

LỜI GIỚI THIỆU

Để đáp ứng yêu cầu giảng dạy chương trình đào tạo nghề Tự động hóa công nghiệp cũng như việc cung cấp tài liệu giúp cho sinh viên học tập, khoa Cơ Điện tử chúng tôi đã tiến hành biên soạn giáo trình “Điện tử công suất”.

Giáo trình này giúp các bạn có thêm kỹ năng:

- Kiểm tra được chất lượng các linh kiện điện tử công suất
- Lắp được các mạch điện tử công suất ứng dụng trong công nghiệp
- Kiểm tra sửa chữa đạt yêu cầu về thời gian với độ chính xác.
- Thay thế các linh kiện, mạch điện tử công suất hư hỏng.

Đây là công trình được viết bởi đội ngũ giáo viên đã và đang công tác tại trường TCN KTCN Hùng Vương cùng với sự góp ý và phản biện của các doanh nghiệp trong lĩnh vực liên quan, tuy vậy, cuốn sách chắc chắn vẫn không tránh khỏi những khiếm khuyết. Chúng tôi mong nhận được ý kiến đóng góp của bạn đọc để cuốn sách được hoàn thiện hơn trong lần tái bản.

Xin trân trọng giới thiệu cùng bạn đọc!

Quận 5, ngày tháng năm 2018

Tham gia biên soạn

MỤC LỤC

ĐỀ MỤC	TRANG
GIỚI THIỆU MÔ ĐUN.....	1
BÀI 1: TỔNG QUAN VỀ ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT.....	3
1. Quá trình biến đổi công suất.....	3
2. Nguyên tắc hệ biến đổi tĩnh.....	4
2.1. Sơ đồ khối	4
2.2. Các loại tải	6
2.3. Các van biến đổi	6
3. Cơ bản về kỹ thuật điều khiển mạch hở	7
3.1. Khái niệm cơ bản	7
3.2. Các phương pháp điều khiển	10
3.3. Phần tử chấp hành.....	15
4. Kỹ thuật điều chỉnh (Điều khiển mạch kín)	15
4.1. Khái niệm.....	15
4.2. Hoạt động của vòng điều chỉnh	18
4.3. Đặc tính các khâu điều chỉnh cơ bản	22
4.4. Khâu điều chỉnh dùng op-amp	28
BÀI 2: CÔNG TÁC ĐIỆN TỬ (Van bán dẫn công suất).....	38
1.Linh kiện và module	38
1.1. Tổng quan	38
1.2. Diode công suất.....	38
1.3. Thyristor.....	42
1.4. Triac	44
1.5. Đặc tính động của van bán dẫn.....	45
1.6. Ghép diode và thyristor.....	48
1.7. Module bán dẫn công suất	50
1.8. Diode selen.....	51
1.9. Transistor công suất	51
2. Phương pháp bảo vệ Diode Silic	54
2.1. Bảo vệ quá áp.....	54
2.2. Bảo vệ quá dòng và ngắn mạch	59
2.3. Bảo vệ quá nhiệt.....	61

3. Công tắc xoay chiều và 3 pha.....	65
3.1. Đại cương.....	65
3.2. Công tắc xoay chiều.....	66
3.3. Công tắc 3 pha.....	71
3.4. Ứng dụng.....	74
3.5. Hướng dẫn thiết kế.....	80
4. Công tắc một chiều	83
4.1. Đại cương.....	83
4.2. Rò le bán dẫn	83
4.3. Công tắc DC dùng transistor.....	83
4.4. Công tắc DC dùng GTO thyristor	86
4.5. Công tắc DC dùng thyristor	86
BÀI 3: CHỈNH LƯU CÔNG SUẤT KHÔNG ĐIỀU KHIỂN	93
1. Khái niệm cơ bản.....	93
1.1. Ví dụ: Điện áp và dòng điện dạng xung	93
1.2 . Công suất.....	94
1.3. Xác định điện áp gợn sóng.....	95
2. Mạch chỉnh lưu bán kỳ (M1).....	95
2.1 Đại cương.....	95
2.2 Khảo sát điện áp.....	95
2.3 Sóng xung và hệ số gợn sóng	97
2.4 Khảo sát dòng điện.....	97
2.5 Khảo sát công suất	99
3. Chỉnh lưu toàn kỳ (M2)	100
3.1 Đại cương.....	100
3.2 Chỉnh lưu toàn kỳ dùng biến áp có điểm giữa (M2).....	100
3.3 Chỉnh lưu toàn kỳ dùng cầu diode (B2).....	101
3.4 Chỉnh lưu toàn kỳ tải điện cảm.....	104
4. Chỉnh lưu 3 pha.....	105
4.1 Đại cương.....	105
4.2 Mạch chỉnh lưu 3 pha bán kỳ(M3)	105
5. Chỉnh lưu 6 pha.....	110
5.1 Đại cương.....	110

