

## LỜI MỞ ĐẦU

Từ thuở xa xưa con người đã từng nghĩ và chế tạo ra những thiết bị điều khiển tự động nhằm mục đích giảm sức lực, tăng năng suất lao động và tăng của cải vật chất cho xã hội. Những thiết bị điều khiển tự động ngày càng hoàn thiện theo thời gian, theo sự hiểu biết và nhu cầu của con người. Những hệ thống điều khiển ban đầu loài người phát minh ra là những hệ thống điều khiển cơ học đơn giản như cơ cấu điều khiển đồng hồ nước Ktesibios ở thành phố Alexandra, Ai Cập (Egypt) trước công nguyên hay thiết bị điều khiển vận tốc (flyball governor) do James Watt phát minh vào cuối thế kỷ 18. Nhu cầu sử dụng hệ thống điều khiển tự động ngày càng gia tăng. Những hệ thống điều khiển tự động đặc biệt phát triển mạnh hơn khi có những phát minh mới về điện điện tử, công nghệ bán dẫn và công nghệ máy vi tính trong thế kỷ 20. Những hệ thống điều khiển tự động có nhiều loại khác nhau phụ thuộc vào cách phân loại. Nếu phân loại theo cách thức vận hành và chuyển hóa năng lượng chúng ta có thể phân chia thành hệ thống cơ học (mechanical systems), hệ thống thủy lực học (hydraulic systems), hệ thống hơi (pneumatic systems), hệ thống điện điện tử (electric and electronic systems), hệ thống điều khiển kết hợp giữa các loại trên. Những hệ thống điều khiển tự động ngày nay phổ biến hơn cả là những hệ thống điện và điện tử. Nếu phân chia những hệ thống điện và điện tử theo loại tín hiệu, chúng ta có hệ thống điều khiển tín hiệu liên tục (analogue control systems) và hệ thống điều khiển số (digital control system) hay còn gọi là hệ thống điều khiển bằng máy tính (computer-based control systems). Xu thế chung ngày nay ngày càng xuất hiện nhiều hệ thống điều khiển bằng máy tính.

Lý thuyết điều khiển hiện đại, công nghệ thông tin (phần cứng, phần mềm, kỹ thuật mạng, kỹ thuật giao diện và kỹ thuật không dây) công nghệ

bán dẫn và công nghệ tạo hệ thống chip khả trình (programmable system on a chip) đang mở ra những hướng mới trong việc thiết kế hệ thống điều khiển tự động dùng cho công nghiệp và trong đời sống hàng ngày. Hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS (Global Navigation Satellite System) cùng với các vệ tinh viễn thông (Telecommunication Satellites) ngày càng mang lại nhiều ứng dụng thiết thực trong việc phát triển hệ thống điều khiển tự động dùng trong nhiều lĩnh vực khác nhau và có độ chính xác cao.

Được sự cho phép và hướng dẫn tận tình của GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn trưởng bộ môn Điện tự công nghiệp trường ĐH Dân lập Hải Phòng, và các thầy cô giáo trong bộ môn Điện tự động công nghiệp em đã bắt tay vào nghiên cứu và thực hiện đề tài “Xây dựng bộ điều khiển P, PI, PID truyền thống cơ khả năng dùng cho các hệ điều chỉnh” do GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn hướng dẫn chính. Đề tài gồm những nội dung chính sau:

Chương 1: Các bộ điều khiển dùng trong hệ thống tự động.

Chương 2: Các mạch khuếch đại thuật toán.

Chương 3: Xây dựng bộ điều khiển truyền thống có khả năng dùng cho các hệ điều chỉnh.

Nhưng em là một sinh viên mới bắt tay vào việc nghiên cứu nên em không tránh khỏi những thiếu sót và cũng như không tối ưu của vấn đề. Do đó em rất mong sự thông cảm và bỏ qua của thầy cô về những sai sót của em trong bản thiết kế và em mong muốn nhận được sự chỉ bảo và góp ý của các thầy cô trong bộ môn để cho em học hỏi và rút kinh nghiệm về sau.

# CHƯƠNG 1

## CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN DÙNG TRONG HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG.

### 1.1. KHÁI NIỆM.

Một bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ (bộ điều khiển PID) là một cơ chế phản hồi vòng điều khiển (bộ điều khiển) tổng quát được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển công nghiệp – bộ điều khiển PID được sử dụng phổ biến nhất trong số các bộ điều khiển phản hồi. Một bộ điều khiển PID tính toán một giá trị "sai số" là hiệu số giữa giá trị đo thông số biến đổi và giá trị đặt mong muốn. Bộ điều khiển sẽ thực hiện giảm tối đa sai số bằng cách điều chỉnh giá trị điều khiển đầu vào. Trong trường hợp không có kiến thức cơ bản về quá trình, bộ điều khiển PID là bộ điều khiển tốt nhất. Tuy nhiên, để đạt được kết quả tốt nhất, các thông số PID sử dụng trong tính toán phải điều chỉnh theo tính chất của hệ thống-trong khi kiểu điều khiển là giống nhau, các thông số phải phụ thuộc vào đặc thù của hệ thống.

Giải thuật tính toán bộ điều khiển PID bao gồm 3 thông số riêng biệt, do đó đôi khi nó còn được gọi là điều khiển ba khâu: các giá trị tỉ lệ, tích phân và đạo hàm, viết tắt là P, I, và D. Giá trị tỉ lệ xác định tác động của sai số hiện tại, giá trị tích phân xác định tác động của tổng các sai số quá khứ, và giá trị vi phân xác định tác động của tốc độ biến đổi sai số. Tổng chập của ba tác động này dùng để điều chỉnh quá trình thông qua một phần tử điều khiển như vị trí của van điều khiển hay bộ nguồn của phần tử gia nhiệt. Nhờ vậy, những giá trị này có thể làm sáng tỏ về quan hệ thời gian: P phụ thuộc vào sai số hiện tại, I phụ thuộc vào tích lũy các sai số quá khứ, và D dự đoán các sai số tương lai, dựa vào tốc độ thay đổi hiện tại.

Bằng cách điều chỉnh 3 hằng số trong giải thuật của bộ điều khiển PID, bộ điều khiển có thể dùng trong những thiết kế có yêu cầu đặc biệt. Đáp ứng của bộ điều khiển có thể được mô tả dưới dạng độ nhạy sai số của bộ điều khiển, giá trị mà bộ điều khiển vọt lố điểm đặt và giá trị dao động của hệ thống. Lưu ý là công dụng của giải thuật PID trong điều khiển không đảm bảo tính tối ưu hoặc ổn định cho hệ thống.

Vài ứng dụng có thể yêu cầu chỉ sử dụng một hoặc hai khâu tùy theo hệ thống. Điều này đạt được bằng cách thiết đặt đội lợi của các đầu ra không mong muốn về 0. Một bộ điều khiển PID sẽ được gọi là bộ điều khiển PI, PD, P hoặc I nếu vắng mặt các tác động bị khuyết. Bộ điều khiển PI khá phổ biến, do đáp ứng vi phân khá nhạy đối với các nhiễu đo lường, trái lại nếu thiếu giá trị tích phân có thể khiến hệ thống không đạt được giá trị mong muốn.

Chú ý: Do sự đa dạng của lĩnh vực lý thuyết và ứng dụng điều khiển, nhiều qui ước đặt tên cho các biến có liên quan cùng được sử dụng.

## **1.2. BỘ ĐIỀU KHIỂN P.**

### **1.2.1. Hàm truyền.**

Một dạng của mạch sớm pha được gọi là bộ điều khiển tỷ lệ (proportional controller, hay P controller), vì phương trình của nó bao gồm thành phần tỷ lệ có dạng như sau:

$$u_{ra}(t) = K_P u_{vào}(t) \quad (1.1)$$

Hàm truyền của bộ điều khiển P có dạng:

$$G_P(s) = \frac{U_{ra}(s)}{U_{vào}(s)} \quad (1.2)$$

### **1.2.2. Kỹ thuật điều chỉnh P.**

Tín hiệu điều khiển trong quy luật tỉ lệ được hình thành theo công thức:

$$x = K_p \cdot e \quad (1.3)$$

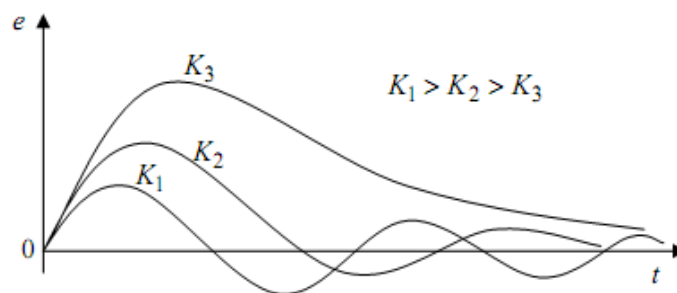
Trong đó:  $K_p$  là hệ số khuếch đại của quy luật. Theo tính chất của khâu khuếch đại (hay khâu tỷ lệ) ta thấy tín hiệu ra của khâu luôn luôn trùng pha với tín hiệu vào. Điều này nói lên ưu điểm của khâu khuếch đại là có độ tác động nhanh. Vì vậy, trong công nghiệp, quy luật tỉ lệ làm việc ổn định với mọi đối tượng. Tuy nhiên, nhược điểm cơ bản của khâu tỉ lệ là khi sử dụng với các đối tượng tĩnh, hệ thống điều khiển luôn tồn tại sai lệch tĩnh. Để giảm giá trị sai lệch tĩnh thì phải tăng hệ số khuếch đại nhưng khi đó, tính dao động của hệ thống sẽ tăng lên và có thể làm hệ thống mất ổn định.

Trong công nghiệp, quy luật tỉ lệ thường được dùng cho những hệ thống cho phép tồn tại sai lệch tĩnh. Để giảm sai lệch tĩnh, quy luật tỉ lệ thường được hình thành theo biểu thức:

$$x = x_0 + K_p e \quad (1.4)$$

Trong đó  $x_0$  là điểm làm việc của hệ thống. Tác động điều khiển luôn giữ cho tín hiệu điều khiển thay đổi xung quanh giá trị này khi xuất hiện sai lệch.

Hình dưới mô tả quá trình điều khiển với các hệ số  $K_p$  khác nhau.



**Hình 1.1:** Quá trình điều khiển với các hệ số P khác nhau.

Hệ số  $K_p$  càng cao thì sai số xác lập và quá điều khiển càng lớn.

### 1.2.3. Quy luật điều chỉnh P.

Giả sử bài toán ở đây là điều khiển tốc độ động cơ với tín hiệu đặt tốc độ là  $r = 1000$  vòng/phút,  $K_p = 15$ . Ta thử khảo sát xem sự biến thiên của tín hiệu ra của bộ điều khiển theo thời gian sẽ như thế nào.

Giả thiết tại thời điểm  $t = 0$  tín hiệu ra của hệ thống  $y = 0$ . Khi đó, tín hiệu sai lệch sẽ là  $e = r - y = 1000$ . Đầu ra của bộ điều khiển là  $u = K_p \times e = 15 \times 1000 = 1500$ . Tín hiệu này sẽ được đưa đến đầu vào của đối tượng cần điều khiển làm cho đầu ra  $y$  của nó bắt đầu tăng lên, dẫn đến  $e$  bắt đầu giảm.

Trong một số trường hợp, do quán tính của hệ thống, khi sai lệch  $e = 0$  (nghĩa là đầu ra  $y$  đã bằng với giá trị đặt  $r$ ) làm cho  $u = K_p \times e = 0$  nhưng tốc độ của động cơ vẫn tiếp tục gia tăng.

Khi tốc độ vượt quá tốc độ đặt thì tín hiệu ra  $u$  của bộ điều khiển đảo chiều, đồng thời quán tính của hệ cũng giảm dần làm cho tốc độ càng giảm nhanh.

Khi tốc độ giảm xuống dưới tốc độ đặt thì tín hiệu ra  $u$  của bộ điều khiển lại lớn hơn 0, làm cho tốc độ lại tăng lên nhưng với quán tính nhỏ hơn.

Sau một vài chu kỳ dao động như trên thì tốc độ động cơ sẽ ổn định ở một giá trị nào đó, phụ thuộc vào các tham số của hệ thống.

