

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

NGUYỄN NGỌC DŨNG

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ LAI
ĐIỀU KHIỂN BỘ LỌC TÍCH CỰC CHO TẢI BIẾN TẦN

Chuyên ngành : Tự động hóa

Mã số : 60.52.60

TÓM TẮT LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

Đà Nẵng - 2011

Công trình được hoàn thành tại
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

Người hướng dẫn khoa học: TS. PHAN VĂN HIỀN

Phản biện 1 : TS. NGUYỄN ĐỨC THÀNH

Phản biện 2 : PGS.TS. ĐOÀN QUANG VINH

Luận văn được bảo vệ tại Hội đồng chấm Luận văn tốt nghiệp Thạc sĩ Kỹ thuật tại Đại học Đà Nẵng vào ngày 07 tháng 05 năm 2011.

*** Có thể tìm hiểu luận văn tại:**

- Trung tâm Thông tin - Học liệu, Đại học Đà Nẵng.
- Trung tâm Học liệu, Đại học Đà Nẵng.

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Cùng với sự phát triển của đất nước thì điện năng đóng một vai trò rất quan trọng và ảnh hưởng không nhỏ đến tình hình kinh tế chính trị xã hội của một quốc gia. Với nhu cầu sử dụng điện ngày càng cao, nguy cơ thiếu hụt điện năng là điều không thể tránh khỏi. Vấn đề đặt ra là phải có các biện pháp tích cực để nâng cao độ tin cậy cung cấp điện, đảm bảo chất lượng điện áp, giảm tổn thất điện năng, tăng hiệu quả khai thác, sử dụng điện.

Theo lý tưởng dòng điện xoay chiều trên lưới điện của các công ty điện lực cung cấp cho các hộ tiêu thụ phải là hình sin. Tuy nhiên, sự tồn tại các phần tử phi tuyến trên lưới điện của nhà cung cấp cũng như về phía phụ tải làm xuất hiện các sóng hài, ảnh hưởng đến tính năng vận hành của lưới điện và thiết bị. Các sóng hài lan truyền theo đường dây không những gây tổn thất điện năng mà còn có thể gây ra các vấn đề như: nổ tụ lọc, tụ bù, quá nhiệt cho động cơ, các thiết bị hiển thị bị chập chờn, thiết bị đo cho kết quả sai, gây nhiễu các thiết bị truyền thông ...

Hiện nay với sự xuất hiện ngày càng nhiều của các thiết bị nhạy cảm với chất lượng điện năng thì vấn đề giảm các tác hại của sóng hài đã và đang được quan tâm. Việc nghiên cứu chế tạo các bộ lọc tích cực và áp dụng rộng rãi để nâng cao chất lượng điện năng đang là vấn đề thời sự của lĩnh vực khoa học công nghệ của nước ta.

Việc nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển mờ lai để điều khiển và nâng cao chất lượng, tăng độ mềm dẻo và độ linh hoạt của hệ truyền

động, cụ thể là điều khiển bộ lọc tích cực là một vấn đề mới có ý nghĩa cao về khoa học

Trong thời gian của khóa học cao học, chuyên ngành Tự Động Hóa tại trường Đại Học Bách Khoa - Đại Học Đà Nẵng, được sự giúp đỡ của nhà trường và thầy giáo **TS. Phan Văn Hiền** tác giả đã chọn đề tài *“Nghiên cứu ứng dụng bộ điều khiển mờ lai để điều khiển bộ lọc tích cực cho tải biến tần”* để làm đề tài nghiên cứu.

2. Mục đích nghiên cứu

- Để giải quyết vấn đề tự chỉnh định thích hợp các tham số của bộ điều khiển PID mà không cần “thăm dò” hay chỉnh định không tự động.

- Ứng dụng điều khiển mờ lai trong hệ thống điều khiển bộ lọc tích cực để giảm sóng hài.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu:

- Bộ lọc tích cực
- Bộ điều khiển mờ lai PID
- Tải biến tần.

Phạm vi nghiên cứu:

- Nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển mờ lai cho bộ lọc tích cực trong trường hợp nguồn 3 pha lý tưởng, tải đối xứng.

- Mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink hệ thống điều khiển bộ lọc tích cực cho tải biến tần.

4. Phương pháp nghiên cứu

- Nghiên cứu lý thuyết về sóng hài, các phương pháp lọc sóng hài, lý thuyết điều khiển mờ.

- Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết, xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống điều khiển bộ lọc tích cực trên phần mềm Matlab/Simulink.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

Ý nghĩa khoa học:

- Đề tài sử dụng bộ điều khiển mờ lai nhằm nâng cao chất lượng điều khiển, tăng độ mềm dẻo và linh hoạt cho hệ truyền động.

Ý nghĩa thực tiễn:

- Kết quả nghiên cứu là một hướng điều khiển góp phần giảm thiểu sóng hài trên lưới điện có phụ tải phi tuyến.

6. Cấu trúc luận văn

Cấu trúc luận văn gồm:

MỞ ĐẦU

Chương 1 - TÌM HIỂU VỀ SÓNG HÀI VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP LỌC SÓNG HÀI

Chương 2 - TỔNG QUAN VỀ ĐIỀU KHIỂN MỜ VÀ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ LAI PID

Chương 3 - THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ CHỈNH ĐỊNH PID ĐỂ ĐIỀU KHIỂN BỘ LỌC TÍCH CỰC CHO TẢI BIẾN TẦN
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

CHƯƠNG 1

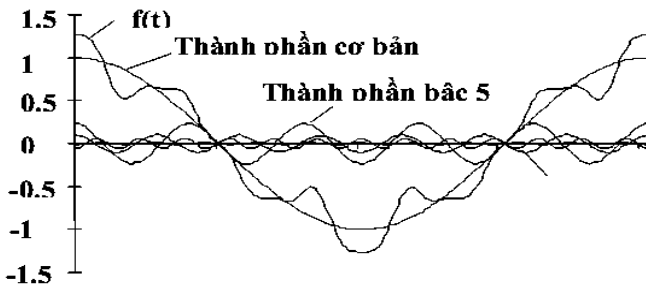
TÌM HIỂU VỀ SÓNG HÀI VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP LỌC SÓNG HÀI

1.1. Giới thiệu tổng quan

1.2. Tìm hiểu về sóng hài

1.2.1. Giới thiệu chung

Sóng hài hay sóng điều hòa là một dạng nhiễu không mong muốn, có thể coi là tổng của các dạng sóng sin mà tần số của nó là bội số của tần số cơ bản.



Hình 1.1. Dạng sóng sin và sóng điều hòa

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

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

Trong đó:

X1 là biên độ thành phần cơ bản

Xn là biên độ thành phần điều hòa bậc n

1.2.2. Các nguồn tạo sóng điều hòa

1.2.2.1. Máy điện

1.2.2.2. Thiết bị điện tử công suất

1.2.2.3. Các đèn huỳnh quang

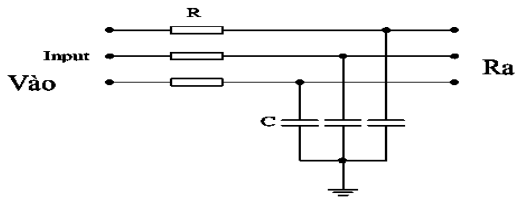
1.2.2.4. Các thiết bị hồ quang

1.2.3. Ảnh hưởng của sóng điều hòa bậc cao

1.3. Các bộ lọc sóng điều hòa

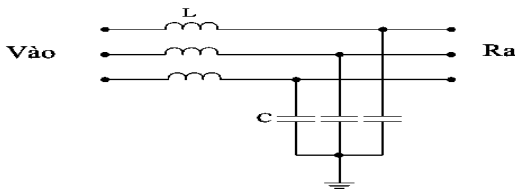
1.3.1. Bộ lọc thụ động

* Bộ lọc RC



Hình 1.17. Bộ lọc RC

* Bộ lọc LC



Hình 1.18. Bộ lọc LC

1.3.2. Bộ lọc tích cực

1.3.2.1. Tác dụng của mạch lọc tích cực

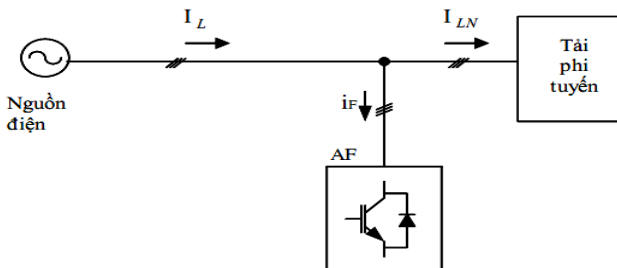
- a. Bù công suất
- b. Bù sóng điều hòa
 - Bù sóng điều hòa điện áp
 - Bù sóng điều hòa dòng điện

