

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

NGÀNH: ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP

Sinh viên : Nguyễn Văn Cường

Giảng viên hướng dẫn: ThS. Nguyễn Văn Dương

HẢI PHÒNG – 2025

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG

TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN SỐ ĐIỀU KHIỂN
ĐỘNG CƠ DC

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY
NGÀNH: ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP

Sinh viên : Nguyễn Văn Cường
Giảng viên hướng dẫn: ThS. Nguyễn Văn Dương

HẢI PHÒNG – 2025

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Sinh viên : Nguyễn Văn Cường **MSV :** 2112102023
Lớp : DC2501
Ngành: Điện Tự Động Công Nghiệp
Tên đề tài : Tổng hợp bộ điều khiển số điều khiển Động cơ DC

CÁC CÁN BỘ HƯỚNG DẪN ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Họ và tên: Nguyễn Văn Dương

Học vị: Thạc sĩ

Cơ quan công tác: Trường Đại học Quản lý và Công nghệ Hải Phòng

Nội dung hướng dẫn: Toàn bộ đề tài

Đề tài được giao ngày tháng năm 2025

Yêu cầu hoàn thành xong trước ngày tháng năm 2025

Đã nhận nhiệm vụ Đ.T.T.N

Sinh viên

Đã giao nhiệm vụ Đ.T.T.N

Cán bộ hướng dẫn

Nguyễn Văn Cường

ThS. Nguyễn Văn Dương

Hải Phòng, ngày.....tháng.....năm 2025

TRƯỞNG KHOA

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc Lập – Tự Do – Hạnh Phúc

PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN TỐT NGHIỆP

Họ và tên giảng viên: Nguyễn Văn Dương

Đơn vị công tác : Trường Đại học Quản lý và Công nghệ Hải Phòng

Họ và tên sinh viên : Nguyễn Văn Cường

Chuyên ngành : Điện tự động công nghiệp

Nội dung hướng dẫn: Toàn bộ đề tài

1. Tinh thần thái độ của sinh viên trong quá trình làm đề tài tốt nghiệp

.....
.....
.....

2. Đánh giá chất lượng của Đ.T.T.N (so với yêu cầu đã đề ra trong nhiệm vụ Đ.T.T.N, trên các mặt về lý luận thực tiễn, tính toán số liệu...)

.....
.....
.....

3. Ý kiến của giảng viên hướng dẫn tốt nghiệp

Được bảo vệ ☐ Không được bảo vệ ☐ Điểm hướng dẫn ☐

Hải phòng, ngàythángnăm 2025

Giảng viên hướng dẫn

Th.S Nguyễn Văn Dương

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc Lập – Tự Do – Hạnh Phúc

NHẬN XÉT ĐÁNH GIÁ CỦA GIẢNG VIÊN CHẤM PHẢN BIỆN

Họ và tên giảng viên:

Đơn vị công tác:

Họ và tên sinh viên:Chuyên ngành:

Đề tài tốt nghiệp:

.....

1. Phần nhận xét của giảng viên chấm phản biện

.....

.....

.....

2. Những mặt còn hạn chế

.....

.....

.....

3. Ý kiến của giảng viên chấm phản biện

Được bảo vệ ☐ Không được bảo vệ ☐ Điểm phản biện ☐

Hải phòng, ngày.....thángnăm 2025

Giảng viên chấm phản biện

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI

1. Nội dung và các yêu cầu cần giải quyết trong nhiệm vụ đề tài tốt nghiệp

a. Mô tả tóm tắt đề tài

Đề tài tập trung vào việc nghiên cứu, thiết kế và thực hiện bộ điều khiển động cơ DC. Hệ thống điều khiển sử dụng vi điều khiển để điều chỉnh tốc độ và chiều quay của động cơ, có thể áp dụng trong các mô hình thực tế như xe robot, băng chuyền hoặc các thiết bị tự động hóa.

b. Nội dung hướng dẫn

- Tìm hiểu nguyên lý hoạt động của động cơ DC.
- Khảo sát các phương pháp điều khiển động cơ DC.
- Thiết kế mạch điều khiển động cơ DC sử dụng vi điều khiển.
- Lập trình điều khiển tốc độ và chiều quay của động cơ.
- Thiết kế giao diện điều khiển (nếu có).
- Thực hiện mô phỏng hoặc xây dựng mô hình thực tế để kiểm chứng.
- Đánh giá kết quả thực nghiệm và đề xuất hướng cải tiến.

c. Kết quả cần đạt được

- Hiểu rõ về nguyên lý hoạt động và đặc tính của động cơ DC.
- Xây dựng được mạch điều khiển và chương trình điều khiển động cơ DC.
- Có mô hình hoặc sản phẩm thực nghiệm hoạt động ổn định.
- Báo cáo trình bày chi tiết quá trình thực hiện đề tài, phân tích kết quả và hướng phát triển.

2. Các tài liệu, số liệu cần thiết

- Tài liệu kỹ thuật về động cơ DC.
- Tài liệu về vi điều khiển sử dụng trong điều khiển động cơ.
- Tài liệu về thiết kế mạch và lập trình điều khiển.
- Các bài báo, nghiên cứu liên quan đến ứng dụng động cơ DC.

3. Địa điểm thực tập tốt nghiệp

- Trường Đại học Quản lý và Công nghệ Hải Phòng

MỤC LỤC

LỜI MỞ ĐẦU	9
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ ĐIỀU KHIỂN SỐ	10
1.1. NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐIỀU KHIỂN SỐ	10
* Bộ biến đổi A/D.	10
* Bộ biến đổi D/A.	11
* Lấy mẫu tín hiệu.	11
* Các đặc tính lấy mẫu.	12
* Khâu ngoại suy dữ liệu.	13
* Khâu lưu giữ bậc không (ZOH).	13
* Phân loại hệ thống điều khiển số.	15
1.2. BIẾN ĐỔI Z.	15
* Phép biến đổi z.	15
* Biến đổi z của khâu giữ mẫu.	16
* Phép biến đổi Z của khâu trễ.	16
1.3. MÔ TẢ TOÁN HỌC HỆ ĐIỀU KHIỂN SỐ.	17
* Mô tả bằng sơ đồ khối.	18
* Phương trình sai phân	19
* Kỹ thuật biến trạng thái	20
1.4. KHẢO SÁT TÍNH ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG.	20
* Mối liên hệ giữa mặt phẳng Z và mặt phẳng S	22
CHƯƠNG 2. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN SỐ	24
2.1. CÁC PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN SỐ.	24
* Phương pháp RAGAZZINI.	24
* Phương pháp sử dụng đồ thị Bode	25
* Thiết kế theo phương pháp bù pha	26
CHƯƠNG 3. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN SỐ	
ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ DC	31
3.1. ĐỘNG CƠ DC	31

3.1.1. Cấu tạo của động cơ điện chiều	31
3.1.2. Nguyên lý làm việc của động cơ điện 1 chiều	34
3.1.3. Phân loại động cơ điện 1 chiều	35
3.1.4. Đặc tính cơ của động cơ điện 1 chiều	36
3.1.5. Khởi động động cơ điện 1 chiều	40
3.1.6. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện 1 chiều	41
3.1.7. Hàm truyền động cơ DC	42
3.2. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN	42
3.2.1. Bộ PID số	42
3.2.2. Thiết kế bộ điều khiển PID	46
3.3. MÔ PHỎNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN	
PID TRONG SIMULINK	47
3.3.1. Cấu hình chi tiết từng khối + thông số	47
3.3.2. Cách nối các khối (chi tiết từng dây)	49
3.3.3. Code MATLAB tạo mô hình điều khiển số với PID	52
KẾT LUẬN	54
TÀI LIỆU THAM KHẢO	55

LỜI MỞ ĐẦU

Động cơ DC (Direct Current Motor) là một trong những loại động cơ quan trọng và phổ biến trong các hệ thống cơ điện. Với khả năng điều khiển dễ dàng và chính xác về tốc độ và mô-men xoắn, động cơ DC được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như ô tô điện, robot tự hành, các hệ thống điều khiển tự động hóa trong ngành công nghiệp, máy móc cơ khí, và các thiết bị điện tử tiêu dùng.

Tuy nhiên, điều khiển động cơ DC không phải là một vấn đề đơn giản, đặc biệt khi yêu cầu độ chính xác cao và sự ổn định trong quá trình vận hành. Để đáp ứng yêu cầu này, việc sử dụng các bộ điều khiển số là một phương pháp hiệu quả, giúp kiểm soát động cơ chính xác hơn và có thể ứng dụng được trong môi trường có nhiều biến đổi.

Sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ số và vi xử lý đã mở ra nhiều cơ hội ứng dụng bộ điều khiển số trong các hệ thống điều khiển động cơ. Hệ thống điều khiển số không chỉ mang lại lợi ích về mặt tiết kiệm chi phí và độ chính xác cao mà còn giúp giảm thiểu độ trễ, cải thiện sự ổn định của hệ thống.

Do đó, việc nghiên cứu và ứng dụng bộ điều khiển số trong điều khiển động cơ DC không chỉ có ý nghĩa lý thuyết mà còn có ứng dụng thực tế rất lớn, đặc biệt trong các ngành công nghiệp hiện đại, nơi yêu cầu về chất lượng và hiệu suất luôn là yếu tố tiên quyết.

Mục tiêu chính của đồ án là nghiên cứu và tổng hợp một bộ điều khiển số cho động cơ DC, từ đó thực hiện mô phỏng hệ thống điều khiển bằng phần mềm Simulink trong MATLAB. Bộ điều khiển được sử dụng trong đồ án này là bộ điều khiển PID (Proportional-Integral-Derivative), đây là một trong những phương pháp điều khiển phổ biến và hiệu quả trong các ứng dụng công nghiệp.

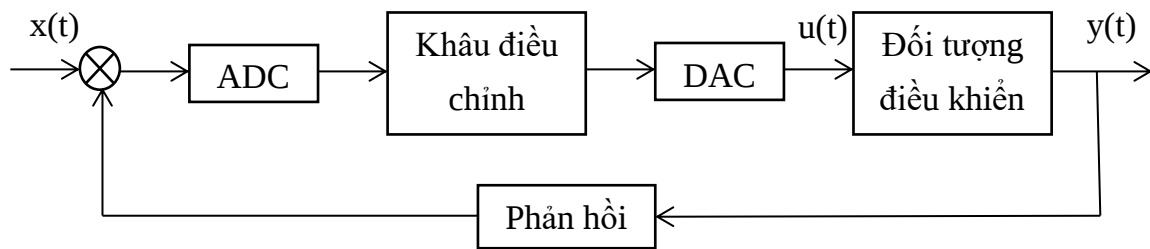
Sinh viên

Nguyễn Văn Cường

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ ĐIỀU KHIỂN SỐ

1.1. NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐIỀU KHIỂN SỐ.

Hệ điều khiển số bao gồm hệ thu thập, xử lý tín hiệu, thường sử dụng vi xử lý, vi điều khiển, các hệ thống lớn có máy tính số... Sơ đồ khối của một hệ điều khiển số được chỉ ra trên hình 1.1.



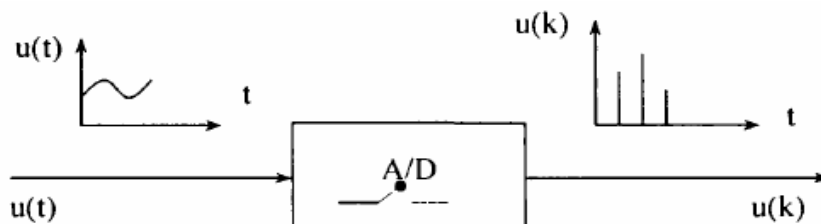
Hình 1.1. Sơ đồ khối hệ điều khiển số

Hệ điều khiển số gồm 2 loại khâu cơ bản:

- Khâu có bản chất gián đoạn: Các tín hiệu vào và ra trạng thái đều gián đoạn thời gian và mức. Khâu này mô tả các thiết bị điều khiển digital.
- Khâu có bản chất liên tục: Mô tả đối tượng điều khiển. Việc gián đoạn hoá xuất phát từ mô hình trạng thái liên tục của đối tượng.
- Bộ biến đổi A/D: làm nhiệm vụ biến đổi tín hiệu từ tín hiệu tương tự sang tín hiệu số.
- Bộ biến đổi D/A: làm nhiệm vụ biến đổi tín hiệu số sang tín hiệu tương tự.
- Bộ điều chỉnh có thể là vi xử lý (μP), có thể là vi điều khiển (μC).

* Bộ biến đổi A/D.

Mô hình biến đổi tín hiệu liên tục thành tín hiệu gián đoạn như sau:

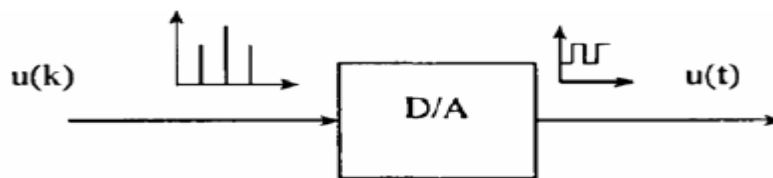


Hình 1.2. Mô hình biến đổi tín hiệu liên tục thành tín hiệu gián đoạn

Việc biến đổi từ tín hiệu liên tục thành tín hiệu rời rạc gọi là quá trình cắt mẫu, thông thường khoảng thời gian cắt mẫu là không đổi. Giữa hai lần lấy mẫu liên tiếp nhau, bộ cắt mẫu không nhận một thông tin nào cả. Phần tử lưu giữ sẽ chuyển đổi tín hiệu đã được lấy mẫu thành tín hiệu gần liên tục, tiệm cận với tín hiệu trước khi nó được lấy mẫu. Phần tử lưu giữ ở đây đơn giản nhất là phần tử chuyển đổi tín hiệu mẫu thành tín hiệu có dạng bậc thang và không đổi giữa hai thời điểm lấy mẫu gọi là phần tử lưu giữ bậc không.

* **Bộ biến đổi D/A.**

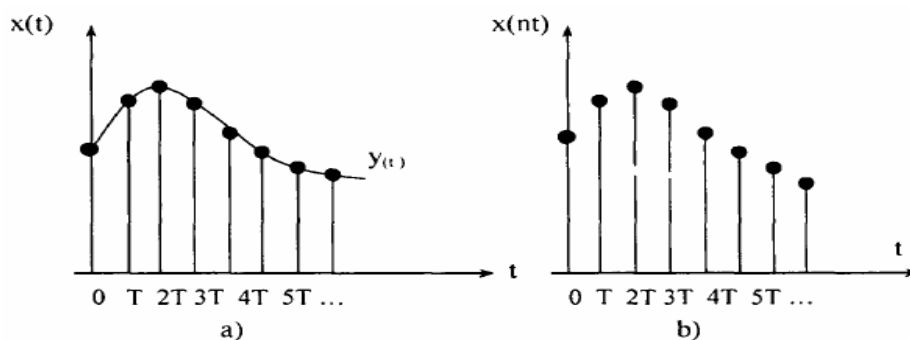
Tín hiệu số được xử lý từ máy tính hoặc từ hệ VXL cần phải chuyển sang tín hiệu tương tự để điều khiển khâu chấp hành. Vì vậy cần có bộ biến đổi từ tín hiệu số sang tín hiệu tương tự gọi tắt là D/A. Mô hình bộ chuyển đổi D/A như hình 1.3.