#### a. Sai lệch tĩnh

Đối với quy luật điều chỉnh P, khi tốc độ của động cơ bằng với tốc độ đặt  $e = 0$  thì tín hiệu điều khiển  $u = K_{pe}$  cũng bằng 0 và, do đó, tốc độ động cơ sẽ bị kéo giảm xuống. Vì vậy, muốn  $u \neq 0$  thì  $e$  phải khác 0. Nghĩa là phải luôn có một sai lệch giữa tín hiệu đặt và tín hiệu đầu ra thực tế của tín hiệu điều khiển.

Trong ví dụ trên, giả sử sau khi ổn định thì tốc độ động cơ đạt 970 vòng/phút thì sai lệch tĩnh sẽ là  $e = 1000 - 970 = 30$  vòng/phút và tín hiệu ra của bộ điều khiển sẽ là  $u = K_{pe} = 15 \times 30 = 450$ .

#### b. Giảm sai lệch tĩnh

Nếu tăng  $K_p$  lên 150 chẳng hạn thì sai lệch tĩnh  $e$  chỉ cần bằng 3 là có thể đủ để tạo ra một tín hiệu điều khiển bằng 450 để duy trì một mômen đủ lớn giữ cho động cơ quay. Rõ ràng, khi tăng  $K_p$  thì có thể làm giảm được sai

lệch tĩnh. Tuy nhiên, nếu  $K_p$  tăng quá lớn thì hệ có thể bị dao động, không ổn định.

### 1.3. BỘ ĐIỀU KHIỂN PI.

#### 1.3.1 Hàm truyền.

Một dạng của mạch chậm pha được gọi là bộ điều khiển tỷ lệ-tích phân (proportional-integral controller, hay PI controller), vì phương trình của nó bao gồm hai thành phần, tỷ lệ và tích phân, có dạng như sau:

$$u_{ra}(t) = K_P u_{vào}(t) + K_I \int_0^t u_{vào}(\tau) d\tau \quad (1.5)$$

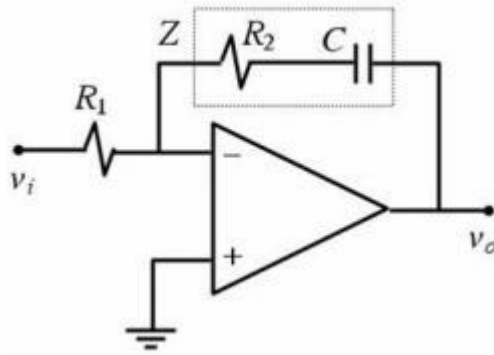
Hàm truyền của bộ điều khiển PI có dạng:

$$G_{PI}(s) = \frac{U_{ra}(s)}{U_{vào}(s)} = K_P + \frac{K_I}{s} \quad (1.6)$$

Tương tự như đối với bộ điều khiển PD, khi sử dụng mạch bù có hàm truyền  $G_{PI}(s)$  này, chúng ta có thể điều chỉnh ảnh hưởng của mạch bù, qua đó điều chỉnh đáp ứng của hệ thống bằng cách thay đổi hai tham số  $K_P$  và  $K_I$ . Chúng ta có thể sử dụng mạch chậm pha như trong Hình 1.10 để làm bộ điều khiển PI. Khi đó, các phần tử của mạch phải được chọn sao cho  $\alpha$  rất lớn để hàm truyền của mạch chậm pha có điểm cực gần bằng không. Hàm truyền của mạch chậm pha khi đó có thể xấp xỉ được như sau:

$$G_c(s) = \frac{1 + \tau s}{1 + \alpha \tau s} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1 + \tau s}{1/\alpha + \tau s} \cong \frac{1}{\alpha} + \frac{1/(\alpha \tau)}{s} \quad (1.7)$$

Đó chính là dạng của hàm truyền của bộ điều khiển PI.



**Hình 1.2:** Mạch của khâu hiệu chỉnh PI.

Mạch sớm pha được sử dụng để tạo ra một góc sớm pha, nhờ đó có được dự trữ pha như mong muốn cho hệ thống. Việc sử dụng mạch sớm pha cũng có thể biểu diễn được trên mặt phẳng  $s$  như một phương pháp làm thay đổi quỹ tích nghiệm của phương trình đặc trưng. Còn mạch chậm pha, mặc dù có ảnh hưởng làm giảm tính ổn định của hệ thống, thường được sử dụng để cung cấp sự suy giảm nhằm làm giảm sai số ở trạng thái xác lập của hệ thống.

### 1.3.2. Kỹ thuật điều khiển PI.

Để hệ thống vừa có tác động nhanh, vừa triệt tiêu được sai lệch tĩnh (là sai lệch giữa giá trị mong muốn so với giá trị ra thực tế khi hệ thống ở trạng thái xác lập) người ta kết hợp quy luật tỉ lệ với quy luật tích phân để tạo ra quy luật tỉ lệ - tích phân.

Tín hiệu điều khiển được xác định theo công thức:

$$x = K_p \cdot e + K_i \int e \cdot dt = K_p \left( e + \frac{1}{T_i} \int e \cdot dt \right) \quad (1.8)$$

Trong đó: -  $K_p$  là hệ số khuếch đại

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} \text{ là hằng số thời gian tích phân.}$$

Hàm truyền của quy luật tỉ lệ tích phân có dạng:



$$W(p) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i \cdot p} \right) \quad (1.9)$$

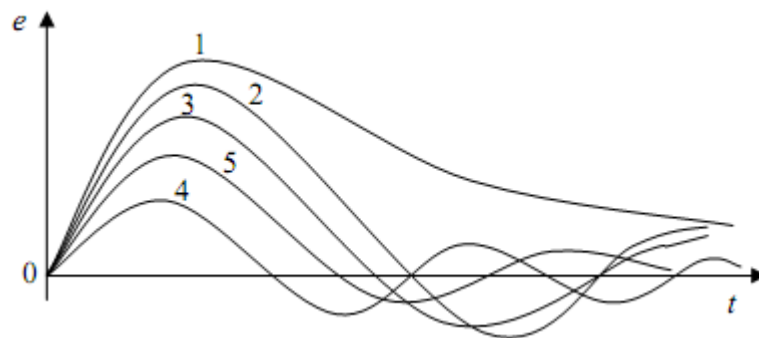
$$W(j\omega) = K_p \left( 1 - j \frac{1}{T_i \cdot \omega} \right) \quad (1.10)$$

Đặc tính pha tần :

$$\varphi(\omega) = \arctg \left( -\frac{1}{T_i \cdot \omega} \right) \quad (1.11)$$

Như vậy khi  $\omega = 0$  thì  $\varphi(\omega) = \pi/2$ , còn khi  $\omega = \infty$  thì  $\varphi(\omega) = 0$ . Tín hiệu ra chậm pha so với tín hiệu vào một góc trong khoảng từ  $-\pi/2$  đến  $0$  phụ thuộc vào các tham số  $K_p$ ,  $T_i$  và tần số tín hiệu vào.

Rõ ràng, về tốc độ tác động thì quy luật PI chậm hơn quy luật tỉ lệ nhưng nhanh hơn quy luật tích phân. Hình dưới mô tả các quá trình quá độ của hệ thống điều khiển tự động sử dụng quy luật PI với các tham số  $K_p$  và  $T_i$  khác nhau.



**Hình 1.3:** Quá trình quá độ của hệ thống điều khiển sử dụng quy luật PI.

- Đường 1 ứng với  $K_p$  nhỏ và  $T_i$  lớn. Tác động điều khiển nhỏ nên hệ thống không dao động.

- Đường 2 ứng với  $K_p$  nhỏ và  $T_i$  nhỏ. Tác động điều khiển tương đối lớn và thiên về quy luật tích phân nên hệ thống có tác động chậm, dao động với tần số nhỏ và không tồn tại sai lệch tĩnh.

- Đường 3 mô tả quá trình khi  $K_p$  lớn và  $T_i$  lớn. Tác động điều khiển tương đối lớn nhưng thiên về quy luật tỉ lệ nên hệ thống dao động với tần số lớn và tồn tại sai lệch tĩnh.

- Đường 4 tương ứng với quá trình điều khiển khi  $K_p$  lớn và  $T_i$  nhỏ. Tác động điều khiển rất lớn. Quá trình điều khiển dao động mạnh, thời gian điều khiển kéo dài và không có sai lệch tĩnh.

- Đường 5 được xem như là quá trình tối ưu khi  $K_p$  và  $T_i$  thích hợp với đối tượng điều khiển.

Trong thực tế, quy luật điều khiển PI được sử dụng khá rộng rãi và đáp ứng được chất lượng cho hầu hết các quá trình công nghệ. Tuy nhiên, do có thành phần tích phân nên độ tác động của quy luật bị chậm đi. Vì vậy, nếu đối tượng có nhiễu tác động liên tục mà hệ thống điều khiển lại đòi hỏi độ chính xác cao thì quy luật PI không đáp ứng được.

### **1.3.3. Quy luật điều chỉnh PI.**

Quy luật điều chỉnh P có ưu điểm là tác động nhanh. Tín hiệu điều khiển phụ thuộc trực tiếp vào sai lệch giữa tín hiệu đặt và tín hiệu thực. Tuy nhiên, khi sai lệch bằng 0 thì tín hiệu điều khiển cũng mất nên luôn tồn tại sai lệch tĩnh như đã nói ở trên.

Vậy làm thế nào để triệt tiêu sai lệch tĩnh?

Câu trả lời là phải đưa ra tín hiệu điều khiển cho đến khi nào sai lệch tĩnh bằng 0 thì giữ nguyên giá trị điều khiển đó.

Giả sử tại thời điểm  $k = 0$   $u_{i,0} = 0$ .

Tại thời điểm  $k=1$  thì  $u_{i,1} = K_{ie1}$ ;  $u_{i,0} = K_{ie1}$  tương tự như bộ điều khiển kiểu P.

Tại thời điểm tiếp theo  $u_{i,2} = K_{ie2} + u_{i,1}$  và cứ như vậy tín hiệu điều khiển lần sau bằng tín hiệu điều khiển ở lần trước đó cộng đại số với tích giữa hệ số tích phân và sai lệch làm cho sai lệch  $e$  (dương hoặc âm) giảm dần (hệ ổn định).

Giả sử tại thời điểm  $k = n$  sai lệch  $e_k = 0$ . Khi đó  $u_{i,n} = u_{i,n-1}$   
(rồi  $u_{i,n+1} = u_{i,n} \dots$ ). Nghĩa là  $u_{i,k}$  sẽ không thay đổi nữa khi  $e_k = 0$

Với bài toán điều khiển tốc độ động cơ với tốc độ đặt là  $r = 1000$   
vòng/phút, giả sử  $K_i = 0.25$  ta thấy:

Giả thiết tại thời điểm  $t = 0$   $u_{i,0} = 0$  thời điểm  $t = 1$  mà  $y_1 = 200$  thì

$$e_1 = r - y_1 = 1000 - 200 = 800$$

và tín hiệu ra của bộ điều khiển sẽ là

$$u_{i,1} = K_{ie1} + u_{i,0} = 0.25 \times 800 + 0 = 200$$

Tín hiệu này sẽ được đưa đến đầu vào của đối tượng cần điều khiển làm  
cho đầu ra  $y$  của nó tiếp tục tăng, dẫn đến  $e$  bắt đầu giảm.

Tại thời điểm  $t = 2$  giả sử  $y_2 = 500$  thì  $e_2 = r - y_2 = 1000 - 500 = 500$  và  
tín hiệu ra của bộ điều khiển sẽ là  $u_{i,2} = K_{ie2} + u_{i,1} = 0.25 \times 500 + 200 = 125 +$   
 $200 = 325$  (giá trị  $u_{i,1} = 200$  của chu kỳ điều khiển trước được cộng thêm 125).  
Đầu ra  $y$  tiếp tục tăng.

Tại thời điểm  $t = 3$  giả sử  $y_3 = 800$  thì  $e_3 = r - y_3 = 1000 - 800 = 200$   
và tín hiệu ra của bộ điều khiển sẽ là

$$u_{i,3} = K_{ie3} + u_{i,2} = 0.25 \times 200 + 325 = 50 + 325 = 375$$

(giá trị  $u_{i,2} = 325$  của chu kỳ điều khiển trước được cộng thêm 50). Đầu ra  $y$   
tiếp tục tăng.

Tại thời điểm  $t = 4$  giả sử  $y_4 = 900$  thì  $e_4 = r - y_4 = 1000 - 900 = 100$  và  
tín hiệu ra của bộ điều khiển sẽ là

$$u_{i,4} = K_{ie4} + u_{i,3} = 0.25 \times 100 + 375 = 25 + 375 = 400$$

(giá trị  $u_{i,3} = 375$  của chu kỳ điều khiển trước được cộng thêm 25). Đầu ra  $y$   
tiếp tục tăng.

