

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

PHẠM THỊ THÚY HÀ

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG BỘ LỌC TÍCH CỰC
ĐỂ LỌC SÓNG HÀI TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT
Chuyên ngành: Kỹ thuật điện**

Thái Nguyên – 2022

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

PHẠM THỊ THÚY HÀ

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG BỘ LỌC TÍCH CỰC
ĐỂ LỌC SÓNG HÀI TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI**

Chuyên ngành: Kỹ thuật điện

Mã số: 852.02.01

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT ĐIỆN

Người hướng dẫn khoa học:

PGS.TS. Lại Khắc Lãi

Thái Nguyên - 2022

Contents

LỜI CAM ĐOANiv

LỜI CẢM ƠN.....v

Ý NGHĨA CÁC TỪ TIẾNG ANH VÀ CÁC CHỮ VIẾT TẮTvi

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....vii

DANH MỤC CÁC BẢNG.....ix

MỞ ĐẦU10

 1. Tính cấp thiết10

 2. Mục tiêu, nội dung nghiên cứu10

 3. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn10

 4. Đối tượng nghiên cứu11

 5. Phương pháp luận.....11

 6. Bố cục luận văn11

CHƯƠNG 112

TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU12

 1.1. CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG.....12

 1.1.1. Khái niệm12

 1.1.2. Các chỉ tiêu chất lượng điện năng ở Việt Nam [18].....13

 1.2. SÓNG HÀI VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA NÓ TRONG LƯỚI ĐIỆN.....16

 1.2.1. Khái niệm về sóng hài [4, 5]16

 1.2.2. Ảnh hưởng của sóng điều hòa bậc cao [17, 18]18

 1.3. CÁC NGUYÊN NHÂN GÂY RA SÓNG HÀI TRONG LƯỚI ĐIỆN.....20

 1.3.1. Máy phát điện và máy biến áp20

 1.3.2. Động cơ điện20

 1.3.3. Thiết bị điện tử công suất [3]20

 1.3.4. Các thiết bị hồ quang.22

 1.4. KẾT LUẬN CHƯƠNG 122

CHƯƠNG 223

CÁC GIẢI PHÁP HẠN CHẾ SÓNG HÀI TRONG LƯỚI ĐIỆN	23
2.1. NGUYÊN TẮC CHUNG	23
2.2. CUỘN KHÁNG CHẶN VÀ CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG CÁC BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT	23
2.2.1. Sử dụng cuộn kháng chặn.....	23
2.2.2. Cải thiện chất lượng các bộ biến đổi điện tử công suất [3, 7].....	23
2.3. CÁC BỘ LỌC THỤ ĐỘNG.....	24
2.2.1. Bộ lọc RC	24
2.2.2. Bộ lọc LC	25
2.2.3. Khảo sát hiệu năng của lọc thụ động đối với lưới điện có tải phi tuyến .	26
2.4. LỌC TÍCH CỰC.....	29
2.4.1. Định nghĩa [13, 15, 16,].....	29
2.4.2. Phân loại mạch lọc tích cực.....	29
2.4.3. Tính năng của lọc tích cực.....	36
2.5. BỘ LỌC HỖN HỢP	37
2.6. KẾT LUẬN CHƯƠNG 2	38
CHƯƠNG 3	40
ỨNG DỤNG BỘ LỌC TÍCH CỰC ĐỂ LỌC SÓNG HÀI TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI.....	40
3.1. LƯỚI PHÂN PHỐI VỚI BỘ LỌC TÍCH CỰC	40
3.1.1. Sơ đồ khối của lọc tích cực trong lưới phân phối.....	40
3.1.2. Sơ đồ mạch lực của lọc tích cực	41
3.2. ĐIỀU KHIỂN BỘ LỌC TÍCH CỰC.....	42
3.2.1. Nguyên tắc điều khiển [8, 9, 10]	42
a) Điều khiển vòng hở.....	42
b) Điều khiển vòng kín	43
3.2.2. Phương pháp điều khiển trong miền tần số	44
3.2.3. Phương pháp điều khiển trong miền thời gian.....	45
3.3. Các phương pháp xác định dòng điện bù.....	45

3.3.1. Xác định dòng điện bù dựa trên hệ qui chiếu dq	45
a) Biến đổi hệ thống ba pha sang 2 pha	45
b) Phương pháp xác định toàn bộ dòng bù	48
c) Phương pháp xác định từng thành phần sóng điều hòa cần bù	49
3.3.2. Xác định dòng bù dựa trên lý thuyết công suất tức thời p, q	50
a) Lý thuyết công suất tức thời [6, 14]	50
b) Nguyên tắc xác định dòng bù dựa trên công suất tức thời	53
3.4. XUNG ĐIỀU KHIỂN BỘ NGHỊCH LƯU TRONG AF	56
3.4.1. Điều chế độ rộng xung dựa trên sóng mang (CB-PWM)	57
3.4.2. Điều chế véc tơ không gian (SVM)	58
3.4.3. Điều chế độ rộng xung dựa trên băng trễ	59
a) Sơ đồ nguyên lý điều khiển	59
b) Phương pháp điều khiển	61
3.5. MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG CỦA AF TRONG LƯỚI ĐIỆN HẠ ÁP	63
3.5.1. Lưới điện với tải phi tuyến khi không có lọc	63
3.5.2. Cấu trúc và thông số bộ lọc tích cực	65
3.5.3. Kết quả mô phỏng	66
3.6. KẾT LUẬN CHƯƠNG 3	67
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	69
1. Kết luận	69
2. Kiến nghị:.....	69
TÀI LIỆU THAM KHẢO	70

LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là: Phạm Thị Thúy Hà

Sinh ngày: 23/02/1984

Học viên lớp cao học khóa 22 - Kỹ thuật điện - Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên.

Hiện đang công tác tại: Trường Cao đẳng nghề Công nghiệp Thanh Hóa

Tôi xin cam đoan: Bản luận văn: “**Nghiên cứu ứng dụng bộ lọc tích cực để lọc sóng hài trong lưới điện phân phối**” do PGS.TS Lại Khắc Lãi hướng dẫn là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Tất cả các tài liệu tham khảo đều có nguồn gốc, xuất xứ rõ ràng. Các số liệu, kết quả trong luận văn là hoàn toàn trung thực và chưa từng ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác. Nếu sai tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm.

Thái Nguyên, Ngày 12 tháng 5 năm 2022

Tác giả luận văn

Phạm Thị Thúy Hà

LỜI CẢM ƠN

Sau một thời gian nghiên cứu, được sự động viên, giúp đỡ và hướng dẫn tận tình của thầy giáo PGS.TS Lại Khắc Lãi, luận văn với đề tài “**Nghiên cứu ứng dụng bộ lọc tích cực để lọc sóng hài trong lưới điện phân phối**” đã hoàn thành. Tác giả xin bày tỏ lòng cảm ơn sâu sắc đến:

Thầy giáo hướng dẫn PSG. TS Lại Khắc Lãi đã tận tình chỉ dẫn, giúp đỡ tác giả hoàn thành luận văn này.

Phòng quản lý đào tạo sau đại học, các thầy giáo, cô giáo Khoa Điện trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên đã giúp đỡ tác giả trong suốt quá trình học tập cũng như trong quá trình nghiên cứu đề tài.

Toàn thể các đồng nghiệp, bạn bè, gia đình và người thân đã quan tâm, động viên, giúp đỡ tác giả trong suốt quá trình học tập và hoàn thành luận văn.

Thái Nguyên, Ngày 12 tháng 5 năm 2022

Tác giả luận văn

Phạm Thị Thúy Hà

Ý NGHĨA CÁC TỪ TIẾNG ANH VÀ CÁC CHỮ VIẾT TẮT

AF - Active Filter	Lọc tích cực
AFS - Active Filter Series	Lọc tích cực kiểu nối tiếp
CSI - Current Source Inverter	Nghịch lưu nguồn dòng
DFT - Discrete Fourier Transform	Biến đổi Furier rời rạc
FACT - Flexible AC Transmission	Truyền AC linh hoạt
FFT - Fast Fourier Transform	Biến đổi Furier nhanh
PLL - Phase Locked Loop	Vòng lặp khóa pha
SSSC - Static Synchronous Series Controllers	Bộ điều khiển nối tiếp đồng bộ tĩnh
STATCOM - Static Synchronous Compensator	Bù đồng bộ tĩnh
SVC - Static Var Compensation	Bù công suất phản kháng
TCSC - Thyristor Controlled Series Compensation	Bù nối tiếp dùng bộ điều khiển thyristor
UPQC - Unified Power Quality Controller	Bộ điều khiển chất lượng công suất
VSI - Voltage Source Inverter	Nghịch lưu nguồn áp
THD - Total Hamonics Distotition	Méo dạng sóng hài tổng

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình 1. 1. Dạng sóng sin và dạng sóng điều hòa	16
Hình 1. 2. Sơ đồ mạch lọc chỉnh lưu cầu 3 pha không điều khiển	21
Hình 1. 3. Dòng điện lưới gây ra bởi chỉnh lưu cầu 3 pha không điều khiển.....	21
Hình 1. 4. Phổ dòng điện của chỉnh lưu cầu 3 pha không điều khiển.....	22
Hình 2. 1. Bộ lọc RC	25
Hình 2. 2. Bộ lọc LC	26
Hình 2. 3. Mạch chỉnh lưu 12 xung không có bộ lọc Kết quả phân tích	26
Hình 2. 4. dạng sóng điện áp và dòng điện trên đường dây	27
Hình 2. 5. Phổ Fourier điện áp và dòng điện trên đường dây	27
Hình 2. 6. Bộ lọc thụ động	28
Hình 2. 7. Phổ điện áp khi sử dụng bộ lọc thụ động.....	28
Hình 2. 8. Cấu trúc mạch lọc tích cực VSI	29
Hình 2. 9. Cấu trúc mạch lọc tích cực CSI.....	30
Hình 2. 10. Cấu hình bộ lọc tích cực song song (AF).....	30
Hình 2. 11. Sơ đồ nguyên lý bộ lọc song song AF	31
Hình 2. 12. Cấu hình bộ lọc tích cực nối tiếp (AFs)	33
Hình 2. 13. Sơ đồ nguyên lý bộ lọc nối tiếp AFS	33
Hình 2. 14. Mạch lọc tích cực 3 dây	34
Hình 2. 15. Mạch lọc tích cực 4 dây có điểm giữa	35
Hình 2. 16: Mạch lọc tích cực 4 dây	35
Hình 2. 17. Kết hợp bộ lọc thụ động với bộ lọc tích cực nối tiếp.....	38
Hình 2. 18. Kết hợp bộ lọc thụ động với bộ lọc tích cực song song.....	38
Hình 2. 19: Kết hợp bộ lọc thụ động với bộ lọc tích cực nối tiếp – song song	39
Hình 3. 1. Sơ đồ khối bộ lọc tích cực trong lưới điện.....	40
Hình 3. 2. Sơ đồ nguyên lý mạch lọc của lọc tích cực.....	41

Hình 3. 3. Sơ đồ thay thế 1 pha bộ lọc tích cực	41
Hình 3. 4. Đồ thị véc tơ dòng điện và điện áp	42
Hình 3. 5. Cấu trúc điều khiển vòng hở mạch lọc tích cực	43
Hình 3. 6. Điều khiển vòng kín	43
Hình 3. 7. Chuyển đổi từ hệ tọa độ abc sang hệ tọa độ $\alpha\beta$	47
Hình 3. 8. Chuyển đổi từ hệ qui chiếu $\alpha\beta$ sang hệ qui chiếu dq	48
Hình 3. 9. Minh họa phương pháp xác định dòng bù dq	49
Hình 3. 10. Minh họa thuật toán lựa chọn sóng điều hòa cần bù trong hệ dq	50
Hình 3. 11. dòng, áp công suất tức thời mạch 3 pha 4 dây	51
Hình 3. 12. Mô hình bộ lọc tích cực theo lý thuyết công suất tức thời.....	53
Hình 3. 13. Minh họa thuật toán chọn dòng điện bù theo lý thuyết p, q.....	55
Hình 3. 14. Điều chế độ rộng xung dựa trên sóng mang hình sin.....	57
Hình 3. 15. Biểu diễn véc tơ không gian của điện áp ra	58
Hình 3. 16. Nguyên lý điều khiển PWM cho AF	60
Hình 3. 17. Nguyên lý điều khiển băng trễ	61
Hình 3. 18. Điều khiển phát xung pha A của AF	62
Hình 3. 19. Nguyên tắc tạo xung điều khiển pha A	62
Hình 3. 20. Sơ đồ mô phỏng lưới điện khi không có lọc	64
Hình 3. 21. Dạng sóng điện áp pha và dòng điện trên đường dây	64
Hình 3. 22. Kết quả phân tích phổ sóng.....	64
Hình 3. 23. Sơ đồ mô phỏng lọc tích cực.....	66
Hình 3. 24. Dạng sóng điện lưới và dòng điện tải	66
Hình 3. 25. Phân tích phổ dòng điện lưới khi có AF	67
Hình 3. 26: Đáp ứng điện áp một chiều trên tụ điện.....	67

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1.1: tiêu chuẩn IEE 519-1992 về hệ số méo dạng dòng điện	14
Bảng 1.2: Sóng hài điện áp	14
Bảng 1.3: Mức nhấp nháy điện áp	15
Bảng 1.4: Dòng điện ngắn mạch.....	15
Bảng 1.5: Chế độ nối đất.....	15

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Với sự phát triển không ngừng khoa học và công nghệ, ngày càng có nhiều thiết bị điện tử công suất tham gia vào lưới điện như các bộ biến đổi trong hệ thống điện mặt trời, điện gió, các bộ biến đổi trong các máy công cụ, bể mạ, ... Do bản chất phi tuyến của bộ biến đổi làm xuất hiện nhiều thành phần sóng điều hòa bậc cao. Các thành phần sóng điều hòa bậc cao này gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến các chỉ tiêu chất lượng của lưới điện như tăng tổn hao, làm giảm hệ số công suất, giảm tuổi thọ của các thiết bị dùng điện, tăng chi phí sản xuất... Vì vậy việc nghiên cứu các giải pháp khử sóng hài, giảm thiểu ảnh hưởng của các bộ biến đổi điện tử công suất góp phần nâng cao chất lượng điện năng là vấn đề cấp bách đặt ra cho các nhà chuyên môn khi vận hành lưới điện.

Hiện nay có rất nhiều giải pháp khác nhau để bù công suất phản kháng, nâng cao hệ số công suất lưới điện. Những cơ sở trên đây là lý do chọn đề tài Thạc sĩ ngành Kỹ thuật điện, đề tài này có tên gọi là “**Nghiên cứu ứng dụng bộ lọc tích cực để lọc sóng hài trong lưới điện phân phối**”. Đề tài tập trung nghiên cứu ứng dụng điện tử công suất để giảm thiểu ảnh hưởng của sóng hài đến chất lượng điện năng của lưới phân phối.

2. Mục tiêu, nội dung nghiên cứu

+ *Mục tiêu*: Nghiên cứu đề xuất giải pháp nâng cao hệ số công suất thiết bị dùng điện dựa trên biến đổi điện tử công suất.

+ *Nội dung nghiên cứu*:

- 1) Nghiên cứu tổng quan về sóng điều hòa bậc cao trong lưới điện
- 2) Ảnh hưởng của sóng hài đến chất lượng điện năng
- 3) Xây dựng bộ lọc tích cực kiểu song song cho hệ thống điện có tải phi tuyến

3. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

+ Luận văn góp phần nâng cao chất lượng lọc sóng hài của các bộ lọc tích cực, giảm tác hại sóng hài trên lưới điện, tăng tuổi thọ cho các thiết bị, tăng độ chính xác cho các thiết bị đo lường.

Kết quả nghiên cứu của luận văn sẽ góp phần tăng nguồn tư liệu phục vụ cho công tác học tập và giảng dạy tại cơ quan nơi học viên công tác.

4. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là lọc sóng hài bậc cao trong hệ thống điện 3 pha với tải phi tuyến.

5. Phương pháp luận

+ *Nghiên cứu lý thuyết*: Phân tích đánh giá và hệ thống hóa các công trình nghiên cứu được công bố thuộc lĩnh vực liên quan: bài báo, tạp chí, sách chuyên ngành, ... từ đó đề xuất giải pháp cho bài toán cụ thể của đề tài.

+ *Mô hình hóa và mô phỏng*: để kiểm chứng kết quả nghiên cứu lý thuyết

6. Bố cục luận văn

Luận văn thực hiện theo bố cục nội dung như sau:

- **Mở đầu**
- **Chương 1: Tổng quan vấn đề nghiên cứu** đề cập tổng quan một số kiến thức cơ sở được sử dụng trong luận văn như các chỉ tiêu chất lượng điện năng; sóng hài và ảnh hưởng của chúng đến chất lượng điện năng; phép chuyển đổi hệ trục tọa độ; lý thuyết công suất tức thời; các phương pháp tạo tín hiệu điều khiển hoạt động của bộ biến đổi một chiều sang xoay chiều.
- **Chương 2: Các giải pháp hạn chế sóng hài trong lưới điện** trình bày nguyên tắc lọc sóng hài trong lưới điện; cấu trúc của các bộ lọc thụ động, lọc tích cực, sơ đồ và các tính năng cũng như ưu, nhược điểm của từng loại lọc sóng hài.
- **Chương 3: Ứng dụng bộ lọc tích cực để lọc sóng hài trong lưới điện** trình bày cấu trúc bộ lọc tích cực sử dụng IGBT; đề xuất các phương pháp điều khiển bộ lọc tích cực theo vòng hở, vòng kín trong miền thời gian và miền tần số; đồng thời mô hình hóa, mô phỏng một bộ lọc tích cực cho hệ thống điện với các thông số cụ thể.
- **Kết luận và kiến nghị**
- **Tài liệu tham khảo**
- **Phụ lục**

CHƯƠNG 1**TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU****1.1. CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG****1.1.1. Khái niệm**

Chất lượng điện năng là tất cả các thông số của điện áp, dòng điện mà có thể gây ảnh hưởng đến hoạt động bình thường của lưới điện và các thiết bị sử dụng điện. Chất lượng điện năng bao gồm tần số, giá trị điện áp, dạng sóng, và độ cân pha (đối với hệ thống 3 pha).

- Tần số là thông số mang tính hệ thống hầu như được giữ ổn định theo qui định của mỗi quốc gia.

- Dạng sóng là một chỉ tiêu chất lượng quan trọng của điện áp. Thực tế trong lưới điện, sóng điện áp bao gồm thành phần sóng cơ bản và các thành phần sóng hài không mong muốn. Trước đây thành phần sóng hài ít được chú ý đến vì yêu cầu chất lượng điện chưa cao, mặt khác các thiết bị gây ra sóng hài còn ít. Hiện nay, chất lượng điện yêu cầu cao hơn, các thiết bị điện tử công suất lớn sử dụng nhiều, dẫn đến tăng tỷ lệ sóng hài điều hòa so với sóng cơ bản. Để đánh giá độ lớn của sóng hài người ta sử dụng thông số THD (Total Harmonic Distortion - gọi là hệ số méo dạng) được tính theo công thức:

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} X_n^2}}{X_1}$$

Các thiết bị sử dụng điện hoạt động tốt nhất nếu chất lượng điện đảm bảo. Tần số là thông số của hệ thống, ở mọi điểm là như nhau và được giữ ổn định. Điện áp là thông số có tính cục bộ, điện áp bị sụt giảm trên đường dây và các phần tử của lưới điện dẫn đến các phụ tải điện làm việc không bình thường. Ở các vị trí điện áp không đảm bảo yêu cầu đó là do thiếu công suất phản kháng Q. Vì vậy, để đảm bảo điện áp tại các điểm như trên thì phải bù công suất phản kháng.

Sóng hài điều hòa sinh ra do trên lưới điện tồn tại các phân tử phi tuyến, gây ra các bất lợi như: gây méo tín hiệu sin của lưới điện, làm giảm hệ số công suất, tăng tổn thất, giảm độ tin cậy cung cấp điện, làm giảm chất lượng điện năng. Nên việc lọc bỏ các thành phần sóng hài được giải quyết.

*** Những ảnh hưởng của chất lượng điện**

- Chất lượng điện áp ngày càng ảnh hưởng lớn đến các thiết bị hiện đại với độ nhạy cảm cao.

- Chất lượng điện năng là mối quan tâm hàng đầu trong các ngành sản xuất, chất lượng điện năng thấp có thể gây sụt áp, làm hỏng các thiết bị bán dẫn.

- Các công ty điện lực ngày càng quan tâm, đảm bảo **chất lượng điện năng** tốt nhất khi đến người sử dụng, do nhu cầu được cung cấp điện năng có chất lượng tốt nhất của khách hàng.

- Chất lượng điện cũng là nguyên nhân trực tiếp ảnh hưởng đến quá trình hoạt động của thiết bị cũng như tuổi thọ của nó.

- Xã hội ngày càng quan tâm tới chất lượng điện. Nhà nước cũng đã ban hành thông tư về tiêu chuẩn đánh giá **chất lượng điện năng**.

1.1.2. Các chỉ tiêu chất lượng điện năng ở Việt Nam [18]

Ngày 18/11/2015 Bộ Công Thương đã ký và ban hành văn bản thông tư 39, thay cho thông tư 32 về tiêu chuẩn đánh giá **chất lượng điện năng** ở Việt Nam. Thông tư này có một số chi tiết như sau:

a) Về tần số

Tần số tiêu chuẩn của hệ thống mạng lưới điện Việt Nam là 50Hz

- Trong điều kiện bình thường, dải dao động tần số cho phép là $\pm 2\%$ so với tần số tiêu chuẩn.
- Trong điều kiện hệ thống chưa ổn định, dải dao động tần số cho phép là $\pm 5\%$ so với tần số tiêu chuẩn.

b) Độ méo hài THD theo tiêu chuẩn IEE 519-1992 (Bảng 1.1 và 1.2)

Bảng 1.1. Tiêu chuẩn IEE 519-1992 về hệ số méo dạng dòng điện

Cấp điện áp	Sóng hài riêng lẻ (%)	Tổng độ biến dạng sóng hài THD _v (%)	Tỉ lệ I _{sc} /I _L (I _{sc} : dòng NM I _L : dòng tải)	Tổng biên độ sóng hài dòng điện THD _I (%)		
				< 69kV	69 < 161kV	> 161kV
			< 20	5.0	2.5	2.5
20 < 50	8.0	4.0	2.5			
≤ 69kV	3.0	5.0	50 < 100	12.0	6.0	3.75
69kV-161kV	1.5	2.5	100 < 1000	15.0	7.5	3.75
> 161kV	1.0	1.5	> 1000	20.0	10.0	3.75

Bảng 1.2. Sóng hài điện áp

Cấp điện áp	Tổng biến dạng sóng hài	Biến dạng riêng lẻ
110 kV	3,0 %	1,5 %
Trung và hạ áp	6,5 %	3,0 %

c) Điện áp

- Các cấp điện áp tiêu chuẩn bao gồm: 110 kV, 35 kV, 22 kV, 15 kV, 10 kV, 0,6 kV và 0,4 kV.