1.3.2.2. Các phạm vi công suất của lọc tích cực

- a. Phạm vi công suất thấp:
- b. Phạm vi công suất trung bình:
- c. Phạm vi công suất rất lớn:

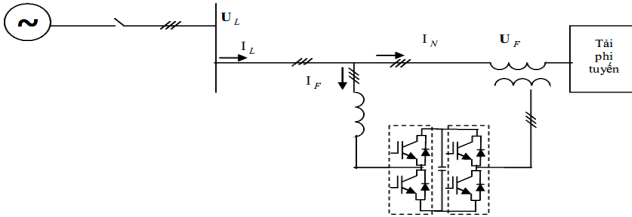
1.3.2.3. Phân loại mạch lọc tích cực

- a. Phân loại theo bộ biến đổi công suất
 - Cấu trúc mạch lọc tích cực VSI:
 - Cấu trúc mạch lọc tích cực CSI:
- b. Phân loại theo sơ đồ:
 - Mạch lọc tích cực song song (AF)



Hình 1.26. Cấu hình bộ lọc tích cực song song (AF)

- Mạch lọc tích cực nối tiếp (AFs)



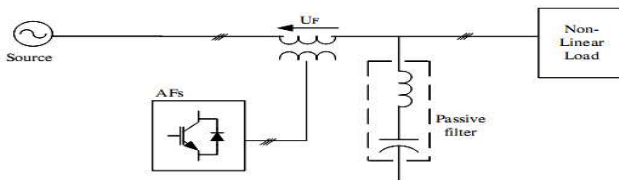
Hình 1.28. Cấu hình bộ lọc tích cực nối tiếp (AFs)

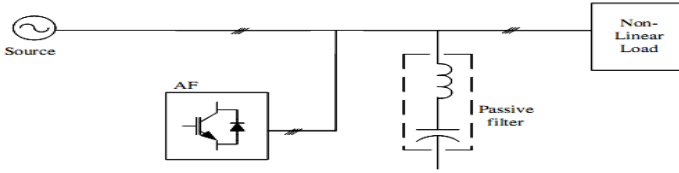
c. Phân loại theo nguồn cấp

- Mạch lọc tích cực hai dây
- Mạch lọc tích cực ba dây
- Mạch lọc tích cực bốn dây

1.3.3. Bộ lọc hỗn hợp

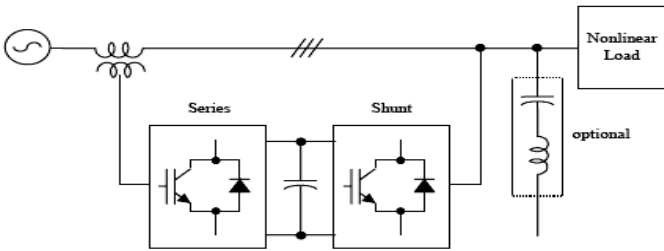
Thực chất là sự kết hợp của bộ lọc chủ động và bộ lọc thụ động.





Hình 1.33. Mạch lọc hỗn hợp

Ngoài ra khi kết hợp AF và AFs ta được bộ UPQC (Unified Power Quality Conditioner)



Hình 1.34. Sơ đồ cấu trúc UPQC

1.4. Kết luận chương 1

Ta thấy sóng điều hòa bậc cao có những tác hại lớn cho hệ thống điện, làm giảm chất lượng điện, gây ra các tổn thất...Nhu vậy để cải thiện chất lượng điện năng thì cần phải lọc các thành phần dòng điều hòa bậc cao. Có nhiều thiết bị khác nhau có thể thực hiện lọc dòng điều hòa bậc cao. Tùy thuộc vào yêu cầu kinh tế kỹ thuật mà lựa chọn thiết bị và phương pháp phù hợp.

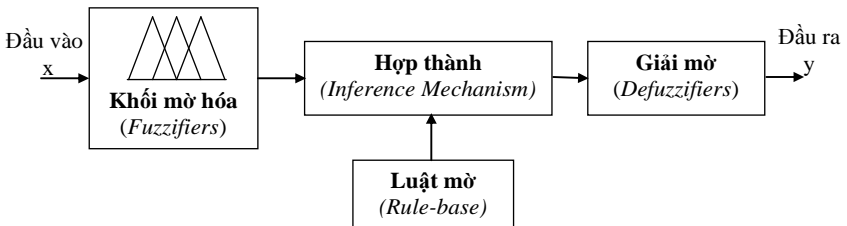
CHƯƠNG 2

TỔNG QUAN VỀ ĐIỀU KHIỂN MỜ VÀ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ LAI PID