Tại thời điểm  $t = 5$  giả sử đầu ra đã bám theo đầu vào, nghĩa là  $y_5 = 1000$   
thì  $e_5 = r - y_5 = 1000 - 1000 = 0$  và tín hiệu ra của bộ điều khiển sẽ là

$$u_{i,5} = K_{ie5} + u_{i,4} = 0.25 \times 0 + 400 = 400$$

(tín hiệu ra của bộ điều khiển được giữ nguyên giá trị  $u_{i,4} = 400$  của chu kỳ điều khiển trước). Tín hiệu đầu ra bộ điều khiển không thay đổi và tốc độ được giữ nguyên.

Giả sử tại thời điểm  $t = 6$  tốc độ  $y_6 = 1100$  thì

$e_6 = r - y_6 = 1000 - 1100 = -100$  Tín hiệu ra của bộ điều khiển sẽ là

$$u_{i,6} = K_{ie6} + u_{i,5} = 0,25 \times (-100) + 400 = 400 - 25 = 375$$

(tín hiệu ra của bộ điều khiển đã được bớt đi giá trị  $-25$  so với chu kỳ điều khiển trước). Tín hiệu đầu ra bộ điều khiển giảm làm cho tốc độ động cơ cũng giảm xuống.

Như vậy, nếu tại thời điểm  $t = n$  đầu ra bám kịp tín hiệu đặt (sai lệch bằng 0) thì tín hiệu ra của bộ điều khiển  $u_{i,n}$  cũng sẽ không đổi. Tại bất kỳ một thời điểm nào nếu sai lệch lại khác 0 thì tín hiệu ra của bộ điều khiển lại tiếp tục thay đổi nhằm kéo đầu ra bám theo tín hiệu đặt.

Tác động chậm.

Việc "thêm, bớt" nói trên làm cho  $e_k$  nhỏ dần và giá trị "thêm, bớt"  $K_{iek}$  cũng nhỏ dần... Quá trình đó diễn ra liên tục cho đến khi đáp ứng đầu ra của hệ bằng với giá trị đặt hay  $e_k = 0$ . Khi  $K_i$  càng lớn thì đáp ứng đầu ra càng nhanh đạt đến giá trị gần với giá trị mong muốn nhưng quá trình "thêm, bớt" để cho giá trị sai lệch tiến về 0 lại diễn ra càng chậm, làm cho thời gian điều khiển kéo dài. Cần lưu ý ở đây là "chậm" tiến về giá trị đặt chứ còn tại thời điểm đầu thì đáp ứng của khâu I vẫn bám rất nhanh tới giá trị đặt nếu  $K_i$  lớn (cũng giống hệt như tác động điều chỉnh kiểu P).

Như vậy, kết hợp tác động nhanh của khâu P và khả năng triệt tiêu sai lệch tĩnh của khâu I ta sẽ có được một bộ điều khiển kiểu PI được sử dụng rất rộng rãi trong công nghiệp.

## **1.4. BỘ ĐIỀU KHIỂN PID.**

### **1.4.1. Hàm truyền.**

Một dạng của mạch sớm-chậm pha được sử dụng rất phổ biến, nhất là

trong các hệ thống điều khiển công nghiệp, là bộ điều khiển tỷ lệ-vi tích phân (proportional-integral-derivative controller hay PID controller), hay còn gọi là bộ điều khiển ba phương thức (three-mode controller), được biểu diễn bằng phương trình vi phân có dạng như sau:

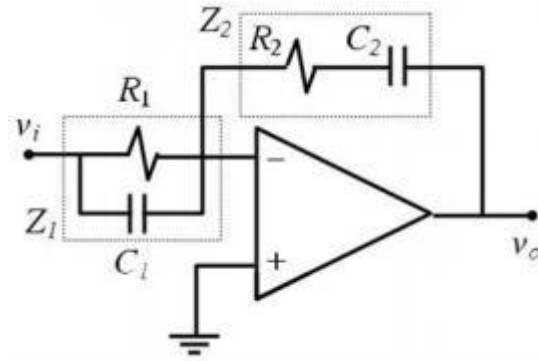
$$u_{ra}(t) = K_P u_{vào}(t) + K_D \frac{du_{vào}(t)}{dt} + K_I \int_0^t u_{vào}(\tau) d\tau \quad (1.12)$$

Hàm truyền của bộ điều khiển PID nói trên sẽ là:

$$G_{PID}(s) = \frac{U_{ra}(s)}{U_{vào}(s)} = K_P + K_D s + \frac{K_I}{s} \quad (1.13)$$

Thành phần tỷ lệ ( $K_P$ ) của bộ điều khiển PID có tác dụng làm tăng tốc độ của đáp ứng và làm giảm nhưng không làm triệt tiêu sai số ở trạng thái xác lập. Thành phần tích phân ( $K_I$ ) có thể làm triệt tiêu sai số ở trạng thái xác lập, nhưng sẽ làm ảnh hưởng đến hiệu suất nhất thời theo chiều hướng không được mong muốn vì phần trăm quá mức của đáp ứng nhất thời sẽ tăng khi  $K_I$  tăng. Ngược lại với  $K_I$ , thành phần đạo hàm ( $K_D$ ) có tác dụng nâng cao tính ổn định của hệ thống và làm giảm phần trăm quá mức của đáp ứng nhất thời, nhờ đó cải thiện hiệu suất nhất thời của hệ thống vòng kín.

Đặc biệt, người ta thường sử dụng các bộ điều khiển PID để điều khiển những quá trình quá phức tạp để có thể thiết lập được các mô hình toán học chính xác, thường là các quá trình phi tuyến và đa biến. Trong những trường hợp đó, với ba tham số  $K_P$ ,  $K_I$  và  $K_D$  của bộ điều khiển PID để điều chỉnh, chúng ta vẫn có thể hy vọng đạt được hiệu suất mong muốn cho hệ thống mà không cần thực hiện nhiều bước phân tích và thiết kế phức tạp.



**Hình 1.4:** Mạch của khâu hiệu chỉnh PID.

Trong nhiều trường hợp, chúng ta có thể cần một mạch bù có thể cung cấp cả góc sớm pha như của một mạch sớm pha và sự suy giảm về độ lớn như của một mạch chậm pha. Một mạch có đặc tính như vậy được gọi là mạch sớm-chậm pha (lead-lag network). Một mạch sớm-chậm pha sẽ có cả hai thành phần sớm pha và chậm pha, vì vậy hàm truyền của mạch sẽ có dạng như sau:

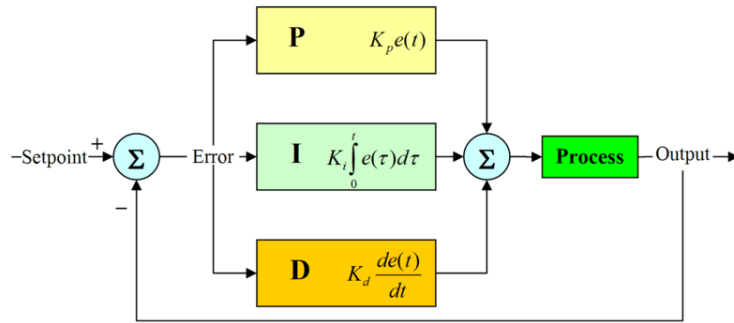
$$G_c(s) = K \frac{s - z_1}{s - p_1} \cdot \frac{s - z_2}{s - p_2} = K_1 \frac{1 + \alpha\tau_1 s}{1 + \tau_1 s} \cdot \frac{1 + \tau_2 s}{1 + \beta\tau_2 s} \quad (1.14)$$

ở đó,  $|z_1| < |p_1|$  và  $|z_2| > |p_2|$ , hay  $\alpha > 1$  và  $\beta > 1$ .

#### 1.4.2. Kỹ thuật điều khiển PID.

Kỹ thuật điều khiển PID (Tỉ lệ, tích phân, vi phân) được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp. Dùng để điều khiển những quá trình phức tạp để thiết lập mô hình toán học chính xác, thường là các quá trình đa biến và phi tuyến.

Điều khiển PID là một kiểu điều khiển có hồi tiếp, ngõ ra thay đổi tương ứng với sự sai lệch giữa tín hiệu đầu ra so với đáp ứng mong muốn. Tùy theo mức độ thì người ta có thể chỉ áp dụng điều khiển P, điều khiển PI, điều khiển PD hoặc điều khiển PID.



**Hình 1.5:** Mô hình thuật toán PID.

Để tăng tốc độ tác động của quy luật PI, trong thành phần của nó người ta ghép thêm thành phần vi phân và nhận được quy luật điều khiển tỉ lệ vi tích phân. Tác động điều khiển được tính toán theo công thức:

$$x = K_p \cdot e + K_i \int e \cdot dt + K_d \cdot \frac{de}{dt} = K_p \left( e + \frac{1}{T_i} \int e \cdot dt + T_d \cdot \frac{de}{dt} \right) \quad (1.15)$$

Trong đó:  $K_p$  là hệ số khuếch đại

$$T_i = \frac{K_p}{K_i} \text{ là hằng số thời gian tích phân}$$

$$T_d = \frac{K_d}{K_p} \text{ là hằng số thời gian vi phân}$$

Hàm truyền của quy luật tỉ lệ - vi tích phân có dạng:

$$W_p = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i \cdot p} + T_d \cdot p \right) \quad (1.16)$$

Hàm truyền tần số của khâu PID:

$$W_{j\omega} = K_p \left( 1 + j \left( T_d \cdot \omega - \frac{1}{T_i \cdot \omega} \right) \right) \quad (1.17)$$

Đặc tính pha tần:

$$\varphi_{\omega} = \arctg \left( \frac{T_i \cdot T_d \cdot \omega^2 - 1}{T_i \cdot \omega} \right) \quad (1.18)$$

Như vậy khi  $\omega = 0$  thì  $\varphi \omega = -\pi/2$ , còn khi  $\omega = \sqrt{\frac{1}{T_i T_d}}$  thì  $\varphi \omega = 0$  và

khi  $\omega = \infty$  thì  $\varphi \omega = \pi/2$ . Rõ ràng góc lệch pha của tín hiệu ra so với tín hiệu vào nằm trong khoảng từ  $-\pi/2$  đến  $\pi/2$ , phụ thuộc vào các tham số  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ , và tần số của tín hiệu vào. Nghĩa là về tốc độ tác động, quy luật PID còn có thể nhanh hơn cả quy luật tỉ lệ. Quy luật PID đáp ứng được yêu cầu về chất lượng của hầu hết các quy trình công nghệ, nhưng việc hiệu chỉnh các tham số của nó rất phức tạp, đòi hỏi người sử dụng phải có một trình độ nhất định. Vì vậy, trong công nghiệp, quy luật PID chỉ sử dụng ở những nơi cần thiết, khi quy luật PI không đáp ứng được yêu cầu về chất lượng điều chỉnh.

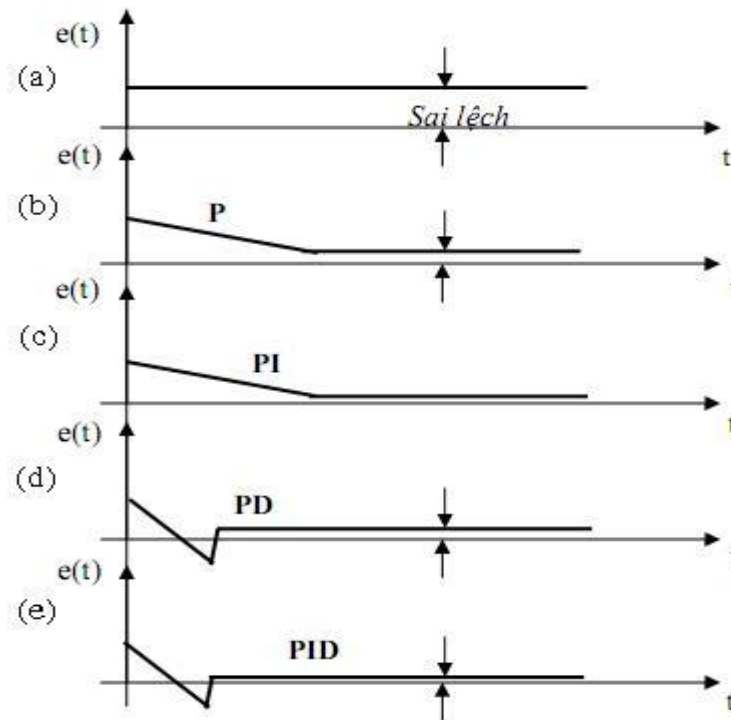
Để hiểu rõ hơn, ta có thể xem hình so sánh về sai lệch điều khiển giữa các quy luật:

- Hình 1.6.c thể hiện sai lệch điều khiển của quy luật PI. So sánh với hình 2.4.b ta thấy khi kết hợp quy luật tích phân với quy luật tỉ lệ thì hệ có tác động chậm, không có sai lệch tĩnh.