- Trong điều kiện bình thường, phạm vi điện áp dao động so với điện áp tiêu chuẩn là:

- + Với khách hàng: ± 05 %
- + Với nhà máy điện: + 10% và - 05 %

+ Trường hợp nhà máy điện và khách sử dụng điện đấu nối vào cùng một thanh cái trên lưới điện phân phối thì điện áp tại điểm đấu nối do đơn vị phân phối điện quản lý vận hành lưới điện khu vực quyết định đảm bảo phù hợp với yêu cầu kỹ thuật vận hành lưới điện phân phối và đảm bảo chất lượng điện áp cho khách hàng sử dụng điện.

Hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Lại Khắc Lãi

- Trong trường hợp sự cố nhẹ, dao động điện áp cho phép trong khoảng +5% và – 10% so với điện áp tiêu chuẩn.

- Trong trường hợp sự cố nghiêm trọng, cho phép mức dao động điện áp trong khoảng $\pm 10\%$ so với điện áp tiêu chuẩn.

- Trong trường hợp khách hàng sử dụng lưới điện phân phối muốn điện áp cao hơn có thể trao đổi với các đơn vị phân phối điện.

d) Cân bằng pha

Trong chế độ làm việc bình thường, thành phần thứ tự nghịch của điện áp pha không vượt quá 3% điện áp tiêu chuẩn đối với cấp điện áp 110 kV hoặc 05% điện áp tiêu chuẩn đối với cấp điện áp trung áp và hạ áp.

e) Nhấp nháy điện áp (Bảng 1.3)

Bảng 1.3. Mức nhấp nháy điện áp

Cấp điện áp	Mức nhấp nháy cho phép
110 kV	$P_{st95\%} = 0,80$
	$P_{lt95\%} = 0,60$
Trung áp	$P_{st95\%} = 1,00$
	$P_{lt95\%} = 0,80$
Hạ áp	$P_{st95\%} = 1,00$
	$P_{lt95\%} = 0,80$

f) Dòng ngắn mạch (Bảng 1.4)

Bảng 1.4. Dòng điện ngắn mạch

Điện áp	Dòng ngắn mạch lớn nhất (kA)	Thời gian tối đa loại trừ sự cố của bảo vệ chính (ms)	Thời gian chịu đựng tối thiểu của thiết bị (s)	
			Áp dụng tới ngày	Áp dụng từ ngày
			31/12/2017	01/01/2018
Trung áp	25	500	03	01
110kV	31,5	150	03	01

g) Chế độ nối đất (Bảng 1.5)

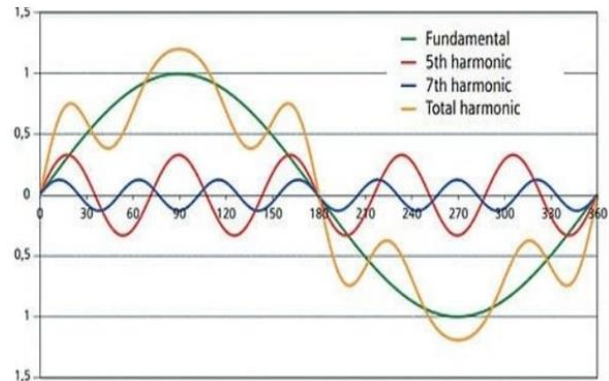
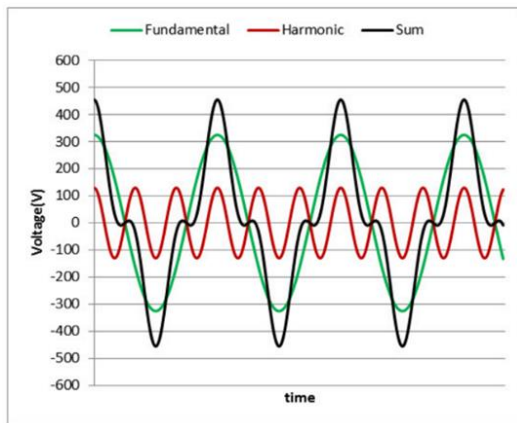
Bảng 1.5. Chế độ nối đất

Cấp điện áp	Điểm trung tính
110 kV	Nối đất trực tiếp
35 kV	Trung tính cách ly hoặc nối đất qua trở kháng
15 kV, 22 kV	Nối đất trực tiếp (03 pha 03 dây) hoặc nối đất lặp lại (03 pha 04 dây)
06 kV, 10 kV	Trung tính cách ly
Dưới 1000 V	Nối đất trực tiếp (nối đất trung tính, nối đất lặp lại, nối đất trung tính kết hợp)

1.2. SÓNG HÀI VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA NÓ TRONG LƯỚI ĐIỆN

1.2.1. Khái niệm về sóng hài [4, 5]

Sóng điều hòa hay sóng hài có thể coi là tổng của các dạng sóng sin mà tần số của nó là bội số nguyên của tần số cơ bản (Hình 1.1).



Hình 1.1. Dạng sóng sin và dạng sóng điều hòa

Ở chế độ vận hành đối xứng các sóng điều hòa bậc cao có thể chia thành các thành phần thứ tự thuận, nghịch, không:

- Thành phần thứ tự thuận: các sóng điều hòa bậc 4, 7, 11...
- Thành phần thứ tự nghịch: các sóng điều hòa bậc 2, 5, 8...
- Thành phần thứ tự không: các sóng điều hòa bậc 3, 6, 9...

Khi vận hành không đối xứng thì mỗi sóng điều hòa có thể bao gồm một trong ba thành phần thứ tự nói trên.

Sóng điều hòa bậc cao ảnh hưởng trực tiếp tới chất lượng lưới điện và phải chú ý khi tổng sóng điều hòa dòng điện bậc cao hơn mức độ cho phép. Sóng điều hòa dòng điện bậc cao là dòng điện có tần số bằng bội số nguyên lần tần số cơ bản. Ví dụ dòng 150(Hz) trên lưới 50(Hz) là dòng điều hòa bậc 3, dòng 150(Hz) là dòng không sử dụng được với các thiết bị trên lưới. Vì vậy nó sẽ chuyển sang dạng nhiệt năng và gây tổn hao.

Sử dụng chuỗi Fourier với chu kỳ T(s), tần số cơ bản $f = 1/T(\text{Hz})$ hay $\omega = 2\pi f$ (rad/s) có thể biểu diễn một sóng điều hòa với biểu thức sau:

$$f(\omega t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} F_n \sin(n\omega t + \psi_n) \quad (1-1)$$

Trong đó:

- $a_0/2$ là giá trị trung bình
- F_n : biên độ của sóng điều hòa bậc n trong chuỗi Fourier
- $F_1 \sin(\omega t + \psi_1)$ là thành phần sóng cơ bản
- $F_n \sin(n\omega t + \psi_n)$ là thành phần sóng điều hòa bậc n
- ψ_n là góc pha của sóng điều hòa bậc n

Ta có thể viết:

$$F_n \sin(n\omega t + \psi_n) = F_n (\sin(n\omega t) \cdot \cos \psi_n + \sin \psi_n \cdot \cos(n\omega t))$$

Đặt $b_n = F_n \sin \psi_n$; $a_n = F_n \cos \psi_n$ đó là 2 thành phần trực giao, do đó ta có thể viết như sau:

$$f(\omega t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n \omega t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n \omega t \quad (1-2)$$

Hay:

$$f(\omega t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \left(\frac{2\pi n t}{T} \right) + b_n \sin \left(\frac{2\pi n t}{T} \right) \right) \quad (1-3)$$

THD là một tham số quan trọng để đánh giá sóng điều hòa và được gọi là hệ số méo dạng (Total Harmonic Distortion).

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} X_n^2}}{X_1} \quad (1-4)$$

Trong đó:

- X_1 là biên độ thành phần cơ bản
- X_n là biên độ thành phần điều hòa bậc n

Theo đó từ (1-4) ta có thể đánh giá độ méo hài dòng điện và độ méo hài điện áp qua hệ số méo dạng dòng điện và hệ số méo dạng điện áp.

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad \text{và} \quad \text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1}$$

Trong đó:

- I_1 là biên độ thành phần dòng cơ bản của dòng điện
- I_n là biên độ thành phần dòng điều hòa bậc n của dòng điện
- U_1 là biên độ thành phần điện áp cơ bản của điện áp
- U_n là biên độ thành phần áp điều hòa bậc n của điện áp

1.2.2. Ảnh hưởng của sóng điều hòa bậc cao [17, 18]

Sự tồn tại sóng điều hòa bậc cao gây ảnh hưởng tới tất cả các thiết bị và đường dây truyền tải điện. Chúng gây ra quá áp, méo điện áp lưới làm giảm chất lượng điện năng. Nói chung chúng gây ra tăng nhiệt trong các thiết bị giảm cách điện, làm tăng tổn hao điện năng, làm giảm tuổi thọ của thiết bị, trong nhiều trường hợp thậm chí còn gây hỏng thiết bị.

+ **Đối với lưới điện:** Sóng hài làm tăng giá trị hiệu dụng và giá trị biên độ của tín hiệu dòng điện hay điện áp tăng, do:

$$U_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)^2 dt} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} U_n^2} = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots}$$

$$I_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} I_n^2} = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots}$$

Vì vậy làm tăng phát nóng của dây dẫn điện, thiết bị điện. Gây ảnh hưởng đến độ bền cách điện của vật liệu, làm giảm khả năng mang tải của dây dẫn điện, gây tổn thất lưới điện, giảm chất lượng và công suất truyền tải trên lưới điện.

+ **Đối với máy biến áp:** Các sóng điều hòa bậc cao gây ra tổn thất đồng, tổn thất từ thông tản và tổn thất sắt làm tăng nhiệt độ máy biến áp, do đó làm tăng tổn thất điện năng.

+ **Đối với động cơ điện:** Tổn hao trên cuộn dây và lõi thép động cơ tăng, làm méo momen, giảm hiệu suất máy, gây tiếng ồn, các sóng điều hòa bậc cao còn có thể sinh ra momen xoắn, thành phần sóng hài bậc $3n$ tạo ra từ trường đập mạch làm cho động cơ bị rung, lắc; thành phần sóng hài bậc $3n+2$ tạo ra mô men cản làm cho động cơ quay chậm lại. Vậy các sóng hài đã làm cho động cơ quay chậm hơn, rung hơn và phát nóng nhiều hơn.

+ **Đối với các thiết bị đo:** Sóng hài ảnh hưởng đến sai số của các thiết bị đo, làm cho kết quả đo bị sai lệch.

+ **Đối với các thiết bị bảo vệ:** Sóng hài gây ảnh hưởng đến hoạt động của các thiết bị bảo vệ, có thể làm momen tác động của role biến dạng gây ra hiện tượng nhảy, tác động ngược, có thể làm méo dạng điện áp, dòng điện dẫn đến thời điểm tác động của role sai lệch.

+ **Đối với tụ điện:** làm cho tụ bị quá nhiệt và trong nhiều trường hợp có thể dẫn tới phá hủy chất điện môi (đánh thủng cách điện).

+ **Đối với các lò luyện thép:** Tăng thời gian nấu chảy kim loại, cũng như tăng thời gian tạo ra sản phẩm dẫn đến chi phí vận hành và chi phí năng lượng tăng cao. Ngoài ra, còn giảm công suất nguồn cấp dẫn đến giảm hiệu suất vận hành của lò luyện.

+ **Đối với các thiết bị điện tử:** Các thiết bị điện tử rất nhạy cảm với sự không ổn định của nguồn cung cấp cho nó, các sóng điều hòa bậc cao có thể gây sóng điện từ lan truyền trong không gian làm ảnh hưởng đến thiết bị thu phát sóng.

+ **Đối với các thiết bị dùng điện khác:** Các sóng điều hòa bậc cao còn làm các thiết bị sử dụng điện và đèn chiếu sáng bị chập chờn.

1.3. CÁC NGUYÊN NHÂN GÂY RA SÓNG HÀI TRONG LƯỚI ĐIỆN

Nguyên nhân cơ bản nhất gây ra sóng điều hòa bậc cao trong lưới điện là do tính phi tuyến của các thiết bị điện được nối với lưới điện, như máy biến áp, máy phát điện, động cơ điện, các bộ biến đổi điện tử công suất trong hệ thống năng lượng tái tạo, các tải phi tuyến, ...

1.3.1. Máy phát điện và máy biến áp

Máy phát điện đồng bộ là nguồn phát điện phổ biến nhất, máy biến áp làm nhiệm vụ truyền tải và phân phối điện năng. Trong quá trình vận hành máy phát điện và máy biến áp nếu xuất hiện hiện tượng bão hòa của lõi thép do quá tải hoặc phải làm việc với điện áp cao hơn điện áp định mức thì có thể sinh ra sóng điều hòa bậc cao. Do đặc điểm cấu tạo, các sóng hài do chúng sinh ra chỉ bao gồm các thành phần bậc lẻ (3, 5, 7, ...)

1.3.2. Động cơ điện

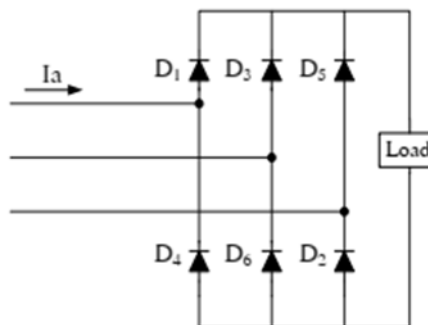
Tương tự máy biến áp động cơ xoay chiều khi hoạt động sinh ra sóng điều hòa dòng điện bậc cao. Các sóng điều hòa bậc cao được phát sinh bởi máy điện quay liên quan chủ yếu tới các biến thiên của từ trở gây ra bởi các khe hở giữa roto và stato. Các máy điện đồng bộ có thể sản sinh ra sóng điều hòa bậc cao bởi vì dạng từ trường, sự bão hòa trong các mạch chính và các đường dò và do các dây quấn dùng để giảm dao động đặt không đối xứng.

1.3.3. Thiết bị điện tử công suất [3]

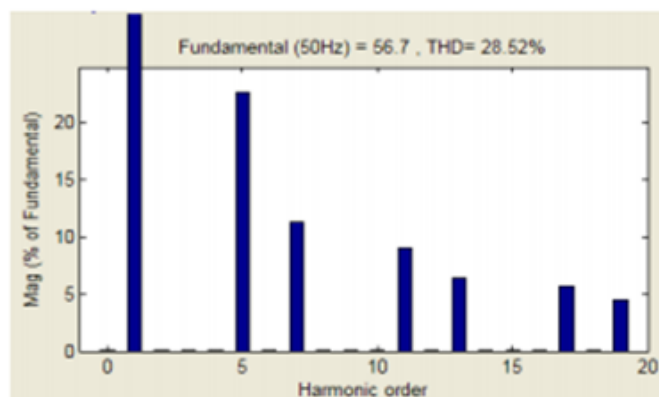
Bản thân các bộ biến đổi điện tử công suất (chỉnh lưu, nghịch lưu, điều áp xoay chiều...) đều được cấu thành từ các thiết bị bán dẫn như diode, thyristor, MOSFET, IGBT, GTO... là những phần tử phi tuyến là nguồn gốc gây sóng điều hòa bậc cao.

Tùy thuộc vào cấu trúc của các bộ biến đổi mà sóng điều hòa sinh ra khác nhau. Các mạch chỉnh lưu trong biến tần thường là chỉnh lưu cầu ba pha có ưu điểm là đơn giản, rẻ, chắc chắn nhưng thành phần đầu vào chứa nhiều sóng điều hòa. Do đó, để giảm bớt sóng điều hòa có thể dùng hai mạch chỉnh lưu cầu ba pha ghép lại với nhau tạo thành chỉnh lưu 12 xung hoặc ghép 4 bộ chỉnh lưu cầu ba pha vào tạo thành bộ chỉnh lưu 24 xung sẽ cho ra dòng điện trơn hơn, giảm được các thành phần điều hòa. Từ đó có thể thấy là khi muốn giảm sóng điều hòa dòng điện ta có thể tăng số van trong mạch chỉnh lưu lên. Tuy nhiên khi đó gây ra một số bất lợi như công kênh, nặng, tổn thất điện áp lớn và sinh ra sóng điều hòa dòng điện bậc cao khi tải không đối xứng hoặc điện áp không đối xứng.

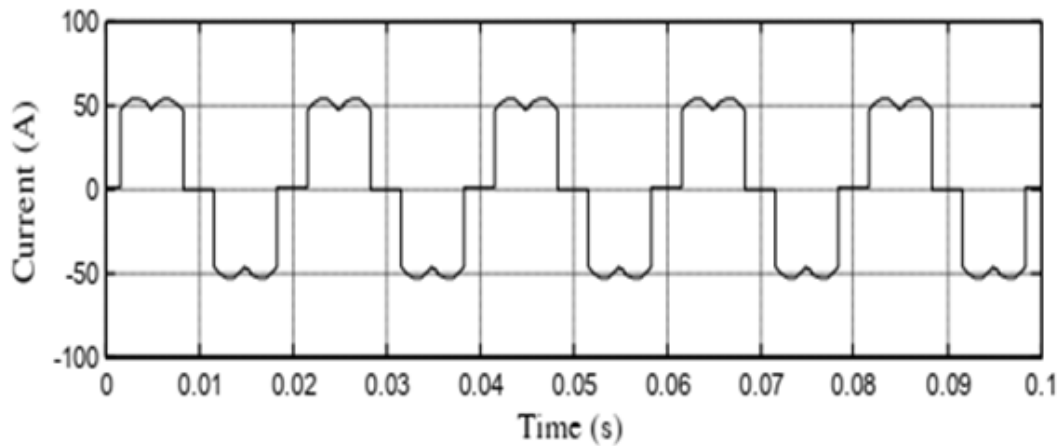
Ví dụ: Bộ chỉnh lưu cầu 3 pha không điều khiển có sơ đồ nguyên lý mạch lực như Hình 1.2; dạng sóng dòng điện lưới như Hình 1.3 và đường cong dòng điện chỉnh lưu đối với tải thuần trở như Hình 1.3, phổ các thành phần điều hòa chỉ ra trên Hình 1.4. Ta thấy tổng độ méo sóng hài lên tới 28,52%.



Hình 1.2. Sơ đồ mạch lực chỉnh lưu cầu 3 pha không điều khiển



Hình 1.3. Dòng điện lưới gây ra bởi chỉnh lưu cầu 3 pha không điều khiển



Hình 1.4. Phổ dòng điện của chỉnh lưu cầu 3 pha không điều khiển

1.3.4. Các thiết bị hồ quang

Các thiết bị thường gặp trong hệ thống điện là các lò hồ quang công nghiệp, các máy hàn... Theo thống kê thì điện áp lò hồ quang cho thấy sóng điều hòa bậc cao đầu ra biến thiên rất lớn ví dụ như sóng điều hòa bậc 5 là 8% khi bắt đầu nóng chảy, 6% ở cuối giai đoạn nóng chảy và 2% của giai đoạn cơ bản trong suốt thời gian tinh luyện.

1.4. KẾT LUẬN CHƯƠNG 1

Chương 1 trình bày tổng quan về các chỉ tiêu chất lượng điện năng; Sóng hài và ảnh hưởng của chúng đến chất lượng điện năng và tác hại của chúng đối với các thiết bị dùng điện, đồng thời phân tích các nguyên nhân gây ra sóng hài trong lưới điện. Những vấn đề nêu ở chương 1 là cơ sở cho việc nghiên cứu, đề xuất các giải pháp hạn chế sóng hài trong các chương tiếp theo.

CHƯƠNG 2**CÁC GIẢI PHÁP HẠN CHẾ SÓNG HÀI TRONG LƯỚI ĐIỆN****2.1. NGUYÊN TẮC CHUNG**

Như phân tích ở chương 1 cho thấy sóng hài là nguyên nhân gây ra méo dạng của điện áp và dòng điện trong lưới điện là giảm chất lượng điện năng, tăng tổn thất năng lượng và giảm tuổi thọ của các thiết bị trong hệ thống điện. Vì vậy, việc khử sóng hài trong lưới điện là cấp thiết.

Về nguyên tắc để khử hoặc làm suy giảm sóng hài trong lưới điện ta có thể dùng các giải pháp sau:

- Nâng cao chất lượng các bộ biến đổi điện tử công suất nối với lưới điện.
- Sử dụng cuộn kháng chặn thành phần sóng hài đi vào tải.
- Sử dụng bộ lọc để lọc thành phần sóng hài, bộ lọc là nhiệm vụ rẽ mạch sóng hài không cho chúng đi vào tải (lọc thụ động) hoặc tạo ra sóng hài có cùng biên độ và tần số với sóng hài, nhưng ngược pha với chúng dẫn đến triệt tiêu được sóng hài trên lưới điện.

Trong chương này sẽ trình bày một số giải pháp khử sóng hài bằng việc nâng cao chất lượng các bộ biến đổi điện tử công suất, sử dụng cuộn kháng chặn và bộ lọc thụ động. Phương pháp sử dụng bộ lọc tích cực sẽ được trình bày chi tiết ở chương 3.

2.2. CUỘN KHÁNG CHẶN VÀ CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG CÁC BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT**2.2.1. Sử dụng cuộn kháng chặn**

Cuộn kháng được mắc nối tiếp với tải để ngăn cản sóng hài bậc cao chạy trên đường dây đến tải, ở góc độ nào đó có thể có cuộn kháng chặn là một dạng của bộ lọc thụ động. Giải pháp này đơn giản, song có nhược điểm là không thể tăng quá cao điện kháng của cuộn chặn vì sụt áp trên chúng sẽ làm giảm công suất của tải.

2.2.2. Cải thiện chất lượng các bộ biến đổi điện tử công suất [3, 7]

Các bộ biến đổi điện tử công suất bao gồm bộ biến đổi một chiều - một chiều (DC-DC), bộ biến đổi xoay chiều - một chiều (AC-DC), bộ biến đổi một chiều -

xoay chiều (DC-AC) được sử dụng rất phổ biến trong các máy công cụ (CNC), các dây chuyền công nghệ, trong các hệ thống khai thác năng lượng tái tạo điện gió, điện mặt trời [8].