Hình 1.3. Sơ đồ biến đổi D/A.

* **Lấy mẫu tín hiệu.**

Trong hệ thống điều khiển số tồn tại hai loại tín hiệu: Tín hiệu liên tục và tín hiệu rời rạc, trong khi đó tín hiệu đưa vào đối tượng điều khiển và tín hiệu đo lường là tín hiệu liên tục. Để đưa tín hiệu đó vào máy tính số ta phải biến đổi tín hiệu từ liên tục sang rời rạc.



Hình 1.4. a,b: Đồ thị tín hiệu trước và sau khi lấy mẫu.

Ta xét tín hiệu liên tục như hình vẽ hình 1.4a, ta chia trục thời gian thành những khoảng bằng nhau $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = \dots = T$, tín hiệu sẽ được lấy mẫu tại những khoảng thời gian đó. Sau lấy mẫu tín hiệu có giá trị tại những điểm rời rạc nT . Hàm $x(t)$ được mô tả bởi chuỗi số sau: $x(T), x(2T), x(3T), \dots, x(nT)$. Nó cho biết giá trị của hàm liên tục $x(t)$ tại những điểm rời rạc $0, T, 2T, \dots, nT$.

Trong thực tế khâu điều khiển và đối tượng điều khiển là tương tự vì vậy tín hiệu rời rạc lại được khôi phục lại thành liên tục. Nếu tín hiệu liên tục được giữ không đổi trong suốt thời gian giữa hai lần lấy mẫu, gọi là quá trình lưu giữ bậc không.

* Các đặc tính lấy mẫu.

Bộ lấy mẫu lý tưởng được mô tả như hình 1.5.



Hình 1.5. Sơ đồ khối bộ cắt mẫu lý tưởng.

Bộ cắt mẫu sẽ tạo ra một dãy xung đơn vị từ một tín hiệu thời gian liên tục. Giả thiết hàm lấy mẫu là chuỗi xung đơn vị được biểu diễn bởi:

$$S(t) = \sum_{-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT)$$

$$\text{Trong đó: } \delta(t - nT) = \begin{cases} 0 & \forall_t \neq nT \\ 1 & t = nT \end{cases}$$

Tín hiệu $x(t)$ được điều chế bởi xung đơn vị ký hiệu :

$$\dot{x}(t) = x(t).S(t) = \sum_0^{\infty} x(t)\delta(t - nT) = \sum_0^{\infty} x(nT)\delta(t - nT)$$

Trong đó :

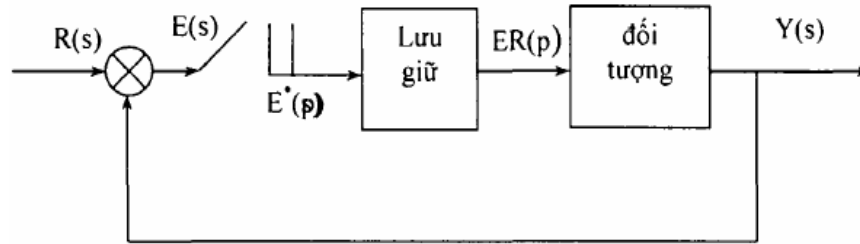
$x(nT)$ là giá trị của hàm $x(t)$ tại thời điểm lấy mẫu nT ;

$\delta(t - nT)$ là một xung đơn vị tại thời điểm nT .

Chuyển sang toán tử Laplace: $x^*(p) = x(nT)e^{-nTp}$.

Vậy biến đổi Laplace của bộ lấy mẫu có thời gian lấy mẫu bằng nhau và chuyển mạch của nó được đại diện bởi chuỗi xung đơn vị là một tập vô hạn.

*** Khâu ngoại suy dữ liệu.**



Hình 1.6. Sơ đồ khâu lưu giữ giữ liệu

Nhiệm vụ của khâu ngoại suy giữ liệu là xây dựng lại hàm đã được lấy mẫu thành một tín hiệu liên tục dựa vào các hàm lấy mẫu trước đó. Trong hệ thống điều khiển số khâu ngoại suy giữ liệu thường tiếp ngay sau bộ lấy mẫu.

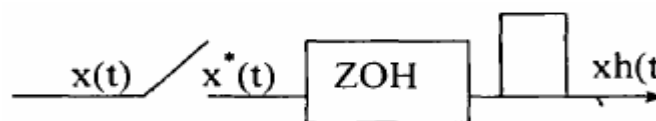
Căn cứ vào khả năng sử dụng số mẫu trước đó để dự đoán hàm đã được lấy mẫu vì ta chia khâu lưu giữ thành hai loại:

- Lưu giữ cấp không (Zero Hold Order - ZOH): Với ZOH tín hiệu được phục hồi chỉ phụ thuộc vào hàm đã được lấy mẫu tại thời điểm bắt đầu của chu kỳ lấy mẫu. Lưu giữ ZOH có thể coi tương tự như một khoá điện tử, nó duy trì mức điện áp đầu ra bằng biên độ xung đầu vào và sau đó tự lặp lại khi có xung mới đặt vào.

- Lưu giữ cấp 1 (First Hold Order - FOH): Tín hiệu được khôi phục lại phụ thuộc vào mẫu trước đó.

Thông thường trong điều khiển số thực tế người ta không sử dụng khâu ngoại suy dữ liệu bậc 1, vì chúng tạo ra sự quá chậm pha trong hệ thống điều khiển có hồi tiếp. Mặt khác làm tăng ảnh hưởng của nhiễu tăng độ phức tạp và giá thành sản phẩm.

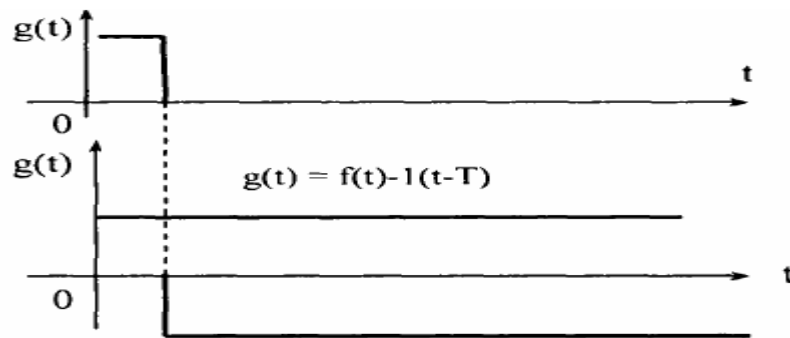
*** Khâu lưu giữ bậc không (ZOH).**



Hình 1.7. Sơ đồ khối khâu lưu giữ bậc không.

Đầu vào của khâu ZOH là xung Dirac, đầu ra là tương tự.

+ Hàm số truyền: Để xây dựng hàm truyền của khâu ZOH ta dựa vào các ứng dụng. Đáp ứng xung của ZOH là xếp chồng của hai hàm nhảy bậc đơn vị (hình 1.8.), một hàm dương tác động tại $t = 0$ và hàm âm tác động tại $t = T$ (T là chu kỳ lấy mẫu).



Hình 1.8. Sơ đồ đáp ứng xung của khâu ZOH.

+ Đáp ứng tần của ZOH:

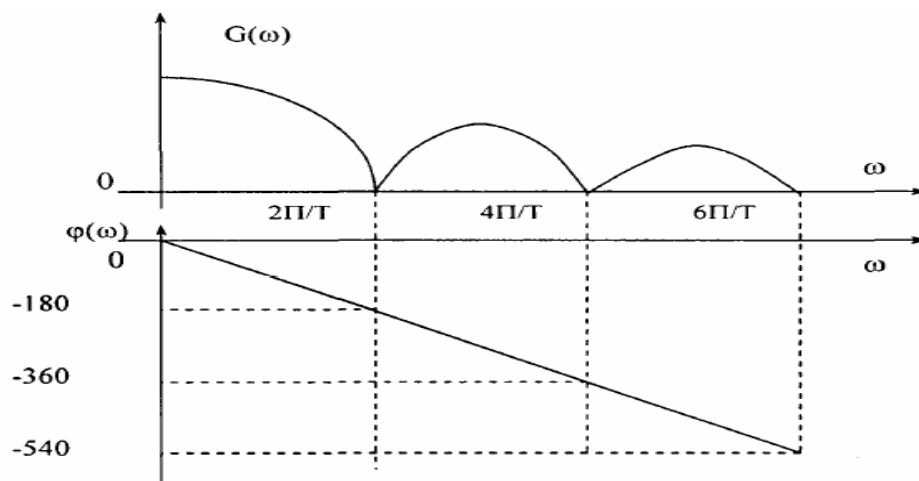
$$G(s) = \frac{1}{s}(1 - e^{-Ts}) \quad \text{Thay } s=j\omega$$

$$\begin{aligned} G(j\omega) &= \frac{1}{j\omega}(1 - e^{-j\omega T}) = \frac{e^{-j\omega T/2}(e^{j\omega T/2} - e^{-j\omega T/2})}{j\omega} \\ &= \frac{2}{\omega} e^{-j\omega T/2} \frac{e^{j\omega T/2} - e^{-j\omega T/2}}{2j} = \frac{2}{\omega} e^{-j\omega T/2} \sin\left(\frac{\omega T}{2}\right) \end{aligned}$$

Nhân tử số và mẫu số với T ta được:

$$G(j\omega) = \frac{T \sin(\omega T/2)}{\omega T/2} e^{-j\omega T/2}$$

Từ đó ta vẽ được đặc tính biên và pha của khâu ZOH như sau:



Hình 1.9. Sơ đồ đặc tính biên và pha của khâu ZOH

Nhận xét:

Hàm truyền của khâu quán tính bậc không tương tự đặc tính bộ lọc thông thấp với tần số cắt $2\pi/T$.

Khi thêm một khâu ZOH thì hệ thống bị chậm pha điều này có thể làm cho hệ thống hồi tiếp ổn định ở dạng liên tục trở thành một ổn định sau khi lấy được mẫu.

*** Phân loại hệ thống điều khiển số.**

Hệ thống điều khiển số được phân thành ba loại:

- *Hệ thống điều khiển đơn*: là hệ thống có thể có nhiều đầu vào nhưng chỉ có một đối tượng điều khiển.
- *Hệ thống điều khiển đa kênh*: Có nhiều đối tượng điều khiển nhưng những đối tượng đó không liên quan đến nhau.
- *Hệ thống điều khiển nhiều chiều*: Có nhiều đối tượng điều khiển và các đối tượng này có liên hệ với nhau.

1.2. BIẾN ĐỔI Z.

*** Phép biến đổi z.**

Nếu có hàm liên tục $f(t)$ ta sẽ có hàm rời rạc $f(it)$ với chu kỳ cắt mẫu T .

Khi đó:

$$f(it) = \sum_{i=0}^{\infty} f(t) \cdot \delta(t - it)$$

Với $\delta(t - it)$ là xung Dirac.

Biến đổi Laplace của hàm $f(it)$ ký hiệu $F^*(s)$.

$$\begin{aligned} F^*(s) &= \int_0^{\infty} f(it) \cdot e^{-st} \cdot dt = \int_0^{\infty} \sum_{i=0}^{\infty} f(t) \cdot \delta(t - it) \cdot e^{-st} \\ &= \sum_{i=0}^{\infty} \int_0^{\infty} f(t) \cdot \delta(t - it) \cdot e^{-st} \cdot dt = \sum_{i=0}^{\infty} f(it) \cdot e^{-ist} \end{aligned}$$

Đặt : $Z = e^{st}$ (với s là toán tử Laplace liên tục).

$$s = \alpha + j\omega.$$

Vậy $s = \frac{1}{T} \ln Z$ (với Z là toán tử rời rạc)

$$Z = e^{\alpha t} \cos(\omega t) + j e^{\alpha t} \sin(\omega t)$$

Do vậy :

$$F^*(s) = \frac{1}{T} \ln(Z) = F(Z) = \sum_{i=0}^{\infty} f(it). Z^{-i}$$

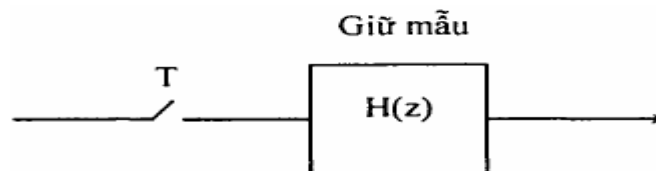
$$F(Z) = \sum_{i=0}^{\infty} f(it). Z^{-i}$$

$F(Z)$ là biến đổi Z của hàm $f(it)$ hay $f(t)$.

$$F(Z) = Z \{ f(i) \}$$

* **Biến đổi z của khâu giữ mẫu.**

Biến đổi Z của khâu giữ mẫu không phải là một biến đổi của đáp tuyến xung, cho nên ta không tìm biến đổi Z của điều chỉnh bằng thời gian T , mà thực hiện biến đổi Z theo sơ đồ sau:



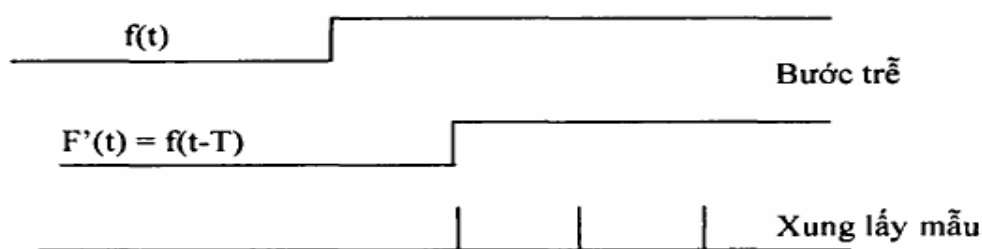
Hình 1.10. Sơ đồ khối khâu giữ mẫu.

$$G(z) = H(z).F(z) = \left(1 - \frac{1}{z}\right) \cdot \frac{Z}{Z-1} = 1$$

Nghĩa là biến đổi Z của khâu giữ mẫu là một xung đơn vị, xung đó có giá trị $= 1$.

* **Phép biến đổi Z của khâu trễ.**

Xét hai hàm rời rạc đơn vị, một hàm là hàm trễ bởi xung đơn vị 'T' từ hàm kia.



Hình 1.11. Đồ thị thời gian của khâu trễ

Biến đổi Z được xác định cho mỗi hàm :

Hàm bước nhảy : $F(z) = \frac{1}{z^0} + \frac{1}{z^1} + \frac{1}{z^2} + \frac{1}{z^3} + \dots$

$$F'(z) = \frac{0}{z^0} + \frac{1}{z^1} + \frac{1}{z^2} + \frac{1}{z^3} + \dots$$

Hàm trễ :

$$= \frac{1}{z} \left[\frac{0}{z^0} + \frac{1}{z^1} + \frac{1}{z^2} + \frac{1}{z^3} + \dots \right] = \frac{1}{z} \cdot F(z)$$

Như vậy để nhận được biến đổi Z của bước trễ ta nhân hàm không trễ với $1/z$ nó cũng đúng cho hàm bất kỳ .