- Hình 1.6.d thể hiện sai lệch điều khiển của quy luật PD. So sánh với quy luật PI (hình 1.6.c) ta thấy quy luật PD tác động nhanh hơn, nhưng không làm giảm sai lệch tĩnh.

- Hình 1.6.e thể hiện sai lệch điều khiển của quy luật PID. Quy luật PID có tốc độ tác động nhanh và làm giảm sai lệch tĩnh.





**Hình 1.6:** Minh họa sai lệch điều khiển với các luật điều chỉnh.

**1.4.3. Quy luật điều chỉnh PID.**

Rõ ràng việc phối hợp các đặc tính P, I, và D sẽ cho chúng ta khả năng thiết kế được một bộ điều khiển PID phù hợp với các đối tượng cần điều khiển khác nhau.

a. Sử dụng bộ điều khiển PID.

Một vấn đề cần được đặt ra là trong trường hợp nào thì nên dùng bộ điều khiển kiểu P, PI, PD hay PID?

b. Với các đối tượng có đáp ứng nhanh.

Giả sử một bộ điều khiển kiểu PD được dùng để điều khiển cho một đối tượng có đáp ứng nhanh như điều khiển dòng, điều khiển tốc độ động cơ... Nếu vì một lý do nào đó (như tải tăng chẳng hạn) làm cho đầu ra của hệ thống giảm nhanh về một giá trị nào đó thì do sai lệch sau đó gần như không đổi nên khâu D sẽ gần như không có tác dụng.

Trong trường hợp này, nếu thay vì sử dụng bộ điều khiển kiểu PD ta sử dụng một bộ điều khiển kiểu PI thì tín hiệu ra của khâu vi phân sẽ liên tục

được cộng dồn làm cho tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển ngày càng lớn và có thể đủ để thắng mức độ gia tăng của tải thì sẽ làm tốc độ động cơ tiếp tục tăng trở lại giá trị đặt.

Vì vậy, đối với các đối tượng có đáp ứng nhanh thì sử dụng các bộ điều khiển kiểu PI (có đáp ứng chậm) hoặc PID là phù hợp.

c. Với các đối tượng có đáp ứng chậm.

Hiện tượng Windup.

Giả sử một bộ điều khiển kiểu PI được dùng để điều khiển cho một đối tượng có đáp ứng chậm như điều khiển nhiệt độ chẳng hạn. Do đáp ứng chậm nên có thể xảy ra trường hợp sai lệch giữa giá trị đặt so với giá trị thực có thể diễn ra trong thời gian dài. Ví dụ, nhiệt độ đặt là  $850^{\circ}\text{C}$ , nhiệt độ hiện tại của đối tượng là  $350^{\circ}\text{C}$  và giả sử phải gia nhiệt hết công suất thì cũng phải sau 15 phút thì nhiệt độ mới đạt yêu cầu.

Chú ý là tín hiệu ra của khâu  $I$   $u_{i,k} = K_{iek} + u_{i,k-1}$  được cộng dồn liên tục do chu kỳ điều khiển  $k$  thường rất nhỏ (chỉ cỡ vài chục ms chẳng hạn). Kết quả là tín hiệu ra của khâu  $I$  cứ tăng lên mãi, vượt quá khả năng của mạch công suất nhưng do sai lệch vẫn còn lớn nên khâu  $I$  vẫn tiếp tục cộng dồn...

Hiện tượng như vậy còn được gọi là Windup.

Vì vậy, với bộ điều khiển có khâu  $I$  người ta có thể còn cần phải thiết kế thêm một phần để chống lại hiện tượng này và được gọi là anti windup.

Trong ví dụ này, nếu thay vì sử dụng bộ điều khiển kiểu PI ta sử dụng một bộ điều khiển kiểu PD thì tín hiệu ra của khâu  $D$   $u_{d,k} = K_d(e_k - e_{k-1})$  sẽ có giá trị không lớn, phù hợp với mức độ gia tăng dần dần của nhiệt độ đầu ra.

Như vậy, đối với các đối tượng có đáp ứng chậm thì sử dụng các bộ điều khiển kiểu PD (có đáp ứng nhanh) là phù hợp.

Nói chung, dựa trên các phân tích ở trên có thể thấy rằng việc sử dụng một bộ điều khiển kiểu PID và chọn được các tham số phù hợp thì có thể đáp ứng được nhu cầu điều khiển cho nhiều loại đối tượng khác nhau.

### **Kết luận:**

Các thành phần P, I, và D trong bộ điều khiển PID (số) có ý nghĩa rất cụ thể và rõ ràng. Trong bài toán điều khiển bám (theo giá trị đặt), thành phần tỷ lệ P phản ứng lại ngay với sai lệch, không cần "nhớ" đáp ứng trước đó như thế nào, nhờ vậy mà nó tạo ra đáp ứng nhanh và kịp thời. Thành phần tích phân I là thành phần "có nhớ", nó lưu lại giá trị điều khiển của vòng lặp trước sau đó điều chỉnh thêm vào hay bớt đi một lượng nào đó (do hệ số Ki và độ lớn của sai số quyết định) để tạo ra tín hiệu điều khiển cho vòng lặp tiếp theo cho đến khi sai lệch bằng 0. Thành phần D cũng là một thành phần "có nhớ", nó so sánh mức độ chênh lệch của sai lệch ở vòng lặp hiện tại và sai lệch được lưu ở vòng lặp trước đó để đưa ra tín hiệu điều khiển của riêng mình. Khi độ chênh giữa sai lệch của hai chu kỳ điều khiển kế tiếp càng lớn thì tín hiệu điều khiển ra của nó càng lớn (bản chất của đạo hàm). Còn nếu sai lệch của chu kỳ điều khiển hiện tại cũng giống như sai lệch ở chu kỳ điều khiển trước (nghĩa là sai lệch vẫn còn nhưng không thay đổi) thì tín hiệu điều khiển ra của nó bằng 0.

Như vậy, ba thành phần P, I, và D trong một mạch vòng điều khiển cũng tương tự như 7 nốt nhạc trong một bản nhạc. Bằng cách phối hợp các thành phần đó với những tỷ lệ khác nhau chúng ta cũng có thể tạo ra một "bản nhạc" điều khiển với các "giai điệu" khác nhau. Nếu phối hợp tốt sẽ tạo ra một bản nhạc như mong muốn và êm ái. Còn nếu phối hợp không khéo thì sẽ tạo ra một bản nhạc uốn éo, giật cục với giai điệu khó có thể biết trước được.

## CHƯƠNG 2

### CÁC MẠCH KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN.

#### 2.1. MẠCH KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN.

##### 2.1.1. Khái niệm.

Mạch khuếch đại thuật toán (tiếng Anh: operational amplifier), thường được gọi tắt là op-amp là một mạch khuếch đại một chiều nối tầng trực tiếp với hệ số khuếch đại rất cao, có đầu vào vi sai, và thông thường có đầu ra đơn. Trong những ứng dụng thông thường, đầu ra được điều khiển bằng một mạch hồi tiếp âm sao cho có thể xác định độ lợi đầu ra, tổng trở đầu vào và tổng trở đầu ra.

Các mạch khuếch đại thuật toán có những ứng dụng trải rộng trong rất nhiều các thiết bị điện tử thời nay từ các thiết bị điện tử dân dụng, công nghiệp và khoa học. Các mạch khuếch đại thuật toán thông dụng hiện nay có giá bán rất rẻ. Các thiết kế hiện đại đã được điện tử hóa chặt chẽ hơn trước đây, và một số thiết kế cho phép mạch điện chịu đựng được tình trạng ngắn mạch đầu ra mà không làm hư hỏng.

##### 2.1.2. Lịch sử.

Từ khi mới ra đời, mạch khuếch đại thuật toán được thiết kế để thực hiện các phép tính bằng cách sử dụng điện áp như một giá trị tương tự để mô phỏng các đại lượng khác. Do đó, nó mới được đặt tên là "Mạch khuếch đại thuật toán". Đây là thành phần cơ bản trong các máy tính tương tự, trong đó mạch khuếch đại thuật toán sẽ thực hiện các thuật toán như Cộng, Trừ, Tích phân và vi phân vv...

Tuy nhiên, mạch khuếch đại thuật toán lại rất đa năng, với rất nhiều ứng dụng khác ngoài các ứng dụng thuật toán. Các mạch khuếch đại thuật toán thực nghiệm, được lắp ráp bằng các transistor, các đèn điện tử chân không

hoặc những linh kiện khuếch đại khác, được trình bày dưới dạng những mạch linh kiện rời rạc hoặc các mạch tích hợp đã tỏ ra rất tương hợp với những linh kiện thực sự.

Trong khi các mạch khuếch đại thuật toán đầu tiên phát triển trên các đèn điện tử chân không, giờ đây chúng thường được sản xuất dưới dạng mạch tích hợp (ICs), mặc dù vậy, những phiên bản lắp ráp bằng linh kiện rời cũng được sử dụng nếu cần những tiện ích vượt quá tầm của các IC.

Những mạch khuếch đại thuật toán tích hợp đầu tiên được ứng dụng rộng rãi từ cuối thập niên 1960, là các mạch sử dụng transistor lưỡng cực  $\mu A709$  của hãng Fairchild, do Bob Widlar thiết kế năm 1965; nó nhanh chóng bị thay thế bằng mạch 741, mạch này có những tiện ích tốt hơn, độ ổn định cao hơn và dễ sử dụng hơn. Mạch  $\mu A741$  đến nay vẫn còn được sản xuất, và có mặt khắp nơi trong lĩnh vực điện tử - rất nhiều nhà chế tạo đã sản xuất ra các phiên bản khác của mạch này, nhưng vẫn tiếp tục thừa nhận con số ban đầu là "741". Những thiết kế tốt hơn đã được giới thiệu, một số dựa trên transistor hiệu ứng trường FET (cuối thập niên 1970) và transistor hiệu ứng trường có cổng cách điện MOSFET (đầu thập niên 1980). Rất nhiều những linh kiện hiện đại này có thể thay thế được cho các mạch sử dụng 741, mà không cần thay đổi gì, nhưng lại cho những hiệu năng tốt hơn.

Các mạch khuếch đại thuật toán thường có những thông số nằm trong những giới hạn nhất định, và có những vỏ ngoài tiêu chuẩn, cùng với nguồn điện cung cấp tiêu chuẩn. Chúng có rất nhiều ứng dụng trong lĩnh vực điện tử; chỉ cần một số ít linh kiện bên ngoài nó có thể thực hiện cả một dải rộng các tác vụ xử lý tín hiệu tương tự. Rất nhiều mạch khuếch đại thuật toán tích hợp có giá chỉ chừng vài cent nếu mua với số lượng vừa phải, trong khi những mạch khuếch đại tích hợp hoặc rời rạc với những thông số kỹ thuật không tiêu chuẩn có thể có giá đến cả 100 dollar nếu đặt hàng số lượng ít.

### 2.1.3. Nguyên lý hoạt động.

Đầu vào vi sai của mạch khuếch đại gồm có đầu vào đảo và đầu vào không đảo, và mạch khuếch đại thuật toán thực tế sẽ chỉ khuếch đại hiệu số điện thế giữa hai đầu vào này. Điện áp này gọi là điện áp vi sai đầu vào. Trong hầu hết các trường hợp, điện áp đầu ra của mạch khuếch đại thuật toán sẽ được điều khiển bằng cách trích một tỷ lệ nào đó của điện áp ra để đưa ngược về đầu vào đảo. Tác động này được gọi là hồi tiếp âm. Nếu tỷ lệ này bằng 0, nghĩa là không có hồi tiếp âm, mạch khuếch đại được gọi là hoạt động ở vòng hở. Và điện áp ra sẽ bằng với điện áp vi sai đầu vào nhân với độ lợi tổng của mạch khuếch đại, theo công thức sau:

$$V_{ra} = (V_+ - V_-) \cdot G_{vongho} \quad (2.1)$$

Trong đó  $V_+$  là điện thế tại đầu vào không đảo,  $V_-$  là điện thế ở đầu vào đảo và  $G$  gọi là độ lợi vòng hở của mạch khuếch đại.

