

Đồ án: Thiết kế bộ nghịch lưu PWM 5KW



## LỜI MỞ ĐẦU

Nhiệm vụ của một sinh viên trước khi ra trường là phải thực hiện và bảo vệ thành công đồ án tốt nghiệp của mình. Đây là bước cuối cùng để một người sinh viên trở thành một kỹ sư, kết thúc một chặng đường học tập và rèn luyện dưới mái trường đại học.

Giờ đây, trải qua năm năm tu dưỡng và trau dồi kiến thức dưới mái Trường đại học Bách khoa Hà Nội, em đã nhận được nhiệm vụ đề tài tốt nghiệp của mình.

Nội dung của đề tài:” Thiết kế bộ nghịch lưu điều biến độ rộng xung - PWM công suất 5 kW”. Trong đề tài bao gồm hai phần; Thiết kế bộ nghịch lưu và mô phỏng bộ nghịch lưu bằng phần mềm PESIM. Dưới sự hướng dẫn tận tình của thầy giáo Nguyễn Thế Công và các thầy cô trong bộ môn, em đã hoàn thành được phần thiết kế bộ nghịch lưu. Dưới sự giúp đỡ của thầy giáo Trần Quốc Thắng, em đã hoàn thành được phần mô phỏng bằng phần mềm PESIM. Do thời gian và trình độ còn hạn chế nên đề tài của em chắc còn nhiều thiếu sót. Rất mong các thầy cô chỉ bảo trong buổi bảo vệ để em rút ra được những kinh nghiệm cho công việc sau này.

Qua đây, em xin chân thành cảm ơn các thầy cô giáo Bách Khoa đã dìu dắt em trong năm năm học vừa qua. Em xin trân thành cảm ơn các thầy cô trong bộ môn Thiết bị điện - Điện tử, khoa Điện, Đại học Bách khoa Hà Nội, đã trực tiếp dạy dỗ và trang bị cho em những kiến thức kỹ năng chuyên ngành bổ ích. Em vô cùng biết ơn thầy giáo Nguyễn Thế Công là người đã trực tiếp và tận tình hướng dẫn em hoàn thành đồ án tốt nghiệp này. Em xin gửi lời cảm ơn đến thầy giáo Trần Quốc Thắng, người đã tận tình giúp đỡ để em có điều kiện hoàn thành phần mô phỏng của mình trên phần mềm PESIM.

Sẽ trở thành một cán bộ kỹ thuật, em luôn tự nhủ phải không ngừng học tập trau dồi kiến thức và kỹ năng, áp dụng sáng tạo những hiểu biết của mình đã học vào những công việc thực tế, để xứng đáng với danh hiệu kỹ sư tốt nghiệp từ Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

*Hà Nội, tháng 5 năm 2006*

*Sinh viên thực hiện: Hoàng Ngọc Tuấn*

## MỤC LỤC

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ CÁC BỘ NGHỊCH LƯU .....	5
1. Sự cần thiết của bộ nghịch lưu.....	5
2. Nguyên tắc hoạt động của bộ nghịch lưu .....	6
2.1. Bộ nghịch lưu trực tiếp.....	6
2.1.1. Nguyên lý làm việc của bộ nghịch lưu trực tiếp.....	7
2.1.2. Sự làm việc của nhóm bị khoá.....	8
2.1.3 Sự làm việc có dòng điện vòng.....	10
2.1.4. Luật điều khiển nghịch lưu trực tiếp.....	13
2.2. Bộ nghịch lưu gián tiếp.....	13
2.2.1. Nguyên lý hoạt động của bộ nghịch lưu gián tiếp.....	14
2.2.2. Bộ nghịch lưu nguồn dòng điện - chỉnh lưu có điều khiển.....	15
2.2.2.1. Bộ nghịch lưu một pha .....	15
2.2.2.2. Bộ nghịch lưu ba pha.....	16
2.2.3. Bộ nghịch lưu nguồn điện áp chỉnh lưu có điều khiển .....	19
2.2.3.1. Bộ nghịch lưu một pha .....	19
a. Sơ đồ nghịch lưu một pha có điểm giữa.....	19
b. Mạch nghịch lưu nửa cầu.....	22
c. Mạch nghịch lưu cầu.....	22
2.2.3.2. Bộ nghịch lưu ba pha.....	24
2.2.3. Bộ nghịch lưu điều biến độ rộng xung - chỉnh lưu không điều khiển	28
CHƯƠNG II: BỘ NGHỊCH LƯU ĐIỀU BIẾN ĐỘ RỘNG XUNG .....	29
1. Sự cần thiết của bộ nghịch lưu điều biến độ rộng xung .....	29
2. Nguyên lý hoạt động của PWM .....	30
3. Định lượng PWM .....	33
3.1. Sin hoá PWM .....	34
3.2. Tương quan tần số.....	36
3.3. Phương thức loại trừ sóng hài.....	37
3.4. Phương thức dạng sóng dòng điện nhỏ nhất .....	40
3.4. Điều khiển thích nghi dòng điện PWM .....	43
CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ MẠCH ĐỘNG LỰC.....	45
1. Đề xuất phương án.....	45
1.1. Phương pháp nghịch lưu PWM đơn cực.....	45
1.2. Phương pháp nghịch lưu PWM lưỡng cực .....	47
1.3 So sánh hai phương pháp nghịch lưu.....	48
1.3.1. Phương pháp PWM đơn cực .....	48
1.3.2. Phương pháp PWM lưỡng cực .....	48
1.3.3. Chọn phương án nghịch lưu .....	49
1.4. Chọn thiết bị bán dẫn đóng cắt và dạng mạch động lực .....	49
1.4.1. Chọn thiết bị bán dẫn đóng cắt.....	49
1.4.2. Sơ đồ mạch động lực.....	52

<b>2. Tính toán thông số mạch động lực</b> .....	<b>55</b>
2.1. Chọn hệ số điều biến tần số .....	55
2.2. Chọn hệ số điều biến biên độ .....	56
2.3. Phân tích điện áp đầu ra khi $m_a < 1$ .....	57
2.4. Tính toán chọn van đóng cắt .....	59
2.4.1. Tính toán điện áp chịu đựng yêu cầu của IGBT .....	59
2.4.2. Loại trừ sóng hài bậc cao .....	60
2.4.3. Thiết kế bộ lọc đầu ra của bộ nghịch lưu .....	62
2.4.3.1. Thiết kế bộ lọc cho chế độ cực đại của tần số .....	62
2.4.3.2. Thiết kế bộ lọc cho chế độ tần số cực tiểu .....	64
2.4.4. Tính toán dòng điện cần thiết để chọn IGBT .....	65
2.4.5. Tính toán dòng điện cung cấp cho mạch nghịch lưu .....	70
2.5. Thiết kế cuộn kháng lọc sau mạch nghịch lưu .....	72
2.6. Chọn diode chỉnh lưu và tụ lọc nguồn .....	77
2.6.1. Chọn diode chỉnh lưu .....	77
2.6.2. Chọn tụ lọc nguồn .....	78
2.7. Thiết kế máy biến áp cấp nguồn cho chỉnh lưu .....	81
2.7.1. Tính sơ bộ kích thước mạch từ .....	82
2.7.2. Tính toán dây quấn .....	82
2.7.3. Kết cấu dây quấn sơ cấp .....	83
2.7.4. Kết cấu cuộn dây thứ cấp .....	85
2.7.5. Tính toán kích thước mạch từ .....	85
2.7.6. Tính khối lượng sắt và đồng .....	88
2.7.7. Tính các thông số của máy biến áp .....	89
<b>CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ MẠCH ĐIỀU KHIỂN VÀ MẠCH PHẢN HỒI</b>	
<b>MÔ PHỎNG MẠCH NGHỊCH LƯU BẰNG PESIM</b> .....	<b>91</b>
<b>A. GIỚI THIỆU VỀ PHẦN MỀM PESIM</b> .....	<b>91</b>
<b>B. THIẾT KẾ MẠCH ĐIỀU KHIỂN VÀ MẠCH PHẢN HỒI</b> .....	<b>95</b>
4.1. Những vấn đề chung về mạch điều khiển và mạch phản hồi .....	95
4.1.1. Mạch đặt tần số .....	96
4.1.2. Mạch đặt dòng điện .....	99
4.2. Sơ đồ cấu trúc mạch điều chỉnh dòng điện và đặt tần số .....	102
<b>C. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG BẰNG PESIM</b> .....	<b>106</b>
4.4. Xác định dải tần hoạt động của lọc .....	106
4.4.1. Thành phần sóng hài ở dải tần 500 Hz .....	107
4.4.2. Thành phần sóng hài ở tần số 400Hz .....	110
4.4.3. Thành phần sóng hài ở tần số 300 Hz .....	111
4.4.4. Thành phần sóng hài ở tần số 200 Hz .....	114
4.4.5. Thành phần sóng hài khi tần số 100 Hz .....	117
4.4.6. Thành phần sóng hài khi tần số 50 Hz .....	121
4.4.7. Thành phần sóng hài khi tần số 10 Hz .....	123
<b>D. CHỌN VÀ HIỆU CHỈNH MẠCH PHẢN HỒI DÒNG ĐIỆN</b> .....	<b>125</b>
4.5. Đề xuất mạch phản hồi dòng điện .....	125

<i>4.6. Kết quả mô phỏng mạch kín .....</i>	<i>128</i>
<i>4.6.1. Khảo sát ổn định dòng khi tần số thay đổi .....</i>	<i>128</i>
<i>4.6.2. Khi tải bộ nghịch lưu thay đổi .....</i>	<i>132</i>

## CHƯƠNG 1

# TỔNG QUAN VỀ CÁC BỘ NGHỊCH LƯU

### 1. Sự cần thiết của bộ nghịch lưu

Điều khiển động cơ điện là một trong những nhiệm vụ quan trọng trong thiết kế truyền động điện. Động cơ điện được thiết kế luôn luôn có một tần số và điện áp định mức. Ở tần số và điện áp định mức, động cơ vận hành với hiệu suất thiết kế và tổn hao trong động cơ là nhỏ nhất, đem lại giá trị kinh tế lớn nhất. Khi vận hành ở các trị số định mức thì khả năng điều chỉnh tốc độ của động cơ là rất thấp vì khi đó động cơ không cho phép thay đổi quá nhiều do khả năng phát nóng của máy. Trong truyền động điện thì yêu cầu điều chỉnh tốc độ thường xuyên được đặt ra và ngày càng yêu cầu độ chính xác trong điều khiển. Khi muốn điều chỉnh tốc độ ngoài định mức thì một số thông số của động cơ phải thay đổi để đảm bảo điều kiện vận hành lâu dài. Phương pháp được ứng dụng đầu tiên là điều khiển điện áp đặt vào động cơ và cố định tần số của dòng điện bằng điện áp lưới. Phương pháp này tỏ ra hiệu quả với những động cơ công suất lớn và khả năng điều chỉnh tốc độ không cao, khi đó điện áp động cơ thay đổi không quá lớn so với định mức. Một số phương pháp thông thường để thay đổi điện áp đặt vào động cơ được áp dụng trong điều khiển tốc độ động cơ:

+ Đặt điện áp hình sin trị số thấp hơn định mức vào động cơ: Phần điện áp chênh lệch giữa điện áp lưới và điện áp đặt vào động cơ được đặt lên một thiết bị tiêu tán, thông thường là cuộn kháng.

Ưu điểm của phương pháp này là điện áp đặt lên động cơ hình sin do vậy không tồn tại sóng hài trong động cơ, không gây ra tiếng ồn. Nhược điểm của phương pháp này là gây ra tổn hao trong cuộn kháng, khi yêu cầu tốc độ càng thấp hơn so với định mức thì tổn hao này càng lớn.

+ Đặt một điện áp không sin thấp hơn định mức lên động cơ: Phương pháp này gọi là điều áp xoay chiều. Quá trình thay đổi điện áp đặt lên động cơ được thực hiện bằng cấp một điện áp không liên tục cho động cơ và khi đó điện áp hiệu dụng của động cơ thay đổi. Khi điện áp hiệu dụng của động cơ thay đổi thì tốc độ của động cơ thay đổi theo, khi đó ta điều khiển được tốc độ động cơ.

Ưu điểm chính của phương pháp này là không gây tổn hao trên thiết bị dùng để tiêu tán phần điện áp chênh lệch giữa điện áp lưới và điện áp đặt lên động cơ. Nhược điểm chính của phương pháp này là tăng tổn hao trong động cơ.

Khi dòng điện không liên tục sẽ gây ra sóng hài trong động cơ, những sóng hài này sẽ gây ra tổn hao trong động cơ tăng. Khi tốc độ yêu cầu thấp hơn định mức càng nhiều thì tổn hao trong động cơ càng tăng. Ở tốc độ gần không thì gần như không điều khiển được do tổn hao sóng hài trong động cơ quá lớn.

Từ hai phương pháp điều khiển tốc độ động cơ ở trên ta thấy: Khi động cơ yêu cầu dải điều chỉnh tốc độ lớn, đặc biệt khi yêu cầu điều chỉnh ở tốc độ thì hai phương pháp trên gần như hoàn toàn không đáp ứng được do tổn hao tăng và hiệu quả kinh tế thấp. Chính vì vậy phương pháp điều khiển tốc độ động cơ ở tần số định mức không đáp ứng được với những truyền động điện yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ.

Một phương pháp khác được đưa ra để điều khiển tốc độ động cơ đạt hiệu quả cao và kinh tế là điều khiển cả tần số và điện áp đặt vào động cơ. Điện áp lưới không đặt trực tiếp vào động cơ mà gián tiếp qua một thiết bị biến đổi, thiết bị biến đổi này sẽ thay đổi tần số và điện áp của động cơ để đạt được giá trị mong muốn của tốc độ. Thiết bị thay đổi tần số và điện áp đặt vào động cơ được gọi với tên gọi chung là bộ nghịch lưu. Bộ nghịch lưu sẽ đưa động cơ hoạt động từ thông số định mức này sang thông số định mức khác để đảm bảo điều chỉnh tốc độ chính xác và giảm tổn hao đem lại hiệu quả kinh tế cao.

### ***Bộ nghịch lưu thông thường được chia ra làm hai loại chính:***

+ Bộ nghịch lưu gián tiếp: Điện áp lưới tần số công nghiệp được biến đổi trực tiếp thành tần số khác tần số lưới và cung cấp cho động cơ. Tần số ra của bộ nghịch lưu thấp hơn tần số lưới.

+ Bộ nghịch lưu gián tiếp: Điện áp lưới trước khi cung cấp cho tải được chỉnh lưu thành điện áp một chiều, điện áp một chiều sau đó được biến đổi thành điện áp xoay chiều cung cấp cho tải. Tần số ra của bộ nghịch lưu có thể biến đổi từ 0 đến tần số định mức của bộ nghịch lưu.

## **2. Nguyên tắc hoạt động của bộ nghịch lưu**

### ***2.1. Bộ nghịch lưu trực tiếp***

Bộ nghịch lưu trực tiếp gồm hai nhóm chuyển mạch song song nối ngược như hình vẽ ( hình 1.1). Trên đồ thị dạng sóng của bộ nghịch lưu ta thấy công suất tức thời của bộ nghịch lưu bao gồm có bốn giai đoạn. Trong hai khoảng ta có tích điện áp và dòng điện của bộ nghịch lưu dương, bộ nghịch lưu lấy công suất từ lưới cung cấp cho tải. Trong hai khoảng còn lại ta có tích giữa điện áp và

dòng điện trong bộ nghịch lưu âm nên bộ nghịch lưu biến đổi cung cấp lại công suất cho lưới.

### ***2.1.1. Nguyên lý làm việc của bộ nghịch lưu trực tiếp***

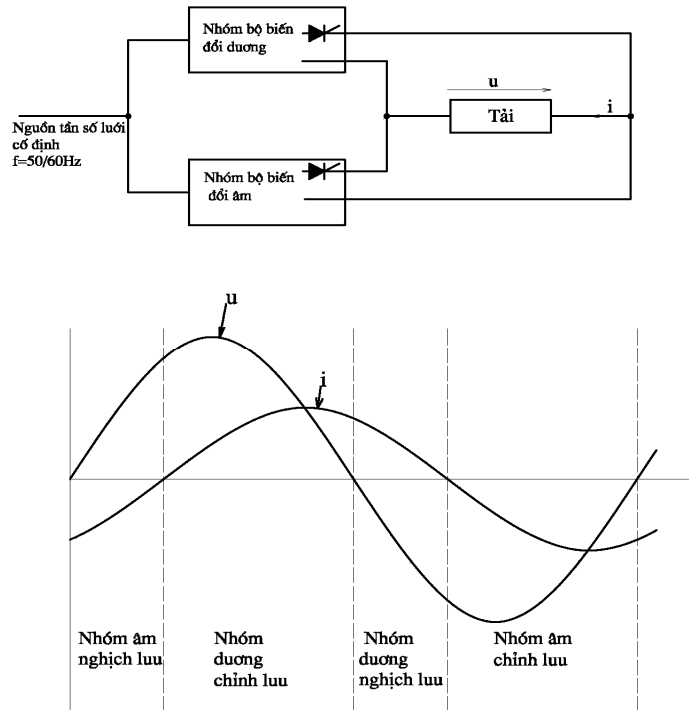
Để thấy được nguyên lý hoạt động, ta xét mạch hoạt động của mạch nghịch lưu hình vẽ (hình 1.2a). Đầu vào của bộ nghịch lưu là điện áp xoay chiều một pha, đầu ra là một phụ tải một pha thuần trở. Nhóm chuyển mạch nối theo sơ đồ hai pha nửa chu kì. Nhóm chuyển mạch dương được kí hiệu bằng chữ P (Position), nhóm âm kí hiệu bằng chữ N (Negative). Dạng sóng dòng điện được vẽ như hình 1.2b, cụm P chỉ dẫn trong nửa chu kì của điện áp, các thyristor được mỗi không có trễ, điều đó có nghĩa là coi P như là bộ chỉnh lưu diode. Trong nửa chu kì sau chỉ có nhóm N dẫn để tổng hợp ra phần điện áp âm của nửa chu kì điện áp ra. Theo dạng sóng của điện áp biểu diễn trên hình 1.2b thì tần số điện áp ra bằng 1/5 tần số điện áp vào. Dạng sóng điện áp này gần với dạng của sóng điện áp hình chữ nhật và có chứa một số lượng khá lớn các thành phần song hài.

Hình 1.2c biểu diễn khoảng dẫn của các van bán dẫn và dòng điện của nguồn cấp. Ta thấy dòng điện chảy qua van bán dẫn là 1/2 sóng hình sin còn dòng điện nguồn cấp là hoàn toàn sin.

Việc điều khiển các van bán dẫn như trên không mang lại hiệu quả cao trong điều khiển, sóng điện áp ra có độ sin không cao. Muốn sóng ra có dạng sin cao phải điều khiển thay đổi khoảng dẫn của các van thay đổi theo một qui luật nhất định. Hình 1.2d biểu gần đúng một sóng hình sin được tổng hợp bằng cách điều khiển các thời điểm mỗi các thyristor.

Phương pháp này cùng với việc điều chỉnh pha làm giảm các điều hoà bậc cao của dạng sóng điện áp đầu ra so với dạng sóng điện áp cho trước. Theo các dạng sóng của dòng điện trên hình 1.2e dòng điện ra mang nhiều thành phần đập mạch ứng với tần số nguồn, dòng điện của mạch bị biến dạng nhiều.



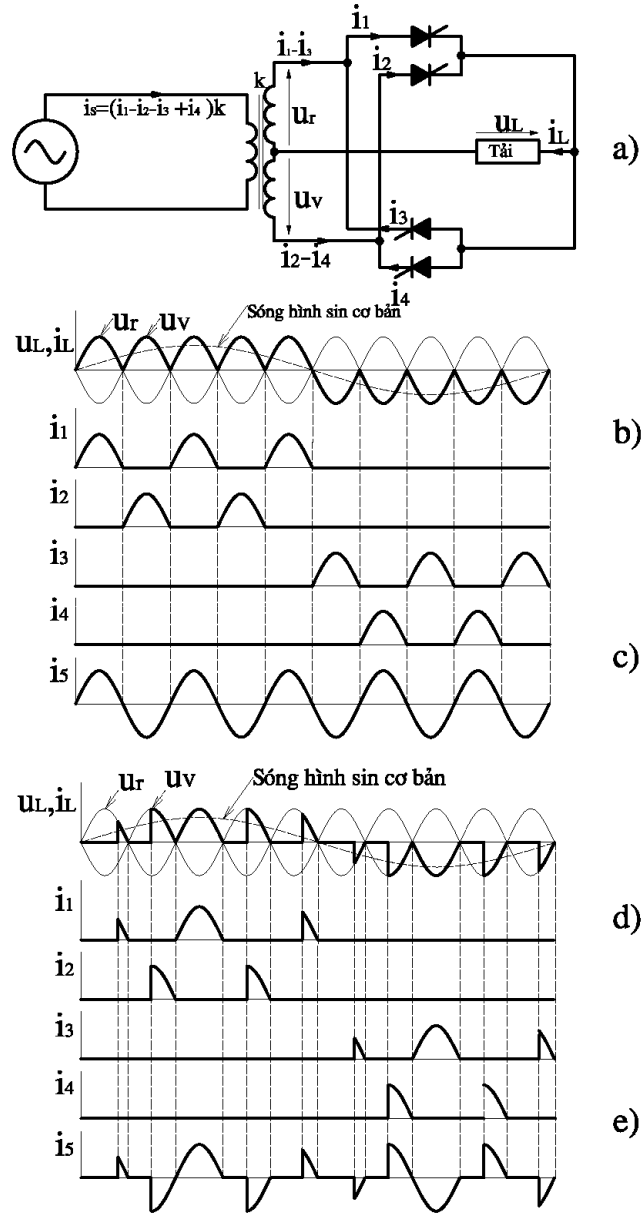


Hình 1.1 Bộ nghịch lưu trực tiếp tổng quát

### 2.1.2. Sự làm việc của nhóm bị khoá

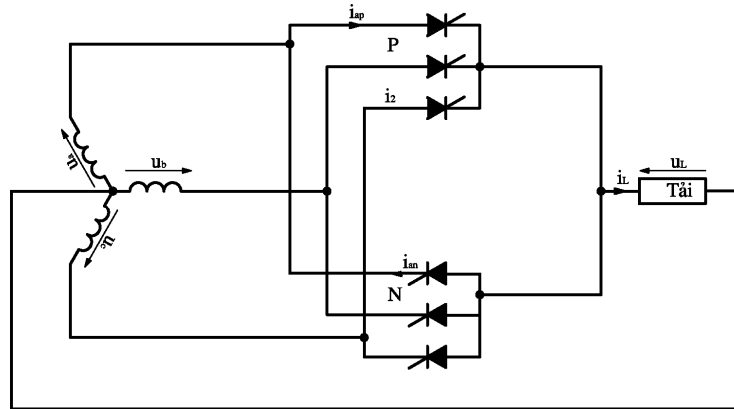
Trong hình 1.1 và 1.2, nếu các van bán dẫn của nhóm P và N cùng dẫn sẽ gây ra ngắn mạch nguồn cung cấp. Để tránh hiện tượng này thông thường ta đặt một cuộn cảm san bằng giữa các nhóm, mục đích chính là hạn chế dòng điện vòng hay cần điều khiển sao cho một nhóm không thể dẫn khi nhóm kia còn dẫn. Sự làm việc không có dòng điện vòng đòi hỏi cấm mỗi nhóm này khi nhóm kia còn đang dẫn.

Sơ đồ chỉ số đập mạch bậc ba được biểu diễn trên hình 1.3. Điện áp ra hình sin mong muốn được biểu diễn ở một tần số sao cho chu kỳ ra nhỏ hơn năm chu kỳ một chút. Các van bán dẫn được mở với góc mở sao cho sóng cơ bản gần sin nhất có thể. Tải là một điện trở thuần tuý, điện áp thu được bằng 0 trong từng khoảng nhỏ. Với tải điện cảm thì số lượng các khoảng điện áp bằng không này nhỏ và nếu điện cảm đủ lớn thì sẽ không tồn tại khoảng điện áp này. Dạng sóng của điện áp âm sẽ có sự sai khác so với nhóm điện áp dương, nguyên nhân chủ yếu là do dạng sóng điện áp ra không là số nguyên lần sóng đầu vào. Các chu kỳ ra liên tiếp bắt đầu ở các thời điểm khác nhau của điện áp vào. Dòng điện nguồn thường mất đối xứng nghiêm trọng.



Hình 1.2 : Sơ đồ nghịch lưu điểm giữa và các dạng sóng

Trong nghịch lưu mục tiêu của mọi phương pháp nghịch lưu là tạo ra điện áp ra càng gần điện áp hình sin càng tốt vì khi đó tổn hao trong động cơ nhỏ nhất và độ chính xác cũng như chất lượng điều khiển được nâng cao.



Hình 1.3 : Nghịch lưu trực tiếp có chỉ số đập mạch bậc ba cấp điện cho tải một pha

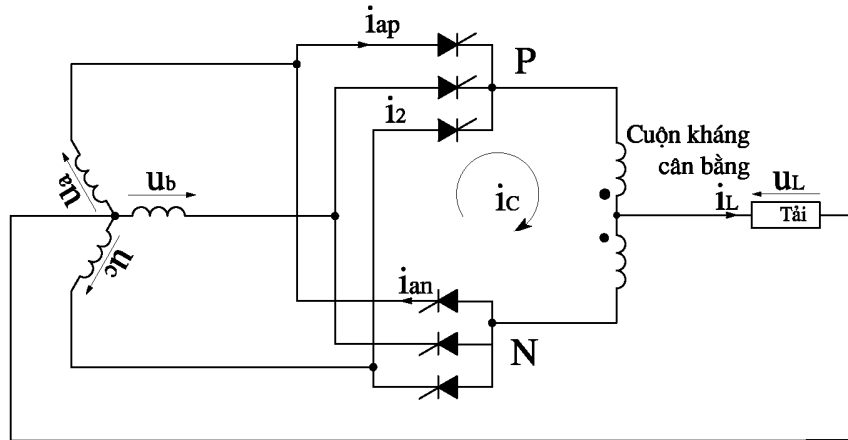
Trong phương pháp nghịch lưu này, muốn có được điện áp gợn sin nhất có thể thì các thyristor phải được môi với các góc khác nhau để tạ ra điện áp gợn sin nhất, khi tải mang tính cảm thì các van sẽ có giai đoạn làm việc ở chế độ nghịch lưu trả năng lượng về lưới, giai đoạn này tương đương với giai đoạn chỉnh lưu với nguồn là điện áp tải. Trong trường hợp lý tưởng thì quá trình chuyển mạch giữa các van là tức thời và do vậy không có thời gian quá độ chuyển mạch. Nhưng trong thực tế thì quá trình đóng cắt của các van không hoàn toàn tức thời, các van cần một thời gian nhất định để khoá hoàn toàn và cần một khoảng thời gian nhất định để dẫn hoàn toàn. Khoảng thời gian để các van dẫn và khoá hoàn toàn phụ thuộc vào chủng loại và đặc tính của van cũng như hãng sản xuất.

Điện áp ra của bộ nghịch lưu có thể được điều chỉnh bằng điều chỉnh góc mở chậm của van như hình 1.6. Việc kích mở chậm các van, đặc biệt là ở đỉnh điện áp ra, cho phép điều chỉnh biên độ của sóng điện áp đầu ra. Việc điều chỉnh điện áp bằng thay đổi góc mở chậm của van sẽ gây ra nhiều thành phần sóng hài bậc cao trong mạch. Thành phần sóng hài này càng lớn khi điện áp ra thấp và tần số điện áp ra thấp.

### 2.1.3 Sự làm việc có dòng điện vòng

Trong mục trên ta xét bộ nghịch lưu với sự làm việc của hai nhóm chuyển mạch âm và dương, hai nhóm này làm việc luân phiên và không bao giờ có hai nhóm cùng dẫn đồng thời. Quá trình làm việc như vậy sẽ gây phức tạp cho mạch điều khiển và không linh động. Sơ đồ có thêm cuộn kháng cân bằng cho phép

như hình vẽ (hình 1.6) cho phép cả hai nhóm van cùng dẫn một lúc. Cuộn kháng giúp hạn chế dòng điện  $i_c$  chảy qua van.



Hình 1.6 : Nghịch lưu trực tiếp có chỉ số đập mạch bậc ba có cuộn kháng cân bằng

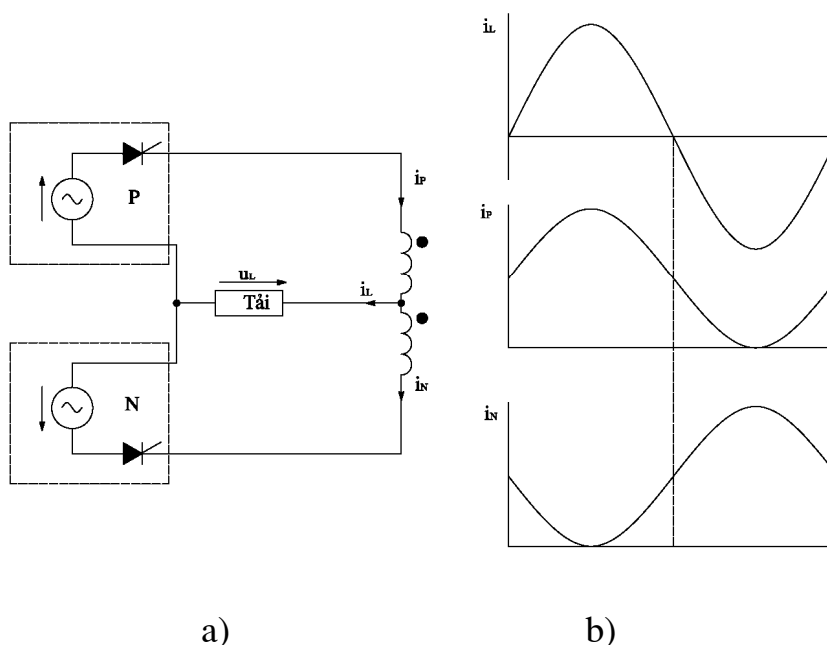
Trong quá trình vận hành thì mỗi nhóm dẫn thường xuyên ở chế độ nghịch lưu hay chỉnh lưu. Điện áp cung cấp cho tải là giá trị trung bình điện áp của hai nhóm P và N. Việc phối hợp hoạt động của hai nhóm có thể loại được một phần sóng hài bậc cao trong mạch. Sóng hình sin cơ bản của điện áp ra là tổng hợp điện áp của hai nhóm tạo ra.

Điện áp tức thời trên cuộn kháng cân bằng là hiệu số điện áp trên hai nhóm, hay nói cách khác, cuộn kháng gánh phần điện áp chênh lệch giữa hai nhóm.

Dòng điện vòng chỉ có thể chảy theo một chiều do các thyristor chỉ có thể dẫn dòng theo một chiều.

Dòng điện chảy trong các nhóm được biểu diễn như hình vẽ (hình 1.7). Khi bỏ qua sụt áp trên các phần tử thì điện áp ra của hai nhóm có dạng giống nhau nhưng ngược pha nhau như hình 1.7a. Như vậy là điện áp ra không tạo ra bất kì thành phần dòng điện vòng nào. Khi một nhóm bắt đầu dẫn (chẳng hạn nhóm P), điện áp cảm ứng trong cuộn dây do dòng chảy qua P là  $i_p$  tạo ra tăng lên, điện áp này xuất hiện trong mạch của nhóm N và có cực tính ngược với cực tính của thyristor nên có xu hướng ngăn cản dòng  $i_N$  (dòng chảy qua nhóm N) chảy. Điện áp ngược cảm ứng trong cuộn dây sinh ra do  $i_p$  giảm sẽ có xu hướng làm tăng dòng  $i_N$ . Nói một cách khác, cuộn cảm có vai trò giữ cho năng lượng từ trường trong nó không đổi, do vậy khi  $i_p$  giảm thì  $i_N$  tăng lên cùng một tốc độ.

Trong nửa chu kì âm dòng  $i_p$  giảm đến 0 và dòng  $i_N$  tăng lên giá trị cực đại. Do từ trường tích lũy trong cuộn dây không thay đổi, do cuộn dây không có điện trở nên điện áp rơi trên cuộn dây bằng 0. Kết quả là dòng điện có dạng sóng như trong hình 1.8b, dòng điện trung bình của hai nhóm  $i = i_p - i_N$  có giá trị bằng 1/2 dòng điện phụ tải cực đại. Dòng điện vòng do điện áp đập mạch hình sin sinh ra bổ xung vào thành phần cơ bản của dòng điện ra.



Hình 1.8: Sơ đồ nghịch lưu điểm giữa thay thế và đồ thị dòng điện vòng

Dòng điện vòng duy trì trong các nhóm làm tăng tải của van so với chế độ không có cuộn kháng cân bằng. Độ tăng thêm này đặc biệt lớn khi tải của bộ nghịch lưu có công suất lớn. Do vậy, chỉ sử dụng cuộn kháng cân bằng khi công suất của bộ nghịch lưu nhỏ, mục đích là để duy trì dạng sóng của dòng điện tải không bị gián đoạn để giảm thành phần sóng hài. Khi công suất tải lớn các nhóm phải được khoá lại để tránh dòng điện vòng. Mạch điều khiển được thiết kế để có thể luôn luôn kiểm soát được độ lớn của dòng điện vòng, mạch chỉ cho phép đưa xung kích mở van khi dòng điện vòng này nhỏ để tránh quá tải van, nhưng khi dòng điện vòng này lớn thì mạch điều khiển sẽ khoá một hay nhiều nhóm khác. Khi cuộn kháng bão hoà ở trị số dòng điện lớn sẽ thuận lợi cho vận hành của mạch, do vậy cuộn kháng cân bằng có thể được thiết kế với lõi thép nhỏ hơn để có thể bão hoà khi dòng điện tăng cao.

#### 2.1.4. Luật điều khiển nghịch lưu trực tiếp

Để thuận tiện trong việc xem xét luật điều khiển của một nhóm chỉnh lưu nghịch lưu ta gọi góc mở của một nhóm là  $\alpha$ . Góc  $\alpha$  phải được điều khiển sao cho trị số điện áp ra trung bình trong từng khoảng của các nhóm hợp thành dạng sóng tức thời của nghịch lưu có dạng như mong muốn.

Thông thường trong các mạch điều khiển ta thường điều khiển theo hàm arccos nên giá trị góc  $\alpha$  phải biến thiên theo qui luật hình sin theo thời gian với chu kì điện áp ra của bộ nghịch lưu.

Dạng sóng biểu diễn trong hình 1.8 được vẽ trong trường hợp biên độ ra lớn nhất của điện áp ra có thể đạt được. Cho nhóm dương làm việc để có điện áp ra cực đại, dạng sóng ứng điện áp ra ứng với góc mở bằng 0. Chuyển mạch tiếp theo phải thoả mãn một giá trị sao cho điện áp ra đạt giá trị như mong muốn. Các giao điểm của sóng sin chuẩn (dạng điện áp đầu ra như mong muốn) với các sóng cosin được vẽ với cực đại tại các thời điểm góc mở bằng 0 xác định thời điểm kích mở các thyristor. Hình vẽ trên (Hình 1.8) biểu diễn đầu ra của nhóm dương. Ta cần phải chú ý rằng trong chế độ chỉnh lưu góc mở của van bán dẫn nhỏ hơn  $90^0$  (góc mở  $\alpha_{p1}$ ) nhưng trong chế độ nghịch lưu, trong nửa chu kì âm, góc mở phải lớn hơn  $90^0$  (góc mở  $\alpha_{p2}$ ), góc  $\beta_{p2}$  là góc mở vượt trước hay góc mở nhanh.

Quá trình xác định hoạt động của nhóm âm được tiến hành tương tự. Trong quá trình mở van có thể tiến hành cho mở sớm hơn để quá trình chuyển mạch kết thúc sớm hơn.

Để giảm điện áp đầu ra ta tiến hành giảm biên độ của sóng sin chuẩn ở giá trị như mong muốn. Quá trình giảm điện áp ra đi liền với đó là thành phần sóng hài trong dòng điện cũng tăng lên.

Quá trình điều khiển bộ nghịch lưu trực tiếp là quá trình khá phức tạp. Sơ đồ mạch điều khiển được trình bày trên hình 1.9. Tín hiệu phát hiện có dòng điện vòng trong bộ biến đổi sẽ chuyển tín hiệu kích mở từ nhóm này sang nhóm khác để đảm bảo phải có một nhóm bị khoá.

#### 2.2. Bộ nghịch lưu gián tiếp

Bộ nghịch lưu trực tiếp có ưu điểm là có thể đưa ra một công suất khá lớn ở đầu ra nhưng có một số nhược điểm sau :

- + Chỉ có thể cho điện áp ra có tần số nhỏ hơn tần số điện áp lưới.

+ Khó điều khiển khi ở tần số nhỏ vì khi đó tổn hao sóng hài trong động cơ khá lớn.

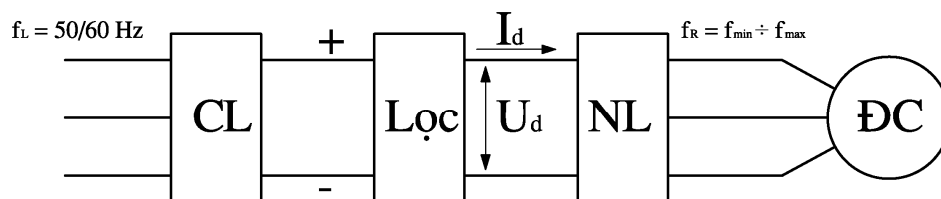
+ Độ tinh và độ chính xác trong điều khiển không cao.

+ Sóng điện áp đầu ra không thực sự gần sin.

Chính vì những đặc điểm trên mà một loại nghịch lưu khác được đưa ra để nâng cao chất lượng trong cung cấp nguồn đó là nghịch lưu gián tiếp. Bộ nghịch lưu gián tiếp cho phép khắc phục những nhược điểm của bộ nghịch lưu trực tiếp ở trên.

Trong bộ nghịch lưu gián tiếp thì trước khi được nghịch lưu điện áp lưới được chỉnh lưu thành điện áp một chiều bằng bộ chỉnh lưu diode hoặc bộ chỉnh lưu có điều khiển. Điện áp một chiều được qua một bộ lọc để cung cấp cho bộ nghịch lưu một nguồn điện áp một chiều tương đối ổn định cho mạch nghịch lưu.

Sơ đồ bộ nghịch lưu gián tiếp có sơ đồ khối như hình vẽ :

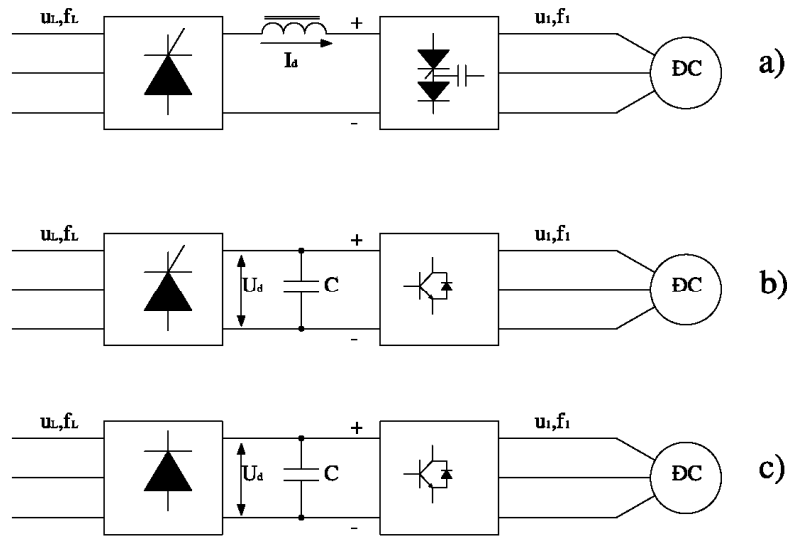


Hình 1.10 : Sơ đồ khối bộ nghịch lưu gián tiếp

### 2.2.1. Nguyên lý hoạt động của bộ nghịch lưu gián tiếp

Điện áp xoay chiều tần số công nghiệp (50/60 Hz) được chỉnh lưu thành nguồn một chiều nhờ bộ chỉnh lưu (CL) không điều khiển (chỉnh lưu diode) hoặc chỉnh lưu có điều khiển (chỉnh lưu thyristor), sau đó được lọc và được bộ nghịch lưu (NL) sẽ biến đổi thành điện áp xoay chiều có tần số thay đổi. Tùy thuộc vào bộ chỉnh lưu và nghịch lưu như hình 1.10 mà ta chia bộ nghịch lưu gián tiếp được chia làm ba loại :

- + Bộ nghịch lưu nguồn dòng điện, chỉnh lưu thyristor (hình 1.11a)
- + Bộ nghịch lưu nguồn điện áp, chỉnh lưu thyristor (hình 1.11b)
- + Bộ nghịch lưu nguồn áp điều biến độ rộng xung (PWM) (hình 1.11c)



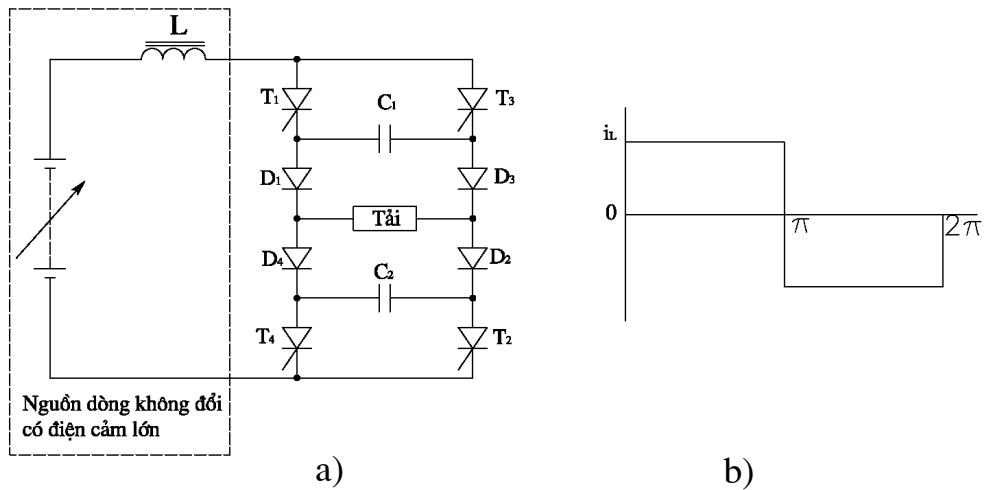
Hình 1.11 : Sơ đồ khối các bộ nghịch lưu gián tiếp

### 2.2.2. Bộ nghịch lưu nguồn dòng điện - chỉnh lưu có điều khiển

#### 2.2.2.1. Bộ nghịch lưu một pha

Điện áp xoay chiều được chỉnh lưu thành một chiều nhờ bộ chỉnh lưu có điều khiển, thường là thyristor, điện áp một chiều sau chỉnh lưu được đưa qua cuộn kháng lọc. Cuộn kháng lọc có tác dụng biến nguồn điện sau chỉnh lưu thành nguồn dòng để cung cấp cho mạch nghịch lưu. Đối với bộ nghịch lưu dòng điện cung cấp từ nguồn điện một chiều thực tế là không đổi, không phụ thuộc vào hiện tượng của bộ nghịch lưu trong khoảng làm việc trước đó. Trong thực tế thì bộ nghịch lưu nguồn dòng được cung cấp bằng nguồn điện một chiều qua cuộn dây có điện cảm lớn (hình 1.12), điều đó cho phép làm thay đổi điện áp của bộ nghịch lưu.





Hình 1.12 : Bộ nghịch lưu nguồn dòng một pha

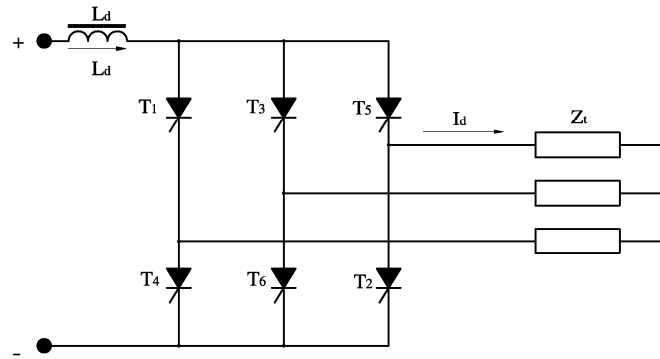
Các biến thiên dòng điện được cân bằng nhờ  $Ldi/dt$ . Nhưng do  $di/dt$  nhỏ nên nguồn dòng trong thực tế không thay đổi trong thời gian ngắn.

Chuyển mạch đơn giản nhất của bộ nghịch lưu có dòng điện không đổi chỉ cần có các tụ điện. Ta xét một mạch đơn giản có sơ đồ như hình 1.12a. Khi các thyristor  $T_1$  và  $T_2$  dẫn, các tụ điện tích điện dương trên các bản cực trái. Việc kích mở các thyristor  $T_3$  và  $T_4$  làm các tụ điện nối vào các cực của thyristor  $T_1$  và  $T_2$  tương ứng để khóa chúng lại. Bây dòng điện đi qua  $T_3C_1D_1$ , qua tải sau đó qua  $D_2C_2T_4$  và về nguồn. Điện áp trên hai cực của tụ điện sẽ đảo chiều ở một số thời điểm nhất định phụ thuộc vào điện áp của tải, các diode  $D_3$  và  $D_4$  bắt đầu dẫn. Dòng điện nguồn sau một thời gian ngắn sẽ chuyển từ  $D_1$  sang  $D_3$  và từ  $D_4$  sang  $D_2$ . Cuối cùng các diode  $D_1$  và  $D_2$  ngừng dẫn, khi dòng điện qua tải hoàn toàn ngược chiều. Điện áp các tụ đổi chiều chuẩn bị cho nửa chu kỳ sau.

Các diode vẽ trên hình 1.12 có tác dụng ngăn cách tụ điện với điện áp tải. Dòng điện tải hình chữ nhật nếu ta bỏ qua quá trình chuyển mạch, điện áp ra có thành phần cơ bản hình sin nhưng có đỉnh nhọn tại các điểm chuyển mạch.

### 2.2.2.2. Bộ nghịch lưu ba pha

Sơ đồ mạch nghịch lưu ba pha có dạng như hình vẽ (Hình 1.13) :

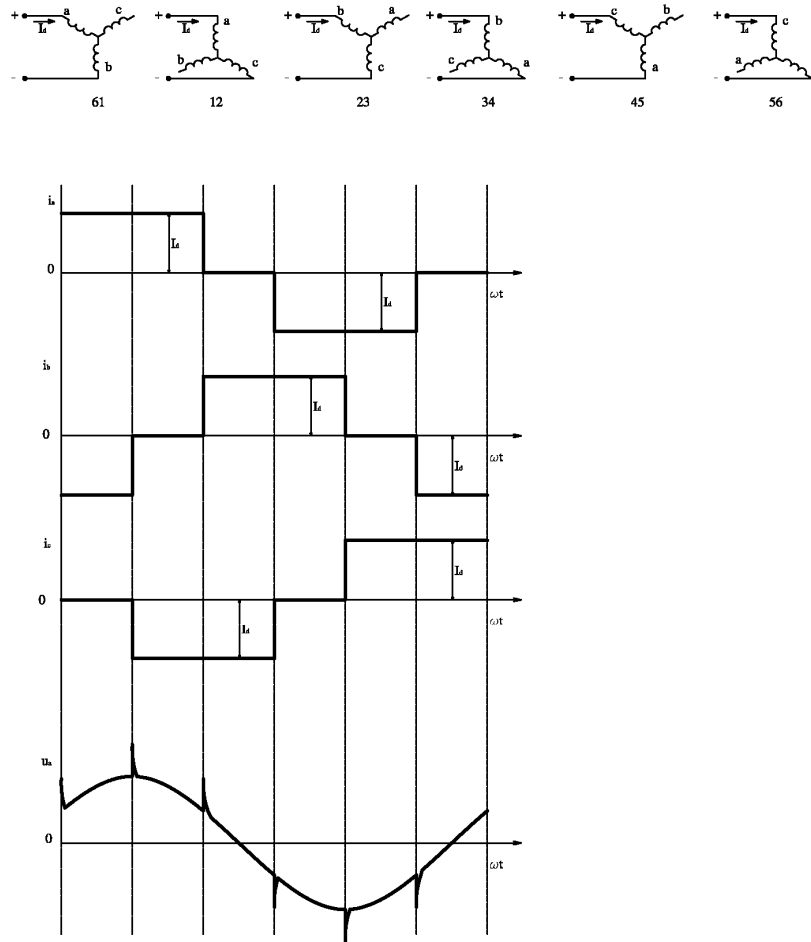


Hình 1.13 : Sơ đồ mạch nghịch lưu dòng điện điển hình

Dòng điện cấp cho động cơ có dạng xung hình chữ nhật có biên độ không đổi nên sụt áp trên điện cảm tản của stator bằng không và sụt áp trên điện trở stator không đổi. Do đó điện áp trên hai cực của động cơ được tạo ra bởi tải, không phải do mạch nghịch lưu. Sơ đồ nối dây khi chuyển mạch và dạng dòng điện pha có dạng như hình 1.14.

Trong thực tế mạch nghịch lưu dòng điện thường sử dụng các thyristor điều khiển không hoàn toàn có sơ đồ nguyên lý như hình 1.15. Dây quấn ba pha được bố trí đối xứng, nên điện áp của động cơ có dạng gần với điện áp hình sin. Trong trường hợp lý tưởng thì dòng điện có dạng hình chữ nhật có biên độ không thay đổi.