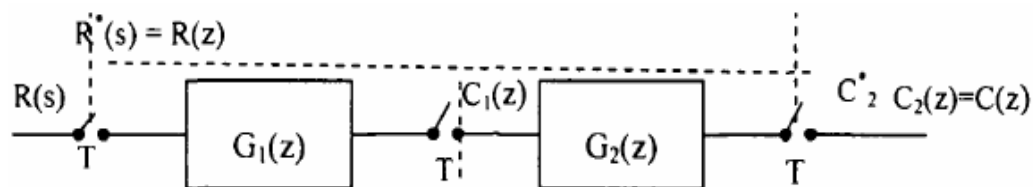
Thông thường chuỗi này sẽ có hội tụ và được cộng lại. Tổng của một chuỗi sẽ bằng :

$$\frac{z}{z-1}$$

1.3. MÔ TẢ TOÁN HỌC HỆ ĐIỀU KHIỂN SỐ.

*** Mô tả bằng sơ đồ khối.**

+ Xét sơ đồ cấu trúc như hình 1.12.

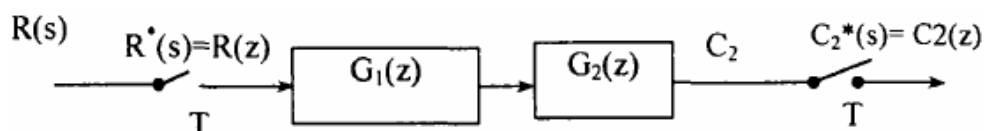


Hình 1.12. Sơ đồ khâu lấy mẫu nối tiếp được phân biệt bởi một bộ lấy mẫu đồng bộ

$$C(z) = R(z) \cdot G_1(z) \cdot G_2(z) = R(z) \cdot G(z)$$

Với : $G(z) = G_1(z) \cdot G_2(z)$.

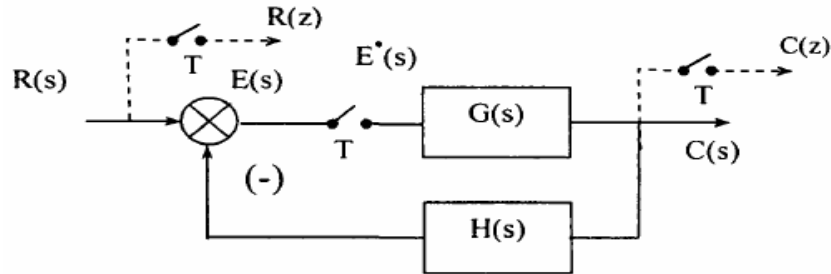
+ Xét sơ đồ cấu trúc như hình 1.13.



Hình 1.13. Sơ đồ khối lấy mẫu nối tiếp không được phân biệt bởi bộ lấy mẫu
Biến đổi Z của tín hiệu đầu ra là :

$$C_2(z) = R(z).Z\{G_1(s)G_2(s)\} = R(z).G_1G_2(z)$$

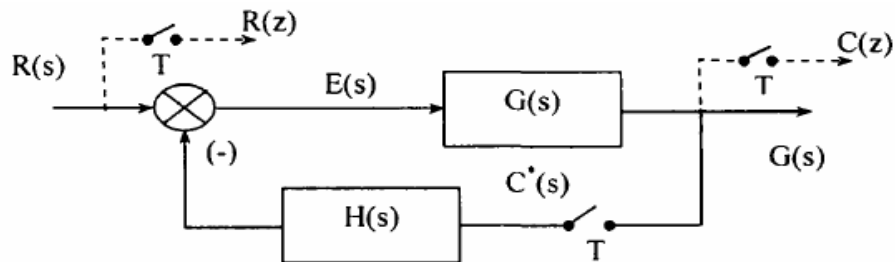
+ Xét sơ đồ cấu trúc như hình 1.14.



Hình 1.14. Sơ đồ bộ lấy mẫu trong kênh sai lệch

$$C(z) = \frac{R(z).G(z)}{1 + G.H(z)}$$

+ Xét sơ đồ cấu trúc như hình 1.15.



Hình 1.15. Sơ đồ bộ lấy mẫu trong vòng hồi tiếp

Ta có hàm truyền biến đổi Laplace ở đầu ra là :

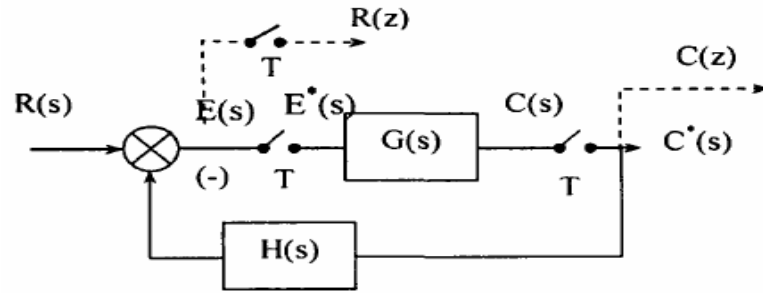
$$E(s) = R(s) - H(s).C^*(s)$$

$$C(s) = G(s).E(s) = G(s).R(s) - G(s).H(s).C^*(s)$$

Thực hiện biến đổi Z phương trình trên ta được:

$$C(z) = G.R(z) - G.H(z).C(z) \Rightarrow C(z) = \frac{R.G(z)}{1 + G.H(z)}$$

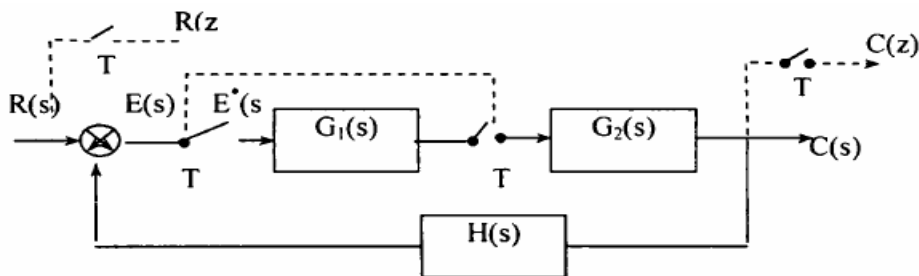
+ Xét sơ đồ cấu trúc như hình 1.16.



Hình 1.16. Sơ đồ bộ lấy mẫu trong vòng thuận.

$$C(z) = \frac{R(z).G(z)}{1 + G(z).H(z)}$$

+ Xét sơ đồ cấu trúc như hình 1.17.



Hình 1.17. Các bộ lấy mẫu đồng bộ và các khâu nối tiếp trong vòng hồi tiếp.

$$C(z) = \frac{R(z)G_1(z).G_2(z)}{1 + H.G_2(z).G_1(z)}$$

* Phương trình sai phân.

Các bộ điều khiển số cần được dùng trong hệ thống, do đó cần phải thành lập quan hệ giữa tín hiệu số và tín hiệu liên tục. Để mô tả hệ liên tục, ta sử dụng phương trình vi phân. Để mô tả hệ rời rạc, ta sử dụng phương trình sai phân. Phương trình sai phân là xét xấp xỉ gần đúng phương trình vi phân được viết ở dạng thuận lợi cho việc lập trình trên máy tính.

Phương trình sai phân tuyến tính hệ số hằng bậc n được viết dưới dạng tổng quát:

$$Y(k+n) + a_{n-1} y(k+n-1) + a_{n-2} y(k+n-2) + \dots + a_0 y(k) = f(k)$$

Trong đó: $y(j)$ (với $j=k, k+1, \dots, k+n$) là các giá trị rời rạc của biến y tại thời điểm lấy mẫu thứ j nếu biến độc lập là thời gian.

Tương tự trong hệ liên tục để thuận tiện ta biến đổi phương trình trên về phương trình trạng thái (để hạ bậc phương trình).

Đặt :

$$x_1(k) = y(k)$$

$$x_2(k) = x_1(k+1) = y(k+1)$$

.....

$$x_{n-1}(k) = x_{n-2}(k+1) = y(k+n-2)$$

$$x_n(k) = x_{n-1}(k+1) = y(k+n-1)$$

$$\Rightarrow x_n(k+1) = -a_0 x_1(k) - a_1 x_2(k) - \dots - a_{n-1} x_n(k) + f(k)$$

Biểu diễn dưới dạng ma trận ta có :

$$X(k+1) = A \cdot X(k) + B \cdot U(k)$$

Với $U(k)=f(k)$

*** Kỹ thuật biến trạng thái**

Hệ phương trình tuyến tính mô tả hệ điều khiển số bậc n có dạng :

$$X(k+1) = A \cdot X(k) + B \cdot U(k)$$

$$C(k)=D \cdot X(k) \text{ (tín hiệu ra)}$$

Trong đó: A, B, D là các ma trận; A, B là ma trận cột; D là ma trận hàng; $C(k)$ là các tín hiệu đầu ra; $X(k)$ là các biến trạng thái; $U(k)$ là các biến điều khiển.

1.4. KHẢO SÁT TÍNH ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG.

Hệ điều khiển số tuyến tính được mô tả bởi phương trình sai phân tuyến tính có dạng tổng quát :

$$a_n y(k+n) + a_{n-1} y(k+n-1) + \dots + a_0 y(k) - u(k)$$

Để xét hệ thống ổn định hay không, ta phải giải phương trình sai phân. Nghiệm tổng quát của phương trình sai phân mô tả hệ thống điều khiển số có dạng :

$$y(nT) = y_0(nT) + y_r(nT)$$

Trong đó : $y_0(nT)$ là nghiệm tổng quát của phương trình sai phân thuần nhất (phương trình sai phân có vế phải bằng 0); $y_r(nT)$ là nghiệm riêng của PTSP.

Nghiem riêng $y_r(nT)$ biểu diễn trạng thái xác lập của hệ thống, nó không ảnh hưởng đến tính ổn định của hệ thống. Nghiệm $y_0(nT)$ mô tả đặc tính của quá trình quá độ, nó ảnh hưởng tới tính ổn định của hệ. Vì vậy, để xét tính ổn định của hệ thống điều khiển số ta cần giải phương trình sai phân thuần nhất:

$$a_n y(k+n) + a_{n-1} y(k+n-1) + \dots + a_0 y(k) = 0$$

Tính chất của nghiệm của phương trình trên được xác định dựa vào nghiệm của phương trình đặc tính:

$$a_n Z^n + a_{n-1} Z^{n-1} + \dots + a_0 = 0$$

Giả thiết phương trình đặc tính có n nghiệm riêng biệt, nghiệm của phương trình sai phân thuần nhất có dạng:

$$y_0(nT) = C_1 z_1^n + C_2 z_2^n + \dots + C_n z_n^n$$

Trong đó: C_i là các hằng số được xác định từ sơ kiện bài toán.

– Hệ thống ĐKS sẽ ổn định khi :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} y_0(nT) = 0$$

Điều kiện trên được xác định thông qua các đặc tính nghiệm số của phương trình đặc tính.

– Khi z_i là nghiệm thực: $z_i = e^{\alpha_i}$ thì điều kiện trên thỏa mãn khi $\alpha_i < 0$ hay $|z_i| < 1$

– Khi z_i là nghiệm phức : $z_i = e^{\alpha_i + j\beta_i} = e^{\alpha_i} e^{j\beta_i}$ hệ sẽ ổn định khi $|z_i| < 1$ hay $e^{\alpha_i} < 1 \Rightarrow \alpha_i < 0$

– Nếu z_i là nghiệm thuần ảo $z_i = e^{j\beta_i}$, quá trình quá độ hệ thống sẽ có thành phần giao động với biên độ không đổi.

Từ những phân tích trên ta rút ra kết luận đối với hệ thống điều khiển số tuyến tính :

– Hệ ổn định nếu phương trình đặc tính của hệ có các nghiệm thực hoặc nghiệm phức có môđun < 1 .

– Hệ không ổn định nếu phương trình đặc tính có một nghiệm thực hoặc nghiệm phức có môđun > 1 .

– Hệ ở biên giới ổn định nếu phương trình đặc tính có nghiệm thuần ảo và các nghiệm khác là nghiệm thực hay phức có môđun < 1 .

* **Mối liên hệ giữa mặt phẳng Z và mặt phẳng S**

Mặt phẳng Z liên hệ với mặt phẳng S theo công thức: $Z = e^{sT}$.

Hai mặt phẳng này đều là các đại lượng phức được biểu diễn trên trục thực và ảo, chỉ khác ở chỗ mặt phẳng S có thứ nguyên của tần số còn mặt phẳng Z thì không có thứ nguyên.

Trục ảo trong mặt phẳng Z giống như trong mặt phẳng S chúng đóng một vai trò quan trọng trong việc nghiên cứu tính ổn định của hệ gián đoạn.

Trục số ảo của mặt phẳng S biểu thị của giá trị $(j\omega)$ đi từ $-\infty \rightarrow 0 \rightarrow \infty$

Đặt: $s = j\omega$ ta có: $Z = e^{sT} = e^{j\omega T} = \cos(\omega T) + j \sin(\omega T)$

– Khi ω tăng từ 0 đến π/T , đường thẳng từ gốc đến điểm Z quay ngược chiều kim đồng hồ và nó vẽ lên một vòng tròn có bán kính là:

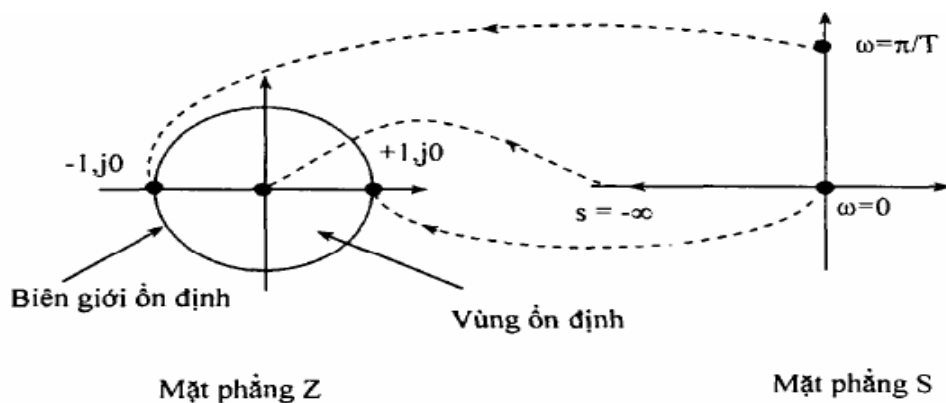
$$R = \sqrt{\cos^2 \omega T + \sin^2 \omega T} = 1$$

– Khi ω tăng từ $-\pi/T$ đến 0, đường thẳng từ gốc đến điểm Z quay cùng chiều kim đồng hồ và nó vẽ lên một vòng tròn có bán kính là 1.

– Khi $s = 0$ suy ra $Z = e^0 = 1$. Khi đó gốc của mặt phẳng S trùng với điểm +1 trên mặt phẳng Z.