Do bản chất phi tuyến của các linh kiện bán dẫn, nên bản thân chúng là nguồn phát sinh sóng hài khi tham gia lưới điện. Vấn đề đặt ra là làm sao để hạn chế biên độ sóng hài do chúng sinh ra. Đã có rất nhiều giải pháp được đề xuất trong giai đoạn gần đây để hạn chế sóng hài phát sinh từ bộ biến đổi điện tử công suất, chẳng hạn:

- Sử dụng bộ chỉnh lưu nhiều pha đối với bộ biến đổi AC-DC
- Lựa chọn phương pháp tạo xung điều chế (PWM) phù hợp cho các bộ biến đổi DC-AC

Trong phạm vi luận văn không đi sâu nghiên cứu các giải pháp này.

2.3. CÁC BỘ LỌC THỤ ĐỘNG

Lọc thụ động bao gồm các phần tử thụ động (R, L, C) được ghép nối với nhau và được lựa chọn cho một tần số lọc xác định. Nguyên lý làm việc của bộ lọc loại này là tạo ra một đường dẫn có tổng trở xấp xỉ bằng không đối với sóng điều hòa cần lọc để sóng điều hòa đó chạy ra khỏi hệ thống.

Trong sơ đồ lọc ba pha có hai loại bộ lọc là bộ lọc RC và bộ lọc LC. Trong cả hai loại bộ lọc này đều có tụ điện, tụ điện có thể mắc hình tam giác hoặc hình sao. Khi mắc tụ điện tam giác thì tiết kiệm dung lượng tụ, xong không loại trừ được hết sóng điều hòa điện áp dây.

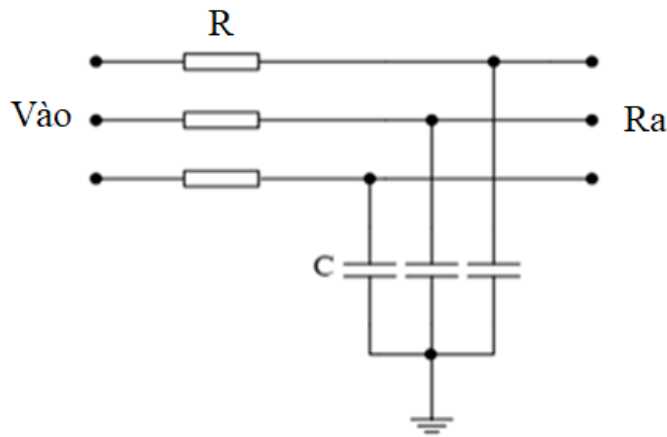
Bộ tụ đầu hình sao có dung lượng tụ tăng lên 3 lần nhưng loại được sóng điều hòa cả điện áp dây và điện áp pha và đặc biệt khi tụ đầu sao có trung tính thì có thể loại luôn điện áp thứ tự không sinh ra khi chuyển mạch van bán dẫn. Sau đây ta xét một số loại bộ lọc:

2.3.1. Bộ lọc RC

Kết cấu của bộ lọc RC được chỉ ra trên Hình 2.1, tụ điện được mắc song song với đường dây. Tổng trở pha của bộ lọc là:

$$z_f = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (2-1)$$

Biểu thức (2-1) cho thấy tổng trở của bộ lọc tỉ lệ nghịch với tần số, do vậy các sóng hài bậc cao dễ dàng đi qua tụ và xuống đất, kết quả trên đường dây chỉ tồn tại sóng cơ bản. Bộ lọc RC có ưu nhược điểm sau:



Hình 2.1. Bộ lọc RC

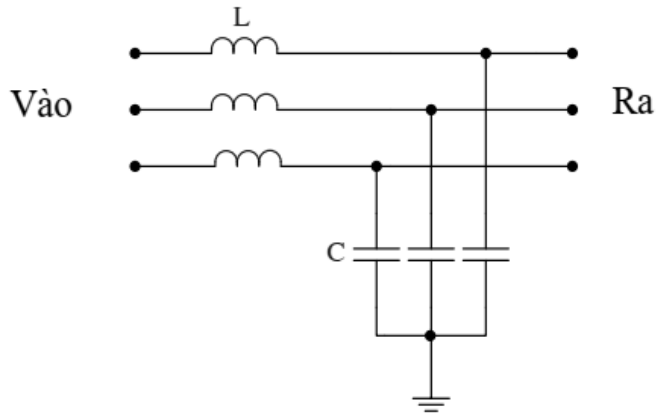
- **Ưu điểm:** Bộ lọc RC là loại bộ lọc đơn giản nhất, giá thành rẻ, vận hành ổn định.
- **Nhược điểm:** Do có điện trở nên phát sinh tổn hao, tổn hao này càng lớn khi công suất lớn; hiệu quả lọc kém.

2.3.2. Bộ lọc LC

Cấu tạo cơ bản của bộ lọc LC như Hình 2.2. Đối với lọc này điện cảm sẽ ngăn cản dòng điện tần số cao, điện dung cho thoát tín hiệu tần số cao xuống đất.

Lọc loại này có những đặc điểm sau:

- **Ưu điểm:** Mạch lọc LC có khả năng lọc tốt nhất, nó lọc được nhiều tần số theo ý muốn.
- **Nhược điểm:** Giá thành đắt và sự vận hành của mạch kém tin cậy hơn mạch lọc RC do trong mạch có cuộn cảm. Gây nhiễu cho các thiết bị thông tin do có sự phát sinh sóng điện từ từ cuộn cảm. Có thể xuất hiện hiện tượng cộng hưởng làm tăng dòng và áp dẫn đến hỏng thiết bị.



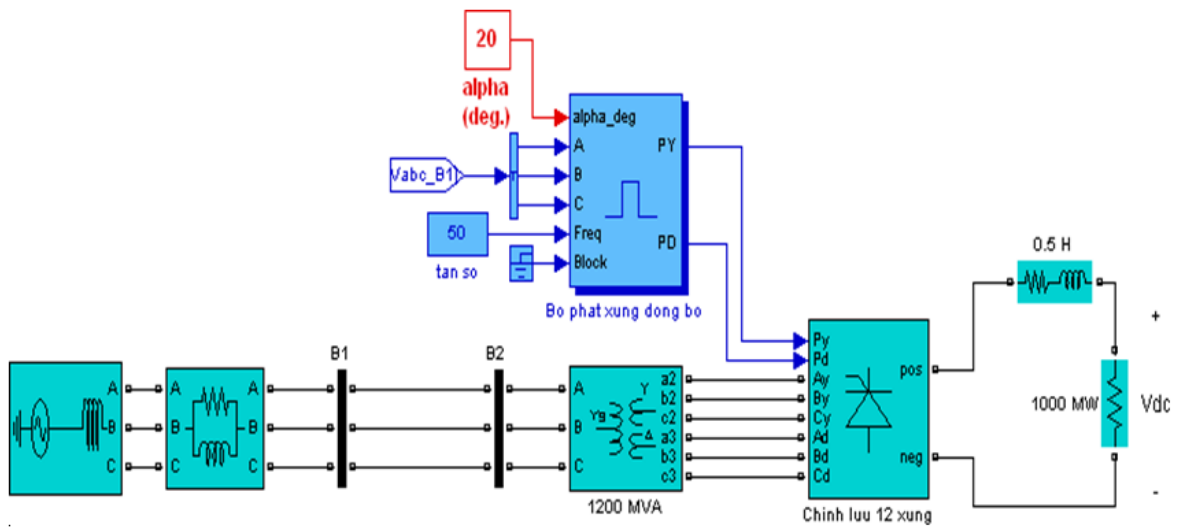
Hình 2.2. Bộ lọc LC

2.2.3. Khảo sát hiệu năng của lọc thụ động đối với lưới điện có tải phi tuyến

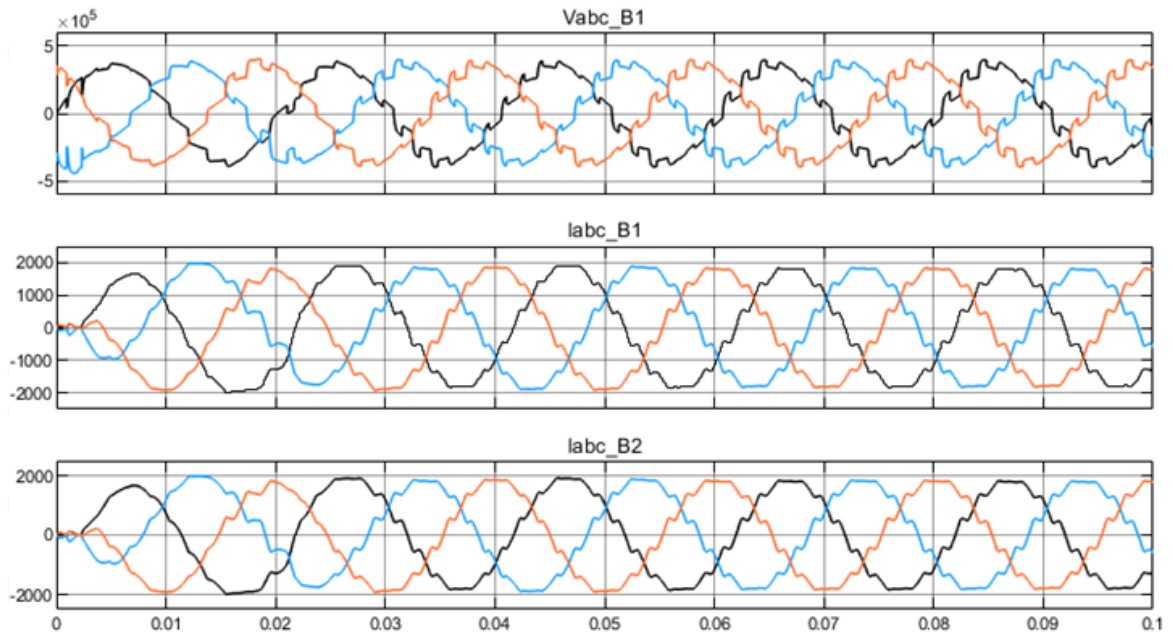
Xét nguồn điện cung cấp cho tải phi tuyến là một bộ chỉnh lưu có điều khiển sử dụng Thyristor. Ta sẽ mô phỏng hệ thống trên Matlab -Simulink - Simcape trong 2 trường hợp không có bộ lọc và có bộ lọc thụ động [2, 10, 13].

a) Khi không sử dụng lọc: Sơ đồ mô phỏng được chỉ ra trên Hình 2.3. Sau khi chạy mô phỏng ta thu được các kết quả như Hình 2.4 và Hình 2.5. Trong đó:

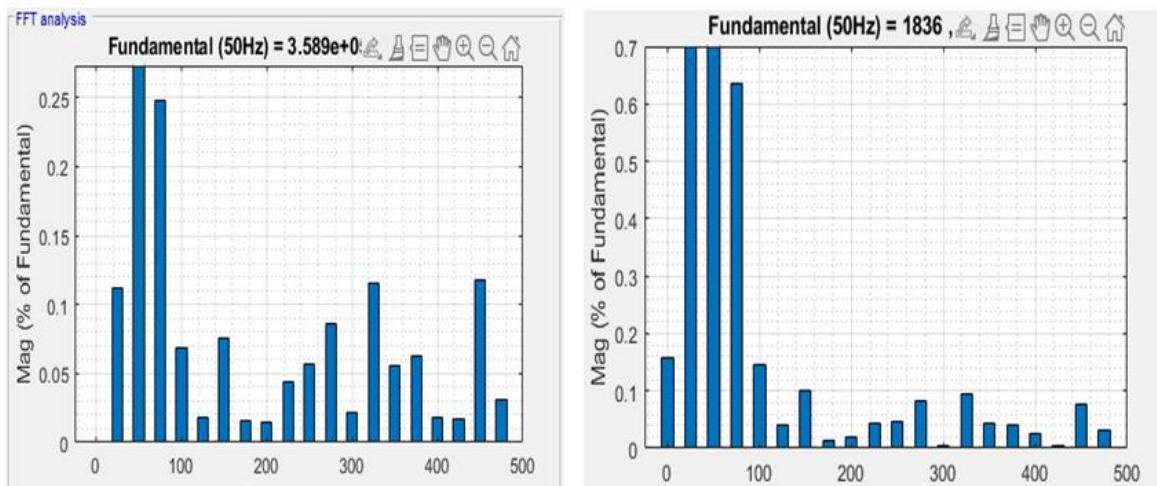
- Hình 2.4 là dạng sóng điện áp và dòng điện trên đường dây
- Hình 2.5 là đồ thị phổ Fourier của điện áp trên đường dây



Hình 2.3. Mạch chỉnh lưu 12 xung không có bộ lọc Kết quả phân tích



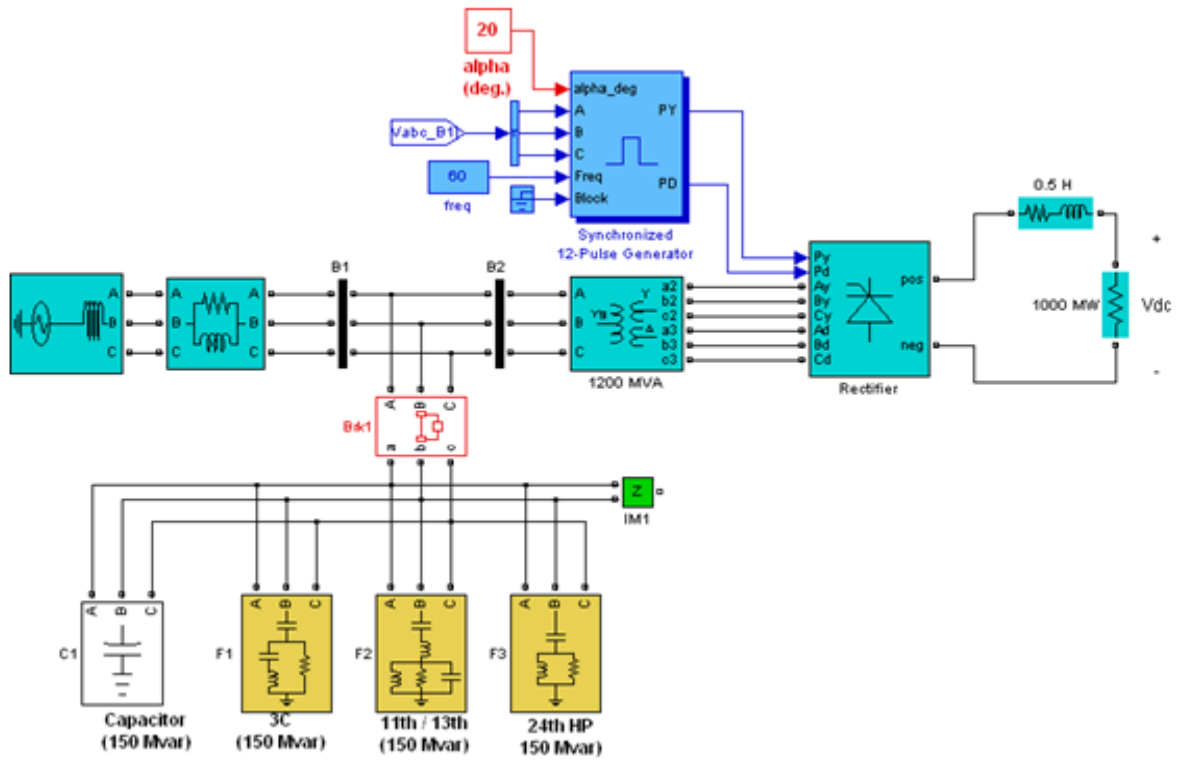
Hình 2.4. Dạng sóng điện áp và dòng điện trên đường dây



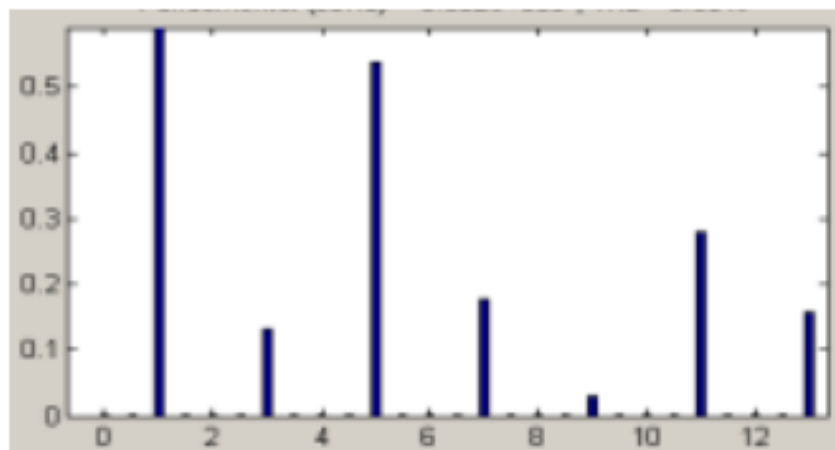
Hình 2.5. Phổ Furier điện áp và dòng điện trên đường dây

b) Khi có sử dụng lọc:

Sơ đồ mô phỏng hệ thống khi có bộ lọc thụ động được chỉ ra trên Hình 2.6. Sau khi chạy mô phỏng ta thu được đồ thị phổ Furier của điện áp trên đường dây như Hình 2.7.



Hình 2.6. Bộ lọc thụ động



Hình 2.7. Phổ điện áp khi sử dụng bộ lọc thụ động

* **Nhận xét:** Ta thấy rằng khi không có bộ lọc thụ động dạng sóng dòng và áp trên đường dây có dạng khác sin, hệ số THD xấp xỉ 16%. Khi có lắp thêm lọc thụ động, dạng đường cong dòng điện và điện áp đã giảm đáng kể, hệ số THD chỉ còn khoảng 9%.

2.4. LỌC TÍCH CỰC

2.4.1. Định nghĩa [13, 15, 16,]

Lọc tích cực (hay còn gọi là lọc chủ động) là lọc tần số mà cấu tạo của chúng ngoài các phần tử thụ động (R, L, C) còn chứa các phần tử tích cực (như Tranzistor, diot, FET, IGBT, ...). Ngày nay, các bộ lọc tích cực chủ yếu dựa trên nền tảng là các bộ biến đổi điện tử công suất lớn do đó bộ lọc tích cực có nguyên lý làm việc khác bộ lọc thụ động cũng như có nhiều ưu điểm và tính năng hơn.

Để khử được sóng hài trên lưới điện thì lọc tích cực tạo ra các sóng hài có trị số bằng trị số các sóng hài của lưới điện và góc pha ngược với pha của sóng hài tương ứng của lưới.

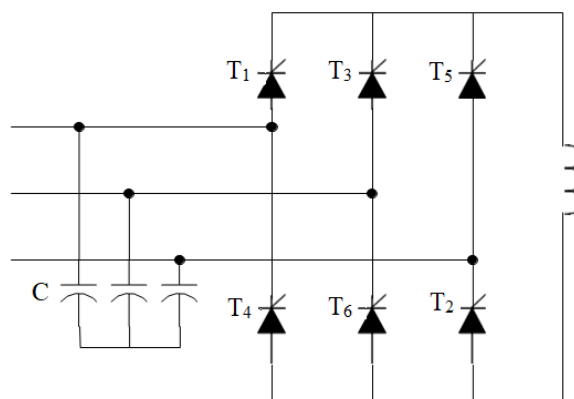
2.4.2. Phân loại mạch lọc tích cực

Có nhiều cách phân loại dựa theo các tiêu chí khác nhau chẳng hạn như dựa vào bộ biến đổi công suất được sử dụng, dựa theo sơ đồ kết nối mạch lọc, dựa theo nguồn cấp...

a) Phân loại theo bộ biến đổi công suất

Căn cứ vào bộ biến đổi công suất trong mạch lọc ta có hai loại mạch lọc tích cực: Cấu trúc VSI (bộ biến đổi nguồn áp) và CSI (bộ biến đổi nguồn dòng).

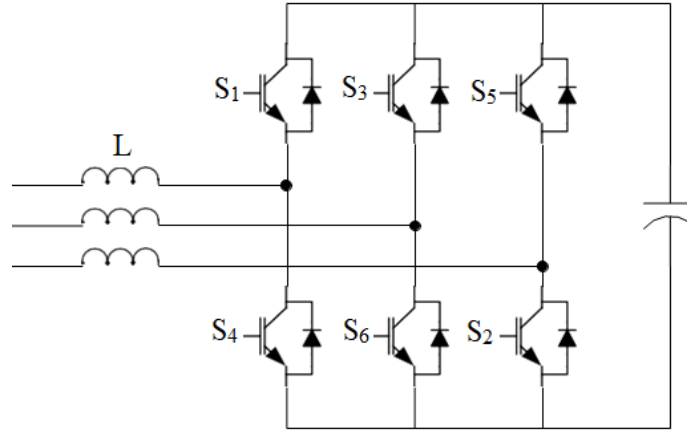
- Cấu trúc mạch lọc tích cực VSI (Hình 2.8): Dựa trên cơ sở mạch nghịch lưu nguồn áp, Đặc điểm của cấu trúc này là có thể mở rộng ra cấu trúc nghịch lưu đa cấp



Hình 2.8. Cấu trúc mạch lọc tích cực VSI

- Cấu trúc mạch lọc tích cực dựa trên bộ nghịch lưu nguồn dòng CSI (Hình

2.9): Đặc điểm cấu trúc mạch lọc CSI là có tần số đóng cắt hạn chế, tổn hao đóng cắt lớn, không thể mở rộng ra cấu trúc đa bậc.



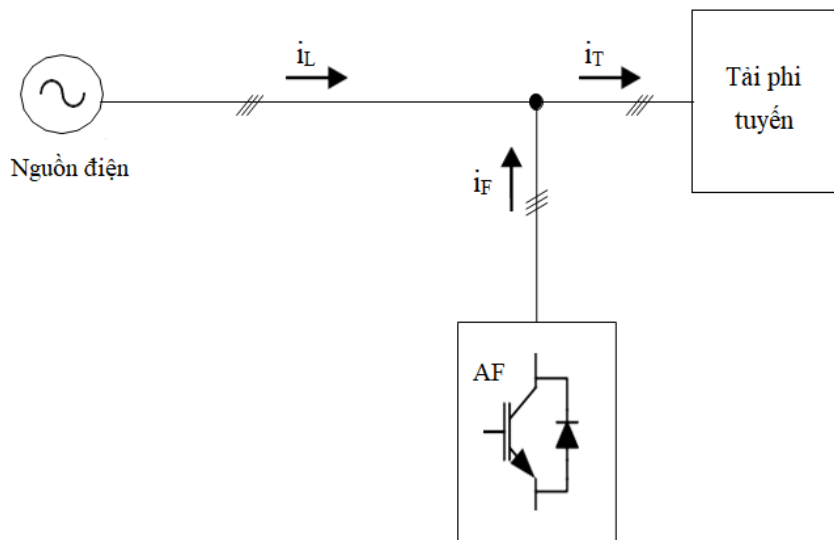
Hình 2.9. Cấu trúc mạch lọc tích cực CSI

b) Phân loại theo sơ đồ nối

Căn cứ vào sơ đồ mạch lọc nối vào lưới điện ta phân ra mạch loại tích cực mắc nối tiếp, mắc song song.