Nhưng thực tế thì quá trình chuyển mạch của thyristor không phải là tức thời, các thyristor cần có thời gian để dẫn và khóa hoàn toàn, nên dạng sóng của dòng điện không phải là vuông hoàn toàn. Trong khoảng thời gian các van  $T_1$  và  $T_6$  dẫn dòng, dòng điện pha  $i_a = -i_b$ , các tụ chuyển mạch nạp điện có cực tính như hình vẽ. Khi có xung mở  $T_2$ ,  $T_2$  sẽ dẫn và  $T_6$  sẽ bị khoá do điện áp ngược. Do tải có tính cảm, dòng điện  $I_d$  không bị gián đoạn ngay mà sẽ khép mạch qua  $D_6 - C_{12}$  song song với mạch nối tiếp  $C_{46} - C_{42} - T_2$  nạp cho tụ  $C_{62}$ , điện áp trên tụ  $C_{62}$  tăng tuyến tính cho đến khi dòng  $i_c$  xuất hiện, bắt đầu chuyển dòng của  $D_6$  cho  $D_2$ , tức là chuyển dòng từ pha a sang pha b. Kết thúc quá trình chuyển mạch khi  $i_b = 0$  và  $i_c = I_d$  và tụ  $C_{62}$  phân cực ngược lại.

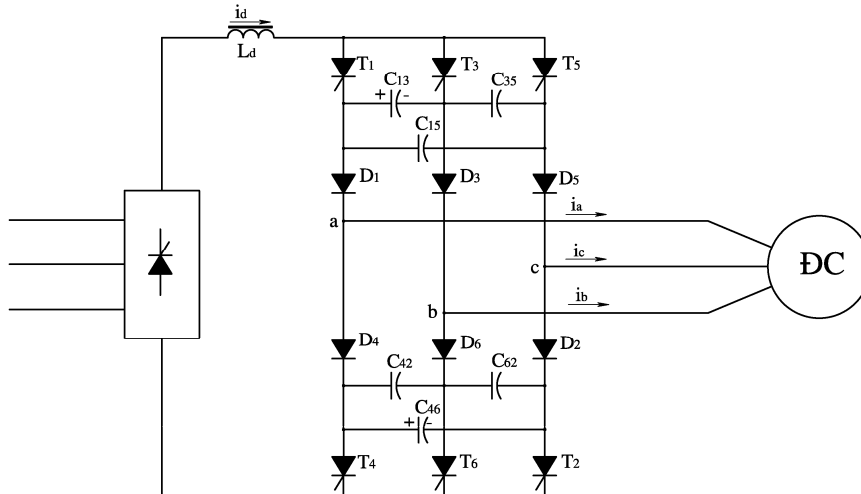


Hình 1.14: Sơ đồ nối dây chuyển mạch và dạng dòng điện pha

**Một số ưu điểm của nghịch lưu nguồn dòng :**

+ Có khả năng vượt qua được các sự cố chuyển mạch và tự phục hồi về trạng thái làm việc bình thường.

+ Có khả năng hãm tái sinh trả năng lượng về lưới bằng đảo dấu cực tính của điện áp một chiều trong khi chiều dòng điện không đổi chiều. Vì vậy không cần yêu cầu thêm bộ chỉnh lưu đảo chiều điện áp. Sự làm việc của động cơ khi độ trượt âm sẽ tự động đảo dấu điện áp một chiều vì dòng điện một chiều là đại lượng được điều khiển. Do đó trong bộ nghịch lưu nguồn dòng năng lượng sẽ được tự động nghịch lưu trả về lưới.



Hình 1.15 : Sơ đồ nguyên lý mạch nghịch lưu nguồn dòng

### Nhược điểm của bộ nghịch lưu nguồn dòng :

+ Nhược điểm chính của bộ nghịch lưu nguồn dòng là không thể làm việc được ở chế độ không tải.

+ Kích thước của tụ điện và điện cảm lọc nguồn một chiều khá lớn. Các tụ chuyển mạch phải có trị số lớn cần thiết để thu nhận năng lượng của cuộn dây stator khi chuyển mạch.

+ Để đảm bảo năng lượng phản kháng tối thiểu thì động cơ phải được thiết kế sao cho điện cảm tản nhỏ nhất. Điều này sẽ làm tăng mức giá động cơ.

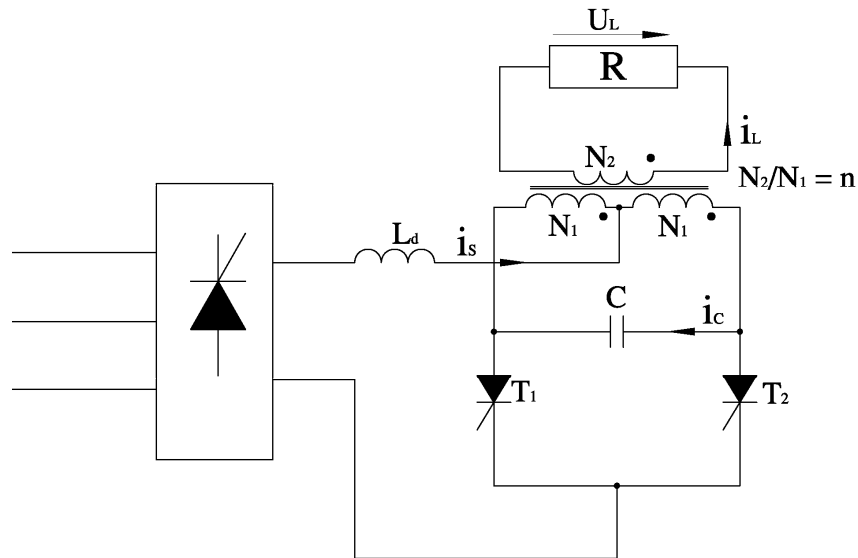
### 2.2.3. Bộ nghịch lưu nguồn điện áp chỉnh lưu có điều khiển

#### 2.2.3.1. Bộ nghịch lưu một pha

Điện áp xoay chiều tần số công nghiệp sau khi qua bộ chỉnh lưu có điều khiển được tụ C lọc thành nguồn áp, cung cấp cho mạch nghịch lưu.

#### a. Sơ đồ nghịch lưu một pha có điểm giữa

Sơ đồ nghịch lưu một pha có điểm giữa có sơ đồ nguyên lý như hình 1.16. Nối điện áp một chiều vào các nửa dây quấn sơ cấp của các máy biến áp, bằng cách nối luân phiên hai thyristor làm điện áp cảm ứng bên thứ cấp của máy biến áp có dạng hình chữ nhật cung cấp cơ động cơ. Tụ điện C có vai trò giúp các thyristor chuyển mạch. Vì tụ C mắc song song với tải qua máy biến áp nên phải mắc nối tiếp



Hình 1.16 : Sơ đồ nghịch lưu một pha có điểm giữa

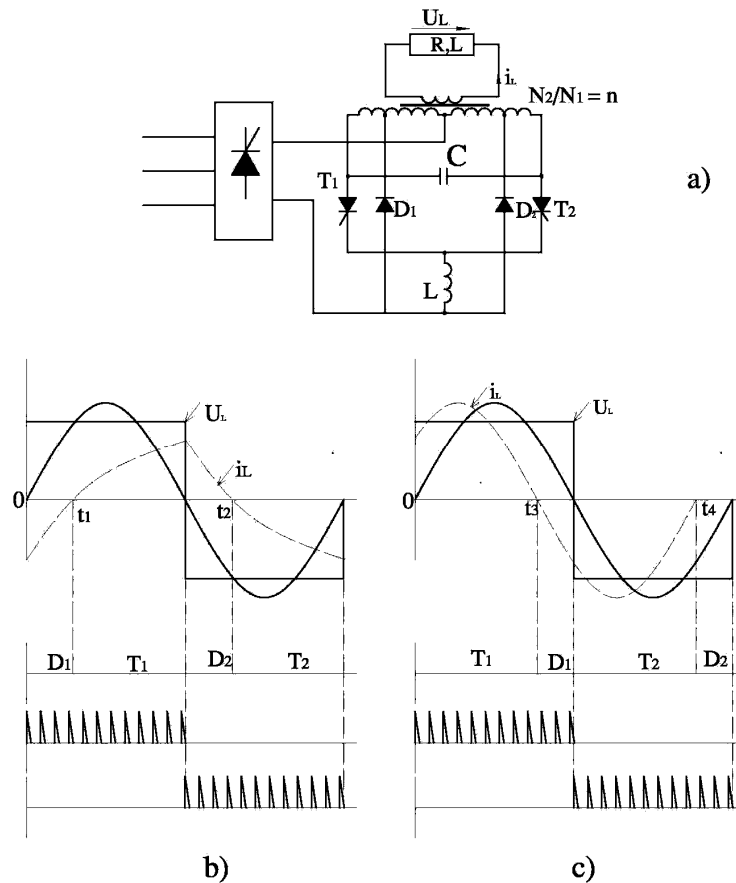
một cuộn dây L nối tiếp với nguồn để ngăn không cho tụ C phóng ngược trở lại nguồn trong quá trình chuyển mạch của các van bán dẫn.

Khi một thyristor dẫn điện, điện áp nguồn một chiều E đặt vào một nửa cuộn dây sơ cấp. Điện áp tổng cộng 2E được nạp cho tụ C. Mở thyristor tiếp theo sẽ làm khoá thyristor trước, nhờ quá trình chuyển mạch qua tụ được mắc song song.

Trong trường hợp máy biến áp là lý tưởng, sức từ động của máy biến áp luôn cân bằng. Trong thực tế, điện áp một chiều trên hai đầu dây quấn chỉ có thể được duy trì bằng từ thông biến thiên, do đó cần có dòng điện từ hoá ban đầu.

Để cải thiện dạng sóng của điện áp tải cho gần với sóng hình sin nên chọn các phần tử một cách thích hợp sao cho tránh được phần nằm ngang của điện áp, nghĩa là kích mở một thyristor gần thời điểm dẫn của thyristor khác, làm cho điện áp tải có trị số cực đại.

Nếu tải không phải là tải điện trở thì Khi tải là điện cảm , dòng điện tải tăng lên rồi lại giảm. Khi thyristor T<sub>1</sub> dẫn, dòng điện chảy từ c tới a, c dương so với a và tải nhận được dòng điện chảy từ c tới a. Khi thyristor T<sub>2</sub> mở để đổi chiều điện áp ra thì thyristor T<sub>1</sub> bị khoá, nhưng dòng điện tải không thể đổi chiều đột ngột, dòng điện sơ cấp cũng không thay đổi điện áp và dòng điện có sự lệch pha nhau. Sơ đồ được trình bày như hình 1.17.



Hình 1.17 : Sự làm việc với tải phản kháng

Khi  $T_1$  bị khoá, chỉ có dòng điện chảy từ d đến c qua  $D_2$  nạp trở lại nguồn một chiều. Trong khi  $D_2$  dẫn, thyristor  $T_2$  bị khoá (cùng thời điểm chuyển mạch kết thúc), điện thế tại điểm d âm hơn so với c. Vì vậy công suất từ tải được đưa trở lại nguồn một chiều.

Ta xét hình 1.17b : ở thời điểm  $t_2$  dòng điện tải triệt tiêu, diode  $D_2$  ngừng dẫn và thyristor  $T_2$  trở lại dẫn dòng, làm ngược chiều dòng điện tải, tải trở thành nguồn điện. Để đảm bảo thyristor  $T_2$  chắc chắn dẫn tại thời điểm  $t_2$ , ta phải kích mở theo nguyên tắc chùm xung. Quá trình cũng diễn ra tương tự cho thyristor  $T_1$ .

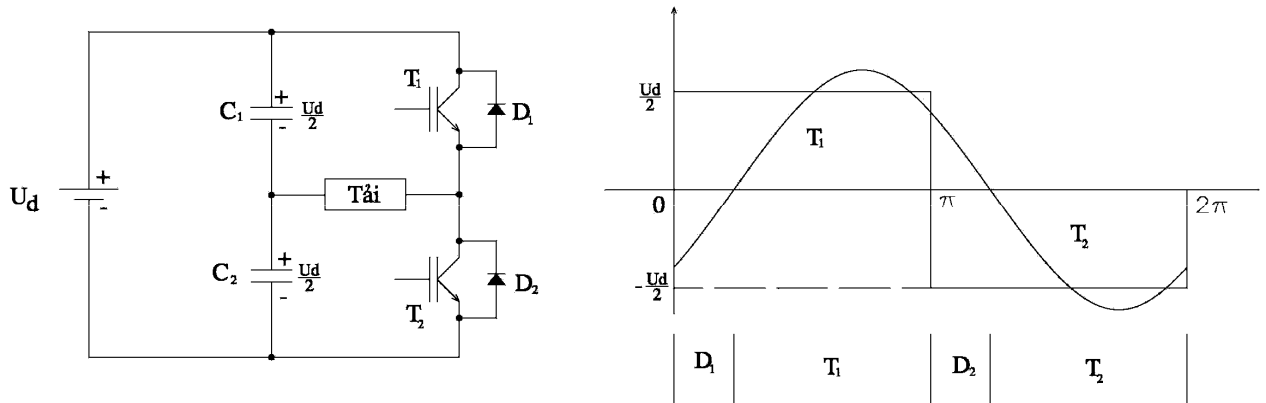
Ta có thể phối hợp các diode ở đầu bên phía sơ cấp của máy biến áp, nhưng khi đó sẽ dẫn đến tổn hao năng lượng chuyển mạch trong cuộn dây lọc nguồn. Sự phối hợp các diode ở gần đầu dây quấn cho phép lấy lại năng lượng tích lũy trong cuộn dây sau khi chuyển mạch và do vậy làm giảm được tổn hao trong mạch.

Ta xét tải có tính điện dung. Dạng điện áp được trình bày đơn giản như hình 1.17c, dòng điện qua các diode tại các thời điểm  $t_3$  và  $t_4$  trước khi mở

thyristor làm đổi chiều điện áp ra. Trong trường hợp tổng quát sóng điện áp và dòng điện không phải là sin hoàn toàn, ta chỉ xét sóng điện áp cơ bản trong trường hợp đơn giản.

***b. Mạch nghịch lưu nửa cầu***

Sơ đồ mạch nghịch lưu nửa cầu có dạng như hình vẽ (hình 1.18)



*Hình 1.18: Sơ đồ mạch nghịch lưu nửa cầu*

Tải của mạch nghịch lưu thông thường mang tính cảm nên trong sơ đồ có thêm hai diode ngược đấu song song với các Transistor tương ứng, nhằm ngăn ngừa quá điện áp lớn xuất hiện trên các cực Transistor khi đóng cắt dòng tải.

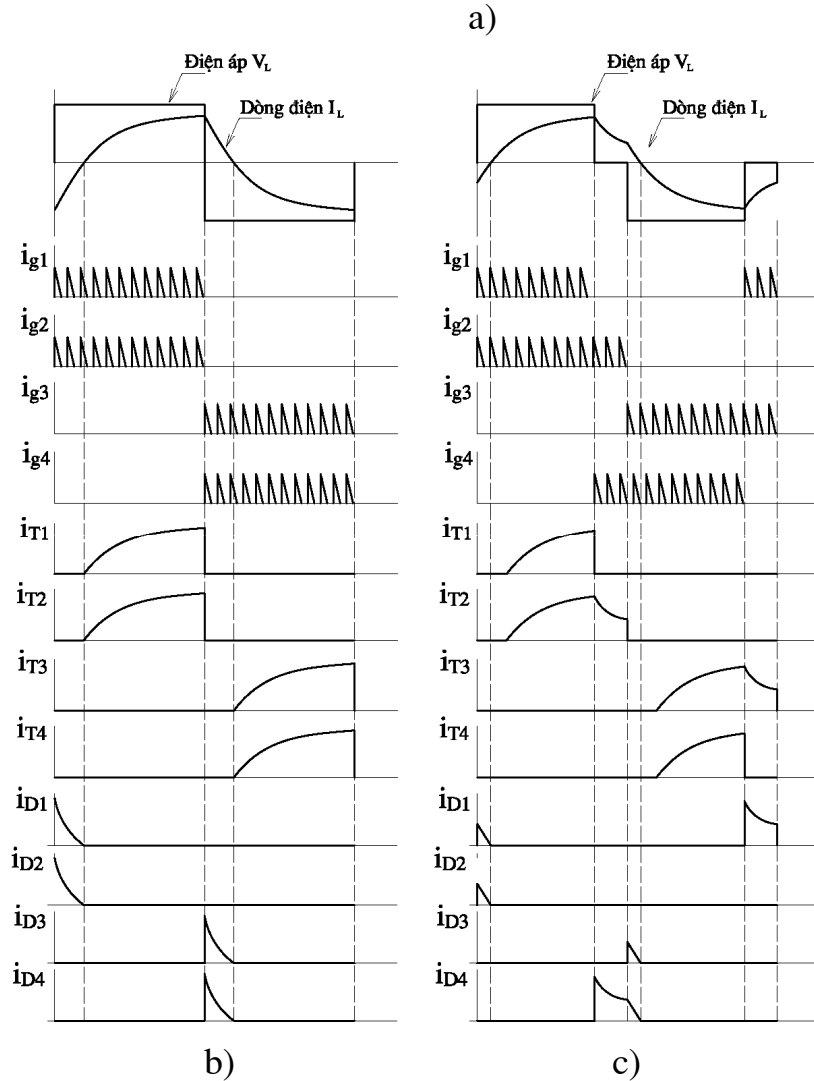
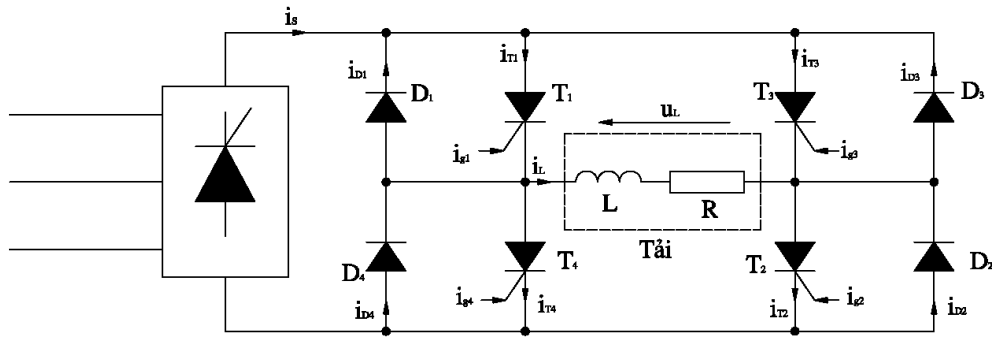
Quá trình dẫn của các van bán dẫn có thể thấy đơn giản qua qua đồ thị dòng điện và điện áp đầu ra của bộ nghịch lưu.

Ưu điểm của sơ đồ là cấu trúc và điều khiển đơn giản, tốn ít van bán dẫn.

Nhược điểm của sơ đồ này là khả năng đáp ứng được công suất lớn là không cao.

***c. Mạch nghịch lưu cầu***

Sơ đồ mạch nghịch lưu cầu có sơ đồ động lực như hình vẽ (Hình 1.19)



Hình 1.19 : Bộ nghịch lưu cầu một pha

Nếu tải trong hình 1.19a là tải thuần trở, việc mỗi lần lượt các thyristor  $T_1$ ,  $T_2$  và  $T_3$ ,  $T_4$ , điện áp một chiều sẽ đặt lên hai cực của tải theo hai chiều tạo nên sóng hình chữ nhật. Trong trường hợp tải điện cảm, dòng điện chậm pha hơn so với điện áp mặc dù dạng điện áp vẫn còn dạng hình chữ nhật.



Dạng sóng biểu diễn trên hình 1.19c được vẽ trong trường hợp tải mang tính chất điện cảm. Các thyristor được mỗi bằng xung chùm liên tục trong khoảng  $180^\circ$  của điện áp ra của bộ nghịch lưu. Cuối nửa chu kỳ dương của điện áp, dòng điện tải là dương và tăng theo hàm số mũ, khi thyristor  $T_3$  và  $T_4$  được mỗi để khoá thyristor  $T_1$  và  $T_2$  thì điện áp đổi chiều, nhưng dòng điện tải không đổi chiều. Mạch duy nhất để dòng điện tải chảy qua là qua các diode  $D_3$  và  $D_4$ . Nguồn điện một chiều được nối với tải theo điện áp ngược với ban đầu và cung cấp nguồn cho tải, dòng điện tải tăng theo hàm mũ. Vì các thyristor yêu cầu phải được mỗi đúng lúc sau khi dòng điện tải triệt tiêu, nên cần phải đưa một xung chùm vào cực điều khiển trong khoảng  $180^\circ$  dẫn của van.

Từ nguồn một chiều điện áp cố định ta cũng có thể điều chỉnh điện áp ra chữ nhật có những khoảng điện áp bằng không (Hình 1.19c). Ta nhận được điện áp hình chữ nhật bằng cách kích mở các thyristor  $T_1$  và  $T_4$  trước các thyristor  $T_2$  và  $T_3$ . Trên hình 1.29c biểu diễn góc  $\varphi$  là góc vượt trước này. Hay nói cách khác chùm xung đưa vào  $T_1$  và  $T_4$  vượt trước một góc  $\varphi$  so với đưa vào  $T_2$  và  $T_3$ .

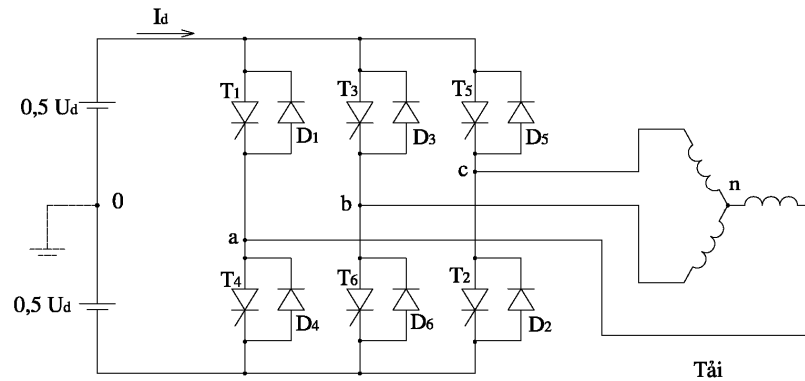
Dạng sóng trên hình 1.19c, ở thời điểm thyristor  $T_4$  được kích mở để khoá  $T_1$ , dòng điện tải chảy qua diode  $D_4$  nhưng vì thyristor  $T_2$  còn dẫn nên dòng tải chảy qua  $D_4$  và  $T_2$  làm ngắn mạch tải và triệt tiêu điện áp trên tải. Khi thyristor  $T_3$  được kích mở và thyristor  $T_2$  bị khoá thì dòng điện chảy qua diode  $D_3$  làm đổi chiều điện áp nối với nguồn. Các thyristor  $T_3$  và  $T_4$  bắt đầu dẫn ngay khi dòng điện tải triệt tiêu. Các dòng điện qua thyristor và diode không còn giống nhau nữa.

Hình 1.20 ta có một cách khác để nhận được một sóng gần hình chữ nhật có bề rộng thay đổi được bằng cách phối hợp (cộng) các đầu ra lệch pha của hai bộ nghịch lưu sóng hình chữ nhật. Bộ nghịch lưu 2 lệch pha so với bộ nghịch lưu 1 một góc  $\varphi$  tạo nên điện áp chung có khoảng điện áp bằng không có độ rộng bằng  $\varphi$ .

Điện áp đầu ra có thể điều chỉnh được bằng cách giảm điện áp một chiều đặt vào bộ nghịch lưu.

### 2.2.3.2. Bộ nghịch lưu ba pha

Mạch công suất của nghịch lưu cầu ba pha sử dụng Thyristor được trình bày ở hình vẽ (Hình 1.20), trong đó quá trình chuyển mạch và quá độ được bỏ qua trong trường hợp đơn giản. Dạng sóng điện áp đầu ra được trình bày ở hình 1.21

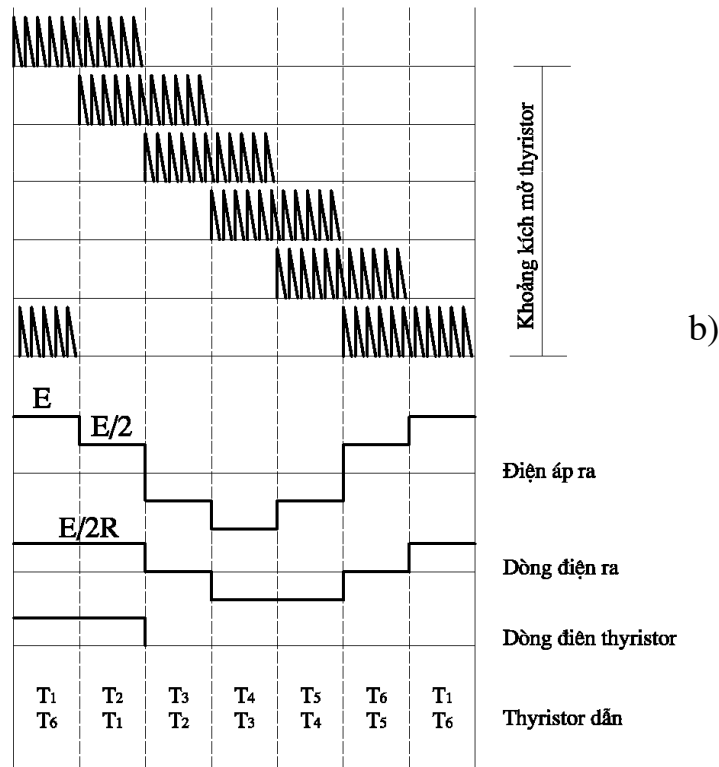
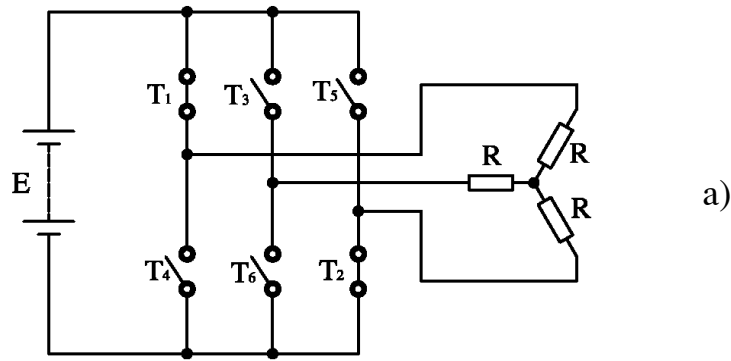


Hình 1.20 : Bộ nghịch lưu cầu ba pha

Bộ nghịch lưu bao gồm ba nửa cầu, mỗi nửa cầu bao gồm hai Transistor cao và thấp, mỗi Transistor sẽ đóng cắt biến đổi trong khoảng thời gian  $180^\circ$ . Mỗi nửa cầu được dịch pha  $120^\circ$  và dạng sóng cân bằng của ba pha được trình bày trong hình 1.21. Nguồn DC có trung tính giả, mục đích của trung tính giả là làm thuận lợi cho ta khi xét dạng sóng đầu ra của bộ nghịch lưu, trong thực tế thì trung tính này không có thật. Điện áp DC có được từ một chỉnh lưu cầu và một mạch lọc LC để có một nguồn áp tương đối lý tưởng. Dạng sóng của điện áp ra. Dạng sóng điện áp đầu ra của bộ nghịch lưu được xác định bởi dạng của mạch điện và phương pháp đóng cắt mà không phụ thuộc vào dạng của tải. Dạng sóng ra này rất nhiều thành phần sóng hài bậc cao, nhưng dòng điện thì tương đối bằng phẳng hơn, điều này có được là do ảnh hưởng hiệu ứng lọc của tải.

Theo các dạng sóng trình bày trên hình 1.21b được vẽ trong trường hợp tải thuần trở. Dòng điện dây có dạng gần hình chữ nhật, mỗi thyristor dẫn  $1/3$  chu kỳ dòng điện tải. Ta coi thyristor chỉ là những khoá chuyển mạch, tức là ta bỏ qua quá độ trong các van bán dẫn. nguồn một chiều được đóng mở trong sáu khoảng để tổng hợp nên đầu ra ba pha. Tần số đóng cắt của thyristor xác định tần số điện áp ra.

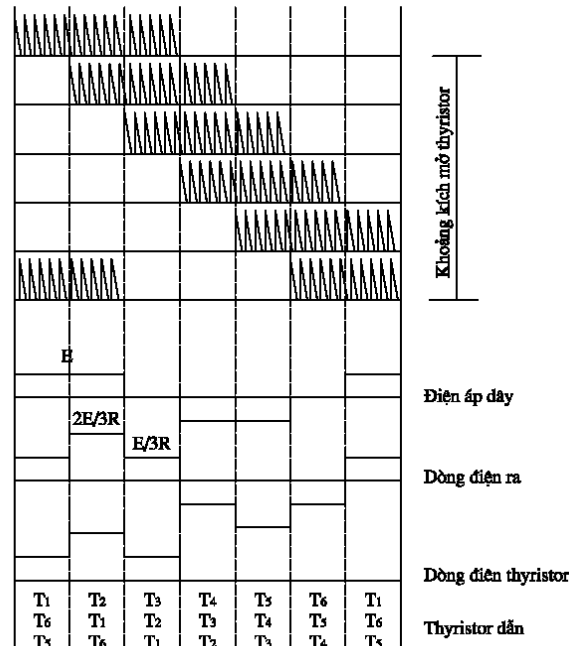
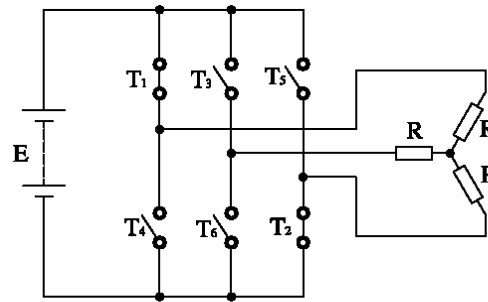
Điện cảm của tải làm thay đổi dạng sóng hình bậc thang của điện áp ra. Nguyên nhân chủ yếu là việc chuyển mạch của dòng điện tải trong các diode làm duy trì các chuyển mạch (hình 1.21a) khép kín rộng khoảng lớn hơn  $120^\circ$ .



Hình 1.21 : Bộ nghịch lưu cầu ba pha và các dạng sóng

Trong điều khiển thyristor thông thường góc điều khiển được chọn bằng  $180^\circ$ . Do vậy nguồn điện một chiều được nối vào tải qua một thyristor đến một trong hai cực và có hai thyristor nối song song và cực khác.

Dạng sóng trên hình 1.22 biểu diễn qua trình dẫn trong vùng  $180^\circ$ , điện áp dây hình chữ nhật. Dòng điện tải có dạng hình bậc thang và mỗi thyristor dẫn  $180^\circ$ .



Hình 1.22 : Bộ nghịch lưu cầu ba pha làm việc trong vùng  $180^\circ$  tải R và các dạng sóng

**Ưu điểm của bộ nghịch lưu nguồn áp - chỉnh lưu có điều khiển:**

Bộ nghịch lưu nguồn áp là bộ nghịch lưu khá thông dụng và bộ nghịch lưu loại này có một số ưu điểm sau :

- + Điện áp và dòng điện ra được điều biến gần sin hơn.
- + Điều chỉnh điện áp ra dễ dàng bằng điều chỉnh góc mở của chỉnh lưu và bằng điều chỉnh khoảng dẫn của thyristor.
- + Có khả năng làm việc ở chế độ không tải
- + Do sử dụng các tụ làm mạch lọc nguồn nên bộ nghịch lưu loại này có kích thước nhỏ gọn hơn nghịch lưu nguồn dòng. Không có tổn hao trong cuộn kháng lọc nguồn.

**Nhược điểm của bộ nghịch lưu nguồn áp - chỉnh lưu có điều khiển:**

+ Dòng điện và điện áp vẫn chứa nhiều thành phần sóng hài tần số cơ bản.

+ Dễ bị ngắn mạch pha nếu không khoá thyristor hợp lý.

+ Với những hệ yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ thì bộ nghịch lưu này khó đáp ứng được do khả năng chuyển mạch của van bán dẫn.

### ***2.2.3. Bộ nghịch lưu điều biến độ rộng xung - chỉnh lưu không điều khiển***

Để nâng cao chất lượng điện áp và dòng điện đầu ra của bộ nghịch lưu, bộ nghịch lưu điều biến độ rộng xung được đưa vào nghiên cứu và ứng dụng. Tiêu chuẩn cơ bản để đánh giá chất lượng của một bộ nghịch lưu là mức độ gần sin chuẩn của điện áp và dòng điện đầu ra. Trong tất cả các bộ nghịch lưu được ứng dụng thì bộ nghịch lưu điều biến độ rộng xung được đánh giá là bộ nghịch lưu cho phép đưa ra dạng sóng gần sin nhất. Nguyên lý của bộ nghịch lưu này trong chương này ta không đi sâu vào mà nó sẽ được đề cập sâu hơn ở chương sau, ở đây ta chỉ nói qua về nguyên lý sơ bộ để có thể so sánh với hai dạng nghịch lưu ở trên.

## CHƯƠNG II

### BỘ NGHỊCH LƯU ĐIỀU BIẾN ĐỘ RỘNG XUNG

#### *1. Sự cần thiết của bộ nghịch lưu điều biến độ rộng xung*

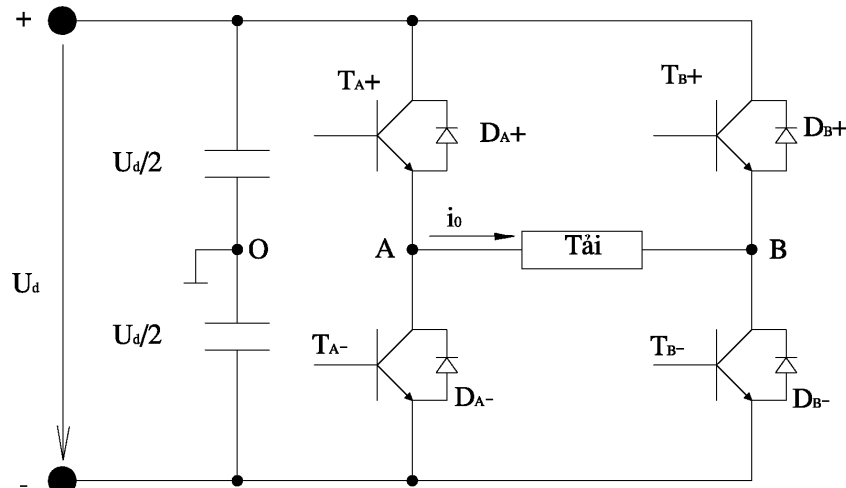
Các bộ nghịch lưu đề cập trong chương 1 là những bộ nghịch lưu mà dạng sóng của dòng điện hoặc điện áp đưa vào bộ nghịch lưu là những xung vuông hoàn toàn hoặc xung có nhảy cấp mà ta định nghĩa chung là những bộ nghịch lưu nhảy cấp. Bộ nghịch lưu nhảy cấp loại này có những thuận lợi và hạn chế nhất định trong điều khiển và dạng sóng đầu ra. Thuận lợi chủ yếu là vấn đề điều khiển, trong điều khiển, ở một chừng mực nhất định, thì kết cấu của mạch điều khiển tương đối đơn giản, thời gian đóng cắt của van bán dẫn được cố định trong một chu kì. Ta thấy cả hai bộ nghịch lưu nguồn dòng và nguồn áp đề cập ở chương 1 thì trong một nửa chu kì điện áp cơ bản đầu ra thì các van bán dẫn chỉ đóng cắt một lần duy nhất. Có thể nói rằng tần số đóng cắt của van bán dẫn bằng hai lần tần số của sóng cơ bản bộ nghịch lưu. Khả năng chuyển mạch của van bán dẫn yêu cầu không cao, do vậy có thể dùng cho mạch công suất lớn vì các van bán dẫn công suất lớn có tốc độ chuyển mạch thấp, các van công suất càng lớn thì tốc độ chuyển mạch càng chậm. Bên cạnh ưu điểm trên thì bộ nghịch lưu nhảy cấp trên bộc lộ một số nhược điểm, nhược điểm lớn nhất là khả năng sin hoá dòng điện hoặc điện áp không cao. Do đóng cắt cung cấp cho tải những xung vuông nên khi tải là động cơ sẽ xuất hiện sóng hài bậc cao không mong muốn. Sóng hài xuất hiện làm tổn hao trong mạch tăng lên và độ tinh chỉnh trong điều khiển giảm. Khi tần số đầu ra yêu cầu càng thấp thì sóng hài xuất hiện càng nhiều và khi tốc độ cặn không thì hai bộ nghịch lưu dạng này mất khả năng kiểm soát tốc độ, đặc biệt là bộ nghịch lưu nguồn dòng.

Bộ nghịch lưu điều biến độ rộng xung ra đời khắc phục được nhược điểm của hai bộ nghịch trên. Dạng sóng đầu ra của bộ nghịch lưu điều biến độ rộng xung (PWM - Pulse Width Modulation) được điều biến gần sin hơn, thành phần hài bậc cao được loại trừ đến mức tối thiểu, khả năng điều khiển thích nghi theo mọi cấp điện áp và mọi tần số trong dải tần số định mức. Bằng phương pháp PWM ta có thể điều khiển được động cơ thích nghi theo một đường đặc tính cho trước. Nhược điểm lớn nhất của bộ nghịch lưu PWM là yêu cầu van bán dẫn có

khả năng đóng cắt ở tần số lớn. Tần số thông thường lớn hơn khoảng 15 lần tần số định mức đầu ra của bộ nghịch lưu.

**2. Nguyên lý hoạt động của PWM**

Sơ đồ mạch lực PWM một pha được biểu diễn như hình 2.1 :



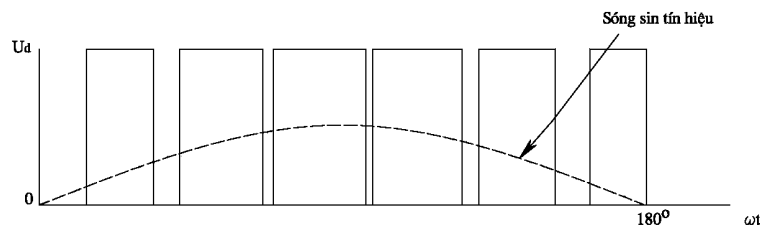
*Hình 2.1 : Sơ đồ mạch nghịch lưu PWM một pha*

Hai đại lượng cần phải quan tâm khi xem xét về PWM là: sóng mang và sóng điều biên.

+ Sóng mang: Sóng mang là sóng tam giác có tần số rất lớn, có thể đến hàng chục thậm chí hàng trăm kHz.

+ Sóng điều biên: Sóng điều biên là sóng hình sin có tần số bằng tần số sóng cơ bản đầu ra của bộ nghịch lưu. Sóng điều biên chính là dạng sóng mong muốn ở đầu ra của mạch nghịch lưu.

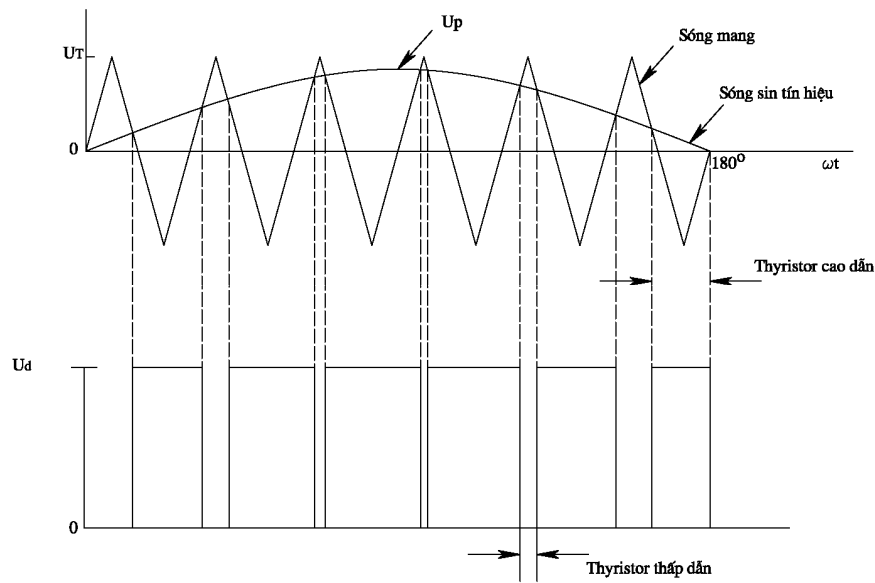
Hình 2.2 biểu diễn điện áp đầu ra của bộ nghịch lưu PWM đơn cực. Chu kỳ đóng mở được điều khiển sao cho bề rộng xung của các chu kỳ là cực đại ở đỉnh sóng hình sin cơ bản.



*Hình 2.2: Điện áp ra của bộ nghịch lưu PWM đơn cực*

Để ý rằng diện tích của mỗi xung tương ứng gần với diện tích dưới dạng sóng hình sin mong muốn giữa hai khoảng mở liên tiếp. Các điều hoà của sóng điều chế theo phương pháp PWM giảm rõ rệt theo phương pháp này.

Để xác định thời điểm kích mở cần thiết để tổng hợp đúng dạng sóng đầu ra theo phương pháp PWM (đơn cực) trong mạch điều khiển người ta tạo ra một sóng sin chuẩn mong muốn và so sánh nó với một dãy xung tam giác được biểu diễn trên hình 2.2. Giao điểm của hai sóng xác định thời điểm kích mở van bán dẫn.

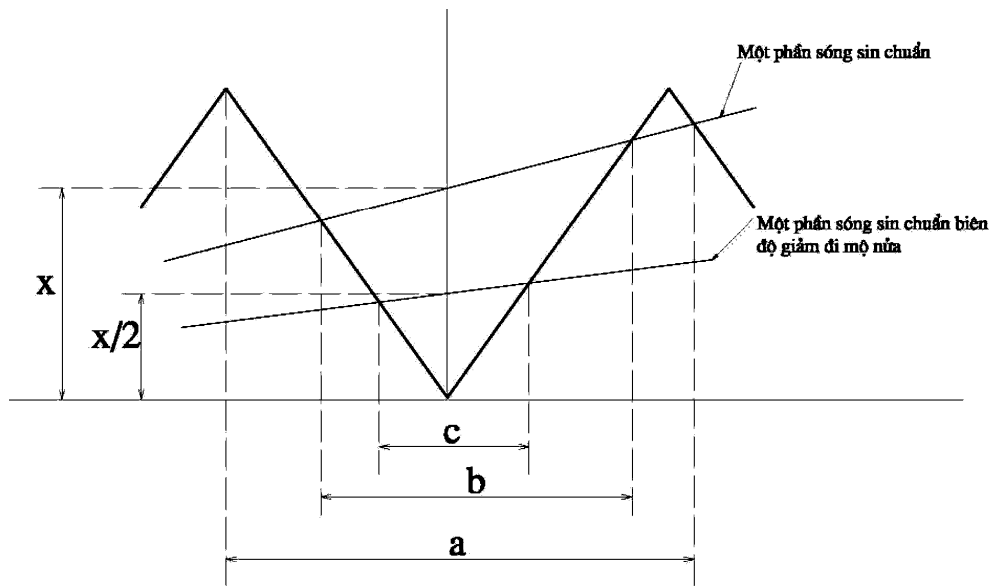


Hình 2.3 : Đồ thị xác định thời điểm kích mở thyristor

Điện áp của đầu ra bộ nghịch lưu PWM cực đại khi ở chế độ xung vuông, có nghĩa là khi đó đầu ra của PWM giống như bộ nghịch lưu nguồn áp đã đề cập ở chương 1. Khi điện áp điều khiển càng giảm thì bề rộng của xung càng giảm và độ trống xung càng tăng, do vậy điện áp ra giảm. Vì vậy có thể điều khiển điện áp đầu ra bằng điện áp điều khiển.

Hình 2.4 giải thích việc sử dụng sóng tam giác để so sánh tạo điểm kích mở van bán dẫn. Phần sóng hình sin nằm phía trên xung tam giác sẽ tương ứng cho xung ra có bề rộng b. Giảm biên độ sóng hình sin ta sẽ có một nửa sẽ có xung có bề rộng c. Xung sin có tần số nhỏ hơn nhiều tần số xung tam giác nên có thể coi như trong một chu kỳ xung tam giác thì xung hình sin không thay đổi độ lớn, vì vậy ta có  $c = b/2$ .



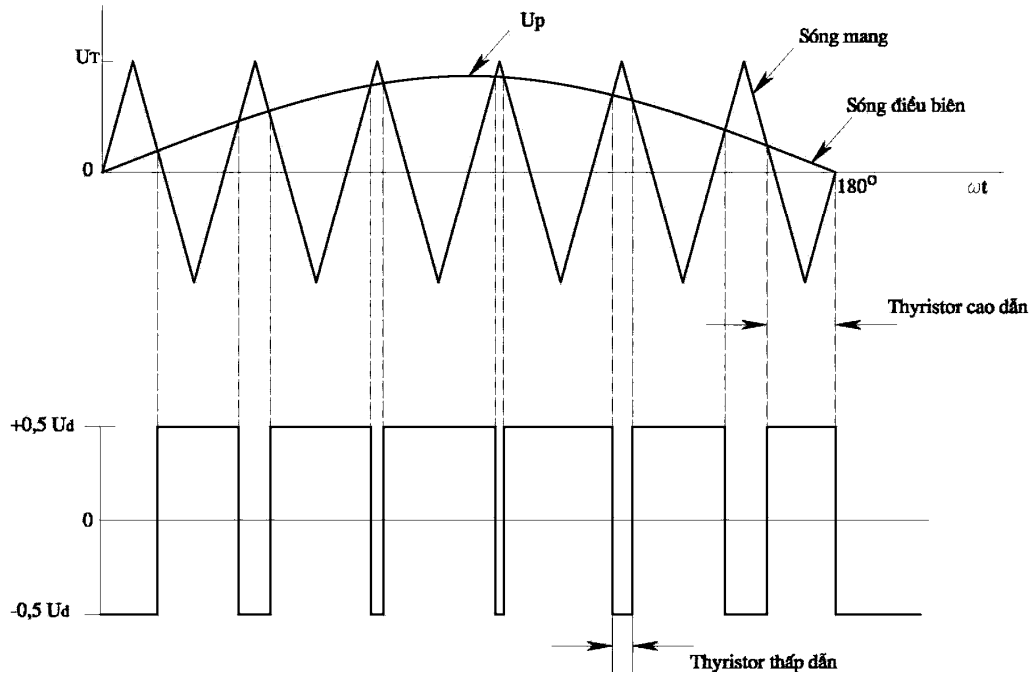


Hình 2.4 : Giải thích việc sử dụng sóng tam giác để so sánh

Biên độ của điện áp điều biến ra không đổi nhưng bề rộng xung thay đổi, do vậy điện áp trung bình đầu ra thay đổi và ta có biên độ điện áp sau bộ nghịch lưu thay đổi. Cách điều chế tương tự cũng được xem xét cho phần âm của sóng sin chuẩn. Bề rộng  $a$  trên hình vẽ ứng với giá trị cực đại của sóng sin. Điều đó đồng nghĩa với biên độ cực đại của sóng sin chuẩn không lớn hơn xung tam giác.

Quá trình đưa xung có tần số cao vào sẽ tạo ra đóng cắt tần số lớn do vậy sẽ làm tăng các điều hoà bậc cao. Nhưng ta có thể dễ dàng lọc ra điều hoà bậc thấp và tần số cơ bản sin hơn. Bên cạnh đó động cơ là tải điện cảm nên dễ dàng làm suy giảm các điều hoà bậc cao cả điện áp và dòng điện.

Thay cho phương pháp điều khiển PWM đơn cực để nâng cao chất lượng điều khiển ta có phương pháp điều khiển PWM lưỡng cực. Các thyristor được kích mở theo từng cặp nhằm tránh khoảng điện áp về không (lưỡng cực). Biểu đồ điện áp điều biến PWM lưỡng cực được biểu diễn trên hình 2.5. Phần điện áp ngược trong nửa chu kỳ đầu ra rất ngắn. Để xác định thời điểm van bán dẫn ngược ta điều chế sóng tam giác tần số cao bằng sóng sin chuẩn vì vậy không tạo độ lệch pha giữa sóng tam giác và sóng hình sin cầu điều biến.



Hình 2.5 : Điều chế độ rộng xung lưỡng cực

Số lần chuyển mạch nhiều trong một chu kỳ sóng tam giác dẫn tới tổn hao đổi chiều trong thyristor của bộ nghịch lưu lớn. Để chọn bộ nghịch lưu có sóng gần chữ nhật hoặc bộ nghịch lưu PWM phải chú ý đến giá thành bộ xung phân tử chuyển mạch và tổn hao chuyển mạch, song song với điều đó phải tính đến sóng cơ bản còn lại ở đầu ra.

### 3. Định lượng PWM

Trong phần 2 ta đã có một khái niệm cơ bản về bộ nghịch lưu điều biến độ rộng xung - PWM. Phần này ta sẽ đi sâu vào định lượng một số đại lượng cần thiết trong tính toán bộ nghịch lưu PWM và vấn đề hài bậc cao ở đầu ra. Những vấn đề cần quan tâm trong tính toán bộ PWM :

- + Sin hoá PWM
- + Nguyên lý loại trừ hài bậc cao
- + Điều khiển thích nghi PWM
- + Dịch pha PWM

Do yêu cầu đóng cắt với tần số cao nên phần lớn PWM sử dụng transistor như : BJT, MOSFET, IGBT.... làm phân tử chuyển mạch. Vì vậy trong quá trình xem xét về PWM ta dùng transistor làm đối tượng nghiên cứu.