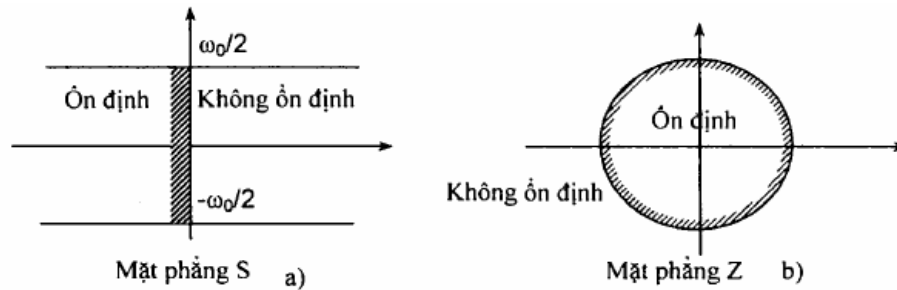
– Khi $s = \infty$ suy ra $Z = e^\infty = 0$. Khi đó gốc của hệ Z trùng với điểm $-\infty$ của mặt phẳng S

Nhận thấy nửa trái của mặt phẳng S (miền ổn định) được thể hiện bằng phần trong đường tròn đơn vị trong mặt phẳng Z.



Hình 1.18. Quan hệ giữa mặt phẳng Z và mặt phẳng S

Trên mặt phẳng S, do tính chất chu kỳ của các đặc tính tần số của hệ thống số nên chỉ cần khảo sát sự phân bố nghiệm số trong dải tần từ $-\omega_0/2 \rightarrow \omega_0/2$ (hình 1.19.). Trong các dải tần tiếp theo, với độ rộng tạo sự phân bố nghiệm số hoàn toàn lặp lại. Hệ thống số ổn định khi tất cả các nghiệm số của phương trình đặc tính phân bố bên trái trục ảo. Khi có nghiệm nằm bên phải trục ảo, hệ thống sẽ không ổn định. Trục ảo là đường biên giới phân vùng ổn định trên mặt phẳng S (Tương tự như hệ thống điều khiển tuyến tính liên tục)



Hình 1.19. Mặt phẳng S và Z.

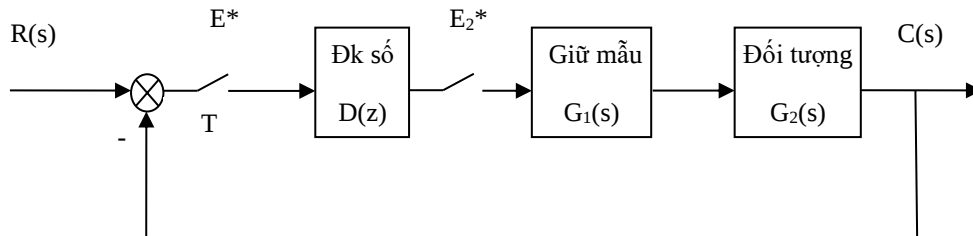
Trên mặt phẳng Z, hệ thống sẽ ổn định khi tất cả các nghiệm số của phương trình đặc tính phân bố bên trong vòng tròn đơn vị. Hệ thống sẽ không ổn định nếu có một nghiệm nào đó nằm ngoài vòng tròn đơn vị. Vậy, vòng tròn đơn vị là biên giới ổn định trên mặt phẳng Z (hình 1.19b).

CHƯƠNG 2. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN SỐ

2.1. CÁC PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN SỐ.

* Phương pháp RAGAZZINI.

Xét hệ điều khiển số có sơ đồ như hình 2.1.



Hình 2.1. Hệ thống điều khiển số một vòng kín

- Hàm truyền của hệ thống kín là :

$$W(z) = \frac{C(z)}{R(z)} = \frac{D(z)G(z)}{1 + D(z)G(z)} \quad (2.1)$$

Trong đó $G(z) : Z\{G_1(s)G_2(s)\}$.

- Từ đó rút ra :

$$D(z) = \frac{1}{G(z)} \frac{W(z)}{1 - W(z)} \quad (2.2)$$

Nội dung phương pháp :

Có 2 phương pháp thiết kế bộ điều khiển :

- Phương pháp 1: Dựa vào biểu thức (2.1) $W(z) = \frac{C(z)}{R(z)} = \frac{D(z)G(z)}{1 + D(z)G(z)}$

Khi đó $D(z)$ được thiết kế sao cho loại bỏ những điểm cực và điểm zero không mong muốn của $G(z)$. Nghĩa là, các nghiệm zero của $D(z)$ là các nghiệm nằm trên hay ngoài đường tròn đơn vị trong mặt phẳng Z của $G(z)$. Và ngược lại các cực của $D(z)$ là các zero nằm trên hay ngoài vòng tròn đơn vị trong mặt phẳng Z của $G(z)$.

- Phương pháp 2 : Dựa vào biểu thức (2.2) $D(z) = \frac{1}{G(z)} \frac{W(z)}{1 - W(z)}$

Các điểm cực và zero nằm trên hay ngoài vòng đơn vị của $G(z)$ có thể loại bỏ bằng đặc tính $(1-W(z))$ và $W(z)$. Để thiết kế theo phương pháp này cần tuân thủ bốn nguyên tắc sau:

- Hàm truyền $W(z)$ của hệ kín phải có các zero là tất cả các zero nằm trên hay ngoài vòng tròn đơn vị của $G(z)$.
- $1 - W(z)$ phải có các zero là tất cả các zero nằm trên hay ngoài vòng tròn đơn vị của $G(z)$
- Để thực hiện được về mặt vật lý, $D(z)$ không nên có cực ở vô cùng khi Z tiến đến vô cùng. Nếu $G(z)$ có zero ở vô cùng thì $W(z)$ cũng phải có zero tại đó để đề phòng $D(z)$ có nghiệm cực tại vô cùng.
- $W(z)$ được xác định sao cho sai số xác lập bằng không.

* Phương pháp sử dụng đồ thị Bode

Đồ thị bode ở dạng liên tục chúng ta không thể trực tiếp dùng cho hệ rời rạc được vì có quan hệ: $z = e^{Ts}$. Bằng phép biến đổi trung gian ta có thể đưa hệ rời rạc về tương tự như hệ liên tục trong khoảng $-j\frac{\omega_0}{2} \rightarrow j\frac{\omega_0}{2}$.

Tuy nhiên, phép biến đổi này tồn tại một nhược điểm là khi chu kỳ lấy mẫu tiến tới 0 ($T \rightarrow 0$) thì y không tiến tới s . Để khắc phục nhược điểm này ta sử dụng phép biến đổi tuyến tính mở rộng:

$$Z = \frac{\frac{2}{T} + W}{\frac{2}{T} - W} = \frac{1 + \frac{T}{2}W}{1 - \frac{T}{2}W} \quad \text{hay} \quad W = \frac{2}{T} \frac{Z - 1}{Z + 1}$$

Khi đó: $T \rightarrow 0$ thì:

$$W|_{T \rightarrow 0} = \lim_{T \rightarrow 0} \frac{2}{T} \frac{Z - 1}{Z + 1} = \frac{2}{T} \lim_{T \rightarrow 0} \frac{e^{sT} - 1}{e^{sT} + 1} = \frac{2}{T} \lim_{T \rightarrow 0} \frac{sT + \frac{(sT)^2}{2!} + \dots}{2 + sT + \frac{(sT)^2}{2!} + \dots} \rightarrow s$$

Bằng phép biến đổi Z và phép biến đổi W , dải cơ bản của nửa trái mặt phẳng S chuyển thành phía trong vòng tròn đơn vị trong mặt phẳng Z và sau đó chuyển thành nửa trái mặt phẳng W .

Khi s thay đổi từ $0 \rightarrow j\omega/2$ dọc theo trục $j\omega$ trong mặt phẳng S thì W sẽ thay đổi từ $0 \rightarrow j\infty$ dọc theo trục $j\theta$ trong mặt phẳng W . Tần số ảo trong mặt phẳng W là jw .

Sau khi biến đổi $G(z)$ thành $G(w)$ và thay $W=jw$, ta có thể sử dụng biểu đồ Bode thông thường để phân tích hàm truyền theo W .

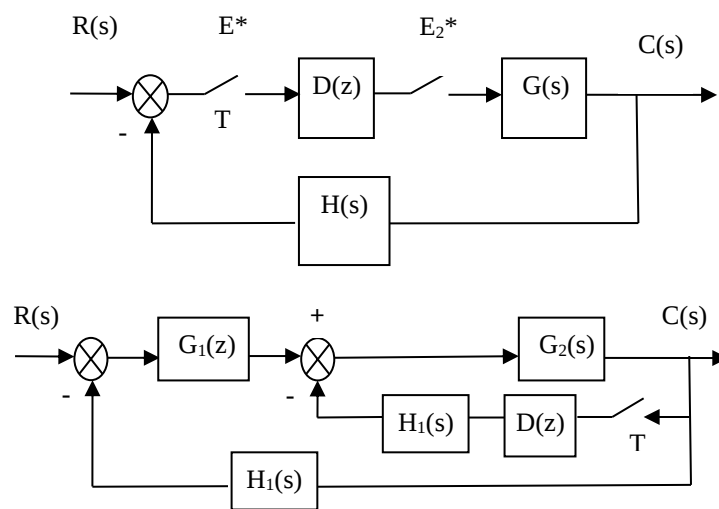
*** Thiết kế theo phương pháp bù pha**

- Xét hệ ĐKS có hàm truyền hệ kín là:

$$\frac{C(z)}{R(z)} = \frac{D(z)G(z)}{1 + D(z)G(z)H(z)}$$

Phương trình đặc tính của hệ là: $1 + D(z)G(z)H(z) = 0$.

Trong đó có thể coi $D(z)$ là bộ bù, hay bộ hiệu chỉnh.



Hình 2.2. Sơ đồ cấu trúc bộ thiết kế bù

- Xét các bộ bù bậc nhất:

Hàm truyền biến đổi Z có dạng: $D(z) = \frac{K_d(Z - Z_0)}{Z - Z_s}$ (2.3)

Hàm truyền trong miền W : $D(w) = a_0 \frac{\left(1 + \frac{W}{\omega_{w0}}\right)}{\left(1 + \frac{W}{\omega_{ws}}\right)}$ (2.4)

Trong đó: ω_{w0} là nghiệm zero, ω_{ws} là nghiệm cực trong mặt phẳng W .

Chuyển (2.4) sang biến đổi Z ta có:

$$D(z) = a_0 \frac{\omega_{ws} \left(\omega_{w0} + \left(\frac{2}{T} \right) \right)}{\omega_{w0} \left(\omega_{ws} + \left(\frac{2}{T} \right) \right)} \frac{Z - \frac{\left(\frac{2}{T} \right) - \omega_{w0}}{\left(\frac{2}{T} \right) + \omega_{w0}}}{Z - \frac{\left(\frac{2}{T} \right) - \omega_{ws}}{\left(\frac{2}{T} \right) + \omega_{ws}}} \quad (2.5)$$

So sánh (2.5) với (2.3) ta rút ra: $K_d = a_0 \frac{\omega_{ws} \left(\omega_{w0} + \left(\frac{2}{T} \right) \right)}{\omega_{w0} \left(\omega_{ws} + \left(\frac{2}{T} \right) \right)}$ (2.6)

$$Z_0 = \frac{\left(\frac{2}{T} \right) - \omega_{w0}}{\left(\frac{2}{T} \right) + \omega_{w0}} ; Z_s = \frac{\left(\frac{2}{T} \right) - \omega_{ws}}{\left(\frac{2}{T} \right) + \omega_{ws}}$$

Dựa vào mối quan hệ giữa nghiệm zero ω_{w0} và nghiệm các ω_{ws} mà ta phân loại bộ bù:

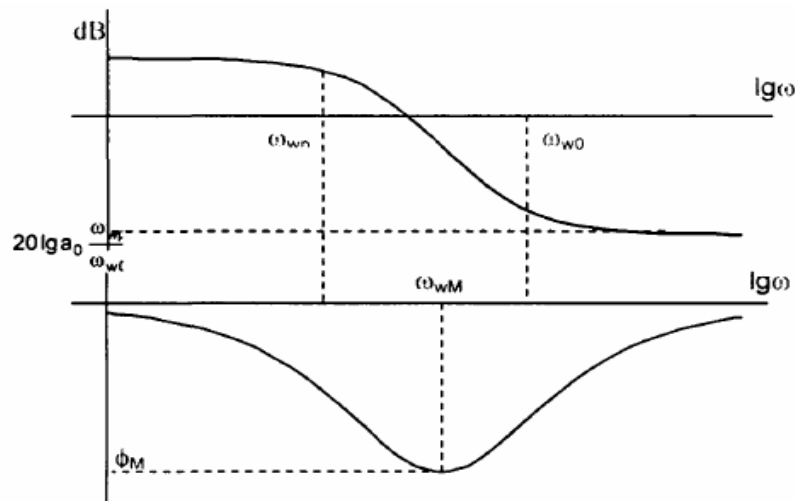
Nếu $\omega_{w0} > \omega_{ws}$ ta có bù trễ pha

Nếu $\omega_{w0} < \omega_{ws}$ ta có bù sớm pha

➤ Thiết kế bù trễ pha

Hàm truyền của bù trễ pha là:

$$D(w) = a_0 \frac{\left(1 + W / \omega_{w0} \right)}{\left(1 + W / \omega_{ws} \right)} \text{ với } \omega_{w0} > \omega_{ws} \quad (2.7)$$



Hình 2.3. Biểu đồ đáp ứng tần số của bộ bù trễ pha.

Sự trễ pha làm cho hệ thống có khuynh hướng dẫn đến trạng thái không ổn định (Biểu đồ Nyquist hướng về phía điểm -1)

Cần phải chọn tần số gãy ω_{w0} và ω_{ws} sao cho sự trễ pha làm cho đáp ứng tần số $G(j\omega)$ không cắt lân cận $-\pi$.

Trong đó:

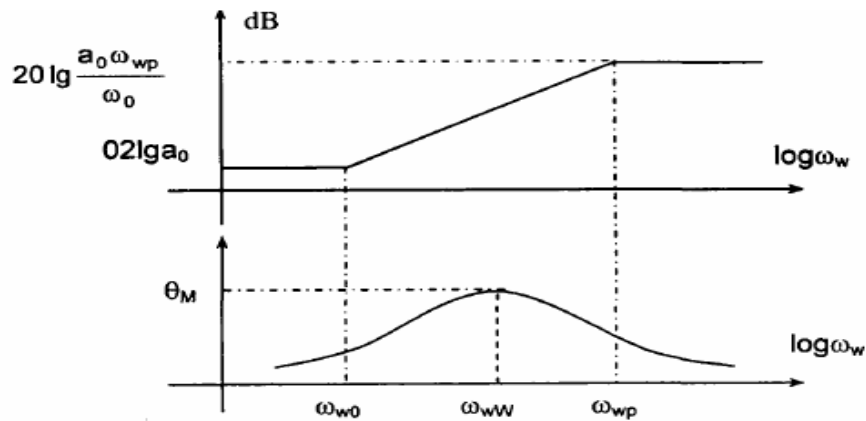
$$G(z) = Z \left\{ \frac{1 - e^{-PT}}{s} G(s) \right\}_{z = \frac{1+T/2W}{1-T/2W}} \quad (2.8)$$

Để hệ thống ổn định thì bộ lọc phải có hệ số khuếch đại ở lân cận $-\pi$ nên ω_{w0} và ω_{ws} cần phải nhỏ hơn $\omega - \pi$.

