harmonics helps decrease the size of passive filters and further lowering the cost of grid-connected inverters. In addition, the low switching frequency of the semiconductor switches near the peak current can help decrease the thermal stress, thus increasing the inverter's lifetime. In addition to those benefits, the spectrum spread over a wide frequency range makes acoustic noise decrease result in suitable applications for telecommunication and military equipment.

+ The proposed method for estimating accurately and quickly the parameters of fundamental grid voltage allows the inverters to use the lower sensitive voltage transducers with lower production cost.

+ The improved MPPT with variable increment helps the inverters not to use DC-DC converters for enhancing power conversion efficiency with assurance of power quality.

+ The controller with the optimum coefficients determined by using the proposed PSO algorithm reduces design phrase further saving time, effort, and money.

The proposed solutions of the thesis can also extend to other fields such as motor control inverters, active power filters, uninterruptible power supplies, dynamic voltage restorers, D-statcom, etc.

MỞ ĐẦU

Tính cần thiết

Các nguồn năng lượng tái tạo như gió và mặt trời đang phát triển rất mạnh mẽ vì tính bền vững và thân thiện với môi trường trong khi tiềm năng vô cùng lớn. Tuy nhiên, chúng lại có nhược điểm là bị loãng và không liên tục. Do đó, chúng thường được nối với lưới điện để trở thành một nguồn điện với chất lượng tốt và giá thành rẻ thông qua các bộ nghịch lưu bán dẫn công suất. Chính các bộ nghịch lưu nối lưới lại phát sinh sóng hài đáng kể vào lưới điện và ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng điện năng của hệ thống điện. Vì vậy, việc nghiên cứu các giải pháp điều khiển để giảm sóng hài cho nghịch lưu nối lưới luôn góp phần nâng cao chất lượng điện năng của hệ thống điện.

Mục tiêu của luận án

Trên cơ sở phân tích mô tả toán học của sóng hài dòng điện, tác giả đã nghiên cứu và đề xuất bốn giải pháp để giảm sóng hài cho nghịch lưu nối lưới như sau:

- Kỹ thuật điều chế với chu kỳ chuyển mạch thay đổi trong mỗi nửa chu kỳ cơ bản sử dụng giải thuật di truyền có xem xét đến tổn hao chuyển mạch một cách định lượng.
- Phương pháp ước lượng nhanh và chính xác các tham số điện áp lưới cơ bản sử dụng giải thuật Levenberg-Marquardt có hồi tiếp ngõ ra để cập nhật tham số ban đầu nhằm nâng cao chất lượng tín hiệu điều chế.
- Giải thuật dò điểm công suất cực đại với số gia biến đổi để giảm độ nhấp nhô điện áp một chiều của nghịch lưu.
- Phương pháp xác định tối ưu các hệ số của bộ điều khiển cộng hưởng dòng điện sử dụng giải thuật tối ưu bầy đàn.

Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Dựa vào việc phân tích sóng hài dòng điện của nghịch lưu nối lưới, tác giả đã nghiên cứu các kỹ thuật: điều chế, ước lượng tham số điện áp lưới cơ bản, giảm độ nhấp nhô điện áp DC và phương pháp cải tiến để xác định tham số bộ điều khiển dòng điện.

Luận án cũng tập trung vào nghiên cứu giảm sóng hài dòng điện cho nghịch lưu điện mặt trời nối lưới một pha và ba pha hai bậc với qui mô công suất vừa và nhỏ do sự phổ biến của chúng.

Các chế độ vận hành như phát công suất tác dụng và thu/phát công suất phản kháng cũng được xem xét một cách định lượng.

Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

Cách tiếp cận

Luận án dựa vào mô tả toán học của sóng hài dòng điện trong nghịch lưu để phân tích nguyên nhân phát sinh sóng hài và từ đó đề xuất các giải pháp giảm sóng hài. Các giải

pháp đề xuất của luận án cũng dựa trên việc phân tích các ưu điểm và khuyết điểm của các nghiên cứu đã được công bố gần đây trên các tạp chí có uy tín.

Lựa chọn phương pháp nghiên cứu

+ Phương pháp giải tích: được thực hiện bằng cách phân tích mô tả toán học của sóng hài nghịch lưu giúp cho luận án có cách tiếp cận tổng quát, khoa học và xác định đúng hướng nghiên cứu.

+ Phương pháp mô phỏng: các giải pháp giảm sóng hài đề xuất đều được kiểm tra trên phần mềm MATLAB/Simulink thể hiện tính trực quan và độ tin cậy cao trong miền khảo sát mong muốn.

+ Phương pháp thực nghiệm trên mô hình vật lý: các kết quả nghiên cứu được thực hiện trên phần cứng phổ biến như DSP-F28335 và DSpace-1103 giúp cho kết quả nghiên cứu đảm bảo tính khả thi cao trong ứng dụng.

+ Các chỉ tiêu kỹ thuật của từng giải pháp đề xuất đều đã được xem xét một cách định lượng dựa vào các tiêu chuẩn nổi trội nghiêm ngặt hiện nay.

Nội dung của luận án

Nội dung của luận án bao gồm 5 chương:

Chương 1: Tổng quan

Chương 2: Kỹ thuật điều chế sử dụng chu kỳ chuyển mạch thay đổi

Chương 3: Phương pháp ước lượng nhanh và chính xác tham số điện áp lưới

Chương 4: Giảm độ nhấp nhô điện áp DC và cải tiến hệ số bộ điều khiển

Chương 5: Kết luận

Đóng góp mới về mặt khoa học của luận án

+ Kỹ thuật điều chế đề xuất ở chương 2 chỉ cần thay đổi chu kỳ chuyển mạch trong mỗi nửa chu kỳ cơ bản để giảm sóng hài dòng điện đáng kể cho nghịch lưu nối lưới, mà không làm tăng tổn hao chuyển mạch, không phải thêm bất kỳ phần cứng nào. Ngoài ra, kỹ thuật còn có khả năng khử hài lựa chọn và trải phổ trong phạm vi rộng để làm giảm biên độ hài riêng lẻ.

+ Kỹ thuật hồi tiếp ngõ ra để cập nhật cho tham số ban đầu của phép giải phương trình vi phân bằng phương pháp số được trình bày ở chương 3. Kỹ thuật này cho phép ước lượng nhanh và chính xác các tham số điện áp lưới cơ bản nhằm nâng cao chất lượng tín hiệu điều chế để giảm sóng hài của nghịch lưu nối lưới. Phương pháp này khác biệt so với các vòng khóa pha thông thường là không còn khâu dò pha, không bộ lọc vòng, không bộ dao động điều khiển điện áp.

+ Ở chương 4 của luận án đã cho thấy sự ảnh hưởng của kỹ thuật dò điểm công suất cực đại đến độ nhấp nhô điện áp nguồn DC, từ đó ảnh hưởng đến sóng hài của nghịch lưu điện mặt trời nối lưới một giai đoạn. Sự thay đổi của số gia trong giải thuật dò điểm công suất cực đại đề nghị cho phép giảm độ nhấp nhô điện áp DC nhưng vẫn có khả năng đáp ứng động cao so với các phương pháp có số gia cố định.

+ Do hàm truyền của nghịch lưu nối lưới có dạng vô định nên việc xác định các hệ số của bộ điều khiển dòng bằng các phương pháp thông thường có thể rơi vào cực trị địa phương. Phương pháp đề xuất sử dụng giải thuật tối ưu bầy đàn cho nghiệm toàn cục để nâng cao chất lượng các hệ số của bộ điều khiển cộng hưởng dòng điện nên giảm sóng hài tốt hơn.

Ý nghĩa thực tiễn

Việc nghiên cứu các giải pháp điều khiển giảm sóng hài nghịch lưu nối lưới trong luận án sẽ góp phần nâng cao chất lượng điện năng hệ thống điện.

+ Kỹ thuật điều chế giảm sóng hài đề xuất sẽ giúp giảm kích thước bộ lọc thụ động trong nghịch lưu nối lưới, nên giảm kích thước và chi phí thiết bị. Việc chuyển mạch với tần số thấp tại đỉnh của dòng điện cũng giúp tăng tuổi thọ linh kiện chuyển mạch. Thêm vào đó, khả năng trải phổ làm giảm nhiễu âm nên phù hợp cho các thiết bị ứng dụng trong viễn thông và quân sự.

+ Phương pháp ước lượng tham số điện áp lưới cơ bản có độ chính xác cao và đáp ứng nhanh cũng như độ vọt lố thấp cho phép sử dụng cảm biến điện áp có độ nhạy thấp và không đòi hỏi phần cứng mạnh mẽ, đắt tiền.

+ Với giải thuật dò điểm công suất cực đại với số gia biến đổi cho phép nghịch lưu nối lưới một giai đoạn không cần mạch boost và giảm bộ lọc DC nhằm nâng cao hiệu suất chuyển đổi mà vẫn đảm bảo chất lượng điện năng.

+ Giải thuật tối ưu bầy đàn để xác định các hệ số bộ điều khiển giúp giảm thời gian và công sức, cũng như không đòi hỏi kinh nghiệm của người thiết kế.

Các chế độ vận hành như phát công suất tác dụng và thu/phát công suất phản kháng trong nghịch lưu nối lưới cũng được xem xét nhằm hỗ trợ ổn định điện áp hệ thống khi có yêu cầu.

Các kỹ thuật đề xuất cũng cho phép mở rộng ứng dụng cho các lĩnh vực khác như nghịch lưu điều khiển động cơ, bộ lọc công suất tích cực (APF), bộ nguồn dự phòng (UPS), bộ phục hồi điện áp động (DVR), thiết bị bù phân tán D-Statcom.

Các thông số và chế độ hoạt động của các phương pháp được khảo sát gần với thực tế nhất để tăng khả năng ứng dụng. Các kỹ thuật đề xuất cũng cho phép làm giảm kích thước, chi phí thiết bị và góp phần nâng cao chất lượng điện năng của hệ thống điện. Từ đó, tạo điều kiện cho việc chế tạo và làm chủ công nghệ với giá thành thấp để tăng khả năng cạnh tranh của thiết bị.

MỤC LỤC

TRANG

Trang tựa

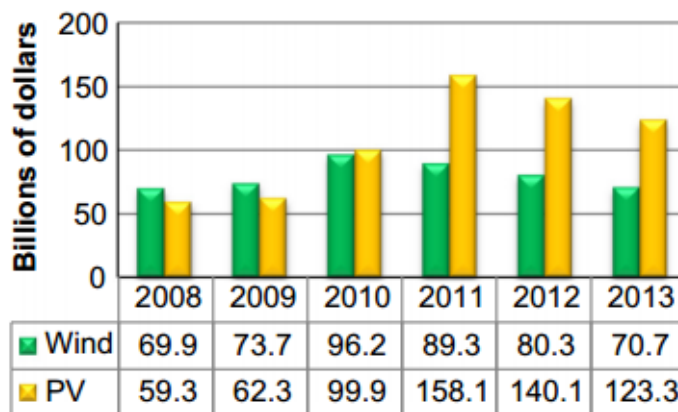
LỜI CAM ĐOAN	2
INTRODUCTION	i
MỞ ĐẦU.....	v
MỤC LỤC.....	viii
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN	
1.1 Sự phát triển của nguồn điện phân tán sử dụng năng lượng tái tạo	1
1.2 Cấu trúc của nguồn điện phân tán sử dụng năng lượng tái tạo	1
1.3 Các tiêu chuẩn nối lưới.....	2
1.4 các nghiên cứu khoa học liên quan.....	3
1.4.1 Đối với hệ thống điện gió nối lưới.....	3
1.4.2 Đối với hệ thống điện mặt trời sử dụng nghịch lưu nối lưới.....	3
1.4.2.1 Cách tiếp cận	3
1.4.2.2 Kỹ thuật điều chế.....	5
1.4.2.3 Độ chính xác của tham số đồng bộ.....	6
1.4.2.4 Sự ổn định của nguồn điện DC	7
1.4.2.5 Tham số bộ điều khiển	8
1.5 Tóm tắt chương 1.....	8
CHƯƠNG 2. KỸ THUẬT ĐIỀU CHẾ SỬ DỤNG CHU KỲ CHUYỂN MẠCH THAY ĐỔI	
2.1 Giới thiệu.....	9
2.2 Phương pháp tiếp cận	9
2.3 Hàm mục tiêu.....	10
2.4 Đề xuất giảm sóng hài sử dụng kỹ thuật GA	11
2.4.1 Xác định trọng số hàm chu kỳ chuyển mạch	11
2.4.2 Xác định từng chu kỳ chuyển mạch.....	12
2.5 Kết quả mô phỏng	13
2.5.1 Nghịch lưu tải trở.....	13
2.5.2 Nghịch lưu nối lưới	14
2.5.3 Nhận xét kết quả của nghịch lưu nối lưới	15
2.6 Tóm tắt chương 2.....	16
CHƯƠNG 3. PHƯƠNG PHÁP ƯỚC LƯỢNG NHANH VÀ CHÍNH XÁC THAM SỐ ĐIỆN ÁP LƯỚI	
3.1 Tham số hòa đồng bộ	17
3.2 Kỹ thuật ước lượng tham số đề xuất	17
3.3 Kết quả	19

Tóm tắt	
3.3.1	Trường hợp thứ nhất.....19
3.3.2	Trường hợp thứ hai21
3.4	Nhận xét kết quả.....21
3.5	Tóm tắt chương 3.....22
CHƯƠNG 4. GIẢM ĐỘ NHẤP NHÔ ĐIỆN ÁP DC VÀ CẢI TIẾN HỆ SỐ BỘ ĐIỀU KHIỂN	
4.1	Giảm độ nhấp nhô điện áp dc bằng kỹ thuật mppt với số gia biến đổi.....23
4.1.1	Dò điểm công suất cực đại của pin mặt trời.....23
4.1.2	Giải thuật MPPT đề xuất.....24
4.1.3	Kết quả mô phỏng25
4.1.3.1	Số gia cố định.....26
4.1.3.2	Số gia biến đổi26
4.1.4	Nhận xét kết quả27
4.2	Cải tiến tham số bộ điều khiển dùng giải thuật PSO27
4.2.1	Bộ điều khiển dòng điện.....27
4.2.2	Phương pháp tối ưu bầy đàn.....28
4.2.3	Kết quả khảo sát29
4.2.3.1	Phương pháp dựa vào hàm truyền29
4.2.3.2	Phương pháp PSO đề xuất.....29
4.2.4	Nhận xét30
4.3	Tóm tắt chương 4.....30
CHƯƠNG 5. KẾT LUẬN	
5.1	Kết quả đạt được31
5.2	Hướng phát triển32
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ LIÊN QUAN33	

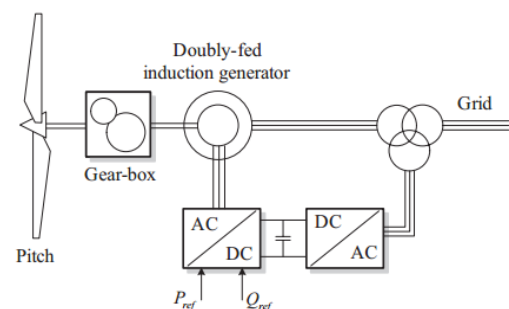
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.1 SỰ PHÁT TRIỂN CỦA NGUỒN ĐIỆN PHÂN TÁN SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO

Năng lượng tái tạo đang có sự phát triển mạnh mẽ với tiềm năng vô cùng lớn. Trong vài năm qua, năng lượng tái tạo trên thế giới có mức tăng 30% mỗi năm so với mức tăng của năng lượng từ than đá và than bùn. Thêm vào đó, pin mặt trời với giá thành ngày càng giảm cũng làm cho các nước Châu Á – Thái Bình Dương (đặc biệt là Trung Quốc và Ấn Độ) với mức tiêu thụ năng lượng nhiều nhất thế giới cũng có những chính sách để đạt 20% năng lượng tái tạo vào năm 2020. Điều này làm cho năng lượng tái tạo ngày càng phát triển mạnh mẽ hơn, cụ thể qua khảo sát cho thấy rằng mức đầu tư ngày càng cao như hình 1.1.



Hình 1.1: Mức đầu tư điện gió và mặt trời của thế giới



Hình 1.2: Hệ thống điện gió dùng máy phát không đồng bộ

Tại Việt Nam, theo điều chỉnh quy hoạch điện VII, đến năm 2020, công suất đặt của hệ thống điện quốc gia đạt 60.500 MW, trong đó, năng lượng tái tạo và thủy điện nhỏ chiếm 10%. Năm 2025, công suất đặt đạt 95.400 MW và đạt 129.500 MW vào năm 2030. Thêm vào đó, nhằm xã hội hóa ngành điện để giảm sự đầu tư của nhà nước, thị trường điện Việt Nam sẽ xuất hiện thêm các công ty mua bán điện, các công ty xây dựng đường dây mới và các công ty sản xuất nguồn điện phân tán trong mạng điện phân phối. Để tối ưu cung cấp điện và giảm chi phí bồi thường cho khách hàng hay hộ tiêu thụ khi bị mất điện, các nguồn điện phân tán sử dụng năng lượng tái tạo ngày càng nhiều và đòi hỏi chất lượng điện năng ngày càng cao.

1.2 CẤU TRÚC CỦA NGUỒN ĐIỆN PHÂN TÁN SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO

Mặc dù thân thiện với môi trường và khả năng vô cùng lớn, nhưng nhược điểm của năng lượng tái tạo là bị loãng và không liên tục. Do đó, nó cần được nối lưới để đảm bảo một nguồn điện có chất lượng cao với chi phí rẻ. Để biến đổi và hòa đồng bộ nguồn điện từ năng lượng tái tạo vào trong hệ thống điện, thường có hai dạng kết nối lưới cơ bản:

- ✓ Phát điện trực tiếp lên lưới dùng máy điện quay đồng bộ hoặc không đồng bộ (tua bin gió).