- **Mạch lọc tích cực song song**

Trong trường hợp này lọc AF được mắc song song với tải phi tuyến (Hình 2.10)

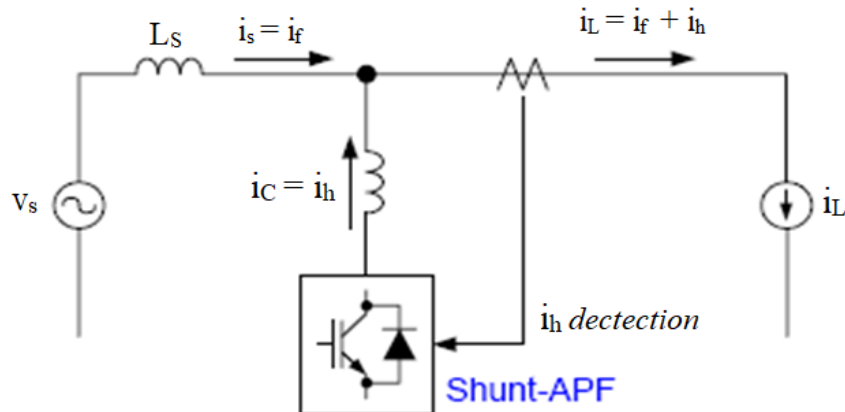


Hình 2.10. Cấu hình bộ lọc tích cực song song (AF)

Các phần tử trên sơ đồ: Tải phi tuyến có thể là cầu chỉnh lưu điôt hoặc thyristor. Dòng điện ở ngõ vào tải phi tuyến i_T bao gồm nhiều thành phần bậc cao.

Nếu dòng ngõ vào i_F của bộ lọc cũng sinh ra các bậc cao như vậy nhưng ngược pha thì dòng ở phía lưới i_L sẽ chỉ còn chứa thành phần sóng bậc nhất. Như vậy, đặc điểm của mạch lọc tích cực song song: bù sóng điều hòa dòng điện, bù công suất phản kháng, bù thành phần dòng điện không cân bằng.

Sơ đồ nguyên lý bộ lọc song song (AF) được chỉ ra trên hình 2.11.



Hình 2.11. Sơ đồ nguyên lý bộ lọc song song AF

Chức năng của AF là triệt tiêu các sóng điều hòa dòng điện bậc cao sinh bởi tải phi tuyến ảnh hưởng lên đường dây, trả lại cho dòng điện trên đường dây hình sin chuẩn. Ngoài ra, AF còn có thể bù công suất phản kháng tại điểm kết nối giữa AF và lưới điện. Việc xác định vị trí đặt bộ lọc cần phải được tính toán theo một số nguyên tắc như sau:

- Giảm thiểu tối đa thời gian truyền, khoảng cách lan truyền của sóng điều hòa trên đường dây. Điều này được thực hiện bằng việc đặt thiết bị lọc gần nguồn sinh sóng điều hòa.
- Đặt thiết bị lọc giữa nguồn với các thiết bị nhạy cảm với sóng điều hòa để hạn chế ảnh hưởng của sóng điều hòa tới thiết bị.
- Để thực hiện chức năng này bộ AF hoạt động như một bộ nguồn ba pha tạo ra dòng điện thích hợp bơm lên đường dây. Dòng này bao gồm hai thành phần:

- Thành phần triệt tiêu các sóng điều hòa bậc cao sinh bởi tải phi tuyến: là thành phần ngược pha với tổng sóng điều hòa dòng điện bậc cao.

- Thành phần bù công suất phản kháng

Ta có thể phân tích thành phần dòng tải thành hai thành phần: thành phần cơ bản i_F và thành phần sóng điều hòa i_h :

$$i_L = i_F + i_h$$

Dòng do AF bơm lên đường dây:

$$i_C = i_h$$

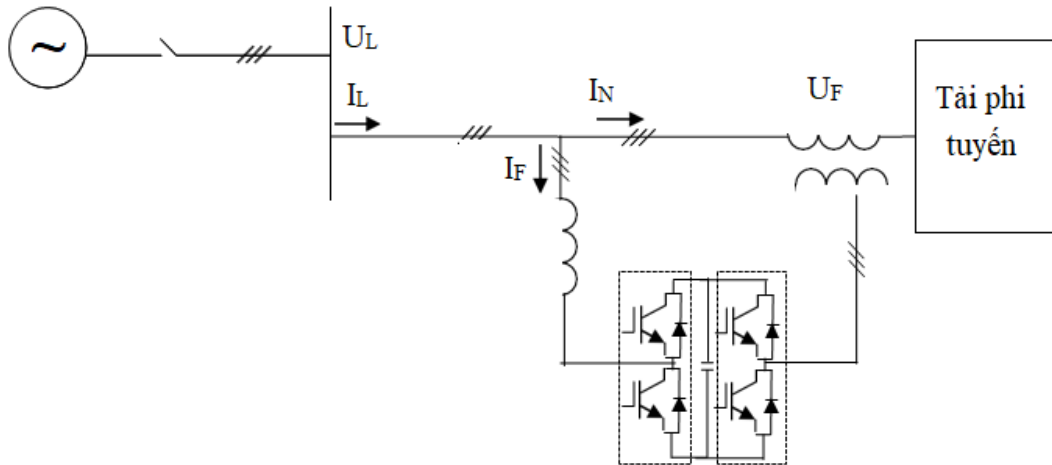
Khi đó dòng trên đường dây sẽ là:

$$i_S = i_L - i_h = i_F + i_h - i_h = i_F$$

Như vậy dòng trên đường dây chỉ chứa thành phần cơ bản, các thành phần điều hòa bậc cao đã được bộ lọc loại bỏ. Nếu nhìn từ phía tải, bộ AF tương đương với một trở kháng song song, có thể thay đổi với trở kháng bằng không hoặc rất nhỏ so với các sóng điều hòa và bằng vô cùng lớn với thành phần cơ bản.

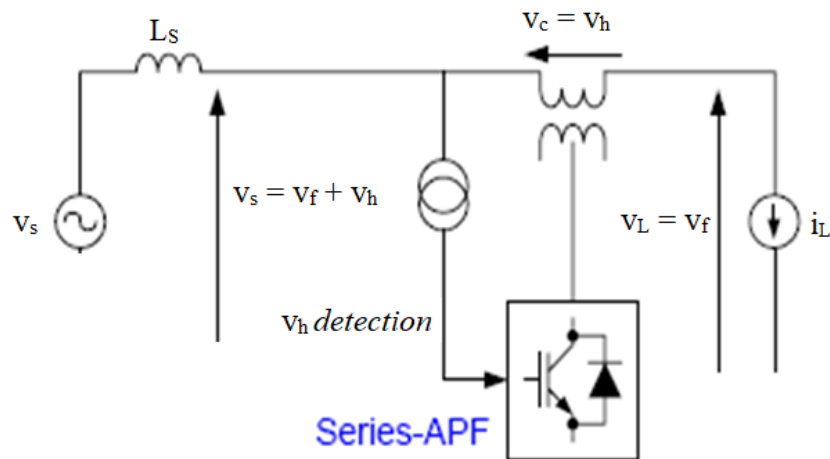
- **Mạch lọc tích cực nối tiếp (AFs)**

Sơ đồ mạch lọc tích cực mắc nối tiếp như hình 2.12. Trên một đường dây nối giữa 2 bus hệ thống có điện áp U_L và U_{LN} . Phía bus U_{LN} có thể có một hay nhiều phụ tải phi tuyến làm cho U_{LN} chứa nhiều thành phần sóng bậc cao. Bộ lọc AF bao gồm một chỉnh lưu tích cực, cung cấp phần một chiều cho một bộ nghịch lưu, đầu ra nghịch lưu thông qua một máy biến áp đưa ra điện áp U_F , mắc nối tiếp giữa hai bus hệ thống. Do đó có thể hiệu chỉnh giá trị, góc pha cũng như thành phần sóng hài của điện áp U_F sao cho ngược pha với các tác động gây nhiễu của điện áp U_{LN} mà các sóng bậc cao sẽ không ảnh hưởng được sang bus hệ thống U_L .



Hình 2.12. Cấu hình bộ lọc tích cực nối tiếp (AFs)

Sơ đồ nguyên lý bộ lọc nối tiếp AFs được chỉ ra trên Hình 2.13



Hình 2.13. Sơ đồ nguyên lý bộ lọc nối tiếp AFs

Ta có thể phân tích điện áp nguồn thành hai thành phần là: thành phần cơ bản U_F và thành phần sóng điều hòa U_h : $U_S = U_h + U_F$

Điện áp dọc đường dây do AFs tạo ra ngược pha với tổng sóng điều hòa điện áp bậc cao và triệt tiêu thành phần điều hòa bậc cao này đảm bảo điện áp có dạng sin. Nhìn từ phía tải AFs tạo ra một tổng trở đường dây. Tổng trở này bằng 0 đối với sóng cơ bản và bằng vô cùng lớn với các sóng điều hòa bậc cao, do đó giữa nguồn và tải có sự cách ly sóng điều hòa.

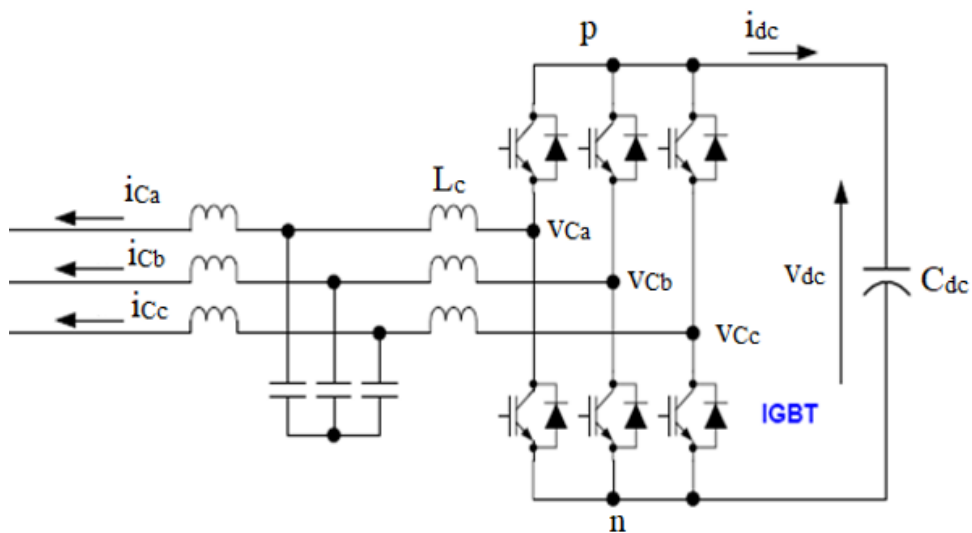
Mạch lọc nối tiếp vừa triệt tiêu sóng hài vừa có thể bù sụt áp trên đường dây. Tuy nhiên, hệ thống phức tạp chỉ phù hợp với công suất lớn và rất lớn. Vì vậy, sau

đây chỉ còn quan tâm đến mạch lọc tích cực song song, phù hợp với tất cả các dải phụ tải từ nhỏ tới trung bình (Dải công suất từ nhỏ đến trung bình bao gồm số lượng lớn các thiết bị) nên mạch lọc song song có ý nghĩa quan trọng đối với các ứng dụng thực tế.

c) Phân loại theo số pha của hệ thống

Theo số pha của hệ thống ta chia ra lọc 1 pha, lọc 3 pha 3 dây và lọc 3 pha 4 dây.

- Mạch lọc tích cực một pha: dùng cho tải phi tuyến một pha, loại này thường có công suất nhỏ.
- Mạch lọc tích cực ba pha ba dây: dùng cho tải phi tuyến ba pha không có trung tính (Hình 2.14).

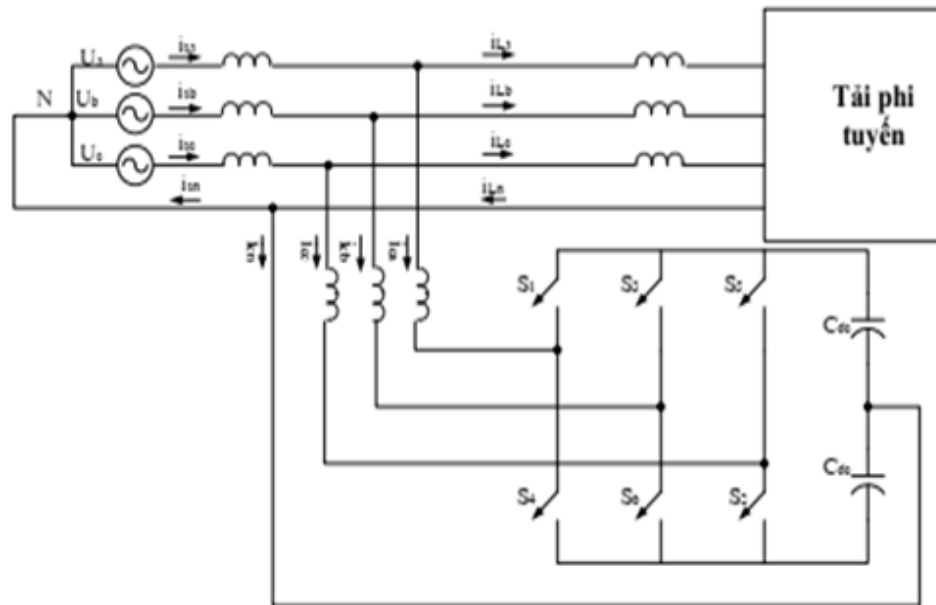


Hình 2.14. Mạch lọc tích cực 3 dây

- **Mạch lọc tích cực bốn dây:** Loại này dùng cho tải phi tuyến ba pha có thể dùng cho tải phi tuyến 1 pha cấp nguồn từ hệ thống nguồn cấp bốn dây (có thêm dây trung tính) hoặc. Trong hệ này mạch lọc sẽ loại bỏ sự quá dòng ở dây trung tính.

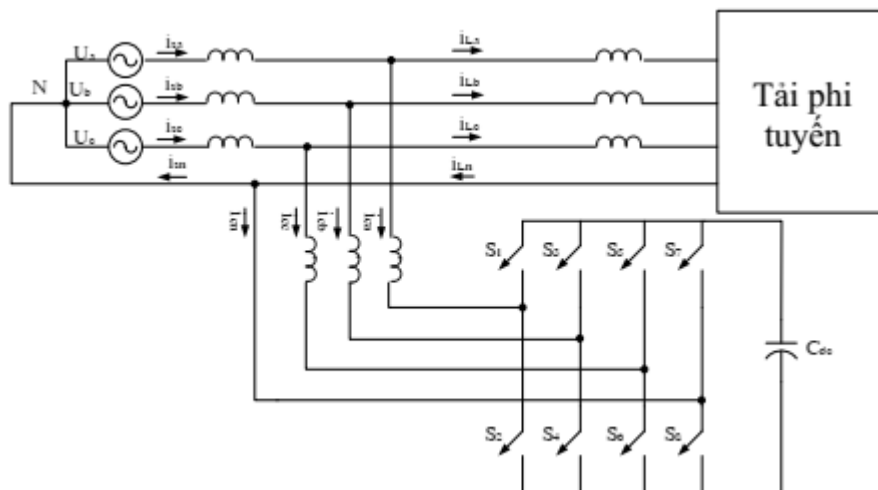
Trong mạch lọc tích cực 4 dây có thể chia ra thành 2 loại:

- Mạch lọc tích cực 4 dây có điểm giữa (Hình 2.15)
- Mạch lọc tích cực 4 dây (Hình 2.16)



Hình 2.15. Mạch lọc tích cực 4 dây có điểm giữa

Mạch lọc tích cực 4 dây có điểm giữa thường được sử dụng hơn do nó yêu cầu số van bán dẫn ít hơn tuy nhiên cấu trúc điều khiển sẽ phức tạp hơn và yêu cầu tụ có dung lượng lớn và vấn đề cân bằng điện áp trên tụ cần phải được quan tâm. Trong khi đó cấu trúc 4 dây thì điều khiển đơn giản hơn, dung lượng tụ yêu cầu thấp hơn nhưng cần số van chuyển mạch lớn hơn.



Hình 2.16. Mạch lọc tích cực 4 dây

d) phân loại theo công suất

Theo công suất ta phân loại tích cực thành lọc có công suất nhỏ, công suất trung bình và công suất lớn.

- **Lọc công suất nhỏ**

Sử dụng trong các ứng dụng có công suất nhỏ hơn 100kVA, chủ yếu phục vụ các khu dân cư, các tòa nhà kinh doanh, bệnh viện, các hệ truyền động công suất nhỏ và vừa.

Tính chất của các hệ thống tải này đòi hỏi hệ thống mạch lọc tích cực tương đối phức tạp có đáp ứng động học cao, thời gian đáp ứng nhanh hơn nhiều mạch lọc tích cực ở đây công suất cao hơn thay đổi trong khoảng chục μ s đến vài ms.

- **Lọc công suất trung bình**

Phạm vi công suất hoạt động của các thiết bị nằm trong khoảng từ 100kVA đến 10MVA. Ví dụ các mạng cung cấp điện trung và cao áp và các hệ thống truyền động điện công suất lớn mắc vào nguồn áp lớn. Mục đích chính của các mạch lọc tích cực là khử bỏ hoặc hạn chế các sóng điều hòa bậc cao dòng điện. Tốc độ đáp ứng bù lọc trong hệ thống ở khoảng hàng chục ms.

- **Lọc công suất rất lớn**

Dây công suất rất lớn thường gặp trong hệ thống truyền tải hoặc truyền động động cơ DC công suất rất lớn hoặc hệ thống truyền tải điện. Mạch bù lọc tích cực cho phạm vi công suất rất lớn rất tốn kém vì đòi hỏi phải sử dụng các linh kiện công suất có khả năng đóng ngắt dòng điện ở công suất rất lớn.

2.4.3. Tính năng của lọc tích cực

Bộ lọc tích cực ngoài tính năng lọc tần số còn có các tính năng khác: bù công suất, bù sóng điều hòa, ...

a) Bù công suất

Thêm cả chức năng bù công suất đồng thời kết hợp với chức năng lọc thì việc điều khiển mạch sẽ rất phức tạp, bị hạn chế về công suất. Do đó, thường kết hợp chức năng bù công suất phản kháng và lọc sóng điều hòa ở dải công suất nhỏ, ở

đải công suất lớn thì có thể bù bằng SVC - đóng ngắt bằng thyristor tuy nó đáp ứng chậm nhưng giá thành rẻ hơn.

b) Bù sóng điều hòa

- Bù sóng điều hòa điện áp:

Thường không được chú ý nhiều trong hệ thống điện vì điện áp tiêu thụ tại điểm đầu dây chung thường duy trì trong phạm vi giới hạn cơ bản đối với các sự cố tăng hoặc giảm áp. Vấn đề bù điện áp chỉ được xem xét đến khi tải nhạy với sự xuất hiện sóng điều hòa điện áp bậc cao trong lưới nguồn như các thiết bị bảo vệ hệ thống điện.

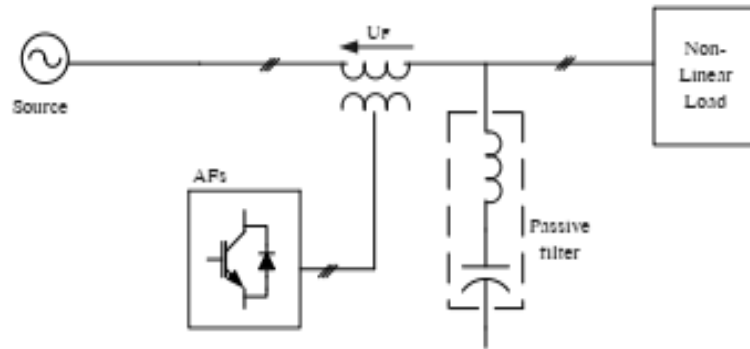
- Bù sóng điều hòa dòng điện:

Có ý nghĩa quan trọng đối với các tải có công suất vừa và nhỏ. Việc giảm thành phần sóng điều hòa dòng điện trong lưới còn có tác dụng giảm độ méo dạng điện áp tại điểm đầu dây chung.

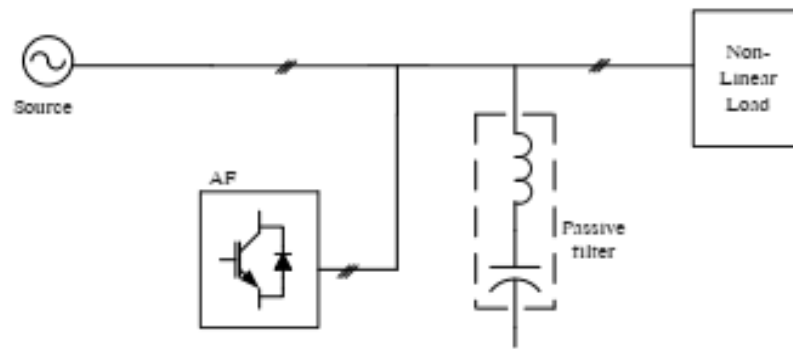
2.5. BỘ LỌC HỖN HỢP

Bộ lọc hỗn hợp là sự kết hợp của bộ lọc chủ động và bộ lọc thụ động. Mục đích là giảm chi phí đầu tư ban đầu và cải thiện hiệu quả của bộ lọc động. Bộ lọc thụ động sẽ lọc những sóng hài điều hòa mà bộ lọc chủ động không lọc được hoặc lọc một cách khó khăn. Chính vì thế, thông số chỉ tiêu của bộ lọc chủ động sẽ không cần quá cao, qua đó giảm được chi phí. Tùy theo sự kết hợp giữa bộ lọc thụ động và lọc tích cực mà ta có các sơ đồ bộ lọc hỗn hợp khác nhau được biểu diễn như các hình vẽ dưới đây:

- Hình 2.17 là sơ đồ kết hợp bộ lọc thụ động với bộ lọc tích cực nối tiếp
- Hình 2.18 là sơ đồ kết hợp bộ lọc thụ động với bộ lọc tích cực song song
- Hình 2.19 là sơ đồ kết hợp bộ lọc thụ động với bộ lọc tích cực nối tiếp - song song



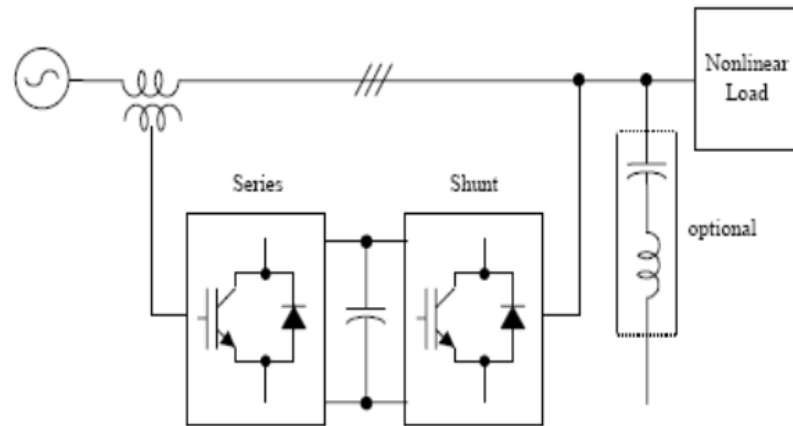
Hình 2.17. Kết hợp bộ lọc thụ động với bộ lọc tích cực nối tiếp



Hình 2.18. Kết hợp bộ lọc thụ động với bộ lọc tích cực song song

Khi kết hợp nối tiếp và bộ lọc tích cực song song ta được bộ lọc hỗn hợp, tận dụng được tính năng của cả hai loại lọc tích cực.