2.1. Lịch sử phát triển

2.2. Điều khiển mờ

2.2.1. Sơ đồ khối của hệ điều khiển mờ



Hình 2.1. Sơ đồ khối bộ điều khiển mờ

2.2.1.1. Khối mờ hoá

2.2.1.2. Khối tập hợp thành (Inference Mechanism)

2.2.1.3. Khối luật mờ (Rule-base)

2.2.1.4. Khối giải mờ (Defuzzifier)

2.2.2. Phân loại điều khiển mờ

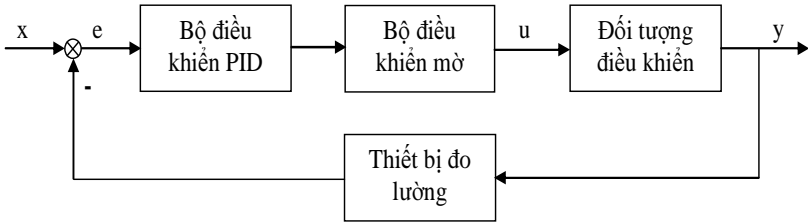
2.2.3. Cấu trúc cơ bản của bộ điều khiển mờ

2.3. Điều khiển mờ nâng cao

2.3.1. Hệ điều khiển thích nghi mờ

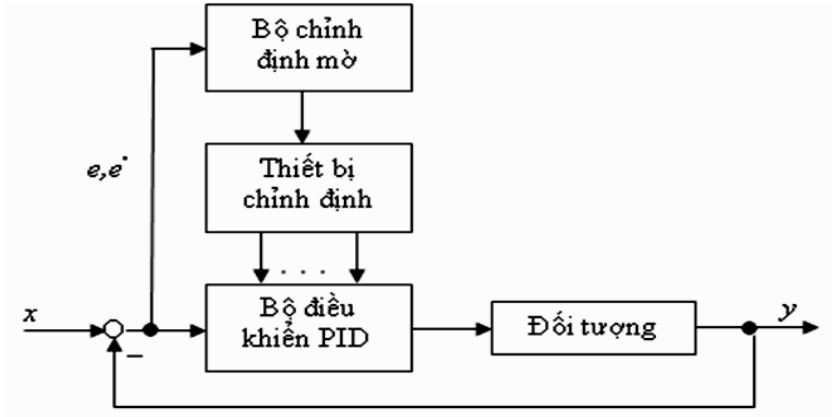
2.3.2. Hệ điều khiển mờ lai PID

2.3.2.1. Bộ điều khiển mờ lai kinh điển



Hình 2.9. Mô hình bộ điều khiển mờ lai kinh điển

2.3.2.2. Bộ điều khiển mờ chỉnh định tham số bộ điều khiển PID




Hình 2.10. Phương pháp chỉnh định mờ tham số bộ điều khiển PID

Các tham số K_R, T_I, T_D hay K_R, K_I, K_D của bộ điều khiển PID được Zhao, Tomizuka và Isaka chuẩn hoá như sau:

$$k_p = \frac{K_p - K_p^{\min}}{K_p^{\max} - K_p^{\min}} ; k_d = \frac{K_D - K_D^{\min}}{K_D^{\max} - K_D^{\min}} \quad (2-6)$$

để có $0 \leq k_R, k_D \leq 1$

Như vậy, bộ chỉnh định mờ sẽ có hai đầu vào là $e(t)$,  và

ba đầu ra là k_p, k_D, α , trong đó: $\alpha = \frac{T_i}{T_D}; K_i = \frac{K_p^2}{\alpha K_D}$ (2-7)

2.4. Kết luận Chương 2

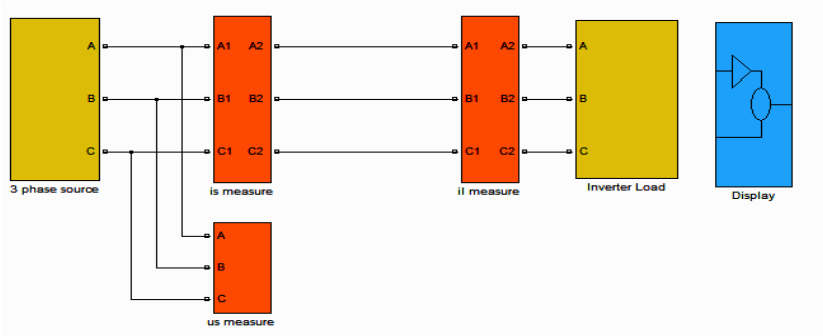
Việc áp dụng lô-gic mờ đã cho tạo ra các bộ điều khiển mờ, mờ lai, ... với những tính chất khá tốt nhằm đáp ứng yêu cầu trong điều khiển tự động, ví dụ điều khiển các đối tượng phức tạp. Ngoài ra, các bộ điều khiển mờ cho phép lặp lại các tính chất của các bộ điều khiển kinh điển. Thiết kế bộ điều khiển mờ cũng rất đa dạng, qua việc tổ chức các nguyên tắc điều khiển và chọn tập mờ cho các biến ngôn ngữ cho phép người ta thiết kế các bộ điều khiển mờ khác nhau.