1.4 CÁC NGHIÊN CỨU KHOA HỌC LIÊN QUAN

1.4.1 Đối với hệ thống điện gió nối lưới

Máy phát không đồng bộ thường được sử dụng để nối lưới trực tiếp trong hệ thống điện gió. Do máy phát không đồng bộ có công suất phản kháng tỉ lệ với bình phương của điện áp nguồn lưới. Vì vậy, nếu điện áp lưới nối vào đầu cực máy phát giảm thì sẽ ảnh hưởng đến khả năng phát điện và có thể tự gây ra mất ổn định và mất cân bằng mô men trong máy, đặc biệt là khi sử dụng máy không đồng bộ rotor lồng sóc. Để đảm bảo an toàn vận hành hệ thống nối lưới này, người vận hành cần phải xác định được giới hạn điện áp ổn định tại điểm nối máy phát không đồng bộ. Hơn nữa, để có hiệu quả cao, hệ thống điện gió thường đòi hỏi qui mô công suất lớn đến hàng megawatt với cột gió cao và vốn đầu tư rất lớn nên khó phát triển ở các nước như Việt Nam theo hướng xã hội hóa. Do đó, việc tiếp cận để nghiên cứu và thí nghiệm trên mô hình vật lý hệ thống điện gió tương đối khó khăn nên tác giả không lựa chọn nghiên cứu trong luận án này.

1.4.2 Đối với hệ thống điện mặt trời sử dụng nghịch lưu nối lưới

So với hệ thống điện gió, hệ thống điện mặt trời nối lưới có sự phát triển mạnh mẽ hơn do có các ưu điểm sau:

- ❖ Giá thành pin mặt trời ngày càng rẻ
- ❖ Qui mô công suất nhỏ và vừa nên vốn đầu tư cho các dự án tương đối thấp và dễ phát triển theo chủ trương xã hội hóa năng lượng tái tạo
- ❖ Xu hướng mái nhà pin mặt trời không đòi hỏi nhiều chi phí mặt bằng lắp đặt
- ❖ Mức độ bức xạ mặt trời ở Việt Nam tương đối cao
- ❖ Người nghiên cứu dễ dàng tiếp cận để nghiên cứu và thí nghiệm

Vì vậy, hệ thống điện mặt trời nối lưới được tác giả lựa chọn tập trung nghiên cứu trong luận án này. Do hệ thống điện mặt trời phải sử dụng nghịch lưu để nối lưới, khi đó, sóng hài sẽ sinh ra trong quá trình chuyển mạch của các linh kiện bán dẫn công suất để chuyển từ dòng điện một chiều sang xoay chiều. Trong luận án này, tác giả đã nghiên cứu các phương pháp giảm sóng hài dòng điện ngõ ra của nghịch lưu để góp phần nâng cao chất lượng điện năng cho hệ thống điện.

1.4.2.1 Cách tiếp cận

Mặc dù đã có nhiều công bố khoa học liên quan đến giảm sóng hài dòng điện, nhưng chưa có một nghiên cứu nào trình bày một cách tổng quát nguyên nhân phát sinh sóng hài dòng điện trong nghịch lưu. Để phân tích sóng hài dòng điện, một nghịch lưu cầu H điều chế đơn cực như hình 1.4 được sử dụng để khảo sát. Dạng sóng dòng điện và điện áp thể hiện ở hình 1.5. Dựa vào nguyên lý xếp chồng, dòng điện ngõ ra của nghịch lưu bao gồm dòng điện cơ bản và dòng điện nhấp nhô. Khi đó, giá trị hiệu dụng độ nhấp nhô dòng điện như sau:

$$\Delta I_p = \frac{T_s \cdot V_{dc}}{L_f 2\sqrt{3}} \left[1 - m \cdot |\sin(\omega t - \varphi)| \right] \cdot m \cdot |\sin(\omega t - \varphi)| \quad (1.1)$$

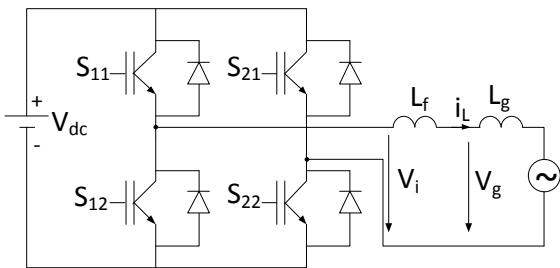
Khi đó, giá trị hiệu dụng của độ nhấp nhô dòng điện trong nửa chu kỳ cơ bản xác định như sau:

$$\Delta I = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \Delta I_p^2 d(\omega t)} \quad (1.2)$$

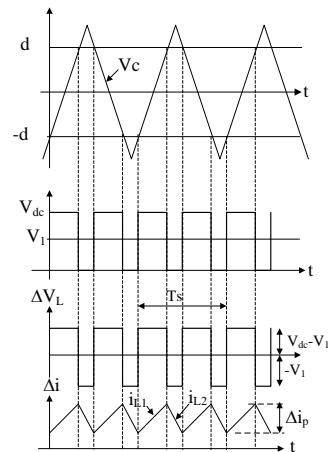
Và độ méo hài toàn phần THD (total harmonic distortion) có quan hệ với độ nhấp nhô hiệu dụng như sau:

$$THD = \frac{\Delta I}{I_1} \quad (1.3)$$

Trong đó: I_1 là dòng điện hiệu dụng cơ bản.



Hình 1.4: Nghịch lưu nối lưới cầu H



Hình 1.5: Sóng mang, nhấp nhô điện áp và dòng điện

Từ các phân tích trên cho thấy có bốn nguyên nhân cơ bản phát sinh sóng hài trong nghịch lưu nối lưới như sau:

- **Kỹ thuật điều chế:** dựa vào biểu thức (1.1) cho thấy chu kỳ chuyển mạch T_s sẽ ảnh hưởng đến sóng hài của nghịch lưu. Đây là bộ phận phát sinh sóng hài đáng kể nhất trong nghịch lưu nên được nhiều nhà khoa học không ngừng nghiên cứu để cải tiến.
- **Độ chính xác của tham số hòa đồng bộ:** dựa vào công thức (1.1) cũng cho thấy sóng điều chế cũng sẽ ảnh hưởng đến sóng hài dòng điện. Sai số của các tham số ước lượng được của điện áp lưới như biên độ, tần số, góc pha trong quá trình đồng bộ do sai số cảm biến cũng như dao động của điện áp lưới sẽ ảnh hưởng đến tín hiệu điều chế. Độ chính xác này thường phụ thuộc vào chất lượng của vòng khóa pha ở hình 1.3.
- **Sự ổn định của nguồn điện DC:** sóng hài của nghịch lưu còn phụ thuộc vào điện áp nguồn DC ở biểu thức (1.1) và biên độ dòng điện cơ bản ở công thức (1.3) khi công suất ngõ vào thay đổi (do nắng, gió thay đổi). Do đó, kỹ thuật dò điểm công suất cực đại của dàn pin mặt trời cũng ảnh hưởng đến độ nhấp nhô điện áp DC nên sẽ ảnh hưởng đến sóng hài.

➤ **Tham số của bộ điều khiển:** trong hình 1.3 cho thấy tham các số bộ điều khiển ảnh hưởng đến chất lượng tín hiệu điều chế nên cũng ảnh hưởng đến sóng hài ngõ ra của nghịch lưu nối lưới.

Để giảm sóng hài do các nguyên nhân trên gây ra, tác giả đã có các nghiên cứu cho từng nguyên nhân để có những giải pháp đề xuất hiệu quả.

1.4.2.2 Kỹ thuật điều chế

Trong nước hiện chỉ có một số nghiên cứu liên quan đến vấn đề này, nhưng chỉ tập trung giảm điện áp common mode của nghịch lưu, tức là cải thiện sự ổn định của điện áp DC để giảm sóng hài. Đồng thời các tác giả chủ yếu nghiên cứu cho nghịch lưu ba pha đa bậc và không nối lưới. Trong khi đó, nghịch lưu nối lưới có nhiều vấn đề phức tạp hơn do liên quan đến sự dao động của năng lượng ngõ vào và chất lượng điện năng của ngõ ra cũng như quá trình điều khiển.

Trên thế giới có rất nhiều nghiên cứu để giảm sóng hài cho nghịch lưu bằng phương pháp điều chế, nhưng các phương pháp thay đổi tần số chuyển mạch cho kỹ thuật SPWM (Sinusoidal pulse width modulation) cũng rất hạn chế và hiệu quả chưa cao.

Kỹ thuật SPWM là một trong những kỹ thuật được sử dụng phổ biến trong nghịch lưu nối lưới bằng cách điều khiển các chuyển mạch bán dẫn công suất đóng ngắt để có được dòng điện mong muốn bơm vào lưới. Sóng hài dòng điện của nghịch lưu gây ra có phổ chủ yếu bởi tần số chuyển mạch và bội số của tần số này (sidebands). Việc tăng điện cảm bộ lọc ngõ ra của nghịch lưu nối lưới cũng có thể làm giảm sóng hài dòng điện. Nhưng điều này làm tăng kích thước bộ lọc và chi phí của bộ nghịch lưu. Hơn nữa, không thể tăng điện cảm bộ lọc quá lớn vì bị giới hạn bởi các tiêu chuẩn về ổn định động và tiêu chuẩn về cô lập và tái kết nối lưới khi có sự cố xảy ra trên hệ thống điện.

Tăng tần số chuyển mạch cũng là một trong những phương pháp thường dùng trong kỹ thuật SPWM để giảm sóng hài dòng điện. Nhưng điều này làm tăng tổn hao chuyển mạch, bởi vì tổn hao chuyển mạch tỉ lệ thuận với tần số chuyển mạch, nên dẫn đến làm giảm hiệu suất của thiết bị. Ngoài ra, việc tăng nhiệt vì tăng tổn hao chuyển mạch sẽ làm giảm tuổi thọ của linh kiện công suất nên đòi hỏi tản nhiệt để làm mát nhiều hơn.

Trên cơ sở phân tích mối quan hệ giữa sóng hài dòng điện và tổn hao chuyển mạch với tần số chuyển mạch một cách định lượng, trong luận án này, tác giả đề xuất phương pháp điều chế sử dụng tần số chuyển mạch thay đổi dùng giải thuật di truyền với hàm mục tiêu là sóng hài. Ràng buộc tổn hao chuyển mạch được xem xét một cách định lượng. Tính hiệu quả của phương pháp đề xuất được thể hiện thông qua các kết quả mô phỏng và thí nghiệm so với phương pháp tần số chuyển mạch cố định và các phương pháp tần số chuyển mạch thay đổi được công bố gần đây.

Thêm vào đó, phương pháp đề xuất còn cho phép thực hiện trải phổ nhiễu hài trong một phạm vi rộng. Điều này giúp cho biên độ của các sóng hài riêng lẻ giảm thấp đáng kể nên giảm bộ lọc phụ và rất phù hợp cho các thiết bị ứng dụng trong thông tin và quân sự.

Cách tiếp cận và chi tiết của phương pháp điều chế đề xuất được trình bày ở chương 2 của luận án này. Kết quả mô phỏng và thí nghiệm trên kit DSP-F28335 của các phương pháp điều chế đề xuất đã được công bố ở các bài báo số I-V.

1.4.2.3 Độ chính xác của tham số đồng bộ

Biểu thức (1.1) cũng cho thấy sóng hài của nghịch lưu nối lưới còn phụ thuộc vào các tham số: biên độ, tần số và góc pha mà vòng khóa pha PLL (Phase-Locked Loop) ở hình 1.3 ước lượng được. Các tham số này không những phục vụ cho quá trình hòa đồng bộ của nghịch lưu với lưới điện mà còn góp phần nâng cao khả năng trải qua sự cố FRT (Fault-Ride Through) theo các tiêu chuẩn nối lưới mới để nâng cao chất lượng điện năng của hệ thống điện. Một bộ PLL được đánh giá có chất lượng khi xác định một cách nhanh chóng và chính xác các tham số của điện áp lưới cơ bản để hòa đồng bộ.

Nghiên cứu của tác giả cho thấy rằng: có thể phân thành 3 nhóm phương pháp dò đồng bộ:

+ Nhóm thứ nhất là dò trong miền *tần số* (dựa vào biến đổi Fourier) cho hiệu quả không cao nên không trình bày trong luận án này.

+ Nhóm thứ hai là dò trong miền *thời gian* thường sử dụng PLL gồm 3 phương pháp sau đây để tách thành phần thứ tự thuận:

- Thêm các khâu tích phân vào PLL thông thường để tách thành phần thứ tự thuận
- Sử dụng các bộ lọc thông thấp trong PLL thông thường để dò thành phần thứ tự thuận trong hệ tọa độ đồng bộ dq
- Sử dụng các bộ lọc tích phân trong PLL thông thường để dò thành phần thứ tự thuận trong hệ tọa độ ảo $\alpha\beta$

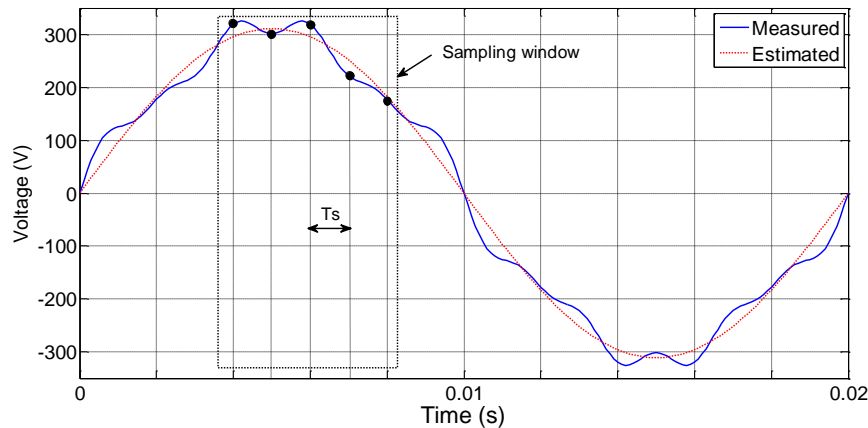
+ Nhóm thứ ba gồm các phương pháp giải lặp Newton và lọc thông thấp cho độ chính xác cao nhưng đáp ứng lại quá chậm.

Để nâng cao chất lượng điện năng của hệ thống điện và khả năng trải qua sự cố của nghịch lưu nối lưới, tác giả đề xuất một giải thuật để xác định nhanh và chính xác các tham số của điện áp lưới trong điều kiện vận hành bình thường cũng như khi có sự thay đổi điện áp như: sụt áp, mất cân bằng, sóng hài cao, nhảy điện áp, nhảy tần số, nhảy góc pha. Phương pháp đề xuất dựa trên giải thuật Levenberg-Marquardt (L-M) có hội tiếp để cập nhật gradient cho bộ trọng số của phương pháp giải.

Giải thuật L-M là một giải thuật mang tính tiêu chuẩn thường áp dụng để giải các bài toán bình phương tối thiểu phi tuyến. Bài toán bình phương tối thiểu thường được dùng để ước lượng một hàm các tham số với một tập các điểm dữ liệu đo được bằng cách cực tiểu tổng các bình phương của các sai số giữa điểm ước lượng và điểm đo như hình 1.6.

+ Phương pháp đề xuất dựa vào toán học cơ bản để giải phương trình vi phân phi tuyến siêu việt bằng giải thuật Levenberg-Marquardt có cập nhật tham số ban đầu để giảm số vòng lặp và hội tụ nhanh đến kết quả. Bản chất của giải thuật là giải phương trình vi phân bằng phương pháp số.

+ Các tiêu chí về đáp ứng động, sai số xác lập, độ vọt lố và độ phức tạp tính toán cũng được xem xét và phân tích để đánh giá khi so sánh với các phương pháp đã được công bố gần đây.



Hình 1.6: Các điểm đo và đại lượng ước lượng được

+ Tính hiệu quả và bền vững của phương pháp đề xuất cũng đã được khẳng định thông qua kết quả mô phỏng và thí nghiệm khi so sánh với các phương pháp thông thường, DSOGI, và DSOGI-FLL trong những điều kiện điện áp ngõ vào thay đổi về tần số, biên độ, góc pha, nhiều sóng hài...

+ Phương pháp đề xuất đã được kiểm tra mô phỏng trên Matlab và thí nghiệm trên kit Dspace-1103.

Chi tiết của phương pháp đề xuất được trình bày ở chương 3 của luận án này. Các kết quả liên quan đến phương pháp đề xuất đã được công bố ở các bài báo số VI đến số IX.

1.4.2.4 Sự ổn định của nguồn điện DC

Khi điều kiện thời tiết thay đổi thì điện áp DC ở biểu thức (1.1) và dòng điện I_1 ở biểu thức (1.3) cũng thay đổi nên sóng hài của nghịch lưu cũng thay đổi.

Trong hệ thống điện mặt trời nối lưới, ngoài việc điều chỉnh tấm pin quay theo hướng mặt trời bằng phương pháp cơ khí, kỹ thuật dò điểm công suất cực đại MPPT (Maximum Power Point Tracking) bằng phương pháp điện cũng được sử dụng để tối ưu công suất phát lên lưới điện.

Có nhiều kỹ thuật MPPT được sử dụng cho hệ thống pin mặt trời nối lưới đã được công bố. Tuy nhiên, các kỹ thuật hiệu quả chủ yếu dựa trên nền tảng của kỹ thuật P&O (Perturb & Observe) và INC (Incremental Conductance) và có thêm các cải tiến. Nhưng đa số các cải tiến này giữ nguyên số gia điện áp khi tăng hoặc giảm điện áp chuẩn MPPT cho bộ điều khiển điện áp DC. Trong khi đó, các phương pháp sử dụng kỹ thuật số gia thay đổi trong các công bố gần đây chủ yếu áp dụng cho mạch boost DC-DC, chỉ áp dụng cho nghịch lưu nối lưới 2 giai đoạn, chưa xem xét ảnh hưởng của độ nhấp nhô điện áp DC đối với sóng hài ngõ ra của nghịch lưu nối lưới. Vì vậy, điều này đòi hỏi phải có một giải pháp cải thiện kỹ thuật MPPT để nâng cao chất lượng nguồn DC với đáp ứng động tốt.