5.2 Khảo sát điện áp.....	111
5.3 Khảo sát dòng điện	113
5.4 Khảo sát công suất	114
6. Tóm tắt.....	115
6.1 Thông số các mạch chỉnh lưu quan trọng.....	115
6.2 Thiết kế một mạch chỉnh lưu	115
6.3 Kết luận.....	116
BÀI 4: CHỈNH LƯU CÔNG SUẤT CÓ ĐIỀU KHIỂN.....	117
1. Đại cương	117
2. Biến đổi công suất bán phần.....	117
2.1 Đại cương.....	117
2.2 Biến đổi bán phần tải thuần trở.....	117
2.3 Biến đổi công suất điều khiển bán phần tải điện cảm	120
2.4 Biến đổi công suất bán phần tải trở kháng	121
3. Biến đổi công suất toàn phần	121
3.1 Đại cương.....	121
3.2 Mạch biến đổi cầu điều khiển toàn phần (B2).....	122
3.3 Mạch chỉnh lưu 3 pha bán kỳ có điều khiển M3	126
3.4 Mạch cầu 3 pha điều khiển toàn phần (B6)	132
3.5 Đặc tính tải.....	140
4. Biến đổi cầu điều khiển bán phần	141
4.1 Đại cương.....	141
4.2 Mạch biến đổi cầu điều khiển bán phần	142
4.3 Mạch cầu 6 xung điều khiển bán phần	147
5. Khảo sát công suất.....	149
5.1 Đại cương.....	149
5.2 Công suất trong kỹ thuật biến đổi công suất	150
5.3 Các mạch lưu trữ công suất phản kháng.....	152
5.4 Ảnh hưởng công suất phản kháng lên hệ thống	154
Bài 5: ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP XOAY CHIỀU	156
1. Điều chỉnh điện áp 1 pha	156
2. Điều chỉnh điện áp xoay chiều 3 pha	158
Luật điều khiển	159

3. Bộ biến đổi xung áp xoay chiều chuyển mạch cưỡng bức.....	162
Bài 6: NGHỊCH LƯU	164
1. Giới thiệu chung	164
2. Bộ nghịch lưu áp 1 pha.....	164
2.1.Cấu tạo	165
2.2. Nguyên lý làm việc	165
2.3. Các phương pháp chọn van cho sơ đồ	166
3. Bộ nghịch lưu áp 3 pha.....	171
3.1.Cấu tạo và hoạt động.....	171
3.2. Tính chọn van và điôt	174
CÂU HỎI ÔN TẬP	178
TÀI LIỆU THAM KHẢO	182

GIỚI THIỆU MÔ ĐUN

Vị trí, tính chất của mô đun

- * Vị trí của mô đun: Mô đun được bố trí dạy sau khi học xong các môn học cơ bản chuyên môn như linh kiện điện tử, đo lường điện tử, kỹ thuật xung - số... và học trước khi học các mô đun chuyên sâu như PLC...
- * Tính chất của mô đun: Là mô đun bắt buộc.

Mục tiêu của mô đun

Sau khi học xong môđun này người học có năng lực:

- * Về kiến thức:
 - Hiểu được cấu tạo và nguyên lý hoạt động của các linh kiện điện tử công suất
 - Biết được các thông số kỹ thuật của linh kiện
 - Phân tích được nguyên lý làm việc của mạch điện tử công suất
- * Về kỹ năng:
 - Kiểm tra được chất lượng các linh kiện điện tử công suất
 - Lắp được các mạch điện tử công suất ứng dụng trong công nghiệp
 - Kiểm tra sửa chữa đạt yêu cầu về thời gian với độ chính xác.
 - Thay thế các linh kiện, mạch điện tử công suất hư hỏng.
- * Về thái độ:
 - Rèn luyện tính tỷ mỉ, chính xác và an toàn vệ sinh công nghiệp

Nội dung mô đun

1. Tổng quan về điện tử công suất
2. Công tắc điện tử (van bán dẫn công suất)
3. Chỉnh lưu công suất không điều khiển
4. Chỉnh lưu công suất có điều khiển
5. Điều chỉnh điện áp xoay chiều
6. Nghịch lưu

Tailieu.vn

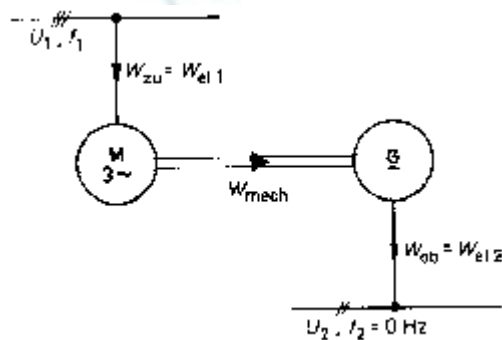
BÀI 1: TỔNG QUAN VỀ ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

1. Quá trình biến đổi công suất

Điện tử công suất có thể được xếp vào phạm vi các môn thuộc về kỹ thuật năng lượng của ngành kỹ thuật điện nói chung. Tuy nhiên việc nghiên cứu không chỉ dừng lại ở phần công suất mà còn được ứng dụng trong các lĩnh vực điều khiển khác

Kể từ khi hiệu ứng chỉnh lưu của miền tiếp xúc PN được công bố bởi Shockley vào năm 1949 thì ứng dụng của chất bán dẫn càng ngày càng đi sâu vào các lĩnh vực chuyên môn của ngành kỹ thuật điện và từ đó phát triển thành ngành *điện tử công suất* chuyên nghiên cứu về khả năng ứng dụng của chất bán dẫn trong lĩnh vực năng lượng