CHƯƠNG 3

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ CHỈNH ĐỊNH THAM SỐ PID ĐỂ ĐIỀU KHIỂN BỘ LỌC TÍCH CỰC CHO TẢI BIẾN TẦN

3.1. Ảnh hưởng của tải biến tần lên lưới điện

Sơ đồ mô hình hệ thống khi chưa có bộ lọc tích cực:



Hình 3.1. Mô hình hệ thống khi chưa có AF

3.1.1. Nguồn

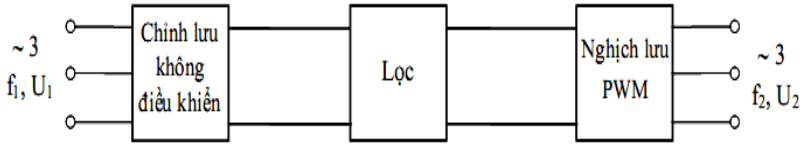
Xét hệ thống trong trường hợp nguồn lý tưởng

$$u_{sa} = 220\sqrt{2} \sin \omega t$$

$$u_{sb} = 220\sqrt{2} \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_{sc} = 220\sqrt{2} \sin(\omega t + 120^\circ)$$

3.1.2. Tải biến tần

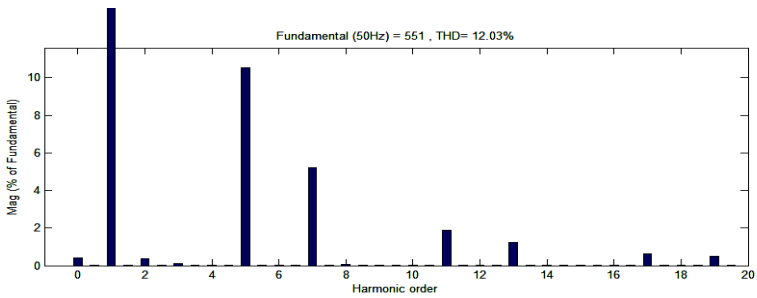
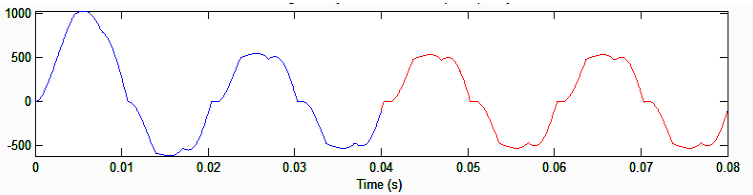


Hình 3.3. Biến tần dùng chỉnh lưu không điều khiển với bộ nghịch lưu PWM

3.1.3. Khâu đo lường

3.1.4. Khâu hiển thị

3.1.5. Kết quả mô phỏng

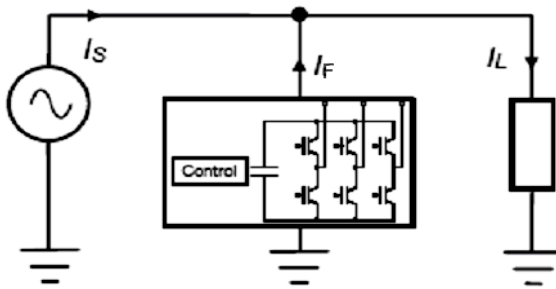


Hình 3.8. Dòng điện nguồn và phổ dòng điện nguồn

Ta thấy dòng điện nguồn không còn dạng hình sin nữa mà bị méo dạng đi rất nhiều so với dạng chuẩn do ảnh hưởng của thành phần sóng hài bậc cao.

Đối chiếu với tiêu chuẩn IEEE std 519 ta thấy hệ số méo dạng dòng điện THD = 12.03% vượt quá trị số quy định trong tiêu chuẩn là hệ số TDH phải nhỏ hơn 5%.