Khi công suất nguồn điện vào ổn định, việc sử dụng số gia lớn làm cho độ nhấp nhô điện áp DC cao nên dẫn đến sóng hài ngõ ra của nghịch lưu tăng cao. Tuy nhiên, nếu giảm nhỏ số gia để giảm sóng hài thì khi có sự dao động của nguồn điện vào do thời tiết thay đổi thì đáp ứng động của kỹ thuật MPPT lại kém đi. Đây là điều bất lợi của phương pháp số gia điện áp cố định.

Vì vậy, tác giả đã đề xuất một giải thuật mới để điều chỉnh điện áp MPPT bằng cách sử dụng kỹ thuật P&O với số gia biến đổi. Khi điều kiện bức xạ mặt trời thay đổi thì điện áp MPPT được điều chỉnh nhanh với số gia lớn nhằm đạt được đáp ứng nhanh về công suất và sau đó được tinh chỉnh với số gia nhỏ nhằm đảm bảo độ méo dạng sóng hài nhỏ để thỏa mãn tiêu chuẩn nối lưới. Kỹ thuật này không làm tăng thêm phần cứng và phần mềm đơn giản nên hiệu quả rất cao.

Nội dung chi tiết của kỹ thuật MPPT đề xuất đã được trình bày ở chương 4 của luận án này và đã được công bố ở bài báo số X.

1.4.2.5 Tham số bộ điều khiển

Từ cấu trúc của hệ thống nghịch lưu nối lưới ở hình 1.3 cũng cho thấy sự ảnh hưởng của các tham số bộ điều khiển dòng điện đối với sóng hài ngõ ra của nghịch lưu. Để tối ưu công suất phát lên lưới, hệ thống nghịch lưu cần phải có bộ điều chỉnh dòng điện hợp lý bơm vào lưới để thỏa mãn tiêu chuẩn nối lưới như đáp ứng động nhanh và nhiễu hài dòng điện thấp. So với các phương pháp điều khiển dự báo, bão hòa và dead-beat thì bộ điều khiển PI (Proportional Integrator) và PR (Proportional Resonant) cho hiệu quả tốt hơn nên được sử dụng khá phổ biến.

Vì hàm truyền vòng kín của hệ thống nghịch lưu có dạng vô định, nên sẽ có vô số cặp nghiệm (K_p , K_i) của bộ điều khiển để hệ thống ổn định. Do đó, việc xác định các tham số bộ điều khiển dòng điện sử dụng các phương pháp thông thường như mô hình nội, tối ưu đối xứng ... có thể không cho nghiệm toàn cục. Thậm chí phương pháp giản đồ Bode dựa vào hàm truyền do phụ thuộc tham số hệ thống nên không thể cho kết quả tối ưu.

Các tham số của bộ điều khiển dòng sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến tín hiệu điều chế nên sẽ ảnh hưởng đến đáp ứng động và sóng hài ngõ ra của nghịch lưu.

Trong luận án này, tác giả đề xuất phương pháp xác định các hệ số của bộ điều khiển dòng sử dụng kỹ thuật tối ưu bầy đàn PSO. Tính hiệu quả và chi tiết của kỹ thuật này được trình bày ở chương 4 khi so sánh với phương pháp giản đồ Bode dựa vào hàm truyền. Các kết quả cũng đã được công bố ở bài báo số XI và XII.

1.5 TÓM TẮT CHƯƠNG 1

Dựa trên việc phân tích mô tả của sóng hài dòng điện, tác giả đã nêu ra bốn yếu tố chính ảnh hưởng đến sóng hài ngõ ra của hệ thống nghịch lưu nối lưới. Từ đó, tác giả đã nghiên cứu và đề xuất các giải pháp. Nội dung chi tiết của các giải pháp được trình bày ở các chương 2 đến chương 4 và trong 12 bài báo khoa học liên quan.

CHƯƠNG 2. KỸ THUẬT ĐIỀU CHẾ SỬ DỤNG CHU KỲ CHUYỂN MẠCH THAY ĐỔI

2.1 GIỚI THIỆU

Hiện nay, các hệ thống nghịch lưu điện mặt trời nối lưới có nhiều loại kích cỡ và công suất khác nhau. Tùy thuộc vào qui mô của công trình, các bộ nghịch lưu nối lưới có thể phân thành các loại như: dạng module, chuỗi các module, nhiều chuỗi, và loại nghịch lưu trung tâm. Các nghịch lưu nối lưới loại nhiều chuỗi và trung tâm thường dùng cho hệ thống nghịch lưu 3 pha với qui mô lớn dạng cánh đồng điện mặt trời.

Hầu hết các bộ nghịch lưu điện mặt trời ba pha phổ biến không thực sự là nghịch lưu ba pha ba dây mà thường là những bộ nghịch lưu ba pha bốn dây. Do đó, chúng hoạt động như là ba bộ nghịch lưu một pha độc lập. Giải pháp sử dụng ghép ba nghịch lưu một pha độc lập thành nghịch lưu ba pha có một số ưu điểm đáng kể như cho phép sử dụng các bộ nghịch lưu một pha sẵn có với những tiêu chuẩn chống cô lập lắp sẵn và điện áp DC thấp hơn nên an toàn hơn. Hệ thống nghịch lưu nối lưới 1 pha đang và sẽ được ứng dụng nhiều nhất trong tương lai, nhất là các hệ thống điện tích hợp thông minh. Vì vậy, việc nghiên cứu và phát triển các hệ thống nghịch lưu nối lưới có cấu trúc một pha sẽ được xem xét và lựa chọn trong chương 2 này.

Để giảm sóng hài dựa vào kỹ thuật điều chế, tác giả đề nghị một kỹ thuật SPWM (sinusoidal pulse width modulation) sử dụng giải thuật di truyền GA (genetic algorithm) nhằm xác định chu kỳ chuyển mạch trong mỗi nửa chu kỳ lưới cơ bản (NCKCB). Hàm mục tiêu là sóng hài dòng điện với ràng buộc không làm tăng tổn hao chuyển mạch. Sóng hài dòng điện và tổn hao chuyển mạch được xem xét một cách định lượng để làm cơ sở đánh giá cho phương pháp đề nghị khi so sánh với các phương pháp đã được công bố gần đây.

2.2 PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN

Cả sóng hài dòng điện và tổn hao chuyển mạch của nghịch lưu đều phụ thuộc vào tần số chuyển mạch. Trong kỹ thuật SPWM thông thường với tần số chuyển mạch cố định bằng hằng số, khi tần số chuyển mạch càng cao thì tổn hao chuyển mạch càng nhiều và sóng hài dòng điện càng thấp, và ngược lại. Do đó, việc lựa chọn tần số chuyển mạch tối ưu để phối hợp hài hòa giữa tổn hao chuyển mạch và sóng hài dòng điện là một vấn đề thật sự khó khăn và có ý nghĩa quan trọng trong lĩnh vực chất lượng điện năng. Tần số chuyển mạch cần được chọn sao cho giảm sóng hài để thỏa mãn các tiêu chuẩn nối lưới, mà không làm tăng tổn hao chuyển mạch là một bài toán thực sự cần thiết hiện nay.

Dựa vào biểu thức (1.1) ở chương 1, khi góc pha $\phi=0$, độ nhấp nhô dòng điện có thể viết lại như (2.1) và có dạng sóng chuẩn hóa như hình 2.1.

$$\Delta I_p = \frac{T_s \cdot V_{dc}}{L_f 2\sqrt{3}} [1 - m \cdot |\sin(\omega t)|] \cdot m \cdot |\sin(\omega t)| \quad (2.1)$$

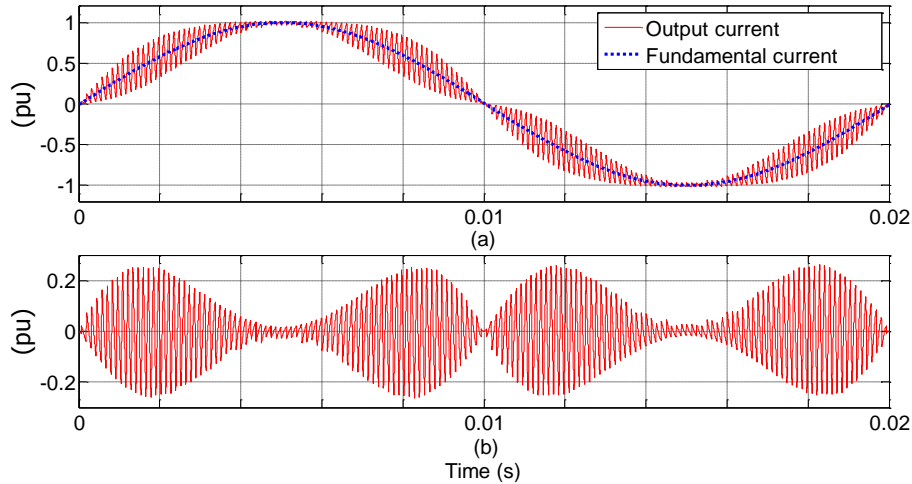
Trong trường hợp tần số chuyển mạch cố định thì tổn hao chuyển mạch được tính như sau:

$$\Delta P_{sw} = C_1 \cdot |i(\omega t)| \cdot \frac{1}{T_s} \quad (2.2)$$

Với C_1 là hằng số phụ thuộc vào điện áp V_{dc} , $i(\omega t)$ là giá trị dòng điện tức thời chảy qua các linh kiện công suất, và T_s là chu kỳ chuyển mạch.

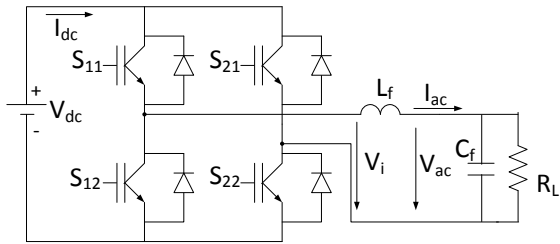
Tổn hao chuyển mạch trung bình trong mỗi NCKCB được xác định như sau:

$$\Delta P_{sw} = \frac{C_1}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{|I\sqrt{2} \sin(\omega t)|}{T_s} d(\omega t) \quad (2.3)$$

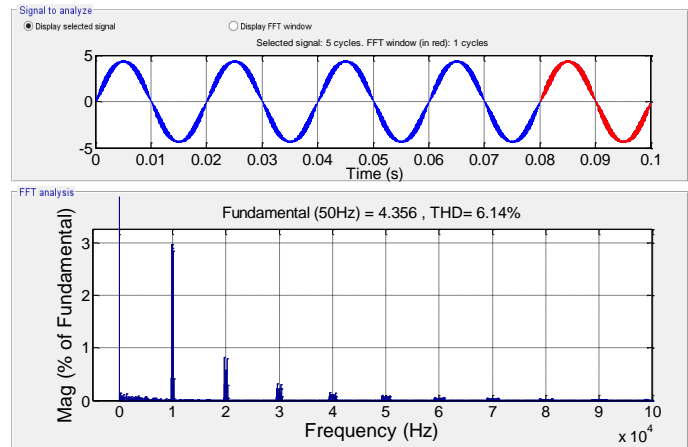


Hình 2.1: Dòng điện ngõ ra của nghịch lưu ($m=0.97$; $\phi=0$).

(a) Dòng điện ngõ ra và dòng điện cơ bản; (b) Độ nhấp nhô dòng điện.



Hình 2.2: Sơ đồ nguyên lý mạch điện thí nghiệm



Hình 2.3: Phổ dòng điện của tần số chuyển mạch cố định 5 kHz ($T_s=200 \mu s$)

THD dòng điện khi tần số chuyển mạch cố định 5 kHz bằng 6.14% và vượt quá giới hạn cho phép như hình 2.3.

2.3 HÀM MỤC TIÊU

Hình 2.1 cho thấy độ nhấp nhô dòng điện thay đổi không đồng đều trong mỗi NCKCB khi tần số sóng mang cố định và làm cho giá trị hiệu dụng tăng cao đáng kể trong cả chu kỳ lưới cơ bản. Trong các khoảng thời gian dòng điện tức thời cao (đỉnh hình sin) thì độ nhấp nhô dòng điện thấp và ngược lại. Đây chính là cơ sở quan trọng để phân bố lại độ nhấp nhô dòng điện sao cho đồng đều hơn nhằm cực tiểu hiệu dụng của THD dòng điện trong mỗi chu kỳ cơ bản. Như vậy, giá trị hiệu dụng THD dòng điện của nghịch lưu

trong mỗi NCKCB có thể giảm được bằng cách thay đổi tần số chuyển mạch một cách thích hợp. Tần số chuyển mạch cần phải tăng trong những khoảng thời gian có độ nhấp nhô dòng điện cao để giảm độ nhấp nhô dòng điện xuống và giảm trong khoảng có độ nhấp nhô dòng điện thấp để giảm tổn hao chuyển mạch.

Đặc biệt tại lân cận zero của dòng điện cần có tần số chuyển mạch phải đủ lớn để độ nhấp nhô dòng điện nhỏ lại nhằm không gây bất lợi cho các thiết bị điện dò zero.

Dựa vào công thức (1.2) và (1.3) cho thấy rằng THD dòng điện tỉ lệ tuyến tính với ΔI đối với một dòng điện hiệu dụng cơ bản I_1 cho trước như sau:

$$THD \sim \Delta I \quad (2.4)$$

Công thức (1.7) có thể được viết lại như (2.5) với thời gian mẫu t_k .

$$\Delta I^2 = \frac{1}{\pi} \cdot \sum_{t_k=0}^{t_k=\pi} \Delta I_{pk}^2 \cdot t_k \quad (2.5)$$

Cho nên:

$$THD \sim \frac{1}{\pi} \cdot \sum_{t_k=0}^{t_k=\pi} \Delta I_{pk}^2 \cdot t_k \quad (2.6)$$

Mục tiêu của phương pháp đề nghị là cực tiểu THD dòng điện trong (2.6) bằng cách thay đổi chu kỳ chuyển mạch trong mỗi NCKCB với ràng buộc tổn hao chuyển mạch trung bình phải nhỏ hơn hoặc bằng tổn hao chuyển mạch của phương pháp tần số chuyển mạch cố định. Vì vậy hàm mục tiêu sẽ như (2.7), trong đó i_k là dòng điện tức thời và i_{1k} là dòng điện cơ bản tức thời chảy qua nghịch lưu tại thời điểm lấy mẫu t_k .

$$Fitness = \sum_{t_k=0}^{t_k=\pi} (i_k - i_{1k})^2 \quad (2.7)$$

Khi đó, hàm ràng buộc sẽ như sau:

$$\Delta P_{sw} = C_1 \cdot \frac{I_1 \sqrt{2}}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{|\sin(\omega t_k)|}{T_s(\omega t_k)} d(\omega t_k) \leq \Delta P_{sw_const} \quad (2.8)$$

Trong đó: $T_s(\omega t_k)$ là chu kỳ chuyển mạch của sóng mang trong mỗi NCKCB và ΔP_{sw_const} là tổn hao chuyển mạch của phương pháp tần số chuyển mạch cố định bằng hằng số.

2.4 ĐỀ XUẤT GIẢM SÓNG HÀI SỬ DỤNG KỸ THUẬT GA

2.4.1 Xác định trọng số hàm chu kỳ chuyển mạch

Do giải thuật di truyền (GA) là một giải thuật mạnh, luôn được cải tiến và có sẵn trong MATLAB, nên trong chương này, GA được đề nghị sử dụng để xác định các trọng số của hàm chu kỳ chuyển mạch T_s . Do đó, để cực tiểu THD, ta cần cực tiểu (2.7) với

ràng buộc tổn hao chuyển mạch như (2.8). Hàm chu kỳ chuyển mạch thay đổi có thể tính được bằng cách suy ra từ (2.1) như sau:

$$T_s(\omega t) = \frac{\Delta I_p}{[1 - m|\sin(\omega t)]|m|\sin(\omega t)|} \frac{2\sqrt{3}L_f}{V_{dc}} \quad (2.9)$$

Như vậy, trong mỗi NCKCB, công thức (2.9) cho thấy rằng T_s phụ thuộc vào ωt . Với một giá trị THD cho trước, chu kỳ T_s cũng có thể biểu diễn như sau:

$$T_s(\omega t) \sim \frac{1}{[1 - m|\sin(\omega t)]|m|\sin(\omega t)|} \quad (2.10)$$

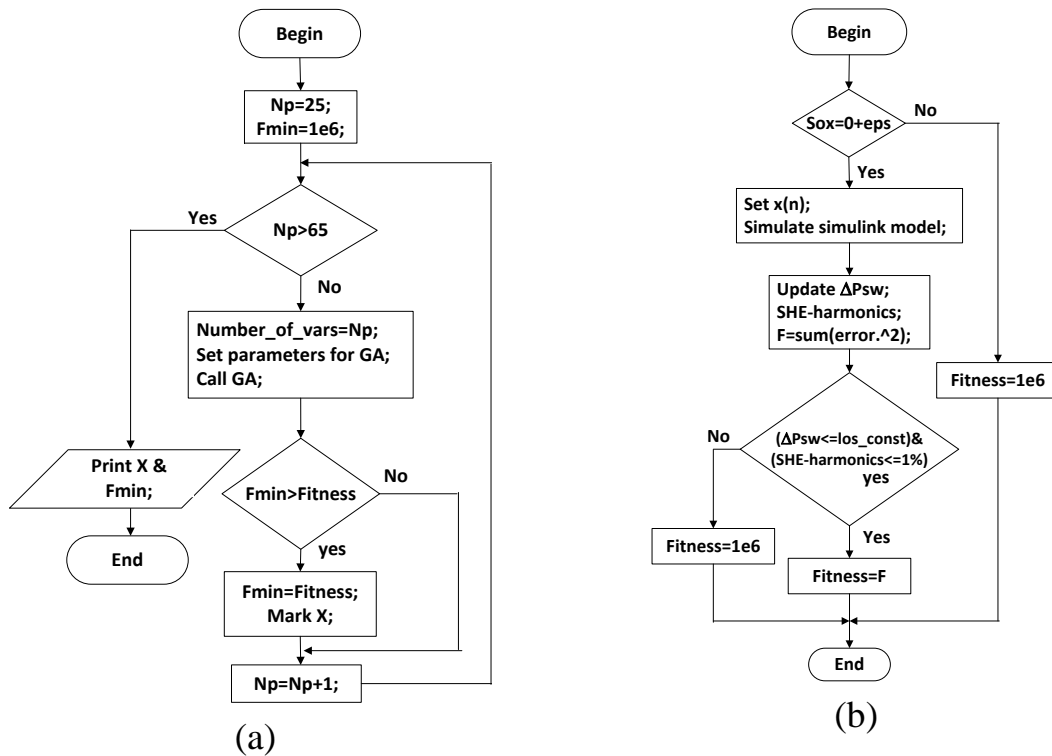
Tuy nhiên, do tần số chuyển mạch của linh kiện IGBT có giới hạn cực đại nên T_s cũng có giới hạn cực tiểu. Theo (2.10), T_s sẽ không xác định tại $\omega t=0$, nên ta cần thêm trọng số w_1 để không chế tần số chuyển mạch cực tiểu như sau:

$$T_{s-var}(\omega t) = \frac{1}{w_1 + [1 - w_2|\sin(\omega t)]|m|\sin(\omega t)|w_3} \quad (2.11)$$

Trong đó: trọng số w_2 cũng được sử dụng để kiểm soát chu kỳ chuyển mạch đủ thấp tại lân cận zero của dòng điện. Trọng số w_3 điều chỉnh sự biến đổi của chu kỳ chuyển mạch trong mỗi NCKCB. Các trọng số w_2 và w_3 cũng chứa đựng cả chỉ số điều chế m . Kỹ thuật GA được đề nghị sử dụng để xác định các trọng số này trong (2.11) với ràng buộc tổn hao chuyển mạch trung bình theo (2.8), khi đó, hàm mục tiêu cực tiểu là (2.7). Nội dung chi tiết cũng như kết quả mô phỏng và thí nghiệm trên kit DSP F28335 của phương pháp này được trình bày trong bài báo số I đã cho thấy tính hiệu quả của phương pháp đề xuất.