Với sự thành công trong việc truyền tải dòng điện 3 pha vào năm 1891, dòng điện một chiều được thay thế bởi dòng điện xoay chiều trong việc sản xuất điện năng, do đó để cung cấp cho các tải một chiều cần thiết phải biến đổi từ dòng điện xoay chiều thành một chiều, yêu cầu này có thể được thực hiện bằng hệ thống máy phát - động cơ như vẽ ở hình 1.1. Hiện nay phương pháp này chỉ còn áp dụng trong kỹ thuật hàn điện



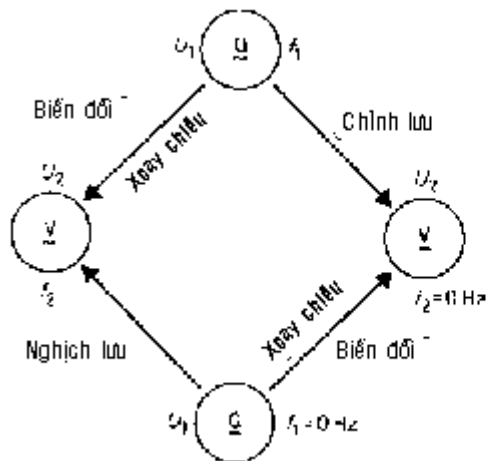
Hình 1.1 Nguyên lý hệ biến đổi quay

Thay thế cho hệ thống máy điện quay nói trên là việc ứng dụng đèn hơi thủy ngân để chỉnh lưu kéo dài trong vòng 50 năm và sau đó chấm dứt bởi sự ra đời của thyristor.

Điện tử công suất nghiên cứu về các phương pháp biến đổi dòng điện và cả các yêu cầu đóng/ngắt và điều khiển, trong đó chủ yếu là kỹ thuật đóng/ngắt trong mạch điện một chiều và xoay chiều, điều khiển dòng một chiều, xoay chiều, các hệ thống chỉnh lưu, nghịch lưu nhằm biến đổi điện áp và tần số của nguồn năng lượng ban đầu sang các giá trị khác theo yêu cầu (hình 1.2)

Ưu điểm của các mạch biến đổi điện tử so với các phương pháp biến đổi khác được liệt kê ra như sau:

- Hiệu suất làm việc cao



Hình 1.2 Dòng năng lượng trong hệ biến đổi tĩnh. Q: Nguồn; V: Tải

- Kích thước nhỏ gọn
- Có tính kinh tế cao
- Vận hành và bảo trì dễ dàng
- Không bị ảnh hưởng bởi khí hậu, độ ẩm nhờ các linh kiện đều được bọc trong vỏ kín
- Làm việc ổn định với các biến động của điện áp nguồn cung cấp
- Dễ dự phòng, thay thế
- Tuổi thọ cao
- Không có phần tử chuyển động trong điều kiện tỏa nhiệt tự nhiên, có thể làm mát bằng quạt gió để kéo dài tuổi thọ
- Đáp ứng được các giá trị điện áp và dòng điện theo yêu cầu bằng cách ráp song song và nối tiếp các thyristor lại với nhau.
- Chịu được chấn động cao, thích hợp cho các thiết bị lưu động
- Phạm vi nhiệt độ làm việc rộng, thông số ít thay đổi theo nhiệt độ
- Đặc tính điều khiển có nhiều ưu điểm

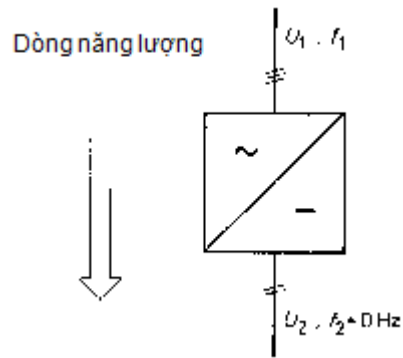
2. Nguyên tắc hệ biến đổi tĩnh

2.1. Sơ đồ khối

Trong lĩnh vực điện tử công suất, để biểu diễn các khối chức năng người ta dùng các ký hiệu sơ đồ khối, điện năng truyền từ nguồn (có chỉ số 1) đến tải (có chỉ số 2)

a. Chỉnh lưu

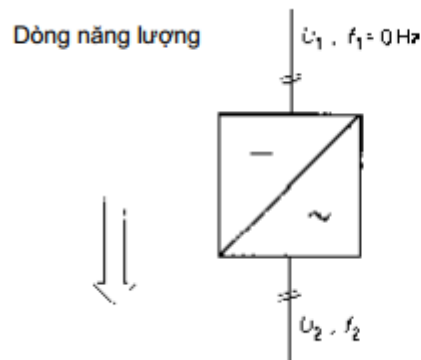
Nhiệm vụ của mạch chỉnh lưu nhằm biến đổi năng lượng nguồn xoay chiều một pha hoặc ba pha sang dạng năng lượng một chiều (hình 1.3)



Hình 1.3 Sơ đồ khối hệ chỉnh lưu

b. Nghịch lưu

Nhiệm vụ mạch nghịch lưu nhằm biến đổi năng lượng dòng một chiều thành năng lượng xoay chiều một pha hoặc ba pha (hình 1.4)