### 3.1. Sin hoá PWM

Kỹ thuật sin hoá PWM được ứng dụng rất thông dụng trong công nghiệp. Hình 2.5 trình bày nguyên lý cơ bản của PWM, trong đó một sóng mang chuẩn hình tam giác được so sánh với thành phần tần số cơ bản của sóng điều biến hình sin, điểm giao cắt của chúng đánh dấu điểm chuyển mạch của các phần tử bán dẫn công suất. Trong PWM ba pha, một sóng mang chung được sử dụng cho cả ba pha. Hình dạng chuẩn của sóng điện áp dây và điện áp pha với điểm so sánh điện áp là điểm trung tính được trình bày trong hình 2.1.

Những loạt xung vuông biến đổi ở đầu ra bộ nghịch lưu được điều biến thành hình sin, và dạng sóng bao gồm một thành phần cơ bản của tần số điều biến. Biên độ của các thành phần cơ bản có thể thay đổi khi tần số và điện áp của sóng điều biến thay đổi. Xử lý chuỗi Fourier của sóng điện áp đầu ra khá phức tạp, nhưng có thể trình bày theo công thức sau :

$$v(t) = m \frac{V_d}{2} \sin(\omega_s t + \phi) + \text{thành phần hàm điều hoà Bessel}$$

trong công thức trên :

- +  $m$  : hệ số điều biến,
- +  $\omega_s$  tần số sóng cơ bản (bằng tần số điều biến),
- +  $\phi$  góc lệch pha đầu ra, phụ thuộc vào độ dương của sóng đầu ra.

Hệ số điều biến được định nghĩa là  $m = V_p/V_T$ , trong đó  $V_p$  là biên độ của sóng điều biến và  $V_T$  là biên độ của sóng mang. Lý tưởng thì  $m$  có thể biến đổi trong khoảng 0 và 1 thì có thể cho ta quan hệ tuyến tính giữa điện áp điều tần và điện áp đầu ra. Khi  $m = 1$ , giá trị lớn nhất của thành phần cơ bản của điện áp đầu ra có giá trị bằng  $0,5U_d$  và bằng 78,5% biên độ của điện áp xung vuông ( $4U_d/2\pi$ ). Khi giá trị  $m = 0$  thì điện áp đầu ra các xung hình vuông đối xứng với các khoảng trống. Khoảng trống được định nghĩa là khoảng thời gian khoá của phần tử chuyển mạch. Khi giá trị  $m$  tiến dần tới 1, độ rộng của khoảng trống gần giữa của nửa chu kỳ sóng hình sin tiến dần tới không. Khi sự vận hành của bộ nghịch lưu hoàn hảo, độ rộng xung và khoảng trống đạt tới giá trị nhỏ nhất được duy trì cho chuyển mạch và phục hồi đóng cắt. Cũng giống như vậy, khoảng thời gian trễ đóng cắt nhỏ nhất cũng được yêu cầu đối với quá trình đóng mở giữa hai phần tử đóng cắt cao và thấp khi cả hai phần tử này cùng khoá. Khoảng thời gian này đưa ra để loại trừ khả năng ngắn mạch van do quá trình trùng dẫn.

Dạng sóng đầu ra của PWM bao gồm thành phần sóng hài bậc cao tần số sóng mang và hài bậc cao tần số dải tần sóng điều biến. Tần số góc của sóng hài có thể tính theo công thức :

$$M.\omega_c \pm N\omega_s$$

trong đó :

+  $\omega_c$  : tần số sóng mang

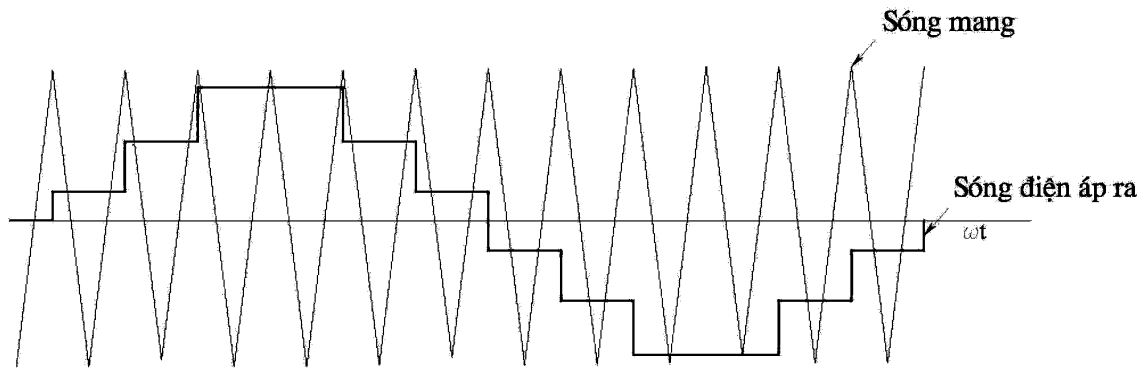
+  $\omega_s$  : tần số sóng điều biến

+ M, N là những số nguyên và M+N là một số lẻ.

Với tỷ lệ tần số sóng mang và tần số sóng điều biến P = 15, tổng các thành phần sóng hài bậc cao được đưa ra trong bảng 3.1

Biên độ của thành phần sóng hài không phụ thuộc vào hệ số điều biến tần số P và giảm bớt khi tăng độ lớn của M+N. Với giá trị cao của hệ số điều biến tần số, thành phần sóng hài dòng điện dây sẽ được lọc khá tốt bởi điện kháng tản của động cơ và dòng điện dây tiến dần đến dòng điện hình sin chuẩn. Khi lựa chọn hệ số điều biến tần số là một bội của 3, thành phần nhân ba của tần số dòng điện dây có thể bị triệt tiêu trên dây. Lựa chọn P phụ thuộc vào sự cân bằng giữa tổn hao của bộ nghịch lưu và tổn hao sóng hài của động cơ. Khi tăng giá trị của P ( tương đương với tăng số lần đóng cắt trên một giây) sẽ làm tăng tổn hao trong đóng cắt của bộ nghịch lưu nhưng lại giảm được thành phần sóng hài trong động cơ.

Nguyên lý của một bộ PWM cơ bản không có gì khác so với kỹ thuật trình bày trong hình 2.5. Điện áp đầu ra có thể tăng tuyến tính khi tăng hệ số điều biến biên độ cho đến khi đạt giá trị đỉnh của điện áp ra là một điện áp của xung vuông. Khi hệ số điều biến tần số tăng lớn hơn 1 sẽ chuyển sang giai đoạn quá điều biến, khi đó điện áp đầu ra không còn tuyến tính với điện áp hình sin, quá trình điều biến chuyển sang giai đoạn quá điều biến. Khi chuyển sang giai đoạn quá điều biến sẽ xuất hiện các thành phần sóng hài bậc cao của tần số sóng cơ bản ( thông là bậc 3, 5, 7...), các thành phần này là nguyên nhân chính chính làm tổn hao trong máy điện tăng lên.



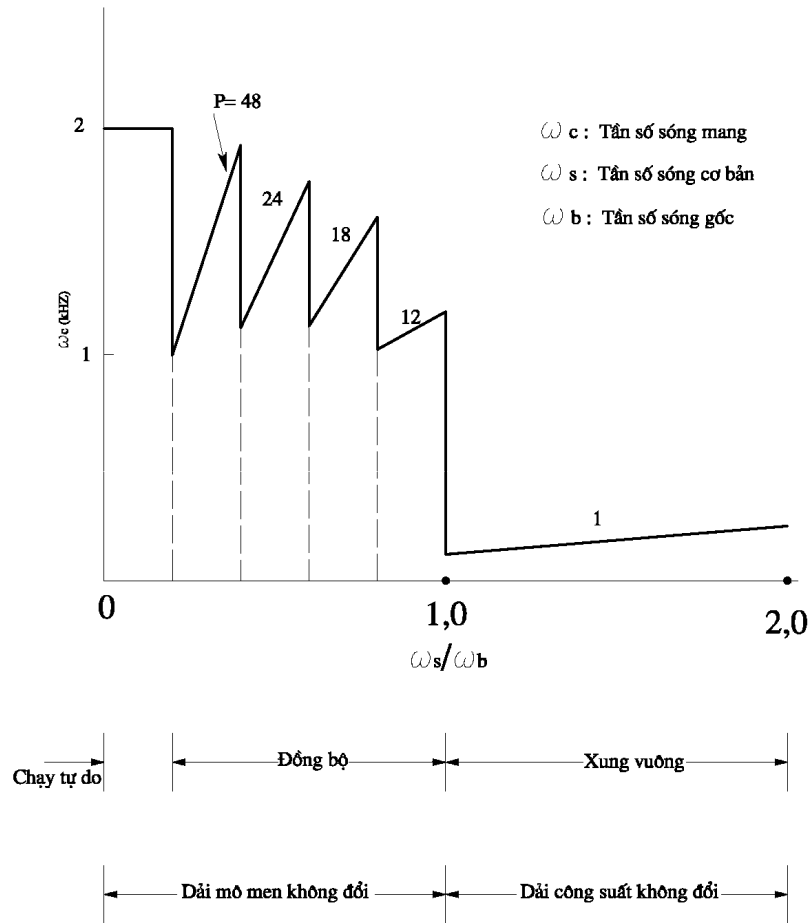
Hình 2.6 : Tương quan điện áp tam giác và điện áp ra

Mặc dù mục tiêu của bộ nghịch lưu là điều biến ra điện áp hình sin, song điện áp xung vuông hoặc xung hình thang cũng được chú ý đến. Những bộ nghịch lưu dạng này đưa ra điện áp xung có độ rộng đối xứng ở đầu ra bộ nghịch lưu. Điện áp đầu ra có thể được điều khiển tuyến tính trong dải từ 0 đến điện áp ra có dạng sóng hình vuông bởi điều chỉnh biên độ của sóng điều biến. Điện áp ra dạng xung vuông đối với động cơ không tốt bằng điện áp hình sin, nhưng quá trình điều biến đơn giản hơn.

### 3.2. Tương quan tần số

Với những ứng dụng điều khiển tốc độ thay đổi thì điện áp và tần số ra phải thay đổi như hình vẽ (Hình 2.7). Trong dải công suất cố định, điện áp ra cực đại của bộ nghịch lưu có thể đạt được khi vận hành bộ nghịch lưu ở chế độ xung vuông, nhưng trong điều khiển dải mô men cố định thì điện áp được điều khiển theo nguyên lý điều biến độ rộng xung. Ta mong muốn vận hành bộ nghịch lưu với một hệ số điều biến tần số hoàn hảo, với sóng điều biến yêu cầu đối xứng với sóng mang trong trong toàn bộ dải sóng. Một hệ số cố định  $P$  khi tần số sóng mang giảm sẽ dẫn tới tần số sóng điện áp cơ bản giảm, điều này không được mong muốn do tổn hao sóng hài bậc cao ở điểm này. Khi tần số sóng cơ bản thấp, sóng mang của bộ nghịch lưu được duy trì không đổi và bộ nghịch lưu vận hành ở chế độ chạy tự do hay chế độ thiếu đồng bộ. Ở chế độ này hệ số  $P$  có thể không phải là số nguyên và pha có thể trôi liên tục. Điều này làm tăng vấn đề hài bậc ba với sự trôi của điện áp DC, nhưng những tác hại của hiệu ứng này có thể bỏ qua bởi một hệ tần số lớn. Theo sau dải thiếu đồng bộ là

dải đồng bộ, tại đó P được biến đổi từng bước vì vậy tần số sóng mang lớn nhất và nhỏ nhất yêu cầu giới hạn trong phạm vi định trước.



Hình 2.7 : Tương quan tần số sóng cơ bản và tần số sóng mang

Gần tần số gốc, xuất hiện quá trình quá độ của chế độ xung vuông, tại đó tần số sóng mang có thể cho rằng giống như tần số cơ bản. Bộ điều khiển được thiết kế một cách cân trọng vì vậy tại điểm có sự nhảy cấp của tần số không có sự nhảy cấp của điện áp.

### 3.3. Phương thức loại trừ sóng hài

Những sóng hài không mong muốn của xung vuông có thể bị loại bỏ và thành phần điện áp cơ bản có thể được điều khiển một cách hiệu quả bằng những gì được biết trong phương thức loại trừ sóng hài. Trong phương thức này, những khoảng trống được tạo ra trên xung vuông tại những góc định trước trên xung vuông, như trong hình vẽ (hình 2.8). Trong hình vẽ, một nửa chu kỳ sóng điện áp ra được trình bày với một phần tư sóng do đối xứng nhau. Có thể chỉ ra đây rằng bốn góc của khoản trống  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  và  $\alpha_4$  có thể được điều khiển để loại trừ ba

thành phần sóng hài và điều khiển điện áp sóng cơ bản đầu ra. Số thành phần cơ bản có thể bị loại trừ sẽ lớn hơn nếu dạng sóng được đưa thêm nhiều góc khoảng trống.

**Nguyên lý :** Chuỗi Fourier tổng quát của sóng đầu ra có thể đưa ra như sau :

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t)$$

trong đó :

$$+ a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} v(t) \cos n\omega t \, d\omega t$$

$$+ b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} v(t) \sin n\omega t \, d\omega t$$

Dạng sóng với 1/4 đối xứng, chỉ có sóng hài bậc lẻ với sóng hình sin tồn tại. Vì vậy có thể viết :

$$+ a_n = 0$$

$$+ b_n = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} v(t) \sin n\omega t \, d\omega t$$

Cho rằng sóng có biên độ đơn vị như  $v(t) = \pm 1$ ,  $b_n$  có thể biểu diễn khai triển dạng :

$$b_n = \frac{4}{\pi} \left[ \int_0^{\alpha_1} (+1) \sin n\omega t \, d\omega t + \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} (-1) \sin n\omega t \, d\omega t + \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} (+1) \sin n\omega t \, d\omega t + \dots + \int_{\alpha_{K-1}}^{\alpha_K} (-1)^{K-1} \sin n\omega t \, d\omega t + \int_{\alpha_K}^{\pi/2} (+1) \sin n\omega t \, d\omega t \right]$$

Sử dụng biểu thức tương đương :

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin n\omega t \, d\omega t = \frac{1}{n} (\cos n\theta_1 - \cos n\theta_2)$$

đại lượng đầu và cuối có thể viết dưới dạng :

$$\int_0^{\theta_1} (+1) \sin n\omega t \, d\omega t = \frac{1}{n} (1 - \cos n\theta_1)$$

$$\int_{\theta_K}^{\pi/2} \sin n\omega t d\omega t = \frac{1}{n} \cos n\theta_K$$

Thay thế lên phương trình trên ta có phương trình tổng quát :

$$b_n = \frac{4}{n\pi} \left[ 1 + 2(-\cos n\alpha_1 + \cos n\alpha_2 - \dots + \cos n\alpha_K) \right]$$

$$= \frac{4}{n\pi} \left( 1 + 2 \sum_{K=1}^K (-1)^K \cos n\alpha_K \right)$$

Phương trình trên bao gồm K giá trị thay đổi ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \dots, \alpha_n$ ) và yêu cầu K phương trình sin để giải. Với K số góc  $\alpha$  điện áp đầu ra được điều khiển và K-1 sóng hài bậc cao bị loại trừ.

Để ý, ở trường hợp đơn giản, sóng hài bậc 5 và bậc 7 bị loại trừ và sóng điện áp cơ bản được điều khiển. Sóng hài bậc ba và các sóng bộ ba có thể bỏ qua nếu động cơ được đấu Y với trung tính cách điện với đất. Với giá trị K=3 ta có phương trình của sóng bậc 5, bậc 7 và sóng cơ bản được viết như sau :

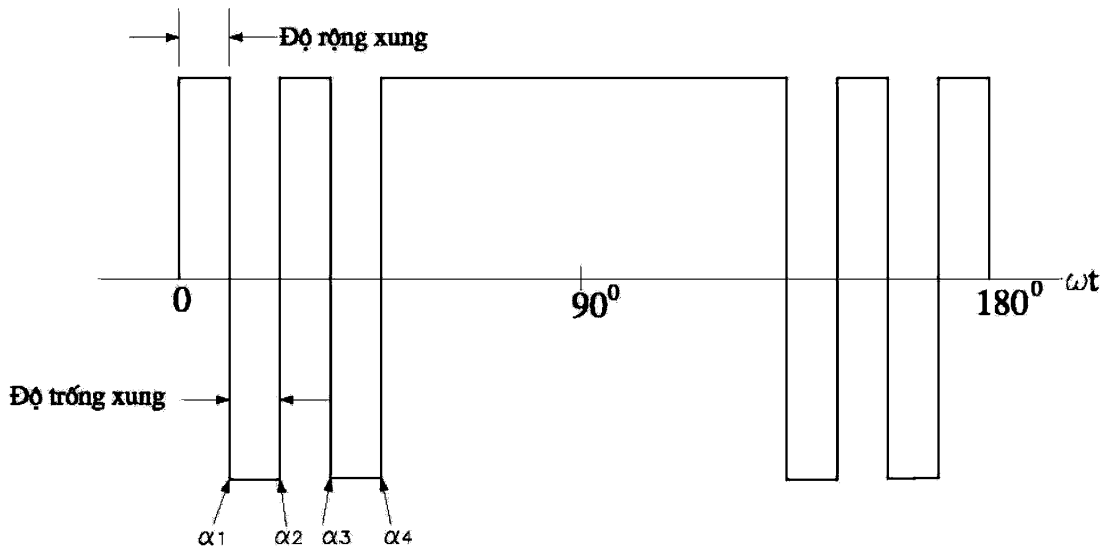
$$+ \text{Sóng cơ bản} : b_1 = \frac{4}{\pi} (1 - 2\cos\alpha_1 + 2\cos\alpha_2 - 2\cos\alpha_3)$$

$$+ \text{Sóng bậc 5} : b_5 = \frac{4}{5\pi} (1 - 2\cos 5\alpha_1 + 2\cos 5\alpha_2 - 2\cos 5\alpha_3) = 0$$

$$+ \text{Sóng bậc 7} : b_7 = \frac{4}{7\pi} (1 - 2\cos 7\alpha_1 + 2\cos 7\alpha_2 - 2\cos 7\alpha_3) = 0$$

Phương trình phi tuyến siêu việt ở trên có thể giải giá trị bằng số của điện áp sóng cơ bản và các giá trị  $\alpha$  có thể xác định được. Giá trị  $\alpha$  được xác định ở các điện áp khác nhau của đầu ra và đồ thị như hình 2.8. Trong hình vẽ cũng trình bày cũng trình bày sóng hài bậc cao hơn đó là bậc 11 và 13, điều này sẽ được qua tâm khi ta muốn loại trừ sóng hài bậc 11 và 13. Hiệu ứng của sóng hài bậc cao rất nhỏ so với biên độ của sóng cơ bản. Điện áp sóng hài bậc 5 và bậc 7 có thể bị loại trừ đến 93,34% (100% ứng với sóng hài xung vuông) khi  $\alpha_1 = 0$ .





Hình 2.8 : Dạng điện áp ra trong phương pháp loại trừ sóng hài

Khi tần số cơ bản giảm, số lượng góc của khoảng trống có thể tăng vì vậy các sóng hài bậc cao hơn có thể bị loại trừ. Thêm vào đó số lượng góc khoảng trống trên một nửa chu kỳ hoặc số chuyển mạch trong một giây sẽ xác định tổn thất đóng cắt của bộ nghịch lưu. Một vấn đề khó khăn về số lượng góc khoảng trống ở tần số thấp là bảng tra cứu góc  $\alpha$  cho bất kỳ một dạng sóng mẫu nào không được phổ biến rộng rãi. Để giải quyết lý do này, một PWM phối hợp được tạo ra, theo phương thức này thì tại dải tần số thấp ta sử dụng một phương pháp sin hoá và tại tần số cao ta sử dụng một phương pháp sin hoá khác. Theo phương thức này, sự nhảy cấp của điện áp được điều khiển chính xác trong dải công suất lớn và tổn hao sóng hài bậc cao gặp phải trong quá trình sin hoá PWM được giảm một cách căn bản. Phương pháp loại trừ hài bậc cao có thể kéo dài trong một dải công suất không đổi, tại đó điều khiển điện áp để đạt hiệu suất cao trong hệ thống điều khiển có thể đạt được.

### 3.4. Phương thức dạng sóng dòng điện nhỏ nhất

Một sự không thuận lợi của phương thức loại trừ sóng hài là loại trừ thành phần hài bậc thấp, thành phần này mới là quan trọng. Hình 2.9 biểu diễn các thành phần sóng hài tần số cơ bản. Tổn hao sóng hài trong động cơ có được quyết định bởi dòng điện gợn sóng hiệu dụng, nó là thông số cần phải nhỏ nhất đến từng thành phần. Tuy nhiên thông số này rất nhỏ so với các thông số khác của động cơ, điều này có thể không hoàn toàn đúng, đặc biệt là động cơ rotor dây quấn. Dòng điện sóng hài có thể tính theo công thức :

$$\begin{aligned}
 I_{ripple} &= \sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + \dots} = \\
 &= \sqrt{\frac{I_{3m}^2}{2} + \frac{I_{5m}^2}{2} + \frac{I_{7m}^2}{2} + \frac{I_{9m}^2}{2} + \dots} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{2} \sum_3^{\infty} \left( \frac{V_n}{n\omega_s L} \right)^2}
 \end{aligned}$$

trong công thức trên :

+  $I_3, I_5, \dots$  : dòng điện hiệu dụng của các thành phần sóng hài

+  $I_{3m}, I_{5m}, \dots$  : biên độ của dòng điện sóng hài

+  $n$  : bậc của sóng hài

+  $V_n$  : độ lớn của đỉnh sóng hài bậc  $n$

+  $\omega_s$  : tần số sóng cơ bản

+  $L$  : hệ số điện cảm tản của động cơ trên một pha

Tương ứng ta có ta có tổn hao đồng trong động cơ do sóng hài gây ra :

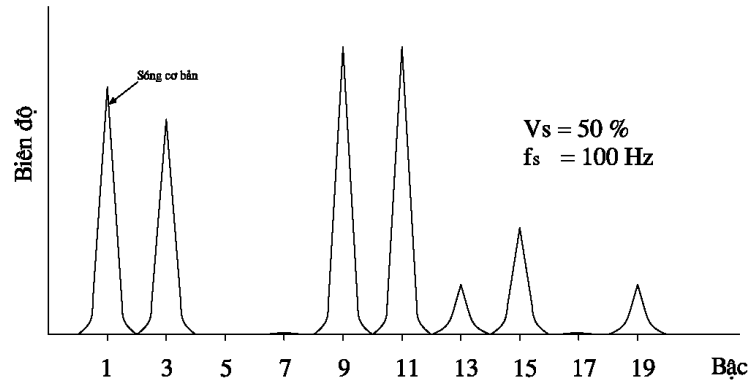
$$P_L = 3I_{ripple}^2 \cdot R$$

trong đó  $R$  là điện trở của một pha dây quấn.

Để có được số lượng góc khoảng trống, giá trị  $V_n$  có thể đưa ra bởi phương trình

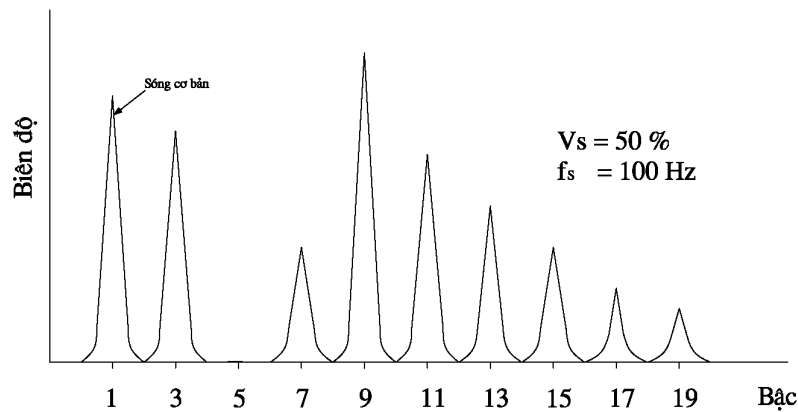
$$\begin{aligned}
 b_n &= \frac{4}{n\pi} \left[ 1 + 2(-\cos n\alpha_1 + \cos n\alpha_2 - \dots + \cos n\alpha_K) \right] \\
 &= \frac{4}{n\pi} \left( 1 + 2 \sum_{K=1}^K (-1)^K \cos n\alpha_K \right)
 \end{aligned}$$

Từ phương trình  $I_{ripple}$  thay  $V_n$  ta tìm được hàm của góc khoảng trống. giá trị góc khoảng trống có thể có được bằng lập trên máy tính để tìm giá trị nhỏ nhất của  $I_{ripple}$ . Điều chỉnh lại bảng tra cứu góc  $\alpha$  cơ bản dựa trên cơ sở tổn hao sóng hài nhỏ nhất là mong muốn của phương thức loại trừ sóng hài.



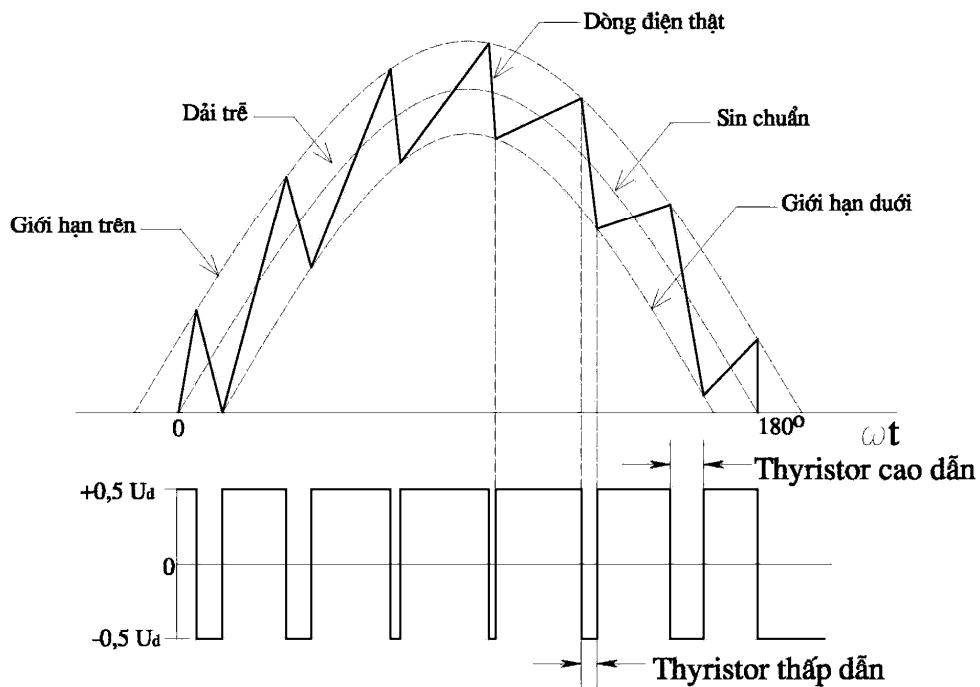
Hình 2.9 : Phổ sóng điện áp ra khi loại trừ bậc 5 và bậc 7

Hình 2.10 trình bày phổ sóng điện áp ra trong phương thức dòng điện gợn sóng nhỏ nhất, điều kiện thực hiện giống như điều kiện trình bày trên hình 2.9. Để ý thấy thành phần bậc 7 vẫn tiếp tục nhưng thành phần hài qua tâm bậc 11 đã giảm đi. Thêm vào đó, điện áp hài bội ba được bỏ qua.



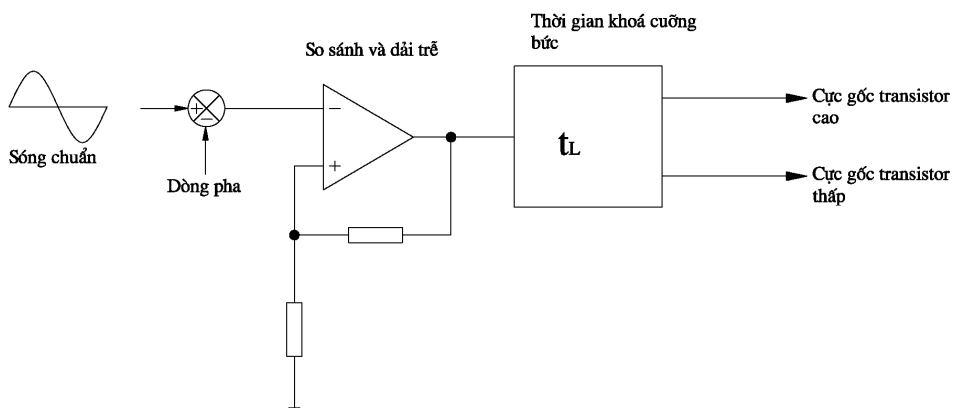
Hình 2.10: Phổ điện áp ra theo phương thức dòng điện gợn sóng nhỏ nhất

3.4. Điều khiển thích nghi dòng điện PWM



Hình 2.11: Nguyên lý điều khiển thích nghi theo dòng điện

Coi nguồn điện một chiều là lý tưởng. Kỹ thuật điều khiển thích nghi hay điều khiển có trễ dòng điện bằng PWM đề cập ở đây có thể được phát triển để vượt qua vấn đề này. Kỹ thuật dựa trên cơ sở dòng điện được mô tả trên hình 2.11. Mạch điều khiển sẽ tạo ra một sóng dòng điện hình sin chuẩn có cường độ và tần số mong muốn, sóng hình sin sẽ được so sánh với dòng điện pha trong thực tế như trong hình 2.12.



Hình 2.12 : Sơ đồ khối điều khiển PWM thích nghi

Khi giá trị dòng điện vượt quá dải trễ không chế thì transistor cao ở nửa cần được khoá và transistor thấp được mở. Kết quả là điện áp đầu ra thay đổi từ  $+0,5U_d$  đến  $-0,5U_d$  vào dòng điện bắt đầu giảm. Khi dòng điện giảm qua giá trị giới hạn dưới của dải trễ, transistor cao được kích mở và khoá transistor dưới. Thời gian khoá không chế  $t_L$  cung cấp cho mỗi transistor để phòng trường hợp ngắn mạch van khi chuyển mạch. Sóng dòng điện hình pha vì vậy được không chế ở rãnh trong khoảng nhiều của hình sin chuẩn. Bộ nghịch lưu vì vậy trở thành một nguồn dòng thay vì một nguồn áp, dòng điện biến đổi được điều khiển thích nghi trong một dải nhiều không quan trọng vào dao động của nguồn  $V_d$ . Dòng điện nhấp nhô hiệu dụng, nó không trực tiếp liên quan đến dòng điện nhấp nhô đỉnh - đỉnh, vì vậy được điều khiển trong vòng kín, hiệu ứng nhiệt trong máy giảm nhỏ nhất. Chế độ điều khiển thích nghi dòng điện PWM có thể chuyển sang chế độ điện áp xung vuông một cách bằng phẳng trong một dải công suất cố định. Ở dải tốc độ thấp mà tại đó bộ đếm tốc độ thấp, không có vấn đề gì khó khăn trong việc điều khiển dòng điện. Nhưng khi tốc độ tăng cao, bộ điều khiển dòng điện sẽ bão hoà trong một phần vòng do bộ đếm tốc độ cao. Trong điều kiện này, cường độ dòng điện sẽ giảm và pha dòng điện sẽ lệch pha so với dòng điện đặt.

Độ dốc của sóng dòng điện có thể tính theo công thức :

$$\frac{di}{dt} = \frac{0,5V_d - V_{cm} \sin \omega_S t}{L}$$

trong đó  $V_{cm} \sin \omega_S t$  sóng sin nhấp nhô của bộ đếm emf và L là điện kháng tản.

Dải trễ có thể được điều khiển thích nghi với tần số đóng cắt của bộ nghịch lưu, nó có thể tương ứng với sự nhấp nhô đỉnh - đỉnh.

## CHƯƠNG 3

## THIẾT KẾ MẠCH ĐỘNG LỰC

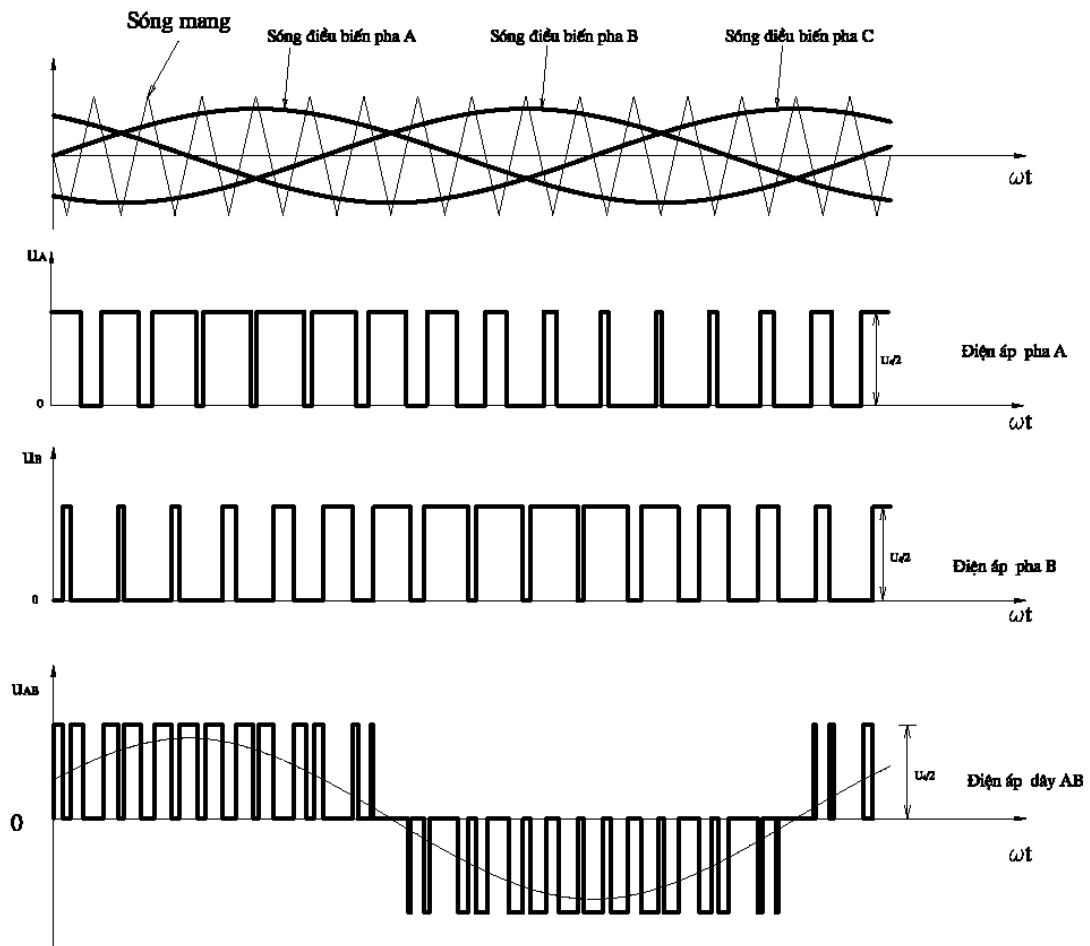
## 1. Đề xuất phương án

Trong nghịch lưu của dụng phương pháp PWM (Pulse Width Modulation) ta có hai phương pháp nghịch lưu :

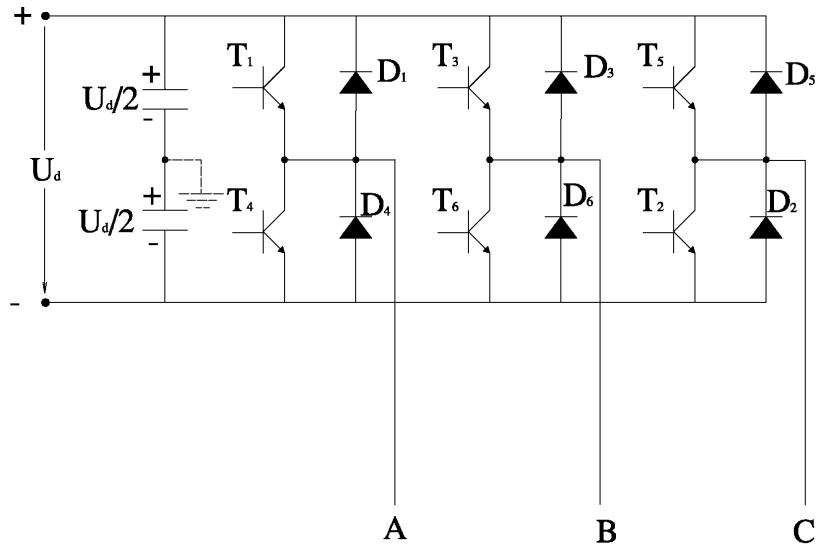
- + Nghịch lưu PWM đơn cực
- + Nghịch lưu PWM lưỡng cực

Hai phương pháp trên có những ưu điểm và nhược điểm nhất định, để lựa chọn được một phương pháp PWM thích hợp ta phải tiến hành phân tích ưu nhược điểm của từng loại.

## 1.1. Phương pháp nghịch lưu PWM đơn cực



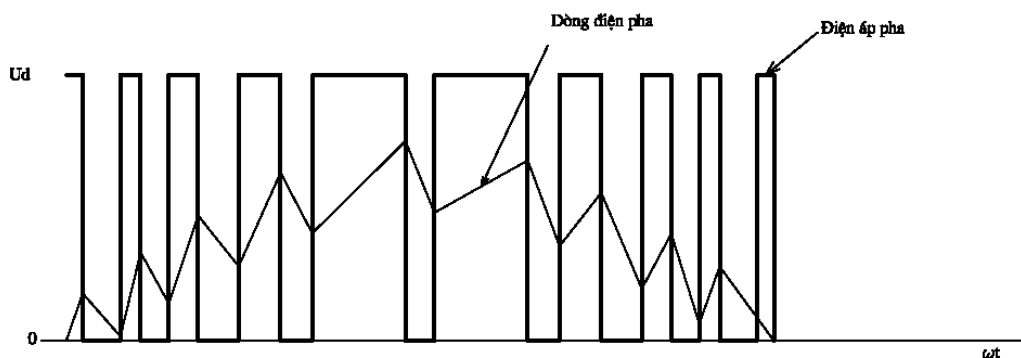
Hình 3.1 : Nguyên lý và các dạng điện áp của PWM đơn cực



Hình 3.2 : Sơ đồ nguyên lý nghịch lưu đơn cực

Trong phương pháp này các kênh (ta định nghĩa kênh tương đương với một pha) hoạt động độc lập với nhau. Qua trình đóng cắt các van bán dẫn được xác định trước do quá trình so sánh điện áp của sóng sin chuẩn và sóng tam giác. Điện áp pha có biên độ là  $U_d/2$ . Điện dây và điện áp pha có biên độ bằng nhau.

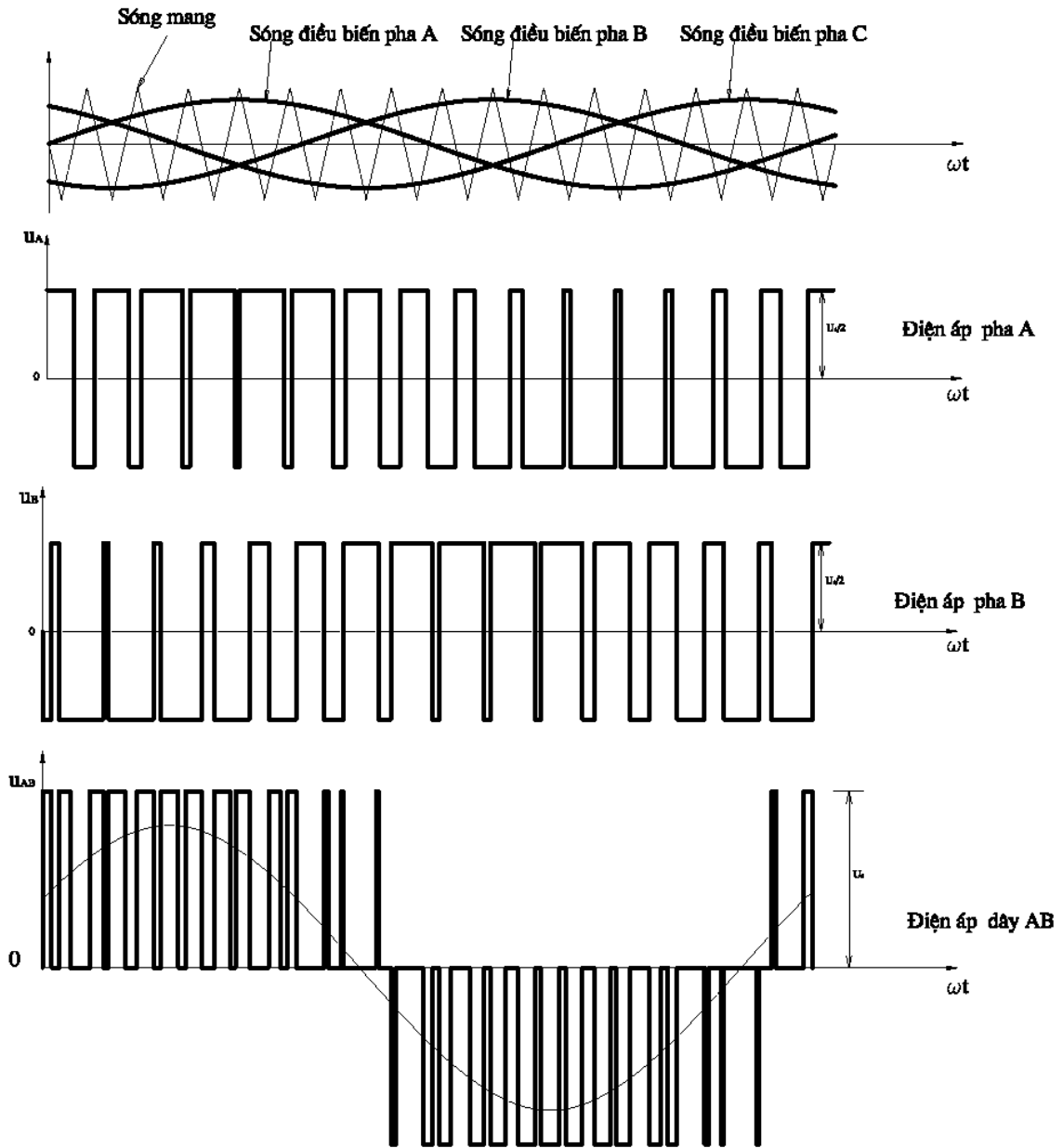
Khi điện áp hình vuông đặt lên động cơ thì dòng điện trong động cơ tăng lên theo hàm số mũ, khi không có điện áp đặt lên động cơ sẽ xảy ra quá trình xả năng lượng của cảm kháng của động cơ, quá trình xả này qua diode về nguồn một chiều. Quá trình tăng ta có thể điều khiển được còn quá trình xả là tự nhiên, không có điều khiển.



Hình 3.3 : Dạng điện áp và dòng điện pha thực tế

Hình 3.3 biểu diễn dòng điện và điện áp của một pha động cơ khi cung cấp áp bằng PWM đơn cực.

1.2. Phương pháp nghịch lưu PWM lưỡng cực



Hình 3.4 : Nguyên lý và các dạng điện áp của PWM lưỡng cực

Quá trình tạo ra điện áp điều biến trên một pha là sự phối hợp chuyển mạch của một số van đóng cắt trên các kênh khác nhau. Điện áp ra là sự tổng hợp điện áp của hai pha. Quá trình đóng cắt thì biên độ điện áp pha bằng  $1/2U_d$ . Điện áp pha bao gồm cả phần âm và phần dương có biên độ bằng nhau. Điện áp dây có biên độ bằng  $U_d$ . Trong phương pháp điều khiển này không có phần điện áp bằng không của tải trong quá trình hoạt động, hay nói cách khác, điện áp



nguồn điện một chiều luôn được đặt lên tải. Quá trình suy giảm của dòng tải có thể điều khiển được bằng xung âm.

### **1.3 So sánh hai phương pháp nghịch lưu**

Hai phương pháp trên là hai phương pháp nghịch lưu PWM cơ bản. Về cấu trúc mạch động lực của hai phương pháp không có gì khác nhau, mà chỉ khác nhau về nguyên tắc điều khiển chuyển mạch các van bán dẫn. Hai phương pháp trên có chứa những ưu điểm và nhược điểm nhất định.

#### **1.3.1. Phương pháp PWM đơn cực**

##### **Ưu điểm :**

- + Mạch điều khiển đơn giản do không có phần điện áp âm trong thành phần điện áp các pha.
- + Số lượng chuyển mạch của transistor ít, do vậy tổn hao chuyển mạch thấp.

##### **Nhược điểm:**

- + Điện áp ra có biên độ không cao, biên độ của điện áp điều biến là  $U_d/2$ . Khi tải có yêu cầu điện áp lớn hơn  $U_d/2$  thì phương pháp này không đáp ứng được.
- + Khi điện áp ra yêu cầu giá trị cận không thì khó có thể đáp ứng được do khả năng chuyển mạch của van bán dẫn.

#### **1.3.2. Phương pháp PWM lưỡng cực**

##### **Ưu điểm:**

- + Điện áp ra có biên độ lớn, biên độ của điện áp điều biến là  $U_d$ .
- + Có khả năng điều khiển điện áp nhỏ, do có phần điện áp xung âm trong thành phần điện áp pha nên có thể điều khiển điện áp pha về không mà vẫn đảm bảo điều kiện chuyển mạch của van bán dẫn.
- + Khả năng đáp ứng được yêu cầu cao về ổn định dòng điện cũng như tần số. Do có phần điện áp âm trong điều biến điện áp pha nên có khả năng khống chế dòng điện tốt hơn.

##### **Nhược điểm**

Nhược điểm lớn nhất của nghịch lưu PWM lưỡng cực là sự phức tạp của mạch điều khiển do phải phối hợp đóng cắt các van bán dẫn.

### **1.3.3. Chọn phương án nghịch lưu**

Yêu cầu của bộ nghịch lưu PWM cần thiết kế :

- + Điện áp nguồn nuôi: Ba pha 380<sup>V</sup>/50Hz
- + Tần số điện áp ra: 10 - 500 Hz
- + Độ ổn định tần số điện áp ra: 5%
- + Điện áp ra thay đổi từ 100 V đến 500 V

Ta thấy rằng yêu cầu ổn định tần số đầu ra là khá cao, dải điều chỉnh tần số lớn. Vì vậy ta thiết kế mạch nghịch lưu theo nguyên tắc của nghịch lưu PWM lưỡng cực.

## **1.4. Chọn thiết bị bán dẫn đóng cắt và dạng mạch động lực**

### **1.4.1. Chọn thiết bị bán dẫn đóng cắt**

Tần số điện áp ra - tần số cơ bản - có giá trị khá lớn, từ 100 đến 500 Hz. Đây là một tần số khá lớn đối với một bộ nghịch lưu. Trong bộ nghịch lưu sử dụng nguyên lý PWM thì tần số chuyển mạch còn lớn hơn nhiều lần tần số cơ bản. Chính vì vậy ta phải chọn linh kiện bán dẫn làm khoá chuyển mạch phải có tốc độ chuyển mạch khá lớn. Các loại linh kiện bán dẫn có thể đáp ứng được yêu cầu ở tần số này là:

- + Transistor lưỡng cực BJT - Bipolar Junction Transistor
- + Transistor hiệu ứng trường MOSFET - Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
- + IGBT là sự kết hợp của BJT và MOSFET

Để tiến hành lựa chọn được van bán dẫn thích hợp, ta tiến hành phân tích ưu nhược điểm các van bán dẫn trên.

### ***Những vấn đề cơ bản về BJT***

Trong phần này ta không đi sâu vào cấu tạo của Transistor mà ta chỉ phân tích những yếu tố chính của nó khi vận hành.

Có thể nói rằng BJT là một phần tử đóng cắt cổ điển nhất và được sử dụng đầu tiên để cho mục đích đóng cắt sau nhiệm vụ khuếch đại.

### **Dải công suất của BJT:**

Ngày nay với kỹ thuật tiên tiến thì các BJT có thể có công suất khá lớn, các van BJT có thể có điện áp chịu đựng hàng chục kilôvôn và có dòng cho phép cỡ vài nghìn Ampe. Tần số chuyển mạch của BJT cho phép khá lớn, tần số cho phép vào khoảng 10kHz. Tần số này càng giảm khi công suất van tăng. Độ

tuyến tính xung điện áp ra của BJT khá lớn, nguyên nhân chính do tụ kí sinh trên van nhỏ nên cho phép van chuyển mạch nhanh.

Nhược điểm chủ yếu của BJT là công suất mạch điều khiển. Các BJT công suất lớn thường có hệ số khuếch đại nhỏ, cỡ trên dưới 10 lần. Điều này đồng nghĩa với công suất mạch điều khiển bằng 1/10 công suất mạch động lực nếu ta sử dụng khuếch đại trực tiếp. Công suất mạch điều khiển có thể giảm được nếu ta sử dụng mạch Dalington cho tầng khuếch đại cuối cùng, tuy vậy sẽ gây ra một vấn đề đó là trễ điều khiển khi chuyển mạch tần số lớn.

#### *Tổn hao và làm mát BJT*

Như đã phân tích, tổn hao trong BJT khá lớn do nó được điều khiển bằng dòng-áp. Do tổn hao khá lớn nên các mạch dùng BJT thường có công suất nhỏ, cỡ vài trăm oát. Việc sử dụng ở tần số cao hơn có thể làm được xong không kinh tế trong điều khiển và làm mát van.

#### *Những vấn đề cơ bản về MOSFET*

##### *Dải công suất của MOSFET*

Công nghệ MOSFET ra đời đã cải tiến được những nhược điểm trong điều khiển BJT. Điều khiển đóng mở MOSFET là điều khiển bằng điện áp đặt lên hai cực, cực cổng (G - Gate) và cực nguồn (S - Source). Việc điều khiển bằng điện áp đã làm giảm được kích thước và tổn hao trong mạch điều khiển và dẫn tới khả năng tích hợp thành vi mạch.