2.4.2 Xác định từng chu kỳ chuyển mạch

Việc dùng GA cho phép can thiệp sâu vào từng chu kỳ chuyển mạch trong NCKCB, làm cho giải thuật đề nghị ở hình 2.4 có thể thực hiện khử hài lựa chọn SHE (Selective Harmonic Elimination) một cách hiệu quả bằng cách đưa vào hàm ràng buộc hay hàm mục tiêu trong GA. Các tổ hợp cá thể nào làm cho hài riêng lẻ vượt quá ngưỡng qui định sẽ bị buộc loại khỏi GA bằng các hệ số phạt. Sau khi thực hiện GA, T_{s-var} thu được ở bảng 2.1.



Hình 2.4: Lưu đồ GA và hàm mục tiêu.

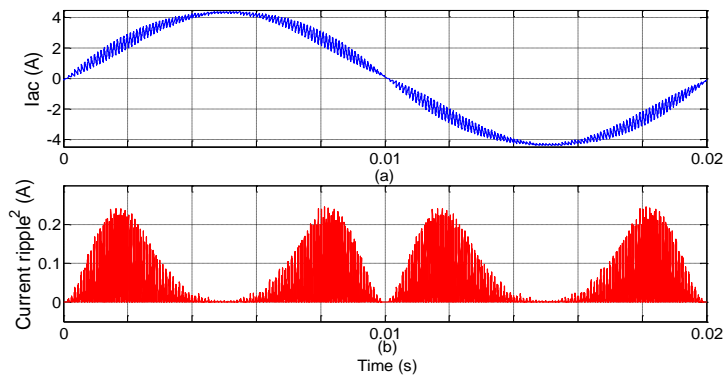
(a) Giải thuật GA; (b) Hàm mục tiêu

Bảng 2.1: Kết quả của chu kỳ chuyển mạch thay đổi (μs)

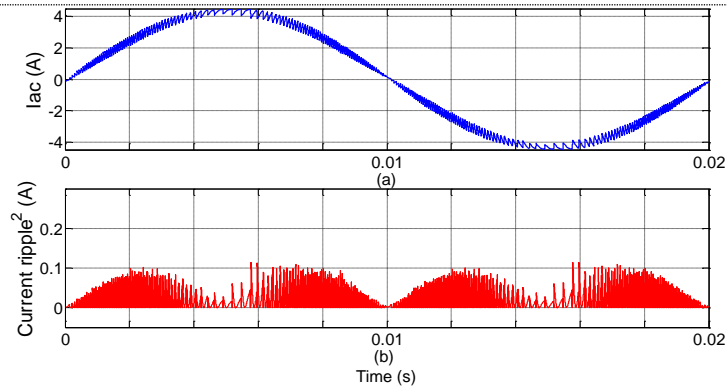
N_p	T_s	N_p	T_s	N_p	T_s	N_p	T_s	N_p	T_s	N_p	T_s
1	164	11	111	21	148	31	582	41	134	51	110
2	135	12	113	22	157	32	386	42	128	52	110
3	124	13	114	23	169	33	286	43	124	53	111
4	118	14	116	24	183	34	236	44	121	54	113
5	114	15	119	25	201	35	205	45	118	55	116
6	112	16	122	26	226	36	184	46	115	56	120
7	111	17	126	27	262	37	168	47	113	57	127
8	110	18	130	28	317	38	156	48	112	58	139
9	110	19	135	29	408	39	147	49	111	59	166
10	111	20	141	30	551	40	140	50	110	60	154

2.5 KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

2.5.1 Nghịch lưu tải trở



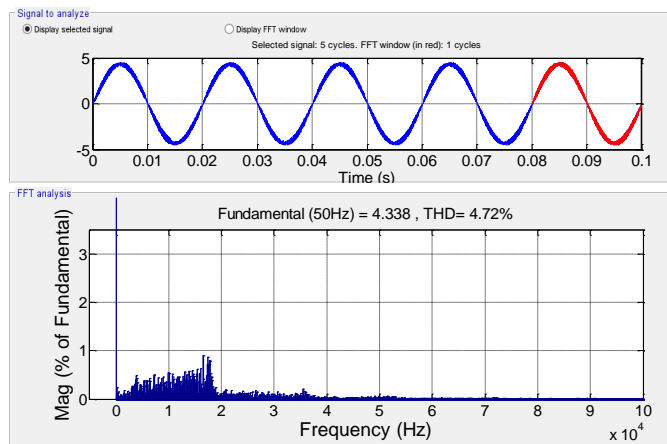
Hình 2.5: Bình phương độ nhấp nhô dòng điện của chu kỳ cố định.
 (a) I_{ac} trong chu kỳ cơ bản; (b) Bình phương của độ nhấp nhô dòng điện.



Hình 2.6: Bình phương độ nhấp nhô dòng điện của chu kỳ đề nghị.

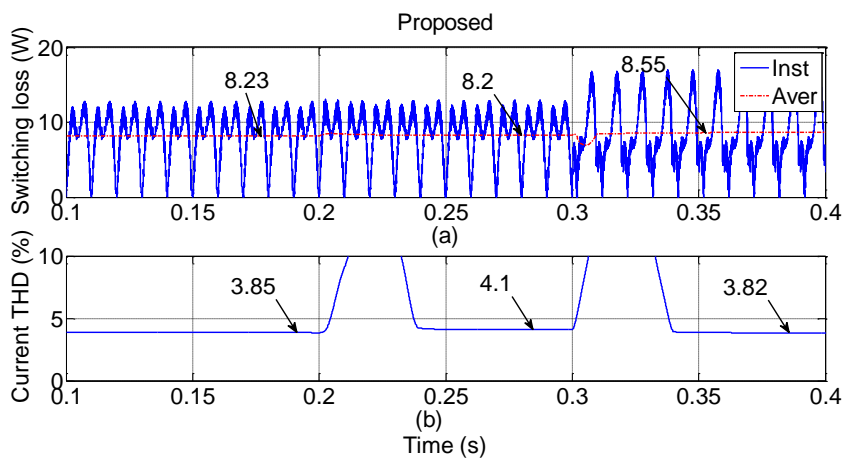
(a) I_{ac} trong chu kỳ cơ bản; (b) Bình phương của độ nhấp nhô dòng điện.

Bình phương độ nhấp nhô dòng điện ở hình 2.6 của phương pháp đề xuất thấp hơn so với bình phương độ nhấp nhô dòng điện của chu kỳ chuyển mạch cố định ở hình 2.5. Trên hình 2.7 cũng cho thấy rằng phương pháp đề nghị có THD dòng điện giảm còn 4.72% thấp hơn nhiều so với chu kỳ cố định ở hình 2.3. Thêm vào đó, phổ hài dòng điện của kỹ thuật đề nghị trải trong một phạm vi rộng. Chính điều này làm cho biên độ các sóng hài riêng lẻ giảm nhỏ đáng kể nên không gây nhiễu âm.



Hình 2.7: Phổ nhiễu hài dòng điện của chu kỳ đề nghị.

2.5.2 Nghịch lưu nối lưới

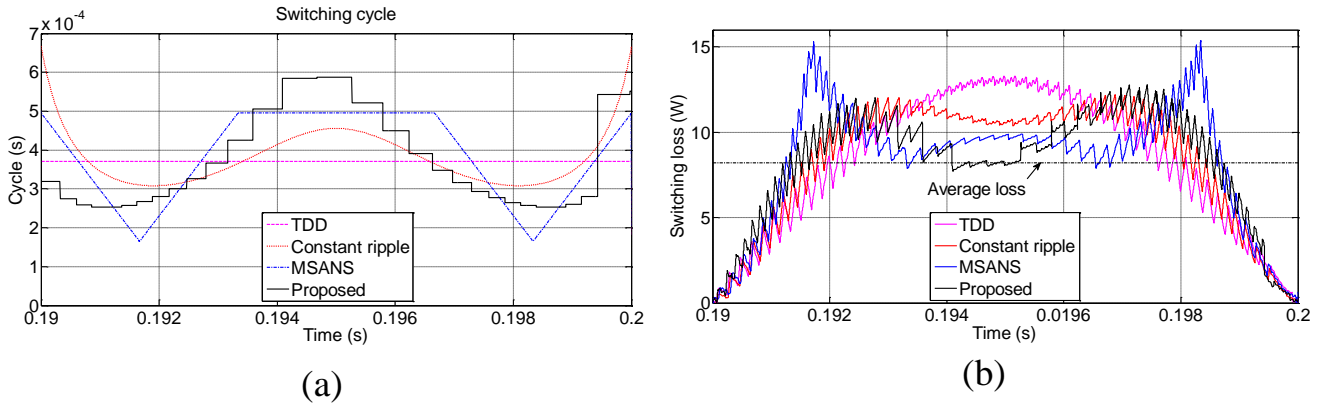


Hình 2.8: Tổn hao chuyển mạch và THD của kỹ thuật đề nghị

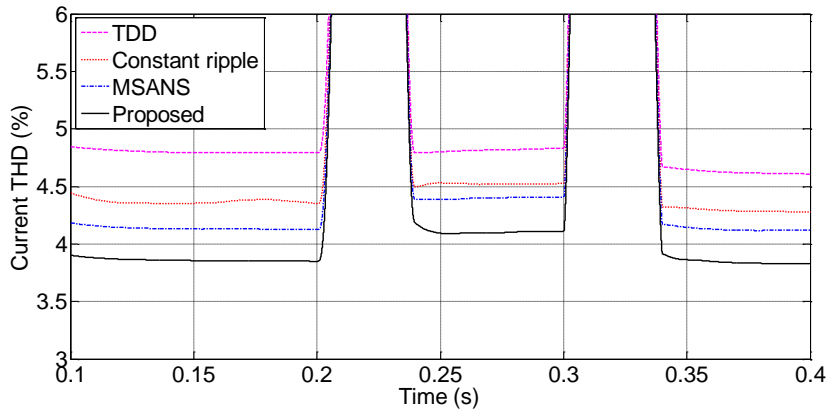
(a) Tổn hao chuyển mạch tức thời và trung bình; (b) THD dòng điện

Tóm tắt

Một hệ thống nghịch lưu nối lưới được thực hiện để mở rộng khảo sát của phương pháp đề nghị so với các phương pháp sẵn có như: TDD (total demand distortion), CR (constant ripple), và MSANS (modified spread of acoustic noise spectrum).



Hình 2.9: Chu kỳ và tổn hao chuyển mạch phóng to trong NCKCB khi $\cos\phi=1$.
(a) Chu kỳ chuyển mạch; (b) Tổn hao chuyển mạch.



Hình 2.10: THD dòng điện.

Bảng 2.2: Tóm tắt tổn hao chuyển mạch và sóng hài

Switching cycle	t < 0.2 s			0.2 s < t < 0.3 s			0.3 s < t < 0.4 s		
	Switching loss (W)	THD (%)	Rate (%)	Switching loss (W)	THD (%)	Rate (%)	Switching loss (W)	THD (%)	Rate (%)
Constant	15.35	2.55	46.	7.68	5.33	-	9.22	4.32	6
TDD	8.28	4.79	0	8.45	4.83	0	8.67	4.6	0
Constant ripple	8.29	4.33	9.6	8.25	4.53	6	8.58	4.28	7
MSANS	8.28	4.12	14	8.45	4.41	8.7	8.67	4.12	10.
Proposed	8.23	3.85	19.	8.20	4.10	15	8.55	3.82	17

2.5.3 Nhận xét kết quả của nghịch lưu nối lưới

Các kết quả mô phỏng của hệ thống nghịch lưu nối lưới của các phương pháp khảo sát được thể hiện trong hình 2.8-2.10 và bảng 2.2. Tổn hao chuyển mạch trung bình của

phương pháp TDD được dùng làm mẫu để đánh giá các phương pháp khác trong nghiên cứu này. Thực chất của phương pháp TDD vẫn là tần số chuyển mạch cố định nhưng với các mức dòng điện tải khác nhau.

Kết quả của phương pháp đề nghị cho thấy rằng:

+ Chu kỳ chuyển mạch của các khoảng thời gian khảo sát được xác định bằng GA cho tổn hao chuyển mạch trung bình tương tự như TDD. Tuy nhiên, sóng hài dòng điện tương ứng trong các khoảng khảo sát bằng 3.85, 4.1 và 3.82% và thấp nhất so với kết quả của các phương pháp khác. Tỷ lệ giảm sóng hài của MSANS là 14, 8.7, và 10.4 % so với TDD trong các khoảng tương ứng. Trong khi tỷ lệ giảm sóng hài của phương pháp đề nghị là 19.6, 15, và 17 % so với TDD. Tỷ lệ giảm này cho thấy kết quả của phương pháp đề nghị là tốt nhất trong việc giảm sóng hài của nghịch lưu và sóng hài dòng điện tương ứng trong các khoảng là thấp nhất so với sóng hài của các phương pháp trên.

+ Sự phân bố lại chu kỳ chuyển mạch của phương pháp đề nghị làm cho tổn hao chuyển mạch tức thời phân bố đồng đều hơn so với các phương pháp khác nên sức nhiệt cũng ít hơn so với các phương pháp khác. Điều này giúp tăng tuổi thọ của linh kiện công suất.

+ Đối với trường hợp hệ số công suất $\cos\varphi < 1$, chu kỳ chuyển mạch của phương pháp đề nghị giảm nhỏ đáng kể tại lân cận zero của dòng điện giúp cho độ nhấp nhô dòng điện giảm nhỏ đáng kể, trong khi tổn hao chuyển mạch tức thời tăng không đáng kể nên tổn hao chuyển mạch trung bình vẫn bằng với các phương pháp khác.

2.6 TÓM TẮT CHƯƠNG 2

- Tính hiệu quả của kỹ thuật đề nghị không những giảm sóng hài mà còn có khả năng khử hài lựa chọn và trải phổ hài trong một phạm vi rộng. Điều này giúp cho các hài riêng lẻ có biên độ giảm đáng kể nên giảm bộ lọc phụ và không gây nhiễu âm. Vì vậy, nó rất phù hợp cho các thiết bị trong thông tin và quân sự.
- Các kết quả cũng đã được thực hiện cho các trường hợp phát điện vào lưới với $\cos\varphi = 1$ và $\cos\varphi < 1$ trong cùng một điều kiện cài đặt với những thông số giống với thực tế nhất.
- Việc giảm sóng hài cho nghịch lưu nối lưới cũng góp phần làm giảm kích thước bộ lọc, giá thành thiết bị, và cải thiện chất lượng điện năng của hệ thống điện. Từ đó, tạo điều kiện cho việc chế tạo thiết bị và làm chủ công nghệ với giá thành thấp.
- Việc chuyển mạch với tần số thấp tại đỉnh của dòng điện cũng góp phần làm tăng tuổi thọ của linh kiện công suất.
- Để đáp ứng yêu cầu tải thay đổi trong điều kiện thực tế, các số liệu của chu kỳ chuyển mạch được chuẩn bị offline sẵn với các mức tải khác nhau bằng cách sử dụng phương pháp tra bảng trong Matlab.
- Để kiểm tra khả năng áp dụng, các khảo sát đối với một hệ thống nghịch lưu nối lưới 3 pha cũng được thực hiện ở phân phụ lục 4-5 đến 4-8 của luận án.

CHƯƠNG 3. PHƯƠNG PHÁP ƯỚC LƯỢNG NHANH VÀ CHÍNH XÁC THAM SỐ ĐIỆN ÁP LƯỚI

3.1 THAM SỐ HÒA ĐỒNG BỘ

Đại lượng $m \cdot \sin(\omega t - \varphi)$ trong biểu thức (1.1) ở chương 1 cho thấy rằng sóng hài của nghịch lưu còn phụ thuộc vào các tham số hòa đồng bộ như: biên độ, tần số, góc pha và offset dc của tín hiệu điều chế. Thông thường, trong hệ thống nghịch lưu nối lưới, việc hòa đồng bộ do vòng khóa pha đảm nhận. Yêu cầu của vòng khóa pha PLL (Phase-Locked Loop) là phải xác định nhanh và chính xác biên độ, tần số, góc pha và offset dc của điện áp lưới cơ bản. Các tham số này không những phục vụ cho quá trình hòa đồng bộ của nghịch lưu với lưới điện mà còn góp phần nâng cao khả năng trải qua sự cố FRT (Fault-Ride Through) theo các tiêu chuẩn nối lưới mới để nâng cao chất lượng điện năng của hệ thống điện.