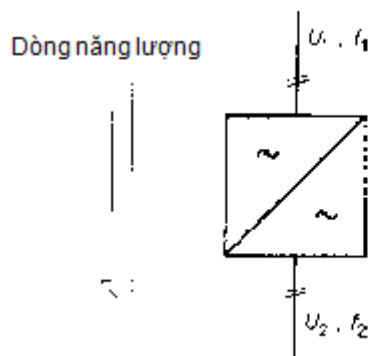


Hình 1.4 Sơ đồ khối hệ nghịch lưu

c. Các hệ biến đổi

Các mạch biến đổi nhằm thay đổi:

- Dòng xoay chiều có điện áp, tần số và số pha xác định sang các giá trị khác (hình 1.5)



Hình 1.5 Sơ đồ khối hệ biến đổi

- Dòng một chiều có điện áp xác định sang dòng một chiều có giá trị điện áp khác (converter DC to DC)

Mạch biến đổi thường là sự kết hợp từ mạch chỉnh lưu và mạch nghịch lưu. Do đó, lại được chia làm hai loại: Biến đổi trực tiếp và biến đổi có khâu trung gian

2.2. Các loại tải

Tính chất của tải có ảnh hưởng rất quan trọng đến chế độ làm việc của các mạch điện, người ta chia tải thành các loại như sau:

a. Tải thụ động

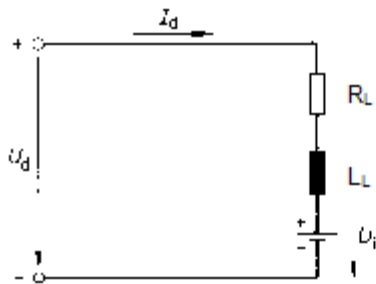
Tải thuần trở chỉ bao gồm các điện trở thuần, đây là loại tải đơn giản nhất, dòng điện qua tải và điện áp rơi trên tải cùng pha với nhau. Loại này được ứng dụng chủ yếu trong lĩnh vực chiếu sáng và trong các lò nung.

Tải cảm kháng có đặc tính lưu trữ năng lượng, tính chất này được thể hiện ở hiện tượng san bằng thành phần gợn sóng có trong điện áp một chiều ở ngõ ra của mạch chỉnh lưu và xung điện áp cao xuất hiện tại thời điểm cắt tải

Các ứng dụng quan trọng của loại tải này là: Các cuộn kích từ trong máy điện (tạo ra từ trường), trong các thiết bị nung cảm ứng và các lò tôi cao tần. Trong các trường hợp này điện cảm thường được mắc song song với điện dung để tạo thành một khung cộng hưởng song song

b. Tải tích cực

Các loại tải này thường có kèm theo một nguồn điện áp (hình 1.6) như các van chỉnh lưu ở chế độ phân cực nghịch. Ví dụ: Quá trình nạp điện bình ắc quy và sức phản điện của động cơ điện



Hình 1.6 Sơ đồ tương đương của một tải trở kháng với sức phản điện

2.3. Các van biến đổi

Các van điện là những phần tử chỉ cho dòng điện chảy qua theo một chiều nhất định. Trong lĩnh vực điện tử công suất đó chính là các diode bán dẫn và thyristor kể cả những transistor công suất

a. Van không điều khiển được (diode)

Một diode lý tưởng chỉ cho dòng điện chạy qua nó khi điện áp anode dương hơn cathode, điện áp ngõ ra của diode chỉ phụ thuộc theo điện áp ngõ vào của diode đó

b. Van điều khiển được (thyristor)

Một chỉnh lưu có điều khiển lý tưởng vẫn không dẫn điện mặc dù giữa anode và cathode được phân cực thuận (anode dương hơn cathode). Điều kiện để các van này dẫn điện là đồng thời với chế độ phân cực thuận phải có thêm xung kích tại cực cổng (U_{AK} dương và U_{GK} dương). Điện áp ngõ ra

không những phụ thuộc theo điện áp vào mà còn phụ thuộc theo thời điểm xuất hiện xung kích (đặc trưng bởi góc kích α)

3. Cơ bản về kỹ thuật điều khiển mạch hở

Vào thế kỷ trước đây, nhờ ứng dụng của cơ khí hóa vào kỹ thuật mà sự phát triển lúc bấy giờ chủ yếu là hướng về khả năng tự động hóa.

Tự động hóa một quá trình có nghĩa là quá trình đó sẽ tự thực hiện theo một chương trình đặt sẵn nào đó nếu hội đủ một số điều kiện cho trước không cần sự tham gia của con người. Ưu điểm của kỹ thuật tự động hóa là độ an toàn, độ chính xác và tính kinh tế rất cao. Kỹ thuật tự động hóa được phân thành hai chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và kỹ thuật điều chỉnh. Tuy nhiên, trong thực tế cũng thường gặp trường hợp kết hợp cả hai. Ví dụ: Phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều bằng cầu chỉnh lưu có điều khiển.

3.1. Khái niệm cơ bản

Từ sự mô tả các van chỉnh lưu ở phần trên có sử dụng khái niệm "van có điều khiển". Các thyristor được điều khiển bằng cách dịch chuyển pha của xung kích và dẫn đến là điện áp ra cũng như công suất rơi trên tải cũng thay đổi theo.

Thuật ngữ "điều khiển" cũng đã nói lên một quá trình mà trong đó một hoặc nhiều đại lượng vào của hệ thống có ảnh hưởng đến các đại lượng ra của hệ thống đó.