3.2. Thiết kế bộ lọc tích cực cho nguồn tải biến tần



Hình 3.9. Cấu trúc hệ thống sử dụng bộ lọc tích cực

Dòng điện tải có thể phân tích thành hai thành phần: thành phần cơ bản i_C và thành phần sóng điều hòa i_h :

$$i_L = i_C + i_h$$

Ta điều khiển dòng do AF bơm lên đường dây:

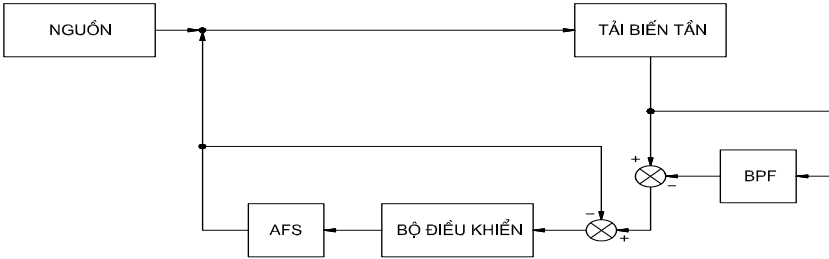
$$i_F = i_h$$

Khi đó dòng trên đường dây sẽ là:

$$i_S = i_L - i_h = i_C + i_h - i_h = i_C$$

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.

3.2.1. Giải pháp điều khiển



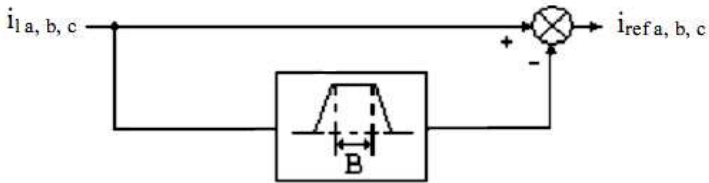
Hình 3.10. Cấu trúc điều khiển cho bộ lọc tích cực

AFs: Bộ lọc tích cực

BPF: Bộ lọc thông dải

3.2.1.1. Xác định dòng điện bù hài

Luận văn sử dụng giải pháp tách dòng điện hài bằng bộ lọc thông dải BPF (Bandpass Filter).



Hình 3.11. Giải pháp xác định dòng điện bù hài

3.2.1.2. Phương pháp điều chế PWM

Sử dụng phương pháp điều chế PWM để điều khiển đóng mở các van IGBT của bộ lọc.

3.2.2. Tính toán các thông số hệ thống

3.2.2.1. Xác định giá trị điện áp nguồn một chiều cấp cho nghịch lưu

Giá trị cực tiểu của điện áp một chiều được xác định:

$$U_{dc\min} > U_s \sqrt{3} \sqrt{2} = 2,45U_s = U_{d0}$$

Thông thường chọn điện áp một chiều ở giá trị:

$$U_{dc} = (1,2 \div 1,3)U_{d0}$$

Ta tính được điện áp nguồn một chiều cấp cho nghịch lưu:

$$U_{dc} = 1,3U_{d0} = 1,3 \cdot 2,45 \cdot 220 = 700 \text{ (V)}$$

3.2.2.2. Xác định giá trị tụ điện C

$$C = \frac{S_n}{U_{dc} \cdot \Delta U_{dc}} \cdot \frac{1}{2\omega}$$

ΔU_{dc} là độ biến thiên điện áp trên tụ (lấy khoảng 5% U_{dc})

Giá trị thành phần hài dòng điện:

$$I_{\max} = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} = 12,03\% * 551 = 66,28 \text{ (A)}$$

Công suất biểu kiến của bộ lọc:

$$S = 3 \cdot 220 \cdot 66,28 = 43748 \text{ (VA)}$$

Vậy giá trị điện dung:

$$C = \frac{43748}{700 \cdot 5\% \cdot 700} \cdot \frac{1}{2 \cdot 2\pi \cdot 50} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ (F)}$$

3.2.2.3. Xác định giá trị điện cảm L_f

Độ biến thiên dòng điện qua cuộn dây:

$$\frac{di}{dt} = \frac{U_f - U_s}{L}$$

Để hạn chế tổn thất chuyển mạch giữa các van bán dẫn thì

$$\frac{di}{dt} \leq \lambda = 4\xi f_t$$

Suy ra ta có thể tính chọn giá trị điện cảm:

$$L = \frac{U_f - U_s}{4\xi f_t} = \frac{700 - 220}{4 \cdot 10 \cdot 10000} = 0,12 \cdot 10^{-2} (F)$$

3.2.2.4. Xác định và lựa chọn thông số van bán dẫn

Trong điều kiện bỏ qua tổn thất và điều kiện làm mát lý tưởng ta có thể chọn van với dòng qua van là:

$$I = 2I_{\max} = 2 \cdot 66,28 = 132,56 (A)$$

Sơ bộ ta có thể chọn van với dòng 200 (A).