Bộ lọc hỗn hợp với lọc tích cực mắc nối tiếp - song song có chức năng cách ly sóng điều hòa giữa tải và nguồn, điều chỉnh điện áp, giảm dao động, giữ điện áp cân bằng. Tuy nhiên giá thành đắt và điều khiển phức tạp.



Hình 2.19. Kết hợp bộ lọc thụ động với bộ lọc tích cực nối tiếp – song song

2.6. KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

Chương 2 trình bày nguyên tắc lọc sóng hài trong lưới điện; cấu trúc của các bộ lọc thụ động, lọc tích cực, sơ đồ và các tính năng cũng như ưu, nhược điểm của từng loại lọc sóng hài.

Bộ lọc LC cho phép giảm THD tới 10%, có thể tới 5% khi phối hợp với điện kháng chặn. Song, đối với các phụ tải động có đặc tính phi tuyến tức thời luôn biến động như máy hàn, lò hồ quang... các sóng hài luôn thay đổi, do đó bộ thụ động không đáp ứng được yêu cầu khử hết sóng hài. Để khắc phục ta cần bộ lọc tích cực được điều khiển theo tín hiệu dạng sóng nguồn, dạng sóng tải và được phản ánh qua phản hồi dòng điện.

Bộ lọc tích cực cho chất lượng lọc tốt, có khả năng khử hết sóng hài trong mọi chế độ vận hành của hệ thống.

Bộ lọc hỗn hợp cũng có khả năng khử sóng hài tốt, ngoài ra nó còn giảm kinh phí đầu tư.

CHƯƠNG 3

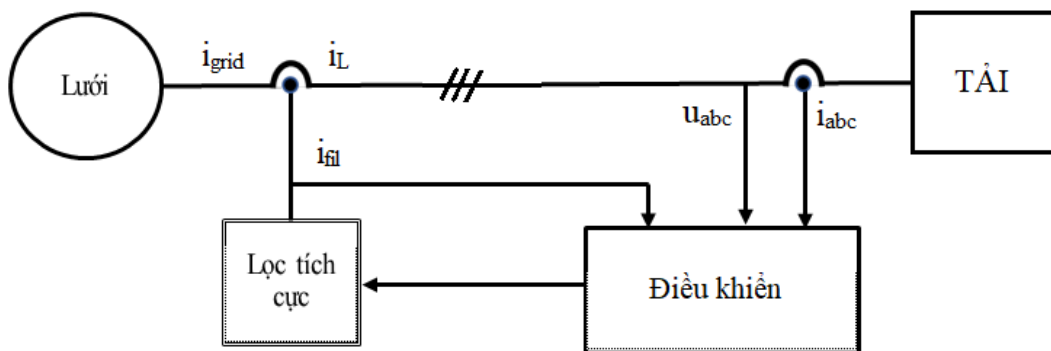
ỨNG DỤNG BỘ LỌC TÍCH CỰC ĐỂ LỌC SÓNG HÀI TRONG LƯỚI ĐIỆN

3.1. LƯỚI PHÂN PHỐI VỚI BỘ LỌC TÍCH CỰC

3.1.1. Sơ đồ khối của lọc tích cực trong lưới phân phối

Nguyên lý chung để lọc sóng hài điều hòa là thiết bị lọc sẽ tạo ra dòng bù bằng tổng dòng sóng điều hòa bậc cao nhưng ngược pha, từ đó sẽ triệt tiêu sóng điều hòa bậc cao trên dòng phía nguồn. Như vậy, vấn đề cơ bản là phải xác định được dòng bù được tạo ra bởi bộ lọc để loại bỏ các sóng điều hòa bậc cao chạy trên đường dây. Trong thực tế có nhiều phương pháp để xác định dòng bù này. Luận văn đề xuất xây dựng bộ lọc tích cực song song dựa trên lý thuyết công suất tức thời $p-q$.

Sơ đồ khối bộ lọc tích cực trong lưới điện phân phối được chỉ ra trên Hình 3.1. Giả thiết rằng, dòng điện chạy trên đường dây i_L bao gồm nhiều thành phần điều hòa do tác động của các tải phi tuyến, bộ lọc công suất tích cực sẽ đo dòng i_L và tính toán để đưa lên lưới, dòng điện bù i_{fil} sao cho dòng điện qua nguồn $i_{grid} = i_{load} + i_{fil}$ luôn là hình sin. Có nghĩa là, các nguồn hài của tải sinh ra sẽ được bù hết bằng i_{fil} .



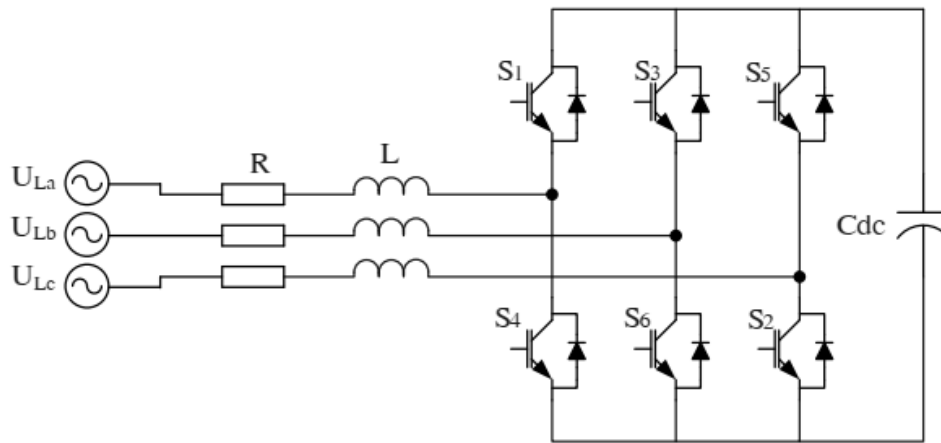
Hình 3.1. Sơ đồ khối bộ lọc tích cực trong lưới điện

Chương này sẽ đi sâu phân tích thiết kế và điều khiển bộ lọc công suất tích cực song song để lọc sóng hài trên đường dây truyền tải từ nguồn cung cấp đến tải, sao cho giảm thiểu sóng hài của dòng điện truyền tải trên đường dây. Các nội dung sẽ được trình bày trong chương này bao gồm:

- Xây dựng cấu trúc bộ lọc tích cực
- Đề xuất phương pháp điều khiển
- Mô hình hóa, mô phỏng đánh giá hệ thống

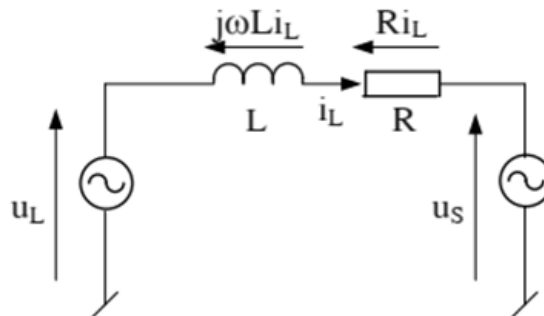
3.1.2. Sơ đồ mạch lực của lọc tích cực

Sơ đồ mạch lực bộ lọc tích cực song song được chỉ ra trên hình 3.2. Chúng gồm 6 van IGBT nối theo sơ đồ cầu 3 pha làm việc ở chế độ nghịch lưu, biến đổi điện áp một chiều trên tụ điện C_{dc} thành điện áp xoay chiều



Hình 3.2. Sơ đồ nguyên lý mạch lực của lọc tích cực

Sơ đồ thay thế 1 pha của lọc như hình 3.3.



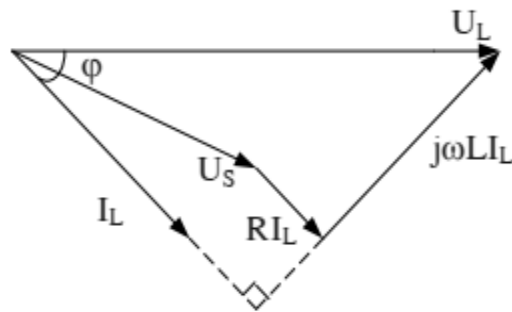
Hình 3.3. Sơ đồ thay thế 1 pha bộ lọc tích cực

Trong đó:

- R, L là điện trở và điện cảm đường dây
- u_L là điện áp lưới

- u_s là điện áp của bộ biến đổi được chuyển đổi từ điện áp trên tụ điện thông qua điều chế độ rộng xung PWM

Ta thấy rằng bộ lọc tích cực có cấu trúc phần cứng giống bộ nghịch lưu nguồn áp (VSC). Do đó, điện áp do chúng phát ra (u_s) phụ thuộc vào hệ số điều chế của VSC và điện áp trên tụ. Đồ thị véc tơ dòng điện và điện áp của sơ đồ Hình 3.3 được chỉ ra trên Hình 3.4.



Hình 3.4. Đồ thị véc tơ dòng điện và điện áp

Từ đồ thị véc tơ ta thấy điện áp rơi trên cuộn cảm L là u_1 chính là hiệu giữa điện áp nguồn u_L và điện áp của bộ biến đổi u_s : $u_{1a} = u_L - u_s$, với u_L không đổi do là điện áp nguồn do đó sẽ điều khiển được u_1 thông qua điều khiển u_s . Từ việc điều khiển được u_1 ta sẽ điều khiển được dòng điện i_L chạy trên đường dây.

3.2. ĐIỀU KHIỂN BỘ LỌC TÍCH CỰC

3.2.1. Nguyên tắc điều khiển [8, 9, 10]

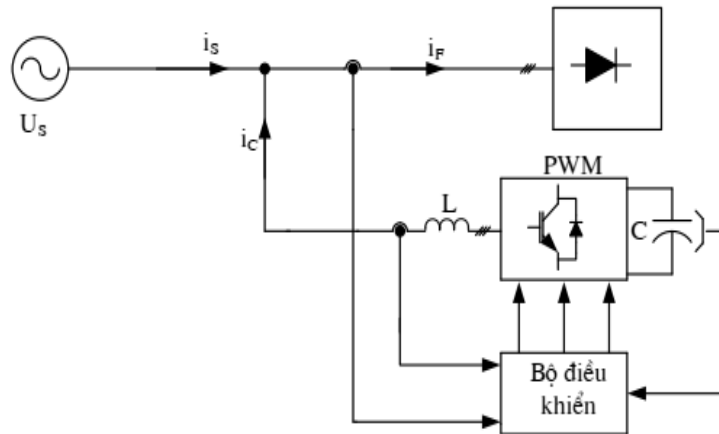
Có hai phương pháp chính để lọc sóng điều hòa bậc cao tùy thuộc vào cách mà dòng điện được đo. Hai cách này có cấu trúc điều khiển khác nhau, do đó sẽ có một số đặc điểm khác nhau.

a) Điều khiển vòng hở

Phương pháp này dựa trên việc đo thành phần dòng điện phía tải từ đó tách ra thành phần sóng điều hòa chứa trong dòng tải. Cấu trúc điều khiển vòng hở cho chỉnh lưu PWM thực hiện chức năng mạch lọc tích cực:

Theo phương pháp này thì không có thông tin phản hồi về dòng điện trên lưới. Tất cả sai lệch trong hệ thống cả trong quá trình đo và điều khiển sẽ gây ra các

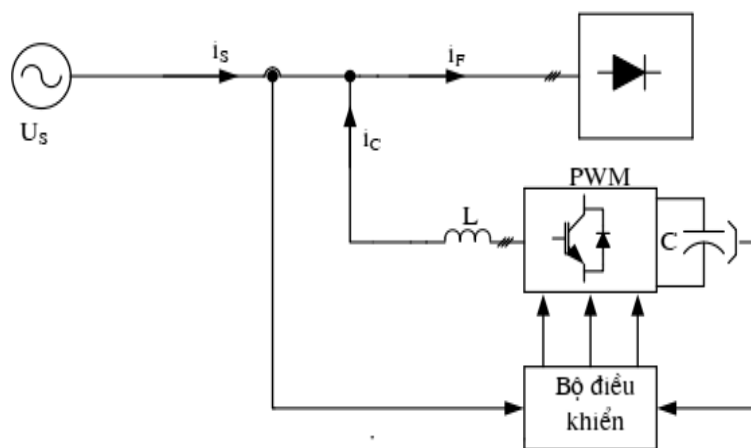
sóng điều hòa trên dòng điện lưới, các thành phần này là không xác định. Cấu trúc điều khiển này có ưu điểm là ổn định nhưng yêu cầu số cảm biến đo dòng nhiều (4 cảm biến).



Hình 3.5. Cấu trúc điều khiển vòng hở mạch lọc tích cực

b) Điều khiển vòng kín

Phương pháp này dựa trên việc đo dòng điện trên lưới từ đó xác định được dòng bù cần thiết. Theo phương pháp điều khiển vòng kín sẽ có thêm một mạch vòng điều chỉnh dòng điện lưới bên ngoài mạch vòng điều chỉnh dòng tải. Phương pháp này có ưu điểm là thuật toán điều khiển đơn giản hơn so với cấu trúc vòng hở và yêu cầu số cảm biến đo dòng ít hơn (2 cảm biến). Cấu trúc điều khiển vòng kín cho chỉnh lưu PWM thực hiện chức năng mạch lọc tích cực.



Hình 3.6. Điều khiển vòng kín

3.2.2. Phương pháp điều khiển trong miền tần số

Phương pháp này dựa trên phân tích Fourier. Trong lớp phương pháp này có 3 phương pháp chính là:

- Phương pháp biến đổi Fourier rời rạc (DFT - Discrete Fourier Transform)
- Phương pháp biến đổi Fourier nhanh (FFT - Fast Fourier Transform),
- Phương pháp biến đổi Fourier rời rạc đệ quy (RDFT - Recursive Discrete Fourier Transform).

Đối với phương pháp DFT là thuật toán biến đổi cho các tín hiệu rời rạc, kết quả của phép phân tích đưa ra cả biên độ và pha của thành phần sóng điều hòa mong muốn theo công thức:

$$\overline{X_h} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot h \cdot n}{N}\right) - j \cdot \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot h \cdot n}{N}\right)$$

Ta có thể viết dưới dạng:

$$\begin{aligned} \overline{X_h} &= X_{br} + j \cdot X_{hi} \\ |\overline{X_b}| &= \sqrt{X_{br}^2 + X_{hi}^2} \\ \varphi_h &= \arctan\left(\frac{X_{hi}}{X_{br}}\right) \end{aligned}$$

Trong đó:

- N là số mẫu trong một chu kỳ tần số cơ bản
- x(n) là tín hiệu đầu vào (dòng hoặc áp) ở thời điểm n
- X_h là vecto Fourier của sóng điều hòa bậc h của tín hiệu vào, $|X_h|$ là biên độ

của vecto X_h , φ_h là góc pha của vecto X_h

- X_{br} là phần thực của X_h
- X_{hi} là phần ảo của X_h

Mỗi thành phần điều hòa được xác định sau đó tổng hợp lại trong miền thời gian để tạo tín hiệu bù cho bộ điều khiển.

Đối với phương pháp Fast Fourier Transform (FFT) ta thực hiện theo các bước sau:

- Lấy mẫu dòng điện tải và tính toán biên độ và pha của từng thành phần sóng điều hòa (ứng với mỗi tần số khác nhau).
- Số lượng mẫu trong một chu kỳ càng lớn thì giá trị f_{\max} càng lớn.
- Tách thành phần dòng cơ bản từ dòng đầu vào. Dễ dàng thực hiện việc này bằng cách thiết lập tần số từ 0 đến 50 Hz sau đó thực hiện phép biến đổi ngược để có tín hiệu trong miền thời gian bao gồm biên độ và pha của mỗi thành phần sóng điều hòa. Việc tính toán này thực hiện trong mỗi chu kỳ của dòng chính để đảm bảo rằng FFT tính toán hoàn tất trong một chu kỳ để tránh méo do phổ tần số.
- Tổng hợp dòng bù từ các thành phần sóng điều hòa.

Ưu điểm của phương pháp FFT là có thể tác động tới từng thành phần sóng điều hòa theo ý muốn nhưng có khối lượng tính toán rất lớn

3.2.3. Phương pháp điều khiển trong miền thời gian

Phương pháp này có ưu điểm hơn là khối lượng tính toán ít hơn so với phương pháp dựa trên miền tần số. Theo lớp phương pháp này có một số phương pháp như phương pháp trên khung tọa độ dq, phương pháp dựa trên thuyết công suất tức thời p, q.

3.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH DÒNG ĐIỆN BÙ

Việc xác định dòng điện cần bù đóng vai trò quan trọng quyết định đến phương thức điều khiển và hiệu năng hoạt động của lọc tích cực. Dòng điện bù là phổ các sóng hài với biên độ và tần số khác nhau. Tùy theo cách thức thu nhận dòng điện bù trên hệ tham chiếu d, q mà ta có thể xác định toàn bộ dòng bù hoặc có thể lựa chọn từng thành phần sóng điều hòa cần bù.

3.3.1. Xác định dòng điện bù dựa trên hệ qui chiếu dq

a) Biến đổi hệ thống ba pha sang 2 pha

Để tránh điều khiển ba dòng điện/ điện áp một cách riêng biệt, người ta biến đổi hệ thống ba pha. Điều này dựa trên thực tế là trong một hệ thống 3 pha đối xứng chỉ có 2 thành phần dòng điện/ điện áp độc lập, thành phần thứ 3 được rút ra từ 2 thành phần kia. Các hệ thống này thường được gọi là khung tham chiếu

(hay hệ qui chiếu). Trong kỹ thuật đang sử dụng 2 loại khung tham chiếu là khung tham chiếu cố định và khung tham chiếu đồng bộ (quay)

+ **Khung tham chiếu (hệ qui chiếu) cố định (chuyển đổi Clarke)**

Hệ thống 3 pha được chuyển sang hệ thống 2 pha, thường được gọi là chuyển từ hệ trục abc sang hệ trục $\alpha\beta$ (hoặc $\alpha\beta 0$ khi sử dụng véc tơ zero). Cả hai hệ thống 3 pha và 2 pha đều được coi là cố định, bởi lẽ các trục bị khóa tại một vị trí, song trong chừng mực nào đó, khái niệm hệ qui chiếu cố định thường dùng để chỉ hệ qui chiếu 2 pha cố định.

Việc chuyển đổi được thực hiện bằng cách áp dụng công thức chuyển đổi Clarke, trong đó lượng 3 pha phải là giá trị pha, không phải là giá trị dây. Bằng cách đảo ngược ma trận hệ số lượng 3 pha có thể xem có chức năng như hệ 2 pha.

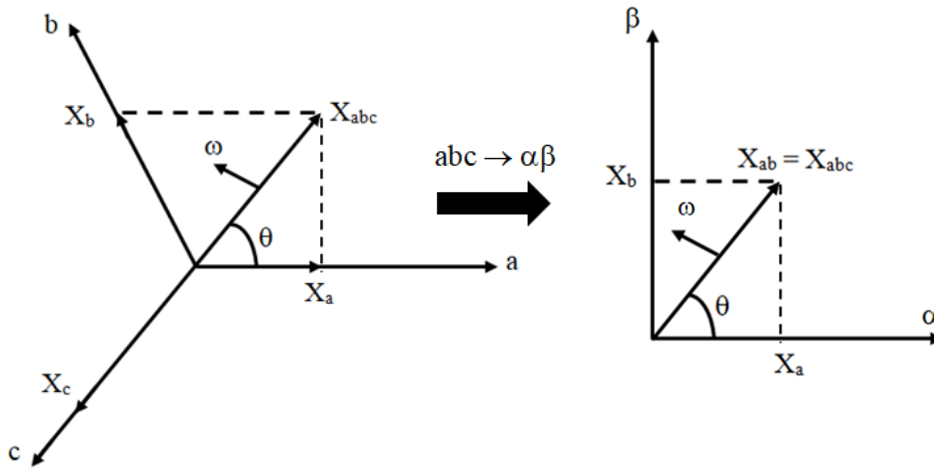
$$\begin{bmatrix} X_{\alpha} \\ X_{\beta} \\ X_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix}$$

Việc chuyển đổi được coi như sự thay đổi hệ trục tọa độ, từ hệ thống 3 trục (3 pha) sang hệ thống 2 trục (2 pha) như hình 3.7. Ta thấy rằng, trong hệ qui chiếu abc chỉ cần 2 pha là có thể xác định được véc tơ X_{abc} và do đó, nó được biểu diễn trên hệ qui chiếu 2 pha $\alpha\beta$ giống như véc tơ X_{ab} mà không bị mất thông tin. Trong hình vẽ ω là tốc độ góc của véc tơ còn θ là góc tức thời (góc pha đầu) của véc tơ. Nếu X là điện áp lưới thì ω đại diện cho tần số lưới còn θ là góc pha tức thời.

Thông thường hệ thống 3 pha được giả định là đối xứng, nên bỏ qua thành phần thứ tự không. Khi đó giá trị tức thời của công suất tác dụng và công suất phản kháng của 3 pha được xác định bởi (3-1) và (3-2)

$$p_{\alpha\beta} = \frac{3}{2} (u_{\alpha} i_{\alpha} + u_{\beta} i_{\beta}) \quad (3-1)$$

$$q_{\alpha\beta} = \frac{3}{2} (u_{\beta} i_{\alpha} - u_{\alpha} i_{\beta}) \quad (3-2)$$



Hình 3.7. Chuyển đổi từ hệ tọa độ abc sang hệ tọa độ αβ

+ Khung tham chiếu đồng bộ (Chuyển đổi Park)

Trong hệ qui chiếu này, hệ trục tọa độ không bị khóa cố định mà quay theo một véc tơ tùy ý. Vì vậy, hệ qui chiếu đồng bộ còn được gọi là hệ qui chiếu quay dq (hay dq0). Chuyển đổi này được sử dụng rộng rãi trong điều khiển động cơ điện, ở đó hệ trục quay theo vị trí roto hoặc từ thông roto. Trong hệ biến tần nối lưới nó thường được dùng để khóa các trục với điện áp hoặc dòng điện (thường là điện áp lưới). Trong hình 3.8 trục d được khóa với véc tơ X_{ab} , do đó $X_d = X_{ab}$ và $X_q = 0$. Hệ trục sẽ quay với tốc độ góc ω và có góc tức thời bằng θ (gọi tắt là hệ tham chiếu cố định).