Khi các đại lượng ra không được hồi tiếp trở lại ngõ vào, người ta gọi là quá trình hở, hướng tác động của quá trình là cố định và được biểu diễn bằng các mũi tên như trong hình 1.7

Trong thực tế, các khái niệm và tên gọi trong kỹ thuật điều khiển được định nghĩa và sử dụng theo tiêu chuẩn DIN 19226 như sau:

Đại lượng ra X_{out} là một đại lượng vật lý của hệ thống, đại lượng này bị ảnh hưởng theo một quy luật điều khiển nhất định

Đối tượng điều khiển là một khâu trong quá trình điều khiển, là nơi xuất phát đại lượng ra, trong hệ thống truyền động điều chỉnh bằng thyristor: Động cơ và thyristor là đối tượng điều khiển, tốc độ và momen quay là các đại lượng ra.

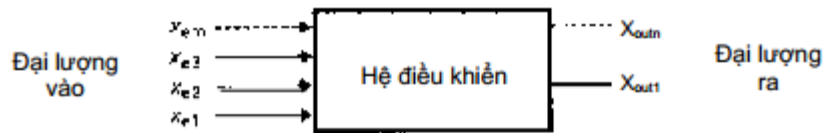
Phần tử chấp hành là một bộ phận của đối tượng điều khiển tác động trực tiếp đến năng lượng hoặc khối lượng cần điều khiển, có loại phần tử tác động gián đoạn như: rơ le, công tắc tơ và cũng có loại tác động liên tục như: Con trượt, van tiết lưu, transistor và mạch chỉnh lưu có điện áp ra thay đổi được

Tín hiệu điều khiển y là tín hiệu tác động vào phần tử chấp hành, đây chính là tín hiệu ra của phần tử điều khiển.

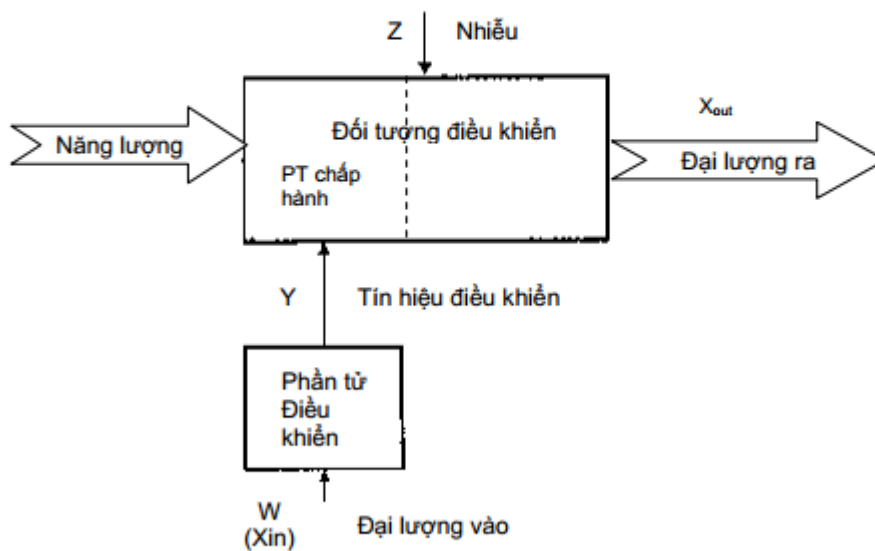
Phần tử điều khiển có nhiệm vụ tạo ra tín hiệu điều khiển, cấu trúc của phần tử điều khiển phụ thuộc theo đại lượng vào.

Đại lượng vào w được đưa từ ngoài vào hệ thống, độc lập với quá trình điều khiển, giữa đại lượng vào với đại lượng ra tồn tại một quan hệ xác định

Nhiều z có nguồn gốc từ nhiều nguyên nhân khác nhau, có thể tạo ra những tác động ngoài ý muốn đến kết quả điều khiển

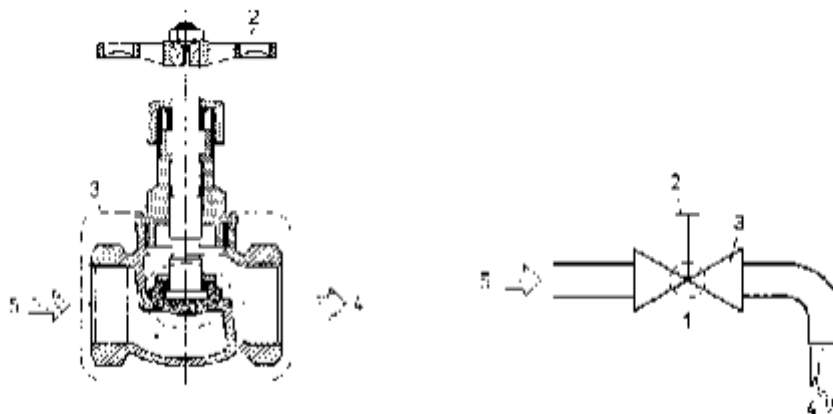


Hình 1.7 Định nghĩa hệ điều khiển hở



Hình 1.8 Sơ đồ khối một hệ điều khiển hở

Ví dụ 1: Hình 1.9 mô tả quá trình điều khiển lưu lượng nước chảy qua một vòi nước