3.3. Xây dựng hệ điều khiển mờ chỉnh định tham số bộ điều khiển PID để điều khiển bộ lọc tích cực AF

3.3.1. Đặt vấn đề

3.3.2. Xây dựng hàm truyền đạt đối tượng

3.3.2.1. Bộ lọc tích cực AF

Hàm truyền đạt bộ nghịch lưu có dạng:

$$W_{AF} = \frac{K_{AF}}{(1 + T_{DK} \cdot s)(1 + T_{V0} \cdot s)} = \frac{K_{AF}}{(1 + (T_{DK} + T_{V0})s + T_{DK} \cdot T_{V0} \cdot s^2)}$$

Tần số chuyển mạch tối thiểu của một pha dùng PWM:

$$f_c = 3 \cdot 10 \cdot f = 3 \cdot 10 \cdot 50 = 1500 \text{ (Hz)}$$

Do đó thời gian điều khiển cần tuân theo biểu thức:

$$T_{DK} \leq \frac{1}{f_c} = \frac{1}{1500} = 0,00067$$

Chọn $T_{DK} = 0,00067$ (s), $T_{V0} = 0,0001$ (s)

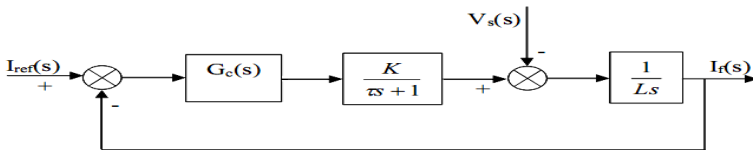
$$K_{AF} = 0,314$$

Vì T_{DK} và T_{V0} rất bé nên $T_{DK} \cdot T_{V0}$ rất bé có thể bỏ qua

Vậy hàm truyền bộ nghịch lưu:

$$W_{AF} = \frac{0,314}{(1 + 0,00077 \cdot s)}$$

3.3.2.2. Bộ điều khiển PID



Hình 3.13. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển PID

Đối tượng là khâu tích phân quán tính bậc nhất. Do đó bộ điều khiển tối ưu đối xứng là bộ PI:

$$W_{PI} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I \cdot s}\right)$$

Hàm truyền đạt đối tượng:

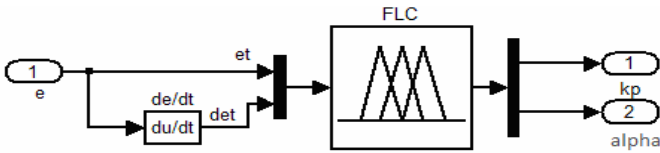
$$W = \frac{K}{Ls(\tau \cdot s + 1)} = \frac{0,314}{1,2 \cdot 10^{-3} s(0,00077 \cdot s + 1)}$$

Ta có:

$$T_I = a\tau = 3 \cdot 0,00077 = 0,00231$$

$$K_p = \frac{L}{K\tau\sqrt{a}} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{0,314 \cdot 0,00077 \cdot \sqrt{3}} = 2,87$$

3.3.3. Tổng hợp mô hình bộ điều khiển mờ chỉnh định tham số PID



Hình 3.14. Sơ đồ bộ điều khiển mờ

3.3.3.1. Biến ngôn ngữ và miền giá trị của nó

$$e = \{-5 \ 5\};$$

$$e = \{ \text{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB} \}.$$

$$de = e = \{-5 \ 5\}$$

$$de = \{ \text{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB} \}.$$

$$\text{Hesokp} = \{0\ 1\}$$

$$\text{Hesokp} = \{S, B\}$$

$$\text{Hesoalpha} = \{1\ 6\}$$

$$\text{Hesoalpha} = \{S, MS, M, B\}$$

3.3.3.2. Xác định hàm liên thuộc (membership function).

3.3.3.3. Xây dựng các luật điều khiển

Bảng 3.1 Luật điều khiển *Hesokp*

<i>Hesokp</i>		<i>de</i>						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
<i>e</i>	NB	B	B	B	B	B	B	B
	NM	S	B	B	B	B	B	S
	NS	S	S	B	B	B	S	S
	ZE	S	S	S	B	S	S	S
	PS	S	S	B	B	B	S	S
	PM	S	B	B	B	B	B	S
	PB	B	B	B	B	B	B	B