Do giá trị của độ lợi vòng hở rất lớn và thường không được quản lý chặt chẽ ngay từ khi chế tạo, các mạch khuếch đại thuật toán thường ít khi làm việc ở tình trạng không có hồi tiếp âm. Ngoại trừ trường hợp điện áp vi sai đầu vào vô cùng bé, độ lợi vòng hở quá lớn sẽ làm cho mạch khuếch đại làm việc ở trạng thái bão hòa trong các trường hợp khác.

Một cấu hình khác của mạch khuếch đại thuật toán là sử dụng hồi tiếp dương, mạch này trích một phần điện áp ra đưa ngược trở về đầu vào không đảo. Ứng dụng quan trọng của nó dùng để so sánh, với đặc tính trễ hysteresis.

Mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng.

Với mọi giá trị điện áp ở đầu vào, một mạch khuếch đại thuật toán "lý tưởng" có:

- Độ lợi vòng hở vô cùng lớn
- Băng thông vô cùng lớn
- Tổng trở đầu vào vô cùng lớn (để cho dòng điện đầu vào bằng không)
- Điện áp bù bằng không

- Tốc độ thay đổi điện áp vô cùng lớn
- Tổng trở đầu ra bằng không và
- Tạp nhiễu (độ ồn) bằng không

Như thế, đầu vào của mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng khi tính toán trong vòng hồi tiếp có thể mô phỏng bằng một khâu nullator, ngõ ra với một khâu norator và kết hợp cả 2 ( một mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng hoàn chỉnh) bằng một khâu nullor.

Mạch khuếch đại thuật toán thực sự chỉ gần đạt được các ý tưởng trên: bên cạnh các giá trị giới hạn về tốc độ thay đổi, băng thông, điện áp bù và những thứ tương tự như thế, các thông số của mạch khuếch đại thuật toán thực tế sẽ bị thay đổi theo thời gian và có thể bị thay đổi theo nhiệt độ, tình trạng của các đầu vào... Các mạch tích hợp hiện đại sử dụng transistor hiệu ứng trường hoặc transistor hiệu ứng trường có cổng cách điện Oxit kim loại sẽ có các đặc tính gần với mạch lý tưởng hơn các mạch sử dụng transistor lưỡng cực khi các tín hiệu lớn phải xử lý trong điều kiện nhiệt độ phòng qua một băng thông giới hạn. Đặc biệt, tổng trở vào cao hơn rất nhiều, tuy nhiên các mạch dùng transistor lưỡng cực thường tốt hơn về mặt trôi điện áp bù, và độ ồn.

Khi những giới hạn của một mạch khuếch đại thuật toán thực sự được tạm thời bỏ qua, nó có thể được xem như một chiếc hộp đen có độ lợi. Chức năng của mạch và các thông số có thể xác định bằng mạch hồi tiếp, và thường là hồi tiếp âm.

#### **2.1.4. Những giới hạn của bộ khuếch đại thuật toán thực tế.**

a. Những sai lệch về mặt một chiều.

- Độ lợi hữu hạn: Người ta thường nhắc đến điều này khi thiết kế toàn diện cố gắng tính toán độ lợi đến gần với độ lợi của mạch khuếch đại.

- Tổng trở vào hữu hạn: Điều này sẽ tạo ra giới hạn trên cho việc tính toán các điện trở trong mạch hồi tiếp. Một số mạch khuếch đại thuật toán có

mạch bảo vệ đầu vào chống quá áp: điều này làm cho một vài thông số đầu vào trở nên xấu hơn. Một số mạch khuếch đại thuật toán có cả 2 phiên bản: có bảo vệ đầu vào (như vậy làm giảm các đặc tính đôi chút) và không có bảo vệ đầu vào.

- Tổng trở ra không xuống đến không: Điều này quan trọng đối với tải có tổng trở thấp. Ngoại trừ đối với trường hợp điện áp ra rất bé, người ta thường phải cân nhắc đến vấn đề công suất đầu tiên. Tổng trở ra tỷ lệ nghịch với dòng tĩnh của tầng cuối (nếu dòng tĩnh rất bé thì tổng trở ra sẽ rất lớn).

- Dòng điện định thiên đầu vào: Một dòng điện nhỏ (cỡ  $\sim 10$  nA đối với các mạch khuếch đại thuật toán dùng Transistor lưỡng cực, hoặc cỡ picoamperes đối với các thiết kế dùng CMOS) chảy trong mạch vào. Dòng điện này thường hơi chênh lệch nhau đối với hai đầu vào đảo và không đảo. Sự chênh lệch ấy gọi là dòng bù đầu vào (input offset current). Ảnh hưởng của nó chỉ có ý nghĩa đối với những mạch có công suất rất thấp.

- Điện áp bù đầu vào (Input offset voltage): Đây là điện áp cần đặt vào đầu vào để bảo đảm đầu ra bằng 0. Hạn chế này làm ảnh hưởng mạnh đến các thông số của mạch khuếch đại mà có thể phụ thuộc vào điểm không của mạch, thường là điện áp nằm giữa điện áp cấp nguồn dương và điện áp cấp nguồn âm. Trong một mạch khuếch đại hoàn hảo, điện áp bù đầu vào bằng không. Tuy nhiên thực tế nó vẫn tồn tại trong các mạch khuếch đại thuật toán vì sự sai lệch trong mạch khuếch đại vi sai đầu vào. Điện áp bù đầu vào gây ra những vấn đề: Thứ nhất, do độ lợi vòng hở quá lớn, mạch khuếch đại sẽ chuyển sang trạng thái bão hòa khi hoạt động không có hồi tiếp âm, ngay cả khi chúng ta nối tắt 2 đầu vào với nhau. Thứ nhì, trong một vòng kín, hệ thống hồi tiếp âm sẽ định hình điện áp đầu vào sao cho được khuếch đại lên cùng với mức tín hiệu, và điều này có thể ảnh hưởng trong các mạch đòi hỏi độ chính xác cao về mặt một chiều, hoặc khi tín hiệu vào quá nhỏ. Nhiều thiết kế cũ của mạch khuếch đại thuật toán có các chân ra để chỉnh định điện áp bù



đầu vào. Các thiết kế hiện đại hơn có các mạch tự động triệt tiêu điện áp bù đầu vào này bằng kỹ thuật băm điện áp. Hoặc một số mạch khác đo lường điện áp bù này, và tạo ra điện áp đối kháng để trừ lại.

- Độ lợi đồng pha: Một mạch khuếch đại thuật toán hoàn hảo chỉ khuếch đại hiệu số điện thế giữa 2 đầu vào, và không quan tâm đến điện áp chung của chúng. Tuy nhiên các đầu vào vi sai của các bộ khuếch đại thuật toán thường không hoàn hảo khiến cho nó có thể khuếch đại các tín hiệu đưa đến đồng thời cả 2 đầu vào một chút ít. Thông số tiêu chuẩn để đánh giá tác động này là hệ số triệt tín hiệu đồng pha (hoặc đồng thời) common-mode rejection ratio (viết tắt là CMRR). Giảm thiểu hệ số này là điều rất quan trọng trong các mạch khuếch đại không đảo (sẽ mô tả dưới đây) làm việc ở hệ số khuếch đại lớn.

- Hiệu ứng nhiệt: Tất cả các thông số của mạch khuếch đại thuật toán bị ảnh hưởng do nhiệt. Độ trôi nhiệt của điện áp bù đầu vào đặc biệt quan trọng.

b. Những sai lệch về mặt xoay chiều.

- Băng thông hữu hạn: Tất cả các mạch khuếch đại đều có băng thông hữu hạn. Hạn chế này sẽ gây ra những vấn đề cho mạch khuếch đại thuật toán. Trước hết kèm theo sự hạn chế về băng thông là sự khác biệt về pha giữa đầu vào và đầu ra. Sự lệch pha này có thể gây nên dao động trong một số mạch hồi tiếp Mạch bù trừ tần số dùng trong một số mạch khuếch đại thuật toán sẽ làm giảm băng thông, nhưng lại làm tăng độ ổn định đầu ra khi sử dụng với các kiểu hồi tiếp khác nhau. Thứ nhì, hạ thấp băng thông sẽ làm giảm bớt mức độ hồi tiếp ở tần số cao, làm tăng méo tăng độ ồn và tăng tổng trở ra. Đồng thời giảm độ tuyến tính của đặc tuyến tần số pha.

- Điện dung đầu vào: Rất quan trọng trong các ứng dụng cao tần vì nó làm hạ thấp băng thông vòng hở của mạch khuếch đại.

- Hệ số khuếch đại đồng pha: Xem phần những sai lệch về mặt một chiều bên trên.

c. Những sai lệch do phi tuyến.

- Bão hòa: Điện áp đầu ra sẽ bị giới hạn ở trị số thấp nhất và cao nhất gần với điện áp nguồn nuôi. (Điện áp đầu ra không thể đạt đến điện áp nguồn là do những giới hạn của tầng xuất. Xem phần Tầng xuất dưới đây.) Hiện tượng bão hòa xảy ra khi điện áp đầu ra của mạch khuếch đại đạt đến các giá trị, và thường tùy thuộc vào:

- Trong trường hợp mạch khuếch đại thuật toán sử dụng nguồn lưỡng cực, độ lợi điện áp làm cho điện áp đầu ra dương hơn trị số cao nhất hoặc âm hơn trị số thấp nhất; hoặc

- Trong trường hợp mạch khuếch đại thuật toán sử dụng nguồn đơn cực, nếu độ lợi điện áp gây ra điện áp đầu ra dương hơn trị số cao nhất, hoặc khi điện áp ra quá thấp, gần điện thế đất hơn trị số giới hạn thấp nhất.

- Độ dốc điện áp: Đầu ra của các mạch khuếch đại có thể đạt đến mức thay đổi điện áp cao nhất của nó. Đại lượng tốc độ thay đổi điện áp tối đa đo được thường được hiển thị theo đơn vị vôn trên mili giây. Khi đang ở trong thời điểm thay đổi này, mọi thay đổi ở đầu vào đều không ảnh hưởng đến đầu ra. Độ dốc của đầu ra mạch khuếch đại thường do các điện dung ký sinh bên trong mạch khuếch đại, đặc biệt là những mạch có hỗ trợ mạch bù tần số bên trong.

- Hàm truyền phi tuyến: Điện áp ra có thể sẽ không tỷ lệ chính xác với điện áp vi sai đầu vào. Điều này sinh ra méo dạng nếu đầu vào là một tín hiệu có dạng sóng. Ảnh hưởng của nó sẽ rất bé trong các mạch có sử dụng hồi tiếp âm.

d. Những lưu ý về mặt công suất.

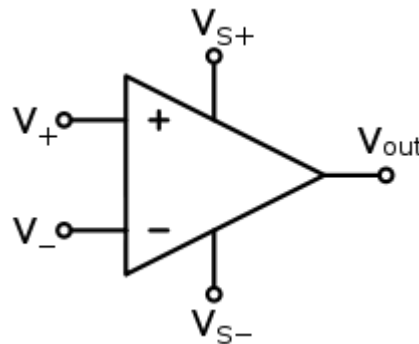
- Giới hạn dòng điện đầu ra: Dòng điện đầu ra phải được giới hạn. Thực ra đa số các mạch khuếch đại thuật toán đã được thiết kế sao cho giới hạn dòng điện đầu ra không vượt quá một trị số xác định, khoảng 25 mA đối với

mạch khuếch đại thuật toán 741 do đó có thể tự bảo vệ mạch và các mạch bên ngoài không bị hư hỏng.

- Giới hạn công suất tiêu tán: Một mạch khuếch đại thuật toán là một mạch khuếch đại tuyến tính. Do đó nó sẽ bị tiêu tán một năng lượng dưới dạng nhiệt năng, tỷ lệ với dòng điện đầu ra và hiệu số điện áp giữa điện áp nguồn và điện áp đầu ra. Nếu mạch khuếch đại tiêu tán quá nhiều năng lượng, nhiệt độ của nó có thể tăng lên trên ngưỡng an toàn. Mạch có thể bị dẫn đến sụp đổ do nhiệt hoặc bị phá hỏng.