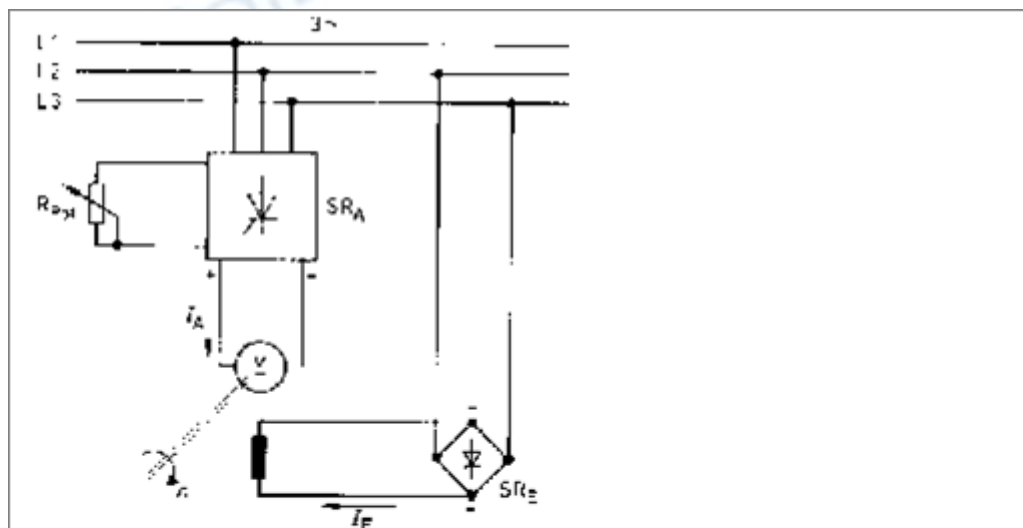


Hình 1.9 Minh họa một hệ điều khiển hở

Kết quả so sánh có thể trình bày như sau:

Đại lượng ra (4)	- Lưu lượng nước
Đối tượng điều khiển (3)	- Ống dẫn của vòi nước
Phần tử chấp hành (1)	- Van cao su
Tín hiệu điều khiển	- Độ mở của van
Phần tử điều khiển (2)	- Tay vặn
Đại lượng vào	- Góc xoay của tay vặn
Nhiều (5)	- Sự thay đổi áp lực nước

Ví dụ 2: Một động cơ một chiều được thay đổi tốc độ bởi mạch chỉnh lưu cầu có điều khiển (SRA) (hình 1.10) điện áp vào là 3 pha



Hình 1.10 Điều chỉnh vô cấp tốc độ động cơ một chiều bằng mạch chỉnh lưu 3 pha thay đổi được điện áp ra

Đại lượng ra	- Tốc độ động cơ
Đối tượng điều khiển	- Mạch chỉnh lưu và động cơ
Phần tử chấp hành	- Thyristor
Tín hiệu điều khiển	- Góc kích
Phần tử điều khiển	- Mạch tạo xung kích
Đại lượng vào	- Điện áp
Nhiều	- Biến thiên của tải và điện áp nguồn

Từ hai ví dụ trên cho thấy: Quy luật của nhiễu thường là không biết trước, để loại bỏ những ảnh hưởng không tốt do nhiễu gây ra cho hệ thống, người ta thường sử dụng các điện áp bù đặt ở ngõ vào.

Ví dụ trong hệ thống điều khiển lò sưởi, nhiệt độ bên ngoài là nhiễu sẽ được cộng thêm với đại lượng vào W do đó, sẽ triệt tiêu được loại nhiễu này

3.2. Các phương pháp điều khiển

Dựa trên nguyên lý làm việc người ta chia thành hai phương pháp điều khiển.

- Điều khiển vô cấp
- Điều khiển gián đoạn

Dựa trên trình tự thực hiện người ta chia thành: Điều khiển theo chương trình, điều khiển theo thời gian, điều khiển theo tuyến, điều khiển theo quá trình và điều khiển lập trình.

3.2.1. Điều khiển vô cấp

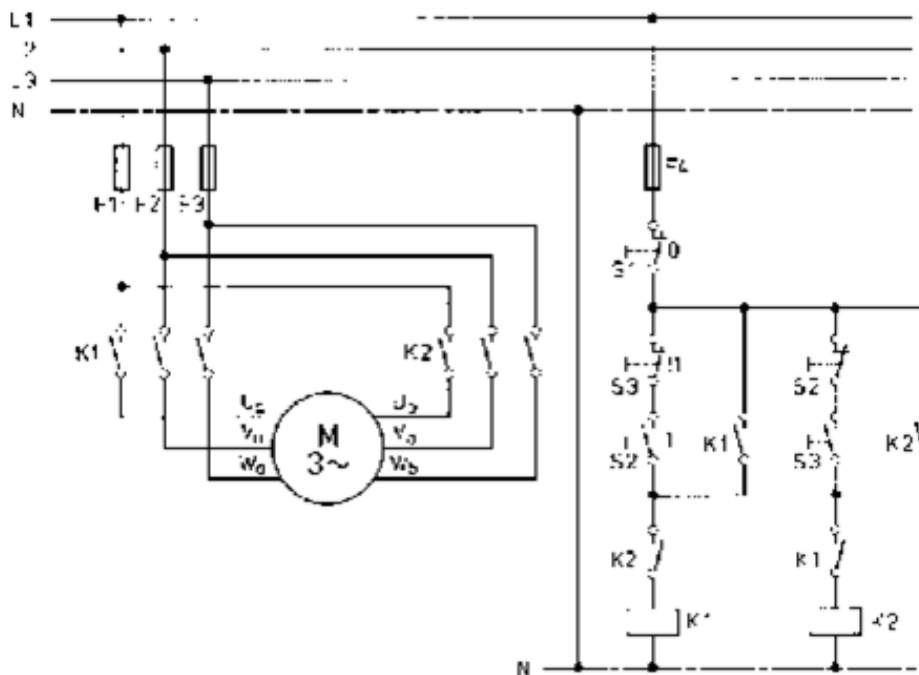
Trong phương pháp này giữa các đại lượng vào và đại lượng ra luôn tồn tại một quan hệ đơn trị ở trạng thái ổn định đến nỗi nhiễu cũng không làm xáo trộn hoạt động của hệ thống. Đại lượng vào w có thể được chỉnh định hoặc thay đổi từ 0 đến $W_{\max}$ bởi công nhân vận hành máy. Mạch điều chỉnh vô cấp độ sáng của đèn là một ví dụ