Việc chuyển đổi được thực hiện bởi hàm chuyển đổi Park

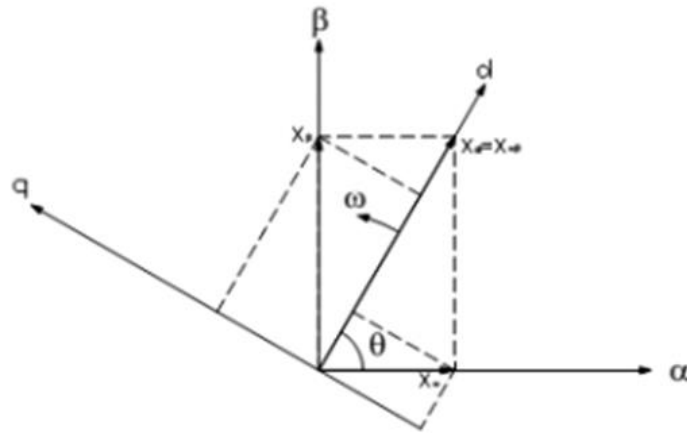
$$\begin{bmatrix} X_d \\ X_q \\ X_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_{\alpha} \\ X_{\beta} \\ X_0 \end{bmatrix}$$

Nếu hệ trục dq được khóa với điện áp lưới, các trục sẽ quay với tần số góc $2\pi f_g$ và các giá trị dq sẽ trở thành giá trị một chiều cố định. Nếu vẫn coi hệ

thống 3 pha là đối xứng, không có thành phần thứ tự không thì công suất tác dụng và công suất phản kháng được tính theo các công thức.

$$p_{dq} = \frac{3}{2} (u_d i_d - u_q i_q)$$

$$p_{dq} = \frac{3}{2} (u_q i_d - u_d i_q)$$



Hình 3.8. Chuyển đổi từ hệ qui chiếu $\alpha\beta$ sang hệ qui chiếu dq

Trong các phương trình trên cả điện áp và dòng điện đều được chuyển đổi sang hệ trục dq bằng cách sử dụng cùng một hệ qui chiếu. Khi khung tham chiếu định hướng vào véc tơ điện áp thì thành phần dòng điện trên trục d sẽ đại diện cho dòng điện trong pha với điện áp và do đó, nó đại diện cho công suất tác dụng trong mạch. Thành phần dòng điện trên trục q đại diện cho công suất phản kháng trong mạch.

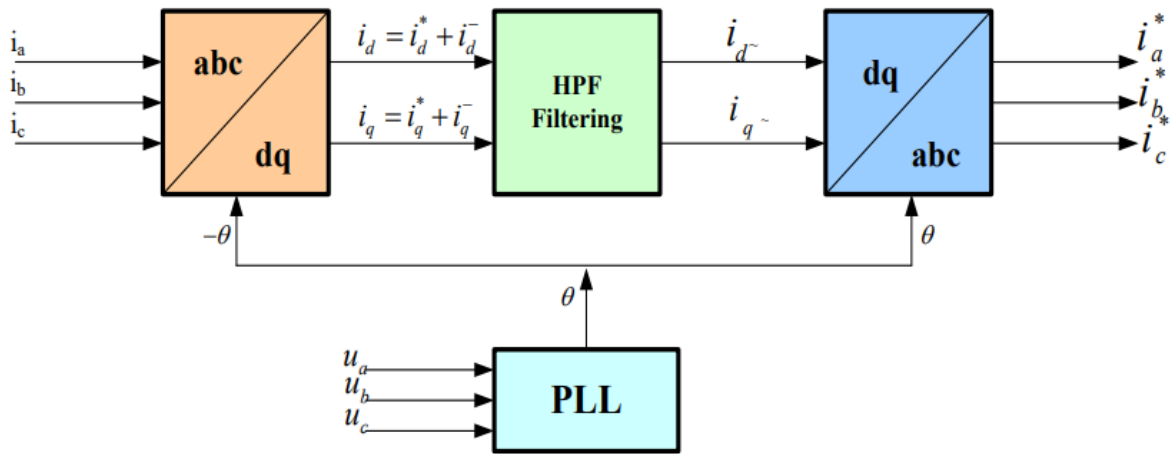
b) Phương pháp xác định toàn bộ dòng bù

Dựa trên khung tọa độ dq để tách thành phần sóng điều hòa bậc cao ra khỏi thành phần sóng cơ bản. Thuật toán phương pháp được minh họa Hình 3.9.

Phép quay khung tọa độ dq quay với góc quay của tần số cơ bản. Khi đó trong khung tọa độ dq thành phần dòng điện với tần số cơ bản được xem như thành phần dòng một chiều và các thành phần sóng hài như thành phần dòng xoay chiều. Sau đó sử dụng bộ lọc thông cao tách ra thành phần xoay chiều, thành phần này chính là thành phần của các sóng điều hòa bậc cao. Sau khi tính được dòng bù cần

thiết trong hệ dq ta cần chuyển sang hệ tọa độ chuẩn abc. Biến đổi từ dq sang abc như sau:

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ -\sin \theta & -\sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & -\sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

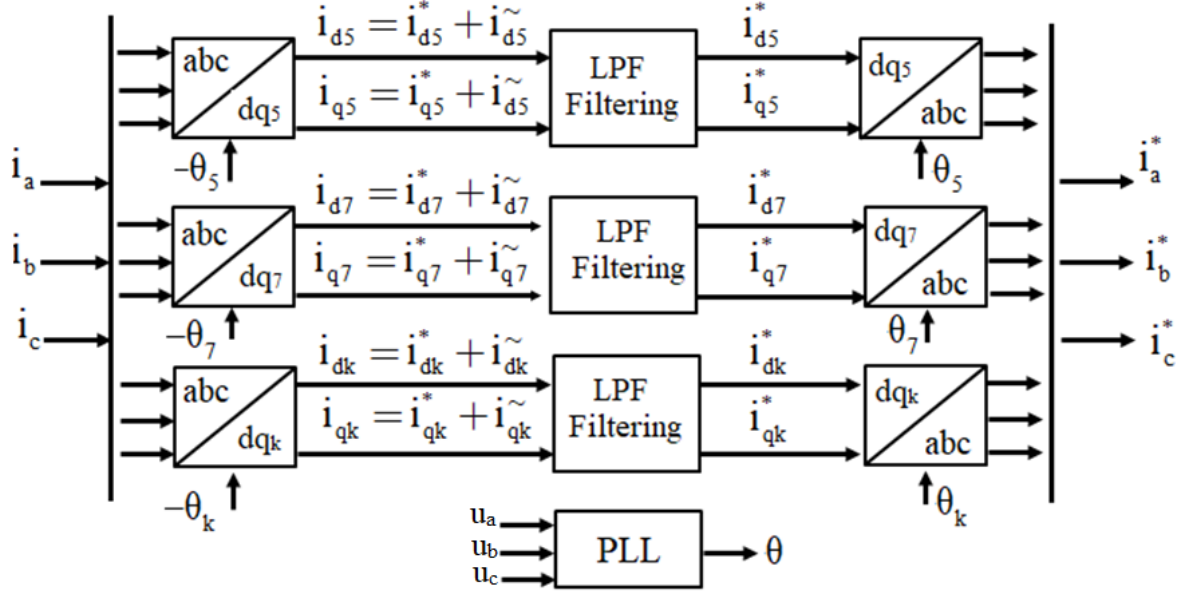


Hình 3.9. Minh họa phương pháp xác định dòng bù dq

c) Phương pháp xác định từng thành phần sóng điều hòa cần bù

Phương pháp này dựa trên cơ sở phép quay khung tọa độ. Điểm khác biệt so với phương pháp trên là từ dòng cần tách ra sóng điều hòa sẽ chuyển sang khung tọa độ dq với góc quay bằng bội số lần của góc quay thành phần cơ bản, khi đó trong khung tọa độ mới dq thành phần một chiều tương ứng với thành phần sóng điều hòa cần tách và bằng cách sử dụng bộ lọc thông thấp ta có thể tách ra được thành phần một chiều này. Sau đó, chuyển sang khung tọa độ abc theo công thức sẽ xác định được thành phần sóng điều hòa tương ứng.

Như vậy, bằng phép quay khung tọa độ với góc quay ứng với mỗi thành phần sóng điều hòa. Ưu điểm của phương pháp này là có thể tác động tới từng thành phần sóng điều hòa bậc cao muốn lọc. Hình 3.10 thể hiện thuật toán của phương pháp này.



Hình 3.10. Minh họa thuật toán lựa chọn sóng điều hòa cần bù trong hệ dq

3.3.2. Xác định dòng bù dựa trên lý thuyết công suất tức thời p, q

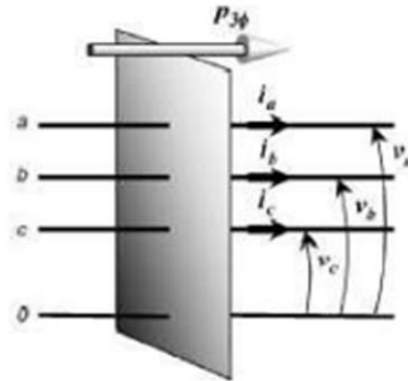
a) Lý thuyết công suất tức thời [6, 14]

Công suất tức thời $p(t)$ là tích của điện áp và dòng điện tức thời, công suất tức thời được áp dụng cho hệ 3 pha có trung tính hay không có trung tính. Công suất tức thời không chỉ có giá trị trong trạng thái ổn định mà cả trạng thái quá độ. Lý thuyết công suất tức thời linh hoạt và hiệu quả trong việc thiết kế bộ điều khiển cho các bộ điều hòa công suất dựa trên các phần tử công suất. Hình 3.11 mô tả công suất tức thời của hệ thống 3 pha 4 dây, trong đó:

$$\begin{cases} v_a(t) = \sqrt{2}V \cos(\omega t + \phi_v) \\ v_b(t) = \sqrt{2}V \cos\left(\omega t + \phi_v - \frac{2\pi}{3}\right) \\ v_c(t) = \sqrt{2}V \cos\left(\omega t + \phi_v + \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \text{ và } \begin{cases} i_a(t) = \sqrt{2}I \cos(\omega t + \phi_1) \\ i_b(t) = \sqrt{2}I \cos\left(\omega t + \phi_1 - \frac{2\pi}{3}\right) \\ i_c(t) = \sqrt{2}I \cos\left(\omega t + \phi_1 + \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases}$$

Đổi sang hệ trục tọa độ $\alpha\beta$ ta có:

$$\begin{cases} v_\alpha = \sqrt{3}V \cos(\omega t \pm \phi_v) \\ v_\beta = \sqrt{3}V \sin(\omega t + \phi_v) \end{cases} \text{ và } \begin{cases} i_\alpha = \sqrt{3}I \cos(\omega t + \phi_1) \\ i_\beta = \sqrt{3}I \sin(\omega t + \phi_1) \end{cases}$$



Hình 3.11. Dòng, áp công suất tức thời mạch 3 pha 4 dây

Biểu diễn véc tơ dòng, áp sang hệ qui chiếu $\alpha\beta$

$$v = v_a + jv_\beta \Rightarrow \begin{cases} e = \sqrt{3}V [\cos(\omega t + \phi_v) + j\sin(\omega t + \phi_v)] \\ e = \sqrt{3}Ve^{j\sqrt{3}(\omega t + \alpha)} \end{cases}$$

$$i = i_a + ji_\beta \Rightarrow \begin{cases} i = \sqrt{3}I [\cos(\omega t + \phi_1) + j\sin(\omega t + \phi_1)] \\ i = \sqrt{3}Ve^{j\sqrt{3}(\omega t + \phi_1)} \end{cases}$$

Công suất biểu kiến tức thời là:

$$s = vi^* = (v_a + jv_\beta) \cdot (i_a - ji_\beta) = (v_a i_a + v_\beta i_\beta) + j(v_\beta i_a - v_a i_\beta) = p + jq$$

Trong đó:

$p = v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta$ là công suất hiệu dụng tức thời

$p = v_\beta i_\alpha - v_\alpha i_\beta$ là công suất phản kháng tức thời

Mặt khác, ta có công suất tác dụng và công suất phản kháng của mạch 3 pha được tính:

$$p = 3VI \cos \phi \text{ với } \phi = \phi_v - \phi_1$$

$$p = 3VI \sin \phi \text{ với } \phi = \phi_v - \phi_1$$

Trên cơ sở lý thuyết p-q của mạch 3 pha, ta phát triển tính toán với trường hợp tổng quát với hàm điện áp và dòng điện là khai triển của một chuỗi Fourier:

$$v_k(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_{kn} \sin(\omega_n t + \phi_{kn}) \quad k = (a, b, c)$$

$$i_k(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_{kn} \sin(\omega_n t + \phi_{kn}) \quad k = (a, b, c)$$

n là bậc của sóng hài, khi $n = 1$ ta có sóng điều hòa cơ bản

Lý thuyết công suất tức thời cho phép phân tích công suất trong hệ thống 3 pha thành 2 thành phần:

$$p = P + \tilde{p}$$

$$q = Q + \tilde{q}$$

Trong đó:

- P, Q là công suất tác dụng và công suất phản kháng ứng với điều hòa cơ bản.

- \tilde{p}, \tilde{q} là công suất tác dụng và phản kháng tương ứng với các sóng hài.

Các công suất này được tính như sau:

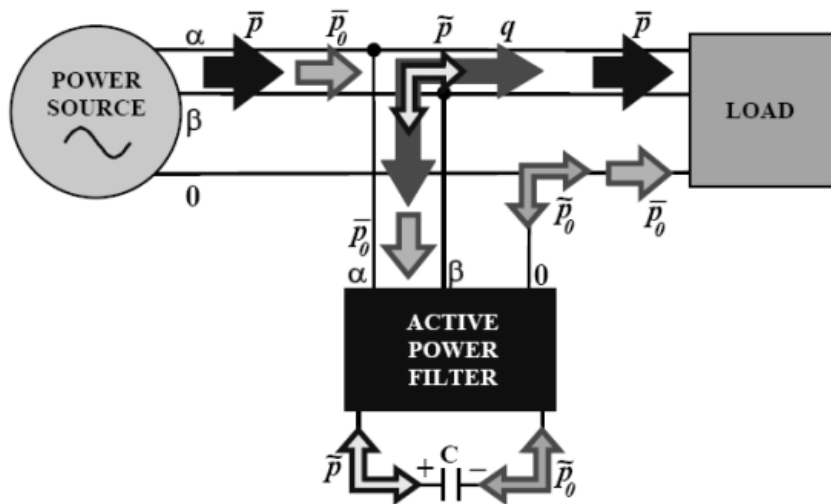
$$\tilde{p} = \sum_{n=1}^{\infty} 3V_{+n} I_{+n} \cos(\phi_{+n} - \delta_{+n}) + \sum_{n=1}^{\infty} 3V_{-n} I_{-n} \cos(\phi_{-n} - \delta_{-n})$$

$$\tilde{q} = \sum_{n=1}^{\infty} 3V_{+n} I_{+n} \sin(\phi_{+n} - \delta_{+n}) + \sum_{n=1}^{\infty} 3V_{-n} I_{-n} \sin(\phi_{-n} - \delta_{-n})$$

$$\begin{aligned} \tilde{p} = & \left\{ \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^{\infty} \left[\sum_{n=1}^{\infty} 3V_{+m} I_{+n} \sin \left(\omega_m - \omega_n t + \phi_{+m} - \delta_{+n} \right) \right] \right. \\ & + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^{\infty} \left[\sum_{n=1}^{\infty} -3V_{-m} I_{-n} \sin \left(\omega_m - \omega_n t + \phi_{-m} - \delta_{-n} \right) \right] \\ & + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^{\infty} \left[\sum_{n=1}^{\infty} -3V_{+m} I_{-n} \sin \left(\omega_m + \omega_n t + \phi_{+m} + \delta_{-n} \right) \right] \\ & \left. + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^{\infty} \left[\sum_{n=1}^{\infty} -3V_{-m} I_{+n} \sin \left(\omega_m + \omega_n t + \phi_{-m} + \delta_{+n} \right) \right] \right\} \end{aligned}$$

$$\tilde{q} = \left\{ \begin{aligned} & \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^{\infty} \left[\sum_{n=1}^{\infty} 3V_{+m} I_{+n} \sin \left(\omega_m - \omega_n t + \phi_{+m} - \delta_{+n} \right) \right] \\ & + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^{\infty} \left[\sum_{n=1}^{\infty} -3V_{-m} I_{-n} \sin \left(\omega_m - \omega_n t + \phi_{-m} - \delta_{-n} \right) \right] \\ & + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^{\infty} \left[\sum_{n=1}^{\infty} -3V_{+m} I_{-n} \sin \left(\omega_m + \omega_n t + \phi_{+m} + \delta_{-n} \right) \right] \\ & + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^{\infty} \left[\sum_{n=1}^{\infty} -3V_{-m} I_{+n} \sin \left(\omega_m + \omega_n t + \phi_{-m} + \delta_{+n} \right) \right] \end{aligned} \right\}$$

b) Nguyên tắc xác định dòng bù dựa trên công suất tức thời



Hình 3.12. Mô hình bộ lọc tích cực theo lý thuyết công suất tức thời

Các bước thực hiện thuật toán:

- Tính dòng điện và điện áp trong hệ tọa độ quay $\alpha\beta$ từ i_{abc} và u_{abc} theo công thức chuyển đổi Park.

Công suất tức thời được tính:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ -u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix}$$

Công suất này có thể tách làm 2 thành phần:

- Thành phần một chiều P, Q tương ứng với thành phần cơ bản của dòng điện tải
- Thành phần ứng với các điều hòa bậc cao \tilde{p}, \tilde{q}

$$\text{Ta có: } \begin{cases} p = P + \tilde{p} \\ q = Q + \tilde{q} \end{cases}$$

Nguồn điện sẽ cung cấp thành phần công suất một chiều P, Q (công suất tác dụng và phản kháng 3 pha), mạch lọc có nhiệm vụ cung cấp thành phần công suất ứng với các điều hòa cao \tilde{p}, \tilde{q} . Công suất cung cấp bởi mạch lọc là:

$$\begin{cases} p_{AF} = \tilde{p} \\ q_{AF} = \tilde{q} \end{cases}$$

Dòng điện bù được tính theo công thức:

$$\begin{bmatrix} i_{ca}^* \\ i_{cb}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{u_\alpha^2 + u_\beta^2} \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ -u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\tilde{p} \\ -\tilde{q} \end{bmatrix}$$

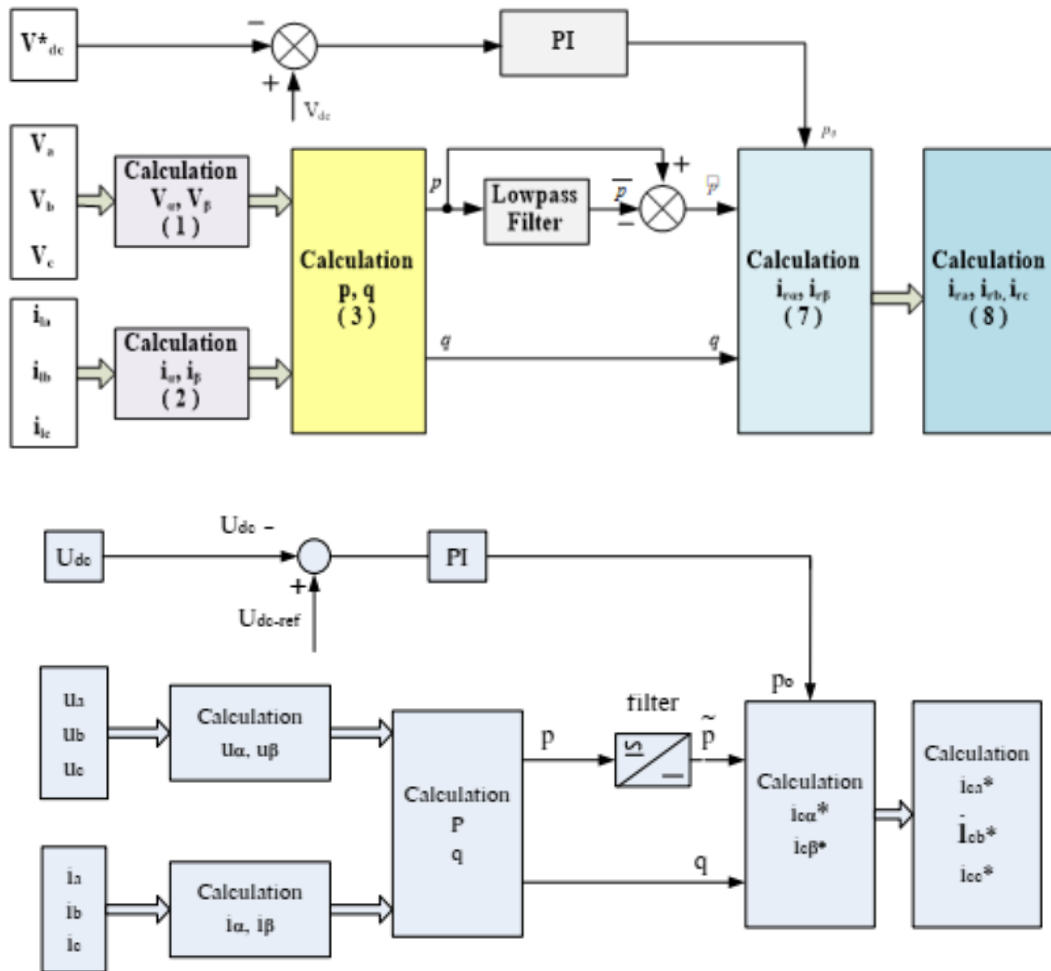
Chú ý: Khi mạch lọc làm việc điện áp trên tụ luôn biến động. Vì vậy, ta cần có mạch duy trì điện áp không đổi trên tụ điện, nghĩa là trong công thức tính toán dòng bù cần thêm chức năng bù công suất phản kháng

$$\begin{bmatrix} i_{ca}^* \\ i_{cb}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{u_\alpha^2 + u_\beta^2} \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ -u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\tilde{p} + p_0 \\ -\tilde{q} \end{bmatrix}$$

Từ đó ta tính được dòng điện bù trong hệ qui chiếu abc

$$\begin{bmatrix} i_{ca}^* \\ i_{cb}^* \\ i_{cc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ca}^* \\ i_{cb}^* \end{bmatrix}$$

Thuật toán tính dòng điện bù được minh họa như hình 3.13



Hình 3.13. Minh họa thuật toán chọn dòng điện bù theo lý thuyết p, q

Như vậy bằng cách sử dụng thuyết p, q ta đã xác định được dòng bù cần thiết, từ đó xây dựng cấu trúc điều khiển cho bộ lọc song song. Theo phương pháp sử dụng thuyết p,q để tính toán dòng bù cần thiết cho chức năng lọc sóng điều hòa bậc cao và bù công suất phản kháng có hạn chế là điện áp trong tính toán yêu cầu phải sin và cân bằng. Nếu điều này không được thỏa mãn thì bản thân thuyết p,q không còn đúng nữa. Giải pháp để khắc phục hiện tượng điện áp lưới không sin hoặc mất cân bằng có hai cách là:

* **Cách thứ nhất** là lọc bỏ thành phần sóng điều hòa trong điện áp lưới trước khi đưa vào tính toán. Giải pháp này thường được sử dụng khi sóng điều hòa điện áp có tần số cao và khi lọc thành phần điều hòa không làm thay đổi góc pha của

điện áp. Hơn nữa, giải pháp này chỉ đáp ứng tốt khi không có thành phần thứ tự nghịch. Đây là hạn chế của giải pháp này.