Ký hiệu:

Ký hiệu trên mạch điện của một mạch khuếch đại thuật toán như sau:



**Hình 2.1:** Ký hiệu của mạch khuếch đại thuật toán trên sơ đồ điện.

Trong đó:

- $V_{+}$ : Đầu vào không đảo
- $V_{-}$ : Đầu vào đảo
- $V_{out}$ : Đầu ra
- $V_{S+}$ : Nguồn cung cấp điện dương
- $V_{S-}$ : Nguồn cung cấp điện âm

Các chân cấp nguồn ( $V_{S+}$  and  $V_{S-}$ ) có thể được ký hiệu bằng nhiều cách khác nhau. Cho dù vậy, chúng luôn có chức năng như cũ. Thông thường những chân này thường được vẽ dồn về góc trái của sơ đồ cùng với hệ thống cấp nguồn cho bản vẽ được rõ ràng. Một số sơ đồ người ta có thể giản lược

lại, và không vẽ phân cấp nguồn này. Vị trí của đầu vào đảo và đầu vào không đảo có thể hoán chuyển cho nhau khi cần thiết. Nhưng phân cấp nguồn thường không được đảo ngược lại.

#### **2.1.5. Ứng dụng trong thiết kế hệ thống điện tử.**

Sử dụng mạch khuếch đại thuật toán như một khối mạch điện sẽ dễ dàng và sáng sủa hơn nhiều so với việc tính toán xác định tất cả các thông số của các phần tử trong mạch (transistor, điện trở, vv...), cho dù mạch khuếch đại là mạch tích hợp hay linh kiện rời. Những mạch khuếch đại thuật toán đầu tiên có thể được sử dụng như thế nếu nó là một khối khuếch đại vi sai thực sự có độ lợi đủ lớn. Trong các mạch sau này, những giới hạn của các tầng khuếch đại sẽ áp đặt vào những dải thông số của mỗi mạch.

Việc thiết kế mạch được tiến hành theo một số trình tự giống nhau cho mọi mạch. Những đặc tính sẽ được vẽ ra trước định ra những gì mà mạch phải thực hiện, với những giới hạn cho phép. Thí dụ, độ lợi có thể cần là 100 lần, với sai số thấp hơn 5%, nhưng thay đổi ít hơn 1% khi nhiệt độ thay đổi trong một phạm vi định trước; tổng trở đầu vào không nhỏ hơn 1 megohm vv...

Một mạch điện được thiết kế thường với sự trợ giúp của các công cụ mô phỏng trên máy tính. Những mạch khuếch đại thuật toán thông dụng và các linh kiện khác sẽ được chọn lựa sao cho phù hợp với những yêu cầu của mạch và nằm trong sai số cho phép với giá cả hợp lý. Nếu không đạt tất cả các yêu cầu của mạch, các giá trị có thể được thay đổi.

Sản phẩm mẫu sau đó sẽ được thực hiện và thử nghiệm. Các thay đổi sẽ được thực hiện để đạt hay tăng cường các đặc tính, thay đổi chức năng hoặc giảm giá thành.

a. Hoạt động đối với một chiều.

Độ lợi vòng hở được định nghĩa là hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại thuật toán từ đầu vào đến đầu ra khi không có hồi tiếp. Trong hầu hết các tính toán thực tế, độ lợi vòng hở được xem như vô cùng lớn mặc dù thật ra

không phải như vậy. Một linh kiện tiêu biểu thường có độ lợi vòng hở đối với một chiều nằm trong khoảng từ 100.000 đến 1.000.000. Trị số này đủ lớn cho các ứng dụng có độ lợi xác định bằng lượng hồi tiếp âm. Các mạch khuếch đại thuật toán có những giới hạn sử dụng mà người thiết kế cần phải nhớ rõ và đôi khi phải làm việc với chúng. Khi thiết kế cụ thể độ mất ổn định có thể xảy ra trong các mạch khuếch đại một chiều nếu các thành phần xoay chiều bị bỏ qua.

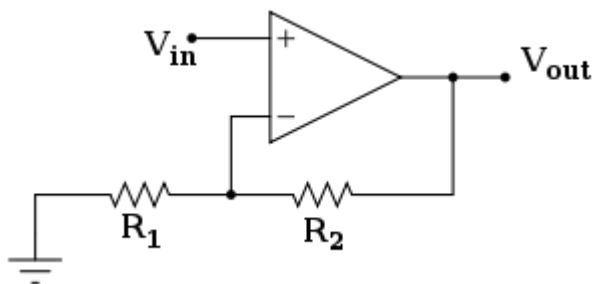
b. Mạch khuếch đại không đảo cơ bản.

Một mạch khuếch đại thuật toán thông dụng có 2 đầu vào và 1 đầu ra. Điện áp đầu ra bằng bội số của sai biệt điện áp hai đầu vào:

$$V_{\text{out}} = G(V_+ - V_-) \quad (2.2)$$

G là độ lợi vòng hở của mạch khuếch đại thuật toán. Đầu vào được giả định có tổng trở rất cao; Dòng điện đi vào hoặc ra ở đầu vào sẽ không đáng kể. Đầu ra được giả định có tổng trở rất thấp.

Nếu đầu ra được đưa trở về đầu vào đảo sau khi được chia bằng một bộ phân áp  $K = R_1 / (R_1 + R_2)$ , thì:



**Hình 2.2:** Kết cấu của một mạch khuếch đại thuật toán ráp thành mạch khuếch đại không đảo cơ bản.

$$V_+ = V_{\text{in}}$$

$$V_- = K V_{\text{out}}$$

$$V_{\text{out}} = G(V_{\text{in}} - K V_{\text{out}})$$

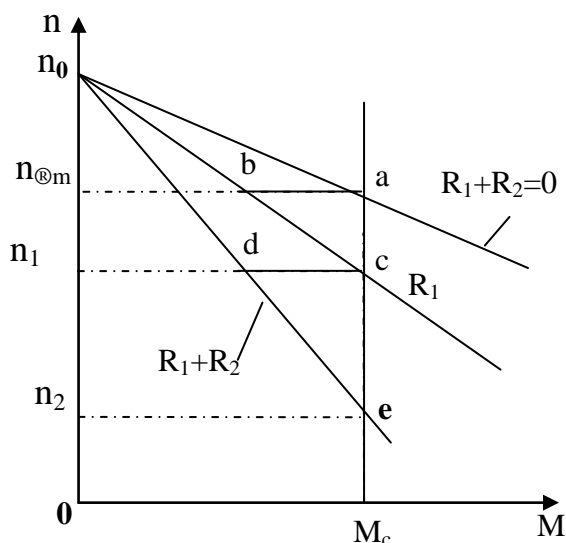
Để tính  $V_{\text{out}} / V_{\text{in}}$ , chúng ta thấy là một một hệ số khuếch đại tuyến tính với độ lợi là:  $V_{\text{out}}/V_{\text{in}} = G / (1 + G K)$

Nếu  $G$  rất lớn,  $V_{out}/V_{in}$  sẽ gần bằng  $1/K$ , bằng  $1 + (R_2/R_1)$ .

Kiểu nối hồi tiếp âm như thế này được sử dụng rất thường xuyên nhưng có thể có nhiều biến thể khác nhau, làm cho nó trở nên một trong những khối linh hoạt nhất trong tất cả các khối lắp đặt điện tử.

Khi được nối trong một vòng hồi tiếp âm, mạch khuếch đại thuật toán sẽ cố gắng điều chỉnh  $V_{out}$  sao cho điện áp vào sẽ càng gần nhau. Điều này, cùng với tổng trở đầu vào cao đôi khi được xem là 2 nguyên tắc vàng của thiết kế mạch khuếch đại thuật toán (đối với những mạch có hồi tiếp âm) đó là:

1. Không có dòng điện đi vào đầu vào.
2. Điện áp ở 2 đầu vào phải gần bằng nhau.



**Hình 2.3:** Điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều bằng phương pháp thay đổi điện trở mạch rô to.

Có ngoại lệ là nếu điện áp ra cần thiết lại vượt quá nguồn điện cung cấp cho mạch, điện áp ra sẽ gần bằng với mức ngưỡng của nguồn cấp,  $V_{S+}$  hoặc  $V_{S-}$ .

Hầu hết các mạch khuếch đại thuật toán đơn, đôi hoặc bộ tứ đều có các thứ tự chân ra theo tiêu chuẩn, cho phép có thể lắp thay đổi lẫn nhau mà không cần thay đổi sơ đồ nối dây. Một mạch khuếch đại thuật toán cụ thể sẽ được chọn theo độ lợi vòng hở, băng thông, hệ số tạp âm, tổng trở đầu vào, công suất tiêu tán hoặc phối hợp giữa những chức năng đó.

Điều chỉnh tốc độ bằng phương pháp thay đổi điện trở phụ  $R_f$  trên mạch phản ứng.

Từ công thức:

$$n = \frac{U - I_0(R_t + R_{dc})}{C_e \phi} = \frac{U}{C_e \phi} - \frac{M(R_t + R_{dc})}{C_e C_m \phi^2} \quad (2.3)$$

Ta ký hiệu hiệu  $\Delta n = M(R_t + R_{dc})$  thì khi  $M = \text{const}$  mà thay đổi  $R_{dc}$  thì thay đổi được  $\Delta n$  (độ giảm tốc độ), tức là thay đổi được tốc độ động cơ.

Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện trở mạch phản ứng có những ưu khuyết điểm sau:

- Dễ thực hiện, vốn đầu tư ít, điều chỉnh tương đối lúng
- Tuy nhiên phạm vi điều chỉnh hẹp và phụ thuộc vào tải (tải càng lớn phạm vi điều chỉnh càng rộng), không thực hiện được ở vùng gần tốc độ không tải. Điều chỉnh có tổn hao lớn. Người ta đã chứng minh rằng để giảm 50% tốc độ định mức thì tổn hao trên điện trở điều chỉnh chiếm 50% công suất đưa vào. Điện trở điều chỉnh tốc độ có chế độ làm việc lâu dài nên không dùng điện trở khởi động (làm việc ở chế độ ngắn hạn) để làm điện trở điều chỉnh tốc độ.

## 2.2. ỨNG DỤNG MẠCH KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN.

Phần này nêu lên một số ứng dụng tiêu biểu của các linh kiện tích hợp mạch rắn. Trong bài có sử dụng các sơ đồ đơn giản hóa, và người đọc nên lưu ý rằng nhiều chi tiết như tên của linh kiện, số thứ tự chân ra và nguồn cung cấp không được thể hiện trong hình.

Các điện trở sử dụng trong các sơ đồ thường được ghi nhận giá trị trên đơn vị là  $k\Omega$ . Các điện trở có dải  $< 1 k\Omega$  có thể gây ra dòng điện quá mức và có khả năng phá hỏng linh kiện. Các điện trở có dải  $> 1 M\Omega$  có thể gây ra các tạp âm nhiệt và làm cho mạch vận hành kém ổn định ứng với dòng định thiên đầu vào.

**Ghi chú:** Một điều quan trọng cần lưu ý là các công thức dưới đây giả định rằng chúng ta sử dụng các mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng. Điều đó có nghĩa là khi thiết kế thực tế các mạch này cần phải tham khảo thêm một số tài liệu chi tiết khác.

### 2.2.1. Ứng dụng mạch tuyến tính.

Mạch khuếch đại vi sai

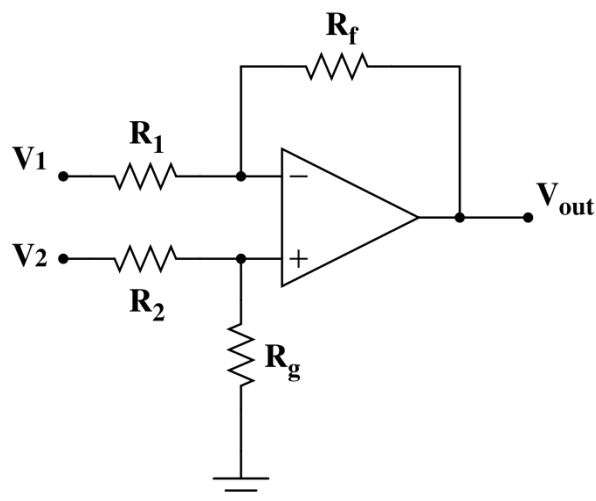
Mạch điện này dùng để tìm ra hiệu số, hoặc sai số giữa 2 điện áp mà mỗi điện áp có thể được nhân với một vài hằng số nào đó. Các hằng số này xác định nhờ các điện trở.