Trong điều kiện vận hành bình thường, việc xác định các tham số điện áp nguồn lưới cơ bản tương đối dễ dàng, nhưng khi có sự cố sụt áp, mất cân bằng, sóng hài cao, tần số nguồn dao động thì việc xác định nhanh và chính xác các tham số điện áp lưới cơ bản trở nên rất khó khăn.

Trong chương 3 này, tác giả đề xuất phương pháp xác định nhanh và chính xác các tham số của điện áp lưới trong điều kiện khắc nghiệt như: sụt áp, mất cân bằng, dao động tần số, sóng hài cao, nhảy pha... Phương pháp đề nghị dựa vào giải thuật Levenberg-Marquardt (L-M) để giải các phương trình vi phân phi tuyến siêu việt. Các tham số ngõ ra được cập nhật vào các tham số ban đầu của phương pháp giải nên làm cho bộ trọng số được cập nhật ít thay đổi. Chính điều này giúp cho phương pháp giảm số lần lặp và hội tụ nhanh đến kết quả.

Phương pháp đề xuất hoàn toàn không cần đến các bộ dò pha, không có bộ lọc vòng cũng như bộ dao động điều khiển điện áp. Đây chính là sự khác biệt so với các phương pháp vòng khóa pha hiện nay. Tính hiệu quả của phương pháp đề xuất được khẳng định thông qua các kết quả mô phỏng và thí nghiệm của phương pháp đề xuất so với phương pháp thông thường Con (conventional PLL), phương pháp DSOGI (Dual Second-Order Generalized Integrator) và DSOGI-FLL (Dual Second-Order Generalized Integrator -Frequency-Locked Loop).

Các tiêu chí xem xét - đánh giá hiệu quả dựa vào:

- ❖ Đáp ứng động
- ❖ Sai số xác lập
- ❖ Độ vọt lố
- ❖ Độ phức tạp tính toán đối với phần cứng

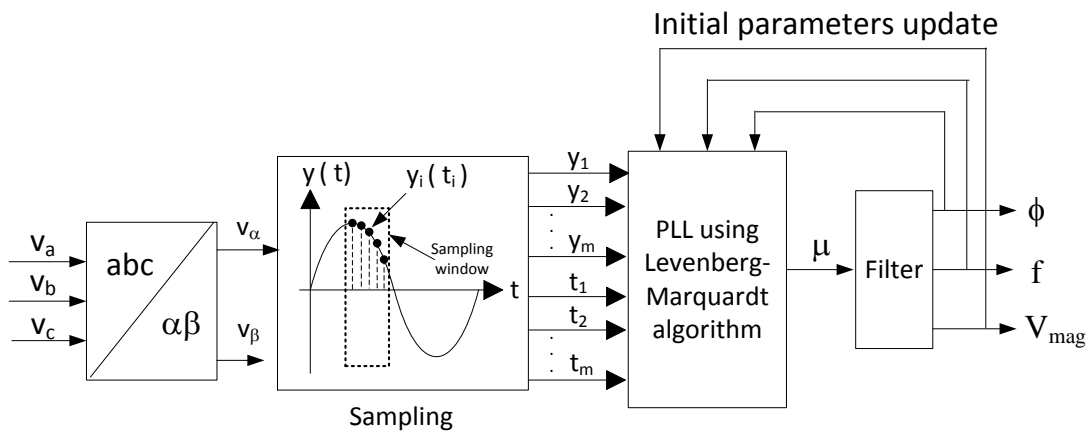
Thông thường các tiêu chí này mâu thuẫn nhau, chẳng hạn, để giảm sai số xác lập, các bộ lọc thông thấp thường được sử dụng nhưng thời gian xác lập lại tăng lên và ngược lại, bởi vì bản chất của các PLL là bộ lọc phức thích nghi bậc nhất.

3.2 KỸ THUẬT ƯỚC LƯỢNG THAM SỐ ĐỀ XUẤT

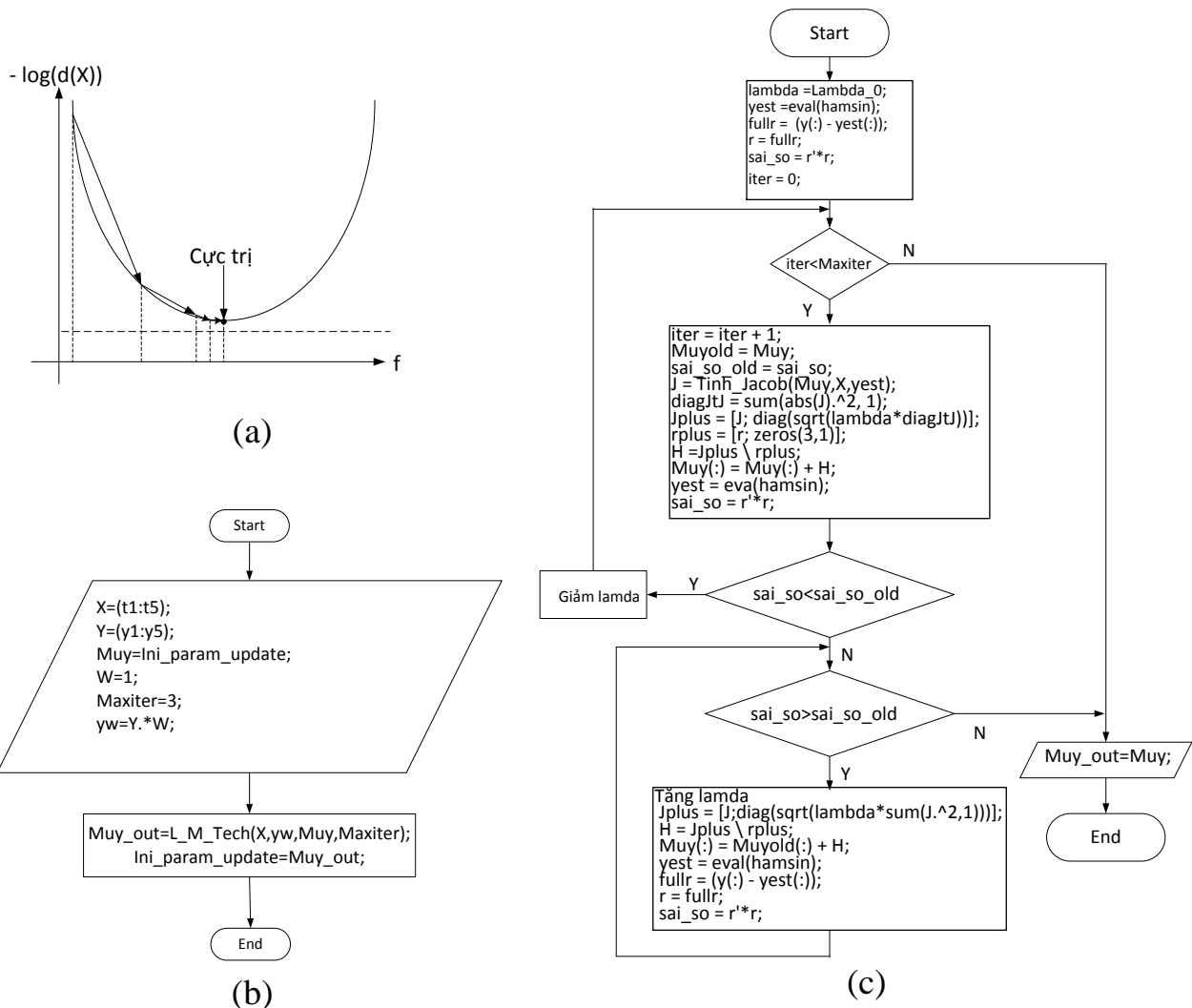
Phép biến đổi Clarke từ abc sang $\alpha\beta$ có thể loại bỏ hài bậc cao và offset DC khi ba pha có sóng hài và offset giống nhau, khi đó, điện áp V_α tương đối ít sóng hài. Tuy nhiên, trong trường hợp 3 pha có nhiễu và offset không giống nhau thì điện áp V_α bị méo hài nhiều hơn, vấn đề này sẽ được phân tích trong 2 trường hợp khảo sát ở phần sau. Đại lượng điện áp V_α này được sử dụng để đưa vào mô hình nhận dạng ba tham số

Tóm tắt

sử dụng giải thuật L-M như hình 3.1 tương ứng với m mẫu dữ liệu đo của điện áp vào. Khi đó, ngõ ra μ của giải thuật L-M gồm có ba tham số: biên độ, tần số và góc pha ban đầu tương ứng với V_{mag} , f , và ϕ (nếu xem xét thêm offset dc thì sử dụng mô hình bốn tham số).



Hình 3.1: PLL đề nghị sử dụng giải thuật Levenberg-Marquardt



Hình 3.2: Lưu đồ giải thuật đề xuất

- (a) Minh họa giải thuật L-M;
- (b) Lưu đồ chương trình chính;
- (c) Lưu đồ giải thuật đề xuất L_M_Tech

Trong phương pháp đề xuất, *các tham số ngõ ra μ được cập nhật trở lại cho bộ tham số ban đầu*, chính sự hồi tiếp này giúp cho phương pháp xác lập nhanh đến lời giải với số lần lặp rất ít. Do đó, tham số ngõ ra không còn hiện tượng vọt lố cũng như trễ pha. Đây chính là sự khác biệt quan trọng của giải thuật đề xuất. Lưu đồ giải thuật cũng được thể hiện trên hình 3.2.

3.3 KẾT QUẢ

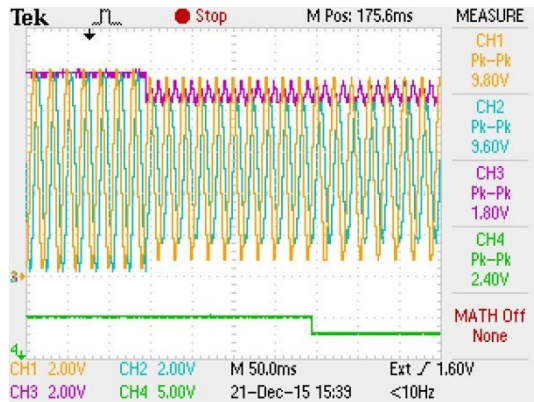
Trong phương pháp đề xuất: kích thước cửa sổ lấy mẫu $m=5$ với tần số lấy mẫu của cảm biến điện áp: 1kHz. Số lần lặp Maxiter=3; $\lambda_0=0.001$; $L_I=11$; $L_D=9$; $\varepsilon=6 \times 10^{-5}$; $\alpha=1 \times 10^{-8}$; bộ lọc ngõ ra có tần số cắt 200 Hz. Hai trường hợp thử nghiệm được xem xét:

Trường hợp thứ nhất: điện áp ba pha ngõ vào có sóng hài đều nhau, trong đó hài bậc 5 là 7%, bậc 7 là 5%, bậc 11 là 5%, và bậc 13 là 3% tương ứng với THD=10.39%.

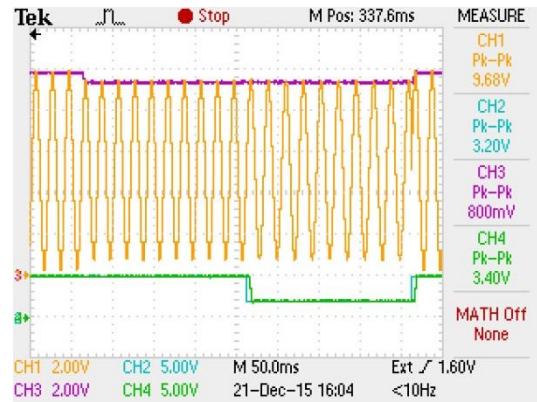
Trường hợp thứ hai: tương tự trường hợp thứ nhất nhưng sóng hài THD=10.39% chỉ có ở pha A, pha B và pha C không có sóng hài. Lúc này, điện áp v_α còn chứa nhiều thành phần hài chứ không ít sóng hài giống như trường hợp thứ nhất.

Đối với cả hai trường hợp thử nghiệm, có 3 khoảng thời gian khảo sát. Trong khoảng 0-0.2 s, ba pha cân bằng định mức và bị méo hài nặng 10.39%. Trong khoảng 0.2-0.4 s, biên độ pha B và C bị giảm còn 70% định mức để tạo mất cân bằng. Trong khoảng 0.4-0.6 s, điện áp 3 pha mất cân bằng và nhảy tần số từ 50 xuống 47Hz. Tại 0.6 s phục hồi lại trạng thái như khoảng thời gian đầu. Điều này tạo ra nhảy biên độ, tần số, góc pha cùng một lúc. Đây là điều kiện khắc nghiệt để kiểm tra độ ổn định của giải thuật.

3.3.1 Trường hợp thứ nhất



(a)



(c)



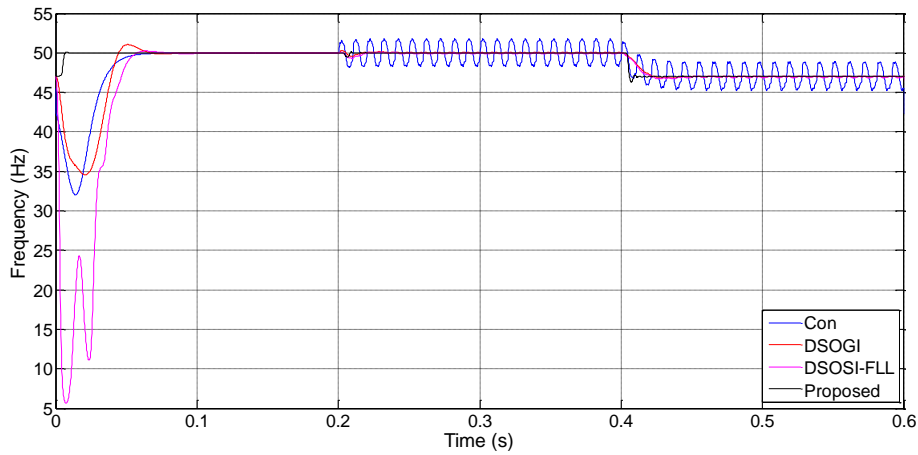
(b)

(a) Phương pháp thông thường Con

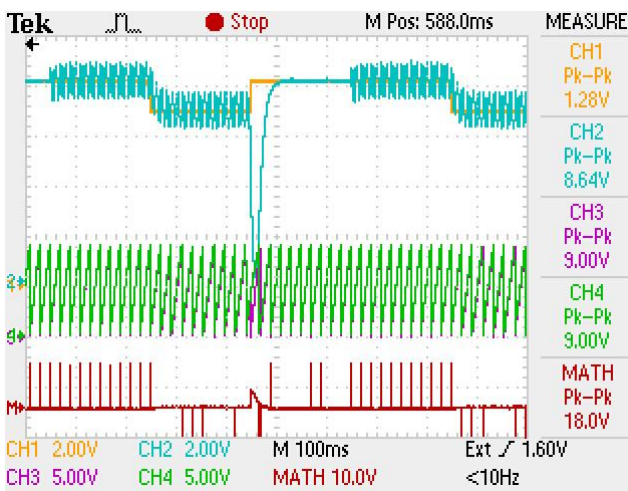
(b) Phương pháp DSOGI

(c) Phương pháp đề xuất

Hình 3.3: Biên độ điện áp ước lượng



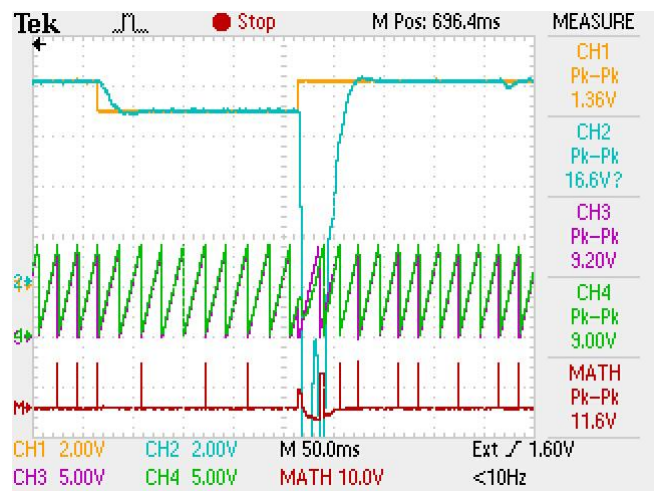
Hình 3.4: Tần số mô phỏng ước lượng được



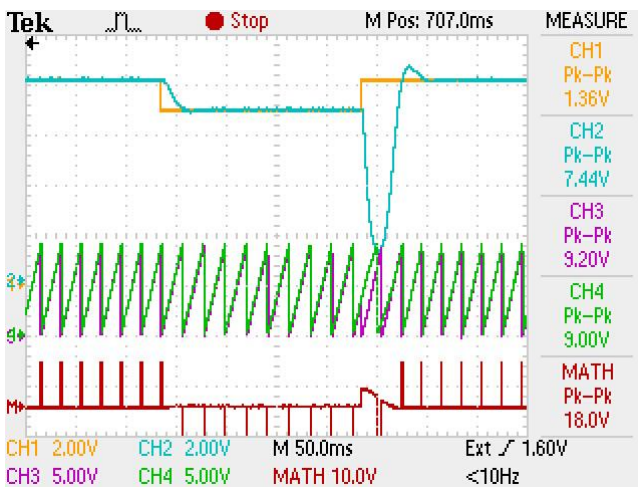
CH1: f-ref; CH2: f-est; CH3: theta-ref;
CH4: theta-est; M: CH3-CH4.