Do sử dụng hiệu ứng trường nên MOSFET cho phép tần số chuyển mạch khá lớn, có thể đến 100kHz. Độ tuyến tính của điện áp cao do tụ kí sinh trên van nhỏ.

Tuy vậy công suất của MOSFET không cao, khả năng làm việc ở điện áp cao không bằng được BJT. Các MOSFET công suất lớn thường có điện áp làm việc dưới 1kV và dòng điện cỡ vài chục Ampe.

##### *Tổn hao và làm mát MOSFET*

MOSFET là van bán dẫn có tổn hao nhỏ nhất trong tất cả các van bán dẫn có thể sử dụng ở chế độ đóng cắt. Do sử dụng chuyển mạch bằng hiệu ứng trường nên quá trình chuyển mạch gây ra tổn hao nhỏ. Đi liền với đó là việc làm mát cho MOSFET tương đối đơn giản, có thể sử dụng hiệu suất dòng cao mà vẫn có thể đảm bảo điều kiện làm mát. Do vậy khi dải công suất cỡ vài trăm oát thì ta nên sử dụng MOSFET làm phân tử đóng cắt.

### Những vấn đề cơ bản về IGBT

Kết hợp những ưu điểm của BJT về mặt công suất và của MOSFET về mặt điều khiển, IGBT ra đời. Sự ra đời của IGBT đã giải quyết cho BJT về tổn hao trong điều khiển, và tăng công suất đóng cắt.

#### Dải công suất của IGBT

Dải công suất của IGBT có thể nói là lớn nhất trong các van sử dụng nguyên lý chuyển mạch bằng dòng xung điều khiển. Do không bị hạn chế về điều khiển nên có thể chế tạo IGBT với công suất khá lớn với giá thành không quá cao. Ngày nay IGBT có thể chế tạo điện áp áp cỡ 6kV và dòng điện cỡ 3kA, trong khi yêu cầu điện áp mạch điều khiển chỉ khoảng 20V và không cần dòng điều khiển do điều khiển IGBT là bằng điện áp như MOSFET.

Tần số chuyển mạch của IGBT cũng khá lớn, thông thường các IGBT công suất có tần số làm việc khoảng 20kHz.

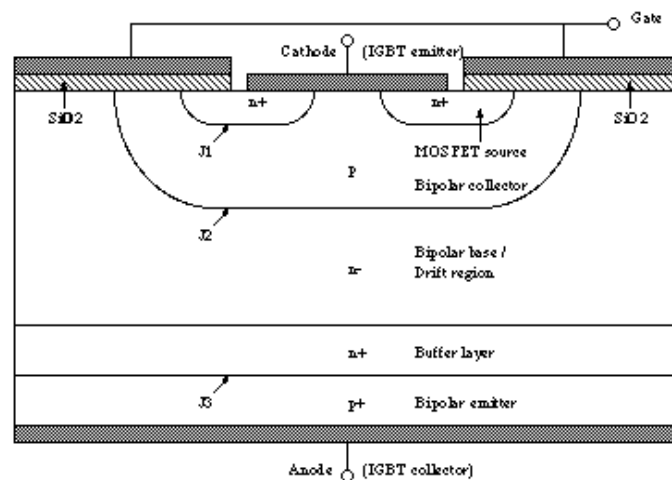
#### Tổn hao và làm mát cho IGBT

Trong quá trình vận hành IGBT có tổn hao thấp hơn BJT song lại cao hơn MOSFET. Do vậy quá trình làm mát của IGBT phải đặc biệt được chú ý khi dải công suất tần cao.

***Qua phân tích ở trên công với đối chiếu công suất thiết kế của bộ nghịch lưu ta chọn IGBT làm phần tử chuyển mạch.***

#### Những điều quan trọng về IGBT

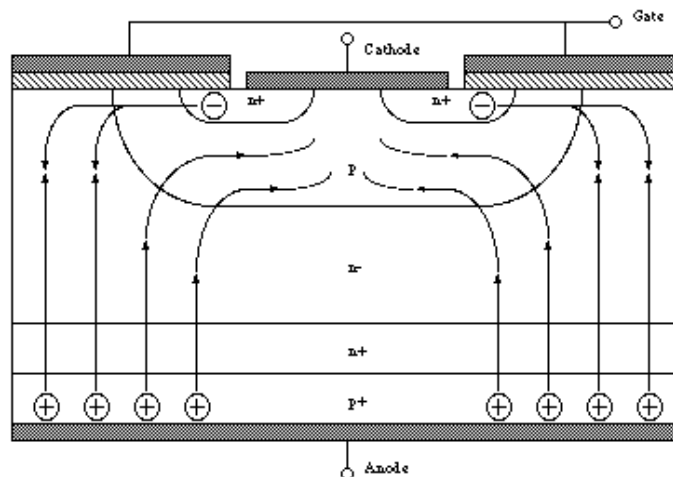
Cũng giống như MOSFET, ta có hai loại IGBT là IGBT loại N và IGBT loại P. Hình vẽ 3.5 trình bày cấu tạo bên trong của IGBT loại N, trong tất cả các vấn đề được nói đến sau này ta chỉ lấy IGBT loại này làm ví dụ. Nguyên nhân chính là do phần lớn IGBT là loại N và loại P hoàn toàn có thể phân tích tương tự.



Hình 3.5 : Cấu trúc bên trong của IGBT loại N

Ta thấy rằng trong IGBT có ba lớp tiếp giáp đó là  $J_1$ ,  $J_2$  và  $J_3$  như hình 3.5. Quá trình điện chỉ xảy ra trên ba lớp này. Vì vậy ta tiến hành phân tích hoạt động của IGBT dựa trên cấu trúc của ba lớp tiếp giáp này.

Trạng thái đóng mở của van được điều khiển, giống như MOSFET, bằng điện áp trên cực cổng  $V_G$ . Khi có điện áp đặt lên cực G và cực E nhỏ hơn điện áp cần thiết mở van bán dẫn thì sẽ không có sự biến đổi trong lớp MOSFET và do đó van ở trạng thái khoá. Khi được nối với nguồn điện áp sẽ được đặt trên lớp tiếp giáp  $J_2$ , điện áp này gây nên một dòng trôi trên trong bán dẫn, dòng điện này có giá trị khá nhỏ và được định nghĩa là dòng điện rò của van. Điện áp chọc thủng theo chiều thuận theo chiều thuận chính là điện áp chọc thủng lớp tiếp giáp này. Đây là một đại lượng qua trọng cho van bán dẫn, phân tử bán dẫn có thể bị phá huỷ do điện áp và dòng điện khi lớp tiếp giáp này bị đánh thủng.



Hình 3.6: Cấu trúc bên trong khi IGBT dẫn

Ngày nay, do công nghệ bán dẫn phát triển nên có thể chế tạo IGBT ở điện áp cao và dòng điện lớn. Các IGBT công suất có thể chế tạo đến điện áp khoảng 6,3 kV và dòng điện cỡ vài nghìn Ampe. Bên cạnh đó có thể tích hợp 6 IGBT trong một khối thành một cầu ba pha tạo điều kiện thuận lợi cho việc làm mát tập trung.

#### 1.4.2. Sơ đồ mạch động lực

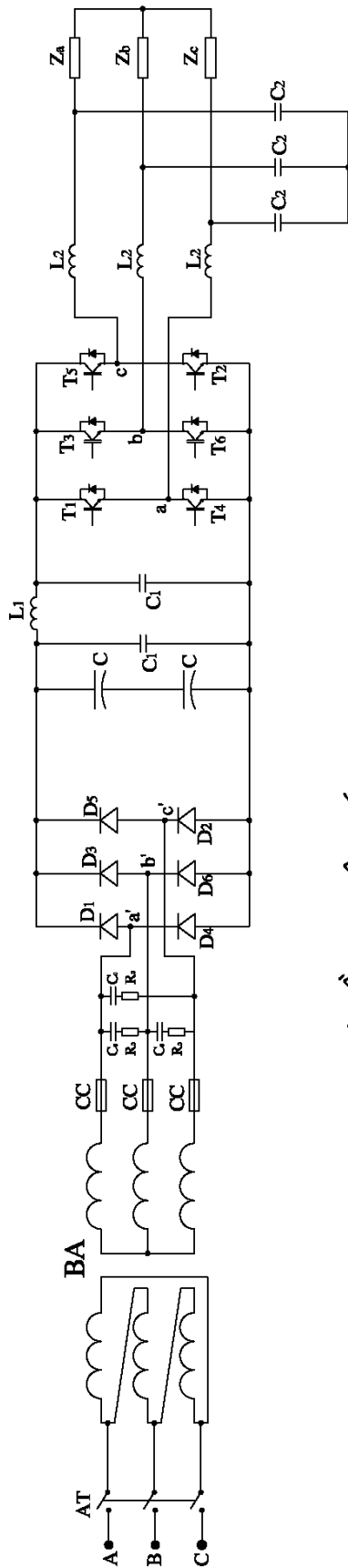
Mạch động lực gồm các phần chính sau đây:

- + Phần chỉnh lưu
- + Phần lọc

+ Phần nghịch lưu

***Phần chỉnh lưu:***

Phần chỉnh lưu bao gồm biến áp chỉnh lưu và bộ chỉnh lưu không điều khiển - chỉnh lưu diode. Biến áp chỉnh lưu là máy biến áp lực thông thường và được đấu  $\Delta/Y$ . Mục đích của kiểu đấu nhằm loại trừ sóng hài bên thứ cấp, không cho qua chỉnh lưu và tiêu tám thành phần này bên sơ cấp nhằm tránh dòng điện vào lưới. Chỉnh lưu diode dùng các diode công suất được nối theo sơ đồ cầu. Sơ đồ cầu có ưu điểm cho ra điện áp một chiều sau chỉnh lưu chất lượng cao và khả năng cho ra điện áp lớn khi dùng cùng một loại van như các chỉnh lưu khác.



SƠ ĐỒ NGUYÊN LÝ MẠCH PWM BA PHA

Hình 3.6

**Phần mạch lọc:**

Mạch lọc ta dùng hai tụ hoá có điện dung và điện áp lớn. Mục đích dùng hai tụ là để có được nguồn áp gần lý tưởng và có được điểm trung tính giả, thuận lợi cho việc tính toán bộ nghịch lưu về sau.

**Phần mạch nghịch lưu:**

Mạch nghịch lưu ta dùng sơ đồ nghịch lưu cầu ba pha sử dụng phần tử đóng cắt là MOSFET công suất. Đầu ra tải được đầu hình Y.

Ngoài các phần trên còn có các mạch lọc ,các mạch lọc này có tác dụng bảo vệ bộ nghịch lưu và bộ chỉnh lưu diode, lọc xung điện tần số lớn cho nguồn cung cấp. Các mạch lọc bao gồm:

+ Mạch lọc tránh xung điện áp cao từ lưới: đó là mạch lọc RC được mắc ngay sau máy biến áp lực, mạch này có tác dụng lọc những xung điện áp cao từ lưới sau khi đi qua máy biến áp. Nhờ có mạch này mà xung điện áp được giảm đáng kể trước khi đi vào mạch chỉnh lưu.

+ Mạch lọc của bộ nghịch lưu: Bao gồm mạch lọc trước và sau chỉnh lưu. Các mạch này có tác dụng lọc ra thành phần điện áp cơ bản cung cấp cho tải và ngăn không cho thành phần sóng hài sang phần điện áp một chiều.

Thiết bị bảo vệ và đóng cắt mạch là Aptomat bên sơ cấp và cầu chì bên thứ cấp.

**2. Tính toán thông số mạch động lực****2.1. Chọn hệ số điều biến tần số**

Hệ số điều biến tần số là tỉ số giữa tần số sóng mang và tần số sóng điều biến.

$$m_f = \frac{f_x}{f_s}$$

trong công thức trên:  $f_x$  : tần số sóng mang

$f_s$  : tần số sóng điều biến

Hệ số điều biến tần số có một ý nghĩa rất qua trọng trong phương pháp nghịch lưu PWM. Việc chọn hệ số điều biến sẽ quyết định chất lượng và giá thành của bộ nghịch lưu. Các cơ sở để chọn hệ số điều biến:

+ Theo phân đại cương ở chương 2 thì các thành phần sóng hài tồn tại trong một dải xung quanh tần số chuyển mạch và là bội số của nó là:  $m_s$  ,  $2m_s$  ,  $3m_s$ ... ứng với hệ số điều biến biên độ biến đổi trong khoảng 0,1.



Khi công suất không quá lớn nếu  $m_f \leq 9$  thì các thành phần sóng hài hầu như không phụ thuộc vào hệ số điều biến tần số.

Các thành phần sóng hài bậc cao xuất hiện ở các tần số:

$$f_h = (jm_f \pm k)f_s$$

trong công thức trên thì:  $j$ : bội số của hệ số điều biến tần số,  $k$ : số thứ tự trong dải tần số ứng với bội số của hệ số điều biến tần số. Do vậy ta có bậc của sóng hài bậc cao:

$$h = jm_f \pm k$$

Khi  $h = 1$  ta có tần số cơ bản  $f_1$ .

Khi  $j$  có giá trị lẻ thì sóng hài chỉ xuất hiện với các giá trị  $k$  chẵn và khi  $j$  chẵn, sóng hài chỉ xuất hiện với  $k$  lẻ.

+ Khi  $m_f$  có giá trị lẻ, các thành phần sóng hài bậc chẵn sẽ không tồn tại do các hệ số của hàm cos trong chuỗi Fourier có giá trị bằng 0.

+ Lựa chọn tần số chuyển mạch và hệ số điều biến tần số: Khi tần số chuyển mạch lớn có thể giảm được sóng hài bậc cao do khi ở tần số này ta có thể dễ dàng lọc được các thành phần này. Tuy nhiên khi tần số chuyển mạch tăng đồng nghĩa với tổn hao trong bộ nghịch lưu tăng lên.

Tần số chuyển mạch thực tế trong truyền động điện nằm dưới 6 kHz, hoặc lớn hơn 20 kHz. Do đó hệ nghịch lưu cấp nguồn cho động cơ 50/60Hz thì tần số cơ bản của điện áp ra có trị số cần thiết đến 200 Hz hệ số điều biến có thể là 9 hoặc nhỏ hơn, điều đó tương đương với tần số chuyển mạch 2kHz. Ngược lại  $m_f$  có thể lớn hơn 100 khi tần số chuyển mạch cao hơn 20 kHz.

Trong dải điều khiển tối ưu công suất thì tần số chuyển mạch nằm trong khoảng 6 kHz đến 20 kHz.

***Áp dụng cho bộ nghịch lưu được thiết kế thì ta chọn  $m_f = 39$***

Khi đó tần số chuyển mạch lớn nhất của van bán dẫn trong bộ nghịch lưu là:

$$f_{\max} = 500.39 = 19500 \text{ Hz} = 19,5 \text{ kHz}$$

Tần số chuyển mạch nhỏ nhất của van bán dẫn trong bộ nghịch lưu:

$$f_{\min} = 10.39 = 390 \text{ Hz} = 0,39 \text{ kHz.}$$

## ***2.2. Chọn hệ số điều biến biên độ***

Hệ số điều biến biên độ là tỷ số giữa điện áp sóng điều biến và điện áp sóng điện áp mang.

$$m_a = U_{\text{đkm}}/U_{\text{xm}}$$

trong đó : +  $U_{dkm}$  : biên độ điện áp sóng điều biến  
 +  $U_{xm}$  : biên độ điện áp sóng mang.

Hệ số điều biến biên độ là một đại lượng qua trọng, đại lượng này quyết định điện áp đầu ra của bộ nghịch lưu. Hệ số điều biến biên độ là một đại lượng thay đổi trong quá trình vận hành của bộ nghịch lưu. Khoảng giá trị của hệ số điều biến biên độ được chia làm hai phần :

+ Khoảng thứ nhất  $m_a < 1$ : khoảng này được gọi là khoảng điều khiển tuyến tính của bộ nghịch lưu. Khi điều khiển trong khoảng này thì điện áp ra được điều khiển tuyến tính.

+ Khoảng thứ hai  $m_a > 1$ : khoảng này được gọi là khoảng điều khiển phi tuyến. Khi điều khiển trong khoảng này thì điện áp ra tỷ lệ phi tuyến với điện áp điều khiển.

Hai khoảng điều khiển trên có những ưu và nhược điểm nhất định. Trong khoảng điều khiển tuyến tính thì điện áp ra gần điện áp hình sin hơn thành phần sóng hài được lọc tốt hơn nhưng đổi lại tổn hao trong bộ nghịch lưu tăng do van bán dẫn phải chuyển mạch nhiều lần trong một chu kì. Và khi điều khiển trong khoảng tuyến tính thì điện áp và công suất đầu ra không thể đạt giá trị lớn. Trong khoảng điều khiển phi tuyến thì có thể cho ra ở đầu ra một điện áp lớn hơn khi cùng một giá trị điện áp đầu vào như chế độ điều khiển tuyến tính, nhưng bù lại thì trong thành phần điện áp ra chứa nhiều thành phần sóng hài do chuyển mạch được thực hiện phần lớn ở chế độ xung vuông. Chế độ điều khiển phi tuyến chỉ được thực hiện khi yêu cầu công suất đầu ra tương đối lớn và thường dùng cung cấp cho động cơ đồng bộ.

***Trong bộ nghịch lưu ta chọn hệ số điều biến biên độ  $m_a < 1$ . Điều đó có nghĩa là ta điều khiển bộ nghịch lưu theo phương pháp tuyến tính.***

Để thấy được quá trình điều khiển tuyến tính ta tiến hành phân tích điện áp ra tần số cơ bản và điện áp hài bậc cao.

### ***2.3. Phân tích điện áp đầu ra khi $m_a < 1$***

Trong một chu kì tần số sóng mang, điện áp sóng điều biến  $u_{dk}$  biến đổi rất chậm nên ta coi như điện áp đó không đổi trong một chu kì tần số sóng mang (vấn đề này đã được đề cập trong phần đại cương về PWM). Trị số trung bình của điện áp một pha đầu ra có thể tính theo công thức:

$$U_{AO} = \frac{u_{dk}}{U_{xm}} \cdot \frac{U_d}{2}$$

trong công thức trên :

- +  $U_{AO}$  : điện áp của pha A so với điểm trung tính (điểm trung tính được qui ước là điểm giữa hai tụ lọc nguồn)
- +  $u_{dk}$  : điện áp tức thời của điện áp điều biến.
- +  $U_{xm}$  : biên độ điện áp điều biến
- +  $U_d$  : giá trị điện áp một chiều nguồn cung cấp cho mạch nghịch lưu.

Công thức trên chỉ được sử dụng trong trường hợp điều kiện trong phân tuyến tính ( $m_a < 1$ ), còn khi không tuyến tính ( $m_a > 1$ ) thì công thức trên không còn chính xác nữa.

Điện áp điều biến được đưa vào mạch điều khiển là một điện áp hình sin chuẩn có tần số là tần số mong muốn của tần số cơ bản điện áp đầu ra. Tần số đó có giá trị  $f_1 = \omega_1 / 2\pi$  và điện áp sóng điều biến là:

$$u_{dk} = U_{dkm} \sin \omega_1 t$$

điều kiện  $U_{dkm} < U_{xm}$

Trị số sóng điện áp sóng cơ bản đầu ra có thể tính theo công thức:

$$\begin{aligned} (u_{AO})_1 &= \frac{u_{dk}}{U_{xm}} \sin(\omega_1 t) \frac{U_d}{2} = \\ &= m_a \cdot \sin(\omega_1 t) \frac{U_d}{2} \end{aligned}$$

Biên độ điện áp sóng cơ bản đầu ra:

$$(U_{AOm})_1 = m_a \cdot U_d / 2$$

Ta thấy rằng điện áp sóng cơ bản tỷ lệ lên tuyến tính với hệ số điều biến biên độ, chính vì vậy dải điều biến  $m_a < 1$  được gọi là dải điều khiển tuyến tính của bộ nghịch lưu.

Điện áp dây của sóng điện áp cơ bản:

$$\begin{aligned} (u_{AB})_1 &= \sqrt{3} (u_{AO})_1 = \\ &= \sqrt{3} \cdot m_a \cdot \sin(\omega_1 t) \frac{U_d}{2} \end{aligned}$$

Biên độ điện áp dây tần số cơ bản:

$$(U_{ABm})_1 = \sqrt{3} \cdot m_a \cdot U_d / 2$$

Trị số điện áp hiệu dụng điện áp sóng cơ bản đầu ra:

$$(U_{AB})_1 = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \cdot m_a \cdot U_d$$

Đặt  $l = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \cdot m_a$  ta có bảng giá trị các giá trị  $m_a$  và các sóng hài.

$h \backslash m_a$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	0,122	0,245	0,367	0,490	0,612
39±2	0,101	0,037	0,080	0,135	0,195
39±4	0	0	0	0,005	0,011
2.39±1	0,116	0,200	0,227	0,192	0,111
2.39±5	0	0	0	0,008	0,020
3.39±2	0,027	0,085	0,124	0,108	0,038
3.39±4	0	0,007	0,029	0,064	0,096
4.39±1	0,100	0,096	0,005	0,064	0,042
4.39±5	0	0	0,021	0,051	0,073
4.39±7	0	0	0	0,010	0,030

#### 2.4. Tính toán chọn van đóng cắt

##### 2.4.1. Tính toán điện áp chịu đựng yêu cầu của IGBT

Điện áp đầu ra lớn nhất của bộ nghịch lưu:

$$U_{\max} = 500 \text{ V}$$

Điện áp trên là điện áp dây hiệu dụng của bộ nghịch lưu. Trong quá trình điều khiển ta dùng chế độ điều khiển tuyến tính nên để điện áp ra max thì hệ số điều biến biên độ khi đó đạt giá trị  $m_a = 1,0$ . Ta có:

$$U_{\max} = (U_{AB})_{\max} = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \cdot 1 \cdot U_d$$

Điện áp một chiều yêu cầu cung cấp cho đầu vào của bộ nghịch lưu:

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot U_{\max} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot 500 = 816,49 \text{ V}$$

Đặc điểm đóng cắt của các van bán dẫn trong chế độ nghịch lưu là không phải chịu điện áp ngược đặt lên van, do vậy quá trình chọn van có thể chọn hệ số an toàn về áp thấp hơn khi chọn hệ số an toàn về áp khi chọn van cho chỉnh

lưu thyristor. Bên cạnh đó, do ta có các mạch lọc cao tần LC nên ít xảy ra hiện tượng quá áp trên van do xung áp.

Chọn hệ số an toàn về áp của van bán dẫn là 1,5. Do vậy ta có điện áp chịu đựng yêu cầu của van bán dẫn có giá trị bằng:

$$U_v = 1,5.816,49 = 1224,74 \text{ V}$$

**2.4.2. Loại trừ sóng hài bậc cao**

Khi hệ số điều biến biên độ  $m_a = 1$  thì thành phần điện áp sóng hài trong điện áp dây là lớn nhất, do vậy ta tiến hành loại trừ sóng hài trong trường hợp điện áp ra yêu cầu lớn nhất và kiểm nghiệm trong chế độ điện áp ra nhỏ nhất.

Quá trình loại trừ sóng hài ta sẽ loại trừ đi thành phần nào có biên độ lớn nhất và gần sóng cơ bản nhất. Các thành phần còn lại ta sẽ kiểm nghiệm lại giá trị dòng điện theo giá trị thiết bị lọc sóng hài.

Theo bảng 3.1 ta có điện áp của các thành phần sóng hài trong chế độ  $m_a = 1$  với điện áp  $U_d = 816,49 \text{ V}$

h	39 ± 2	39 ± 4	2.39 ± 1	2.39 ± 5	3.39 ± 2	3.39 ± 4	4.39 ± 1	4.39 ± 5	4.39 ± 7
U <sub>h</sub> (V)	159,80	9,01	90,63	16,33	31,03	78,38	34,29	59,60	24,49

*Bảng 3.2 : Bảng giá trị điện áp các thành phần sóng hài trong thành phần điện áp ra*

Điện áp sóng hài ra có giá trị:

$$U_h = \sqrt{U_{35h}^2 + U_{37h}^2 + U_{39h}^2 + \dots} =$$

$$= \sqrt{2. \left( 159,80^2 + 9,01^2 + 90,63^2 + 16,33^2 + 31,03^2 + \dots + 59,60^2 + 24,49^2 \right)} =$$

$$= 305,06 \text{ V}$$

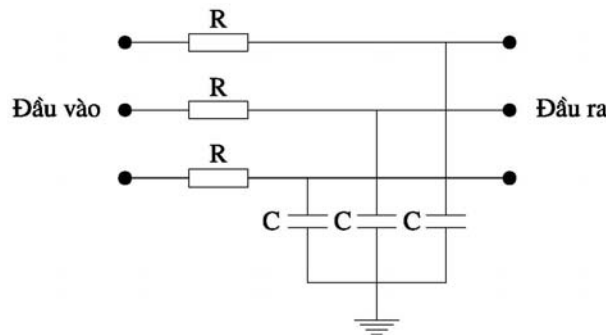
Trong bảng giá trị điện áp sóng hài ta thấy thành phần sóng hài bậc 37 và 41 có điện áp lớn nhất trong tất cả các thành phần sóng hài. Việc loại trừ được hai sóng này sẽ làm giảm phần lớn điện áp sóng hài ra. Vì vậy ta tiến hành loại trừ hai sóng này. Mặt khác, nếu dùng bộ lọc thông thấp thì tần số càng cao thì càng bị chặn nhiều, vì vậy khi loại trừ sóng bậc 37 bằng bộ lọc thông thấp thì sóng bậc 39 cũng bị loại luôn. Do nguyên nhân trên ta tiến hành thiết kế bộ lọc thông thấp lấy sóng bậc 37 làm tiêu chuẩn thiết kế, còn các sóng khác sẽ kiểm nghiệm lại qua giá trị bộ lọc.

**Các loại bộ lọc thông thấp có thể sử dụng:**

Trong sơ đồ bộ lọc ba pha ta có hai loại bộ lọc là bộ lọc RC và bộ lọc LC. Trong cả hai loại bộ lọc đều có tụ điện, tụ điện có thể mắc hình tam giác hoặc hình sao, mỗi kiểu mắc đều có những ưu nhược điểm riêng. Khi mắc tụ điện hình tam giác có ưu điểm là tiết kiệm dung lượng tụ xong không loại trừ hết được sóng hài điện áp dây. Bộ tụ đấu hình sao dung lượng tụ tăng lên ba lần nhưng đổi lại ta loại được sóng hài cả điện áp pha và điện áp dây, và đặc biệt khi tụ đấu hình sao có trung tính thì có thể loại luôn cả điện áp thứ tự không sinh ra khi chuyển mạch van bán dẫn.

**+ Bộ lọc RC**

Bộ lọc RC là loại bộ lọc cổ điển và đơn giản nhất, việc bố trí linh kiện của bộ lọc như hình vẽ (hình 3.8).

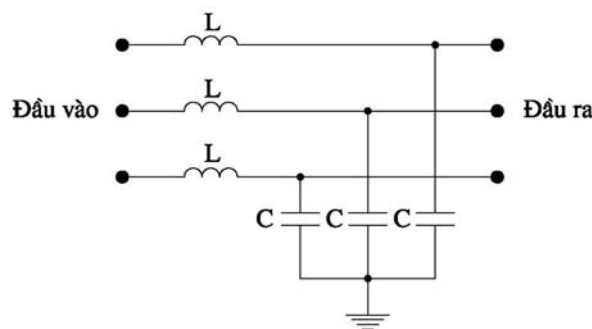


Hình 3.8 : Mạch lọc RC ba pha

Mạch lọc RC có ưu điểm là đơn giản, rẻ tiền, vận hành ổn định. Nhược điểm chính là gây tổn hao trên điện trở, nhất là khi công suất lọc lớn, khả năng chọn lọc tần số kém.

**+ Bộ lọc LC**

Kết cấu của bộ lọc LC bao gồm các linh kiện như hình vẽ (hình 3.9).



Hình 3.9 : Mạch lọc LC ba pha

Mạch lọc LC là mạch lọc có khả năng lọc tốt nhất, có khả năng lọc được nhiều tần số theo ý muốn. Nhược điểm lớn nhất của mạch lọc là giá thành và sự vận hành của mạch, sự vận hành của mạch kém tin cậy hơn mạch lọc RC do trong mạch có cuộn cảm và đặc biệt là loại mạch lọc này gây nhiễu cho các thiết bị thông tin do có sự phát sinh sóng điện từ của cuộn cảm. Chỉ khi nào chỉ số lọc cao ta mới sử dụng loại mạch lọc này.

#### ***Lựa chọn bộ lọc:***

Yêu cầu chính của bộ lọc đầu ra của bộ nghịch lưu là khả năng lọc thành phần hài bậc cao tốt, tổn hao nhỏ và khả năng đáp ứng dải tần số cao. Vì vậy ta chọn bộ lọc LC cho đầu ra của nghịch lưu.

#### ***2.4.3. Thiết kế bộ lọc đầu ra của bộ nghịch lưu***

Do tần số đầu ra của bộ nghịch lưu biến đổi khá lớn, từ 10 đến 500 Hz, nên việc sử dụng bộ lọc một cấp cho đầu ra bộ nghịch lưu là không hợp lý khi đầu ra đòi hỏi chất lượng điện áp và dòng điện cao. Trên cơ sở đó, ta tiến hành sử dụng bộ lọc hai cấp cho hai dải tần số khác nhau: dải tần thấp và dải tần cao. Hai tần số được chọn để thiết kế bộ lọc là tần số cực đại và tần số 50Hz. Quá trình chuyển đổi vận hành của hai cấp bộ lọc sẽ được tiến hành khi ta mô phỏng bộ lọc bằng PESIM, chỉ tiêu để chuyển bộ lọc là chỉ tiêu sóng hài trong thành phần điện áp và dòng điện.

##### ***2.4.3.1. Thiết kế bộ lọc cho chế độ cực đại của tần số***

Trong quá trình thiết kế ta lấy sóng hài bậc 37 làm chỉ tiêu thiết kế, các sóng hài còn lại được kiểm nghiệm qua các giá trị của bộ lọc.

Chỉ tiêu của bộ lọc là dòng điện thành phần sóng hài chiếm dưới 1% thành phần cơ bản.

Thành phần sóng hài bậc 37 và 41 chiếm phần lớn trong thành phần sóng hài ( 73,8%), mặt khác ở tần số càng cao thì sóng hài càng bị chặn nhiều, nên ta qui tất cả các sóng về sóng bậc 37 để tính toán bộ lọc.

Giả sử trường hợp bộ nghịch lưu cung cấp điện cho tải điện trở, trường hợp tải mang tính cảm thì ta có thêm bộ lọc thứ cấp sau bộ lọc sóng hài, khi đó ta có tỷ số:

$$\frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{U_o}{U_i} = 1\%$$

trong phương trình trên:

- +  $I_{out}$  : giá trị dòng điện sóng hài đi vào tải.
- +  $I_{in}$  : dòng điện sóng hài đi vào bộ lọc
- +  $U_o$  : điện áp sóng hài qua bộ lọc
- +  $U_i$  : điện áp định mức của sóng cơ bản.

từ đó ta có:

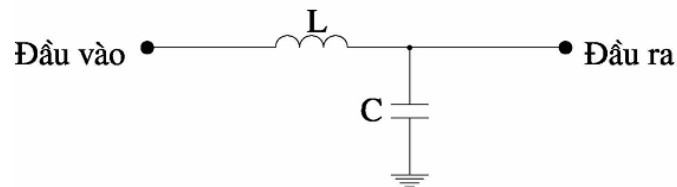
$$U_o = 1\% \cdot 159,8 = 1,598 \text{ V}$$

Tính toán bộ lọc với các thông số:

- + Điện áp vào bộ lọc  $U_i = 159,8 \text{ V}$
- + Điện áp ra khỏi bộ lọc  $U_o = 1,598 \text{ V}$

***Tính toán bộ lọc:***

Để đơn giản ta qui đổi tính toán ba pha về tính toán một pha. Sau khi qui đổi ta có mạch điện của bộ lọc trên một pha dùng để tính toán bộ lọc như hình vẽ (hình 3.10).



*Hình 3.10 : Sơ đồ thay thế bộ lọc trên một pha*

Hàm đặc tính vào ra của bộ lọc:

$$\begin{aligned} \frac{U_o}{U_i} &= \frac{1/j\omega C}{j\omega L + 1/j\omega C} = \frac{1}{(j\omega)^2 LC + 1} = \\ &= \frac{1}{1 - \omega^2 LC} \end{aligned}$$

trong công thức trên:

- +  $U_o$  : điện áp ra của bộ lọc
- +  $U_i$  : điện áp vào của bộ lọc
- +  $\omega$  : tần số góc của sóng hài

Ta có:

$$\frac{U_h}{U_{ih}} = \frac{U_{hf}}{U_{ihf}} = \left| \frac{1}{1 - \omega^2 LC} \right|$$

trong đó:

- +  $U_{hf}$  : điện áp pha của sóng hài đầu ra



+  $U_{ihf}$  : điện áp pha của sóng hài đầu vào.

Tần số góc của sóng hài bậc 37:

$$\omega_7 = 2 \cdot \pi \cdot 37 \cdot 500 = 116238,92 \text{ rad/s}$$

Thay số ta có:

$$\begin{aligned} \frac{1,598}{159,80} &= \left| \frac{1}{1 - \omega^2 LC} \right| \\ \Rightarrow \omega^2 LC &= 99 \\ \Rightarrow LC &= 7,33 \cdot 10^{-9} \end{aligned}$$

Giá trị của tụ điện được chế tạo thông thường phần lẻ là 0,25 nên ta chọn tụ điện:  $C = 50 \mu F$

Khi đó điện cảm cuộn dây có giá trị:

$$\begin{aligned} L &= \frac{7,33 \cdot 10^{-9}}{C} = \frac{7,33 \cdot 10^{-9}}{50 \cdot 10^{-6}} = \\ &= 146,6 \cdot 10^{-6} = 146,6 \mu H \end{aligned}$$

Vậy giá trị của các linh kiện trong bộ lọc là:

$$C = 50 \mu F$$

$$L = 146,6 \mu H$$

#### 2.4.3.2. Thiết kế bộ lọc cho chế độ tần số cực tiểu

Mục tiêu khi chuyển đổi bộ lọc là ta chỉ chuyển đổi giá trị chủ cuộn cảm còn giữ nguyên giá trị của tụ điện.

Tần số cần tiến hành lọc:

$$\omega_7 = 2 \cdot \pi \cdot 37 \cdot 10 = 2324,78 \text{ rad/s}$$

Do tần số thấp nên kích thước bộ lọc khá lớn, để giảm kích thước và tổn hao trong bộ lọc thì biện pháp có thể đưa ra là giảm chỉ tiêu của bộ lọc. Khi ở tần số thấp ta lấy chỉ tiêu của bộ lọc là 5%. Khi đó ta có:

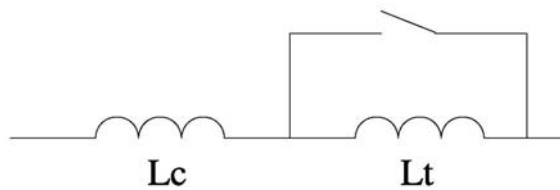
$$U_h = 5\% \cdot 159,80 = 7,99 \text{ V}$$

Thay vào phương trình ta có:

$$\begin{aligned} \frac{7,99}{159,80} &= \left| \frac{1}{1 - \omega^2 LC} \right| \\ \Rightarrow \omega^2 LC &= 19 \\ \Rightarrow LC &= 3,52 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

Giá trị điện cảm yêu cầu của cuộn cảm bộ lọc:

$$L = \frac{3,52 \cdot 10^{-6}}{50 \cdot 10^{-6}} = 70,31 \cdot 10^{-3} \text{ H} = 70,31 \text{ mH}$$



Hình 3.11 : Cuộn cảm của bộ lọc hai cấp

Cuộn cảm của bộ lọc gồm có hai cấp như hình vẽ, điện cảm của bộ lọc trong chế độ tần số cực đại:

$$L_c = 146,6 \mu\text{H}$$

Điện cảm của bộ lọc trong chế độ tần số cực tiểu:

$$L_c + L_t = 70,31 \text{ mH}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow L_t &= 70,31 - L_c = 70,31 \cdot 10^{-3} - 146,6 \cdot 10^{-6} = \\ &= 70,16 \cdot 10^{-3} \text{ H} \end{aligned}$$

#### 2.4.4. Tính toán dòng điện cần thiết để chọn IGBT

Công suất trên một pha của bộ nghịch lưu:

$$P_f = P/3 = 5000/3 = 1666,67 \text{ kW}$$

Dòng điện sóng cơ bản trong chế độ làm việc:

$$I_v = I_d = I_f = \frac{P_f}{U_{fmin}} = \frac{P_f \cdot \sqrt{3}}{U_{min}} = \frac{5000}{\sqrt{3} \cdot 100} = 28,87 \text{ A}$$

Dòng điện hiệu dụng cực đại qua van:

$$\begin{aligned} I_{vmax} &= I_v + I_h = 28,87 + 0,63 = \\ &= 29,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Chọn phương pháp làm mát bằng đối lưu cưỡng bức, dùng quạt gió.

Chọn hệ số dự trữ dòng điện là:

$$K_i = 3,2$$

Dòng điện yêu cầu chọn IGBT:

$$I_{van} \geq 3,2 \cdot 29,5 = 94,4 \text{ A}$$

Vậy ta có chỉ tiêu chọn van bán dẫn:

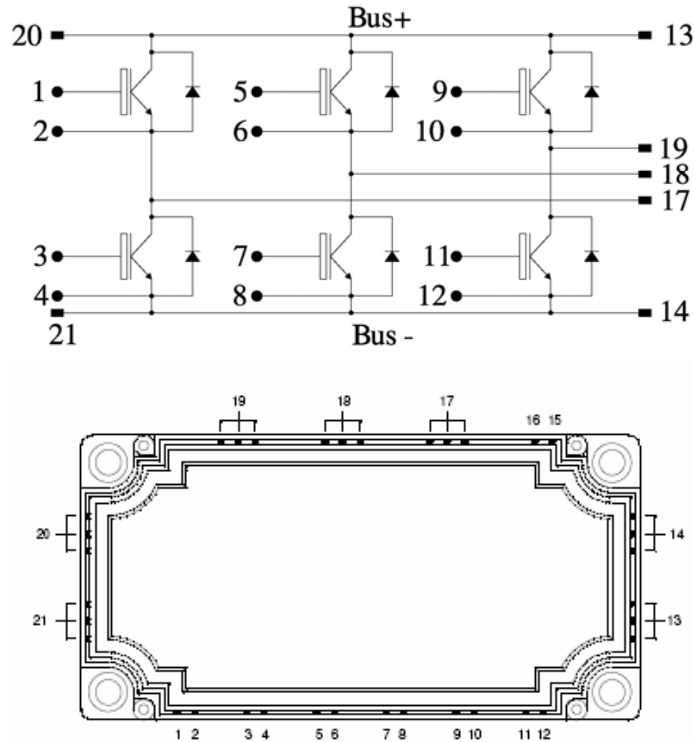
$$I_{van} \geq 94,4 \text{ A}$$

$$U_{van} \geq 1224,74 \text{ V}$$

**Chọn van bán dẫn làm nhiệm vụ đóng cắt:**

Với công nghệ sản xuất bán dẫn ngày nay thì dải công suất trên các van bán dẫn có thể được tích hợp trên một phân tử. Do đó ta chọn sáu van được tích hợp trên một phân tử.

Chọn van IGBT: APGS50X170TE3



Hình 3.11 : Sơ đồ nối điện và hình dạng của IGBT APGS50X170E3

Thông số của van APGS50X170TE3:

- + Loại van: Cầu ba pha
- + Hãng sản xuất: Advanced Power Technology Europe
- + Điện áp ngược cực đại:  $U_{CES} = 1700 \text{ V}$
- + Dòng điện chế độ dẫn liên tục:  $I_C = 50 \text{ A}$
- + Nhiệt độ vận hành thông thường:  $T_C = 80^\circ\text{C}$
- + Tần số đóng cắt tối đa:  $f_{\max} = 20 \text{ kHz}$

Bảng 3.4 : Thông số kỹ thuật van IGBT

Đại lượng	Thông số	Giá trị cực đại	Đơn vị
$U_{CES}$	Điện áp đánh thủng Collector - Emitter	1700	V
$I_C$	Dòng điện Collector khi dẫn liên tục	$T_C = 25^\circ C$	100
		$T_C = 85^\circ C$	50
$I_{CM}$	Dòng Collector trong chế độ đóng cắt	$T_C = 25^\circ C$	150
$U_{GE}$	Điện áp trên Gate - Emitter	$\pm 20$	V
$P_D$	Công suất nhiệt cực đại trên vỏ cho phép	$T_C = 25^\circ C$	480
RBSOA	Dòng diode ngược	$T_C = 125^\circ C$	100A/1600V

Bảng 3.5 : Thông số vận hành của van

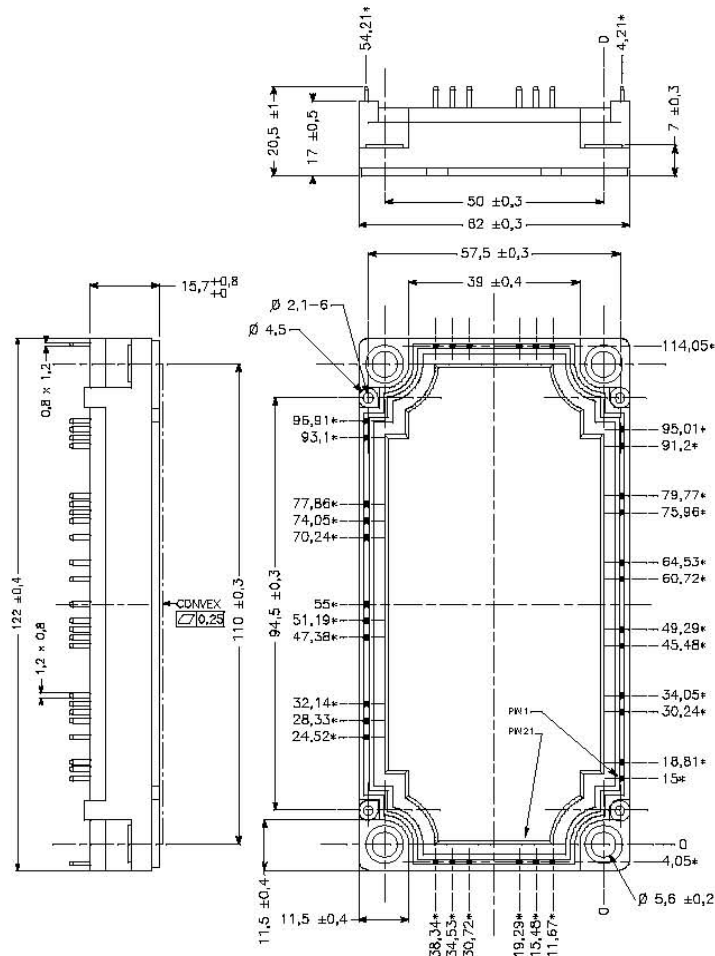
$BV_{CES}$	Điện áp đánh thủng Collector-Emitter	$U_{GE} = 0V, I_C = 1mA$	1700			V
$I_{CES}$	Zero Gate Voltage Collector Current	$U_{GE} = 0V$	$T_j = 25^\circ C$		0.02	0.1
		$U_{CE} = 1700V$	$T_j = 125^\circ C$		1.5	
$V_{CE(on)}$	Điện áp mở Collector-Emitter	$U_{GE} = 15V$	$T_j = 25^\circ C$		2.7	3.3
		$I_C = 50A$	$T_j = 125^\circ C$		3.2	
$V_{GE(th)}$	Điện áp ngưỡng của Gate	$U_{GE} = U_{CE}, I_C = 2.5 mA$	4.5		6.5	V
$I_{GES}$	Dòng điện rò giữa Gate-Emitter	$U_{GE} = 20V, U_{CE} = 0V$			100	nA

Bảng 3.6 : Thông số động của van

Cies	Điện dung đầu vào	$U_{GE} = 0V, U_{CE} = 25V$ $f = 1MHz$		3500		pF
Td(on)	Thời gian trễ mở	Chuyển mạch tải cảm(25°C) $U_{GE} = \pm 15V$ $U_{Bus} = 900V, I_C = 50A$ $R_G = 30\Omega$		100		ns
Tr	Thời gian mở thông			100		
Td(off)	Thời gian trễ khoá			800		
Tf	Thời gian khoá			30		
Td(on)	Thời gian trễ mở	Chuyển mạch tải cảm (125°C) $U_{GE} = \pm 15V, U_{Bus} = 900V$ $I_C = 50A$ $R_G = 30\Omega$		100		ns
Tr	Thời gian mở thông			100		
Td(off)	Thời gian trễ khoá			900		
Tf	Thời gian khoá			30		
Eoff	Năng lượng toả ra khi khoá			14.5		

Bảng 3.7: Thông số của diode ngược

$U_F$	Điện áp rơi trên diode khi thông	$I_F = 50A$ $U_{GE} = 0V$	$T_j = 25^\circ C$		2.2	2.6	V
			$T_j = 125^\circ C$		2.0		
$E_r$	Năng lượng toả ra khi dẫn dòng ngược	$I_F = 50A$ $di/dt=750A/us$ $U_R = 900V$	$T_j = 25^\circ C$		2		mJ
			$T_j = 125^\circ C$		4		
$Q_{rr}$	Điện tích nạp khi dẫn dòng ngược	$I_F = 50A$ $U_R = 900V$ $di/dt=750A/us$	$T_j = 25^\circ C$		6		$\mu C$
			$T_j = 125^\circ C$		12		



Hình 3.12 : Hình dạng và các kích thước của IGBT APGS50X170TE3

**Tính toán làm mát cho van**

Phương pháp làm mát phổ biến hiện nay là làm mát dùng cánh tản nhiệt. Diện tích cánh tản nhiệt có thể tính gần đúng theo công thức:

$$S_m = \frac{\Delta P}{k_m \cdot \tau}$$

trong đó:

- +  $S_m$  : diện tích cánh tản nhiệt,  $cm^2$
- +  $\Delta P$  : tổn thất công suất trên van, W
- +  $\tau$  : Độ chênh lệch nhiệt độ của van so với môi trường,

$$\tau = T_{lv} - T_{mt}$$

- +  $k_m$  : hệ số khi xem xét đến môi trường làm việc, chọn  $k_m = 8 \cdot 10^{-4}$

Tổn thất công suất trên van bán dẫn khi làm việc bình thường:

$$\Delta P = \Delta U \cdot I_{LV}$$

trong đó:

+  $\Delta U$  : sụt áp trên một van bán dẫn, 3,2 V

+  $I_{LV}$  : dòng làm việc của van bán dẫn

Thay số ta có:

$$\Delta P = 3,2 \cdot 29,5 = 94,40 \text{ W}$$

Chọn nhiệt độ làm việc của van là:  $T_{LV} = 80^\circ\text{C}$

Chọn nhiệt độ của môi trường là :  $T_{MT} = 40^\circ\text{C}$

Diện tích cánh tản nhiệt yêu cầu:

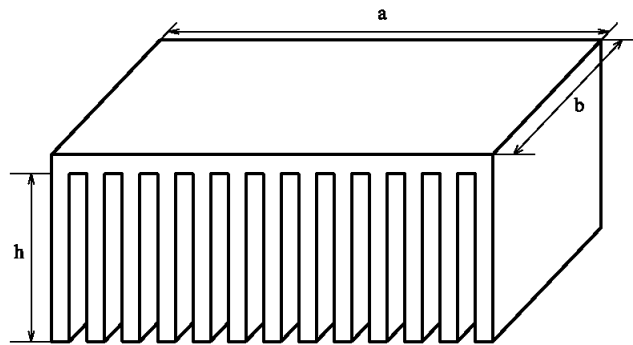
$$S_m = \frac{94,40}{8 \cdot 10^{-4} \cdot (80 - 40)} = 2950 \text{ cm}^2$$

Chọn tản nhiệt có 15 cánh, kích thước mỗi cánh:

$$h \cdot b = 10 \cdot 10 \text{ cm}^2$$

Như vậy diện tích của toàn bộ tản nhiệt:

$$S_{TN} = 15 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 10 = 3000 \text{ cm}^2$$



Hình 3.13 : Hình dạng cánh tản nhiệt của IGBT

Do cánh tản nhiệt thoả mãn điều kiện làm mát bằng đối lưu tự nhiên và bức xạ nhiệt, nên không cần làm mát cưỡng bức.

#### 2.4.5. Tính toán dòng điện nguồn một chiều cung cấp cho mạch nghịch lưu

Giả sử góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện của tải là  $\varphi$ .