➤ Thiết kế bù sớm pha.

Trong bộ bù sớm pha, $\omega_{w0} < \omega_{ws}$, đáp ứng tần số như hình 2.4.

Độ dịch pha cực đại xảy ra tại tần số $\omega_{wM} = \sqrt{\omega_{w0} \omega_{ws}}$ (2.9)



Hình 2.4. Biểu đồ đáp ứng tần số của bộ bù sớm pha

$$D(j\omega_s) = |D(j\omega_w)| e^{j\theta} = a_0 \frac{1 + W/\omega_{w0}}{1 + W/\omega_{ws}} \quad (2.10)$$

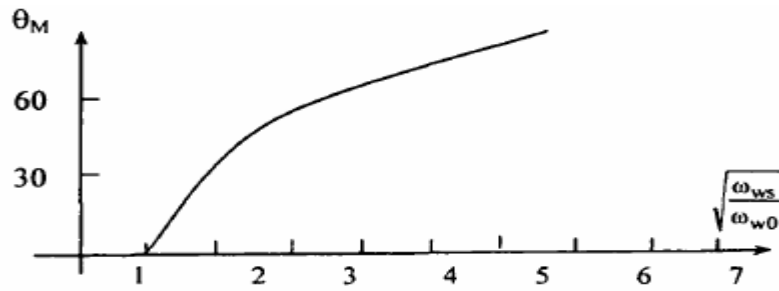
Đồ thị θ_m theo tỷ số ω_{w0}/ω_{ws}

Hàm truyền đạt hiệu chỉnh có dạng:

$$D(j\omega_s) = |D(j\omega_w)| e^{j\theta} = a_0 \frac{1 + \frac{j\omega_w}{\omega_{w0}}}{1 + \frac{j\omega_w}{\omega_{ws}}} \quad (2.11)$$

$$\tan \theta_m = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{\omega_{ws}}{\omega_{w0}}} - \sqrt{\frac{\omega_{w0}}{\omega_{ws}}} \right)$$

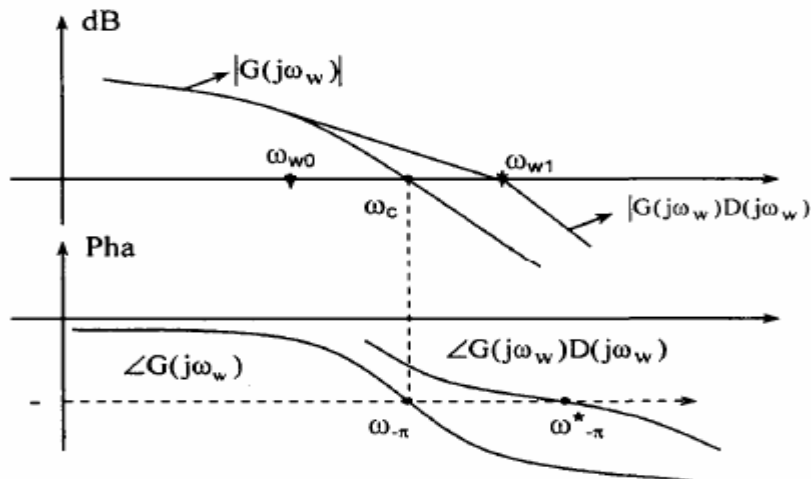
$$|D(j\omega_w)| = a_0 \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_w}{\omega_{w0}} \right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_w}{\omega_{ws}} \right)^2}} = \sqrt{\frac{1 + \omega_{ws}/\omega_{w0}}{1 + \omega_{w0}/\omega_{ws}}} = a_0 \sqrt{\frac{\omega_{ws}}{\omega_{w0}}} \quad (2.12)$$



Hình 2.5. Biểu đồ độ di pha cực đại của bộ lọc.

Từ hình vẽ ta thấy, nếu hiệu chỉnh sớm pha tạo ra sự sớm pha và tăng độ dự trữ ổn định của hệ, nhưng cũng làm tăng độ khuếch đại tần số cao so với tần số thấp gây ảnh hưởng bất ổn định.

Hình 2.6. là số hiệu chỉnh bù sớm pha. Sự sớm pha được đưa ra lân cận tần số ω của hệ thống để tăng độ dự trữ ổn định hệ. Chú ý rằng dải thông của hệ cũng tăng lên, kết quả đáp ứng thời gian nhanh hơn.



Hình 2.6. Sự hiệu chỉnh bù sớm pha.

- Thiết kế sớm pha tạo ra hệ thống có độ sớm pha cần thiết nhưng không kiểm soát được biên độ.
- Thiết kế sớm pha là quá trình chọn và thử, vì sớm pha tạo sự ổn định ở miền tần số còn độ khuếch đại tạo sự ổn định.

CHƯƠNG 3. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN SỐ ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ DC

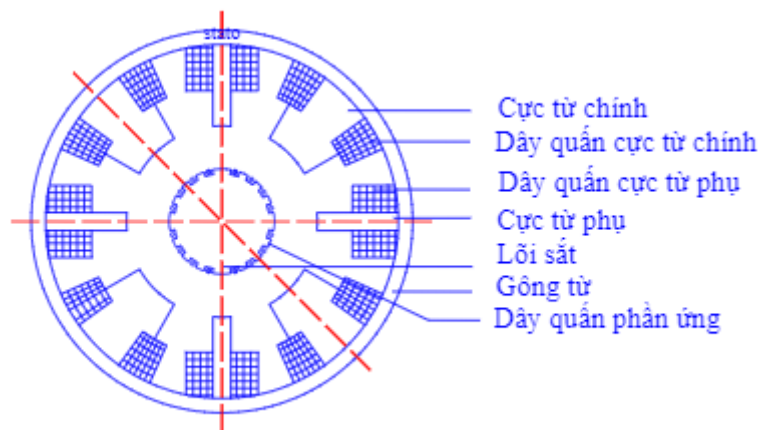
3.1. ĐỘNG CƠ DC

- Động cơ điện 1 chiều DC tức là động cơ điều khiển bằng dòng điện có hướng được xác định. Hay nói dễ hiểu hơn thì đây chính là loại động cơ hoạt động bằng nguồn điện áp DC - nguồn điện áp 1 chiều.

- Động cơ điện 1 chiều là loại động cơ đồng bộ, hoạt động bằng dòng điện 1 chiều. Tốc độ quay của 1 động cơ điện 1 chiều tỷ lệ thuận với nguồn điện áp đặt vào nó, và ngẫu lực quay cũng tỷ lệ thuận đối với dòng điện. Chính vì 2 đặc tính trên mà động cơ DC được coi là thành phần không thể thiếu trong các hệ thống máy móc kỹ thuật đòi hỏi mô men khởi động lớn.

3.1.1. Cấu tạo của động cơ điện chiều

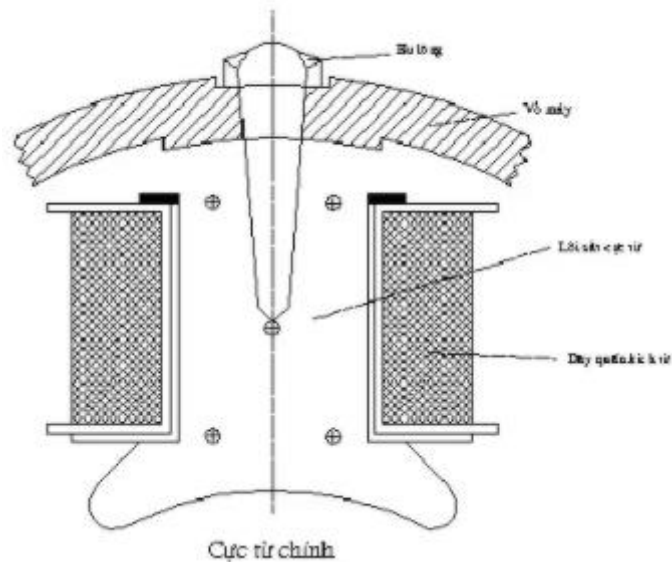
Cấu tạo của động cơ điện một chiều gồm 2 phần chính là: Phần tĩnh(Stator) và Phần động (Rotor)



Phần tĩnh

a) Cực từ chính

Lõi sắt cực từ được làm từ các lá thép kỹ thuật hoặc thép cacbon dày : 0.5 đến 1mm được ép lại với nhau và tán chặt thành một khối các cực từ được gắn vào vỏ máy bằng các bulông. Một cặp cực từ (đôi cực) gồm hai cực nam - bắc đặt đối xứng với nhau qua trục động cơ, tùy theo động cơ mà động cơ có thể có 1,2,3... các máy điện nhỏ cực từ được làm bằng thép khối. Dây quấn kích từ làm bằng dây đồng có tiết diện tròn hoặc chữ nhật được sơn cách điện và được quấn thành từng cuộn. Các cuộn dây được mắc nối tiếp với nhau. Các cuộn dây được bọc cách điện cẩn thận trước khi đặt vào các cực từ.



b) Cực từ phụ

Cực từ phụ: đặt giữa cực từ chính và dùng để cải thiện điều kiện làm việc của máy điện và đổi chiều

Lõi thép cực từ phụ có thể là một khối hoặc có thể được ghép bởi các lá thép tuy theo chế độ làm việc.

Xung quanh cực từ phụ được đặt dây quấn cực từ phụ, dây quấn cực từ phụ được nối với dây quấn phản ứng.

c) Gông từ :

Gông từ là phần nối tiếp các cực từ . Đồng thời gông từ làm vỏ máy, từ thông móc vòng qua các cuộn dây và khép kín sẽ chạy trong mạch từ. Trong máy điện lớn gông từ làm bằng thép đúc, trong các máy điện nhỏ gông từ làm bằng thép lá được uốn lại thành hình trụ tròn rồi hàn.

d) Các bộ phận khác

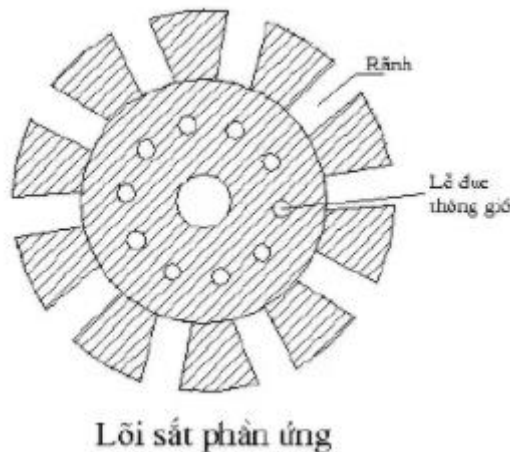
Nắp máy: Nắp máy dùng để bảo vệ các chi tiết của máy tránh không cho các vật bên ngoài rơi vào trong máy có thể làm hỏng cuộn dây, mạch từ ... đồng thời nắp máy để cách ly người sử dụng với bộ phận của máy khi động cơ đang quay, đang có điện. Ngoài ra nắp máy còn là giá đỡ ổ bi của trục động cơ.

Cơ cầu chổi than: Cơ cầu chổi than để đưa dòng điện từ ngoài vào nếu máy là động cơ và đưa dòng điện ra nếu máy là phát điện. Cơ cầu chổi than gồm: có 2 chổi than làm từ than cacbon thường là hình chữ nhật. Hai chổi than được đựng trong hộp chổi than và luôn tỳ lên hai vành góp nhờ 2 lò xo. Hộp chổi than có thể thay đổi được vị trí sao cho phù hợp.

Phần quay

a) Lõi sắt phần ứng :

Lõi sắt phần ứng dùng để dẫn từ, thường được làm bằng tôn Silic dày 0,5mm có phủ một lớp cách điện sau đó được ép lại để giảm tổn hao do dòng điện xoáy Phucô gây lên. Trên các lá thép có dập các rãnh khếp lại tạo thành các rãnh đặt cuộn dây phần ứng vào. Lõi sắt là hình trụ tròn và được ép cứng vào với trục tạo thành một khối thống nhất. Trong các máy điện công suất trung bình trở lên người ta thường dập các rãnh để khi ép lại tạo thành các lỗ thông gió làm mát cuộn dây và mạch từ.



b) Dây quấn phần ứng

Dây quấn phần ứng sinh ra suất điện động và có dòng điện chạy qua. Trong máy điện nhỏ dây quấn phần ứng có tiết diện tròn, với động cơ có công suất vừa và lớn tiết diện dây là hình chữ nhật. Khi đặt dây quấn phần ứng vào rãnh Rotor người ta phải dùng các nêm, chèn lên bề mặt của cuộn dây, các nêm này nằm trong rãnh đặt các cạnh dây quấn để tránh cho dây không bị văng ra ngoài khi dây chịu lực điện từ tác động.

c) Cổ góp

Cổ góp dùng để đổi chiều dòng điện xoay chiều thành một chiều. Cổ góp gồm nhiều phiến góp bằng đồng ghép lại thành hình trụ tròn sau đó được ép chặt vào trục. Các phiến góp được cách điện với nhau bằng các tấm mica đặt ở giữa. Đuôi các phiến góp nhô cao để hàn đầu dây cuộn dây phần ứng, mỗi phiến góp có đuôi chỉ hàn một đầu dây và tạo thành các cuộn dây phần ứng nối tiếp nhau.

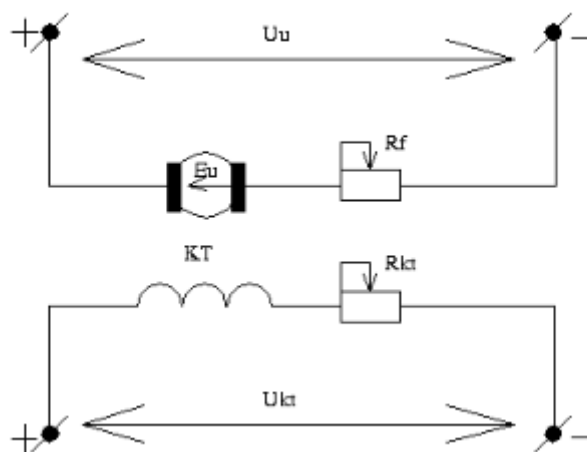
d) Các bộ phận khác

Cánh quạt: Cánh quạt dùng để làm mát động cơ. Cánh quạt được lắp trên trục động cơ để hút gió từ ngoài qua các khe hở trên nắp máy, khi động cơ làm việc gió từ ngoài vào qua các khe hở trên nắp máy, khi động cơ làm việc gió hút vào làm nguội dây quấn, mạch từ.

Trục máy: Trục máy được làm bằng loại thép cứng nhiều cacbon. Trên trục máy đặt lõi thép phần ứng và cổ góp. Hai đầu của trục máy được gói lên 2 vòng bi ở nắp máy.