Hình 3.5: Góc pha của phương pháp Con

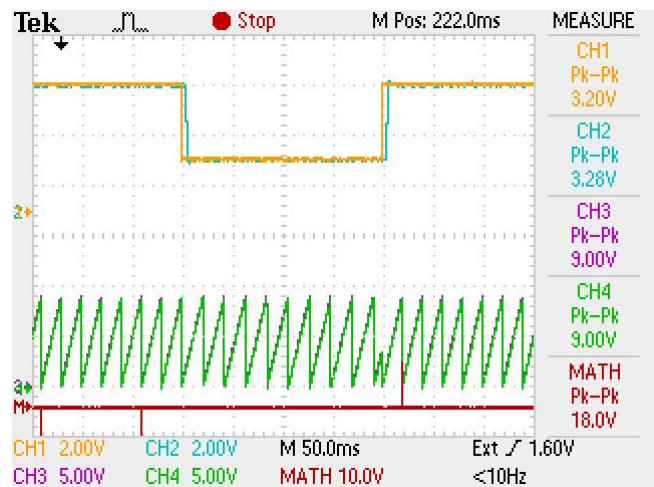
(f-ref: tần số đặt; f-est: tần số ước lượng được;
theta-ref: góc pha đặt; theta-est: góc pha ước lượng được)



Hình 3.6: Góc pha của phương pháp DSOGI-FLL

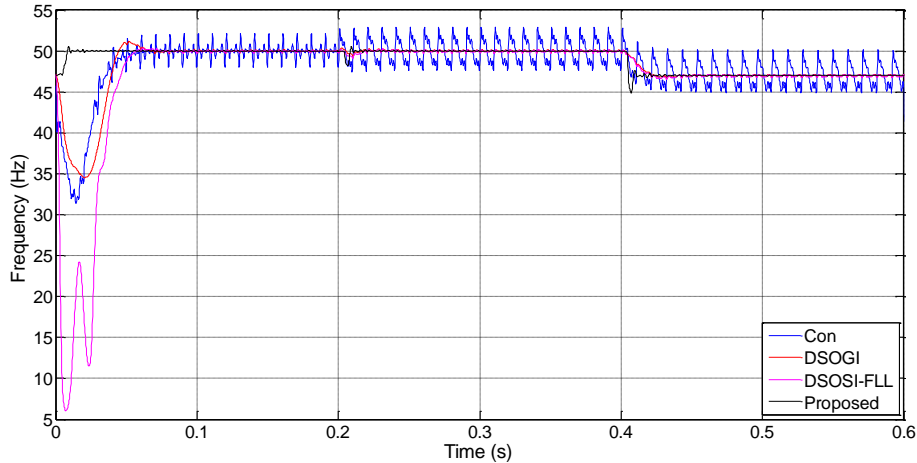


Hình 3.7: Góc pha của phương pháp DSOGI

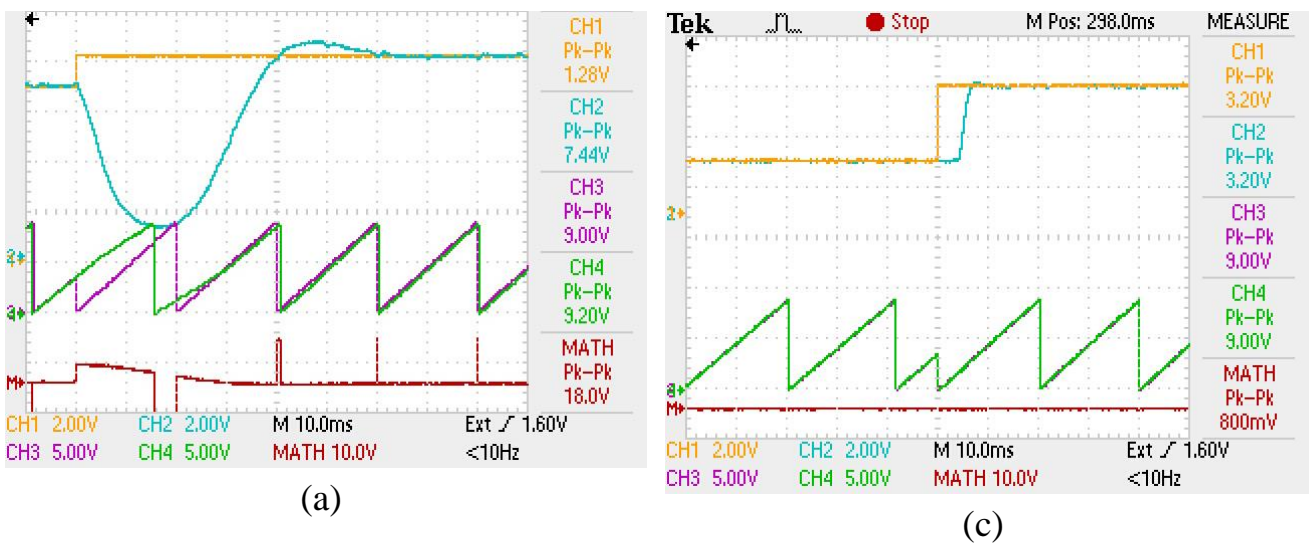


Hình 3.8: Góc pha của phương pháp đề xuất

3.3.2 Trường hợp thứ hai



Hình 3.9: Tần số mô phỏng



CH1: f_{ref} ; CH2: f_{est} ; CH3: θ_{ref} ; CH4: θ_{est} ; M: CH3-CH4.

(b)

Hình 3.10: Tần số và góc pha thí nghiệm

3.4 NHẬN XÉT KẾT QUẢ

Kết quả mô phỏng và thí nghiệm được thể hiện trên hình từ 3.3 đến 3.10 và bảng 3.1. + Đáp ứng tần số ở hình 3.4 và 3.9 cho thấy rằng phương pháp đề xuất có thời gian xác lập nhỏ hơn 10ms, trong khi các phương pháp khác phải đến 100 ms. Sai số xác lập của các phương pháp khác > 0.1 Hz và lớn hơn tiêu chuẩn (tiêu chuẩn cho phép là 0.05 Hz).

Trong khi sai số xác lập của phương pháp đề xuất <0.02 Hz và luôn nhỏ hơn giới hạn tiêu chuẩn.

Bảng 3.1: So sánh kết quả ở trường hợp kể từ 0.6 s

TH		Con	DSOGI	DSOGI-FLL	Proposed
1	Sai số xác lập	1.8 Hz	0.06 Hz	0.1 Hz	0.01 Hz
	Độ vọt lố	18 Hz	15 Hz	45 Hz	0.52 Hz
	Thời gian xác lập	100ms	100ms	100ms	<10ms
2	Sai số xác lập	3 Hz	0.13 Hz	0.25 Hz	0.02 Hz
	Độ vọt lố	18 Hz	16 Hz	45 Hz	2 Hz
	Thời gian xác lập	100ms	100ms	100ms	10ms

+ Các kết quả cũng cho thấy rằng độ vọt lố tần số ước lượng của phương pháp DSOGI-FLL vẫn là cao nhất và vượt quá tiêu chuẩn IEEE-1547 mới. Trong khi của phương pháp đề xuất là rất thấp (chỉ 2 Hz) khi nhảy tần số lần góc pha tại 0.6 s. Góc pha của các phương pháp được thể hiện trên các hình 3.5-3.8 và 3.10, với kênh đo M là sai số góc pha cũng cho thấy kết quả của phương pháp đề xuất là nhỏ nhất và là tốt nhất trong các phương pháp khảo sát.

3.5 TÓM TẮT CHƯƠNG 3

+ Trên cơ sở phân tích đặc điểm của các phương pháp PLL hiện nay, tác giả đã đề xuất một giải thuật để xác định nhanh và chính xác các thông số của điện áp lưới trong điều kiện vận hành bình thường cũng như khi có sự thay đổi điện áp như: sụt áp, mất cân bằng, sóng hài cao, nhảy điện áp, tần số, góc pha.

+ Phương pháp đề xuất dựa vào toán học cơ bản để giải phương trình vi phân siêu việt bằng giải thuật Levenberg-Marquardt *có cập nhật tham số ban đầu* để giảm số vòng lặp và hội tụ nhanh đến kết quả.

+ Các tiêu chí về thời gian xác lập, sai số xác lập, độ vọt lố và độ phức tạp tính toán cũng đã được xem xét và phân tích để đánh giá khi so sánh với các phương pháp đã được công bố gần đây.

+ Tính hiệu quả và bền vững của phương pháp cũng đã được khẳng định thông qua kết quả mô phỏng và thí nghiệm khi so sánh với kết quả của các phương pháp thông thường, DSOGI, và DSOGI-FLL trong điều kiện khắc nghiệt của điện áp ngõ vào.

+ Phương pháp đề xuất đã được kiểm tra bằng mô phỏng trên MATLAB/Simulink và thí nghiệm trên kit Dspace 1103.

+ Mặt khác, với phương pháp đề xuất, do tần số lấy mẫu của cảm biến điện áp chỉ cần 1 kHz nhưng vẫn cho đáp ứng động tốt. Trong khi đó, với các phương pháp khác phải cần tần số lấy mẫu của cảm biến lên đến 10 kHz và phải tính toán liên tục nên đòi hỏi phần cứng mạnh mẽ, đắt tiền. Với khả năng đáp ứng nhanh của phương pháp đề xuất cho phép sử dụng cảm biến có độ nhạy thấp với giá thành rẻ góp phần làm giảm giá thành thiết bị.

+ Để kiểm tra khả năng ứng dụng của phương pháp đề xuất, kết quả khảo sát một hệ thống nghịch lưu nối lưới 3 pha cũng đã được thực hiện ở phụ lục 4-7 đến 4-8 của luận án.

CHƯƠNG 4. GIẢM ĐỘ NHẤP NHÔ ĐIỆN ÁP DC VÀ CẢI TIẾN HỆ SỐ BỘ ĐIỀU KHIỂN

4.1 GIẢM ĐỘ NHẤP NHÔ ĐIỆN ÁP DC BẰNG KỸ THUẬT MPPT VỚI SỐ GIA BIẾN ĐỔI

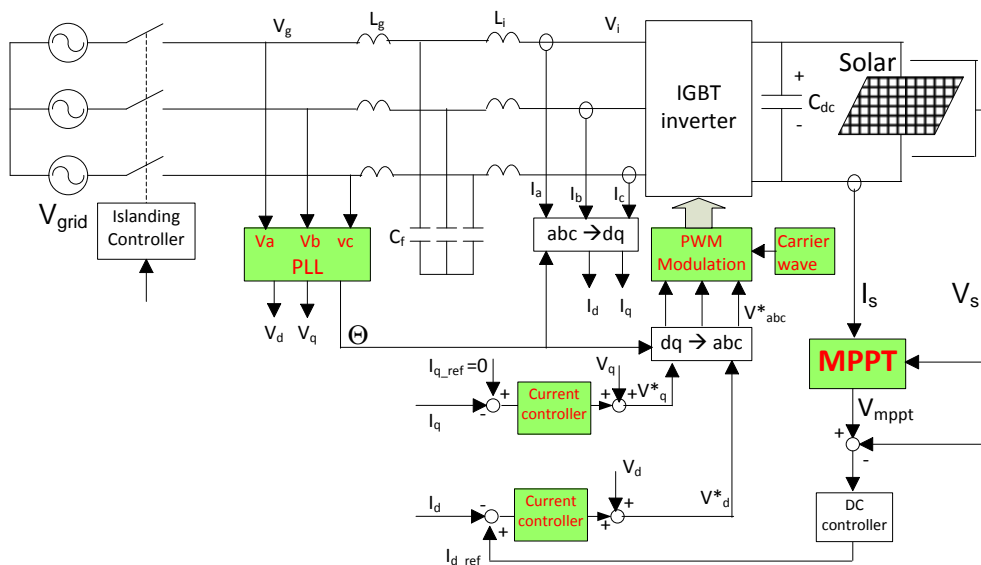
4.1.1 Dò điểm công suất cực đại của pin mặt trời

Đặc điểm của pin mặt trời là công suất thay đổi phi tuyến theo điều kiện thời tiết. Do đó, để tối ưu trích xuất năng lượng từ pin mặt trời, các hệ thống nghịch lưu điện mặt trời nối lưới cần phải có tính năng dò điểm công suất cực đại MPPT (Maximum power point tracking).

Đối với hệ thống nghịch lưu nối lưới hai giai đoạn có mạch boost và bộ lọc DC đảm nhận việc MPPT, điện áp DC ngõ ra của mạch boost có chất lượng tốt, độ nhấp nhô điện áp DC thấp. Tuy nhiên, việc thêm mạch boost và bộ lọc DC làm tăng kích thước và chi phí thiết bị, đồng thời làm tăng tổn hao nên làm giảm hiệu suất của thiết bị. Đối với hệ thống nghịch lưu nối lưới một giai đoạn không có mạch boost cho hiệu quả cao hơn, nhưng chất lượng nguồn DC lại phụ thuộc nhiều vào kỹ thuật MPPT.

Có nhiều kỹ thuật MPPT được sử dụng cho hệ thống pin mặt trời nối lưới đã được công bố. Tuy nhiên, các kỹ thuật hiệu quả chủ yếu dựa trên nền tảng của kỹ thuật P&O (Perturb & Observe) và INC (Incremental Conductance) với các cải tiến. Nhưng đa số các cải tiến này giữ nguyên số gia điện áp khi điều chỉnh tăng hoặc giảm điện áp chuẩn MPPT cho bộ điều khiển điện áp DC.

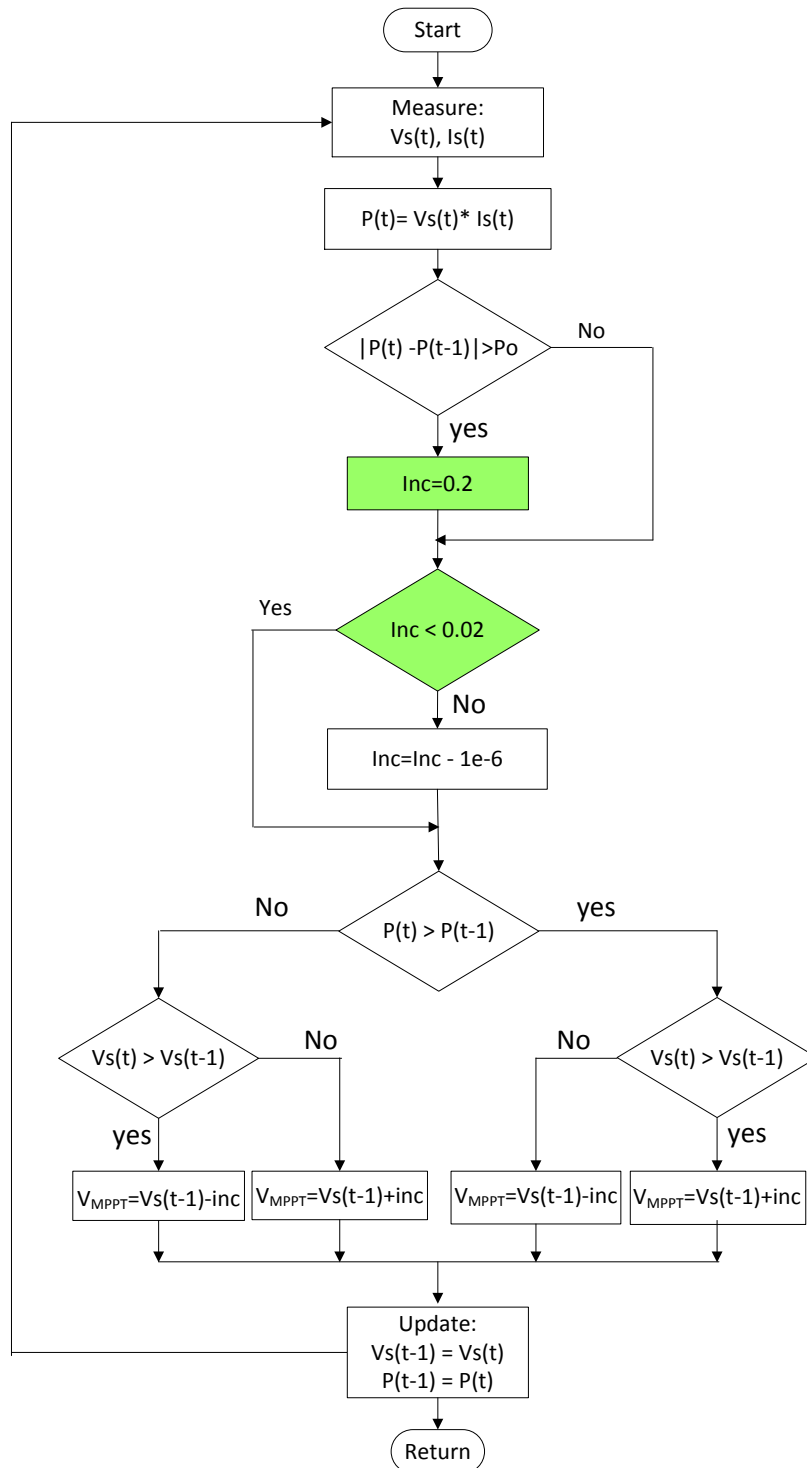
Trong khi biểu thức (1.1) cho thấy điện áp nguồn DC là một trong những nguyên nhân gây sóng hài dòng điện cho nghịch lưu. Khi công suất nguồn điện vào ổn định, thì việc sử dụng số gia lớn làm cho điện áp DC có độ nhấp nhô cao nên dẫn đến sóng hài ngõ ra của nghịch lưu tăng cao. Nếu giảm nhỏ số gia để giảm sóng hài, khi có sự dao động của nguồn điện vào do thời tiết thay đổi thì đáp ứng động của kỹ thuật MPPT lại kém đi, đây là điều bất lợi của phương pháp số gia điện áp cố định. Vì vậy, điều này đòi hỏi phải có một giải pháp cải thiện kỹ thuật MPPT để nâng cao chất lượng nguồn DC.



Hình 4.1: Cấu trúc của một hệ thống pin mặt trời nối lưới ba pha

Tác giả đề xuất một giải thuật MPPT có số gia biến đổi với tính năng giảm sóng hài và tăng đáp ứng động. Trong giải thuật này, mỗi khi công suất vào của dàn pin thay đổi theo điều kiện thời tiết, điện áp MPPT sẽ được chỉnh rất nhanh đến điểm có công suất cực đại với số gia lớn, sau đó số gia sẽ được giảm nhỏ xuống để đạt được độ méo dạng sóng hài toàn phần (THD) thấp hơn. Kết quả mô phỏng trên MATLAB/Simulink cho thấy bộ điều chỉnh điện áp MPPT đề xuất có số gia biến thiên tốt hơn bộ điều chỉnh có số gia cố định.