Ta có:

+ Phương trình điện áp tải:

$$u_t = \sqrt{2} U_0 \sin(\omega_1 t)$$

+ Phương trình dòng điện tải:

$$i_t = \sqrt{2} I_0 \sin(\omega_1 t - \varphi)$$

Công suất mạch nghịch lưu cung cấp cho tải:

$$P_o = u_t \cdot i_t = \sqrt{2} U_0 \sin(\omega_1 t) \cdot \sqrt{2} I_0 \sin(\omega_1 t - \varphi) \\ = U_0 I_0 \cos \varphi - U_0 \cdot I_0 \cos(2\omega_1 t - \varphi)$$

Công suất cung cấp cho mạch nghịch lưu:

$$P_i = u_d \cdot i_d$$

Bỏ qua tổn thất trong bộ nghịch lưu ta có phương trình cân bằng công suất của ba pha:

$$u_d i_d = U_0 I_0 \cos \varphi - U_0 \cdot I_0 \cos(2\omega_1 t - \varphi) + U_0 I_0 \cos \varphi - \\ - U_0 \cdot I_0 \cos[2(\omega_1 t - 120^\circ) - \varphi] + U_0 I_0 \cos \varphi - U_0 \cdot I_0 \cos[2(\omega_1 t + 120^\circ) - \varphi] \\ \Rightarrow u_d i_d = 3 \cdot U_0 I_0 \cos \varphi - U_0 \cdot I_0 \{ \cos(2\omega_1 t - \varphi) + \cos[2(\omega_1 t - 120^\circ) - \varphi] + \\ \cos[2(\omega_1 t + 120^\circ) - \varphi] \}$$

Ta có:

$$\cos(2\omega_1 t - \varphi) + \cos[2(\omega_1 t - 120^\circ) - \varphi] + \cos[2(\omega_1 t + 120^\circ) - \varphi] = \\ = \cos(2\omega_1 t - \varphi) + 2 \cdot \cos(2\omega_1 t - \varphi) \cdot \cos 2 \cdot 120^\circ = 0$$

Vì vậy ta có:

$$u_d i_d = 3 \cdot U_0 I_0 \cos \varphi \\ \Rightarrow i_d = \frac{3 \cdot U_0 I_0}{U_d} \cos \varphi = \frac{P}{U_d}$$

Ta thấy rằng dòng điện bên nguồn một chiều cung cấp cho bộ nghịch lưu là dòng điện không đổi.

Tương tự ta tính toán cho các thành phần sóng hài, ta thấy dòng điện cung cấp cho nghịch lưu để tạo ra các thành phần sóng hài cũng là dòng điện không đổi.

Dòng điện cung cấp cho mạch nghịch lưu để tạo ra các thành phần sóng hài:

$$i_h = \frac{P_h}{U_d}$$

Dòng điện tổng cộng cung cấp cho mạch nghịch lưu khi bỏ qua tổn thất trong bộ nghịch lưu:

$$I_{d0} = \frac{P + P_h}{U_d}$$



Do dòng đi vào mạch nghịch lưu là không đổi nên ta không cần mạch lọc trước mạch nghịch lưu để lọc thành phần hài bậc cao cho bộ nghịch lưu.

### 2.5. Thiết kế cuộn kháng lọc sau mạch nghịch lưu

#### Thiết kế cuộn kháng cho tần số 500 Hz

Thông số của cuộn kháng lọc:

+ Điện cảm :  $L = 146,6 \mu H$

+ Dòng điện định mức :  $I_{dm} = 29,5 A$

+ Điện áp định mức :  $U_{dm} = 500 V$

Do điện kháng của cuộn kháng lọc khá nhỏ và dòng điện qua cuộn kháng khá lớn nên ta bỏ qua điện trở của cuộn kháng lọc.

Do điện kháng của cuộn kháng lọc khá nhỏ nên ta dùng cuộn kháng lõi không khí.

Điện cảm của cuộn kháng lọc được tính theo công thức:

$$L = 10,5.w^2.D.\left[\frac{D}{2(h+b)}\right]^\alpha .10^{-6} \text{ mH}$$

trong công thức trên:

+ L : điện cảm của cuộn kháng

+ D : đường kính trung bình của cuộn dây, cm

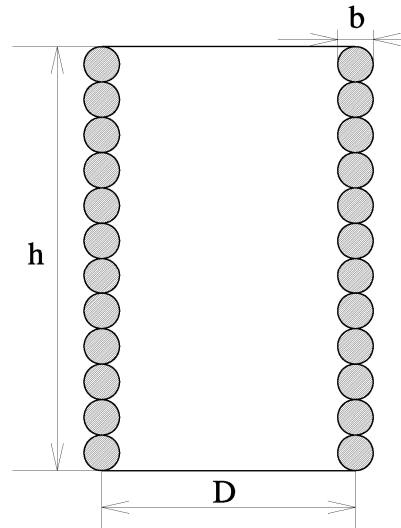
+ h : chiều cao của cuộn dây, cm

+ b : chiều dày của cuộn kháng, cm

+  $\alpha$  : số mũ phụ thuộc vào tỷ số  $\frac{D}{2(h+b)}$

$$\alpha = \frac{3}{4} \text{ khi } 0,3 \leq \frac{D}{2(h+b)} \leq 1$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \text{ khi } 1 \leq \frac{D}{2(h+b)} \leq 3$$



Hình 3.14: Cuộn kháng tần số cao

Chọn tỷ số  $\frac{D}{2(h+b)} = 0,5$  ta có:

$$D = h + b$$

Chọn dây quấn bộ lớp, mật độ dòng điện trong dây quấn là:

$$J = 5 \text{ A/mm}^2$$

Thiết diện của dây quấn cuộn kháng lọc:

$$F = \frac{I_{dm}}{J} = \frac{29,5}{5} = 5,90 \text{ mm}^2$$

Đường kính dây dẫn làm dây quấn cuộn kháng:

$$b = d = 2 \cdot \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{5,90}{\pi}} = 2,74 \text{ mm}$$

Chuẩn hoá kích thước theo chuẩn  $d = 0,27 \text{ cm}$

Chiều cao cuộn dây:

$$h = w \cdot b$$

Từ đó ta có:

$$D = 0,5 \cdot 2 \cdot (h+b) = (w+1)b$$

Thay vào công thức tính điện cảm cuộn kháng ta có:

$$\begin{aligned} L &= 10,5 \cdot w^2 \cdot D \cdot \left[ \frac{D}{2(h+b)} \right]^\alpha \cdot 10^{-6} = \\ &= 10,5 \cdot w^2 \cdot (w+1) \cdot 0,27 \cdot [0,5]^{3/4} \cdot 10^{-6} = 0,1466 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow w^3 + w^2 - 23481,03 = 0$$

Giải phương trình ta có:

$$w = 28,03 \text{ vòng}$$

$$\text{lấy } w = 28 \text{ vòng.}$$

*Thông số cuộn kháng lọc:*

Đường kính cuộn kháng lọc:

$$D = 29.0,27 = 7,86 \text{ cm}$$

Chiều cao cuộn kháng lọc:

$$h = 28.0,27 = 7,84 \text{ cm}$$

Số vòng dây cuộn kháng lọc:

$$w = 28 \text{ vòng}$$

Đường kính dây dẫn làm dây quấn cuộn kháng:

$$d = 0,27 \text{ cm}$$

### Thiết kế cuộn kháng cho tần số 50 Hz

Do điện cảm của cuộn kháng khá lớn  $L_t = 14,5 \text{ mH}$ , nên ta sử dụng cuộn kháng lọc là cuộn kháng có lõi thép. Do cuộn kháng cấp tần số 500Hz gồm ba cuộn riêng biệt, nên để đơn giản thì ta thiết kế cuộn kháng cho tần số 50 Hz cũng gồm ba cuộn riêng biệt.

### Thông số ban đầu để thiết kế cuộn kháng

Điện cảm của cuộn kháng lọc:  $L_t = 14,5 \text{ mH}$

Dòng điện định mức chảy qua cuộn kháng:  $I_m = 28,85 \text{ A}$

Biên độ dòng điện xoay chiều bậc 37:  $I_{37m} = 0,41 \text{ A}$

Do điện kháng của cuộn kháng khá lớn nên ta bỏ qua điện trở của cuộn kháng. Vì vậy ta có điện kháng của cuộn kháng bằng:

$$X_K = 2 \cdot \pi \cdot \omega_{37} \cdot L_t = 2 \cdot \pi \cdot 37 \cdot 50 \cdot 14,5 \cdot 10^{-3} = 168,55 \Omega$$

Điện áp rơi trên cuộn kháng lọc:

$$\Delta U = X_K \cdot \frac{I_{37m}}{\sqrt{2}} = 168,55 \cdot 0,2885 = 48,71 \text{ V}$$

Công suất của cuộn kháng lọc:

$$S = \Delta U \cdot \frac{I_{37m}}{\sqrt{2}} = 48,71 \cdot 0,2885 = 14,05 \text{ VA}$$

Thiết diện của cuộn kháng lọc:

$$Q = k_Q \sqrt{\frac{S}{f}} = 5 \sqrt{\frac{14,05}{37.50}} = 0,44 \text{ cm}^2$$

Chọn thiết diện cuộn kháng là hình chữ nhật. Chọn hai kích thước bằng nhau. Do đó kích thước của lõi thép sơ bộ là:

$$a = b = \sqrt{Q} = \sqrt{0,44} = 0,66 \text{ cm}$$

Để đơn giản trong chế tạo ta chọn kích thước của cuộn kháng ta chọn kích thước của cuộn kháng là:

$$a = b = 0,7 \text{ cm}$$

Thiết diện trụ:

$$Q = 0,7 \cdot 0,7 = 0,49 \text{ cm}^2$$

Chọn mật độ từ cảm trong trụ của lõi thép:

$$B_T = 0,5 \text{ T}$$

Số vòng của cuộn dây cảm lọc:

$$w = \frac{\Delta U}{4,44 \cdot f \cdot B_T \cdot Q} = \frac{48,71}{4,44 \cdot 37.50 \cdot 0,5 \cdot 0,49 \cdot 10^{-4}} = 242,05 \text{ vòng}$$

Lấy số vòng của cuộn kháng là:  $w = 242$  vòng.

Cuộn kháng lọc được thiết kế để lọc thành phần hài bậc cao ở nhiều tần số và dòng điện qua kháng cũng biến đổi theo dải lọc. Do vậy để cuộn kháng làm việc an toàn thì khi thiết kế, cuộn kháng phải được thiết kế để làm việc ở dòng điện lớn nhất.

Dòng điện lớn nhất qua cuộn kháng:

$$I_K = \sqrt{28,85^2 + (0,3442 \cdot 28,85)^2} = 30,51 \text{ A}$$

Chọn mật độ dòng điện qua cuộn kháng là:  $J = 5 \text{ A/mm}^2$

Thiết diện dây quấn cuộn kháng lọc:

$$S_K = \frac{30,51}{5} = 6,10 \text{ mm}^2$$

Qui chuẩn thiết diện dây quấn theo mẫu chuẩn:  $S_k = 7,306 \text{ mm}^2$

Mật độ dòng điện chảy trong dây quấn khi qui chuẩn thiết diện:

$$J_K = \frac{30,51}{7,306} = 4,18 \text{ A/mm}^2$$

Chọn hệ số lấp đầy của dây quấn:

$$K_{ld} = \frac{w \cdot S_K}{Q_{cs}} = 0,70$$

Diện tích của sổ:

$$Q_{cs} = \frac{w \cdot S_K}{K_{ld}} = \frac{242 \cdot 7,63 \cdot 10^{-2}}{0,65} = 28,40 \text{ cm}^2$$

$$\text{Chọn } m = \frac{h}{a} = 5$$

$$\text{Suy ra } h = 9 \cdot a = 9 \cdot 5 = 45 \text{ mm}$$

$$c = \frac{Q_{cs}}{h} = \frac{28,40}{4,5} = 6,31 \text{ cm} = 63,10 \text{ mm}$$

$$+\text{Chiều cao mạch từ: } H = h + a = 45 + 7 = 52 \text{ mm}$$

$$+\text{Chiều dài mạch từ: } L = 2 \cdot c + 2 \cdot a = 2 \cdot 63,1 + 2 \cdot 7 = 140,2 \text{ mm}$$

$$+\text{Chọn khoảng cách từ gông tới cuộn dây: } h_g = 2 \text{ mm}$$

$$+\text{Tính số vòng trên một lớp: } w_1 = \frac{h - 2 \cdot h_g}{b_k} = \frac{45 - 2 \cdot 2}{3,05} = 13,44$$

Lấy số vòng trong một lớp là 13 vòng.

$$+\text{Tính số lớp dây quấn: } n_1 = \frac{w}{w_1} = \frac{242}{13} = 18,62 \text{ lớp}$$

Chọn số lớp của cuộn kháng là 19 lớp, 18 lớp đầu có 13 vòng, lớp thứ 19 có  $242 - 13 \cdot 18 = 8$  vòng.

$$+\text{Chọn khoảng cách cách điện giữa dây quấn với trụ: } a_{01} = 3 \text{ mm}$$

$$\text{Cách điện giữa các lớp: } cd_1 = 0,1 \text{ mm}$$

$$+\text{Bề dày cuộn dây: } B_d = (a_k + cd_1) \cdot n_1 = (3,05 + 0,1) \cdot 19 = 59,85 \text{ mm}$$

$$+\text{Tổng bề dày cuộn dây: } B_{d\Sigma} = B_d + a_{01} = 59,85 + 3 = 62,85 \text{ mm}$$

+ Chiều dài của vòng dây trong cùng:

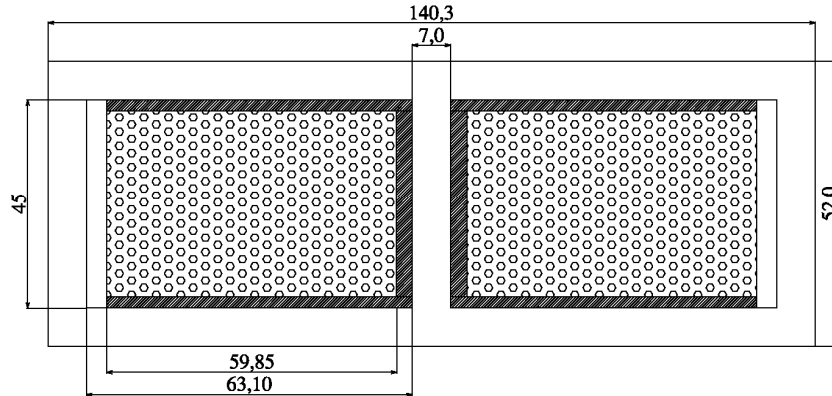
$$l_1 = 2(a+b) + 2 \cdot \pi \cdot a_{01} = 2 \cdot (0,7 + 0,7) + 2 \cdot \pi \cdot 0,3 = 4,68 \text{ cm}$$

+ Chiều dài của vòng dây ngoài cùng:

$$l_2 = 2(a+b) + 2 \cdot \pi \cdot (a_{01} + B_d) = 2 \cdot (0,7 + 0,7) + 2 \cdot \pi \cdot (0,3 + 4,41) = 32,38 \text{ cm}$$

+ Chiều dài trung bình của một vòng dây

$$l_{tb} = (l_1 + l_2) / 2 = (4,68 + 32,38) / 2 = 18,53 \text{ cm}$$



Hình 3.15: Cuộn kháng tần số thấp

+ Điện trở của dây quấn ở 75°

$$R = \rho_{75} \cdot l_{tb} \cdot w / s_k = 0,02133 \cdot 18,53 \cdot 10^{-2} \cdot 242 / 7,306 = 0,131 \Omega$$

với  $\rho_{75} = 0,02133 (\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m})$  Điện trở suất của đồng ở 75° c

Ta thấy điện trở rất bé nên giả thiết ban đầu bỏ qua điện trở là đúng

+Thể tích sắt

$$\begin{aligned} V_{fe} &= 2 \cdot a \cdot b \cdot h + 2 \cdot a/2 \cdot b \cdot l = a \cdot b \cdot (2h + 1) = \\ &= 0,7 \cdot 0,7 \cdot 2 \cdot (2 \cdot 4,5 + 1) = 9,8 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

+Khối lượng sắt:

$$M_{fe} = V_{fe} \cdot m_{fe} = 9,8 \cdot 10^{-3} \cdot 7,85 = 0,77 \text{ kg}$$

Trong đó  $m_{fe}$  là khối lượng riêng của sắt  $m_{fe} = 7,85 (\text{kg}/\text{dm}^3)$

$$\begin{aligned} \text{+Khối lượng đồng: } M_{cu} &= V_{cu} \cdot m_{cu} = s_k \cdot l_{tb} \cdot w \cdot m_{cu} = \\ &= 7,306 \cdot 10^{-3} \cdot 1,853 \cdot 242 \cdot 8,9 = 2,9 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Trong đó:  $m_{cu} = 8,9 (\text{kg}/\text{dm}^3)$

## 2.6. Chọn diode chỉnh lưu và tụ lọc nguồn

### 2.6.1. Chọn diode chỉnh lưu

Thông số để lựa chọn:

$$\text{+ Điện áp ra của chỉnh lưu: } U_d = 816,49 \text{ V}$$

$$\text{+ Dòng điện đầu ra của chỉnh lưu: } I_d = 5000 / 816,49 = 6,12 \text{ A}$$

Điện áp thứ cấp của máy biến áp:

$$U_2 = \frac{U_d}{K_u} = \frac{816,49}{\frac{3 \cdot \sqrt{6}}{\pi}} = 349,06 \text{ V}$$

trong công thức trên  $K_u = \frac{3\sqrt{6}}{\pi}$  là hệ số điện áp của chỉnh lưu cầu diode.

Điện áp ngược đặt lên diode:

$$U_{N\max} = K_{NV} \cdot U_2$$

trong đó  $K_{NV}$  là hệ số điện áp ngược đặt lên diode, trong chỉnh lưu cầu thì  $K_{NV} = \sqrt{6}$

Thay ta có:

$$U_{N\max} = \sqrt{6} \cdot 349,06 = 855,02 \text{ V}$$

Điện áp ngược để chọn diode có giá trị:

$$\begin{aligned} U_{NV} &= K_{dtU} \cdot U_{N\max} = \\ &= 1,8 \cdot 855,02 = 1539,05 \text{ V} \end{aligned}$$

trong đó  $K_{dtU}$  là hệ số dự trữ điện áp, chọn  $K_{dtU} = 1,8$ .

Dòng điện làm việc của van được tính theo dòng hiệu dụng:

$$I_{LV} = I_{hd} = K_{hd} \cdot I_d$$

trong đó  $K_{hd}$  là hệ số dòng điện hiệu dụng, trong chỉnh lưu cầu ta có:

$$K_{hd} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Ta có:

$$I_{LV} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 6,12 = 3,54 \text{ A}$$

Chọn hệ số dự trữ dòng điện  $K_{dtI} = 3,2$ , dòng điện để chọn van:

$$I_V = 3,2 \cdot 3,54 = 11,33 \text{ A}$$

**Chọn diode SKN20/16 có các thông số:**

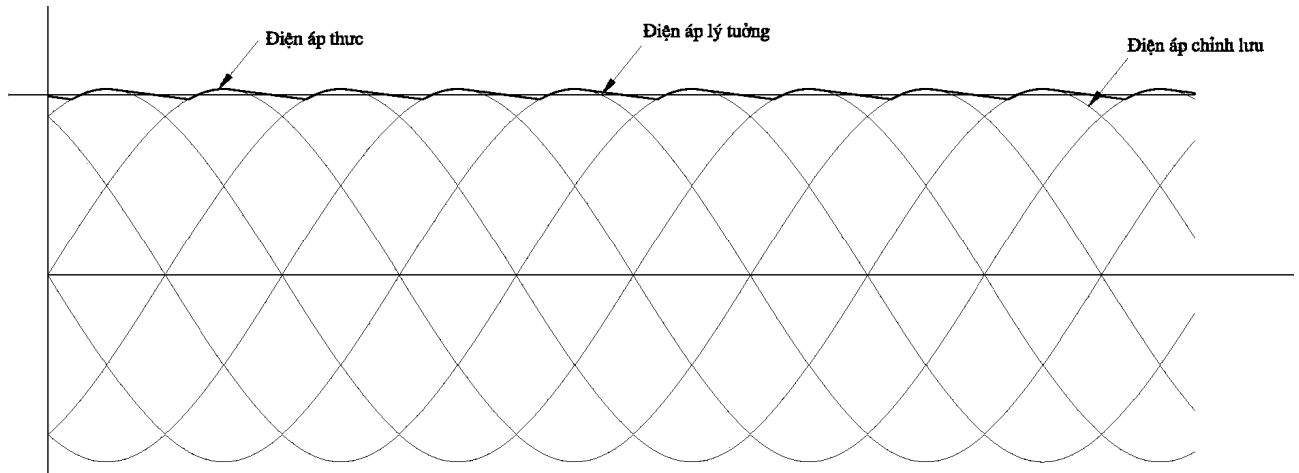
- + Dòng điện định mức  $I_{dm} = 20 \text{ A}$
- + Điện áp định mức  $U_{dm} = 1600 \text{ V}$
- + Dòng điện đỉnh  $P_{pik} = 350 \text{ A}$
- + Điện áp sụt trên diode khi định mức  $\Delta U = 1,1 \text{ V}$
- + Dòng điện rò  $I_{th} = 10 \mu\text{A}$
- + Nhiệt độ cho phép làm việc  $T_{cp} = 200^\circ\text{C}$

### 2.6.2. Chọn tụ lọc nguồn

Chỉ tiêu chính để chọn tụ lọc nguồn là chỉ tiêu đập mạch của điện áp đầu ra, với bộ lọc chất lượng cao thì chỉ số đó là 5%.

Điện áp của nguồn cung cấp cho mạch nghịch lưu có giá trị bằng điện áp trên tụ. Tiến hành phân tích quá trình hoạt động của tụ ta thấy gồm có hai quá trình nạp và phóng. Khi điện áp xoay chiều tăng thì song song với nó là quá

trình nạp tụ, khi điện áp nguồn xoay chiều giảm thì song song với nó là quá trình phóng điện của tụ. Các dạng điện áp được mô tả trong hình vẽ (hình 3.12).



Hình 3.16 : Các dạng điện áp của bộ chỉnh lưu

Để thấy được quá trình nạp phóng của tụ ta xét một quá trình nạp phóng của tụ.

Để tính điện dung cần thiết của tụ ta chỉ xét quá trình phóng của tụ. Quá trình phóng của tụ diễn ra trong khoảng thời gian  $\tau$ . Điện áp cực đại trên tụ coi như bằng điện áp cực đại của nguồn cấp. Phương trình điện áp trên tụ trong quá trình phóng điện:

$$u_c = U_0 e^{-T_p t}$$

trong công thức trên:

- +  $u_c$  : điện áp trên hai bản cực của tụ.
- +  $U_0$  : điện áp cực đại của nguồn ba pha, có giá trị bằng điện áp dây của nguồn ba pha.
- +  $T_p$  : hằng số thời gian phóng điện của tụ.

Quá trình phóng của tụ kết thúc khi đường đặc tính nạp của tụ giao với đường điện áp dây tiếp theo trên đồ thị.

Dao động điện áp 5% tương đương với điện áp cực đại và cực tiểu chênh lệch nhau là 10%. Điện áp cực đại là  $U_0$  là biên độ của điện áp dây. Điện áp cực tiểu là điện áp trên hai cực tụ khi kết thúc quá trình phóng. Điện áp sau khi kết thúc quá trình phóng có giá trị:

$$U_{\min} = U_0 \cdot e^{-T_p \tau} \quad \text{trong đó } \tau \text{ là thời gian phóng của tụ.}$$



Hai đường điện áp trong hai quá trình nạp, phóng liên tiếp của tụ lệch nhau  $\pi/3$ . Theo trên ta có  $U_{\min} = 90\%.U_0$  hay:

$$U_0 \cdot e^{-T_p \tau} = 0,9 \cdot U_0$$

từ đó ta có:

$$e^{-T_p \tau} = 0,9$$

$$\Rightarrow T_p \cdot \tau = 0,105$$

**Tính khoảng thời gian phóng điện của tụ điện:**

Ta có  $U_{\min} = 0,9U_0$  hay  $U_0 \sin(\omega(t + \tau) + \pi/3) = 0,9U_0$

Từ đó ta có:

$$\omega(t + \tau) + \pi/3 = 1,1197$$

Khi tụ bắt đầu phóng điện thì điện áp đang xét có giá trị bằng  $U_0$ , điều đó tương đương với:

$$U_0 \sin(\omega t + \pi/3) = 1/2$$

Từ đó ta có:

$$\omega t + \pi/3 = \pi/6$$

$$\omega(t + \tau) + \pi/3 = 1,1197$$

Vì vậy ta có:

$$\omega \tau = 1,1197 - \pi/6$$

$$\tau = \frac{1,1197 - \pi/6}{\omega} = \frac{1,1197 - \pi/6}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,00189 \text{ s}$$

Hằng số thời gian phóng của tụ:

$$T_p = 0,105/0,00189 = 55,56$$

Ta có:

$$T_p = \frac{1}{\sqrt{RC}}$$

Trong đó R là điện trở tương đương của tải, có thể tính theo công thức:

$$R = \frac{U_d}{I_d} = \frac{816,49}{29,5} = 27,27 \ \Omega$$

Vì vậy ta có:

$$C = \frac{R}{T_p^2} = \frac{27,27}{55,56^2} = 8837,24 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

$$= 8837,24 \mu\text{F}$$

Ta thấy rằng điện dung yêu cầu để lọc nguồn của bộ nghịch lưu là khá lớn. Bên cạnh đó điện áp đầu ra cũng khá lớn nên giá thành của bộ chỉnh lưu cũng tương đối cao. Có thể giảm điện dung của tụ đi, tuy nhiên phải thêm một bộ điều áp sau bộ chỉnh lưu, hoặc dùng bộ chỉnh lưu có điều khiển để điều áp đầu vào của bộ nghịch lưu.

### 2.7. Thiết kế máy biến áp cấp nguồn cho chỉnh lưu

+ Công suất biểu kiến của máy biến áp:

$$S = K_s \cdot P_d = K_s \cdot \frac{P}{\eta} =$$

$$= 1,05 \cdot \frac{5000}{0,85} = 6176,44 \text{ kVA}$$

+ Phương trình cân bằng điện áp khi có tải:

$$U_{d0} = U_d + 2 \cdot \Delta U_v + \Delta U_{dn} + \Delta U_{BA}$$

trong công thức trên:

$\Delta U_v$ : sụt áp trên van bán dẫn,  $\Delta U_v = 1,1 \text{ V}$

$\Delta U_{dn}$ : sụt áp trên dây nối, lấy sơ bộ bằng không.

$\Delta U_{BA}$ : sụt áp trên máy biến áp khi có tải, chọn sơ bộ  $\Delta U_{BA} = 6\% U_d$

Thay vào công thức ta có:

$$U_d = 816,49 + 2 \cdot 1,1 + 0 + 6 \cdot 816,49 / 100 = 867,68 \text{ V}$$

+ Điện áp pha thứ cấp của máy biến áp khi có tải:

$$U_2 = \frac{U_{d0}}{K_u} = \frac{867,68}{\frac{3 \cdot \sqrt{6}}{\pi}} = 370,94 \text{ V}$$

+ Dòng điện thứ cấp máy biến áp:

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 29,5 = 24,08 \text{ A}$$

+ Dòng điện sơ cấp máy biến áp:

$$I_1 = \frac{U_2}{U_1} I_2 = \frac{370,94}{380} \cdot 24,08 = 23,51 \text{ A}$$

### 2.7.1. Tính sơ bộ kích thước mạch từ:

+ Thiết diện sơ bộ của mạch từ:

$$Q_{Fe} = k_Q \sqrt{\frac{S_{BA}}{m \cdot f}}$$

trong công thức trên:

$k_Q$  : hệ số phụ thuộc vào phương thức làm mát, lấy  $k_Q = 6$

$m$  : số trụ của máy biến áp,  $m = 3$

$f$  : tần số dòng điện xoay chiều,  $f = 50 \text{ Hz}$

thay số ta có:

$$Q_{Fe} = 6 \sqrt{\frac{6176,44}{3 \cdot 50}} = 38,50 \text{ cm}^2$$

+ Đường kính trụ của máy biến áp:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{Fe}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 38,50}{\pi}} = 7,00 \text{ cm} = 70 \text{ mm}$$

chuẩn hoá theo kích thước:  $d = 80 \text{ mm}$ .

+ Chọn thép 3404 dày 0,5 mm

Chọn mật độ từ thông trong lõi thép  $B_T = 1,00 \text{ T}$

+ Chọn hệ số hình dáng:

$$\beta = \frac{h}{d} = 2,3$$

từ đó ta có:  $h = 2,3 \cdot d = 2,3 \cdot 80 = 184 \text{ mm}$ . Chuẩn hoá chiều cao trụ  $h = 180 \text{ mm}$ .

### 2.7.2. Tính toán dây quấn:

+ Số vòng dây một pha sơ cấp của máy biến áp:

$$w_1 = \frac{U_1}{4,44 \cdot f \cdot Q_{Fe} \cdot B_T} = \frac{380}{4,44 \cdot 50 \cdot 38,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1,00} = 444,6 \text{ vòng}$$

lấy  $w_1 = 445$  vòng

+ Số vòng dây trên một pha thứ cấp máy biến áp:

$$w_2 = \frac{U_2}{U_1} w_1 = \frac{370,94}{380} \cdot 445 = 434,4 \text{ vòng}$$

lấy  $w_2 = 435$  vòng.

+ Chọn mật độ dòng điện trong máy biến áp

Chọn chế độ làm mát của máy biến áp là làm mát bằng đối lưu tự nhiên, máy biến áp được thiết kế theo kiểu máy biến áp khô. Vì vậy ta có thể chọn mật độ dòng điện trong dây quấn máy biến áp:

$$J_1 = J_2 = 2,75 \text{ A/mm}^2$$

+ Thiết diện dây quấn máy biến áp:

$$S_1 = \frac{I_1}{J_1} = \frac{23,51}{2,75} = 8,55 \text{ mm}^2$$

Chọn dây dẫn hình chữ nhật, chuẩn hoá theo kích thước dây tiêu chuẩn.

Thiết diện chuẩn hoá chưa có cách điện:

$$S_{1C} = 8,745 \text{ mm}^2$$

Thiết diện dây có cách điện:

$$S_1 = 8,00.1,12 = 8,96 \text{ mm}^2$$

+ Mật độ dòng điện trong cuộn dây sơ cấp:

$$J_1 = \frac{I_1}{S_{1C}} = \frac{23,51}{8,745} = 2,69 \text{ A/mm}^2$$

+ Thiết diện dây quấn thứ cấp máy biến áp:

$$S_2 = \frac{I_2}{J_2} = \frac{24,08}{2,75} = 8,76 \text{ mm}^2$$

Chọn dây dẫn hình chữ nhật, chuẩn hoá theo kích thước dây tiêu chuẩn.

Thiết diện chuẩn hoá chưa có cách điện:

$$S_{2C} = 8,745 \text{ mm}^2$$

Thiết diện dây có cách điện:

$$S_2 = 8,00.1,12 = 8,96 \text{ mm}^2$$

+ Mật độ dòng điện trong dây quấn thứ cấp:

$$J_2 = \frac{I_2}{S_{2C}} = \frac{24,08}{8,745} = 2,75 \text{ A/mm}^2$$

### 2.7.3. Kết cấu dây quấn sơ cấp:

Chọn kết cấu dây quấn đồng tâm, bố trí đều dọc theo trụ.

+ Số vòng dây trên một lớp dây quấn:

$$w_{11} = \frac{h - 2.h_g}{b_1} . k_C$$

trong công thức trên:

$h$  : chiều cao trụ

$h_g$  : khoảng cách từ gông đến cuộn sơ cấp,  $h_g = 1,5$  cm

$k_C$  : hệ số ép chặt.

thay số ta có:

$$w_{11} = \frac{18 - 2.1,5}{0,8} \cdot 0,95 = 18,75 \text{ vòng}$$

Lấy  $w_{11} = 18$  vòng.

Số lớp của cuộn dây sơ cấp:

$$n_{11} = \frac{w_1}{w_{11}} = \frac{445}{18} = 24,7 \text{ lớp}$$

Chọn kết cấu của cuộn sơ cấp gồm 25 lớp, trong đó 24 lớp đầu, mỗi lớp có 18 vòng, lớp thứ 25 có 13 vòng.

+ Chiều cao thực tế của cuộn dây sơ cấp:

$$h_1 = \frac{w_{11} \cdot b_1}{0,95} = \frac{18 \cdot 0,8}{0,95} = 15,16 \text{ cm}$$

+ Chọn ống quấn dây cách điện giữa cuộn sơ cấp và lõi thép có bề dày là:

$$S_{01} = 0,1 \text{ cm}$$

+ Khoảng cách từ trụ tới cuộn dây sơ cấp:  $a_{01} = 1,0$  cm

+ Đường kính trong của ống cách điện:

$$\begin{aligned} D_1 &= d + 2 \cdot a_{01} - 2 \cdot S_{01} = \\ &= 7 + 2 \cdot 1,0 - 2 \cdot 0,1 = 8,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

+ Đường kính trong của cuộn dây sơ cấp:

$$\begin{aligned} D_{t1} &= D_1 + 2 \cdot S_{01} = \\ &= 8,8 + 2 \cdot 0,2 = 9 \text{ cm} \end{aligned}$$

+ Chọn bề dày giữa hai lớp của cuộn dây sơ cấp là:  $cd_1 = 0,1$  mm

+ Bề dày cuộn dây sơ cấp:

$$\begin{aligned} B_{d1} &= (a_1 + cd_1) \cdot n_{11} = \\ &= (1,12 + 0,1) \cdot 25 = 30,5 \text{ mm} = 3,05 \text{ cm} \end{aligned}$$

+ Đường kính ngoài của cuộn dây sơ cấp:

$$\begin{aligned} D_{n1} &= D_{t1} + 2 \cdot B_{d1} = \\ &= 9 + 2 \cdot 3,05 = 15,1 \text{ cm} \end{aligned}$$

+ Đường kính trung bình của cuộn dây sơ cấp:

$$D_{tb1} = \frac{D_{t1} + D_{n1}}{2} = \frac{9 + 15,1}{2} =$$

$$= 12,05 \text{ cm}$$

+ Chiều dài của dây quấn sơ cấp:

$$l_1 = w_1 \cdot \pi \cdot D_{tb1} = 445 \cdot 3,14 \cdot 12,05 = \\ = 16846 \text{ cm} = 168,46 \text{ m}$$

+ Chọn bề dày cách điện cuộn dây sơ cấp và thứ cấp là:  $cd_{01} = 1,0 \text{ cm}$

#### 2.7.4. Kết cấu cuộn dây thứ cấp:

+ Do cuộn dây thứ cấp và cuộn dây sơ cấp giống nhau nên kết cấu của cuộn dây thứ cấp giống như cuộn dây sơ cấp, chỉ khác là lớp ngoài cùng của cuộn dây thứ cấp chỉ có 3 vòng. Do cấp cách điện của cả hai cuộn dây chọn như nhau nên tất cả các thông số ta giữ nguyên: chiều dày, chiều cao...

+ Đường kính trong của cuộn dây thứ cấp:

$$D_{t2} = D_{n1} + 2 \cdot cd_{01} = \\ = 15,1 + 2 \cdot 1 = 17,1 \text{ cm}$$

+ Đường kính ngoài của cuộn dây thứ cấp:

$$D_{n2} = D_{t1} + 2 \cdot B_{d2} = D_{t2} + 2 \cdot B_{d1} = 17,1 + 3,05 = 20,15 \text{ cm}$$

+ Đường kính trung bình của cuộn dây thứ cấp:

$$D_{tb2} = \frac{D_{t2} + D_{n2}}{2} = \frac{17,10 + 20,15}{2} = \\ = 18,63 \text{ cm}$$

+ Chiều dài của cuộn dây thứ cấp:

$$l_2 = w_2 \cdot \pi \cdot D_{tb2} = 435 \cdot 3,14 \cdot 18,63 = \\ = 22726,43 \text{ cm} = 227,26 \text{ m}$$

+ Đường kính trung bình của cả hai cuộn dây:

$$D_{12} = \frac{D_{t1} + D_{n2}}{2} = \frac{9 + 20,15}{2} = 14,58 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow a_{12} = D_{12}/2 = 14,58/2 = 7,29 \text{ cm}$$

+ Chọn khảm cách cuộn dây hai trụ kế tiếp  $a_{22} = 2 \text{ cm}$

#### 2.7.5. Tính toán kích thước mạch từ:

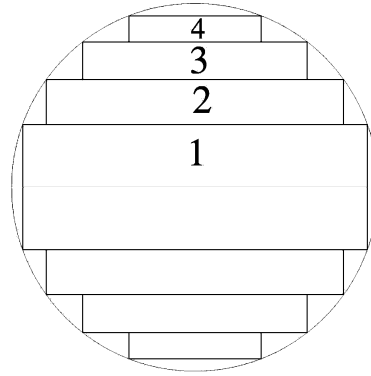
+ Với đường kính trụ là  $d = 80 \text{ mm}$  ta có trụ 4 bậc.

+ Thiết diện của trụ bậc thang:

$$Q_{bt} = 2 \cdot (5 \cdot 40 + 6 \cdot 55 + 9 \cdot 65 + 14 \cdot 75) = \\ = 4330 \text{ mm}^2 = 43,30 \text{ cm}^2$$

+ Thiết diện hiệu quả của trụ máy biến áp:

$$Q_T = k_{hq} \cdot Q_{bt} = 0,95 \cdot 43,30 = 41,14 \text{ cm}^2$$



Hình 3.17 : Hình dáng cắt ngang trụ máy biến áp

+ Tổng chiều dày các bậc thang của trụ:

$$d_1 = 2.(5 + 6 + 9 + 14) = 68 \text{ mm} = 6,8 \text{ cm}$$

+ Số các lá thép trong một bậc:

$$\text{- Bậc 1: } n_1 = \frac{16}{0,5} . 2 = 64 \text{ lá}$$

$$\text{- Bậc 2: } n_2 = \frac{9}{0,5} . 2 = 36 \text{ lá}$$

$$\text{- Bậc 3 : } n_3 = \frac{6}{0,5} . 2 = 24 \text{ lá}$$

$$\text{- Bậc 4 : } n_4 = \frac{5}{0,5} . 2 = 20 \text{ lá.}$$

+ Chế tạo gông từ có kích thước bằng chiều rộng của trụ:

$$\text{Chiều dày gông: } b = d = 6,8 \text{ cm}$$

Chiều cao của gông bằng chiều cao của lá thép ngoài cùng của trụ máy biến áp:  $a = 7,5 \text{ cm}$

+ Thiết diện của gông:

$$Q_{g1} = a.b = 7,5.6,8 = 51 \text{ cm}^2$$

+ Thiết diện hiệu quả của gông:

$$Q_g = k_{hq}.Q_{g1} = 0,95.51 = 48,45 \text{ cm}^2$$

+ Số lá thép trong một gông:

$$n_g = b/0,5 = 68/0,5 = 136 \text{ lá.}$$

+ Tính chính xác nật độ từ cảm trong trụ:

$$B_T = \frac{U_1}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot Q_T} = \frac{380}{4,44 \cdot 50 \cdot 445 \cdot 41,14 \cdot 10^{-4}} = 0,94 \text{ T}$$

+ Mật độ từ cảm trong gông:

$$B_g = B_T \cdot \frac{Q_T}{Q_g} = 0,94 \cdot \frac{41,14}{48,45} = 0,80 \text{ T}$$

+ Chiều rộng cửa sổ của lõi thép:

$$c = 2 \cdot (a_{01} + B_{d1} + a_{12} + B_{d2}) = 2 \cdot (1 + 3,05 + 1 + 3,05) = 16,2 \text{ cm}$$

+ Khoảng cách giữa tâm của hai trụ:

$$c' = c + d = 16,2 + 8 = 24,2 \text{ cm}$$

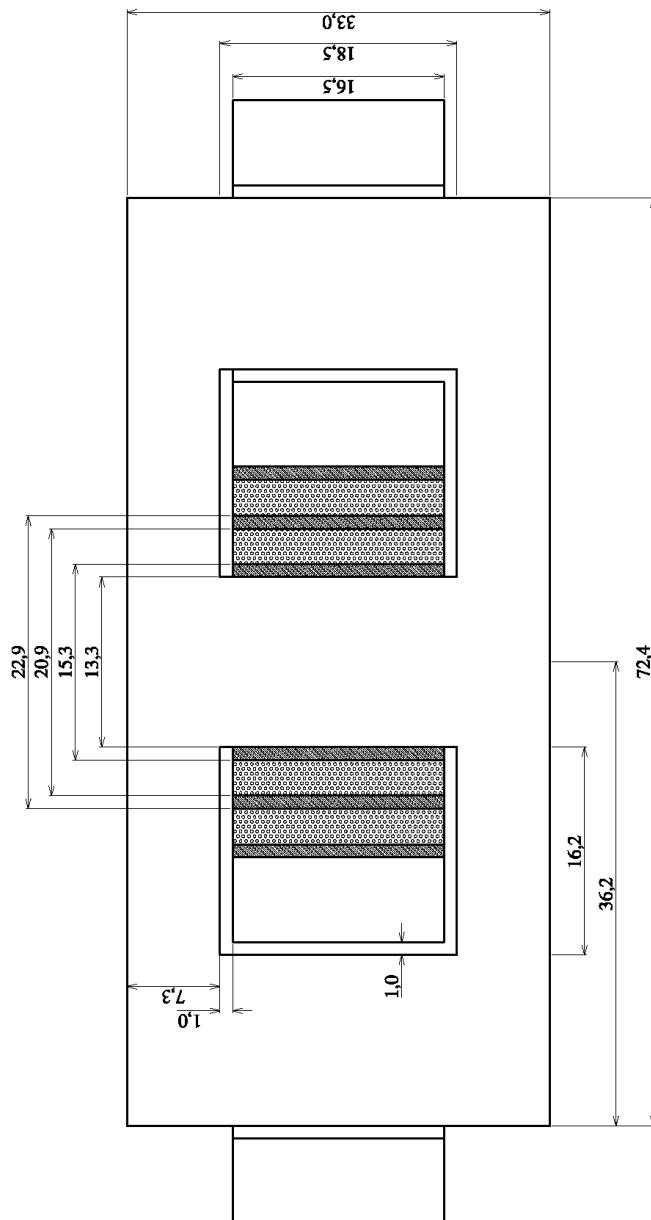
+ Chiều rộng mạch từ:

$$L = 2 \cdot c + 3 \cdot d = 2 \cdot 24,2 + 3 \cdot 8 = 72,4 \text{ cm}$$

+ Chiều cao của mạch từ:

$$H = h + 2 \cdot a = 18 + 2 \cdot 7,5 = 33 \text{ cm}$$





Hình 3.18:  
Kết cấu máy biến áp chỉnh lưu

### 2.7.6. Tính khối lượng sắt và đồng

+ Thể tích của trụ máy biến áp:

$$V_T = 3 \cdot Q_T \cdot h = 3 \cdot 41,14 \cdot 18 = 2221,56 \text{ cm}^3 \\ = 2,222 \text{ dm}^3$$

+ Thể tích của gông:

$$V_g = 2 \cdot Q_g \cdot L = 2 \cdot 48,45 \cdot 40,2 = 3895,38 \text{ cm}^3 \\ = 3,896 \text{ dm}^3$$

+ Khối lượng của trụ:

$$M_T = V_T \cdot m_{Fe} = 2,222 \cdot 7,85 = 14,45 \text{ kg}$$

+ Khối lượng của gông:

$$M_g = V_g \cdot m_{Fe} = 3,896.7,85 = 30,58 \text{ kg}$$

+ Trọng lượng của sắt trong máy biến áp:

$$M_{Fe} = M_T + M_g = 14,45 + 30,58 = 45,03 \text{ kg}$$

+ Thể tích đồng trong máy biến áp:

$$\begin{aligned} V_{Cu} &= 3 \cdot (S_1 \cdot L_1 + S_2 \cdot L_2) = \\ &= 3 \cdot (8,745 \cdot 10^{-4} \cdot 168,46 \cdot 10 + 8,745 \cdot 10^{-4} \cdot 227,26 \cdot 10) = \\ &= 10,38 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

+ Khối lượng đồng trong máy biến áp:

$$M_{Cu} = 10,38 \cdot 8,9 = 72,38 \text{ kg}$$

### 2.7.7. Tính các thông số của máy biến áp:

+ Điện trở của dây quấn sơ cấp ở 75°C:

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{S_1} = 0,02133 \cdot \frac{168,46}{8,745} = 0,149 \Omega$$

trong đó điện trở suất của đồng ở 75°C là;  $\rho = 0,02133 \Omega \cdot \text{m/mm}^2$ .

+ Điện trở dây quấn thứ cấp máy biến áp:

$$R_2 = \rho \frac{l_2}{S_2} = 0,02133 \cdot \frac{227,26}{8,745} = 0,0504 \Omega$$

+ Điện trở dây quấn máy biến áp qui đổi về thứ cấp:

$$\begin{aligned} R_{BA} &= R_1 \cdot \left( \frac{w_2}{w_1} \right)^2 + R_2 = 0,411 \cdot \left( \frac{435}{445} \right)^2 + 0,55 = \\ &= 0,088 \Omega \end{aligned}$$

+ Sụt áp trên điện trở dây quấn máy biến áp:

$$\Delta U_r = R_{BA} \cdot I_d = 0,228 \cdot 29,5 = 6,75 \text{ V}$$

+ Điện kháng máy biến áp qui đổi về thứ cấp:

$$X_{BA} = 8 \cdot \pi^2 \cdot (w_2)^2 \cdot \left( \frac{r_{12}}{h_{qd}} \right) \cdot \left( a_{12} + \frac{B_{d1} + b_{d2}}{3} \right) \cdot \omega \cdot 10^{-7} = 0,173 \Omega$$

+ Sụt áp trên điện kháng máy biến áp:

$$\Delta U_x = \frac{3}{\pi} X_{BA} \cdot I_d = \frac{3}{\pi} \cdot 0,861 \cdot 29,5 = 11,06 \text{ V}$$

+ Sụt áp trên máy biến áp:

$$\begin{aligned} \Delta U_{BA} &= \sqrt{\Delta U_r^2 + \Delta U_x^2} = \\ &= 12,95 \text{ V} \end{aligned}$$

+ Điện áp ngắn mạch tác dụng:

$$U_{nr} = R_{BA} \cdot I_d = 2,98 \%$$

+Điện cảm máy biến áp qui đổi về thứ cấp

$$L_{BA} = \frac{X_{BA}}{\omega} = \frac{0,176}{314} = 0,00056 \text{ (H)} = 0,56 \text{ (mH)}$$

+ Sụt áp trên điện kháng máy biến áp

$$\Delta U_x = \frac{3}{\pi} X_{BA} \cdot I_d = 13,35 \text{ (V)}$$

$$R_{dt} = \frac{3}{\pi} \cdot X_{BA} = 0,168 \text{ (\Omega)}$$

+Điện áp ngắn mạch phản kháng

$$U_{nx} = \frac{X_{BA} \cdot I_2}{U_2} \cdot 100 = \frac{64,84 \cdot 0,176}{185,45} \cdot 100 = 6,15 \%$$

+Điện áp ngắn mạch phần trăm

$$U_n = \sqrt{U_{nr}^2 + U_{nx}^2} = \sqrt{2,97^2 + 6,15^2} = 6,83 \text{ (V)}$$

+ Dòng điện ngắn mạch xác lập

$$I_{2nm} = \frac{U_2}{Z_{BA}} = \frac{370,94}{0,187} = 1983,62 \text{ A}$$

+Hiệu suất thiết bị chỉnh lưu .

$$\eta = \frac{U_d \cdot I_d}{S} = \frac{5000}{6176,44} \cdot 100\% = 80,95 \%$$

## CHƯƠNG 4

## THIẾT KẾ MẠCH ĐIỀU KHIỂN VÀ MẠCH PHẢN HỒI

### MÔ PHỎNG MẠCH NGHỊCH LƯU BẰNG PESIM

## A. GIỚI THIỆU VỀ PHẦN MỀM PESIM

#### Những nét cơ bản về phần mềm PESIM

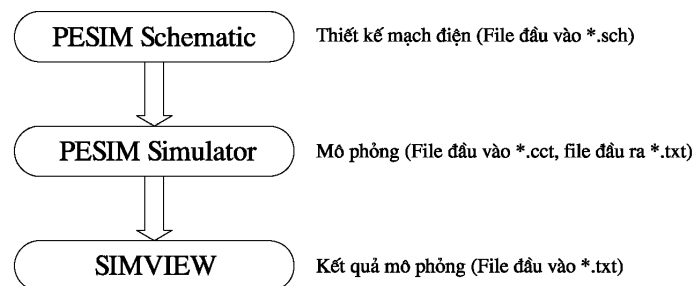
PESIM là viết tắt của: Power Electronics Simulation

Phần mềm mô phỏng điện tử công suất PESIM của hãng Lab-Volt là một công cụ mạnh cho nghiên cứu và học tập về điện tử công suất.

Trong phần mềm PESIM gồm có ba phần:

- + Chương trình thiết kế mạch: Schematic
- + Chương trình mô phỏng: Simulator
- + Chương trình phân tích: ViewSim

Quá trình mô phỏng trên PESIM được tiến hành theo ba bước như trên giản đồ sau:



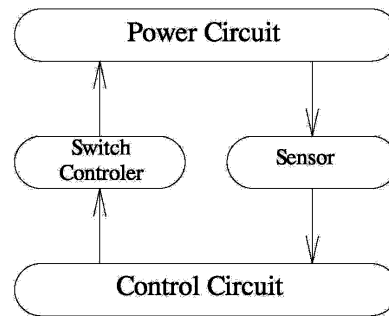
Hình 4.1: Sơ đồ khối quá trình mô phỏng trên PESIM

Một mạch điện thông thường gồm có các phần sau tương đương với bốn khối:

- + Khối mạch động lực (Power circuit)
- + Khối mạch điều khiển (Control circuit)
- + Khối hệ cảm biến (Sensor)
- + Khối điều khiển chuyển mạch (Switch controller)

Mạch động lực là các van bán dẫn công suất, các phần tử RLC công suất, các máy biến áp điện lực, cuộn kháng san bằng. Mạch điều khiển bao gồm các phần tử được thể hiện theo sơ đồ khối, bao gồm các phần tử tuyến tính, phi tuyến, các mạch logic... Các mạch cảm biến sẽ đo thông số của mạch lực để

cung cấp cho mạch điều khiển. Mạch điều khiển thông qua khối điều khiển chuyển mạch sẽ cấp tín hiệu điều khiển chuyển mạch của các van bán dẫn của mạch động lực.