3.1.2. Nguyên lý làm việc của động cơ điện 1 chiều

Khi nguồn điện một chiều có công suất không đủ lớn thì mạch điện phần ứng và mạch kích từ mắc vào hai nguồn một chiều độc lập với nhau, lúc này động cơ được gọi là động cơ kích từ độc lập.



Sơ đồ nguyên lý động cơ điện 1 chiều kích từ độc lập

Để tiến hành mở máy, đặt mạch kích từ vào nguồn U_{kt} , dây cuộn kích từ sinh ra từ thông ϕ_{max} tức là phải giảm điện trở của mạch kích từ R_{kt} đến nhỏ nhất có thể. Cũng cần đảm bảo không xảy ra đứt mạch kích thích vì khi đó $\phi = 0$. $M = 0$, động cơ sẽ không quay được, do đó $E_u = 0$ và theo biểu thức $U = E_u + R_u \cdot I_u$, thì dòng điện sẽ rất

lớn làm cháy động cơ. Nếu mômen động cơ điện sinh ra lớn hơn mômen cản rôto bắt đầu quay và suất điện động E_r sẽ tăng lên tỉ lệ với tốc độ quay n . Do sự suất hiện và tăng lên của E_r , dòng điện I_r sẽ giảm theo, M giảm khiến n tăng chậm hơn.

Động cơ điện một chiều có hai nguồn năng lượng:

- Nguồn kích từ cấp vào cuộn kích từ để sinh ra từ thông kích từ
- Nguồn phản ứng được đưa vào hai chổi than để đưa vào hai cổ góp của phân ứng. Khi cho điện áp một chiều vào hai chổi than trong dây quấn phân ứng có điện. Các thanh dẫn cho dòng điện nằm trong từ trường sẽ chịu lực tác dụng làm rôto quay. Chiều lực từ xác định theo qui tắc bàn tay trái.

Khi phân ứng quay được nửa vòng, vị trí các thanh dẫn đổi chỗ cho nhau. Do đó có chiều dòng điện giữ nguyên làm cho lực từ tác động không thay đổi.

Khi quay, các thanh dẫn cắt từ trường sẽ cảm ứng với suất điện động E_r chiều của nó được xác định theo qui tắc bàn tay phải, ở động cơ chiều SĐĐ E_r ngược chiều dòng điện I_r nên E_r gọi là sức phản điện động.

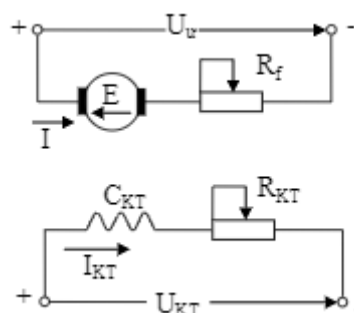
Sức điện động này hoạt động tương tự như sức điện động được phát ra khi động cơ được sử dụng giống như 1 chiếc máy phát điện. Khi đó, điện áp đặt trên động cơ đã bao gồm 2 thành phần đó là: sức phản điện động cùng với điện áp giáng tạo ra do điện trở ở bên trong của các cuộn dây phân ứng.

3.1.3. Phân loại động cơ điện 1 chiều

Tùy thuộc vào phương pháp kích từ, có thể tiến hành chia động cơ điện 1 chiều thành những loại nhỏ hơn dưới đây:

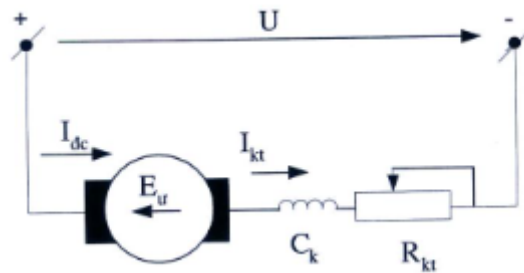
- Động cơ điện 1 chiều có kích từ độc lập:

Khi nguồn một chiều có công suất không đủ lớn mạch điện phản ứng và mạch kích từ mắc vào hai nguồn 1 chiều độc lập nhau nên $I = I_r$



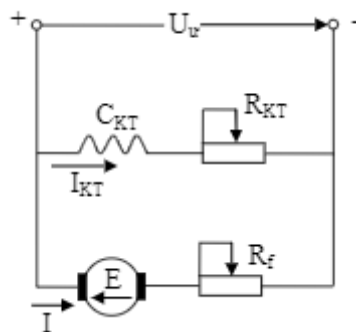
- Động cơ điện 1 chiều với kích từ nối tiếp:

Cuộn kích từ mắc nối tiếp với cuộn dây phản ứng, cuộn kích từ có tiết diện lớn điện trở nhỏ, số vòng dây ít chế tạo dễ dàng nên ta có $I = I_r = I_t$



- Động cơ điện 1 chiều với kích từ song song:

Khi nguồn 1 chiều có công suất vô cùng lớn và điện áp không đổi, mạch kích từ được mắc song song với mạch phản ứng nên $I = I_r + I_t$



- Động cơ điện 1 chiều với kích từ hỗn hợp, bao gồm 2 cuộn dây kích từ, trong đó 1 cuộn mắc nối tiếp vào phản ứng, còn 1 cuộn mắc song song vào phản ứng.

3.1.4. Đặc tính cơ của động cơ điện 1 chiều

Phương trình cân bằng điện áp:

$$U = E_u + R_u I_u$$

Trong đó: U - điện áp lưới (V)

E : Sức điện động của động cơ (V)

I_r : Dòng điện phản ứng của động cơ (A)

R_r : Điện trở của mạch phản ứng

Từ trường

+ Khi máy điện một chiều không tải, từ trường trong máy chỉ do dòng điện kích từ gây ra gọi là từ trường cực từ.

+ Khi máy điện có tải, dòng điện I_r trong dây quấn phản ứng sẽ sinh ra từ trường phản ứng. Từ trường phản ứng vuông góc với từ trường cực từ.

Tác dụng của từ trường phản ứng lên từ trường cực từ gọi là phản ứng phản ứng. Từ trường trong máy là từ trường tổng hợp của từ trường cực từ và từ trường phản ứng. + Ở nơi từ trường phản ứng cùng chiều với từ trường cực từ thì từ trường máy được tăng cường.

+ Ở nơi từ trường phản ứng ngược chiều với từ trường cực từ thì từ trường máy bị yếu đi.

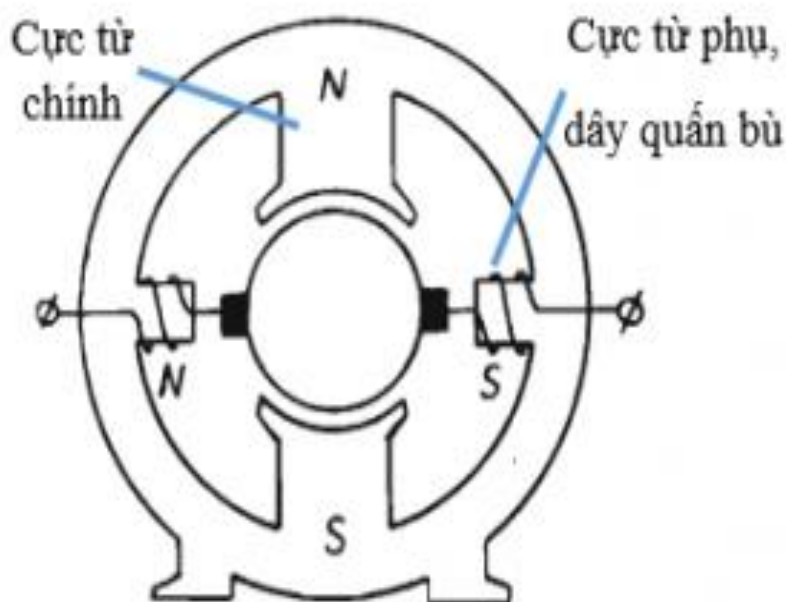
Hậu quả của phản ứng phản ứng là:

+ Từ trường trong máy bị biến dạng. Làm cảm ứng sức điện động, gây ảnh hưởng xấu đến việc đổi chiều.

+ Khi tải lớn, dòng điện phản ứng lớn, từ trường phản ứng lớn làm giảm từ thông của máy. Từ thông giảm làm cho moment quay giảm và tốc độ động cơ thay đổi.

Để khắc phục hậu quả trên người ta dùng cực từ phụ và dây quấn bù. Từ trường của cực từ phụ và dây quấn bù ngược với từ trường phản ứng.

Để kịp thời khắc phục từ trường phản ứng khi tải thay đổi, dây quấn cực từ phụ và dây quấn bù đấu nối tiếp với mạch phản ứng (hình dưới).



Cực từ phụ và dây quấn bù

Sức điện động phần ứng

a) Sức điện động thanh dẫn

Khi quay roto, các thanh dẫn của dây quấn phần ứng cắt từ trường, trong mỗi thanh dẫn cảm ứng sức điện động là:

$$e = B_{tb} \cdot l \cdot v$$

Trong đó:

B_{tb} – từ cảm trung bình dưới cực từ

v – tốc độ của thanh dẫn

l – chiều dài hiệu dụng của thanh dẫn

b) Sức điện động phần ứng E_u

Dây quấn phần ứng gồm nhiều phần tử nối tiếp nhau thành mạch vòng kín. Các chổi điện chia dây quấn thành nhiều nhánh song song. Sức điện động phần ứng bằng tổng các sức điện động thanh dẫn trong một nhánh.

Nếu số thanh dẫn của dây quấn là N , số nhánh song song là $2a$ (a là số đôi nhánh), số thanh dẫn một nhánh là $N/2a$, sức điện động phần ứng là:

$$E_u = \frac{N}{2a} e = \frac{N}{2a} B_{tb} l v$$

Tốc độ dài v xác định theo tốc độ quay n (vòng/phút) bằng công thức:

$$v = \frac{\pi D n}{60}$$

Ta có từ thông dưới mỗi cực từ là:

$$\Phi = B_{tb} \cdot \frac{\pi D l}{2p}$$

Từ đó ta có được công thức liên hệ của suất điện động phần ứng:

$$E_u = \frac{pN}{60a} n \cdot \Phi \text{ hay } E_u = k_E \cdot n \cdot \Phi$$

trong đó $k_E = pN/60a$ hệ số phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn phần ứng.

Sức điện động phản ứng tỉ lệ với tốc độ qua phản ứng và từ thông dưới mỗi cực từ. Muốn thay đổi trị số sức điện động ta có thể điều chỉnh tốc độ quay hoặc điều chỉnh từ thông bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ. Muốn đổi chiều sức điện động thì đổi chiều quay hoặc đổi chiều dòng điện kích từ.

Công suất điện từ, moment điện từ của máy điện một chiều

Công suất điện từ của máy điện một chiều là:

$$P_{đt} = E_u \cdot I_u$$

Gọi ω_r là tốc độ góc của roto, ω_r được tính theo tốc độ quay n (vòng/phút) bằng biểu thức:

$$\omega_r = \frac{2\pi n}{60}$$

Ta có, Moment điện từ

$$M_{đt} = \frac{P_{đt}}{\omega_r}$$

$$\Leftrightarrow M_{đt} = \frac{E_u I_u}{\omega_r}$$

$$\Leftrightarrow M_{đt} = \frac{p \cdot N \Phi}{2\pi a} I_u \quad \text{hay} \quad M_{đt} = k_M I_u \Phi$$

Trong đó hệ số $k_M = pN/2\pi a$ phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn

Moment điện từ tỉ lệ với dòng điện phản ứng I_u và từ thông. Muốn thay đổi moment điện từ, ta phải thay đổi dòng điện phản ứng I_u hoặc thay đổi dòng điện kích từ I_{kt} . Muốn đổi chiều moment điện từ phải đổi chiều dòng điện phản ứng hoặc dòng điện kích từ.

3.1.5. Khởi động động cơ điện 1 chiều

Ta có dòng điện phản ứng là:

$$I_{\text{ư}} = \frac{U - E_{\text{ư}}}{R_{\text{ư}}}$$

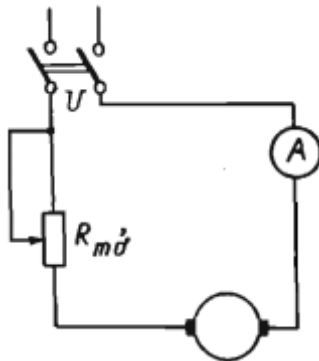
Khi mở máy, tốc độ $n = 0$, sức điện động $E_{\text{ư}} = kE.n.\Phi = 0$, dòng điện phản ứng lúc mở máy là:

$$I_{\text{ư mở}} = \frac{U}{R_{\text{ư}}}$$

Vì điện trở $R_{\text{ư}}$ rất nhỏ, cho nên dòng điện phản ứng lúc mở máy rất lớn khoảng $(20 \div 30) I_{\text{đm}}$, làm hỏng cổ góp và chổi than. Dòng điện phản ứng lớn kéo theo dòng điện mở máy $I_{\text{mở}}$ lớn, làm ảnh hưởng đến lưới điện. Do đó cần giảm dòng điện mở máy để $I_{\text{mở}} = (1,5 \div 2) I_{\text{đm}}$.

Dùng biến trở mở máy

Mắc biến trở mở máy ($R_{\text{mở}}$) vào mạch phản ứng như hình bên dưới.



Mở máy động cơ dùng biến trở

Dòng điện mở máy phản ứng lúc này là:

$$I_{\text{ư mở}} = \frac{U}{R_{\text{ư}} + R_{\text{mở}}}$$

Lúc đầu để biến trở R mở lớn nhất, trong quá trình mở máy, tốc độ tăng lên, sức điện động $E_{\text{ư}}$ tăng và điện trở mở máy giảm dần đến không, máy làm việc đúng điện áp định mức.

Giảm điện áp đặt vào phần ứng

Phương pháp này được sử dụng khi có nguồn điện một chiều có thể điều chỉnh điện áp ví dụ nguồn một chiều chỉnh lưu.

Cần chú ý rằng để moment mở máy lớn, lúc mở máy phải có từ thông lớn nhất, vì các thông số mạch kích từ phải điều chỉnh sao cho dòng điện kích từ lúc mở máy lớn nhất.

3.1.6. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện 1 chiều

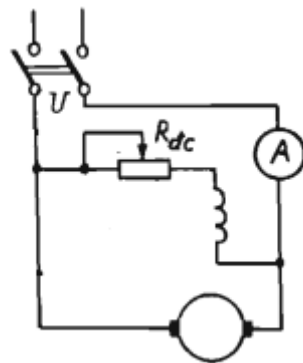
Ta có phương trình tốc độ của động cơ là:

$$n = \frac{U - R_a I_a}{k_E \Phi}$$

Dựa vào phương trình, một cách tổng quát ta có các phương pháp điều chỉnh tốc độ như sau:

Mắc điện trở điều chỉnh vào mạch phần ứng

Khi thêm điện trở vào mạch phần ứng, tốc độ giảm. Vì dòng điện phần ứng lớn, nên tổn hao công suất trên điện trở điều chỉnh lớn. Phương pháp này chỉ sử dụng ở động cơ công suất nhỏ.