3.2.2. Điều khiển gián đoạn

Hệ thống điều khiển trong trường hợp này làm việc ở chế độ đóng-ngắt. Trước tiên, đại lượng vào có giá trị tương ứng với mức đóng (ON) để tác động phần tử chấp hành. Hệ thống sẽ chuyển sang trạng thái ngắt ví dụ khi nhấn nút STOP hoặc một tiếp điểm hành trình nào đó.

Phương pháp này được dùng rất phổ biến trong các hệ thống có phần tử chấp hành loại điện cơ như: Rơ le, công tắc tơ

Hình 1.11. Cho thấy một ví dụ mạch chuyển tốc độ nhảy cấp động cơ 3 pha không đồng bộ dùng công tắc tơ.



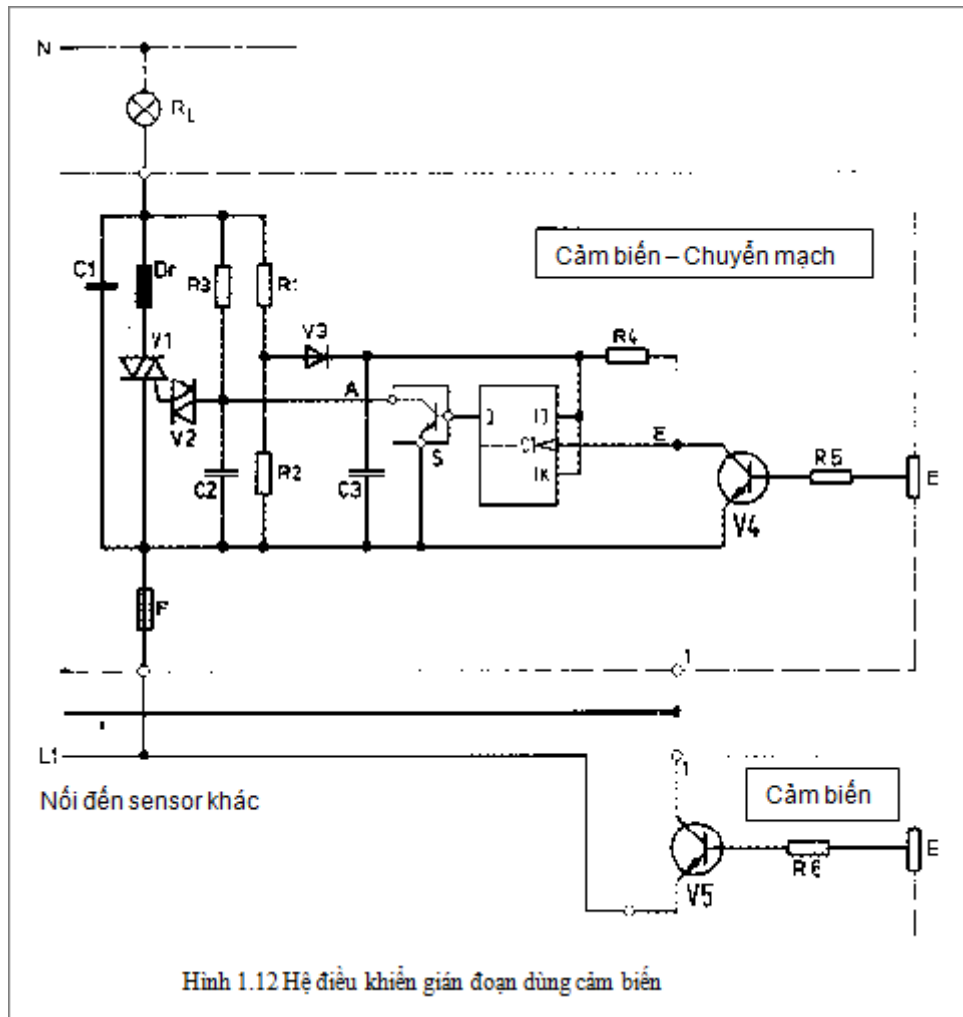
Hình 1.11 Điều khiển tốc độ nhảy cấp động cơ 3 pha hai dây quấn

Nguyên lý hoạt động :

Nút nhấn S2 hoặc S3 tác động đến các cuộn K1 hoặc K2 tùy thuộc vào chế độ làm việc của động cơ ở tốc độ thấp hoặc cao. Mạch chỉ có thể chuyển sang tốc độ khác sau khi tác động S1 (OFF).