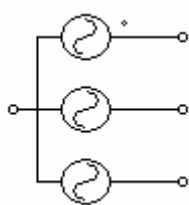


Hình 4.2: Sơ đồ khối mạch điện trên PESIM

### Các linh kiện sử dụng cho việc mô phỏng mạch nghịch lưu PWM

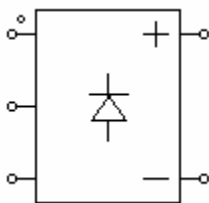
#### Các phần tử mạch lực

+ Nguồn điện ba pha:



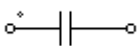
Nguồn ba pha hình sin được lấy trong thư viện nguồn cung cấp của PESIM. Các thông số đặt cho nguồn ba là điện áp dây, tần số điện áp và pha ban đầu của hệ thống điện áp ba pha.

+ Chỉnh lưu diode:



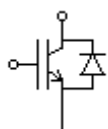
Chỉnh lưu cầu diode ba pha được lấy từ thư viện các phần tử chuyển mạch. Thông số đặt cho chỉnh lưu là điện áp rơi trên diode.

+ Tụ lọc nguồn điện một chiều:



Tụ điện được lấy từ thư viện RLC. Thông số đặt cho tụ điện là điện dung. Điện dung của tụ điện được đặt với hai phần: phần số và phần chữ. Phần chữ thể hiện ước của Fara: p/picoFara, u/microFara, m/miliFara...

+ Phần tử chuyển mạch:



Phần tử chuyển mạch là các van bán dẫn, trong mạch ta sử dụng IGBT làm phần tử chuyển mạch. IGBT được lấy từ thư viện phần tử đóng cắt.

Thông số đặt cho phần tử này là điện áp rơi trên IGBT khi dẫn thông và điện áp rơi trên diode ngược khi dẫn thông.

+ Cuộn kháng lọc:



Cuộn kháng được lấy trong thư viện RLC của PESIM. Thông số đặt cho cuộn kháng là điện cảm của cuộn kháng. Thông số đặt gồm có hai phần: phần số và phần chữ. Phần số là giá trị của điện cảm, phần chữ là đơn vị của giá trị đó. Phần chữ thể hiện các ước của Henri: p/picoHenri, u/microHenri, m/miliHenri....

+ Tụ lọc: Tương tự như tụ lọc điện một chiều.

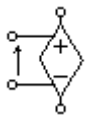
+ Tải của bộ nghịch lưu:



Tải của bộ nghịch lưu là tải điện trở. Điện trở được lấy trong thư viện RLC. Thông số đặt cho điện trở là giá trị của điện trở. Thông số đặt cho điện trở cũng gồm có hai phần: phần số và phần chữ. Phần chữ thể hiện các bội và ước của Ohm: M/MegaOhm, k/kiloOhm, m/miliOhm...

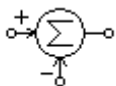
*Các phần tử mạch điều khiển*

+ Bộ biến đổi dòng áp:



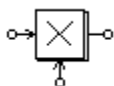
Bộ biến đổi dòng áp biến tín hiệu dòng thành tín hiệu áp. Bộ biến đổi được lấy từ thư viện nguồn áp. Thông số đặt cho bộ biến đổi dòng áp là hệ số khuếch đại. thông thường ta đặt bằng 1.

+ Phần tử cộng:



Phần tử cộng sẽ tiến hành phép toán cộng hai đầu vào về giá trị điện áp mà không quan tâm đến dạng tín hiệu đầu vào là số hay tương tự.

+ Phần tử nhân:



Phần tử nhân sẽ tiến hành nhân hai tín hiệu đầu vào về giá trị điện áp mà không quan tâm đến dạng tín hiệu đầu vào là số hay tương tự.

+ Nguồn điện áp một chiều:



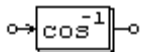
Nguồn điện một chiều được lấy trong thư viện nguồn điện của PESIM. Thông số đặt cho nguồn điện một chiều là điện áp và thời gian xuất hiện điện áp Time start. Thông thường ta đặt thời gian là 0.



+ Nguồn điện xoay chiều một pha:

Nguồn điện xoay chiều một pha được lấy trong thư viện nguồn điện của PESIM. Thông số đặt cho nguồn điện xoay chiều một pha là biên độ điện áp, tần số, điện áp trôi một chiều DC offset và thời gian xuất hiện của điện áp xoay chiều Time start. Thông thường ta đặt Time start = 0.

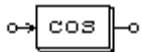
+ Hàm arcos:



Hàm arccos được lấy từ thư viện các phân tử điều khiển của PESIM.

Thông số quan trọng của hàm này là điện áp đầu vào, thông số này có giá trị biên độ điện áp không vượt quá điện áp 1V. Khi đặt điện áp đầu vào là một hàm cos, chẳng hạn  $1\cos(\omega t)$ , thì giá trị đầu ra là  $\omega t$ .

+ Hàm cos:

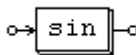


Hàm cos được lấy trong thư viện của PESIM. Hàm cos có nhiệm vụ

cosin giá trị góc. Đặc điểm quan trọng của hàm cos là giá trị đầu ra là cosin của một góc nên biên độ của điện áp ra có giá trị bằng 1.

Muốn tăng biên độ đầu ra ta phải dùng thêm bộ khuếch đại.

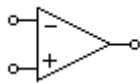
+ Hàm sin:



Hàm sin có nhiệm vụ lấy sin giá trị góc. Đặc điểm của hàm sin

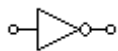
tương tự như hàm cos

+ Bộ khuếch đại thuật toán:



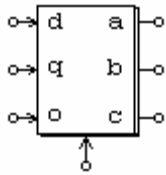
Bộ khuếch đại thuật toán có tác dụng như bộ khuếch đại thuật toán thông thường. Đặc điểm quan trọng của bộ khuếch đại thuật toán là điện áp nuôi. Điện áp nuôi có thể là điện áp đối xứng hoặc không đối xứng.

+ Bộ đảo:



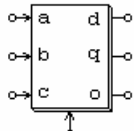
Tác dụng của bộ đảo như một bộ đảo thông thường. Đặc điểm quan trọng cần chú ý là điện áp ra của bộ đảo chỉ có một trong hai giá trị là 0V và 1V. Muốn sử dụng điện áp cao hơn phải có thêm bộ khuếch đại điện áp.

+ Bộ chuyển đổi 2/3:



Bộ biến đổi này biến đổi tọa độ hai thông số sang tọa độ ba thông số. Chú ý quan trọng khi dùng bộ này là đây không phải là bộ biến đổi dq/abc mà là bộ biến đổi  $\alpha\beta / abc$ . Muốn có bộ biến đổi dq/abc ta phải có thêm bộ chuyển đổi dq/ $\alpha\beta$ .

+ Bộ chuyển đổi 3/2:



Tác dụng ngược lại với bộ biến đổi 3/2 và cũng không phải là bộ biến đổi abc/dq. Muốn có bộ biến đổi abc/dq ta phải có thêm mạch biến đổi  $abc / \alpha\beta$

+ Máy biến dòng điện:



Thông số đặt cho máy biến dòng điện là hệ số khuếch đại. Ta đặt hệ số khuếch đại của máy biến dòng điện bằng 1.

+ Phân tử đóng mở:



Phân tử này có nhiệm vụ điều khiển quá trình chuyển mạch của van bán dẫn khi có tín hiệu kích mở.

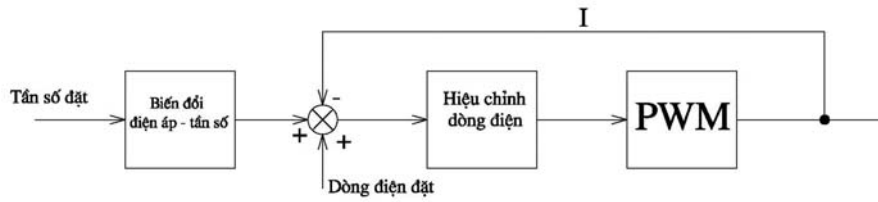
## B. THIẾT KẾ MẠCH ĐIỀU KHIỂN VÀ MẠCH PHẢN HỒI

### 4.1. Những vấn đề chung về mạch điều khiển và mạch phản hồi

Mạch điều khiển và mạch phản hồi là một phần vô cùng quan trọng trong bất cứ một hệ thống điều khiển nào. Mạch điều khiển có chức năng điều khiển các phân tử của mạch lực, còn mạch phản hồi có chức năng điều chỉnh tạo ra tín hiệu điều khiển phù hợp với yêu cầu được xác định trước.

Trong bộ nghịch lưu thiết kế thì mạch điều khiển có chức năng là đóng mở các IGBT để tạo điện áp đầu ra mong muốn. Còn mạch phản hồi có chức năng kiểm soát đầu ra theo một qui luật đặt trước. Mạch phản hồi tạo ra cho hệ thống điều khiển một hệ điều khiển kín, khi điều khiển theo hệ kín thì độ chính xác cũng như độ ổn định cao hơn khi điều khiển theo hệ hở không có mạch phản hồi. Mạch phản của bộ nghịch lưu đó là phản hồi dòng điện. Phản hồi dòng điện có tác dụng kiểm soát dòng điện ra của bộ nghịch lưu luôn ở trong một phạm vi cho phép hoặc biến đổi theo qui luật đặt trước. Sơ đồ khối của bộ điều chỉnh dòng điện và tần số như hình vẽ (hình 4.1).





Hình 4.3 : Sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển

Tín hiệu đặt thông thường là tín hiệu một chiều, còn tín hiệu điều khiển bộ nghịch lưu là tín hiệu xoay chiều, do vậy phải có bộ chuyển đổi từ tín hiệu đặt một chiều thành tín hiệu đặt xoay chiều cho bộ nghịch lưu. Trng mạch ta có hai thành phần đặt đó là: dòng điện và tần số. Vì vậy ta sẽ lần lượt phân tích và thiết kế hai thành phần này.

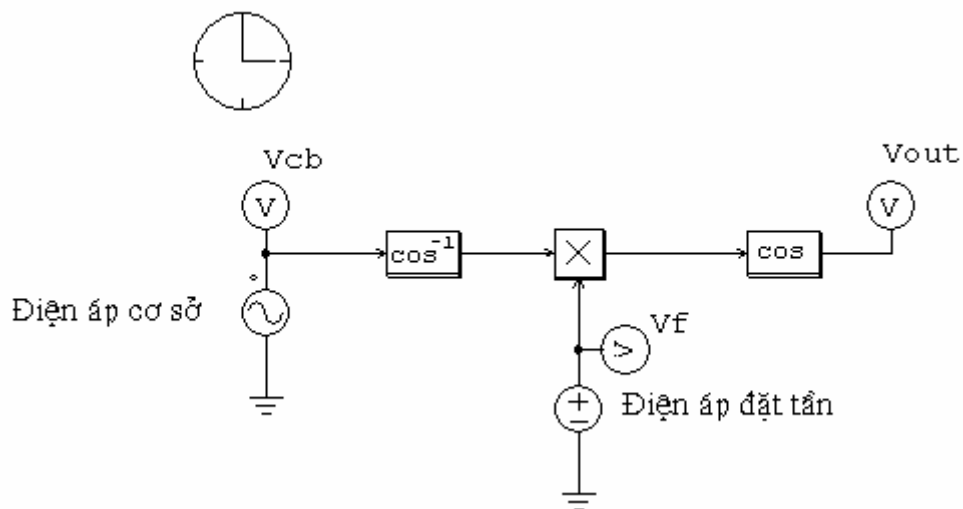
**4.1.1. Mạch đặt tần số**

Tín hiệu đặt tần số là tín hiệu một chiều, để đơn giản ta xét tín hiệu đặt tần là tín hiệu áp, khi tín hiệu là tín hiệu dòng ta có thể quy về tín hiệu áp bằng bộ chuyển đổi nguồn dòng thành nguồn áp.

Cơ sở của đặt tần số:

- + Tín hiệu đặt và tần số ra phải có quan hệ rõ ràng, nếu quan hệ đó là tuyến tính thì tốt nhất.
- + Việc điều chỉnh tần số đơn giản và mức độ nhiễu đầu ra thấp.
- + Ở điện áp đặt tần thì tần số ra phải ổn định và dạng điện áp ra khi đặt tần số phải là hình sin.

Trên cơ sở đó ta có mạch đặt tần số sau:



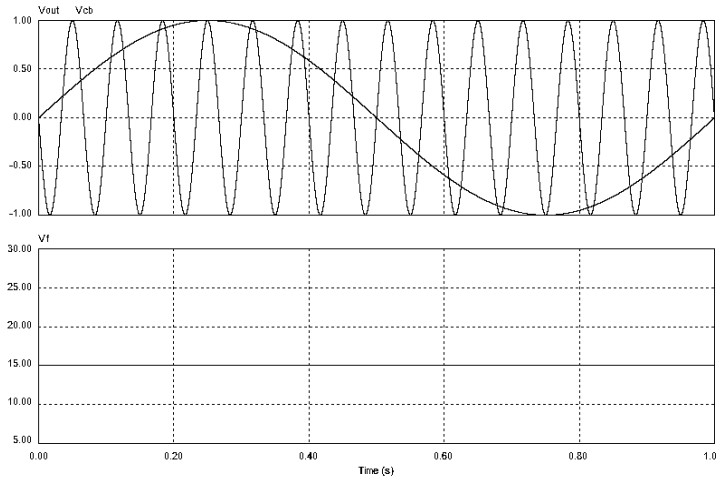
Hình 4.4 : Sơ đồ khối mạch đặt tần số

*Mô tả hoạt động của mạch*

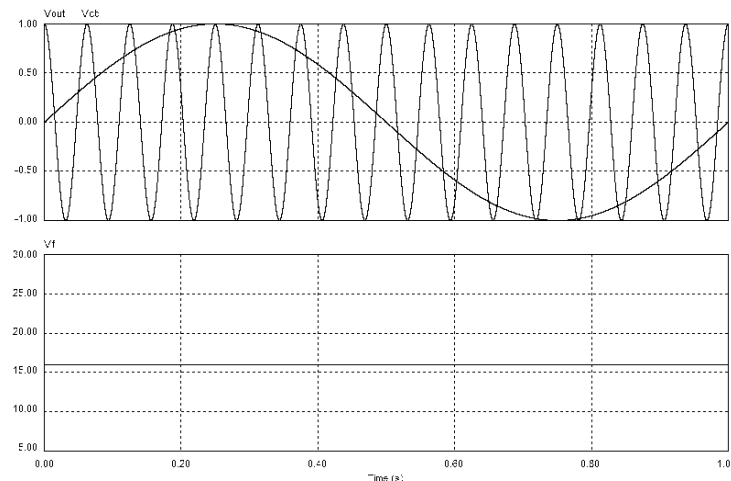
Điện áp cơ sở là một điện áp hình sin có tần số cố định là 1Hz và biên độ là 1V.

$$V_{cb} = 1 \sin(1\pi t) = \cos(1\pi t - \pi/2)$$

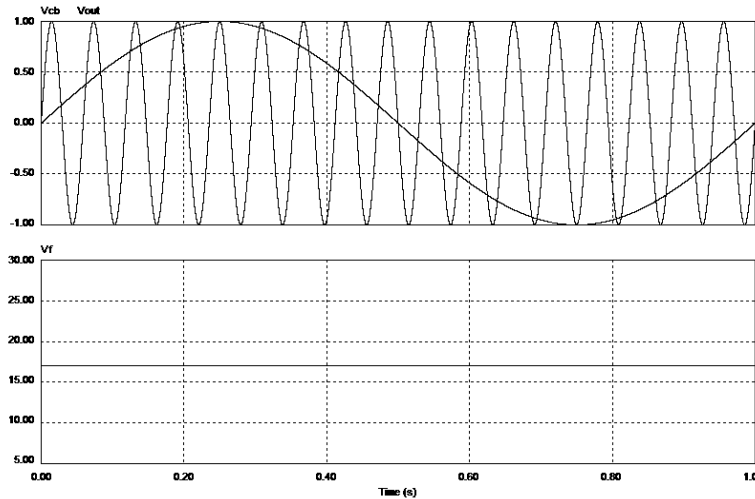
Hàm arccos sẽ biến đổi hàm cos trở về dạng góc  $(1\pi t - \pi/2)$ . Bộ nhân tương tự sẽ nhân giá trị góc này với một giá trị đặt trước của tần số đó là  $V_f$ . Khi ra khỏi bộ nhân góc sẽ có giá trị là  $V_f(1\pi t - \pi/2)$ . Bộ cos sẽ biến đổi giá trị góc thành giá trị hàm cos đầu ra. Hàm cos này sẽ có tần số là  $V_f$  và như vậy ta đã có được tần số ra theo tín hiệu đặt tần số là điện áp một chiều. Có sự biến đổi về góc pha ban đầu của điện áp cơ sở và điện áp đầu ra. Khi pha ban đầu của điện áp cơ sở là  $0^0$  thì điện áp đầu ra có pha ban đầu biến đổi từ 0 đến  $180^0$ . Nguyên nhân của sự biến đổi này là do sự tuần hoàn của hàm cos khi ta lấy cosin góc. Kết quả sau khi chạy mô phỏng bằng PESim cho ra điện áp khi tần số đặt là 17 Hz như sau.



*Khi tần số đặt là 15Hz*



*Khi tần số đặt là 16Hz*

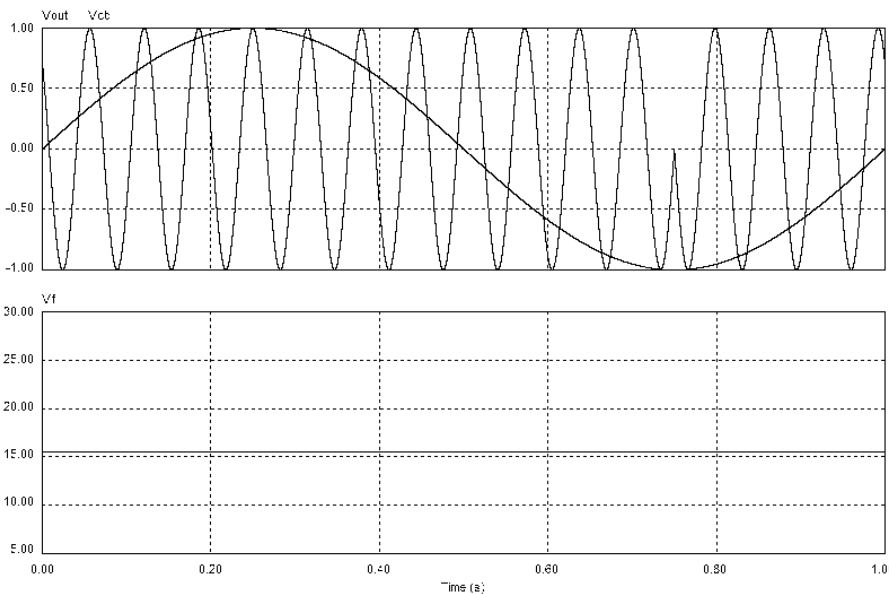


Khi tần số đặt là 17Hz

Hình 4.5 : Quan hệ giữa điện áp cơ sở và điện áp ra khi đặt tần số

Qua mạch trên ta thấy có thể nhận được ở đầu ra một tần số cho trước bằng cách đặt điện áp một chiều. Mặc dù có sự biến đổi về góc pha nhưng điều đó không quan trọng do ta chỉ cần điện áp sin với tần số mong muốn.

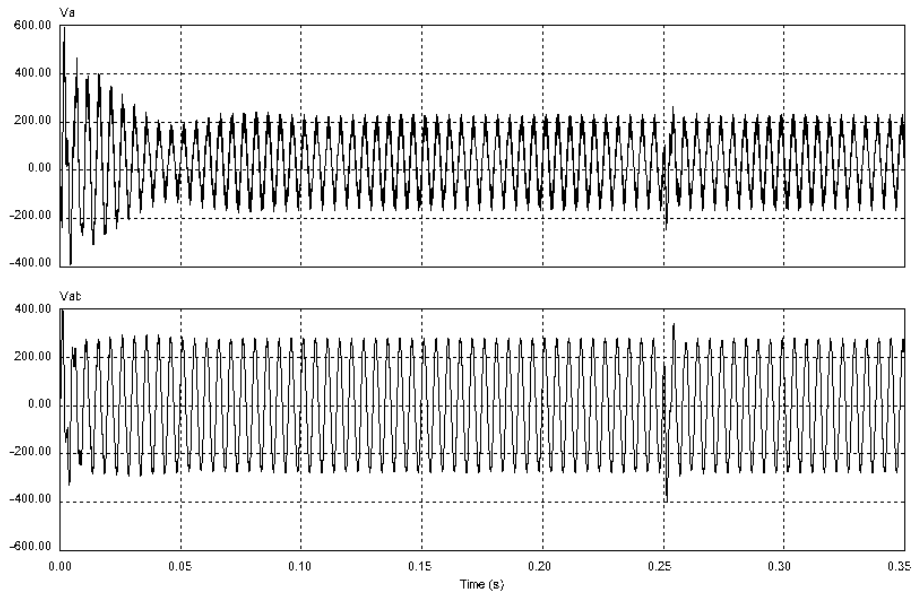
Khi tần số đặt không phải là một số nguyên thì ta gặp phải vấn đề là sự không sin của điện áp đầu ra.



Hình 4.6 : Quan hệ điện áp cơ sở và điện áp ra khi tần số đặt là 15,5Hz

Trên hình vẽ ta thấy có một điểm gây ra sự đảo pha về điện áp đầu ra đó là điện áp đặt có giá trị cực tiểu. Khi đảo pha như vậy sẽ gây ra đảo pha toàn bộ điện áp ra của bộ nghịch lưu. Tuy nhiên điều này sẽ không đáng quan

tâm nếu yêu cầu điều khiển của tải không quá cao. Hình 4.4 mô tả điện áp đầu ra khi có sự không sin hoàn toàn của tín hiệu đặt tần số.



Hình 4.7 : Điện áp pha và điện áp dây khi có sự không sin của áp đặt tần

Ta thấy rằng, trong điện áp dây và điện áp pha có sự biến đổi điện áp tại điểm chuyển giai đoạn của điện áp đặt tần số. Điện áp pha và điện áp dây không phải bao giờ cũng có xung điện áp như hình vẽ trên, do ảnh hưởng của bộ lọc nên nhiều trường hợp điện áp pha và dây có sự giảm về biên độ khi chuyển mạch có thành phần chính nằm trong dải tần số lọc. Quá trình biến đổi điện áp này có thể bỏ qua khi tần số chuyển mạch lớn và yêu cầu điều chỉnh của tải không đòi hỏi quá cao hoặc điều khiển tần số nhảy cấp với bước nhảy cỡ Hz. Khi đòi hỏi của tải cao thì ta có thể thiết kế một mạch kiểm tra điện áp của tần số lọc, khi tần số lọc không phải là số nguyên thì ta có thể có thêm mạch chuyển đổi và dịch pha điện áp đặt của tần số để có điện áp hình sin chuẩn của điện áp đặt tần số. Do khuôn khổ của đồ án, ta sẽ không đề cập vấn đề này ở đây, tất cả các vấn đề được đề cập tiếp theo sẽ dựa trên hai tiêu chí là: **điều khiển tần số là nhảy cấp cỡ Hz hoặc khi điều khiển tần số liên tục thì ta chấp nhận điện áp ra không thoả mãn khi có sự biến đổi điện áp tần số đặt.**

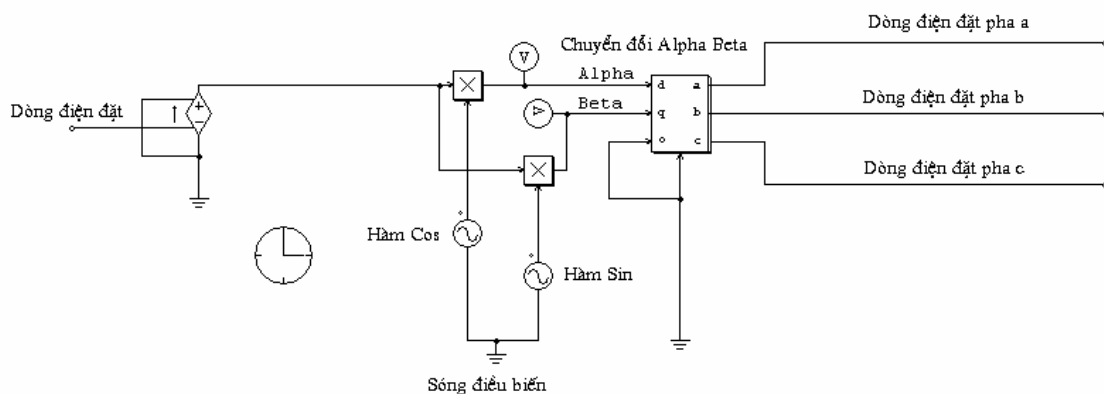
#### 4.1.2. Mạch đặt dòng điện

Cũng như đặt tần số, ta mong muốn tín hiệu đặt dòng điện là tín hiệu một chiều. Điều này có thể đạt được nếu ta sử dụng hệ toạ độ dq/abc rút gọn thông số. Trong hệ toạ độ dq/abc đủ thì thông số dòng điện đặt gồm hai thành phần:

dòng điện theo toạ độ d và dòng điện theo toạ độ q. Do trong mạch ta không quan tâm đến tải nên ta chỉ cần dòng điện đặt theo trục d, hay nói cách khác ta chỉ sử dụng trục d để đặt thông số dòng điện. Khi sử dụng trục d để đặt dòng điện sẽ gây sai số khi điều khiển động cơ điện, tuy nhiên điều này có thể khắc phục được bằng thêm một mạch đặt thông số cho trục q, cũng gần tương tự như trục d.

Quá trình đặt dòng điện được tiến hành bằng tín hiệu dòng điện đặt. Thông thường ta dùng tín hiệu giá trị dòng để đặt dòng điện, tuy nhiên để tạo ra nguồn dòng là phức tạp, do vậy ta dùng tín hiệu áp để đặt dòng điện. Tín hiệu dòng được qui đổi sang tín hiệu áp bằng qui đổi tương ứng 1 - 1. Việc đặt tín hiệu áp có hai thuận lợi chính: thứ nhất là tín hiệu áp dễ điều chỉnh (đơn giản dùng biến trở để điều chỉnh), thứ hai là trong PESIM chỉ cho phép đặt tín hiệu áp lên bộ biến đổi dq/abc, do vậy tín hiệu đặt là tín hiệu áp sẽ rất thuận lợi trong mô phỏng mạch.

Mong muốn của bộ đặt dòng điện là tín hiệu ra của bộ đặt dòng điện phải có một quan hệ rõ ràng với tín hiệu đặt, nếu tuyến tính là tốt nhất. Và một yếu tố quan trọng nữa là tín hiệu đặt là tín hiệu một chiều còn tín hiệu ra là tín hiệu xoay chiều tần số đặt trước, vì vậy phải có sự phối hợp giữa bộ đặt tín hiệu tần số và bộ đặt tín hiệu dòng điện. Trên cơ sở như vậy ta có mạch đặt dòng điện có cấu trúc như hình 4.6.



*Hình 4.8 : Sơ đồ mạch đặt dòng điện*

*Mô tả hoạt động của mạch:*

Tín hiệu dòng điện đặt được qui đổi sang tín hiệu áp, sau đó được qui đổi sang tín hiệu hình sin hai pha bằng cách nhân với tín hiệu sin và cos có tần số

bằng tần số đặt. Tín hiệu sau bộ nhân được đưa vào bộ đặt tín hiệu cho bộ biến đổi  $\alpha\beta/abc$ . Bộ biến đổi này sẽ tạo ra tín hiệu đặt điện áp ba pha.

Bộ biến đổi dòng áp đầu vào có tương ứng 1-1 sẽ cho ta tín hiệu áp có giá trị biên độ tương ứng với tín hiệu dòng điện đặt. Giả sử tín hiệu đặt dòng điện là  $I_d = nA$ , qua bộ biến đổi dòng áp với tương ứng 1-1 sẽ cho ra tín hiệu áp có giá trị là  $U_d = n V$ . Sau khi qua bộ nhân ta có tín hiệu dòng đặt theo hai trục  $\alpha\beta$  của bộ biến đổi  $\alpha\beta/abc$ . Giá trị đặt được tính theo công thức:

$$\begin{cases} U_\alpha = n \cdot \cos(\omega t) \\ U_\beta = n \cdot \sin(\omega t) \end{cases}$$

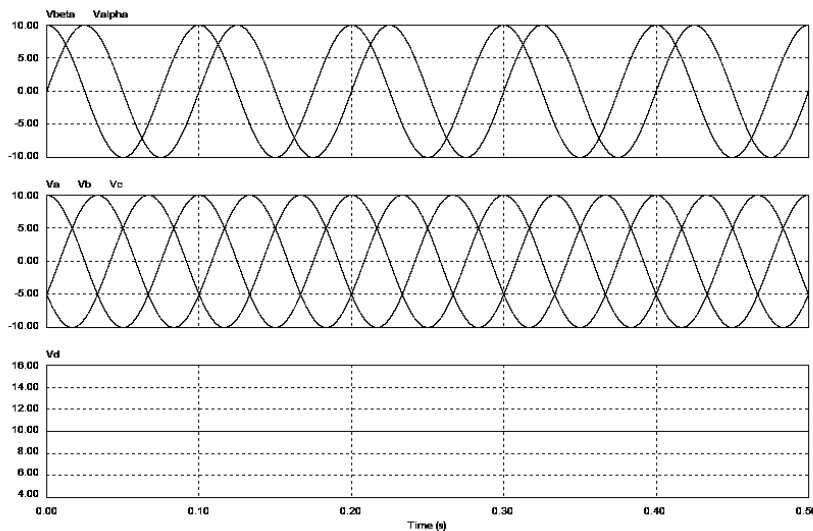
Qua bộ biến đổi ta có tín hiệu đặt áp của ba pha theo giá trị dòng điện đặt:

$$\begin{cases} u_a = n \cdot \sin(\omega t) \\ u_b = n \cdot \sin(\omega t - \pi/3) \\ u_c = n \cdot \sin(\omega t + \pi/3) \end{cases}$$

Tín hiệu đặt điện áp ba pha có đặc điểm sau:

- + Có tần số bằng tần số đặt
- + Có điện áp tương ứng với dòng điện đặt

vì vậy có thể nói rằng: bộ đặt dòng điện thoả mãn yêu cầu đặt ra.

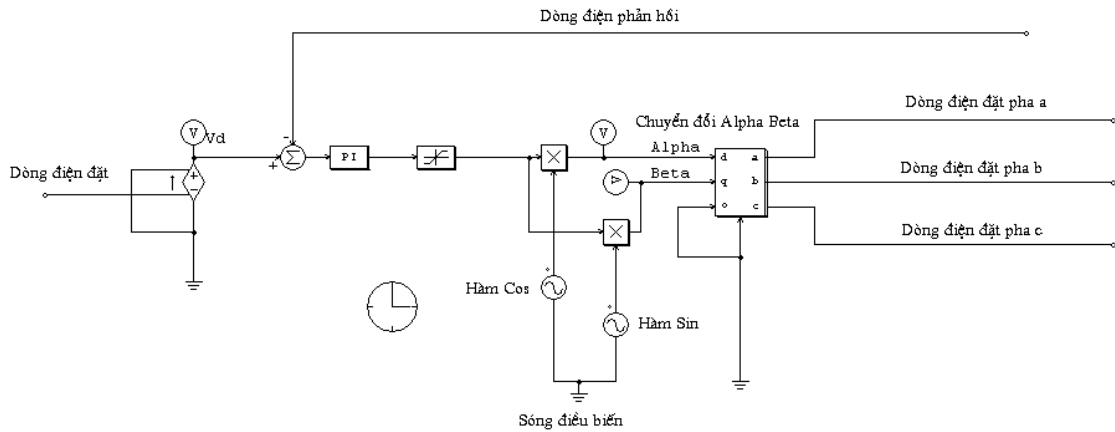


Hình 4.9 : Quan hệ dòng điện đặt một chiều và điện áp đặt ba pha khi đặt dòng 10 A

Từ đồ thị ta thấy quan hệ biên độ điện áp ra với trị số dòng điện đặt là tương ứng 1 - 1.

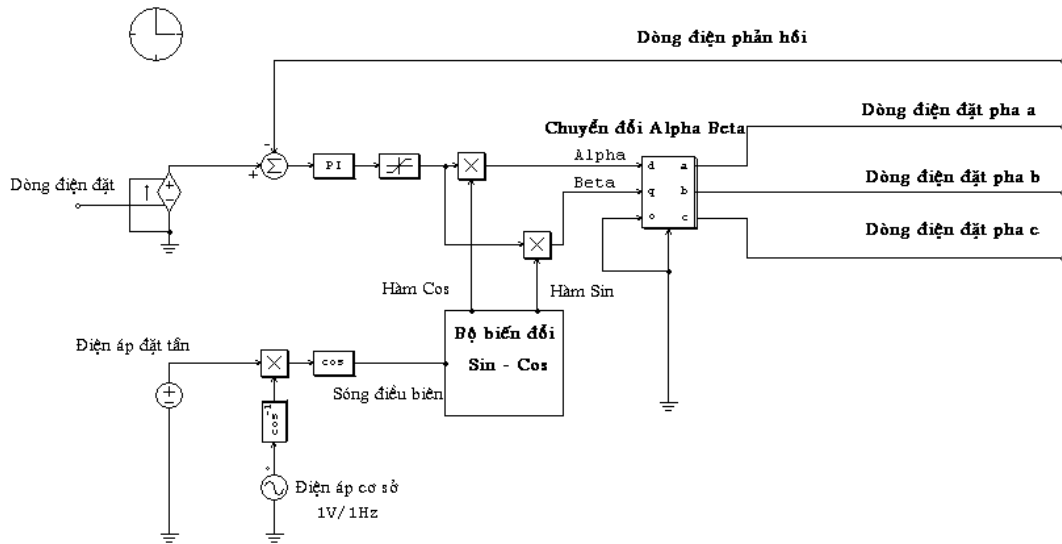
Mạch hồi tiếp dòng điện:

Đối với dòng điện ta sử dụng phản hồi âm, dòng điện phản hồi cùng với dòng điện đặt sau khi qua khâu hiệu chỉnh sẽ tạo ra tín hiệu đặt dòng điện cho bộ nghịch lưu. Sơ đồ bộ đặt dòng điện và phản hồi dòng điện có sơ đồ cấu trúc như hình 4.8.



Hình 4.10 : Sơ đồ cấu trúc bộ đặt và phản hồi dòng điện

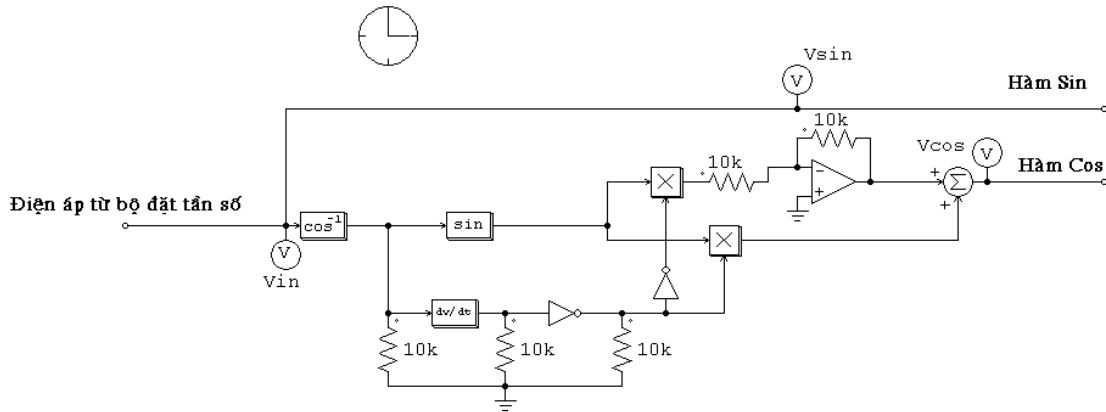
**4.2. Sơ đồ cấu trúc mạch điều chỉnh dòng điện và đặt tần số**



Hình 4.11 : Sơ đồ khối mạch đặt tần số và điều chỉnh dòng điện

Điện áp đặt tần sẽ được tổng hợp với tín hiệu đặt tần số tạo ra tín hiệu đặt cho bộ biến đổi  $\alpha\beta/abc$  để đặt điện áp cho các pha a, b, c theo tín hiệu đặt dòng điện và tần số. Một khâu quan trọng trong bộ điều khiển là **bộ biến đổi Sin - Cos**. Vai trò của bộ này là từ tín hiệu sóng mang hình sin, khi qua bộ này tạo ra

hai tín hiệu là tín hiệu sin và tín hiệu cos có cùng tần số sóng mang và lệch pha nhau  $90^\circ$  để tạo ra tín hiệu đặt cho bộ biến đổi  $\alpha\beta/abc$ . Sơ đồ cấu trúc của bộ biến đổi này có dạng như hình 4.10.



Hình 4.12 : Cấu trúc bộ biến đổi Sin - Cos

Trong bộ biến đổi, tín hiệu vào là tín hiệu sin, nên tín hiệu hàm sin ra không cần biến đổi, hay tín hiệu hàm sin được truyền thẳng không phải biến đổi. Ta chỉ biến đổi tín hiệu sin thành tín hiệu cos nhanh pha đi  $90^\circ$ .

Mô tả hoạt động của bộ biến đổi Sin - Cos

Do tín hiệu sin không được biến đổi nên ta chỉ đi vào phân tích quá trình biến đổi từ hàm sin thành hàm cos trong bộ biến đổi.

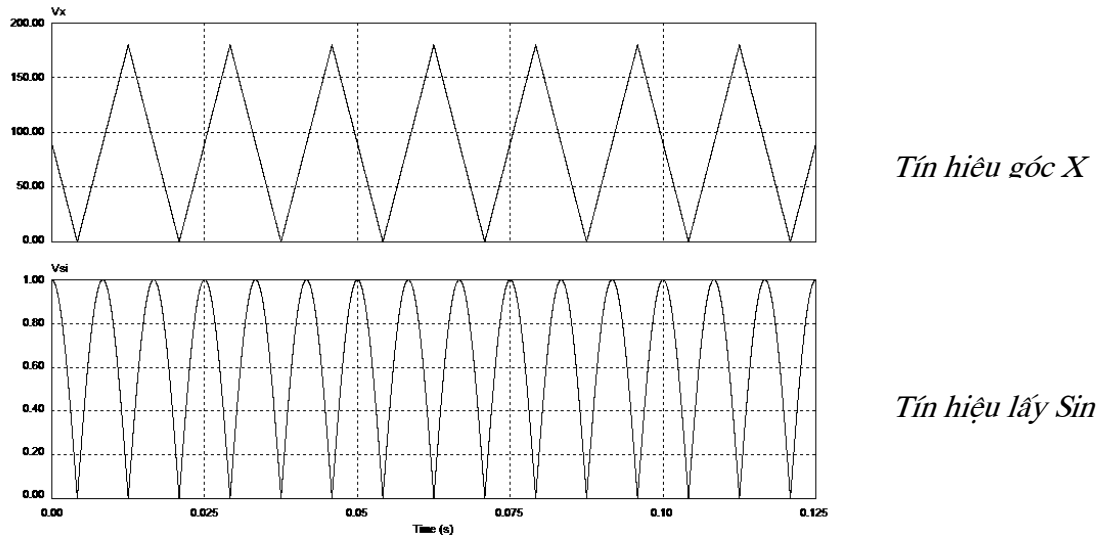
Tín hiệu đi vào bộ biến đổi là tín hiệu sóng điều biên

$$U_{in} = 1.\sin(\omega t)$$

Tín hiệu này qua bộ arccos được biến đổi thành tín hiệu góc  $X = \omega t$

Một đặc điểm quan trọng là nếu đem sin tín hiệu X thì ta sẽ thu được tín hiệu đầu ra là tín hiệu không phải là hàm sin nữa, mà là tín hiệu  $|\cos(\omega t)|$  như hình 4.11.



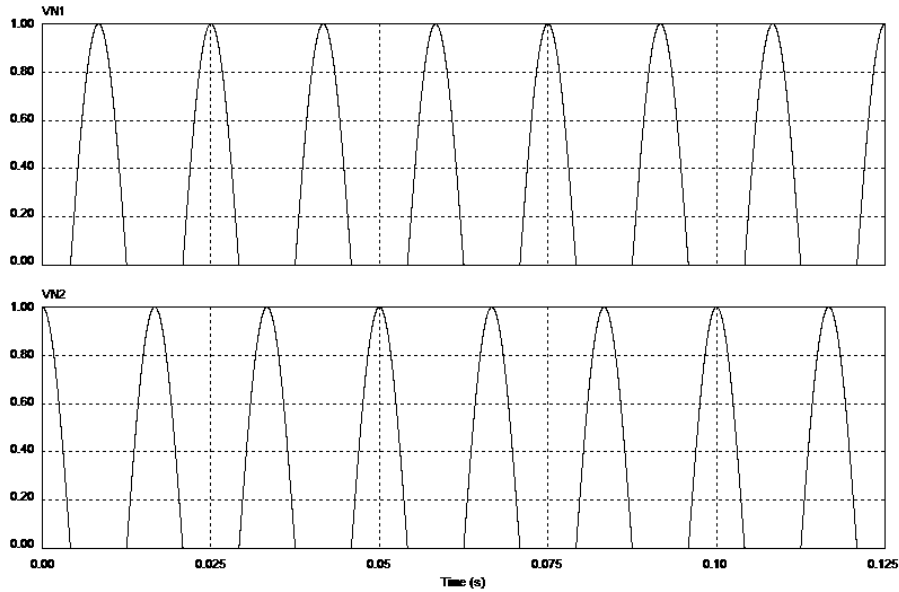


Hình 4.13 : Quan hệ  $X$  và  $\sin(X)$

Vì vậy muốn có tín hiệu  $\cos(\omega t)$  ta phải có thêm bộ biến đổi. Trên hình 4.11 ta thấy muốn có tín hiệu ra là  $\cos(\omega t)$  thì phải đảo một phần tín hiệu. Phần tín hiệu phải đảo là phần tín hiệu khi  $\frac{\partial X}{\partial t} > 0$ . Trước hết ta phải có bộ logic nhận biết được giá trị đạo hàm của góc  $X$  theo thời gian. Trong mạch ta sử dụng bộ đạo hàm của  $X$  theo thời gian mà phần mềm PESIM cung cấp, đó là bộ  $dv/dt$ . Bộ này có hai giá trị logic đầu ra là 0 khi đạo hàm âm và 1 khi đạo hàm dương. Ta sẽ lấy hai giá trị này để nhân với tín hiệu sau bộ sin. Do bộ nhân là tương tự, và nhân với 1 vẫn giữ nguyên giá trị nên ta tiến hành sử dụng bộ nhân hai đầu vào.

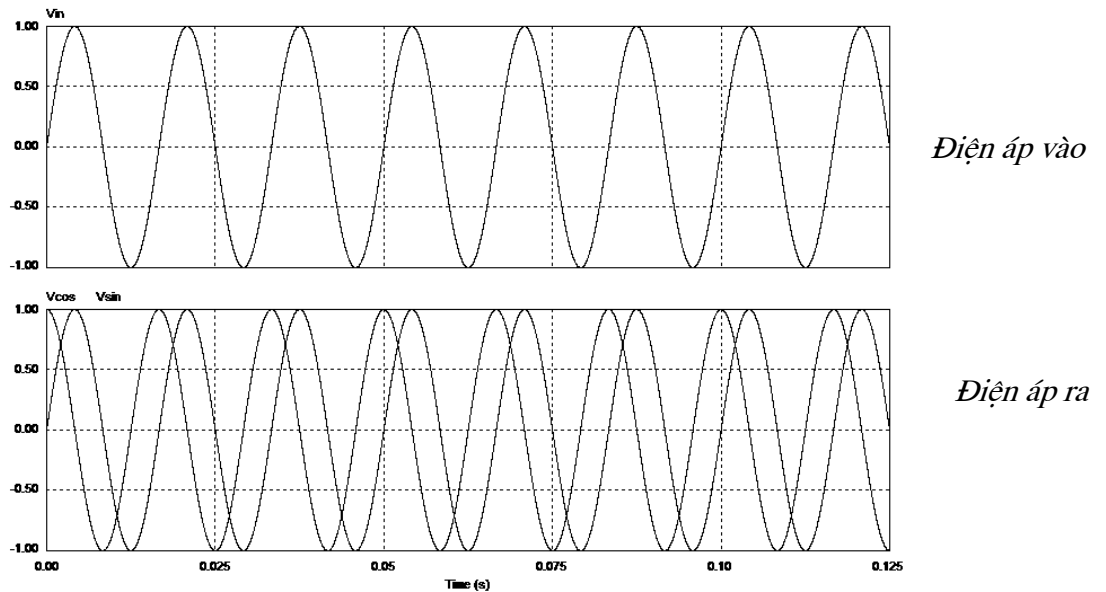
*Quá trình nhân có thể được trình bày ngắn gọn như sau:*

Khi tín hiệu góc  $X$  có giá trị âm, mục đích là phải giữ nguyên sóng điện áp sau bộ sin. Do vậy ta tiến hành đảo đầu ra của bộ đạo hàm và nhân giá trị đó với tín hiệu sau bộ sin. Sau bộ nhân ta có được tín hiệu hàm cos đầu ra khi giá trị hàm lớn hơn 0. Muốn lấy giá trị còn lại ta tiến hành đảo và nhân tiếp tục. Điện áp sau hai bộ nhân có dạng giống nhau và lệch nhau nửa chu kỳ như hình 4.12.



Hình 4.14 : Giá trị điện áp sau hai bộ nhân

Muốn có được điện áp hàm cos ta phải tiến hành đảo điện áp sau bộ nhân 1. Sơ đồ mạch đảo ta dùng bộ khuếch đại đảo với hệ số khuếch đại bằng -1. Điện áp sau bộ khuếch đại được cộng với điện áp sau bộ nhân 2 cho ta điện áp hàm cos. Điện áp của bộ biến đổi Sin - Cos được tổng hợp trong hình 4.13.

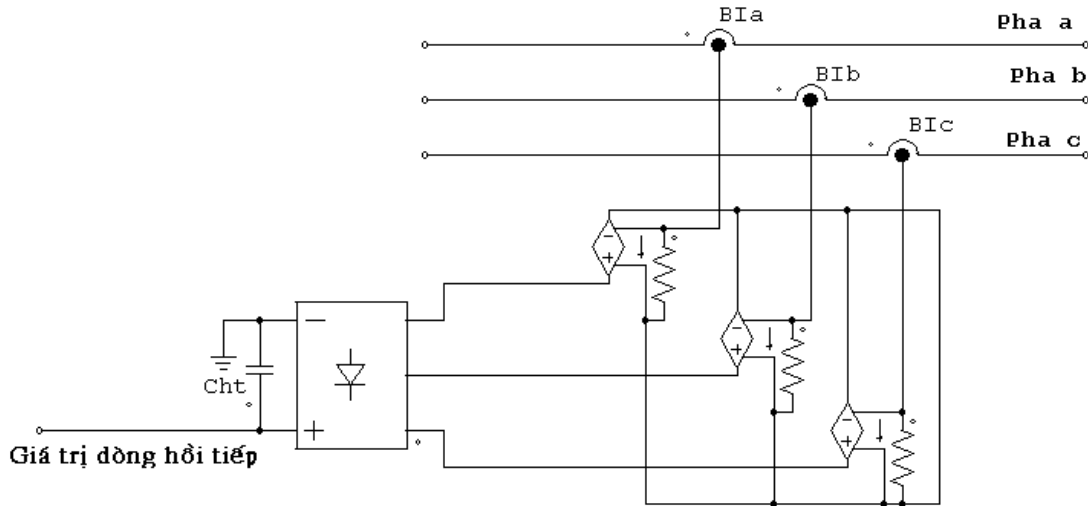


Hình 4.15 : Điện áp vào và ra của bộ biến đổi Sin - Cos

Từ hình vẽ ta thấy bộ biến đổi Sin - Cos đã cho ra hai điện áp Sin và Cos như ý muốn từ điện áp hình sin của sóng điều biến đưa tới.

### 4.3. Mạch phản hồi dòng điện

Để phản hồi dòng điện ta sử dụng biến dòng và các bộ chuyển đổi. Sơ đồ mạch phản hồi dòng điện có cấu trúc như hình 4.14.



Hình 4.16: Sơ đồ khối mạch phản hồi dòng điện

Dòng điện được phản hồi về bằng biến dòng. Ta dùng nguồn áp để đặt dòng điện nên phản hồi bằng nguồn dòng phải được chuyển thành nguồn áp. Quá trình chuyển nguồn dòng thành nguồn áp có thể thực hiện bằng bộ biến đổi dòng - áp, thiết bị này biến đổi nguồn dòng thành nguồn áp. Ta để hệ số biến đổi của bộ này tương ứng là 1-1. Ba bộ biến đổi dòng áp được dùng cho ba pha. Sau bộ biến đổi ta dùng thiết bị chỉnh lưu ba pha để chuyển tín hiệu đặt điện áp một chiều để phản hồi lại mạch điều khiển. Ta dùng tín hiệu phản hồi một chiều vì tín hiệu đặt là tín hiệu một chiều. Tín hiệu phản hồi sẽ được đưa về phân đặt dòng và hiệu chỉnh để có được tín hiệu đặt cho bộ nghịch lưu.