Điều chỉnh tốc độ động cơ dùng điện biến trở

Thay đổi điện áp U

Dùng nguồn điện một chiều điều chỉnh được điện áp cung cấp cho động cơ. Ngày nay với sự phát triển của điện tử thì phương pháp điều chỉnh điện áp bằng các mạch điều xung (PWM – Pulse Width Modulation) ngày càng đa dạng khoảng điều chỉnh tốc độ rộng, với giá thành rẻ.

Thay đổi từ thông

Thay đổi từ thông bằng cách thay đổi dòng điện kích từ. Khi điều chỉnh tốc độ, ta kết hợp các phương pháp trên. Ví dụ phương pháp thay đổi từ thông, kết hợp với phương pháp thay đổi điện áp thì phạm vi điều chỉnh rất rộng, đây là ưu điểm lớn của động cơ điện một chiều.

3.1.7. Hàm truyền động cơ DC

+ Các thông số động cơ:

- R: Trở kháng (Ω)
- L: Cảm kháng (H)
- i: Dòng điện (A)
- Kb: Hệ số sức điện động cảm ứng (Back EMF) (V/rad/s)
- Kt: Hệ số momen (Nm/Amp)
- T: Momen của động cơ (Nm)
- θ : góc quay của Roto (rad)
- J: momen quán tính của roto và tải (Kgm^2/rad)
- B: Hệ số ma sát (Nm/rad/s)

+ Xác định hàm truyền:

- Momen của động cơ tỷ lệ thuận với điện áp phản ứng bởi hằng số K_t không đổi

$$T = K_t i$$

- Sức điện động cảm ứng tỷ lệ thuận đạo hàm vị trí của động cơ với hệ số k_b không đổi

$$E = K_b \dot{\theta}$$

- Dựa vào định luật 2 Newton và định luật Kirchhoff ta có:

$$J \ddot{\theta} + B \dot{\theta} = K_t i$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - K_b \dot{\theta}$$

- Biến đổi laplace, 2 phương trình trên được viết lại theo biến s:

$$s(Js + B)\theta(s) = K_t I(s)$$

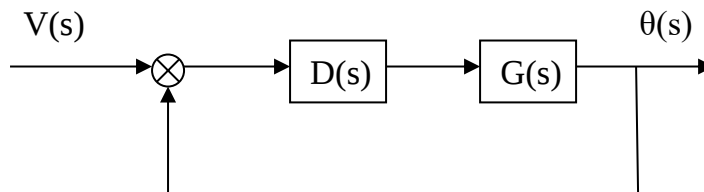
$$(Ls + R)I(s) = V(s) - K_b s\theta(s)$$

- Vị trí góc của roto được coi là đầu ra và điện áp phản ứng được coi là đầu vào

$$\theta(s) = \frac{K_t I(s)}{s(Js + B)}$$

$$V(s) = I(s) \left[\frac{s(Ls + R)(Js + B) + K_t K_b s}{s(Js + B)} \right]$$

- Hàm truyền liên tục vòng hở



$$G(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{LJs^3 + (RJ + LB)s^2 + (RB + K_t K_b)s}$$

$$= \frac{K}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s} \quad (2.13)$$

3.2. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN

3.2.1. Bộ PID số

Là bộ điều khiển gồm các khâu tỉ lệ, tích phân và vi phân, trong đó:

- Khâu tỉ lệ (P): $u(k) = K_p \cdot e(k)$

$u(k)$ là đầu ra; $e(k)$ là đầu vào; K_p là hệ số tỉ lệ

- Khâu tích phân:
$$u(t) = K_I \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Trong miền Laplace: $U(s) = K_I \frac{E(s)}{s}$

Chuyển sang miền z và lập biểu thức ta được: $\frac{U(z)}{E(z)} = K_I \cdot \frac{T}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1}$

- Khâu vi phân:
$$u(t) = K_D \frac{de(t)}{dt}$$

Trong miền Laplace: $U(s) = K_D \cdot s \cdot E(s)$

Chuyển sang miền z và lập biểu thức ta được: $\frac{U(z)}{E(z)} = K_D \cdot \frac{z-1}{Tz}$

- Tổng hợp lại ta có hàm truyền của bộ PID số

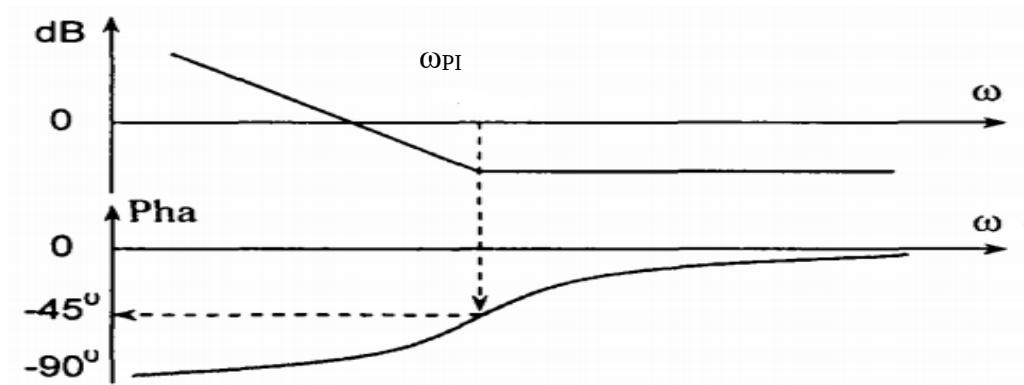
$$D(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = K_p + K_I \cdot \frac{T}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1} + K_D \cdot \frac{z-1}{Tz}$$

Đặc tính tần số của bộ PID

Hàm truyền trong miền Laplace: $D(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s$

$$\text{Bộ PI: } D(s) = K_p + \frac{K_I}{s} = K_I \cdot \frac{1 + \frac{s}{K_p}}{s} = K_I \cdot \frac{1 + \frac{s}{\omega_{PI}}}{s}$$

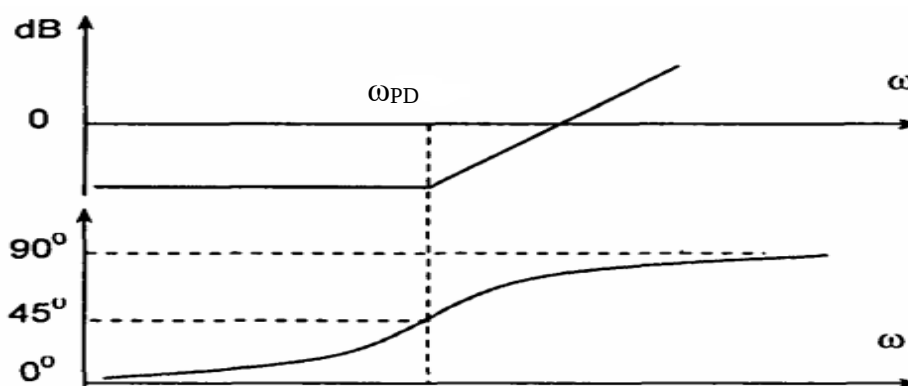
$$\Rightarrow D(j\omega) = K_I \cdot \frac{1 + j \frac{\omega}{\omega_{PI}}}{j\omega}$$



Đặc tuyến biên độ - tần số và pha - tần số của bộ PI

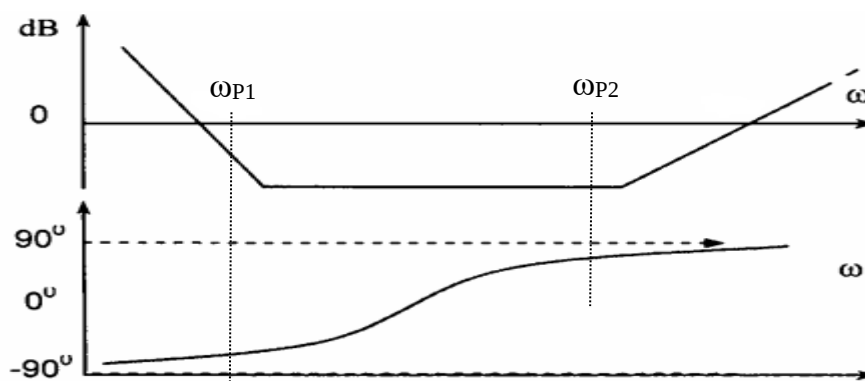
$$\text{Bộ PD: } D(s) = K_p + K_D \cdot s = K_p \cdot \left(1 + \frac{s}{K_p / K_D} \right) = K_p \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_{PD}} \right)$$

$$\Rightarrow D(j\omega) = K_p \cdot \left(1 + j \frac{\omega}{\omega_{PD}} \right)$$



Đặc tuyến biên độ - tần số và pha - tần số của bộ PD

$$\text{Bộ PID: } D(j\omega) = K_p + j \left(K_D \cdot \omega - \frac{K_I}{\omega} \right) = |D(j\omega)| \cdot e^{j\theta}$$



Đặc tuyến biên độ - tần số và pha - tần số của bộ PID

3.2.2. Thiết kế bộ điều khiển PID

* Công thức thiết kế (theo phương pháp bù pha)

Bộ PID có hàm truyền trong miền Laplace: $D(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s$

Đáp ứng tần số: $D(j\omega) = K_p + j\left(K_D \cdot \omega - \frac{K_I}{\omega}\right) = |D(j\omega)|e^{j\theta}$

Vấn đề thiết kế là xác định $D(s)$ sao cho: $D(j\omega)G(j\omega) = e^{j(\pi+\phi_m)}$ tại tần số ω_1

(Thoả mãn $1+D(s).G(s) = 0$, với ϕ_m là độ dự trữ pha cho trước)

- Ta có công thức:

$$\theta = \pi + \phi_m - \varphi_G$$

$$K_p = |D(j\omega_1)| \cos(\theta) = \frac{\cos(\theta)}{|G(j\omega_1)|}$$

$$K_D \omega_1 - \frac{K_I}{\omega_1} = |D(j\omega_1)| \sin(\theta) = \frac{\sin(\theta)}{|G(j\omega_1)|}$$

Xác định K_I , K_D là phụ thuộc nhau: Tăng K_D dẫn tới tăng dải thông, từ đó thời gian quá độ giảm. Nếu K_I tăng làm giảm lỗi trạng thái xác lập.

Ảnh Hưởng của Chu Kỳ Lấy Mẫu (Sample Time) đến Hiệu Suất Hệ Thống

Chu kỳ lấy mẫu T_s (hoặc tần số lấy mẫu f_s) là một thông số quan trọng quyết định hiệu suất của hệ thống điều khiển rời rạc:

- **Độ Chính Xác:** Khi T_s giảm (tức là tần số lấy mẫu tăng), bộ điều khiển rời rạc sẽ hoạt động gần giống với bộ điều khiển liên tục tương ứng hơn. Điều này thường dẫn đến đáp ứng hệ thống nhanh hơn và chính xác hơn.
- **Tính Ổn Định:** Việc rời rạc hóa một hệ thống ổn định liên tục có thể dẫn đến một hệ thống rời rạc không ổn định nếu chu kỳ lấy mẫu quá lớn. Ngược lại, một số hệ thống liên tục không ổn định có thể được ổn định bằng bộ điều khiển rời rạc với chu kỳ lấy mẫu phù hợp. Vị trí của các cực của hàm truyền rời rạc trong mặt phẳng z (bên trong đường tròn đơn vị để ổn định) phụ thuộc vào vị trí các cực của hệ thống liên tục trong mặt phẳng s và chu kỳ lấy mẫu.
- **Khả Năng Phản Ứng:** Chu kỳ lấy mẫu càng nhỏ, bộ điều khiển càng nhanh chóng nhận biết và phản ứng với các thay đổi của sai số, cải thiện khả năng theo dõi tín hiệu đặt và loại bỏ nhiễu.

- *Yêu Cầu Tính Toán*: Tần số lấy mẫu cao hơn đòi hỏi bộ xử lý phải thực hiện các phép tính điều khiển thường xuyên hơn, dẫn đến tăng tải tính toán. Cần cân nhắc giữa hiệu suất mong muốn và khả năng tính toán của hệ thống thực tế.
- *Hiện Tượng Trễ (Delay)*: Quá trình lấy mẫu, tính toán điều khiển, và tác động lên cơ cấu chấp hành đều mất một khoảng thời gian nhất định, tạo ra trễ trong vòng điều khiển. Chu kỳ lấy mẫu càng lớn, thời gian trễ tương đối so với động học của hệ thống càng đáng kể, có thể ảnh hưởng tiêu cực đến tính ổn định và hiệu suất.

3.3. MÔ PHỎNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN PID TRONG SIMULINK

3.3.1. Cấu hình chi tiết từng khối + thông số

1. Khối Step (Sources)

- **Chức năng**: Tạo tín hiệu vào dạng bậc thang (step input) – tức là tín hiệu tham chiếu cần hệ thống bám theo.

- **Thông số**:

- Final value = 1: hệ thống cần đạt đến mức 1.
- Sample time = 0.01: tốc độ cập nhật tín hiệu mỗi 0.01 giây.

Tín hiệu này là đầu vào tham chiếu $r(t)$.

2. Khối Sum (Math Operations)

- **Chức năng**: So sánh đầu vào tham chiếu với đầu ra thực tế của hệ thống (feedback), tạo tín hiệu sai lệch (error).

- **Cài đặt**:

Ký hiệu $+-$ → cộng đầu vào tham chiếu, trừ đầu ra phản hồi.

Biểu thức toán:

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

3. Khối Discrete PID Controller (Discrete)

- **Chức năng**: Tính toán điều khiển dựa trên sai số.

- **Thông số**:

- ☐ **Controller type**: PID
- ☐ **Proportional gain (P)** = 10

- ☐ **Integral gain (I)** = 50
- ☐ **Derivative gain (D)** = 0.1
- ☐ **Filter coefficient (N)** = 100 (nếu có, hoặc để mặc định)
- ☐ **Initial conditions for integrator** = 0
- ☐ **Initial conditions for filter** = 0
- ☐ **Sample time** = 0.01

- **Dạng rời rạc:** $u[k] = K_p e[k] + K_i \sum e[k] T_s + K_d \frac{(e[k] - e[k-1])}{T_s}$

Bộ điều khiển này sinh ra tín hiệu điều khiển số (digital control signal).

4. Khối Zero-Order Hold (ZOH)

- **Chức năng:** Chuyển tín hiệu số sang liên tục dạng giữ mẫu.
- **Sample time** = 0.01
- **Ý nghĩa:** Đây là bộ giữ mẫu, "giữ nguyên" giá trị điều khiển cho đến chu kỳ lấy mẫu tiếp theo.

5. Khối Transfer Function (Plant - Continuous)

- **Chức năng:** Mô phỏng hệ vật lý theo hàm truyền.
- **Thông số:** Numerator = [1], Denominator = [0.01 0.1 1]
- $G(s) = \frac{1}{(0.01s^2 + 0.1s + 1)}$

Cho

- ☐ $T=0.:$ thời gian đặc trưng của hệ.
- ☐ $\zeta=0.5:$ hệ giảm chấn vừa phải, hệ dao động rồi ổn định.
- ☐ $K=1:$ hệ có độ khuếch đại đơn vị.