* **Cách thứ hai** người ta thường sử dụng đó là dùng mạch PLL (Phase-locked loop) để xác định thành phần cơ bản của điện áp tại điểm kết nối. Ngoài ra, khi sử dụng thuyết p-q để thực hiện thuật toán điều khiển thiết bị lọc sóng điều hòa bậc cao và bù công suất phản kháng còn xuất hiện thành phần dòng điện ảo. Tất nhiên, thành phần dòng ảo có thể bị triệt tiêu nếu như lọc với đặc tính giống nhau tức là thành phần này chỉ xuất hiện khi trong quá trình tính toán dòng bù chuẩn ta chỉ bù p % hoặc q % hoặc chỉ bù q. Khi tính toán dòng bù cho cả p % và q % thì sẽ triệt tiêu được thành phần dòng ảo này.

3.4. XUNG ĐIỀU KHIỂN BỘ NGHỊCH LƯU TRONG AF

Thành phần cơ bản nhất của lọc tích cực là bộ nghịch lưu nguồn áp, chúng có nhiệm vụ tạo ra tập hợp các sóng hài có cùng biên độ nhưng ngược pha với sóng hài cùng bậc của dòng điện tải.

Để điều khiển hoạt động của bộ nghịch lưu ta sử dụng phương pháp **Điều chế độ rộng xung (PWM - Pulse Width Modulation)**.

PWM được ứng dụng nhiều trong điều khiển. Điển hình nhất mà chúng ta thường hay gặp là điều khiển động cơ và các bộ xung áp, điều áp... Sử dụng PWM điều khiển độ nhanh, chậm của động cơ hay cao hơn nữa, nó còn được dùng để điều khiển sự ổn định tốc độ động cơ. Ngoài lĩnh vực điều khiển hay ổn định tải thì PWM còn tham gia vào điều chế các mạch nguồn như: boot, buck, nghịch lưu 1 pha và 3 pha...

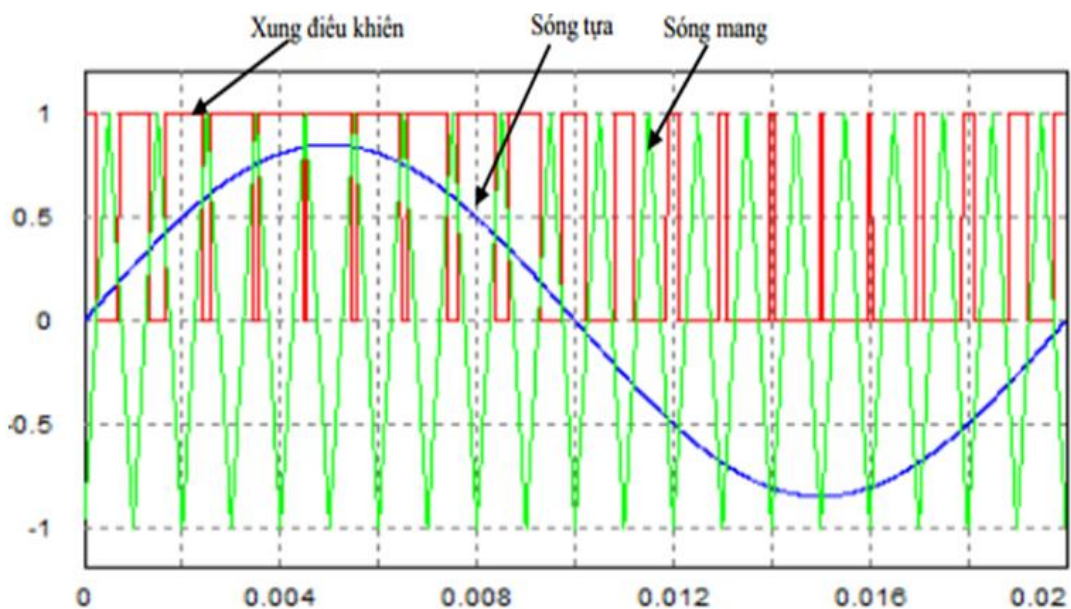
PWM còn gặp nhiều trong thực tế ở các mạch điện điều khiển. Điều đặc biệt là PWM chuyên dùng để điều khiển các phân tử điện tử công suất có đường đặc tính là tuyến tính khi có sẵn 1 nguồn 1 chiều cố định. Như vậy, PWM được ứng dụng rất nhiều trong các thiết bị điện - điện tử.

Các bộ điều chế độ rộng xung là bộ điều khiển điện áp vòng hở, các phương pháp phổ biến nhất để điều chế độ rộng xung là:

- Điều chế độ rộng xung dựa trên sóng mang (CB-PWM- Carrier Based Pulse Width);
- Điều chế véc tơ không gian (SVM -Space Vecto Modulation);
- Điều chế độ rộng xung dựa trên băng trễ.

3.4.1. Điều chế độ rộng xung dựa trên sóng mang (CB-PWM)

Đây là cách phổ biến nhất để điều chế tín hiệu chuyển mạch (Hình 3.14). Phương pháp này có thể chia thành phương pháp điều chế độ rộng xung hình sin và phương pháp điều chế độ rộng xung dựa trên sóng mang với chuỗi tín hiệu zero (ZSS - Zero Sequence Signal). Đối với điều chế độ rộng xung hình sin (SPWM), tín hiệu tham chiếu hình sin được so sánh với sóng mang tam giác có tần số cao để tạo ra tín hiệu logic điều khiển các chuyển mạch. Trong khi đó, phương pháp ZSS được dựa trên SPWM với việc bổ sung tín hiệu thứ tự zero của sóng hài tần số bậc 3.



Hình 3.14. Điều chế độ rộng xung dựa trên sóng mang hình sin

Việc đưa thêm sóng hài bậc 3 không làm biến dạng điện áp pha hoặc giá trị trung bình của dòng điện tải. Tuy nhiên, nó mở rộng vùng hoạt động tuyến tính, làm giảm tần số chuyển mạch trung bình và làm giảm sóng hài dòng điện. Phương pháp ZSS có thể chia thành điều chế liên tục và điều chế gián đoạn, tiêu

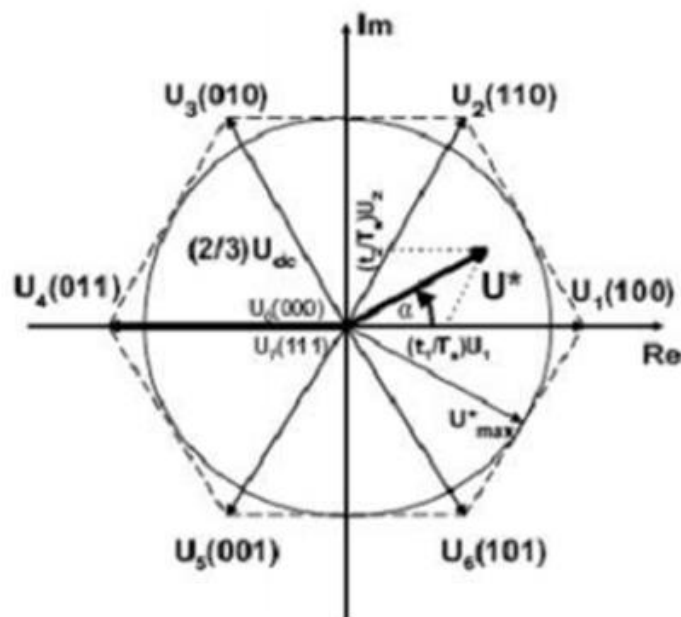
biểu của phương pháp điều chế liên tục là phương pháp ZSS hình sin, đôi khi sử dụng ZSS tam giác.

Nguyên tắc tạo ra tín hiệu chuyển mạch được chỉ ra trên hình 3.14, trong đó tín hiệu mang tam giác được so sánh với điện áp tham chiếu hình sin đại diện cho điện áp pha. Nếu tín hiệu sin lớn hơn sóng mang, chuyển mạch sẽ mở và nếu tín hiệu hình sin nhỏ hơn, chuyển mạch sẽ đóng.

3.4.2. Điều chế véc tơ không gian (SVM)

SVM là phương pháp dựa trên biểu diễn véc tơ không gian của chuyển đổi bên điện áp xoay chiều AC, chỉ ra sự khác biệt giữa SVM và CB-PWM ở việc xử lý các lượng 3 pha. CB-PWM hoạt động trong các điều kiện của các thành phần 3pha tự nhiên, trong khi đó SVM sử dụng véc tơ chuyển đổi nhân tạo.

Với biên tần 3 pha 2 mức có 8 trạng thái chuyển mạch, gồm 6 trạng thái chuyển mạch hoạt động và 2 trạng thái chuyển mạch bằng không. Có nhiều phương pháp khác nhau để tạo ra mẫu chuyển mạch, sự khác biệt duy nhất giữa chúng là vị trí véc tơ zero. Các trạng thái chuyển mạch khác nhau được biểu diễn trên Hình 3.15.



Hình 3.15. Biểu diễn véc tơ không gian của điện áp ra

Phương pháp phổ biến nhất là SVM 3 pha với sự phân bố đối xứng của các véc tơ zero. Phương pháp này tương đương với phương pháp CB-PWM với ZSS tam giác gồm 1/4 biên độ và có hàm lượng sóng hài gần như bằng với CB-PWM với ZSS hình sin. Nó rất dễ dàng thực hiện trong bộ vi xử lý và đó là sự lựa chọn tự nhiên của SVM.

Hai kỹ thuật khác của SVN là điều chế véc tơ với $V_{N0} = 0$ (điện áp giữa trung tính chuyển đổi và trung tính lưới bằng không, tương đương với sine PWM) và điều chế véc tơ với điều hòa bậc 3 (tương đương với CB-PWM với ZCC hình sin) nhưng dễ thực hiện hơn so với CB-PWM. Điều chế véc tơ không gian 2 pha là một phương pháp khác, nó tương đương với CB-PWM không liên tục với ZSS (DPWM). Phương pháp này sẽ chỉ có 1 trạng thái zero trong thời gian lấy mẫu, và do đó tốt nhất là sử dụng ở các tỉ lệ điều chế cao. Điện áp dây cực đại đối với SVPWM và cũng vậy đối với PWM2 pha là:

$$U_{LL-SVPWM} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{DC} = 0,707 U_{DC}$$

Ngoài ra còn một số biến thể của SVM gọi là SVM thích nghi (ASVM), nó kết hợp các SVM khác nhau thành một giải pháp chung. Phương pháp này cho phạm vi điều khiển đầy đủ bao gồm quá điều chế và sáu bước hoạt động (hoạt động sóng vuông), hiệu quả của biến tần cao hơn, song biến tần sẽ chủ yếu hoạt động ở vùng tuyến tính trên của điều chế, vì vậy phương pháp này không được quan tâm. Việc tạo ra tín hiệu chuyển mạch đối với SVM dựa trên cơ sở toán học, nó thực hiện dễ dàng trong vi xử lý.

3.4.3. Điều chế độ rộng xung dựa trên bảng trể

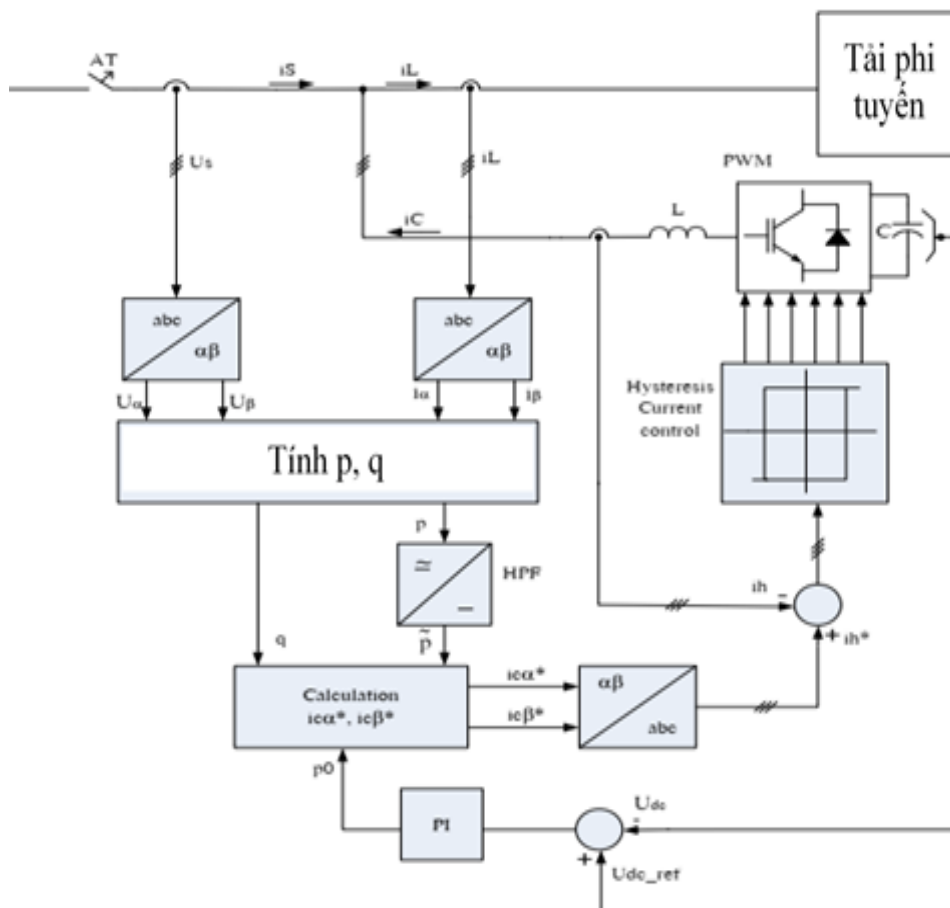
Đây là phương pháp được sử dụng trong luận văn này

a) Sơ đồ nguyên lý điều khiển

Sơ đồ cấu trúc điều khiển như hình 3.16

Nguồn một chiều cấp cho nghịch lưu có thể cấp trực tiếp từ nguồn một chiều hoặc từ tụ điện. Trong thực tế, người ta thường sử dụng tụ điện để tạo điện áp một chiều cấp cho bộ nghịch lưu.

Để đảm bảo điện áp một chiều cấp cho nghịch lưu có giá trị ổn định, ta sử dụng vòng điều khiển điện áp. Điện áp trên tụ được đo và so sánh với giá trị điện áp tham chiếu, sai lệch của hai tín hiệu này được đưa vào bộ điều khiển, tín hiệu ra của bộ điều khiển được sử dụng để tính toán dòng bù cần thiết để loại bỏ sóng điều hòa bậc cao và bù công suất phản kháng. Dòng bù này được coi như là tín hiệu chuẩn và dòng điện phát ra bởi bộ nghịch lưu phải đảm bảo bám theo dòng này. Để thực hiện việc này có thể có nhiều cách nhưng phương pháp điều khiển bang-bang (hysteresis current control) là phương pháp điều khiển được sử dụng phổ biến bởi những ưu điểm của nó như đáp ứng dòng điện nhanh, chính xác, đơn giản và dễ thực hiện.



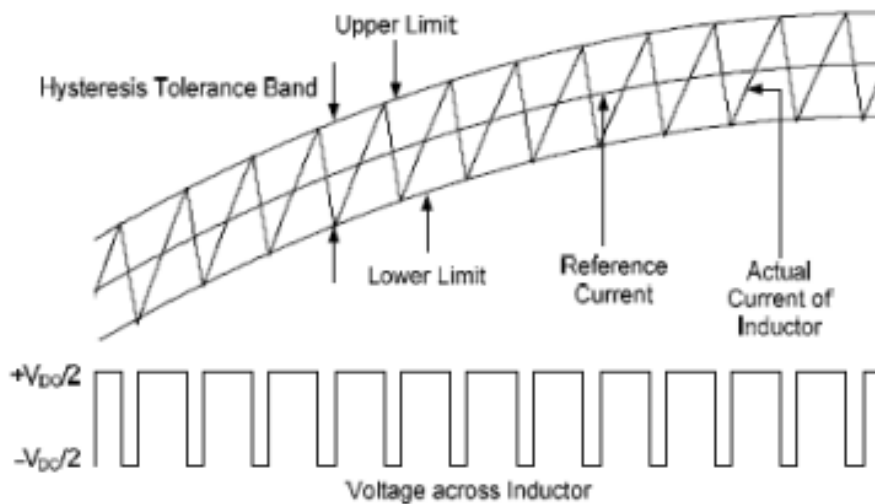
Hình 3.16. Nguyên lý điều khiển PWM cho AF

Đầu vào của bộ điều khiển này được lấy từ sai lệch khi so sánh dòng thực và dòng chuẩn từ đó tạo ra xung đóng cắt bộ nghịch lưu để đảm bảo dòng bù cấp từ bộ

ngịch lưu bám theo dòng bù chuẩn được tính từ thuyết p-q tức thời. Tiếp theo, ta xem xét nguyên lý hoạt động của bộ điều khiển bang-bang. Nguyên lý điều khiển dòng theo phương pháp bang-bang.

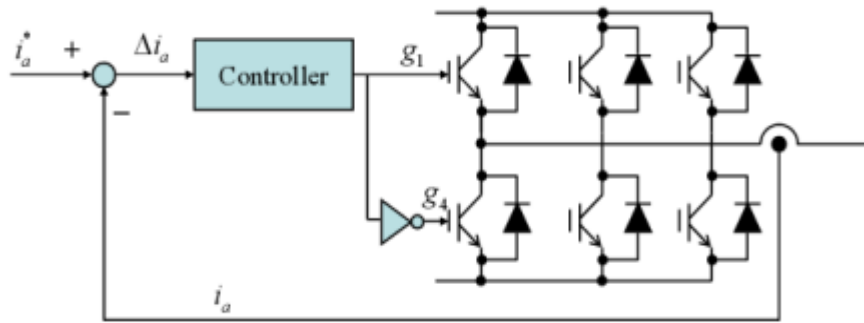
b) Phương pháp điều khiển

Cơ sở của phương pháp điều khiển băng trễ (hysteresis current control) là phương pháp điều khiển dựa trên việc điều khiển dòng điện thực bám theo dòng điện chuẩn. Theo đó, một băng sai lệch sẽ được thiết lập với việc đặt sai lệch giới hạn trên và sai lệch giới hạn dưới, và mục đích của phương pháp điều khiển này là làm sao cho dòng thực bám theo dòng chuẩn và nằm trong cùng dung sai này. Độ rộng băng sẽ bằng hai lần sai lệch, sai lệch là hiệu giữa dòng giới hạn trên với dòng chuẩn hoặc của dòng chuẩn với dòng giới hạn dưới. Sự chuyển mạch của các van theo nguyên tắc này như sau (Hình 3.17):



Hình 3.17. Nguyên lý điều khiển băng trễ

- Khi sai lệch nằm trong băng sai lệch thì sẽ không có sự chuyển mạch nào.
- Khi dòng vượt qua giới hạn trên thì bộ nghịch lưu sẽ chuyển mạch sao cho dòng giảm xuống để sai lệch nằm trong vùng cho phép và ngược lại, khi dòng giảm xuống nhỏ hơn giới hạn dưới thì bộ nghịch lưu chuyển mạch để dòng tăng lên. Để rõ hơn ta phân tích sự chuyển mạch của bộ nghịch lưu với dòng pha A:

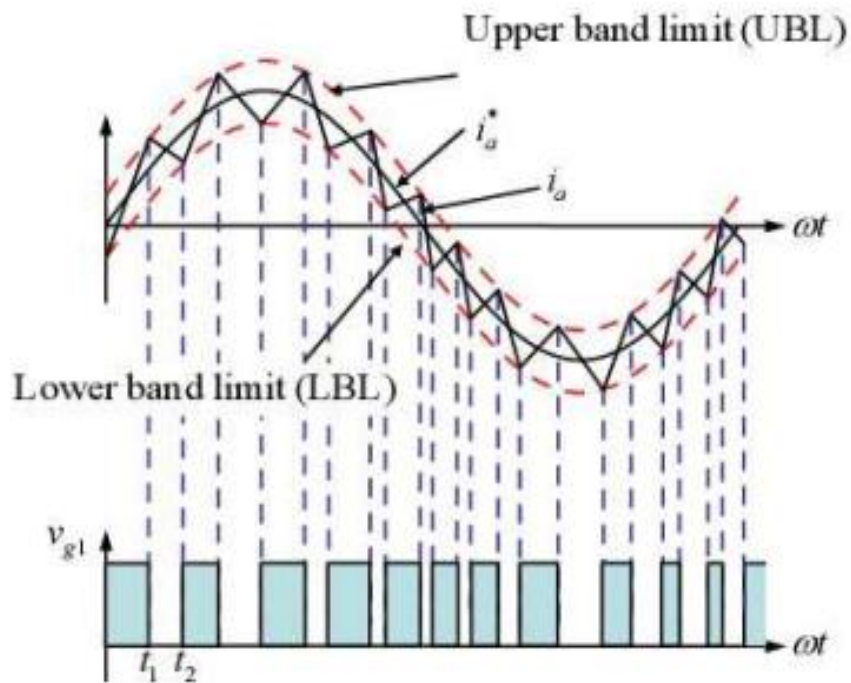


Hình 3.18. Điều khiển phát xung pha A của AF

Trong đó : i_a là dòng thực pha A

i_a^* là dòng đặt pha A

Δi_a là sai lệch giữa dòng thực và dòng đặt



Hình 3.19. Nguyên tắc tạo xung điều khiển pha A

Khi dòng thực gia tăng dần tới dòng giới hạn trên thì $v_{g1} = "1"$ do đó T_1 dẫn trong khoảng thời gian t_1 , khi đó dòng i_a tăng. Ở thời điểm t_1 thì i_a tiến tới giới hạn trên $\diamond v_{g1} = 0, v_{g4} = 1$ do đó T_4 dẫn trong khoảng thời gian t_2 . Tại thời điểm t_2 thì i_a tiến tới giới hạn dưới $\diamond v_{g1} = 0, v_{g4} = 1$, do đó T_1 dẫn, dòng i_a lại tăng lên và quá

trình lại lặp lại như ban đầu, T_1 và T_4 liên tục đóng cắt để dòng thực i_a nằm trong băng giới hạn trên và dưới.