## C. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG BẰNG PESIM

### 4.4. Xác định dải tần hoạt động của lọc

Trong bất kì một bộ lọc nào thì chất lượng của bộ lọc được đánh giá bằng chất lượng điện áp đầu ra. Chỉ số để đánh giá chất lượng điện áp đầu ra là chỉ tiêu sóng hài so với thành phần điện áp cơ bản. Với bộ lọc chất lượng cao thì chỉ tiêu sóng hài trong điện áp dây khá nhỏ, thông thường khoảng một số phần trăm. Trong bộ lọc của mạch nghịch lưu thiết kế, do dải tần của mạch khá rộng nên chỉ tiêu bộ lọc có thể lấy tương đối thấp. Giai đoạn chuyển bộ lọc được đánh dấu bằng phần trăm sóng hài trong thành phần điện áp ra. Để đánh giá chất lượng

điện áp đầu ra, ta tiến hành khảo sát thành phần sóng hài theo các cấp tần số và xác định phần trăm sóng hài.

#### 4.4.1. Thành phần sóng hài ở dải tần 500 Hz

Ở tần số 500 Hz là tần số cao nhất của bộ nghịch lưu nên ta sử dụng bộ lọc cấp tần số 500Hz. Do ảnh hưởng của phụ tải đến sóng hài của bộ lọc, khi tải có tính cảm thì có thể là một bộ lọc thứ cấp và khi đó dòng điện được lọc thêm một lần nữa, và do vậy ta có chất lượng điện áp tốt hơn. Khi tải mang tính thuần trở thì không có khả năng lọc, do đó chất lượng điện áp và dòng điện thấp nhất. Để đánh giá được chất lượng của bộ lọc thì ta coi như tải thuần trở và khi đó coi như bộ lọc không phụ thuộc vào tải, với tải có tính trở thì ta có chất lượng tốt hơn. Hai dải điện áp để đánh giá chất lượng bộ lọc là điện áp cực đại 500V và điện áp cực tiểu 100V.

##### Chế độ điện áp cực đại 500 V

Công suất đầu ra cực đại của bộ nghịch lưu:  $P_{\max} = 5 \text{ kW}$

Điện áp cực đại của bộ nghịch lưu :  $U_{\max} = 500 \text{ V}$

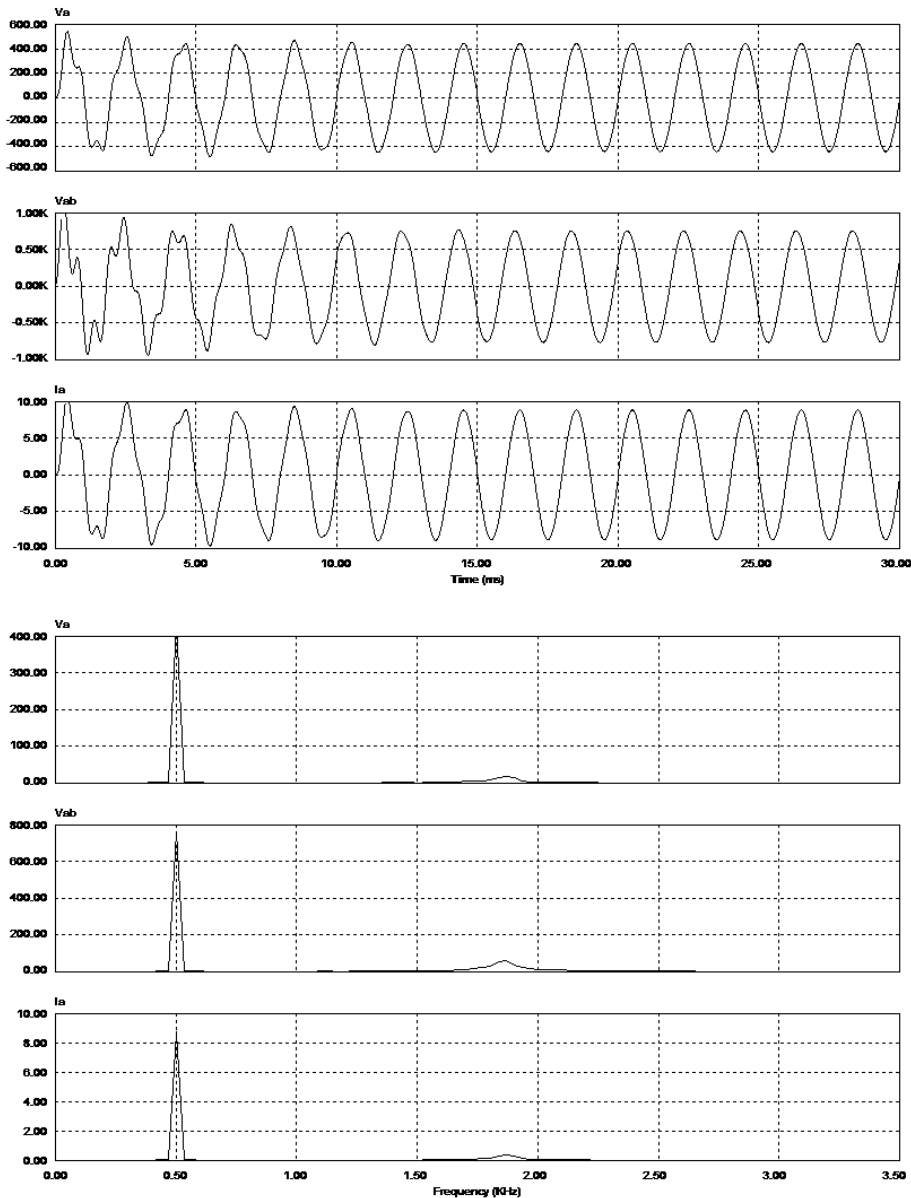
Dòng điện dây của bộ nghịch lưu:

$$I_d = \frac{P_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_{\max}} = \frac{5000}{500\sqrt{3}} = 5,77 \text{ A}$$

Điện trở của một pha đầu ra bộ nghịch lưu:

$$R = \frac{U_{\max}}{\sqrt{3} I_d} = \frac{500/\sqrt{3}}{5000/500 \cdot \sqrt{3}} = 50 \text{ } \Omega$$

Sau khi đặt thông số cho mạch, chạy mô phỏng ta có các giá trị điện áp và dòng điện như hình 4.15.



Điện áp pha a

Điện áp dây ab

Dòng điện pha a

Sóng hài điện áp pha a

Sóng hài điện áp dây ab

Sóng hài dòng điện pha a

Hình 4.17: Kết quả mô phỏng khi  $f = 500 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 1$

Giá trị hiệu dụng của dòng điện sóng hài trong thành phần điện áp dây:

$$I_h = 0,275 \text{ A}$$

Phần trăm dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

$$I_h \% = \frac{0,275}{5,77} \cdot 100\% = 4,77 \%$$

Chế độ điện áp cực tiểu 100 V

Công suất đầu ra cực đại của bộ nghịch lưu:  $P_{\max} = 5 \text{ kW}$

Điện áp cực tiểu của bộ nghịch lưu :  $U_{\min} = 100 \text{ V}$

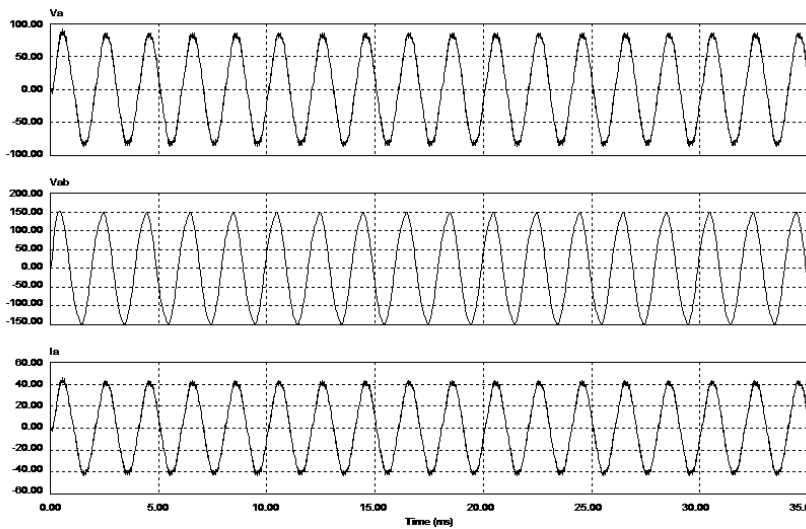
Dòng điện dây của bộ nghịch lưu:

$$I_d = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{min}} = \frac{5000}{100\sqrt{3}} = 28,85 \text{ A}$$

Điện trở của một pha đầu ra bộ nghịch lưu:

$$R = \frac{U_{min}}{\sqrt{3} I_d} = \frac{100/\sqrt{3}}{5000/100\sqrt{3}} = 2 \ \Omega$$

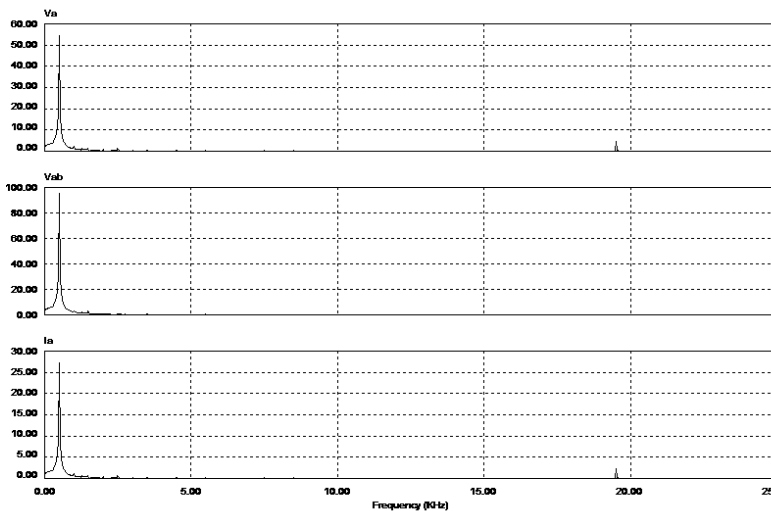
Sau khi đặt thông số cho mạch, chạy mô phỏng ta có các giá trị điện áp và dòng điện như hình 4.16.



Điện áp pha a

Điện áp dây ab

Dòng điện pha a



Sóng hài điện áp pha a

Sóng hài điện áp dây ab

Sóng hài dòng điện pha a

Hình 4.18: Kết quả mô phỏng khi  $f = 500\text{Hz}$ ,  $m_a = 0,2$

Giá trị dòng điện sóng hài:  $I_h = \sqrt{0,42^2 + 0,82^2 + 4,0,2^2} = 1 \text{ A}$

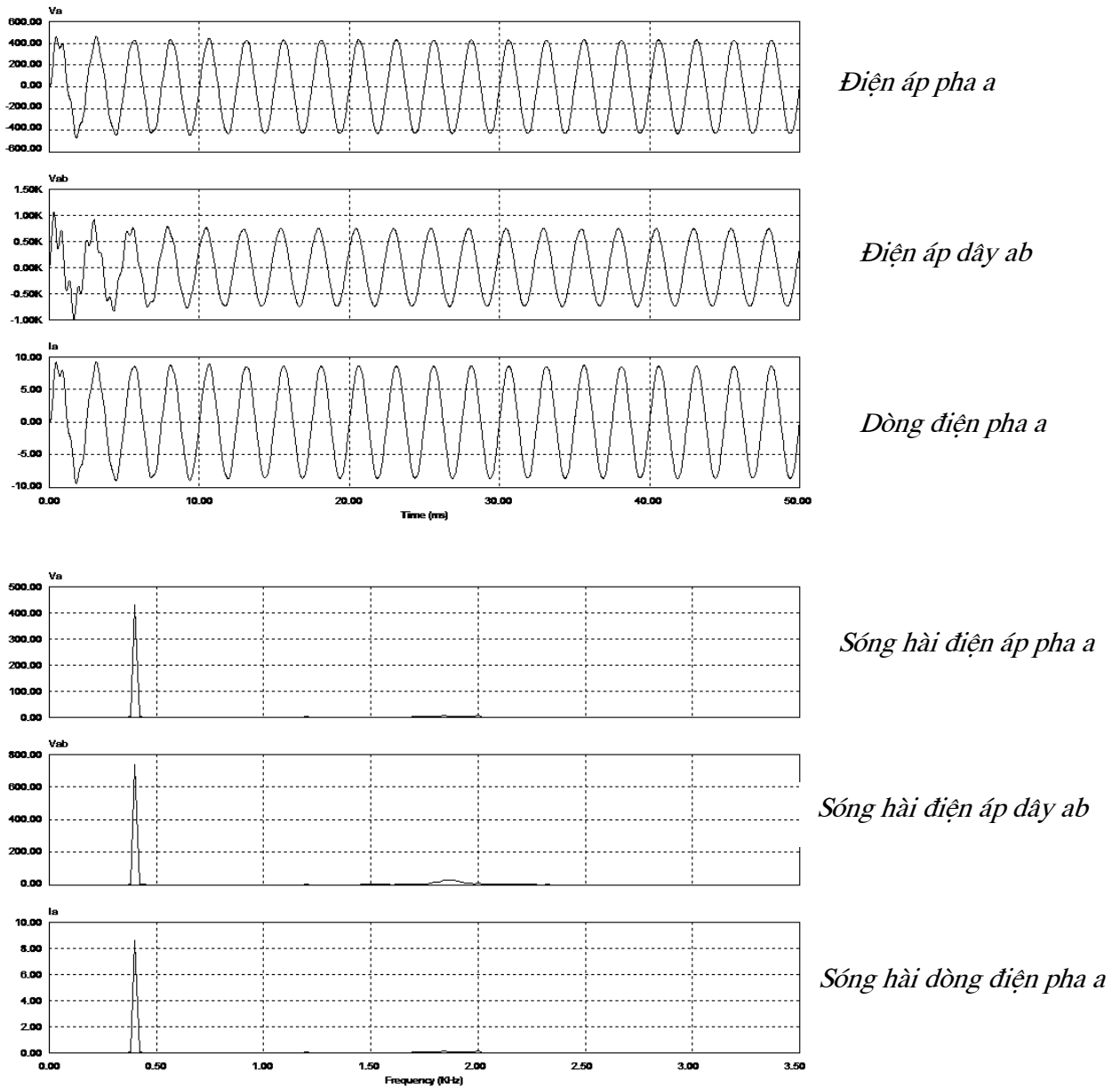
Thành phần dòng điện sóng hài trong dòng điện dây:

$$I_h\% = \frac{1}{28,85} \cdot 100\% = 3,47 \%$$

4.4.2. Thành phần sóng hài ở tần số 400Hz

Khi điện áp cực đại 500 V

Thông số phụ tải tính tương tự như ở tần số 500Hz.



Hình 4.19: Kết quả mô phỏng khi  $f = 400 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 1$

Giá trị điện áp sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

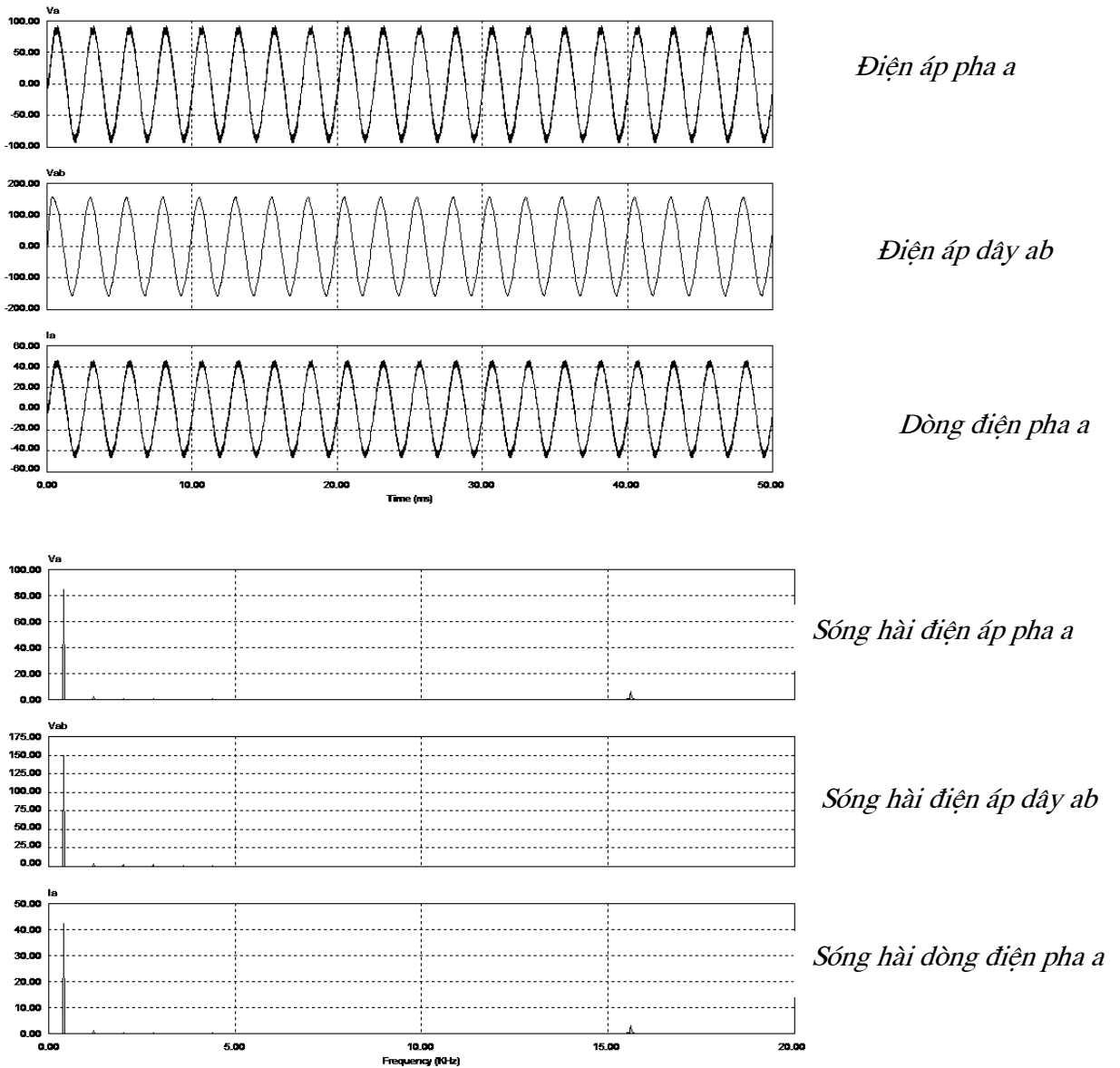
$$I_h = \sqrt{0,60^2 + 0,10^2 + 0,12^2} = 0,62 \text{ A}$$

Phần trăm dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

$$I_h \% = \frac{0,62}{5,77} \cdot 100\% = 10,75 \%$$

Khi điện áp cực tiểu 100 V

Thông số phụ tải tương tự như tần số 500 Hz.



Hình 4.20: Kết quả mô phỏng khi  $f = 400 \text{ hz}$ ,  $m_a = 0,2$

Giá trị dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

$$I_h = \sqrt{3.0,57^2 + 1,69^2} = 1,96 \text{ A}$$

Phần trăm dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

$$I_h \% = \frac{1,96}{28,85} \cdot 100\% = 6,78 \%$$

**4.4.3. Thành phần sóng hài ở tần số 300 Hz**

Khi điện áp cực đại 500V





Hình 4.21: Kết quả mô phỏng khi  $f = 300 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 1$

Trong thành phần dòng điện hài chứa khoảng 13 đỉnh điện áp. Giá trị hiệu dụng của 13 đỉnh này là 0,06 A.

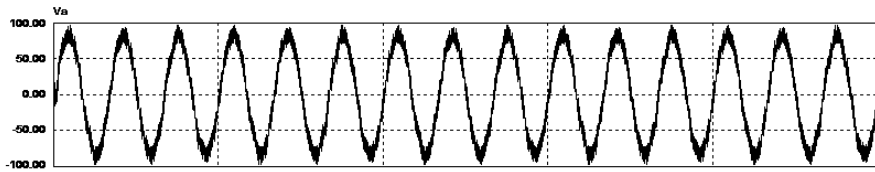
Giá trị dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

$$I_h = \sqrt{13 \cdot 0,06^2} = 0,88 \text{ A}$$

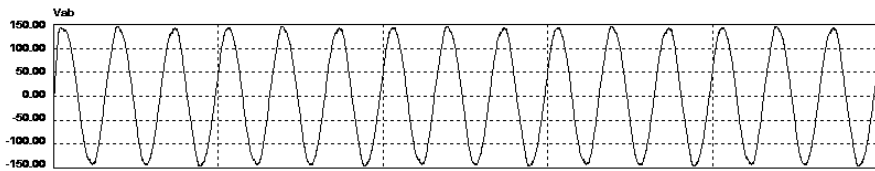
Phần trăm dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

$$I_h\% = \frac{0,88}{5,77} \cdot 100\% = 15,31 \%$$

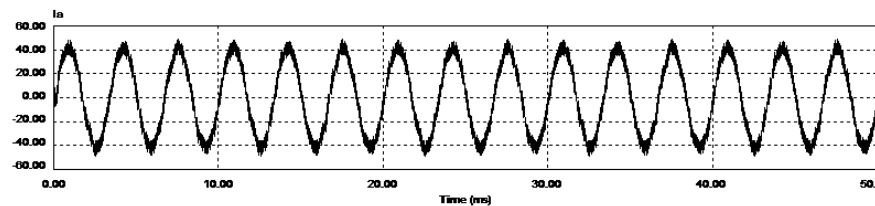
Khi điện áp cực tiểu 100 V



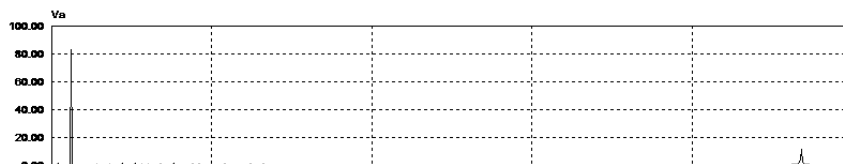
Điện áp pha a



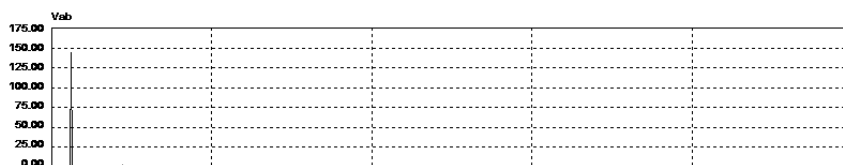
Điện áp dây ab



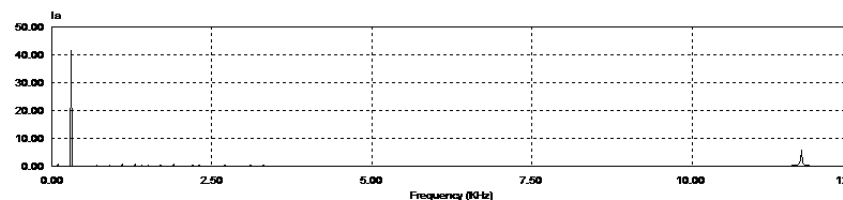
Dòng điện pha a



Sóng hài điện áp pha a



Sóng hài điện áp dây ab



Sóng hài dòng điện pha a

Hình 4.22: Kết quả mô phỏng khi  $f = 300 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 0,2$

Trong thành phần dòng điện hài có 7 sóng có biên độ 0,5 A và một sóng có biên độ 5,81 A.

Giá trị dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

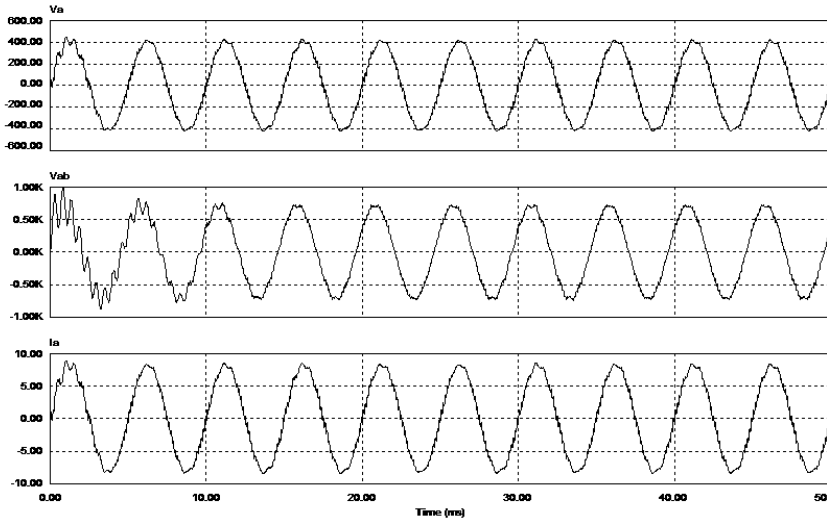
$$I_h = \sqrt{\frac{1}{2}(7,0,5^2 + 5,81^2)} = 4,21 \text{ A}$$

Phần trăm dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

$$I_h \% = \frac{0,88}{5,77} \cdot 100\% = 14,60 \%$$

4.4.4. Thành phần sóng hài ở tần số 200 Hz

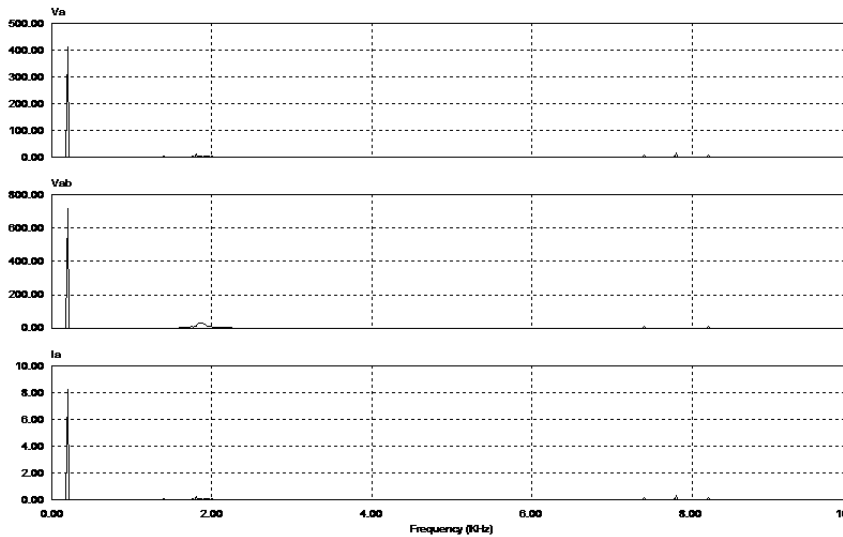
Khi điện áp cực đại 500 V



Điện áp pha a

Điện áp dây ab

Dòng điện pha a



Sóng hài điện áp pha a

Sóng hài điện áp dây ab

Sóng hài dòng điện pha a

Hình 4.23: Kết quả mô phỏng khi  $f = 200 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 1$

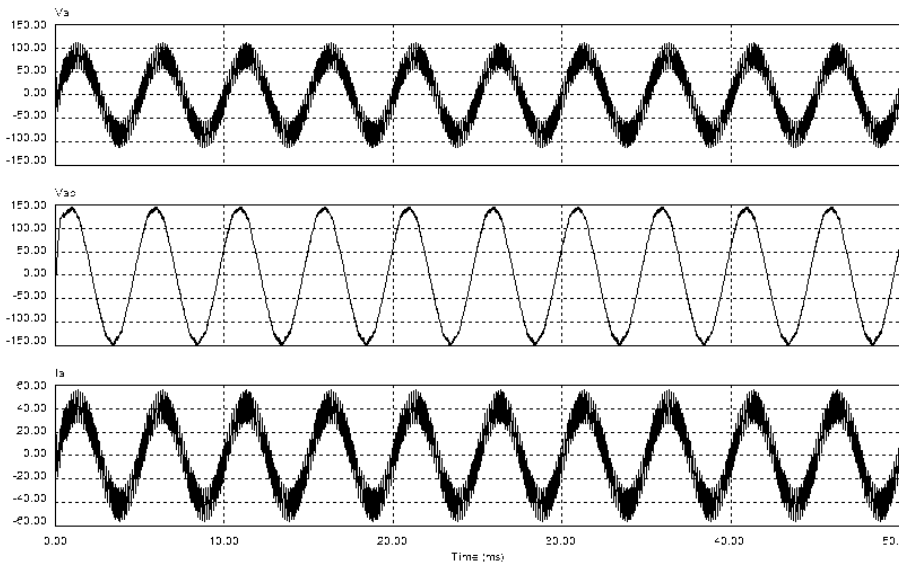
Giá trị dòng điện sóng hài trong thành phần điện áp dây:

$$I_h = \sqrt{0,17^2 + 0,06^2 + 0,16^2 + 0,25^2 + 0,16^2} = 0,38 \text{ A}$$

Phần trăm dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

$$I_h\% = \frac{0,38}{5,77} \cdot 100\% = 6,63 \%$$

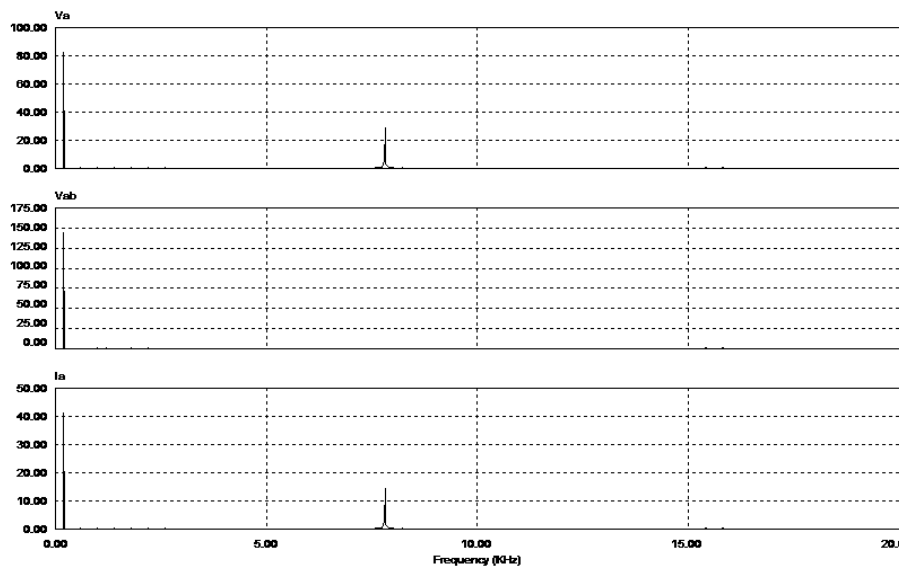
Khi điện áp cực tiểu 100 V



Điện áp pha a

Điện áp dây ab

Dòng điện pha a



Sóng hài điện áp pha a

Sóng hài điện áp dây ab

Sóng hài dòng điện pha a

Hình 4.24: Kết quả mô phỏng khi  $f = 200 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 0,2$

Giá trị điện dòng trong thành phần dòng điện dây:

$$I_h = 10,13 \text{ A}$$

Phần trăm dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

$$I_h \% = \frac{10,13}{28,85} \cdot 100\% = 35,10 \%$$

Ta thấy phần trăm dòng điện sóng hài trong dòng điện dây khá lớn, với các hệ yêu cầu chất lượng điện áp cao thì tỷ lệ này là không chấp nhận được. Hay nói cách khác, ở điện áp 100V/200Hz bộ nghịch lưu không thể cung cấp được công suất yêu cầu 5kW đầu ra. Muốn có chỉ số sóng hài nhỏ thì phải giảm

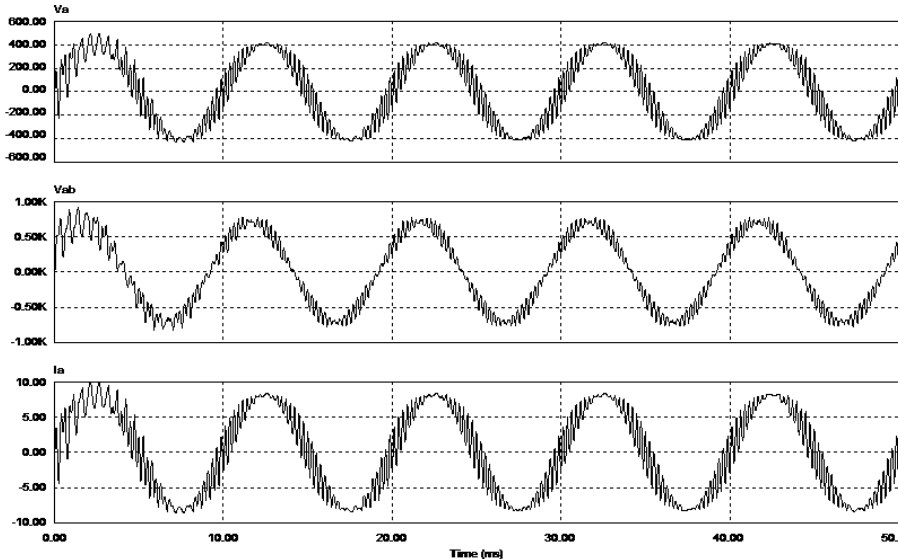
công suất đầu ra của bộ nghịch lưu hoặc tăng điện áp đầu ra khi tải cố định và yêu cầu công suất cố định.

**4.4.5. Thành phần sóng hài khi tần số 100 Hz.**

Trong thiết kế bộ lọc thì tần số để chuyển chế độ làm việc của bộ lọc là tần số 100 Hz, nên ở tần số này ta xem xét vận hành của cả hai bộ lọc.

**a. Bộ lọc của tần số 500 Hz**

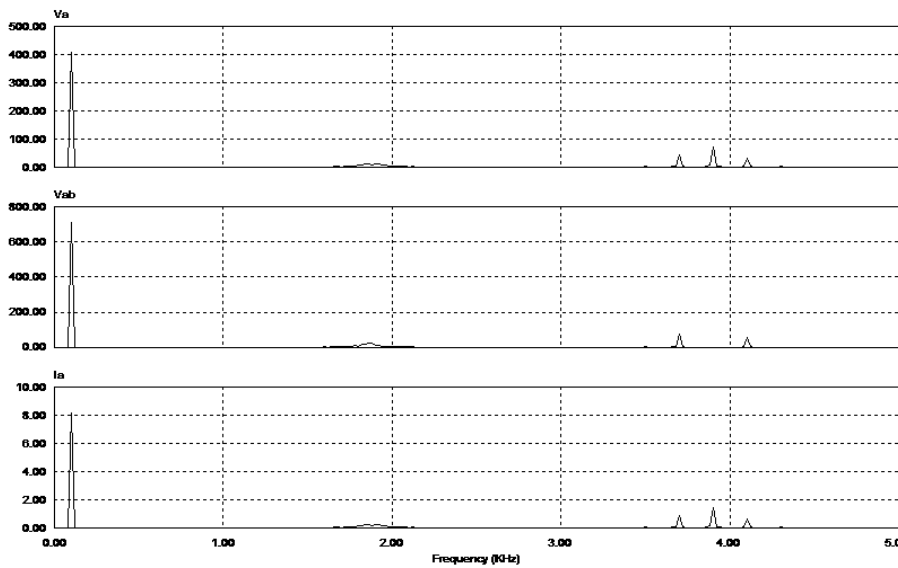
Khi điện áp cực đại 500 V



Điện áp pha a

Điện áp dây ab

Dòng điện pha a



Sóng hài điện áp pha a

Sóng hài điện áp dây ab

Sóng hài dòng điện pha a

Hình 4.25: Kết quả mô phỏng khi  $f = 100 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 1$

Giá trị dòng điện sóng hài thành phần dòng điện dây:

$$I_h = \sqrt{0,15^2 + 0,55^2 + 0,91^2 + 0,46^2} = 1,168 \text{ A}$$

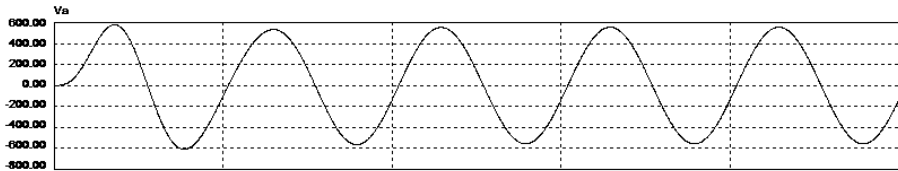
Phần trăm thành phần sóng hài trong dòng điện dây:

$$I_h \% = \frac{1,168}{5,77} \cdot 100\% = 20,24 \%$$

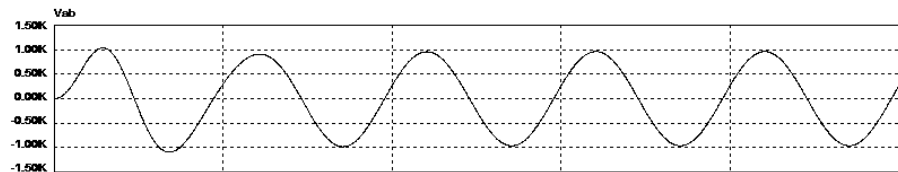
Ta thấy thành phần sóng hài trong dòng điện dây vượt quá 20% giá trị dòng điện dây, nên bộ nghịch lưu không thể vận hành ở bộ lọc của tần số 500Hz.

**b. Sử dụng bộ lọc của tần số 50 Hz**

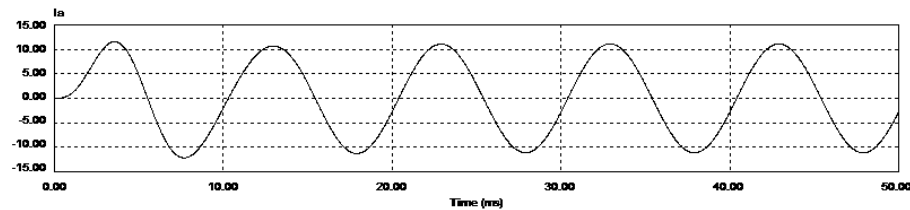
**Khi điện áp cực đại 500 V**



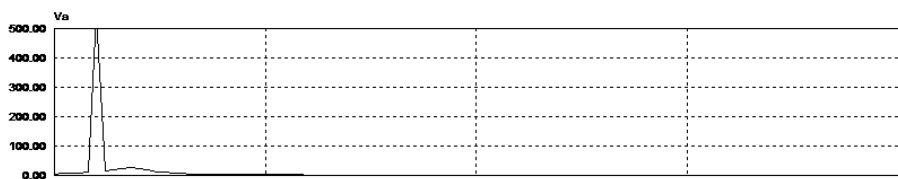
Điện áp pha a



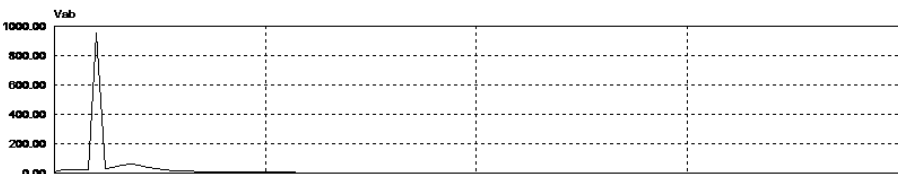
Điện áp dây ab



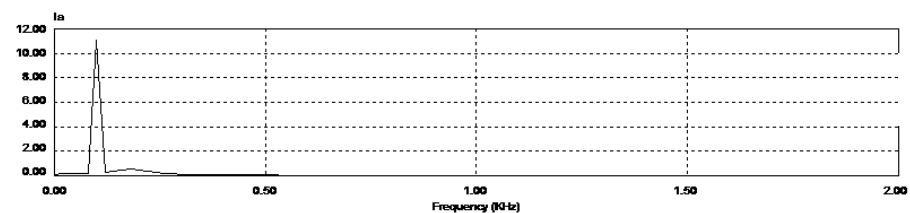
Dòng điện pha a



Sóng hài điện áp pha a



Sóng hài điện áp dây ab



Sóng hài dòng điện pha a

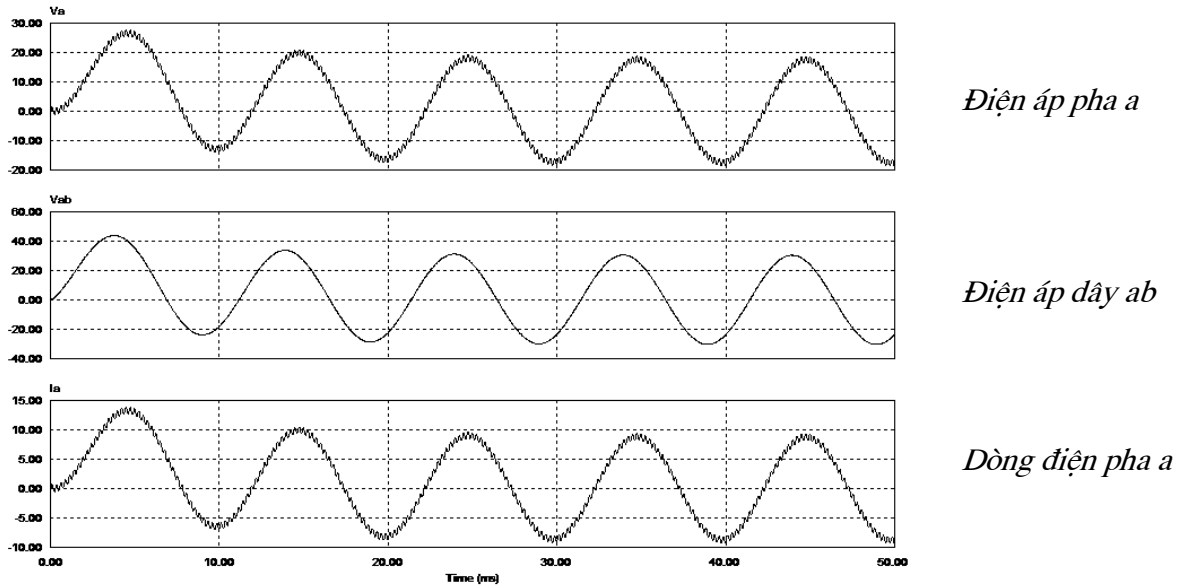
Hình 4.26: Kết quả mô phỏng khi  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 1$ , bộ lọc 50 Hz

Ta thấy chất lượng điện áp và dòng điện ra cao, chứa ít thành phần sóng hài. Tuy vậy để ý thấy điện áp ra tăng cao, nguyên nhân của hiện tượng này là do ảnh hưởng của điện cảm bộ lọc. Khi mắc vào mạch một điện cảm lớn thì điện áp đầu ra có sự biến đổi do điện cảm là một kho năng lượng và có khả năng cung cấp năng lượng điện cho mạch. Thêm vào đó ta có thêm tụ điện nên sẽ tạo

ra mạch dao động LC với khả năng cung cấp điện áp trong khoảng cộng hưởng của mạch. Vì vậy có thể kết luận nguyên nhân có sự tăng áp ở đầu ra của mạch nghịch lưu là do tác dụng của cuộn cảm lớn của bộ lọc.

Điện áp đầu ra sẽ tự động được điều chỉnh cho phù hợp với tải do phản hồi dòng điện khi ta đặt dòng điện tải.

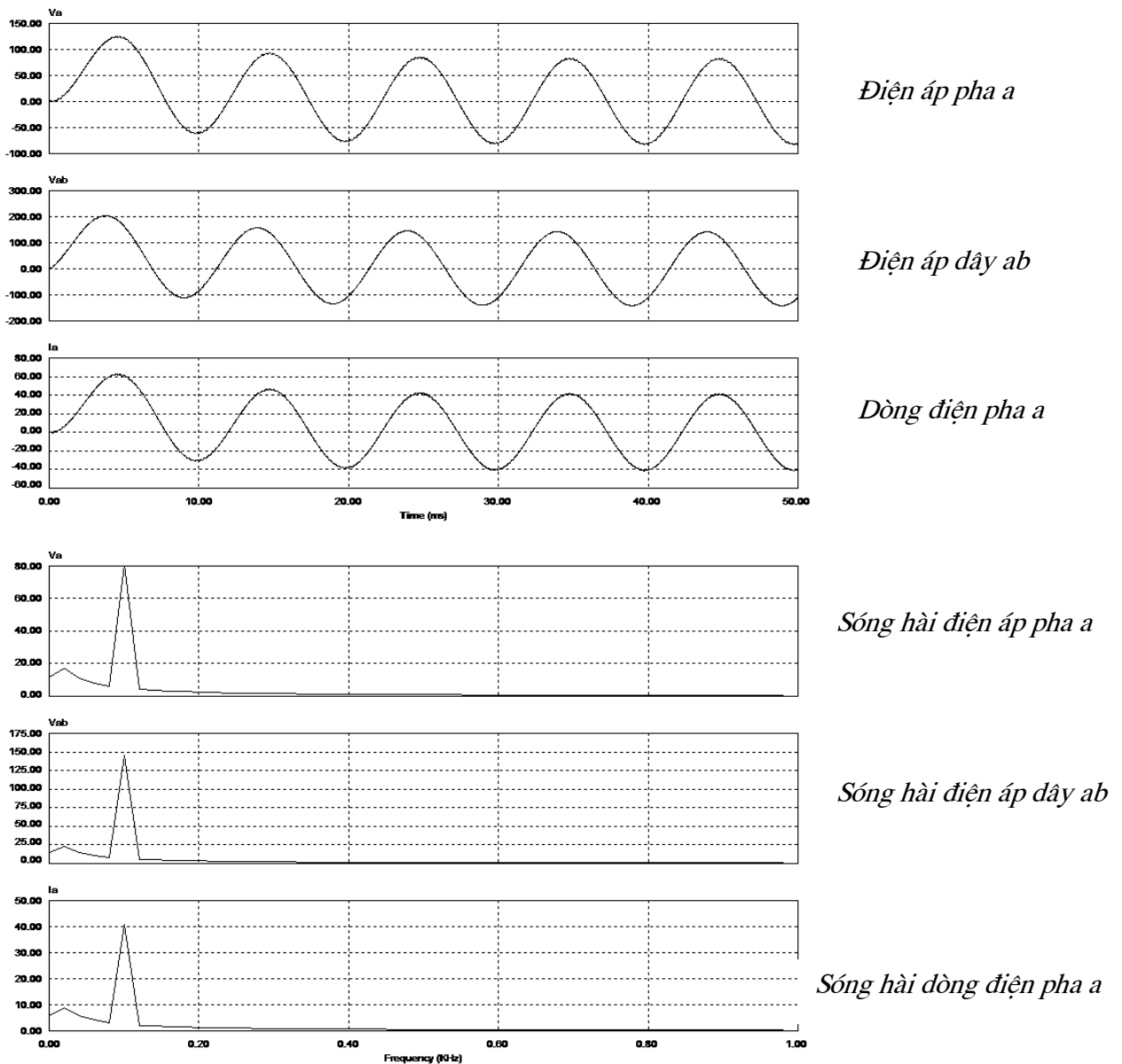
*Khi điện áp cực tiểu 100 V*



*Hình 4.27: Kết quả mô phỏng khi  $f = 100 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 0,2$ , bộ lọc 50 Hz*

Ta thấy rằng điện áp và dòng điện giảm, không đạt giá trị cần thiết để cung cấp đủ công suất cho phụ tải. Muốn tăng điện áp ta phải tăng hệ số điều biến biên độ. Điều này có thể được thực hiện tự động do bộ hồi tiếp dòng điện cung cấp tín hiệu điều chỉnh. Kết quả mô phỏng cho thấy khi hệ số điều biến biên độ đạt giá trị 0,93 thì đầu ra đạt yêu cầu.





Hình 4.28: Kết quả mô phỏng khi  $f = 100 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 0,93$ , bộ lọc 50 Hz

Ta thấy rằng trong thành phần điện áp và dòng điện xuất hiện sóng hài tần số thấp hơn tần số điện áp sóng cơ bản. Cụ thể trong trường hợp này, sóng tần số thấp có tần số là 20 Hz.