4.1.2 Giải thuật MPPT đề xuất



Hình 4.2: Lưu đồ giải thuật MPPT với gia số inc biến đổi

Nguyên lý hệ thống nghịch lưu điện mặt trời ba pha nối lưới được thể hiện ở hình 4.1, với V_s và I_s là điện áp và dòng điện tương ứng của dàn pin mặt trời. Các thông số của P_0 , inc bằng 0.2 và 0.02 cũng như đại lượng giảm $1e-6$ sẽ được xác định trong quá trình cân chỉnh giải thuật.

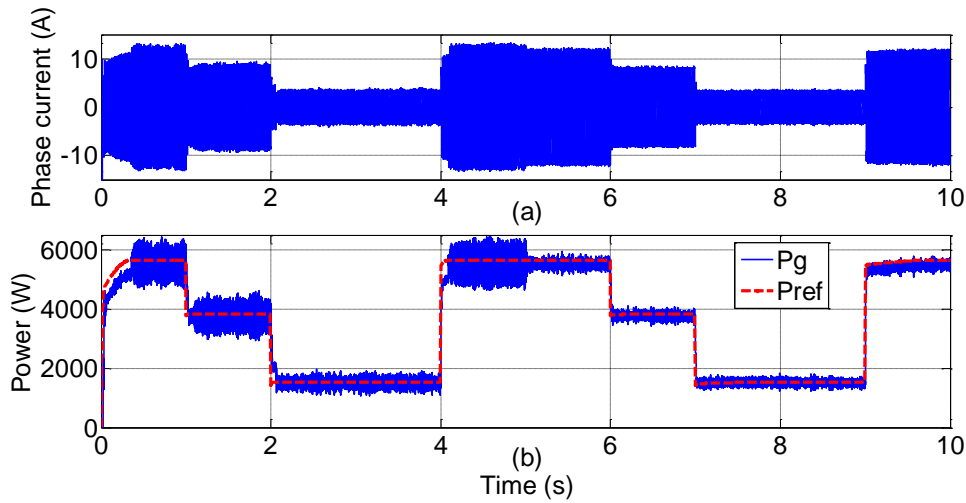
4.1.3 Kết quả mô phỏng

Các tham số của hệ thống nghịch lưu nối lưới ba pha như bảng 4.1 với cài đặt bức xạ $G=1$ tương ứng với $1000W/m^2$ và sự thay đổi bức xạ G theo hàm nấc (1, 0.7 và 0.3). Dàn pin có tổng công suất đỉnh là 5.78 kW.

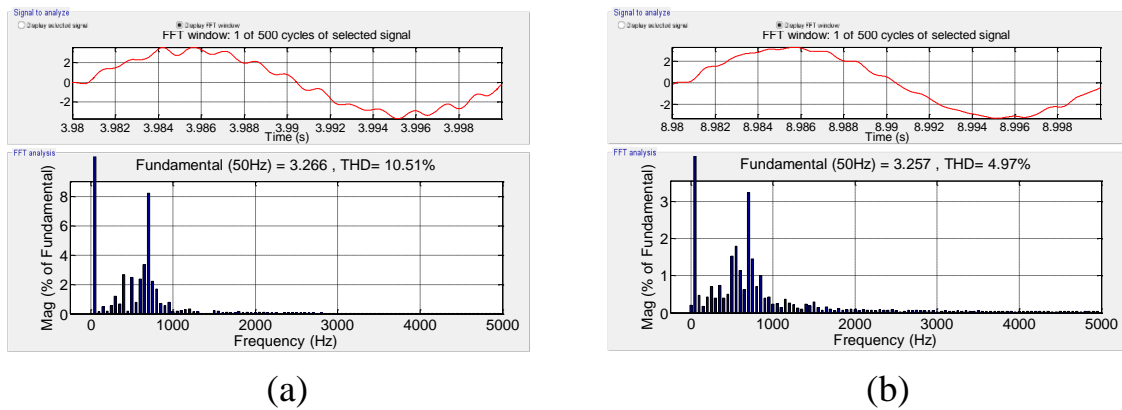
Bảng 4.1: Tham số của hệ thống nghịch lưu nối lưới

Parameter	Description	Value
Lg	Grid inductance	0.5mH
Rg	Resistance of Lg	0.01 Ω
Li	Inverter inductance	20mH
Ri	Resistance of Li	0.4 Ω
Cf	Filter capacitor	15 μ F
FPWM	PWM frequency	9kHz
f	Grid frequency	50Hz
Sb	Base power	150KVA
Vb	Base voltage	380V
Kp_dq	Kp of PI_d and PI_q	400
Ki_dq	Ki of PI_d and PI_q	400
Kp_v	Kp of PI_Vdc	6
Ki_v	Ki of PI_Vdc	0.005
Cdc	DC bus capacitor	1500 μ F
P_0	Active power change	5W

4.1.3.1 Số gia cố định

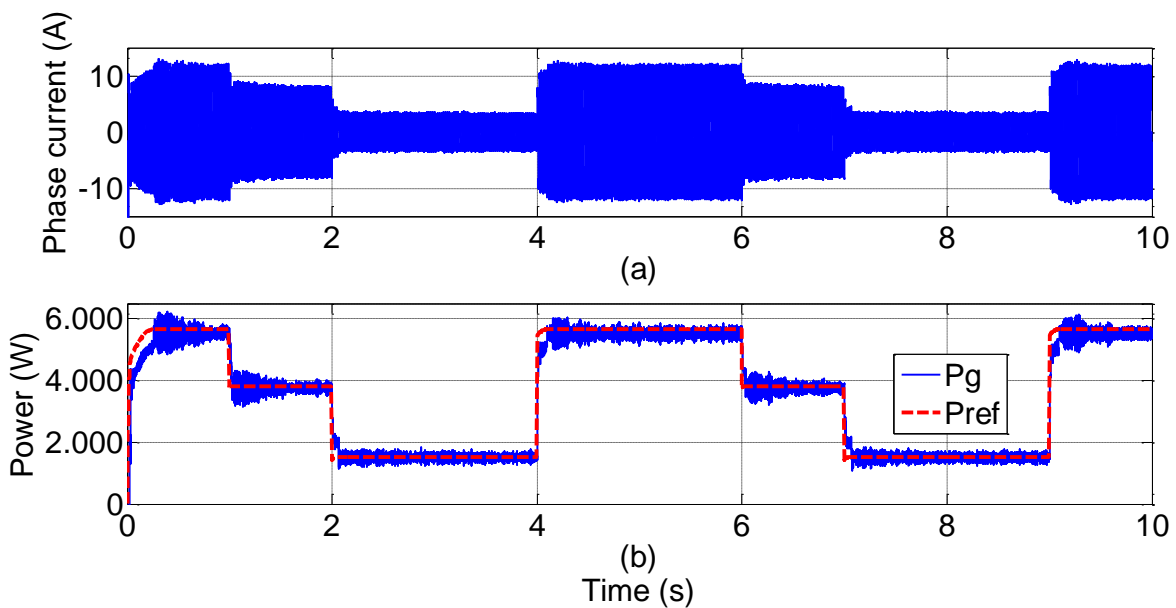


Hình 4.3: Đáp ứng dòng điện và công suất
(a) Dòng điện pha; (b) Công suất tác dụng



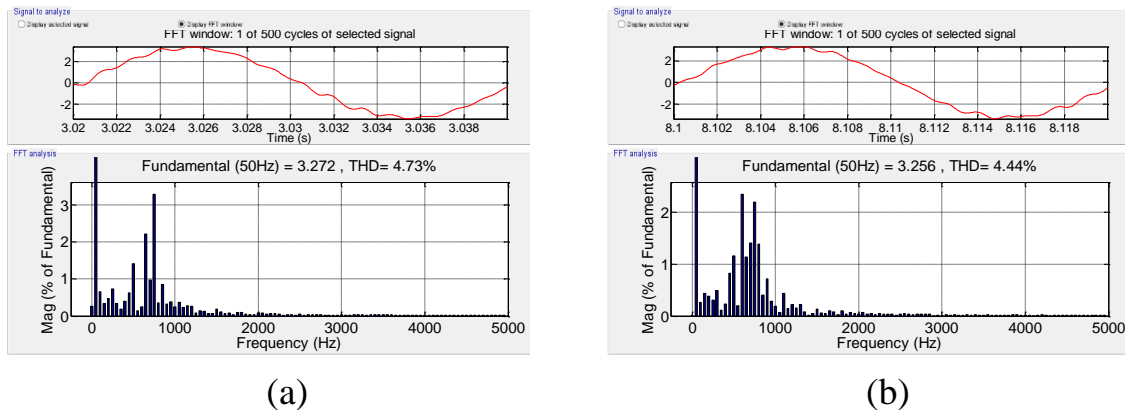
Hình 4.4: Sóng hài dòng điện pha
(a) Đo từ thời điểm 3.98s với số gia lớn
(b) Đo từ thời điểm 8.98s với số gia nhỏ

4.1.3.2 Số gia biến đổi



Hình 4.5: Đáp ứng dòng điện và công suất khi số gia biến đổi

(a) Dòng điện pha; (b) Công suất tác dụng

**Hình 4.6:** Sóng hài dòng điện pha

(a) Đo từ thời điểm 3.02s; (b) Đo từ thời điểm 8.1s

4.1.4 Nhận xét kết quả

Với số gia cố định được cài đặt bằng 0.2V trong khoảng thời gian 0-5s, nhiều hài công suất ở hình 4.3 cao đáng kể. Điều này làm cho THD đo tại thời điểm 3.98s ở hình 4.4(a) lên tới 10.51% và vượt quá tiêu chuẩn cho phép.

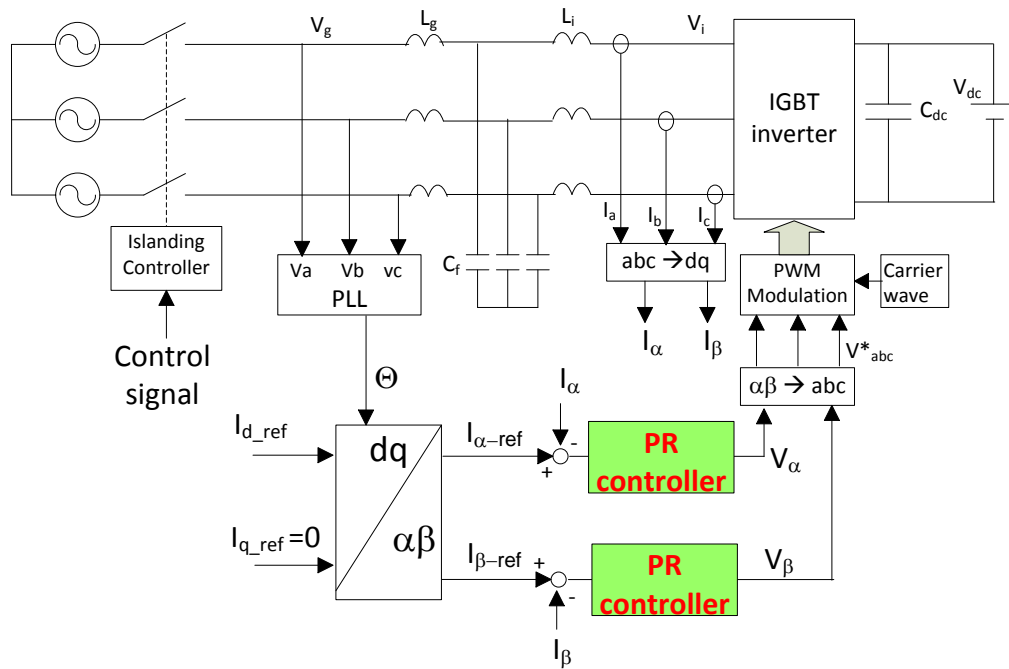
Khi số gia cố định được cài đặt bằng 0.02V trong khoảng thời gian 5-10s, kết quả nhiều hài dòng điện ở hình 4.4 giảm đáng kể, nhưng đáp ứng công suất ở hình 4.3 rất chậm (hơn 1s) theo sự thay đổi của bức xạ.

Với kỹ thuật đề xuất có số gia biến đổi từ 0.2V đến 0.02V, mỗi khi có sự thay đổi bức xạ thì công suất ở hình 4.5 có đáp ứng rất nhanh (nhỏ hơn 0.1s) nhờ số gia lớn (0.2V). Khi xác lập, số gia được điều chỉnh xuống còn 0.02V giúp cho sóng hài giảm đáng kể ở hình 4.6 và nhỏ hơn giới hạn qui định.

4.2 CẢI TIẾN THAM SỐ BỘ ĐIỀU KHIỂN DÙNG GIẢI THUẬT PSO**4.2.1 Bộ điều khiển dòng điện**

Như đã trình bày ở chương 1, hình 4.7 cho thấy các tham số của các bộ điều khiển dòng điện có ảnh hưởng đáng kể đến đáp ứng động và sóng hài của nghịch lưu nối lưới.

Vì hàm truyền vòng kín của hệ thống nghịch lưu nối lưới có dạng vô định, nên có vô số cặp nghiệm hệ số K_p , K_i . Do đó, việc xác định các tham số bộ điều khiển dòng điện sử dụng phương pháp thông thường như Ziegler-Nichols, tối ưu đối xứng... thường mất nhiều thời gian và công sức nhưng chưa chắc sẽ có được nghiệm toàn cục. Trong luận án này, tác giả đề xuất sử dụng phương pháp tối ưu bầy đàn PSO (Particle Swarm Optimization) để xác định tham số bộ điều khiển dòng công hưởng (PR) cho nghịch lưu nối lưới.



Hình 4.7: Nguyên lý điều khiển tỉ lệ cộng hưởng (PR) trong nghịch lưu nối lưới

Sơ đồ nguyên lý hệ thống nghịch lưu sử dụng bộ điều khiển PR như hình 4.7 với dòng I_{d_ref} thay đổi theo hàm nấc từ 20 A (trong khoảng 0-0.2 s) xuống 10 A (trong khoảng 0.2-0.6 s) và I_{q_ref} là 0 A (trong khoảng 0-0.4 s) và 10 A (trong khoảng thời gian 0.4-0.6 s) để thể hiện khả năng điều khiển bù công suất phản kháng của hệ thống.

4.2.2 Phương pháp tối ưu bầy đàn

Kỹ thuật PSO được sử dụng rất đơn giản dựa trên công thức cập nhật vận tốc và vị trí như sau:

$$V_i^k = k_1 \cdot V_i^{k-1} + k_2 \cdot R_1 (P_{local_besti} - P_i^{k-1}) + k_3 \cdot R_2 (P_{global_best} - P_i^{k-1}) \quad (4.1)$$

$$P_i^k = P_i^{k-1} + k_4 \cdot V_i^k \quad (4.2)$$

Trong đó:

V_i^{k-1} là vận tốc của phần tử thứ i tại lần lặp thứ k-1

P_i^{k-1} là vị trí của phần tử thứ i tại lần lặp thứ k-1

K_1 là trọng số quán tính

K_2, K_3, K_4 là các hệ số gia tốc

R_1 và R_2 là các bán kính tìm kiếm

P_{local_besti} là giá trị tốt nhất của phần tử i

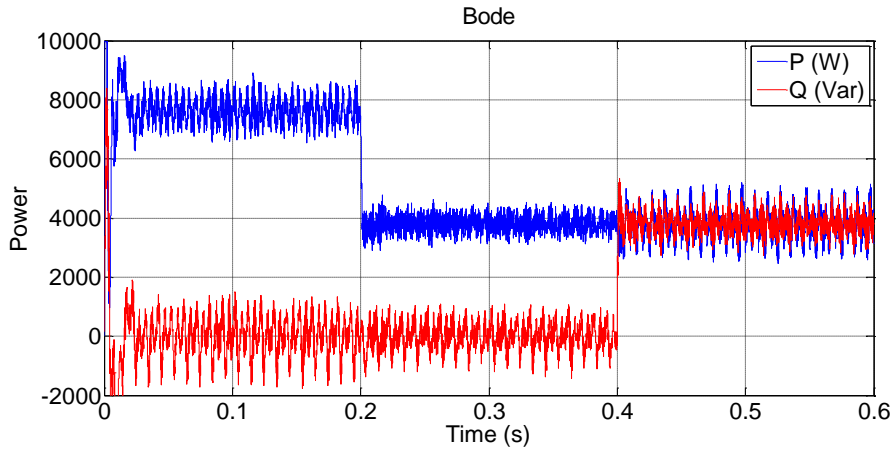
P_{global_best} là giá trị tốt nhất của cả nhóm phần tử

Lưu đồ và chương trình chi tiết của giải thuật PSO thực hiện trên MATLAB/Simulink cho kết quả tham số $K_p = 199.537$ và $K_i = 4794.3$ sau 25 vòng lặp.