Theo phương pháp điều khiển này thì:

- Điều chỉnh tần số dòng đặt sẽ điều chỉnh được tần số dòng thực
- Biên độ của dòng thực được điều chỉnh thông qua biên độ của dòng đặt
- Khi độ rộng của băng giảm thì dòng được điều chỉnh sẽ bám theo dòng đặt mịn hơn, tuy nhiên khi đó thì tần số đóng cắt tăng lên.

- Khi dòng đặt là sin thì dòng thực cũng sin nhưng xuất hiện một số sóng hài bậc cao, tuy nhiên có thể dễ dàng loại bỏ bằng việc sử dụng các bộ lọc LC ở đầu ra bộ nghịch lưu. Phương pháp này có ưu điểm là đơn giản, dễ thực hiện, đáp ứng nhanh tuy nhiên bất lợi lớn nhất của phương pháp này là tần số chuyển mạch của van bán dẫn không xác định và thay đổi theo tải. Ngoài ra, do phương pháp điều khiển dòng điện này không có sự phối hợp điều khiển giữa quá trình điều khiển dòng giữa các pha. Do đó, không có khả năng điều khiển vectơ không và tổn hao do đóng ngắt lớn khi chỉ số điều chế thấp.

3.5. MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG CỦA AF TRONG LƯỚI ĐIỆN HẠ ÁP

Để thấy rõ hoạt động và hiệu năng của bộ lọc tích cực, trong phần này sẽ tiến hành mô hình hóa và phỏng bộ lọc tích cực cho lưới hạ áp trên **Simcape** của phần mềm **Matlab-Simulink**.

3.5.1. Lưới điện với tải phi tuyến khi không có lọc

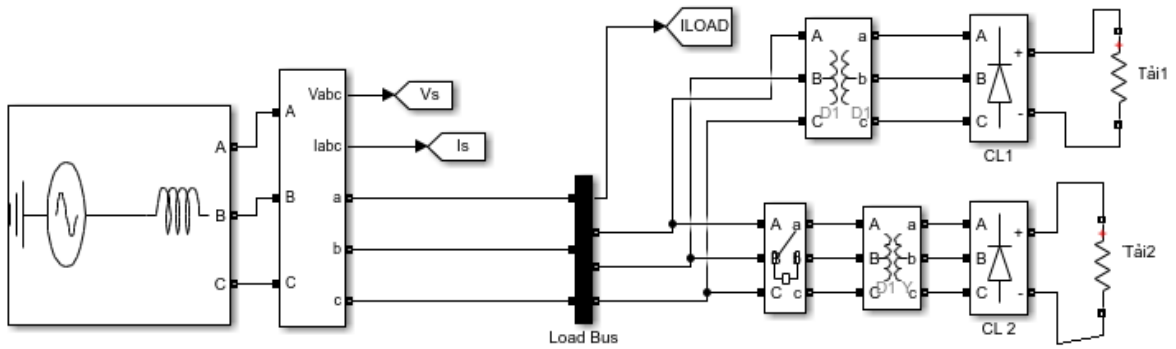
Xét một nhánh của lưới điện hạ áp có sơ đồ mô phỏng khi chưa sử dụng bộ lọc như trên Hình 3.20.

Trong sơ đồ lưới điện 3 pha cung cấp cho tải phi tuyến là các bộ chỉnh lưu cầu 3 pha không điều khiển với tải thuần trở. Do tính phi tuyến của tải nên dòng điện chạy trên đường dây bao gồm nhiều thành phần điều hòa. Các thông số của đường dây như sau:

- Nguồn điện 3 pha có điện áp pha 220V, tần số 50Hz, điện trở nguồn bằng $0,09\Omega$, điện cảm pha $L = 16.10^{-3}H$.

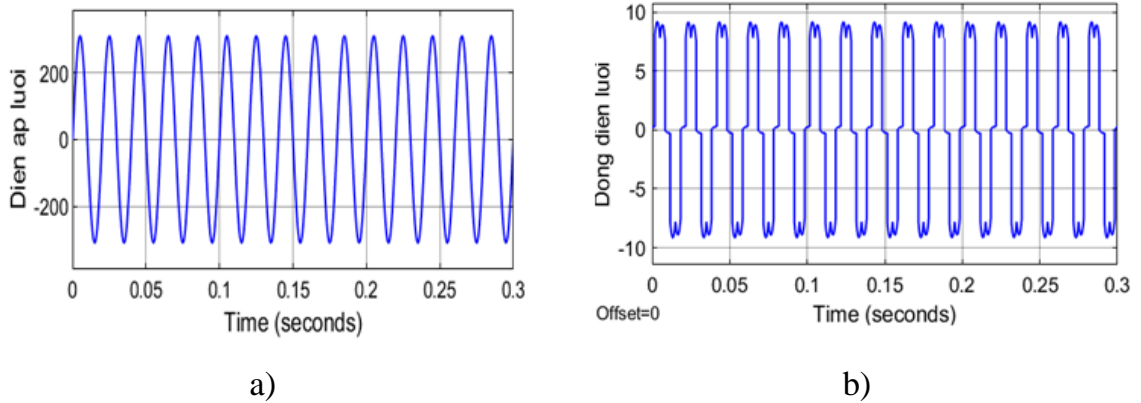
- Tải 1 là bộ chỉnh lưu cầu 3 pha không điều khiển, công suất 10kW

- Tải 2 là bộ chỉnh lưu cầu 3 pha không điều khiển, công suất 20kW

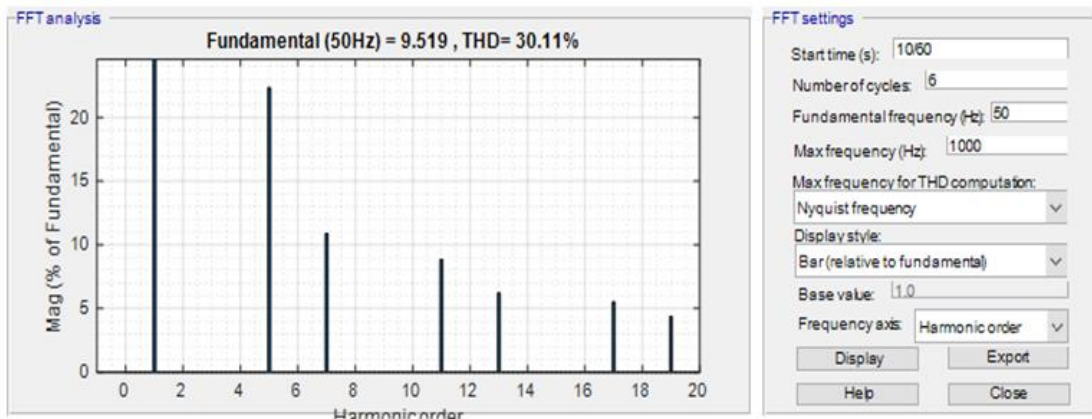


Hình 3.20. Sơ đồ mô phỏng lưới điện khi không có lọc

Kết quả mô phỏng thu được sóng điện áp trên đường dây như Hình 3.21a, dòng điện chạy trên đường dây đến tải như Hình 3.21b, phân tích phổ thu được THD =30,11% (Hình 3.22).



Hình 3.21. Dạng sóng điện áp pha và dòng điện trên đường dây



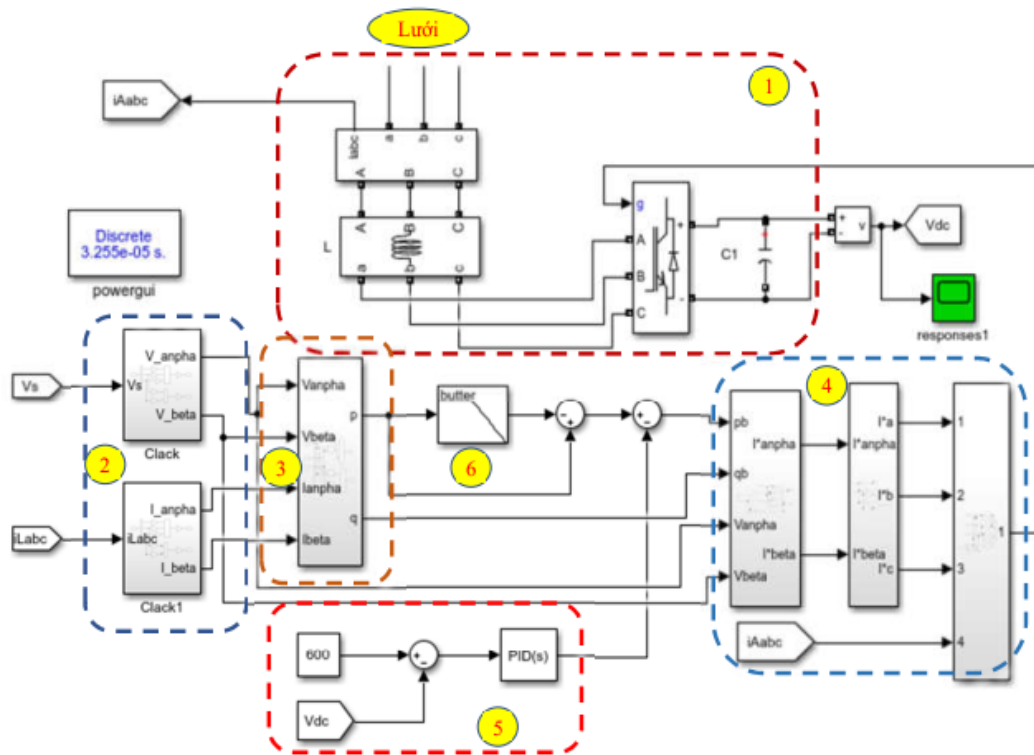
Hình 3.22. Kết quả phân tích phổ sóng

Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng, do tác động của tải phi tuyến dòng điện chạy trên đường dây bị méo dạng đáng kể, mặc dù điện áp nguồn phát là hình sin. Hệ số TDH lên tới 30,11% → không đảm bảo yêu cầu kỹ thuật. Do đó, cần phải dùng lọc sóng hài để giảm THD xuống dưới 6,5% theo qui định.

3.5.2. Cấu trúc và thông số bộ lọc tích cực

Sơ đồ khối mô phỏng lọc tích cực như hình 3.23, bao gồm các khối chính sau:

- Khối mạch nghịch lưu nguồn áp ① bao gồm 6 tranzitor trường IGBT mắc theo sơ đồ cầu, nguồn cung cấp cho nghịch lưu là điện áp trên tụ điện C_1 có dung lượng bằng $10^{-3}F$.
- Khối ② chuyển đổi điện áp và dòng điện từ khung tham chiếu abc sang khung tham chiếu $\alpha\beta$
- Khối ③ có chức năng chuyển đổi tín hiệu từ khung tham chiếu $\alpha\beta$ sang khung tham chiếu dq
- Khối ④ Sử dụng phương pháp điều khiển băng trễ và lý thuyết công suất tức thời để tạo tín hiệu điều khiển nghịch lưu.
- Khối ⑤ có chức năng duy trì ổn định điện áp trên tụ điện (Trong luận văn mong muốn điện áp trên tụ điện duy trì ổn định tại giá trị 600V)
- Khối ⑥ là bộ lọc thông cao ngăn thành phần cơ bản

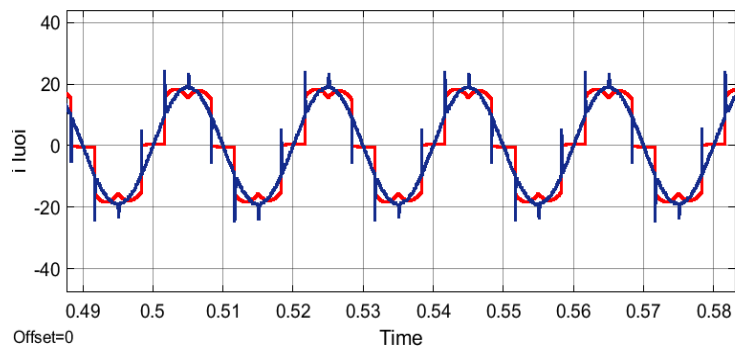


Hình 3.23. Sơ đồ mô phỏng lọc tích cực

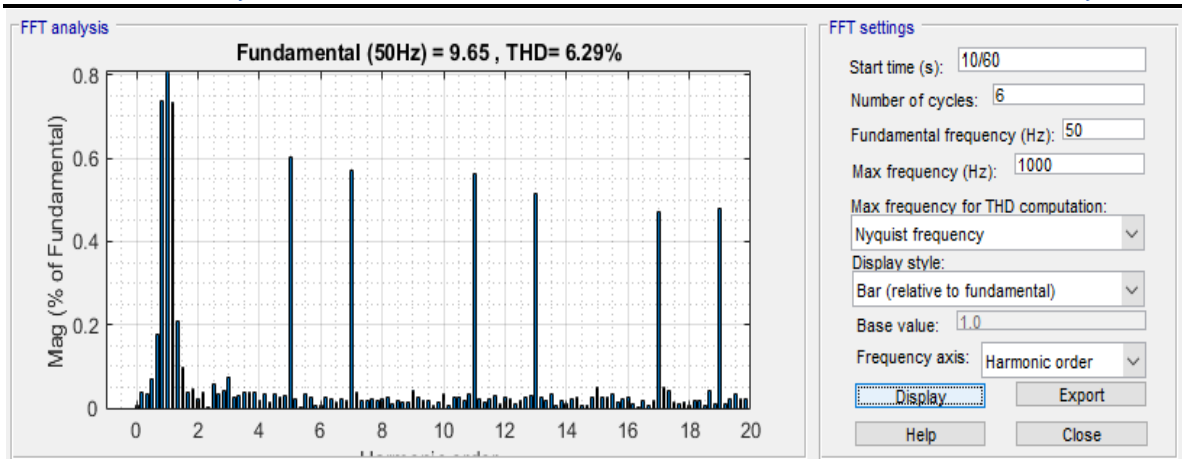
3.5.3. Kết quả mô phỏng

Các kết quả mô phỏng được biểu diễn trên các hình sau từ Hình 3.24 đến Hình 3.26, trong đó:

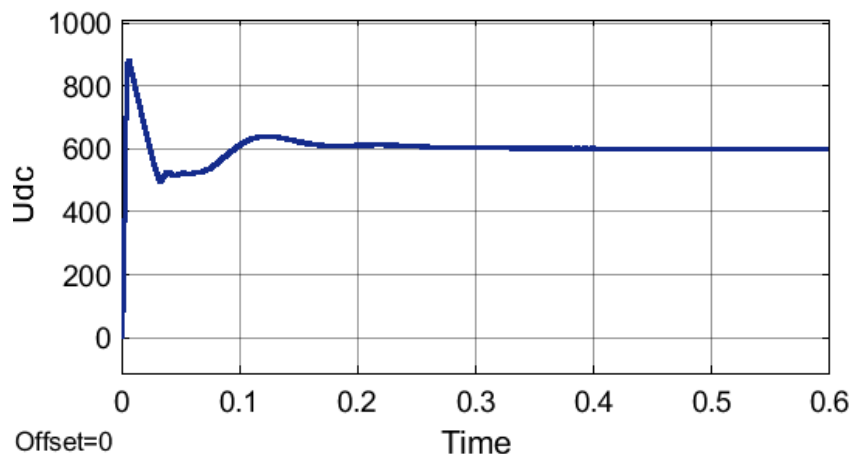
- Hình 3.24 biểu diễn 1 pha dòng điện qua tải và dòng điện trên đường dây
- Hình 3.25 là kết quả phân tích phổ dòng điện lưới khi có sự tham gia của AF
- Hình 3.26 biểu diễn điện áp trên tụ điện



Hình 3.24. Dạng sóng điện lưới và dòng điện tải



Hình 3.25. Phân tích phổ dòng điện lưới khi có AF



Hình 3.26. Đáp ứng điện áp một chiều trên tụ điện

NHẬN XÉT:

Kết quả mô phỏng cho thấy, dưới tác động của bộ lọc tích cực, sóng hài dòng điện trên lưới đã giảm đi rõ rệt. THD đã giảm từ THD = 31,11% đến THD = 6,29%, nhờ đó nâng cao chất lượng điện năng của lưới điện. Đồng thời, nhờ có bộ điều khiển điện áp một chiều mà điện áp đặt trên tụ điện được duy trì không đổi (600V) trong suốt quá trình làm việc.

3.6. KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

Chương 3 trình bày cấu trúc bộ lọc tích cực sử dụng transistor trường IGBT; đề xuất các phương pháp điều khiển bộ lọc tích cực theo vòng hở, vòng kín trong miền thời gian và miền tần số; các phương pháp xác định dòng điện bù; các nguyên

tạo xung điều khiển (PWM) cho bộ nghịch lưu; xây dựng bộ lọc tích cực cho hệ thống điện, trong đó dòng điện bù được xác định dựa trên lý thuyết công suất tức thời; tạo PWM cho nghịch lưu dựa trên băng trễ. Kết quả mô phỏng cho thấy hiệu năng của bộ lọc tích cực trong việc nâng cao chất lượng điện năng của hệ thống điện.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**1. Kết luận**

Luận văn đã tập trung nghiên cứu giải quyết một số nội dung chính sau:

- Phân tích các thông số của chất lượng điện năng, các chỉ tiêu chất lượng điện năng; Nghiên cứu nguyên nhân phát sinh sóng hài và ảnh hưởng của chúng đến chất lượng điện năng trong lưới điện;
- Nghiên cứu các phương pháp lọc sóng hài phát sinh trong lưới điện; sơ đồ và nguyên lý hoạt động các loại lọc thụ động, lọc tích cực, phân tích ưu, nhược điểm của từng loại lọc điện;
- Xây dựng cấu trúc bộ lọc tích cực dựa trên nghịch lưu cầu 3 pha sử dụng IGBT cho lưới điện phân phối; đề xuất các phương pháp điều khiển bộ lọc tích cực theo lý thuyết công suất tức thời p , q ; mô hình hóa, mô phỏng một bộ lọc tích cực cho hệ thống điện với các thông số cụ thể.

2. Kiến nghị

Do kiến thức và kinh nghiệm thực tiễn có hạn, thời gian nghiên cứu chưa nhiều nên luận văn không tránh khỏi còn nhiều sai sót cả về hình thức và nội dung. Đặc biệt, luận văn chỉ nghiên cứu tính năng lọc sóng hài của bộ lọc tích cực. Tác giả xin chân thành cảm ơn sự đóng góp ý kiến của các thầy, cô và bạn bè đồng nghiệp. Trong tương lai cần tiếp tục nghiên cứu khai thác đầy đủ các tính năng của bộ lọc tích cực như cải thiện hệ số công suất, giảm tổn thất điện năng, đồng thời xây dựng mô hình thử nghiệm bộ lọc tích cực trong thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh, Hán Thành Trung (2003), *Lý thuyết điều khiển phi tuyến*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Nguyễn Phùng Quang (2005), *Matlab & Simulink*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [3]. Lê Văn Doanh, Nguyễn Thế Công, Trần Văn Thịnh, *Điện tử công suất*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Park KI-WON, *A Review of Active Power Filter*, R&D Center – Poscon.
- [5]. H. Abaali, M. T. Lamchich, M. Raoufi, *Shunt Power Active Filter Control under NonIdeal Voltages Conditions*, International Journal of Information Technology Volume 2 Number 3
- [6]. Edson H. Watanabe*, Maurício Aredes* - Hirofumi Akagi+, *The P-Q Theory for Active Filter Control: Some Problem and Solutions*, Federal University of Rio de Janeiro – Brasil*, Tokyo Institute of Technology – Japan+.
- [7]. Akagi H, Isozaki K. *A Hybrid active filter for a threephase 12-pulse diode rectifier used as the front end of a medium-voltage motor drive*. IEEE Trans Power Electronics. 2012;27(1):69–77.
- [8]. Hessling AK, Burkhart B, De Doncker RW. *Active source current filtering to minimize the DC-link capacitor in switched reluctance drives*. CPSS Trans Power Electron Appl. 2019;4(9):62–71.
- [9]. Morales J, de Vicuna LG, Miret J. *Modeling and sliding mode control of three phase active power filters using vector operation technique*. IEEE Trans Ind Electron. 2018;65(9):6828–6838.
- [10]. Cao W, Liu K, Zaho JF. *An improved current control strategy based on particle swarm optimization and steady state error correction for shunt active power filter*. IEEE Trans Ind Appl. 2019;55(4):4268–4274.

-
- [11]. Hogan DJ, GonazlezEspin FJ, Foley R. *An adaptive digital control scheme for improved active filtering under distorted grid conditions*. IEEE Trans Ind Electron. 2018;65(2):988–999.
- [12]. Anjana P, Gupta V, Bansal R. *Hardware implementation of shunt APF using modified Fuzzy control algorithm with STM32F407VGT microcontroller*. Electric Power Comp Systems. 2016;44(16):1530–1542.
- [13]. Afonso J, Riberio HJ, Martins S. *Active filters for power quality improvement*. Proc IEEE Port Power Tech, Portugal; 2001. p. 1–8.
- [14]. Afonso JL, Freitas MS, Martins JS. *p-q theory power components calculations*. IEEE international symposium on Industrial Electronics; Brazil. 2003. p. 9–11.
- [15]. Sahara A, Kessal A, Kabert JP. *Improved sliding mode controller for shunt active filter*. J Electrical Eng Tech 2016;11(3):662–669.
- [16]. Chauhan SK, Shah MC, Tiwari RR, et al. *Analysis, design and digital implementation of a shunt active power filter with different schemes of reference current generation*. IET Power Electron. 2014;7(3)
- [17]. <https://www.potech.com.vn/tong-meo-hai-thd-trong-den-led/>
- [18]. <https://maybienapdonganh.com/song-hai-trong-he-thong-dien-tac-hai-va-giai-phap-phan-1/>