Bảng 3.2 Luật điều khiển *Hesoalpha*

<i>Hesoalpha</i>		<i>de</i>						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
<i>e</i>	NB	S	S	S	S	S	S	S
	NM	MS	MS	S	S	S	MS	MS
	NS	M	MS	MS	S	MS	MS	M
	ZE	B	M	MS	MS	MS	M	B

	PS	M	MS	MS	S	MS	MS	M
	PM	MS	MS	S	S	S	MS	MS
	PB	S	S	S	S	S	S	S

3.3.3.4. Luật hợp thành

Dùng luật hợp thành Max-Prod, giải mờ theo phương pháp trọng tâm.

3.4. Kết quả mô phỏng Matlab - Simulink

3.4.1. Thông số hệ thống

Nguồn: $f_s = 50$ (Hz); $U_s = 220$ (V); $R_s = 0,1$ (Ω); $L_s = 0,03 \cdot 10^{-3}$ (H)

Tải: $C_L = 3 \cdot 10^{-3}$ (F); $R_L = 0,1$ (Ω); $L_L = 0,07 \cdot 10^{-3}$ (H);

$R_D = 0,2$ (Ω); $L_D = 0,1 \cdot 10^{-3}$ (H)

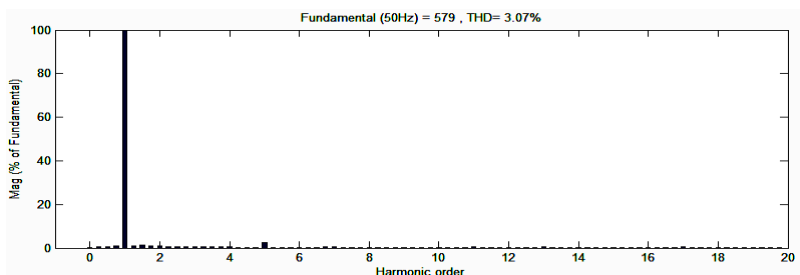
$f_t = 50$ (Hz); $f_c = 1000$ (Hz);

AF: $U_{DC} = 700$ (V); $R_{DC} = 5 \cdot 10^{-4}$ (Ω); $C_{DC} = 3 \cdot 10^{-3}$ (F);

$L_f = 1,2 \cdot 10^{-3}$ (H)

PI: $K_p = 2,8$; $T_I = 0,00231$

3.4.4. Kết quả mô phỏng dùng bộ điều khiển mờ chỉnh định tham số PI



Hình 3.26. Phổ tần hiệu dòng điện nguồn khi sử dụng bộ điều khiển mờ chỉnh định tham số PI

3.5. Kết luận chương 3

Ta thấy trong cả hai trường hợp dùng bộ điều khiển PI và dùng bộ điều khiển mờ lai PI thì hệ số méo dạng dòng điện nguồn TDH lần lượt là 4,21% và 3,07% đều đạt yêu cầu tiêu chuẩn IEEE std 519 và tiêu chuẩn IEC 1000-3-4. Mô phỏng cho thấy dùng bộ điều khiển mờ chỉnh định tham số PI cho kết quả tốt hơn, hệ số méo dạng dòng điện nguồn ít hơn dùng bộ điều khiển PI.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Trong bản luận văn này đã nghiên cứu khảo sát và đạt được kết quả như sau:

- Khảo sát tổng quan về sóng hài, các phương pháp lọc sóng hài, lý thuyết điều khiển mờ và điều khiển PID.
- Xây dựng được mô hình mô phỏng hệ thống mạch lọc tích cực trong Matlab Simulink cho tải biến tần.
- Mô phỏng được đáp ứng của mạch lọc, giảm thiểu được sóng hài bậc cao của dòng điện nguồn.

2. Kiến nghị

Kiến nghị hướng nghiên cứu tiếp theo:

- Xét thêm tổn hao của bộ nghịch lưu nhằm nâng cao hiệu suất cũng như chất lượng của mạch lọc.
- Nghiên cứu điều chỉnh hệ số méo dạng điện áp nguồn.
- Nghiên cứu giải quyết bài toán trong trường hợp nguồn không lý tưởng và tải không đối xứng.