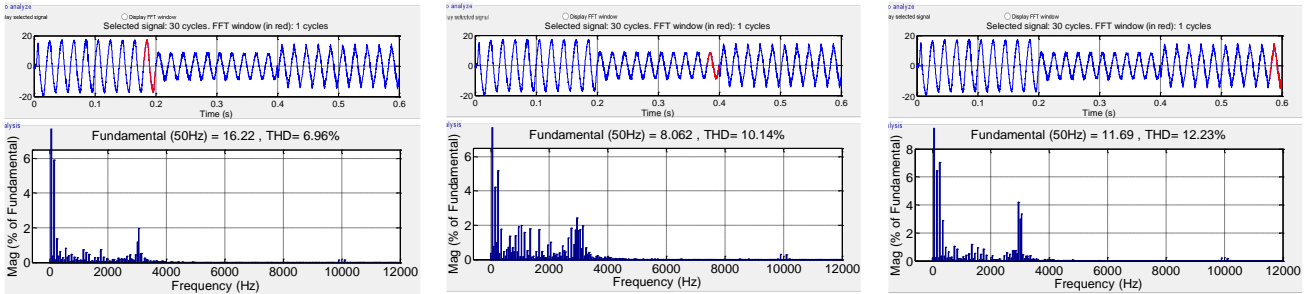
4.2.3 Kết quả khảo sát

4.2.3.1 Phương pháp dựa vào hàm truyền

(với $K_p=15$; $K_i=3000$)



Hình 4.8: Công suất phát vào lưới



(a)

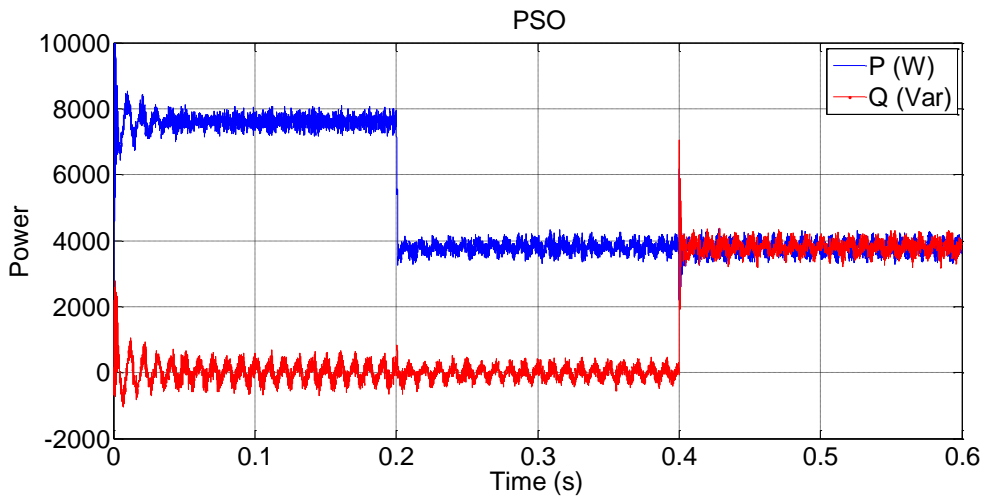
(b)

(c)

Hình 4.9: THD đo một chu kỳ tại các mức công suất khác nhau

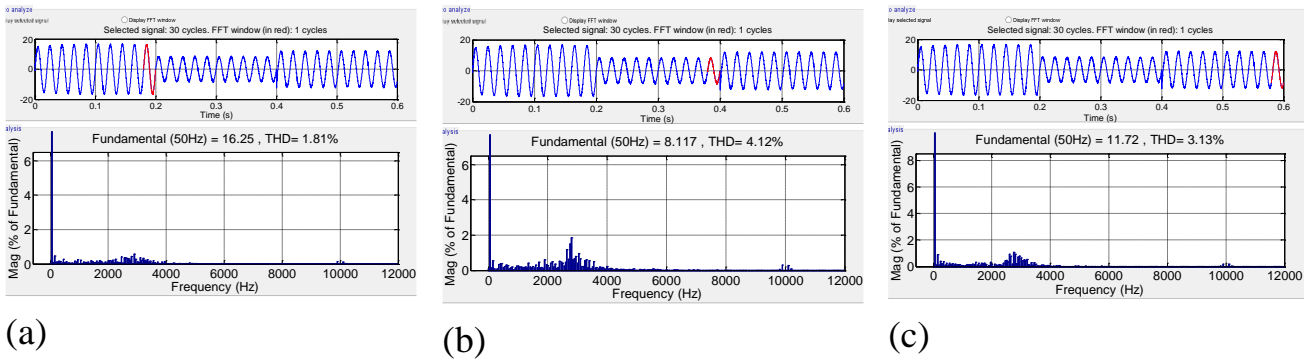
(a) THD đo từ 0.18 s; (b) THD đo từ 0.38 s; (c) THD đo từ 0.58 s

4.2.3.2 Phương pháp PSO đề xuất



Hình 4.10: Đáp ứng công suất của phương pháp PSO

Tóm tắt



Hình 4.11: THD của phương pháp PSO

(a) THD đo từ 0.18 s; (b) THD đo từ 0.38 s; (c) THD đo từ 0.58 s

Bảng 4.2: Kết quả sóng hài

	Hàm truyền	PSO đề xuất	P (W)	Q (Var)
K_p	15	199.537		
K_i	3000	4794.3		
ω_c	2 rad/s	2 rad/s		
THD (%)	6.96	1.81	7584	0
	10.14	4.12	3792	0
	12.23	3.13	3792	3792

4.2.4 Nhận xét

Kết quả mô phỏng được thể hiện trên hình 4.8 đến 4.11 và bảng 4.2. THD được đo tại chu kỳ cuối cùng của các khoảng thời gian khảo sát để đảm bảo dòng điện đã xác lập. Kết quả của phương pháp đề nghị ở hình 4.10 và 4.11 cho thấy sóng hài giảm đáng kể so với phương pháp dựa vào hàm truyền ở hình 4.8 và 4.9.

Điều đó chứng tỏ cặp nghiệm K_p và K_i của phương pháp dựa vào hàm truyền chưa phải là tốt nhất, do chúng không phải là nghiệm toàn cục. Bởi vì phương pháp này chỉ kiểm tra được tính ổn định chứ không thể kiểm tra khả năng giảm sóng hài. Trong khi đó, phương pháp đề xuất không đòi hỏi thời gian và công suất cũng như kinh nghiệm của người thiết kế. Đây chính là sự khác biệt và là ưu điểm của phương pháp đề xuất so với phương pháp dựa vào hàm truyền.

4.3 TÓM TẮT CHƯƠNG 4

Đối với việc ổn định điện áp nguồn DC

Tác giả đã đề xuất một phương pháp MPPT với số gia biến đổi để giảm độ nhấp nhô cho nguồn điện áp DC nhằm giảm sóng hài cho nghịch lưu nối lưới một giai đoạn nhưng vẫn đảm bảo đáp ứng động tốt. Mỗi khi có sự thay đổi công suất ngõ vào đủ lớn ($> P_o$), số gia được điều chỉnh lớn để tăng đáp ứng động. Khi đã xác lập tại điểm công suất cực

đại, số gia được chỉnh nhỏ lại để giảm độ nhấp nhô nguồn áp DC nhằm góp phần giảm sóng hài ngõ ra cho nghịch lưu nối lưới.

Cải tiến tham số bộ điều khiển

Chất lượng điện năng của hệ thống nghịch lưu nối lưới cũng phụ thuộc nhiều vào chất lượng của các bộ điều khiển. Do hàm truyền vòng kín của hệ thống nghịch lưu nối lưới có dạng vô định, việc lựa chọn bằng tay các tham số của bộ điều khiển dựa vào các phương pháp thông thường như phương pháp giản đồ Bode hay Nyquist cũng như tiêu chuẩn Routh thường đòi hỏi nhiều thời gian và công sức cũng như kinh nghiệm của người thiết kế, trong khi chưa chắc sẽ cho nghiệm toàn cục.

Tác giả đã đề xuất một phương pháp cải tiến để xác định tham số bộ điều khiển sử dụng giải thuật tối ưu bầy đàn PSO nhằm giảm sóng hài để góp phần nâng cao chất lượng điện năng của nghịch lưu nối lưới. Sự đơn giản của phương pháp đề xuất giúp tiết kiệm thời gian và công sức cũng như không đòi hỏi nhiều kinh nghiệm của người thiết kế trong việc xác định tham số bộ điều khiển. Phương pháp đề xuất cũng có thể mở rộng cho các ứng dụng khác như bộ điều khiển động cơ, bộ chỉnh lưu có điều khiển...

CHƯƠNG 5. KẾT LUẬN

5.1 KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC

Các nguồn năng lượng tái tạo sử dụng nghịch lưu bán dẫn công suất để nối lưới có đặc điểm phát sinh sóng hài đáng kể. Việc nghiên cứu giảm sóng hài trong nghịch lưu nối lưới sẽ góp phần làm giảm kích thước và chi phí chế tạo thiết bị đồng thời nâng cao chất lượng điện năng của hệ thống điện.

Dựa vào việc phân tích đặc điểm sóng hài của nghịch lưu nối lưới, tác giả đã nêu ra bốn nguyên nhân cơ bản ảnh hưởng đến sóng hài và đã đề xuất các giải pháp như sau:

Kỹ thuật điều chế

Tác giả đã đề xuất phương pháp điều chế với tần số chuyển mạch thay đổi dựa vào giải thuật di truyền mà không làm tăng tổn hao chuyển mạch so với phương pháp tần số chuyển mạch cố định. Sóng hài của phương pháp đề xuất giảm thấp đáng kể so với các phương pháp đã được công bố gần đây thông qua các kết quả mô phỏng và thí nghiệm. Phương pháp đề xuất cũng đã xem xét tổn hao chuyển mạch một cách định lượng. Tính hiệu quả của phương pháp đề xuất còn thể hiện ở khả năng khử hài lựa chọn và khả năng trải phổ nên giảm bộ lọc phụ và phù hợp cho các ứng dụng trong thông tin và quân sự do không còn nhiễu âm.

Ước lượng nhanh chóng và chính xác các tham số điện áp lưới

Luận án đã đề xuất một phương pháp xác định nhanh và chính xác các tham số điện áp lưới cơ bản sử dụng giải thuật Levenberg-Marquardt có hội tiếp để cập nhật tham số ban đầu của phép giải nhằm giảm số lần lặp và hội tụ nhanh đến kết quả. Không như các vòng khóa pha thông thường, phương pháp đề xuất không còn bộ dò pha, bộ lọc vòng cũng như bộ dao động điện áp. Các chỉ tiêu về đáp ứng động, sai số xác lập, độ vọt lố và

độ phức tạp tính toán cũng được xem xét một cách định lượng. Các kết quả mô phỏng và thí nghiệm của phương pháp đề xuất cũng đã được so sánh với các phương pháp đã được công bố gần đây như DSOGI và DSOGI-FLL đã khẳng định tính hiệu quả của phương pháp đề xuất. Khả năng đáp ứng nhanh và chính xác của phương pháp đề xuất giúp cho nghịch lưu nối lưới có thể sử dụng cảm biến điện áp có độ nhạy thấp với giá thành thấp nhằm tăng khả năng cạnh tranh cho thiết bị.

Ổn định điện áp DC

Luận án cũng đã đề xuất một phương pháp MPPT với số gia biến đổi để giảm độ nhấp nhô của điện áp DC nhằm giảm sóng hài cho nghịch lưu điện mặt trời nối lưới một giai đoạn nhưng vẫn đảm bảo đáp ứng động tốt. Khi có sự thay đổi công suất ngõ vào, số gia được điều chỉnh lớn để tăng đáp ứng động. Khi đã xác lập tại điểm công suất cực đại, số gia được chỉnh nhỏ lại để giảm độ nhấp nhô của nguồn áp DC nhằm góp phần giảm sóng hài ngõ ra của nghịch lưu nối lưới. Các kết quả mô phỏng của phương pháp MPPT đề xuất đã được so sánh với phương pháp số gia cố định đã khẳng định sự hiệu quả của phương pháp đề xuất.

Cải tiến tham số bộ điều khiển

Tác giả đã đề xuất phương pháp xác định tham số bộ điều khiển sử dụng giải thuật tối ưu bầy đàn PSO nhằm giảm sóng hài để góp phần nâng cao chất lượng điện năng của nghịch lưu nối lưới.

Các phương pháp đề xuất cũng có thể mở rộng áp dụng cho các bộ điều khiển trong các lĩnh vực khác như bộ nguồn dự phòng UPS, bộ lọc công suất tích cực APF, thiết bị bù D-STATCOM, bộ ổn định điện áp động DVR, bộ chỉnh lưu có điều khiển, bộ điều khiển động cơ...

Các giải pháp đề xuất nêu trong luận án đều đã được công bố bằng các bài báo khoa học trên các tạp chí và hội nghị có uy tín trong nước và quốc tế.

Các kết quả mô phỏng và thí nghiệm của các giải pháp đề xuất có độ tin cậy cao.

Ngoài ra, để kiểm tra khả năng ứng dụng, tác giả cũng đã thực hiện khảo sát ở phần phụ lục của luận án đối với các phương pháp đề xuất trong cùng một hệ thống nghịch lưu nối lưới 3 pha để khẳng định tính hiệu quả trong việc giảm sóng hài của nghịch lưu.

5.2 HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Để hệ thống nghịch lưu nối lưới có thể được ứng dụng hiệu quả và tăng khả năng chế tạo cũng như chuyển giao công nghệ, đề tài cần được nghiên cứu thêm các phần sau:

- + Ước lượng tổng trở hệ thống để tăng khả năng điều khiển dò cô lập trong vận hành bình thường cũng như khi có sự cố.
- + Phối hợp điều khiển tần số nguồn điện trong hệ thống micro-grid.
- + Điều khiển công suất phối hợp để hệ thống nghịch lưu nối lưới có khả năng vận hành như một thiết bị D-STATCOM.
- + Mở rộng ứng dụng cho bộ lọc tích cực, nguồn dự phòng, bộ ổn định điện áp động...
- + Nghiên cứu mở rộng ứng dụng nhiều bộ nghịch lưu hoạt động song song, mở rộng cho các bộ nghịch lưu đa bậc công suất lớn.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ LIÊN QUAN

- I. **Quang-Tho Tran**, Anh Viet Truong, anh Phuong Minh Le, “Reduction of harmonics in grid-connected inverters using variable switching frequency,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol 82, Nov 2016, pp. 242–251.
- II. **Tran Quang Tho**, Truong Viet Anh, and Le Minh Phuong, “Optimal Modulation to Reduce Harmonics in Inverters,” in *Proc. IEEE ATC*, 2015, pp. 561-566.
- III. **Trần Quang Thọ**, Trương Việt Anh, Lê Minh Phương, “Sử dụng giải thuật di truyền để giảm sóng hài cho nghịch lưu nối lưới,” *Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật*, HCMUTE, Số 35B, 2016.
- IV. **Tran Quang Tho**, Truong Viet Anh, and Le Minh Phuong, “PWM technique with variable carrier wave frequency to reduce switching loss in grid-connected PV inverter,” *Proc*, 2nd GTSD, 2014, pp. 404-411.
- V. **Tran Quang Tho**, Le Thanh Lam, and Truong Viet Anh, “Reduction of switching loss in grid-connected inverters using a variable switching cycle,” *International journal of Electrical Engineering & Technology (IJEET)*, vol. 6, no. 8, 2015, pp. 63-76.
- VI. **Tran Quang Tho**, Pham Huu Ly, Truong Viet Anh, and Le Minh Phuong, “A Synchronization Method for Three-Phase Grid-Connected Inverters Using Levenberg-Marquardt Technique,” *Lecture Notes in Electrical Engineering 371, Springer AETA* 2015, pp. 249-260.
- VII. **Tran Quang Tho**, Truong Viet Anh, and Le Minh Phuong, “Estimation of Voltage Parameters for Grid-connected Inverters,” in *Proc. IEEE ATC*, 2015, pp. 610-615.
- VIII. **Tran Quang Tho**, Truong Viet Anh, and Le Minh Phuong, “A Robust Technique for Phase-Locked Loop of Grid-connected Inverters,” in *Proc. ISEE* 2015, pp. 498-506.
- IX. **Trần Quang Thọ**, Trương Việt Anh, Trảo Văn Hoan, Lê Minh Phương, “Bù điện áp offset trong các vòng khóa pha của nghịch lưu nối lưới,” *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ-VNU-HCM*, vol. 18, no. K5, 2015, pp. 5-15.
- X. **Tran Quang Tho** and Truong Viet Anh, “MPPT voltage regulating in three-phase grid connected Photovoltaic system,” *Science & Technology Development-VNU-HCM*, vol. 15, no. K2, 2012, pp. 50-61.
- XI. **Tran Quang Tho** and Truong Viet Anh, “Three-phase grid-connected inverter using current regulator,” *International journal of Electrical Engineering & Technology (IJEET)*, vol. 4, no. 2, pp. 293-304, 2013.
- XII. **Tran Quang Tho** and Truong Viet Anh, “Optimization Of Current Controller for Grid-Connected Inverters Using A PSO Algorithm,” *Journal of Technical Education Science*, HCMC-UTE, vol. 40, Jan 2017.

CÁC BÀI BÁO KHÁC

- 1 T. T. Chuong, T. V. Anh, **T. Quang-Tho**, and T. Deveikis, “Research of the Voltage Stability of Distribution Network Connected Induction Machines,” *Elektronika Ir Elektrotechnika*, vol. 21, no. 1, 2015. pp. 42-47.
- 2 **Tran Quang Tho**, Truong Viet Anh, and Le Minh Phuong, “PWM technique with variable carrier wave frequency to reduce switching loss in grid-connected PV inverter,” *Journal of Technical Education Science-HCM UTE*, vol. 29, 2014, pp. 31-38.
- 3 **Trần Quang Thọ**, “Điều chỉnh tham số khâu PI trong hệ thống nghịch lưu pin mặt trời nối lưới ba pha,” *Tạp chí Khoa học & Công nghệ - ĐH. Công Nghiệp Hà Nội*, Số 13, 2012. pp. 16-19.

CÁC ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU KHOA HỌC LIÊN QUAN

Các đề tài nghiên cứu khoa học đã và đang tham gia				
TT	Tên đề tài nghiên cứu	Năm bắt đầu/Năm hoàn thành	Đề tài cấp (NN, Bộ, ngành, trường)	Trách nhiệm tham gia trong đề tài
1.	Điều chỉnh điện áp MPPT trong hệ thống điện mặt trời nối lưới 3 pha	2013	Cấp trường trọng điểm T2013-06TĐ	Chủ nhiệm đề tài
2.	Xây dựng giải thuật bộ điều khiển dòng bằng phương pháp tối ưu bầy đàn (PSO)	2014	Cấp trường trọng điểm T2014-05TĐ	Chủ nhiệm đề tài
3.	Giảm tổn hao chuyển mạch trong nghịch lưu nối lưới sử dụng sóng mang biến đổi	2015	Cấp trường trọng điểm T2015-35TĐ	Chủ nhiệm đề tài
4.	Điều chế nghịch lưu nối lưới sử dụng giải thuật di truyền	2016	Cấp trường trọng điểm T2016-49TĐ	Chủ nhiệm đề tài
5.	Đồng bộ nghịch lưu nối lưới sử dụng giải thuật Levenberg-Marquardt	2017 (đang thực hiện)	Cấp trường trọng điểm T2017- 27TĐ	Chủ nhiệm đề tài