Thuật ngữ "Mạch khuếch đại vi sai" không được nhầm lẫn với thuật ngữ "Mạch vi phân" cũng trong bài này.

$$V_{\text{out}} = V_2 \left( \frac{(R_f + R_1) R_g}{(R_g + R_2) R_1} \right) - V_1 \left( \frac{R_f}{R_1} \right) \quad (2.4)$$

Tổng trở vi sai  $Z_{\text{in}}$  (giữa 2 chân đầu vào) =  $R_1 + R_2$

a. Hệ số khuếch đại vi sai.



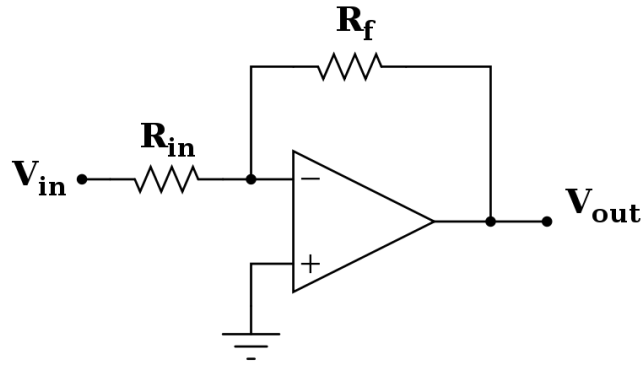
**Hình 2.4:** Mạch khuếch đại vi sai.

Nếu  $R_1 = R_2$  và  $R_f = R_g$ ,

$V_{\text{out}} = A(V_2 - V_1)$  và  $A = R_f / R_1$

b. Mạch khuếch đại đảo.





**Hình 2.5:** Mạch khuếch đại đảo.

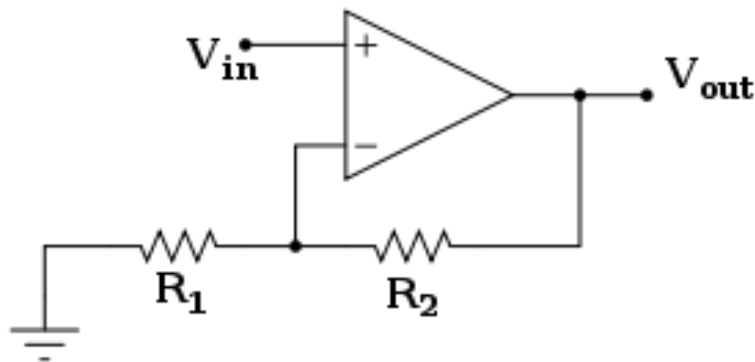
Dùng để đảo dấu và khuếch đại một điện áp (nhân với một số âm)

$$V_{\text{out}} = -V_{\text{in}}(R_f/R_{\text{in}}) \quad (2.5)$$

$Z_{\text{in}} = R_{\text{in}}$  (vì  $V_-$  là một điểm đất ảo)

Một điện trở thứ ba, có trị số  $R_f \parallel R_{\text{in}} = R_f R_{\text{in}} / (R_f + R_{\text{in}})$ , được thêm vào giữa đầu vào không đảo và đất mặc dù đôi khi không cần thiết lắm, nhưng nó sẽ giảm thiểu sai số do dòng định thiên đầu vào.

c. Mạch khuếch đại không đảo.



**Hình 2.6:** Mạch khuếch đại không đảo.

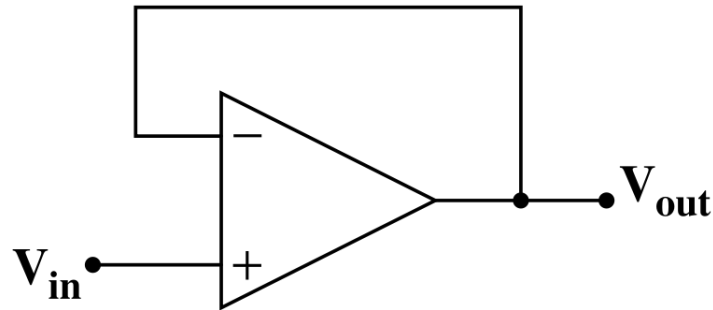
Dùng để khuếch đại một điện áp (nhân với một hằng số lớn hơn 1)

$$V_{\text{out}} = V_{\text{in}} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (2.6)$$

$Z_{\text{in}} = \infty$  (thực ra, tổng trở bản thân của đầu vào op-amp có giá trị từ 1 MΩ đến 10 TΩ. Trong nhiều trường hợp tổng trở đầu vào có thể được xem như cao hơn, do ảnh hưởng của mạch hồi tiếp).

Một điện trở thứ ba, có giá trị bằng  $R_f \parallel R_{in}$ , được thêm vào giữa nguồn tín hiệu vào  $V_{in}$  và đầu vào không đảo trong khi thực ra không cần thiết, nhưng nó sẽ làm giảm thiểu những sai số do dòng điện định thiên đầu vào.

d. Mạch theo điện áp.



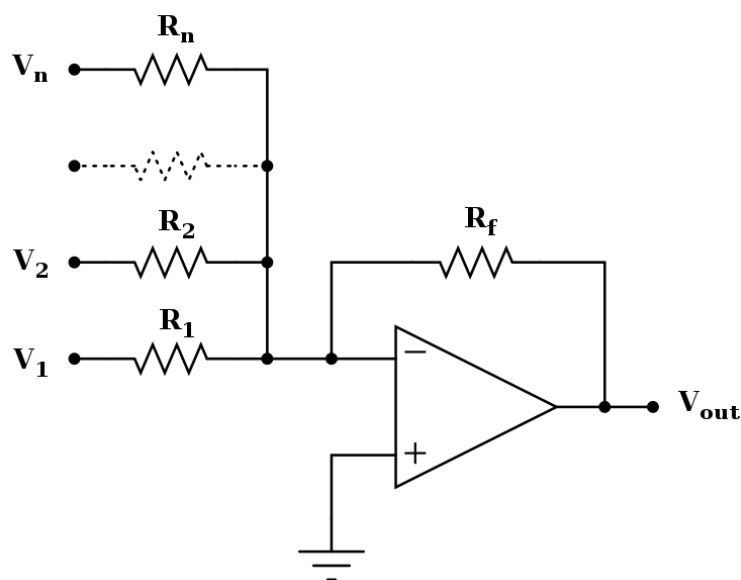
**Hình 2.7:** Mạch theo điện áp.

Được sử dụng như một bộ khuếch đại đệm, để giới hạn những ảnh hưởng của tải hay để phối hợp tổng trở (nối giữa một linh kiện có tổng trở nguồn lớn với một linh kiện khác có tổng trở vào thấp). Do có hồi tiếp âm sâu, mạch này có khuynh hướng không ổn định khi tải có tính dung cao. Điều này có thể ngăn ngừa bằng cách nối với tải qua 1 điện trở.

$$V_{out} = V_{in} \quad (2.7)$$

$Z_{in} = \infty$  (thực ra, tổng trở bản thân của đầu vào op-amp có giá trị từ 1 M $\Omega$  đến 10 T $\Omega$ .)

e. Mạch khuếch đại tổng



**Hình 2.8:** Mạch khuếch đại tổng.

Mạch được sử dụng để làm phép cộng một số tín hiệu điện áp

$$V_{\text{out}} = -R_f \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right) \quad (2.8)$$

- nếu  $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ , và  $R_f$  độc lập thì

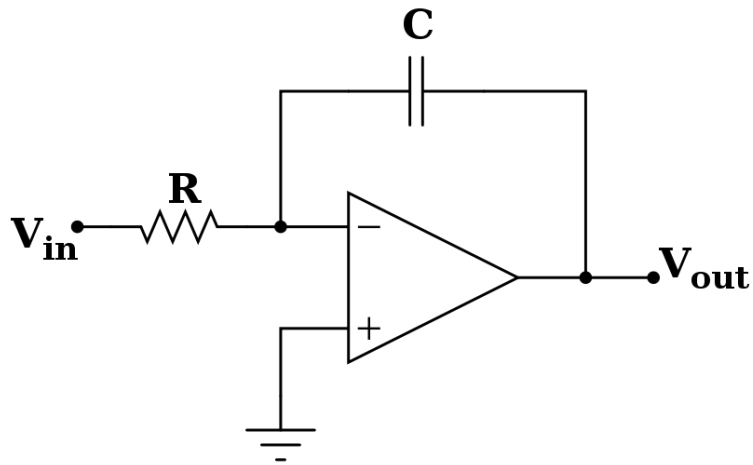
$$V_{\text{out}} = - \left( \frac{R_f}{R_1} \right) (V_1 + V_2 + \dots + V_n) \quad (2.9)$$

- Nếu  $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R_f$

$$V_{\text{out}} = -(V_1 + V_2 + \dots + V_n) \quad (2.10)$$

- Ngõ ra sẽ đổi dấu
- Tổng trở đầu vào  $Z_n = R_n$ , cho mỗi đầu vào ( $V_-$  xem như điểm đất ảo)

f. Mạch tích phân.



**Hình 2.9:** Mạch tích phân.

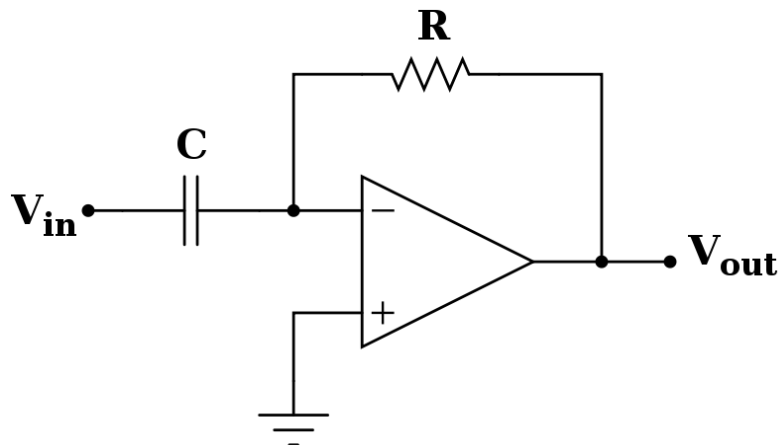
Mạch này dùng để tích phân (có đảo dấu) một tín hiệu theo thời gian.

$$V_{\text{out}} = \int_0^t -\frac{V_{\text{in}}}{RC} dt + V_{\text{initial}} \quad (2.11)$$

(Trong đó,  $V_{\text{in}}$  và  $V_{\text{out}}$  là các hàm số theo thời gian,  $V_{\text{initial}}$  là điện áp ngõ ra của mạch tích phân tại thời điểm  $t = 0$ .)

Lưu ý rằng cấu trúc của mạch này cũng được xem là mạch lọc thông thấp, một dạng của mạch lọc tích cực.

g. Mạch vi phân.



**Hình 2.10:** Mạch vi phân.

Mạch này để lấy vi phân (có đảo dấu) một tín hiệu theo thời gian.

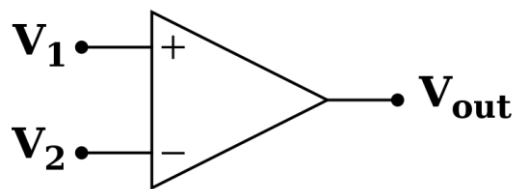
Thuật ngữ "Mạch vi phân" tránh không nên nhầm lẫn với "mạch khuếch đại vi sai", cũng trong trang này.

$$V_{\text{out}} = -RC \left( \frac{dV_{\text{in}}}{dt} \right) \quad (2.12)$$

(Trong đó,  $V_{\text{in}}$  và  $V_{\text{out}}$  là các hàm số theo thời gian)

Lưu ý rằng cấu trúc của mạch này có thể xem như một mạch lọc thông thường, một dạng của mạch lọc tích cực.

h. Mạch so sánh.