Áp dụng công thức

$$G(s) = \frac{K}{T^2 s^2 + 2\zeta Ts + 1} = \frac{1}{0.01s^2 + 0.1s + 1}$$

Ý nghĩa vật lý: Mô hình hệ thống bậc hai, có độ trễ và dao động nhẹ, thường dùng để biểu diễn động cơ, hệ cơ điện...

6. Khối Scope (Sinks)

- **Chức năng:** Hiện thị đầu ra theo thời gian.
- Không cần cấu hình gì thêm.

Dữ liệu hiển thị: đáp ứng đầu ra $y(t)$, để đánh giá khả năng bám theo đầu vào mong muốn.

Phản hồi vòng kín

Đầu ra từ Plant được đưa ngược lại khối Sum tạo vòng kín phản hồi âm.

Hệ thống liên tục cập nhật $e(t) = r(t) - y(t)$ để PID điều chỉnh.

3.3.2. Cách nối các khối (chi tiết từng dây)

1. **Step** → nối vào cổng + của **Sum**
2. **Sum** → nối vào **Discrete PID Controller**
3. **Discrete PID** → nối vào **ZOH**
4. **ZOH** → nối vào **Transfer Function**
5. **Transfer Function** → nối vào **Scope**
6. **Transfer Function output** → nối ngược lại vào cổng - của **Sum**

Cấu hình tổng thể mô phỏng

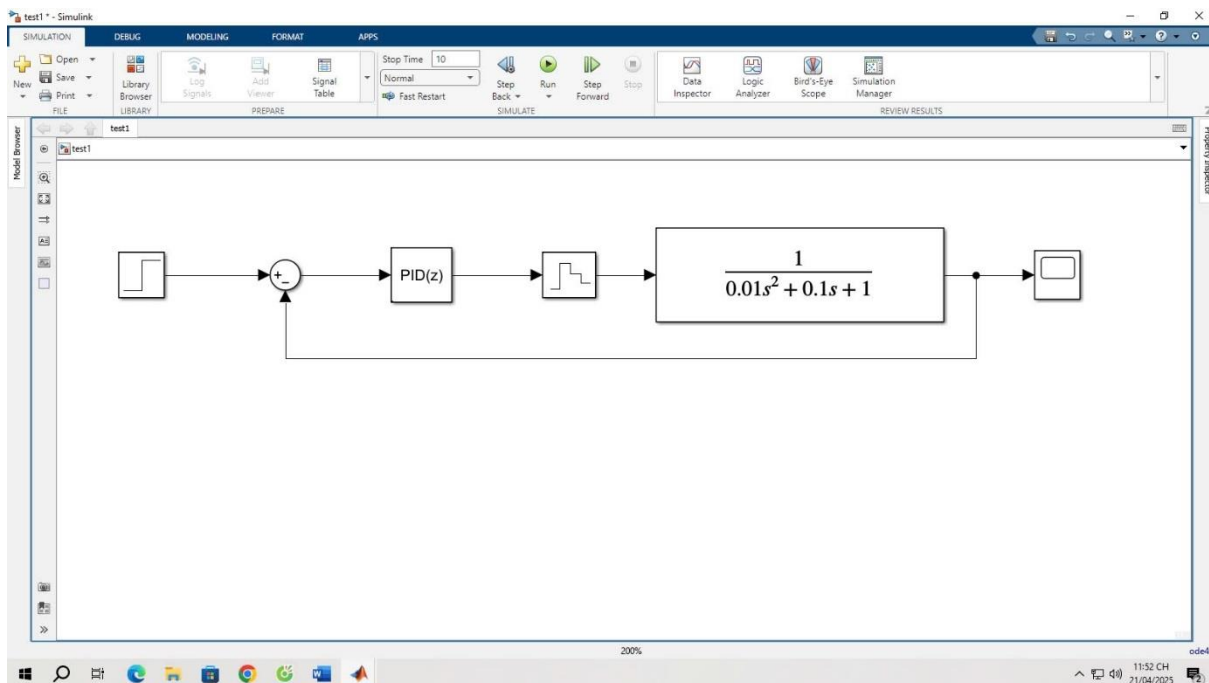
- **Menu** **Simulation** > **Model** **Settings** **(Ctrl+E)**

Trong tab **Solver**:

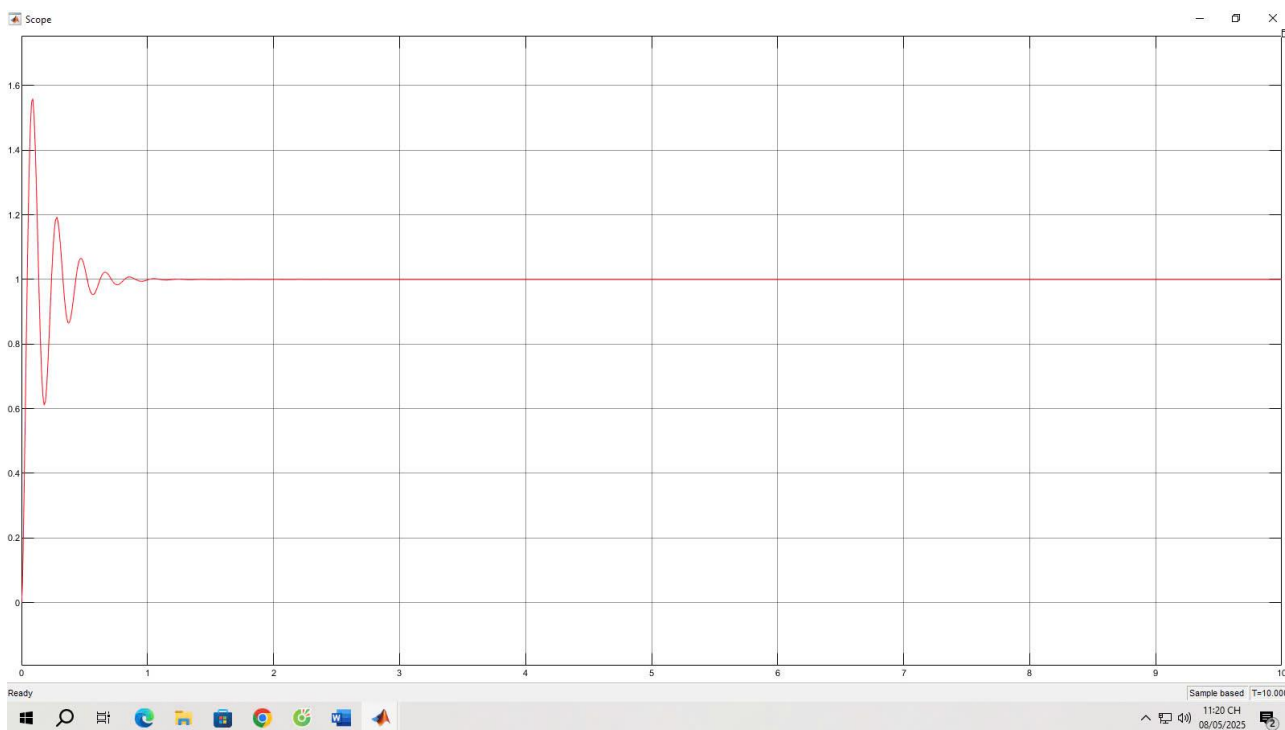
- Start time = 0
- Stop time = 10
- Type: Variable-step
- Solver: ode45 (Dormand-Prince)
- Enable "Automatically handle solver reset" nếu hiện

Kết quả kỳ vọng

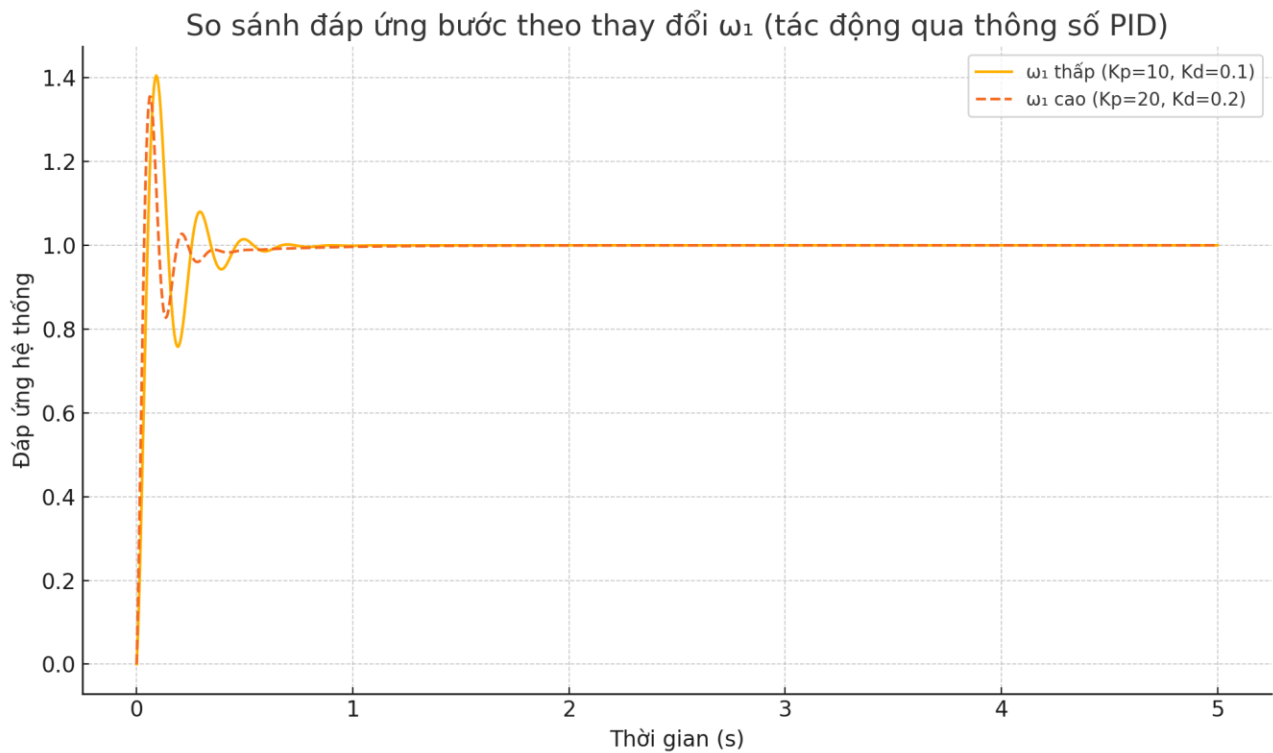
- Đầu ra hệ thống (trên Scope) sẽ tiến tới giá trị 1 theo tín hiệu Step
- Có thể có dao động hoặc vượt quá (overshoot) tùy PID
- Điều chỉnh PID sẽ cải thiện độ ổn định hoặc thời gian đáp ứng



Sơ đồ hiển thị vị trí và dây nối các khối trong simulink



Đầu ra hiển thị trong scope tiến tới giá trị 1



Đây là đồ thị mô phỏng đáp ứng bước của hệ thống với hai bộ điều khiển PID khác nhau, tương ứng với hai giá trị ω_1 :

- **Đường cam (solid):** ω_1 thấp ($\omega_1 = 5$ rad/s) $\rightarrow K_p = 10, K_d = 0.1$
- **Đường đỏ (dashed):** ω_1 cao ($\omega_1 = 10$ rad/s) $\rightarrow K_p = 20, K_d = 0.2$

Nhận xét từ đồ thị:

- Khi ω_1 **cao**, hệ thống phản ứng nhanh hơn nhưng dao động ban đầu nhiều hơn.
- Khi ω_1 **thấp**, hệ ổn định nhanh hơn với ít dao động, nhưng thời gian vươn tới giá trị mục tiêu chậm hơn.

3.3.3. Code MATLAB tạo mô hình điều khiển số với PID:

```
% Tên mô hình
model = 'digital_pid_control_model';
new_system(model);    % Tạo mô hình mới
open_system(model);   % Mở mô hình

% Thời gian mẫu
Ts = 0.01;

% Khối và vị trí (x, y, width, height)
add_block('simulink/Sources/Step', [model '/Step'], 'Position', [30 100 60 130], ...
    'Time', '0', 'Before', '0', 'After', '1', 'SampleTime', num2str(Ts));

add_block('simulink/Math Operations/Sum', [model '/Sum'], ...
    'Position', [110 95 140 135], 'Inputs', '|+-');

add_block('simulink/Discrete/Discrete PID Controller', [model '/Discrete PID'], ...
    'Position', [190 90 250 140], ...
    'P', '10', 'I', '50', 'D', '0.1', 'SampleTime', num2str(Ts));

add_block('simulink/Discrete/Zero-Order Hold', [model '/ZOH'], ...
    'Position', [280 95 320 135], ...
    'SampleTime', num2str(Ts));

add_block('simulink/Continuous/Transfer Fcn', [model '/Plant'], ...
    'Position', [360 95 420 135], ...
    'Numerator', '1', 'Denominator', '[0.01 0.1 1]');

add_block('simulink/Sinks/Scope', [model '/Scope'], ...
    'Position', [470 100 500 130]);
```

```
% Tạo kết nối
add_line(model, 'Step/1', 'Sum/1');
add_line(model, 'Sum/1', 'Discrete PID/1');
add_line(model, 'Discrete PID/1', 'ZOH/1');
add_line(model, 'ZOH/1', 'Plant/1');
add_line(model, 'Plant/1', 'Scope/1');
add_line(model, 'Plant/1', 'Sum/2'); % feedback

% Lưu mô hình
save_system(model);
```

KẾT LUẬN

Qua đề tài "Tổng hợp bộ điều khiển số điều khiển Động cơ DC", việc xây dựng bộ điều khiển số sử dụng bộ điều khiển PID rời rạc, đề tài đã đạt được các mục tiêu đặt ra:

- Nghiên cứu về lý thuyết và Xây dựng hệ thống điều khiển số cơ bản;
- Đã mô phỏng thành công một hệ thống điều khiển phản hồi âm dùng bộ PID rời rạc.

Và qua thời gian làm đề tài cùng với sự hướng dẫn chỉ bảo của thầy em đã học hỏi, rèn luyện được tinh thần làm việc nghiêm túc và cách thức không ngừng nghiên cứu các kiến thức mới để bổ xung tích lũy kiến thức cho mình. Trong quá trình làm đề tài, do sự hạn chế về thời gian, tài liệu và trình độ có hạn nên không tránh khỏi có thiếu sót. Em rất mong được sự đóng góp ý kiến của thầy cô và các bạn để đề tài của em được hoàn thiện hơn.

Sau cùng em xin trân thành bày tỏ lòng biết ơn của mình đối với thầy Nguyễn Văn Dương và các thầy cô trong khoa đã giúp đỡ em hoàn thành đề tài này.

Hải Phòng, ngày tháng 05 năm 2025

Sinh viên

Nguyễn Văn Cường

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lại Khắc Lãi, Nguyễn Như Hiên(2007), ***Giáo Trình Điều Khiển Số***, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật Hà Nội .
2. Nguyễn Phùng Quang (2006), ***Matlab và Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động***, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
3. Nguyễn Bính(1996), ***Điện Tử Công Suất***, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật.
4. Tài liệu trên mạng internet.