Giá trị dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

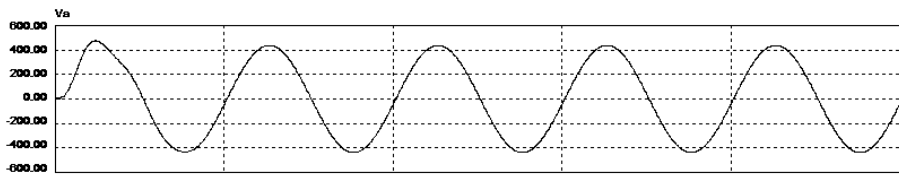
$$I_h = 6,08 \text{ A}$$

Phần trăm dòng điện hài:

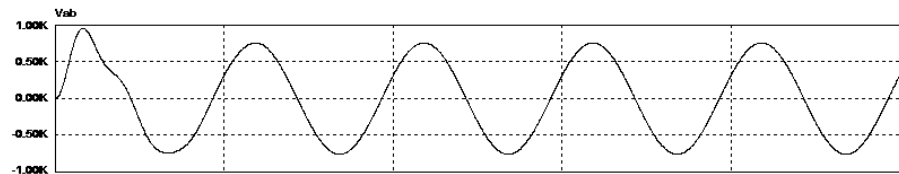
$$I_h\% = \frac{6,08}{28,85} \cdot 100\% = 21,07 \%$$

4.4.6. Thành phần sóng hài khi tần số 50 Hz

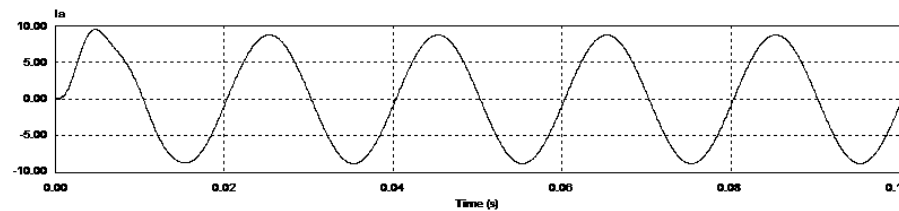
Khi điện áp cực đại 500 V



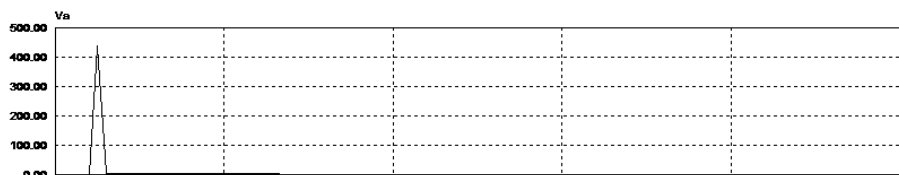
Điện áp pha a



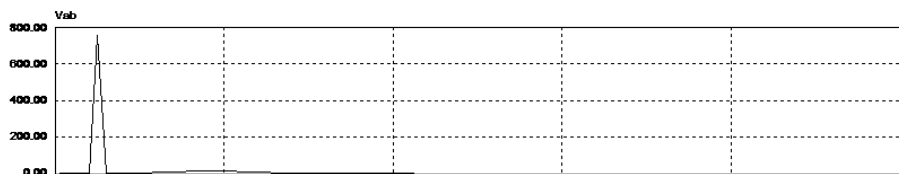
Điện áp dây ab



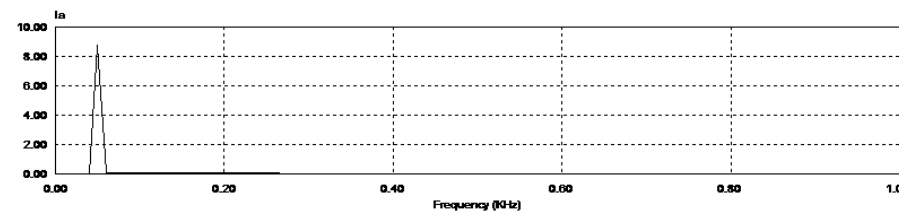
Dòng điện pha a



Sóng hài điện áp pha a



Sóng hài điện áp dây ab

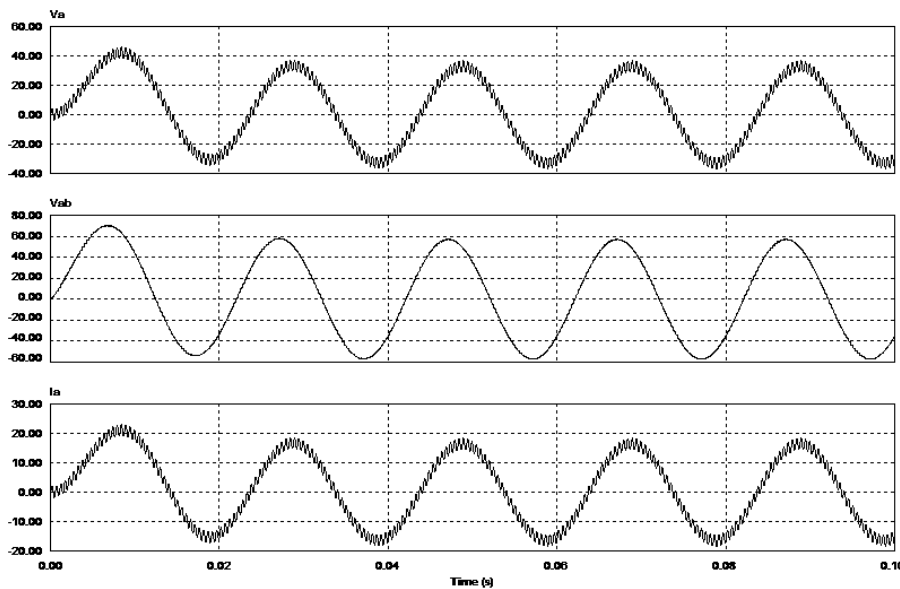


Sóng hài dòng điện pha a

Hình 4.29: Kết quả mô phỏng khi  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 1$

Ta thấy rằng điện áp và dòng điện chứa rất ít thành phần sóng hài bậc cao.

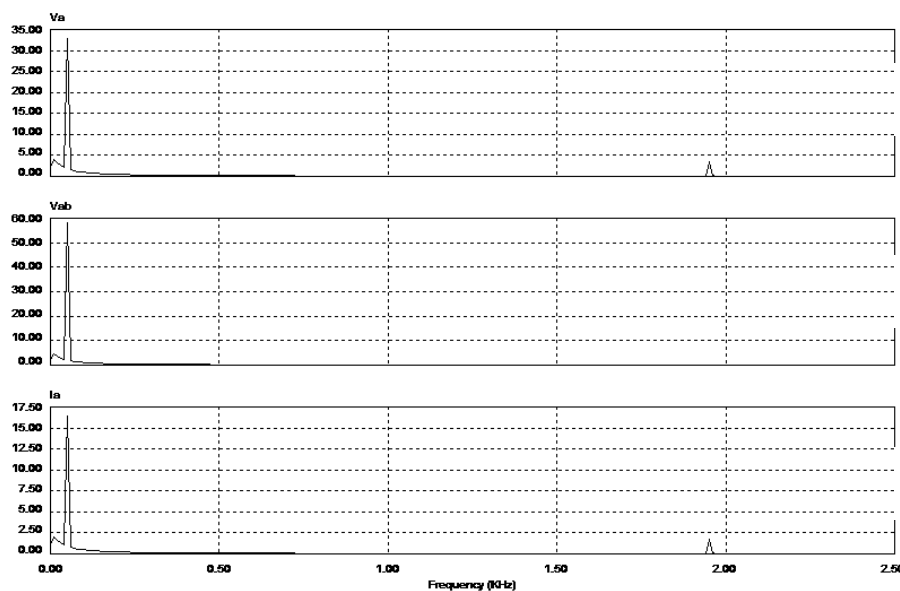
Khi điện áp cực tiểu 100 V



Điện áp pha a

Điện áp dây ab

Dòng điện pha a



Sóng hài điện áp pha a

Sóng hài điện áp dây ab

Sóng hài dòng điện pha a

Hình 4.30: Kết quả mô phỏng khi  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 0,2$

Giá trị dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

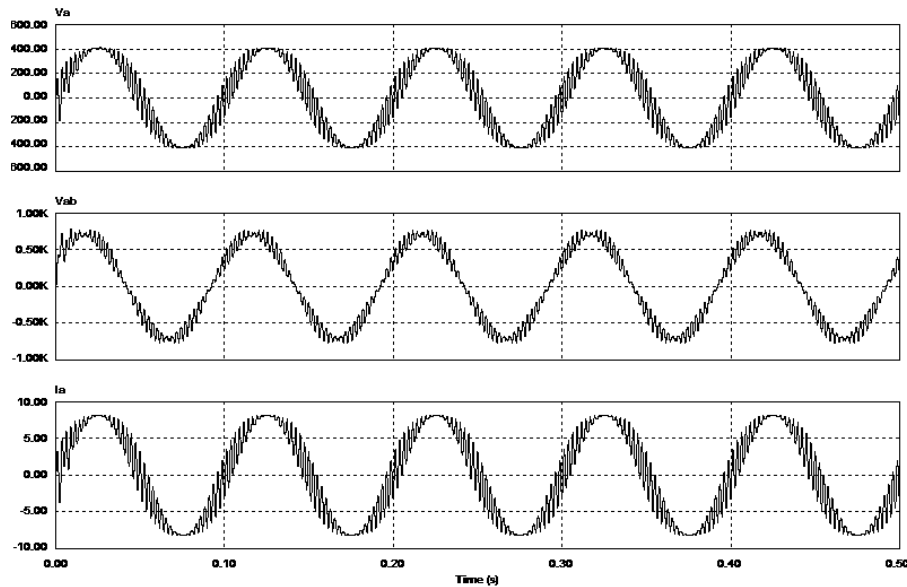
$$I_h = \sqrt{1,42^2 + 1,27^2} = 1,91 \text{ A}$$

Phần trăm dòng điện sóng hài:

$$I_h\% = \frac{1,91}{28,85} \cdot 100\% = 6,62 \%$$

4.4.7. Thành phần sóng hài khi tần số 10 Hz

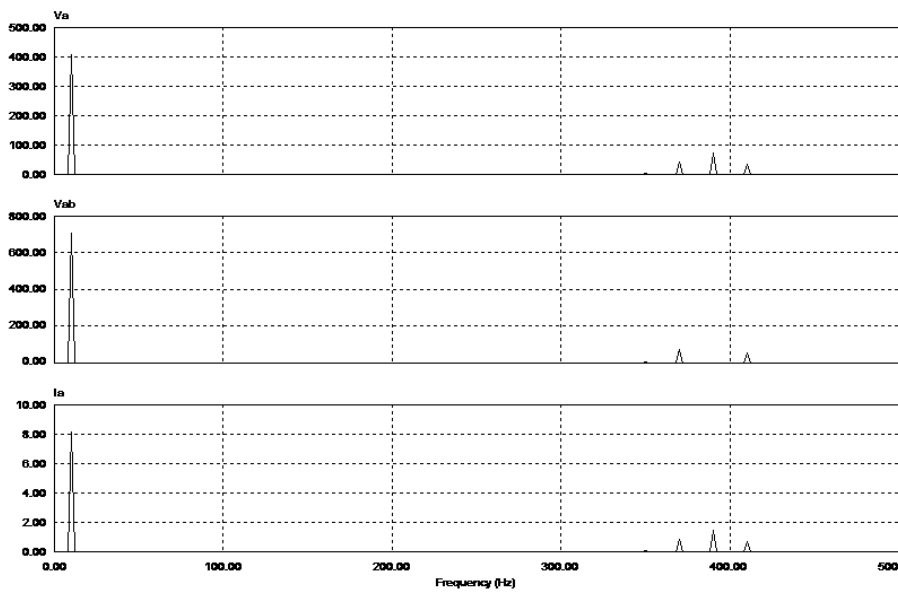
Khi điện áp cực đại 500 V



Điện áp pha a

Điện áp dây ab

Dòng điện pha a



Sóng hài điện áp pha a

Sóng hài điện áp dây ab

Sóng hài dòng điện pha a

Hình 4.31: Kết quả mô phỏng khi  $f = 10 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 1$

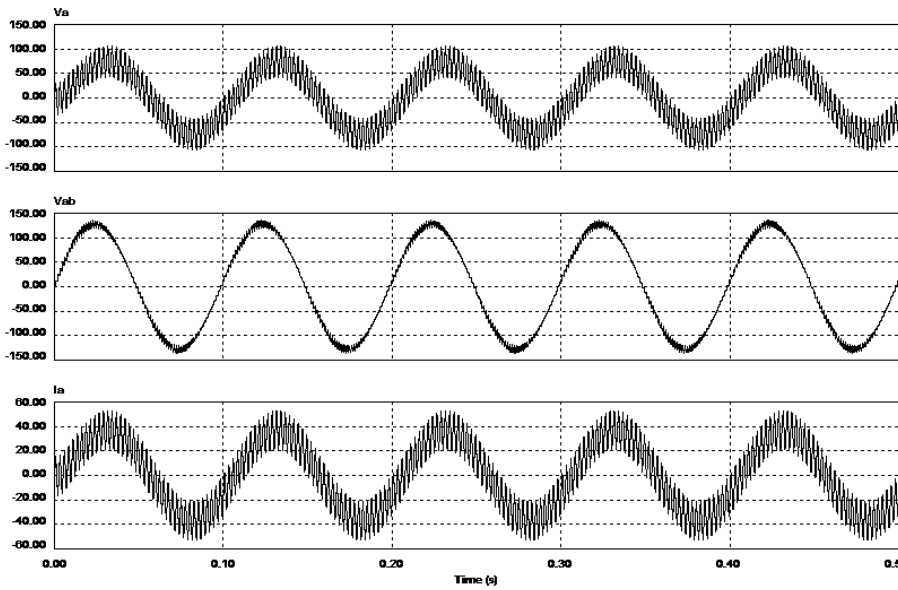
Giá trị dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

$$I_h = \sqrt{0,54^2 + 0,95^2 + 0,46^2} = 1,19 \text{ A}$$

Phần trăm dòng điện hài:

$$I_h\% = \frac{1,19}{5,77} \cdot 100\% = 20,62 \%$$

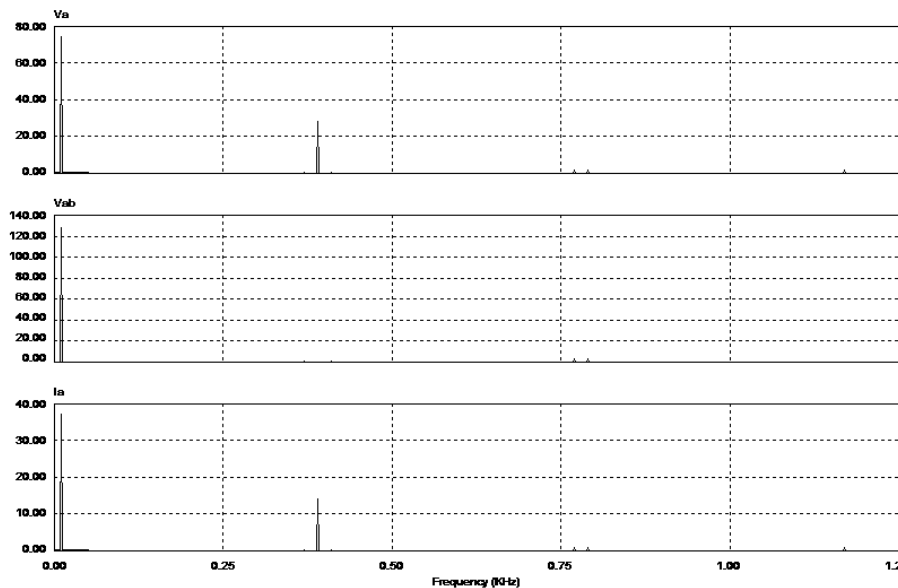
Khi điện áp cực tiểu 100 V



Điện áp pha a

Điện áp dây ab

Dòng điện pha a



Sóng hài điện áp pha a

Sóng hài điện áp dây ab

Sóng hài dòng điện pha a

Hình 4.32: Kết quả mô phỏng khi  $f = 10 \text{ Hz}$ ,  $m_a = 0,2$

Giá trị dòng điện sóng hài trong thành phần dòng điện dây:

$$I_h = 9,93 \text{ A}$$

Phần trăm dòng điện sóng hài:

$$I_h \% = \frac{9,93}{28,85} \cdot 100\% = 34,42 \%$$

Ta thấy ở tần số càng thấp thì thành phần sóng hài trong điện áp và dòng điện dây tăng lên rất cao. Do vậy, với thiết bị nhạy cảm với sóng hài (như động

ơ điện) không nên để vận hành quá lâu ở tần số và điện áp thấp, vì như vậy sẽ gây ra tổn hao rất lớn và gây phát nóng thiết bị.

#### D. CHỌN VÀ HIỆU CHỈNH MẠCH PHẢN HỒI DÒNG ĐIỆN

Mạch phản hồi và ổn định dòng điện là một khâu quan trọng trong quá trình điều khiển. Mạch phản hồi dòng giúp ta có thể điều chỉnh được và hạn chế được dòng điện đầu ra theo một qui luật định trước. Trong bộ nghịch lưu, do dải tần biến thiên nên có thể gây ra sự biến động khá lớn về dòng điện, đặc biệt là tải mang tính cảm kháng. Nguyên nhân có sự biến động đó là do sự phụ thuộc của điện cảm cuộn dây vào tần số, khi tần số càng thấp thì khả năng gây quá dòng càng cao. Khả năng nguy hiểm càng tăng khi điện áp đặt lên tải là điện áp lớn nhất của bộ nghịch lưu. Vì vậy ta tiến hành thiết kế bộ phản hồi và hạn chế dòng điện với tải định mức và điện áp cực đại của bộ nghịch lưu.

Số liệu thiết kế:

- + Công suất cực đại của nghịch lưu:  $P_{\max} = 5 \text{ kW}$
- + Điện áp cực đại đầu ra:  $U_{\max} = 500 \text{ V}$
- + Dòng điện đầu ra khi tải định mức:  $I_{\text{dm}} = 5,77 \text{ A}$

#### 4.5. Đề xuất mạch phản hồi dòng điện

Mạch phản hồi thông thường bao gồm hai khâu: mạch phản hồi dòng điện và mạch hiệu chỉnh dòng điện.

+ Mạch phản hồi dòng điện: Nhiệm vụ là phản hồi tín hiệu dòng điện dây ở đầu ra, cung cấp tín hiệu dòng điện đầu ra theo một tỷ lệ đặt trước mà không quan trọng giá trị của tín hiệu đó là bao nhiêu, chỉ cần tín hiệu đó nằm trong dải cho phép của thiết bị đo.

+ Mạch hiệu chỉnh dòng điện: Nhiệm vụ là hiệu chỉnh lại tín hiệu mạch phản hồi cung cấp sao cho phù hợp với luật điều khiển cho trước.

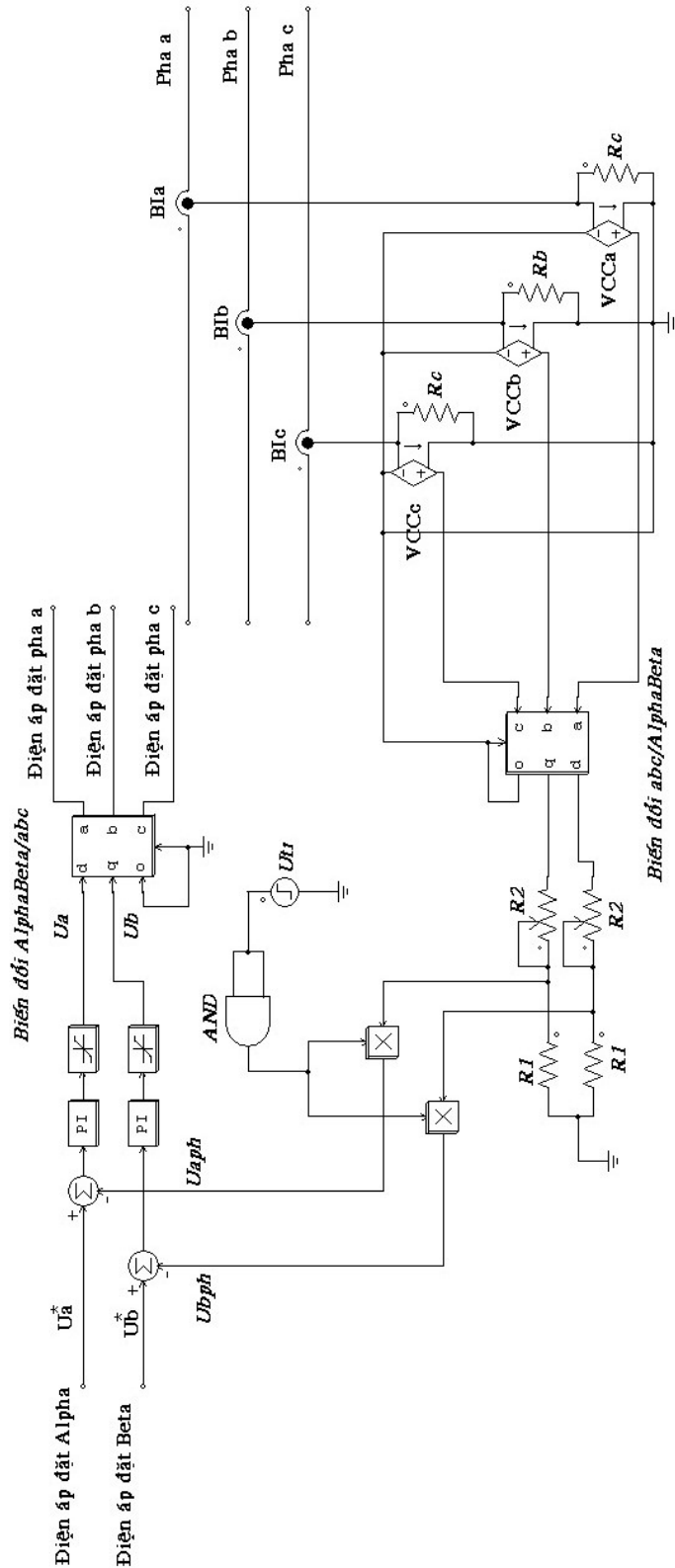
Hai mạch trên được thiết kế nối tiếp nhau, mạch hiệu chỉnh đặt sau mạch phản hồi vệ phương diện dòng điện phản hồi. Trên cơ sở đó ta có mạch phản hồi và hiệu chỉnh dòng điện như hình 4.33.

#### Mô tả hoạt động của mạch:

Dòng điện đầu ra được hồi tiếp qua biến dòng. Tỷ số biến dòng được chọn sao cho phù hợp với giá trị dòng điện đầu ra và dòng điện vào mạch điều khiển. Trong PESIM đại lượng đặt cho biến dòng là hệ số khuếch đại. Để đơn giản ta chọn hệ số khuếch đại biến dòng là 1. Tín hiệu của biến dòng được biến

đổi thành tín hiệu áp bằng bộ biến đổi dòng áp. Bộ biến đổi dòng áp có tác dụng chuyển đổi tín hiệu dòng thành tín hiệu áp theo một tỷ lệ đặt trước. Đầu vào của bộ biến đổi dòng áp ta phải đặt một điện trở, điện trở này yêu cầu cho bất kỳ một biến dòng nào khi lắp đặt trong mạch, giá trị điện trở này cỡ Ohm, trong mạch ta chọn giá trị là  $1\Omega$ . Thông số đặt cho bộ biến đổi dòng áp là tỷ số khuếch đại, trong mạch ta chọn tỷ số khuếch đại là 1, điều đó có nghĩa là dòng vào và áp ra có tương ứng 1 - 1. nguyên nhân chính phải biến đổi thành tín hiệu áp là mạch chuyển đổi  $abc/\alpha\beta$  chỉ hoạt động với tín hiệu áp.

Tín hiệu sau bộ biến đổi dòng áp sẽ được cung cấp cho mạch biến đổi toạ độ  $abc/\alpha\beta$ . Bộ biến đổi toạ độ  $abc/\alpha\beta$  sẽ biến đổi hệ toạ độ ba thông số là dòng điện ba pha về hệ toạ độ hai thông số là dòng điện hai pha. Và điều chú ý quan trọng là tất cả các thông số dòng điện đều được biến đổi thành điện áp. Sau khi qua bộ biến đổi ta sẽ có hai thông số tương đương với thông số dòng điện thực của ba pha. Hai thông số sẽ được hiệu chỉnh độ lớn bằng biến trở. Thông thường giá trị hồi tiếp về có giá trị lớn hơn giá trị cần thiết để hồi tiếp nên ta dùng điện trở để giảm giá trị điện áp hồi tiếp. Do trong bộ nghịch lưu luôn tồn tại quá trình quá độ nên ta sẽ không hồi tiếp tín hiệu trong lúc mạch đang quá độ. Điều này có thể thực hiện bằng mạch nhân với 1. Mạch nhân này không làm thay đổi điện áp hồi tiếp do điện áp này được nhân với 1. Điều khiển mạch nhân này là một phân tử AND và một nguồn điện áp có trễ  $U_{tr}$ . Nguồn điện áp này sẽ điều khiển đầu ra của AND bằng tín hiệu điện áp đầu ra, sau thời gian đặt trước nguồn sẽ phát tín hiệu điện áp đầu ra để cho phép hồi tiếp tín hiệu. Hồi tiếp ổn định dòng điện là hồi tiếp âm. Tín hiệu sau hồi tiếp sẽ qua bộ PI và bộ hạn chế để tạo tín hiệu đặt cho bộ nghịch lưu.



Hình 4.33: Sơ đồ khối phản hồi dòng



#### 4.6. Kết quả mô phỏng mạch kín

Trong quá trình mô phỏng mạch hồi tiếp dòng điện ta sẽ tiến hành theo hai phần:

- + Cố định tải và khảo sát dòng điện trong mạch khi có biến thiên tần số.
- + Cố định tần số và khảo sát khả năng ngắt dòng khi tải biến đổi.

##### 4.6.1. Khảo sát ổn định dòng khi tần số thay đổi.

###### Thông số đặt của mạch hiệu chỉnh

Xét quá trình vận hành của mạch hở:

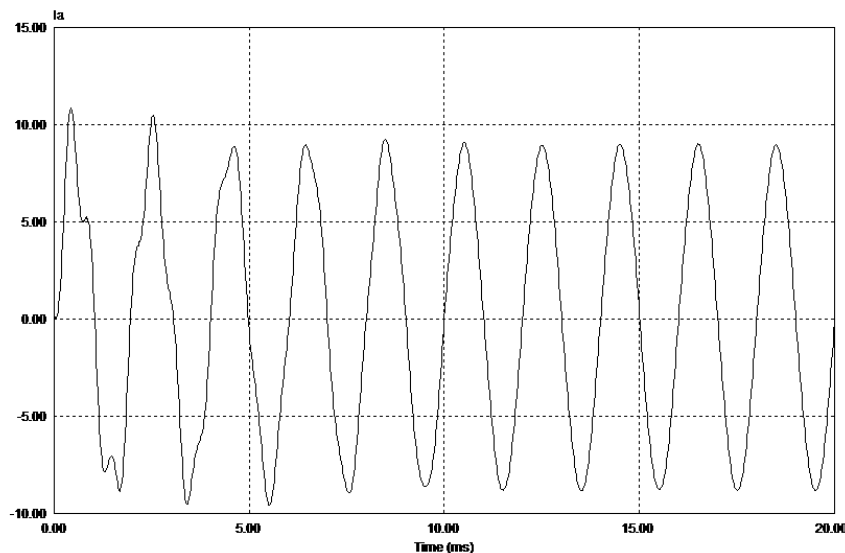
- + Chọn biên độ điện áp sóng mang:  $U_m = 5,77 \text{ V}$

Do ta chọn điều khiển trong đoạn tuyến tính nên biên độ điện áp sóng điều biên  $U_{db} = 5,77 \text{ V}$ .

Khi điện áp ra cực đại thì hệ số điều biến biên độ bằng 1. Khi chọn hệ số điều biến biên độ bằng 1 thì ta sẽ có công suất ra của bộ nghịch lưu cực đại. Tính toán ở trên thì khi điện áp ra cực đại ta có hai thông số: công suất ra là 5 kW và dòng điện đầu ra là 5,77 A. Do ổn định dòng điện nên thông số cần ổn định là ta phải biến đổi điện áp sao cho dòng điện đầu ra luôn là 5,77 A với mọi dải tần số của bộ nghịch lưu.

$$\text{Biên độ dòng điện ra } I_0 = 5,77 \cdot \sqrt{2} = 8,16 \text{ A}$$

Khi hệ hở ta đặt hệ số điều biến biên độ bằng 1, với tải định mức thì dòng điện đầu ra của bộ nghịch lưu có dạng như hình 4.34.



Hình 4.34: Dạng sóng dòng điện đầu ra của mạch hở

Biên độ dòng điện đầu ra qua phép đo bằng hồ trợ của PESIM ta có:

$$I_{0h} = 8,97 \text{ A}$$

Điện áp đầu ra:

$$U_0 = \frac{762,83}{\sqrt{2}} = 539,40 \text{ V}$$

ta thấy dòng điện đầu ra vượt quá giá trị cho phép. Qua đó ta có được hệ số truyền đạt của bộ nghịch lưu với tải định mức:

$$K_b = \frac{U_{0h}}{U_d} = \frac{539,40}{5,77} = 93,484$$

Điện áp ra vượt quá trị số cho phép, muốn đạt giá trị điện áp 500 V thì điện áp đặt cho nghịch lưu (khi hệ hở) là:

$$U_{0d} = \frac{500}{93,484} = 5,349 \text{ V}$$

Điện áp đặt này chính là điện áp đặt cho ba pha abc và cũng có giá trị bằng điện áp đặt cho hai trục  $\alpha\beta$ . Do vậy điện áp cần hiệu chỉnh qua mạch hồi tiếp dòng điện:

$$\Delta U = U_0 - U_{0d} = 5,77 - 5,439 = 0,331 \text{ V}$$

Do vậy ta có:

$$U_{aph} = U_{bph} = 0,331 \text{ V}$$

Điện áp phản hồi được lấy qua phản hồi dòng điện ở chế độ dòng định mức.

Do ta lấy hệ số của máy biến dòng bằng 1 nên giá trị dòng điện đầu ra của máy biến dòng điện là 5,77 A.

Chọn điện trở đầu ra của biến dòng là  $1 \Omega$ .

Chọn hệ số bộ biến đổi dòng áp là 1 nên ta có điện áp ở đầu ra của bộ biến đổi điện áp là 5,77 V.

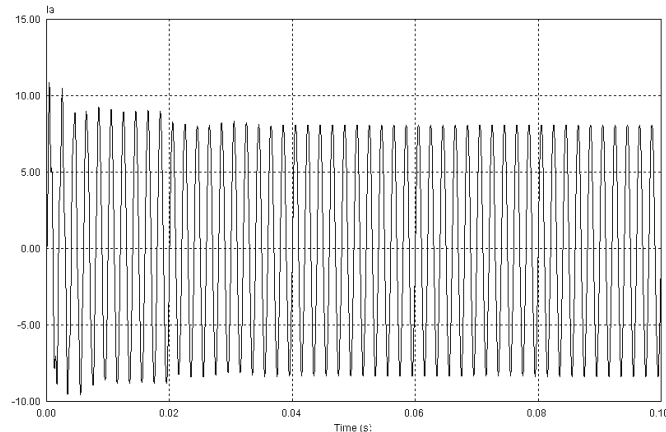
Điện áp ra của bộ biến đổi dòng áp được cung cấp trực tiếp cho bộ biến đổi  $abc/\alpha\beta$  là 5,77 V. Do bộ biến đổi  $abc/\alpha\beta$  chỉ biến đổi trục toạ độ mà không biến đổi giá trị biên độ điện áp nên giá trị điện áp của đầu ra  $\alpha\beta$  cũng có giá trị là 5,77 V. Chọn điện trở  $R1 = 0,331 \text{ k}\Omega$ . Khi đó điện trở  $R2$  có giá trị

$$R2 = 5,77 - 0,331 = 5,439 \text{ k}\Omega$$

Khi chọn xong giá trị điện trở ta tiến hành thay giá trị điện trở và chạy mô phỏng.

Kết quả chạy mô phỏng

Chọn thời gian bắt đầu hồi tiếp tín hiệu là 0,02s. Ta có kết quả như sau:



Hình 4.35: Đồ thị dòng điện ra khi có hồi tiếp ở tần số 500 Hz

Bằng hỗ trợ của PESIM ta đo được biên độ dòng điện ra khi có hồi tiếp dòng điện:

$$I_{\max} = 8,20 \text{ V}$$

Giá trị hiệu dụng dòng điện ra:

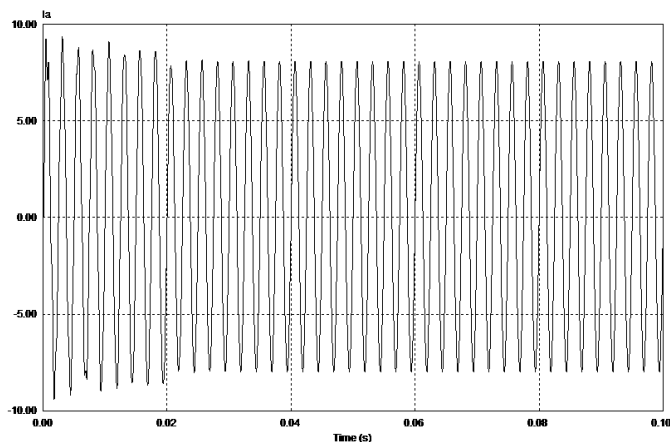
$$I = \frac{8,20}{\sqrt{2}} = 5,79 \text{ A}$$

Sai lệch dòng điều khiển:

$$\Delta I \% = \frac{5,79 - 5,77}{5,77} \cdot 100\% = 0,34 \%$$

Thay đổi tần số ta có các giá trị dòng điện đầu ra.

Khi tần số nghịch lưu là 400 Hz.



Hình 4.36: Đồ thị dòng điện khi tần số 400 Hz

Bằng phép đo ta có biên độ dòng điện đầu ra:

$$I_{\max} = 8,19 \text{ A}$$

Giá trị hiệu dụng dòng điện đầu ra:

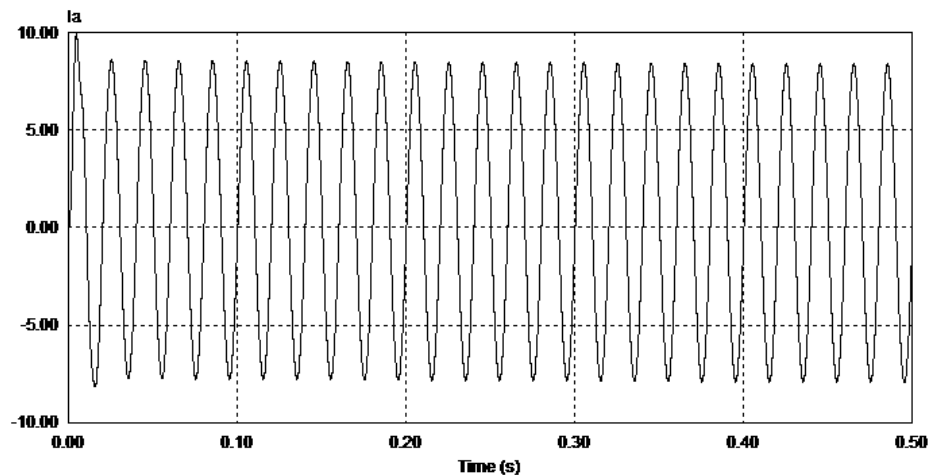
$$I = \frac{8,19}{\sqrt{2}} = 5,78 \text{ A}$$

Sai số dòng điện điều chỉnh:

$$\Delta I \% = \frac{5,78 - 5,77}{5,77} \cdot 100\% = 0,17 \%$$

Khi tần số nghịch lưu 300 Hz, 200 Hz, 100 Hz ta mô phỏng tương tự và sai số luôn nằm dưới 2%.

Khi tần số là 50 Hz



Hình 4.37: Đồ thị dòng điện khi tần số 50 Hz

Biên độ dòng điện đầu ra:

$$I_{\max} = 8,46 \text{ A}$$

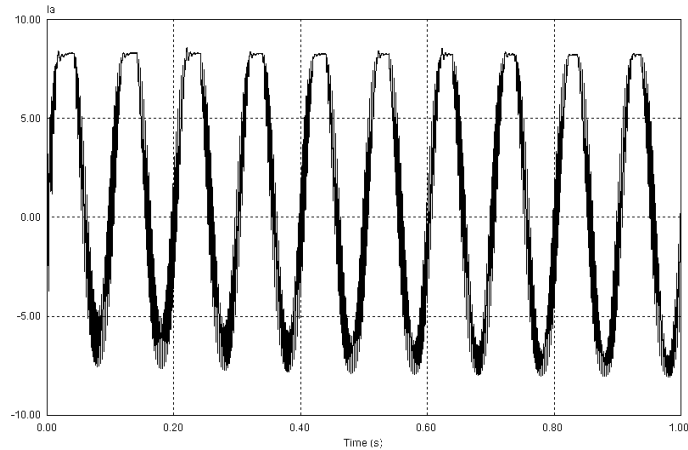
Giá trị hiệu dụng của dòng điện đầu ra:

$$I = \frac{8,46}{\sqrt{2}} = 5,98 \text{ A}$$

Sai số dòng điện điều khiển:

$$\Delta I \% = \frac{5,98 - 5,77}{5,77} \cdot 100\% = 3,64 \%$$

Khi tần số 10 Hz



Hình 4.38: Đồ thị dòng điện khi tần số 10 Hz

Ta thấy do bộ hồi tiếp dòng điện nên dòng điện đầu ra bị giới hạn trên. Giá trị cực đại của dòng điện đo được:

$$I_{\max} = 8,29 \text{ A}$$

Giá trị hiệu dụng của dòng điện:

$$I = \frac{8,29}{\sqrt{2}} = 5,86 \text{ A}$$

Sai số dòng điện điều khiển:

$$\Delta I \% = \frac{5,86 - 5,77}{5,77} \cdot 100\% = 1,56 \%$$

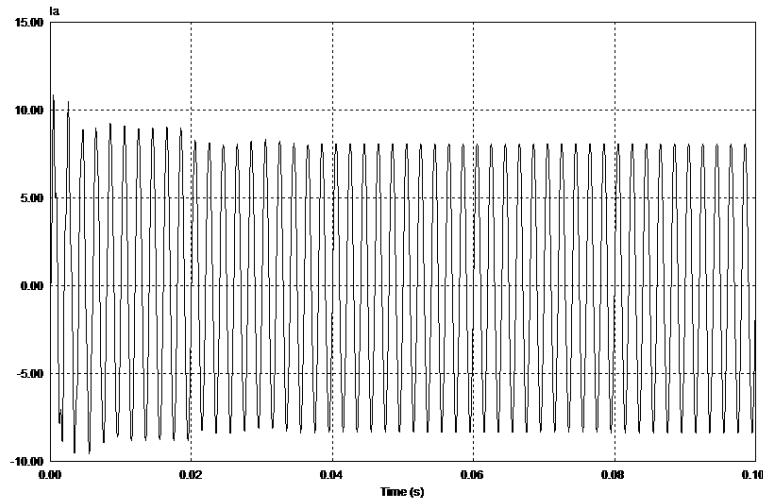
#### Kết luận:

Từ các thống kê ở các dải tần số vận hành của bộ nghịch lưu ta thấy rằng: Nếu lấy sai số điều khiển dòng điện là 5% thì mạch phản hồi dòng điện đáp ứng được yêu cầu điều chỉnh dòng điện tải trước sự thay đổi của tần số đầu ra của bộ nghịch lưu.

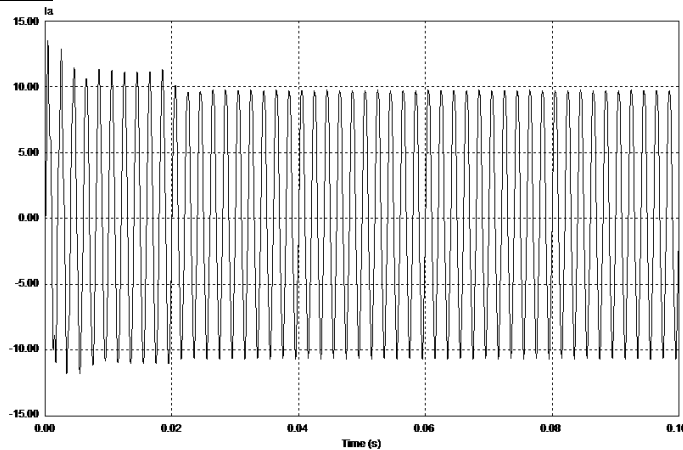
#### **4.6.2. Khi tải bộ nghịch lưu thay đổi**

Như tất cả các hệ thống điều khiển, khi ở ngoài dải điều chỉnh thì mạch phản hồi dòng điện không còn chức năng điều chỉnh nữa mà chỉ còn chức năng ngắt dòng. Trong quá trình kiểm tra đáp ứng của mạch phản hồi dòng điện ta tiến hành thay đổi giá trị điện trở tải, cố định tần số điện áp ra, cố định giá trị dòng điện đặt. Sau khi đặt các thông số ta tiến hành chạy mô phỏng mạch.

#### Khi ở chế độ định mức 500V/500Hz/50 Ω



Hình 4.39: Đồ thị dòng điện ra khi  $R = 50 \Omega$   
 Khi ở  $R = 40 \Omega$



Hình 4.30: Đồ thị dòng điện khi  $R = 40 \Omega$

Kết quả đo cho thấy biên độ dòng điện đầu ra:

$$I_{\max} = 9,87 \text{ A}$$

Giá trị hiệu dụng của dòng điện đầu ra:

$$I = 6,98 \text{ A}$$

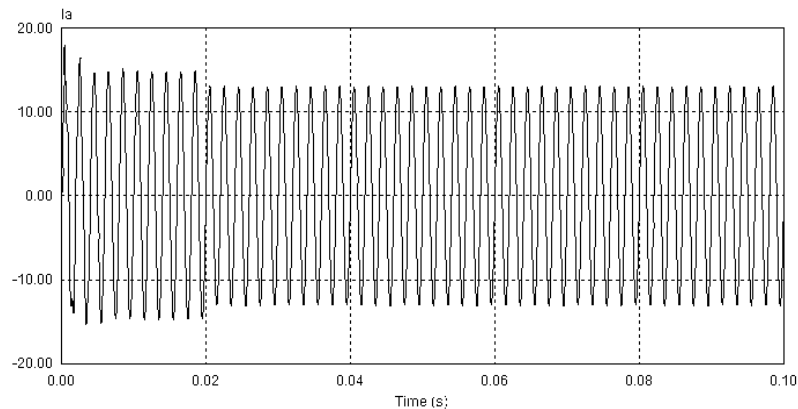
Do ta tiến hành hồi tiếp theo phương pháp tuyến tính nên khi cố định điện áp thì dòng điện sẽ tỷ lệ tuyến tính với giá trị điện trở. Dòng điện tính toán khi có tỷ lệ tuyến tính:

$$I_0 = 5,77 \cdot \frac{50}{40} = 7,21 \text{ A}$$

Sai số điều khiển dòng điện:

$$\Delta I \% = \frac{7,21 - 6,98}{7,21} \cdot 100\% = 3,19 \%$$

Khi  $R = 30 \Omega$



Hình 4.31: Đồ thị dòng điện đầu ra khi  $R = 30 \Omega$

Giá trị biên độ dòng điện đầu ra:

$$I_{\max} = 13,31 \text{ A}$$

Giá trị hiệu dụng của dòng điện đầu ra:

$$I = 9,42 \text{ A}$$

Giá trị tính toán dòng điện đầu ra:

$$I_0 = 5,77 \cdot \frac{50}{30} = 9,61 \text{ A}$$

Sai số trong điều khiển:

$$\Delta I \% = \frac{9,61 - 9,42}{9,61} \cdot 100\% = 1,97 \%$$

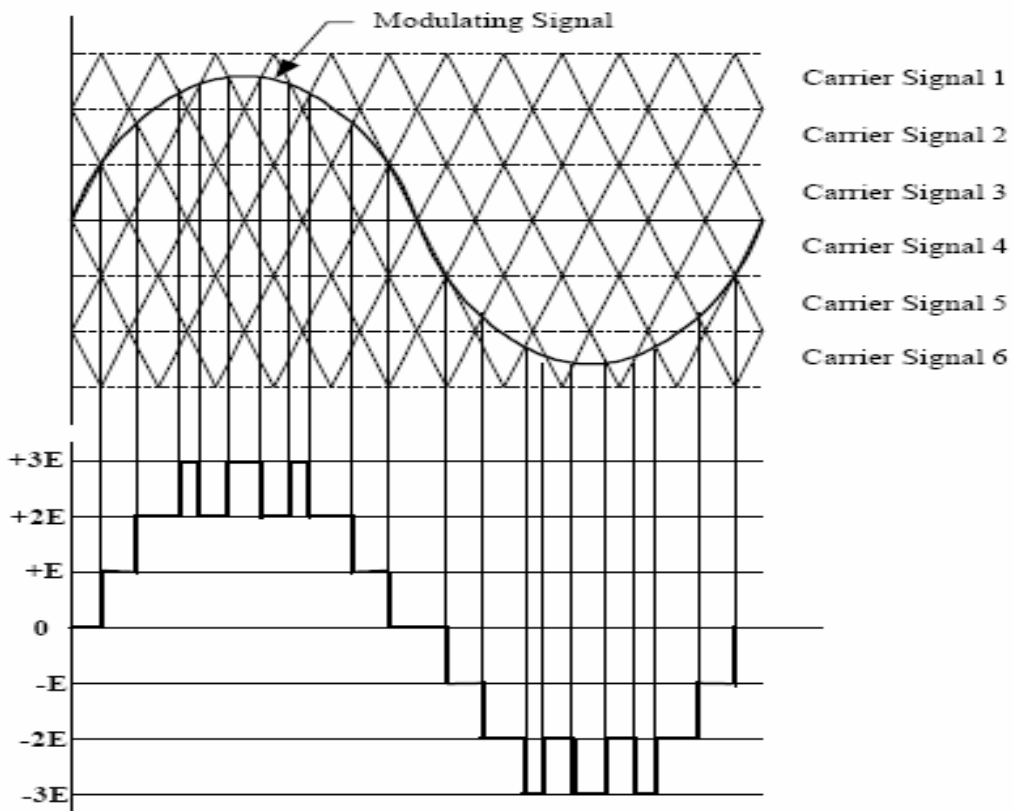
Khi thay đổi các giá trị điện trở ta nhận được các giá trị dòng điện với các sai số nhỏ hơn 5%.

### Kết luận:

Mạch phản hồi dòng điện chỉ có tác dụng ổn định dòng điện theo tải số. Khi tải đầu ra thay đổi thì dòng điện đầu ra thay đổi tuyến tính theo tải nhưng vẫn ổn định theo giá trị tính toán. Muốn có giá trị ổn định dòng điện theo tải ta cần có một mạch tính toán ổn định dòng điện theo tải. Mạch này có chức năng tính toán làm sao để có giá trị tối ưu để có thể có điện áp đặt phù hợp cho mạch nghịch lưu.

Khi có luật điều khiển theo tải thì ta sẽ có luật điều khiển dòng điện, quá trình điều khiển dòng điện do điều chỉnh hồi giá trị hồi tiếp, Tất cả các luật điều khiển dòng chỉ tác động vào giá trị hồi tiếp của dòng điện. Mạch tính toán này thông thường bao gồm khối phát hàm mục tiêu tối ưu, khối nhân chia, khối cộng trừ...mà do khuôn khổ của đồ án tốt nghiệp ta sẽ không có điều kiện đề cập ở đây.

Bộ nghịch lưu được thiết kế đáp ứng được yêu cầu đề ra, do dải tần biến thiên khá lớn nên đáp ứng của bộ nghịch lưu là không hoàn toàn tuyến tính khi cố định thông số bộ lọc. Khi sử dụng hai bộ lọc, tuy ta có thể lọc được sóng hài đến mức tối đa xong sẽ gây phức tạp trong mạch điều khiển, đặc biệt là khi chuyển mạch giữa hai bộ lọc. Việc khắc phục nhiều bộ lọc và làm cho điện áp ra gần sin ờn có thể thực hiện được bằng cách so sánh điện áp sin cơ bản (Modulating Signal) với nhiều điện áp sóng mang (Carrier Signal) như hình 4.32. Theo phương pháp này ta sẽ có được dạng sóng điện áp và dòng điện tối ưu hơn. Sóng điều biến được so sánh với nhiều điện áp sóng mang để tạo ra điện áp tối ưu nhất, số sóng mang được so sánh càng nhiều thì ta sẽ có điện áp càng tối ưu. Do hạn chế của đồ án tốt nghiệp, những vấn đề được đề cập ở trên không thể đi sâu thêm được, những vấn đề này có thể được phát triển ở những đồ án tiếp theo.



*Hình 4.32: Tối ưu hoá dạng sóng bộ nghịch lưu*



## KẾT LUẬN

Trải qua hơn ba tháng làm việc, đề tài tốt nghiệp “Thiết kế bộ nghịch lưu điều biến độ rộng xung - Pulse Width Modulation (PWM)” của em đã được hoàn thành với nội dung đề tài bao gồm 4 chương, tương ứng với nội dung thiết kế được giao. Do thời gian và trình độ còn hạn chế nên bản đồ án của em còn nhiều thiếu sót. Một lần nữa, em rất mong thầy cô thông cảm và chỉ bảo thêm. Em xin chân thành cảm ơn.



NHẬN XÉT CỦA GIÁO VIÊN HƯỚNG DẪN PHẦN MỀM MÔ PHỎNG

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

Số thứ tự	Tên tài liệu	Tác giả
1	Điện tử công suất - Tập 1	Lê Văn Doanh Nguyễn Thế Công Trần Văn Thịnh
2	Điện tử công suất - Tập 2	Lê Văn Doanh Nguyễn Thế Công Trần Văn Thịnh
3	Tài liệu hướng dẫn thiết kế Thiết bị điện tử công suất	Trần Văn Thịnh
4	Điện tử công suất và điều khiển động cơ điện	Cyril W.Lander (Lê Văn Doanh dịch)
5	Thiết kế máy điện	Trần Khánh Hà Nguyễn Hồng Thanh
6	Thiết kế khí cụ điện cao áp	Bộ môn thiết bị điện điện tử
7	Điều khiển động cơ xoay chiều Cấp từ biến tần bán dẫn	Nguyễn Văn Liên Nguyễn Mạnh Tiến Đoàn Quang Vinh
8	Kỹ thuật mạch điện tử	Phạm Minh Hà
9	Điện tử công suất	Nguyễn Bính
10	Phân tích và giải mạch điện tử công suất	Dương Quốc Nghi
11	Lý thuyết điều khiển tuyến tính	Nguyễn Doãn Phước
12	Modern Power Electronics and AC Drives	Bimal K.Bose
13	Power Electronics Circuit Simulation Using PESIM	Lab - Volt (Student manual)
14	Switching Power Supply Design (Second Edition)	Abraham I.Pressman
15	www.ElectronicLetter.com	
16	www.advancedpower.com	Advanced Power Technology Europe