Mạch điều khiển đảo chiều cũng tương tự như trên, chiều quay của động cơ 3 pha được điều khiển bằng cách đảo chiều từ trường.

Trong kỹ thuật lắp đặt điện gia dụng, phương pháp điều khiển gián đoạn được thực hiện bởi các rơ le dòng, mạch cảm biến - tiếp điểm và cảm biến - không tiếp điểm (bán dẫn), loại này được trình bày ở hình 1.12



Nguyên lý hoạt động :

Các phần tử R1, R2, V3 và C3 tạo nguồn nuôi cho Flip-Flop và các transistor trong mạch cảm biến và cảm biến, Flip-Flop đóng vai trò một rơ le điện tử. Khi có tín hiệu tại ngõ vào E (do tiếp xúc vào bản cực cảm biến B). Transistor S tắt, triac được kích trong khoảng thời gian từng bán kỳ của điện áp nguồn và lúc này có dòng qua tải. Xung vào tiếp theo làm transistor dẫn, tụ C2 bị ngắn mạch và triac chuyển sang trạng thái tắt, dòng qua tải bằng 0.

Một trường hợp đặc biệt của phương pháp điều khiển gián đoạn là "chế độ tiếp xúc", ở chế độ này trạng thái ON chỉ có hiệu lực khi một nút nhấn hoặc một tiếp điểm nhiều vị trí được duy trì trạng thái đóng, loại này thường gặp ở các cơ cấu nâng, mỗi một chuyển động như: Tới, lui, lên, xuống cần một nút nhấn riêng, trong ứng dụng này vị trí của cần trục là đại lượng ra X_{out}

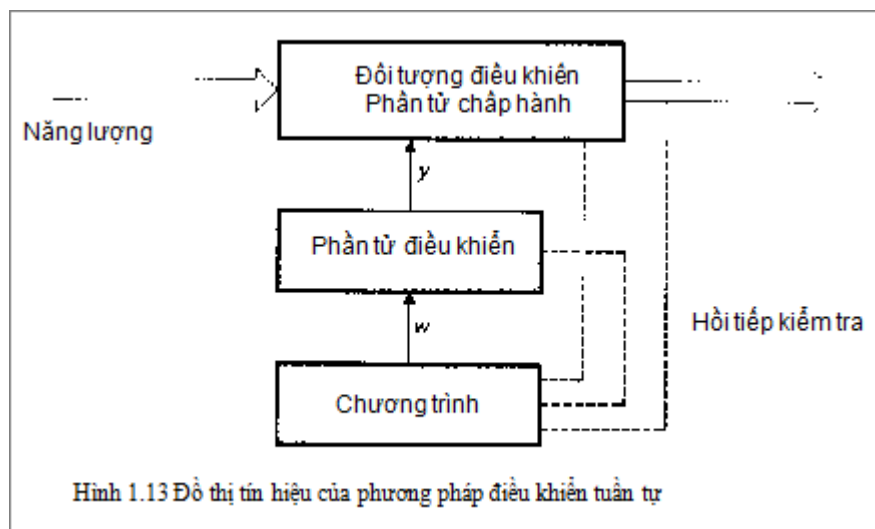
3.2.3. Điều khiển theo chương trình

Điều khiển theo chương trình là sự mở rộng của hai phương pháp điều khiển vô cấp và điều khiển gián đoạn, trong phương pháp này sử dụng các "cảm biến chương trình" và lại được chia làm hai loại: Điều khiển tuần tự theo thời gian và điều khiển theo tuyến.

Một ví dụ điều khiển tuần tự theo thời gian đơn giản nhất là quá trình điều khiển độ sáng bằng thiết bị định thời. Các cảm biến chương trình thường là các đĩa lệch tâm, cam chuyển mạch, băng đục lỗ và các loại băng từ.

Phương pháp điều khiển theo tuyến thường thấy ở các máy tự động gia công kim loại, việc điều khiển tốc độ quay và tốc độ ăn dao phụ thuộc vào vị trí của công cụ. trong lĩnh vực vận tải tốc độ vận chuyển được điều khiển phù hợp theo từng tuyến (tuyến truyền vận, tuyến hãm, vị trí dừng).

Mức phát triển cao hơn của phương pháp điều khiển theo chương trình là phương pháp điều khiển tuần tự theo quá trình (hình 1.13). Trong đó các thao tác hoặc các tiến trình vật lý được thực hiện theo một thứ tự đã được lập trình tùy thuộc vào các trạng thái đạt được của quá trình điều khiển. Chương trình có thể được cài đặt cố định hoặc được đọc ra từ các bìa đục lỗ, băng đục lỗ, băng từ hoặc một thiết bị lưu trữ khác



Một ví dụ đơn giản cho phương pháp này là mạch tự động đổi nối sao-tam giác, điều kiện để mạch được phép chuyển đổi cách nối là phải đạt được thời gian khởi động tối thiểu hoặc tốc độ tối thiểu của động cơ không đồng bộ 3 pha