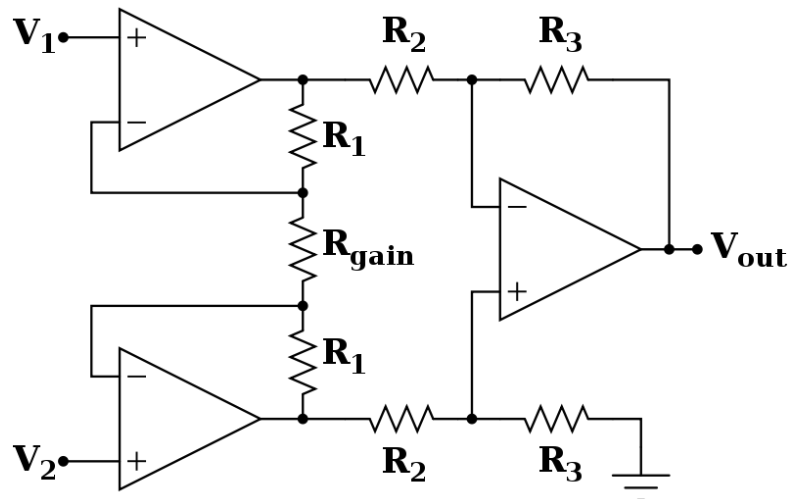
**Hình 2.11:** Mạch so sánh.

Mạch này để so sánh hai tín hiệu điện áp, và sẽ chuyển mạch ngõ ra để hiển thị mạch nào có điện áp cao hơn.

$$V_{\text{out}} = \begin{cases} V_{S+} & V_1 > V_2 \\ V_{S-} & V_1 < V_2 \end{cases} \quad (2.13)$$

(Trong đó  $V_s$  là điện áp nguồn, và mạch sẽ được cấp nguồn từ  $+V_s$  và  $-V_s$ .)

i. Mạch khuếch đại đo lường.



**Hình 2.12:** Mạch khuếch đại đo lường.

Người ta kết hợp các đặc tính tổng trở vào rất cao, độ suy giảm tín hiệu đồng pha cao, điện áp bù đầu vào thấp và các đặc tính khác để thiết kế mạch đo lường chính xác, độ nhiễu thấp.

Mạch này được thiết lập bằng cách thêm một mạch khuếch đại không đảo, đệm vào mỗi đầu vào của mạch khuếch đại vi sai để tăng tổng trở vào.

## CHƯƠNG 3

# XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN TRUYỀN THÔNG CÓ KHẢ NĂNG DỪNG TRONG CÁC HỆ ĐIỀU CHỈNH.

### 3.1 BỘ ĐIỀU CHỈNH DỪNG THUẬT TOÁN P.

#### 3.1.1. Yêu cầu thiết kế.

Thiết kế hệ thống điều khiển tự động có:

Bộ điều khiển P có hàm truyền:

$$W(p) = K$$

Đặc tính tần số logarit:

$$L = 20\lg K$$

$$\varphi = 0$$

Bộ điều khiển chính là khâu khuếch đại với hệ số khuếch đại:

$$K_p = 10$$

#### 3.1.2. Tính toán với MATLAB.

Chương trình Matlab như sau:

```
>> Kp=T/L;  
>> Wpid=Kp;  
>> Who=Wpid*Wdt;  
>> Wkin=feedback(Who,1)
```

Transfer function:

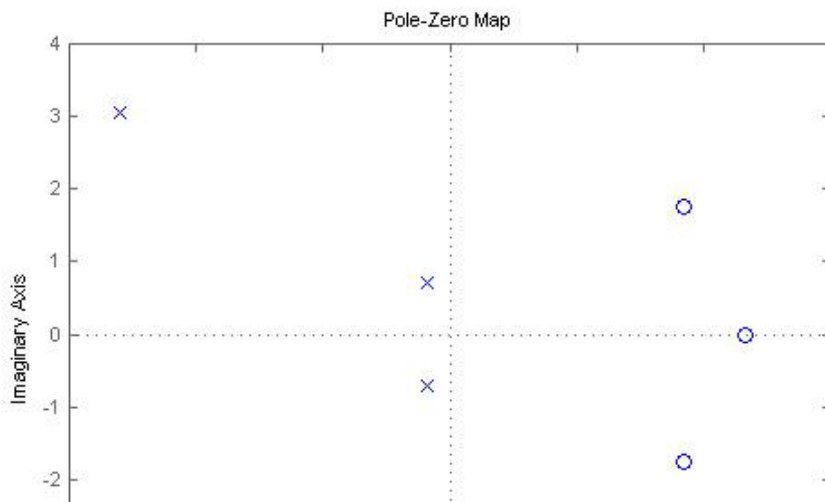
$$-10 s^3 + 60 s^2 - 150 s + 150$$

---

$$20 s^4 + 111 s^3 + 366 s^2 + 165 s + 165$$

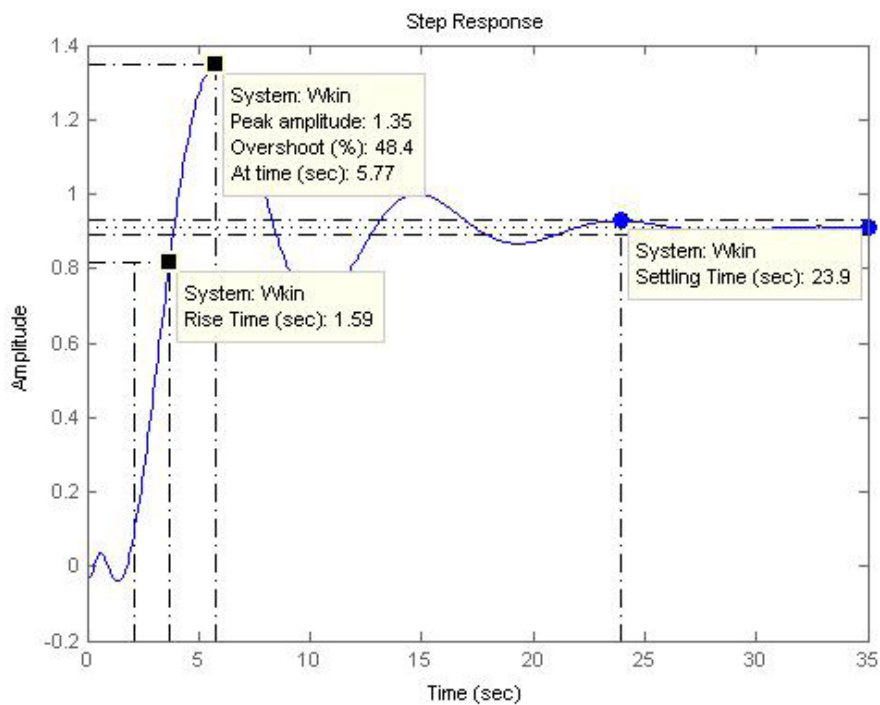
```
>> pzmap(Wkin)  
>> step(Wkin)  
>> [p,z]=pzmap(Wkin)
```

Từ đó ta có đồ thị các điểm cực và điểm không:



**Hình 3.3:** Các điểm cực và điểm không.

Quá trình quá độ của hệ thống:



**Hình 3.2:** Quá trình quá độ của hệ thống.

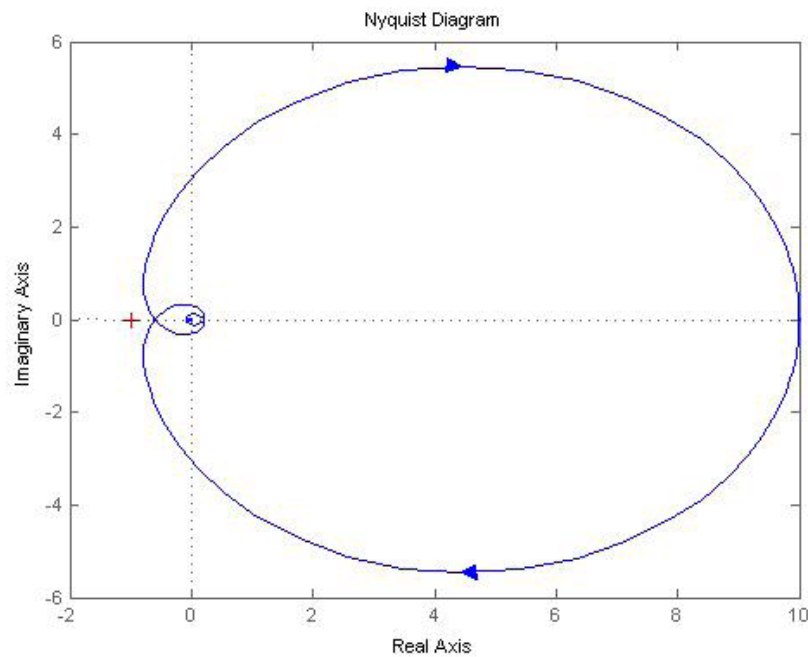
$$p = -2.6008 + 3.0343i$$



$-2.6008 - 3.0343i$   
 $-0.1742 + 0.6973i$   
 $-0.1742 - 0.6973i$   
 $z =$   
 $1.8389 + 1.7544i$   
 $1.8389 - 1.7544i$   
 $2.3222$

### 3.1.3. Nhận xét.

- Đường đặc tính tần của hệ thống hở không bao lấy điểm Nyquist nên hệ thống ổn định:



**Hình 3.3:** Đường đặc tính tần.

- Các điểm cực và điểm không đều nằm bên trái của trục ảo ( tức là các điểm cực có phần thực nhỏ hơn 0 ). Quá trình quá độ tắt dần theo thời gian.
- Tuy vậy chất lượng hệ thống chưa cao:
  - + Thời gian quá độ của hệ thống:  $t_{qd}=23.9s$ .
  - + Độ quá điều chỉnh là:  $\sigma_{max}= 48.4\%$ .

+ Thời gian tăng tốc:  $t = 1.59s$ .

Như vậy thời gian quá độ của hệ thống lớn, độ quá điều chỉnh cao, vượt quá yêu cầu cho phép.

Chỉ định các tham số để hệ thống có chất lượng tốt nhất:

```
>> Kp=4.13;  
>> Wpid=Kp;  
>> Who=Wpid*Wdt;  
>> Wkin=feedback(Who,1)
```

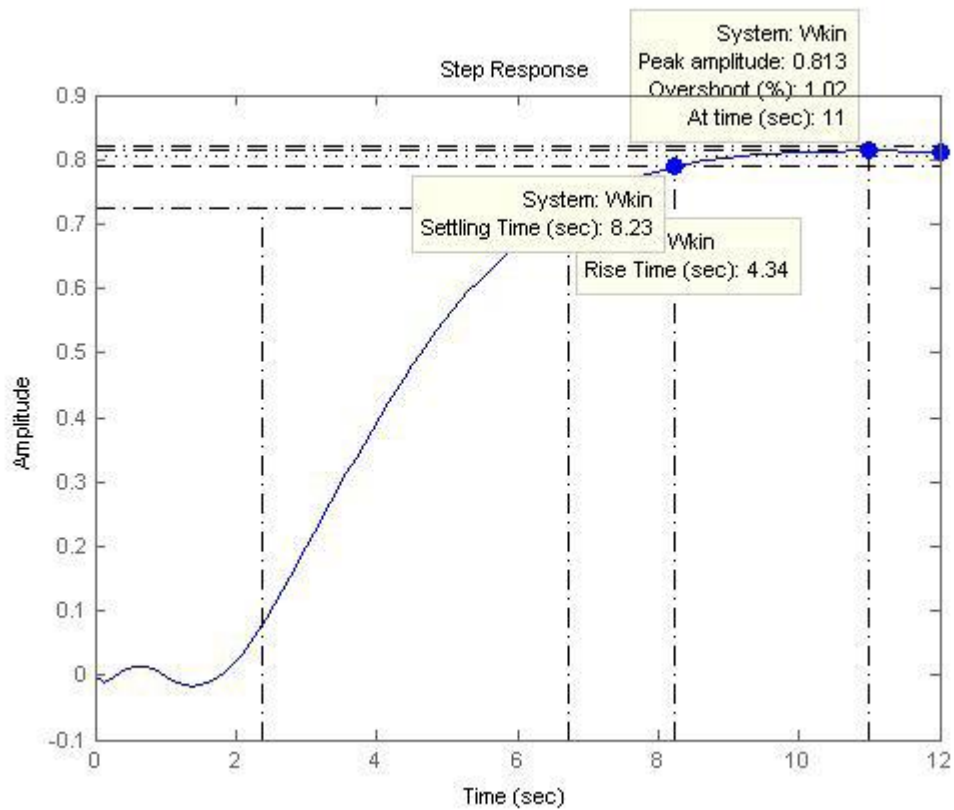
Transfer function:

$$-4.13 s^3 + 24.78 s^2 - 61.95 s + 61.95$$

---

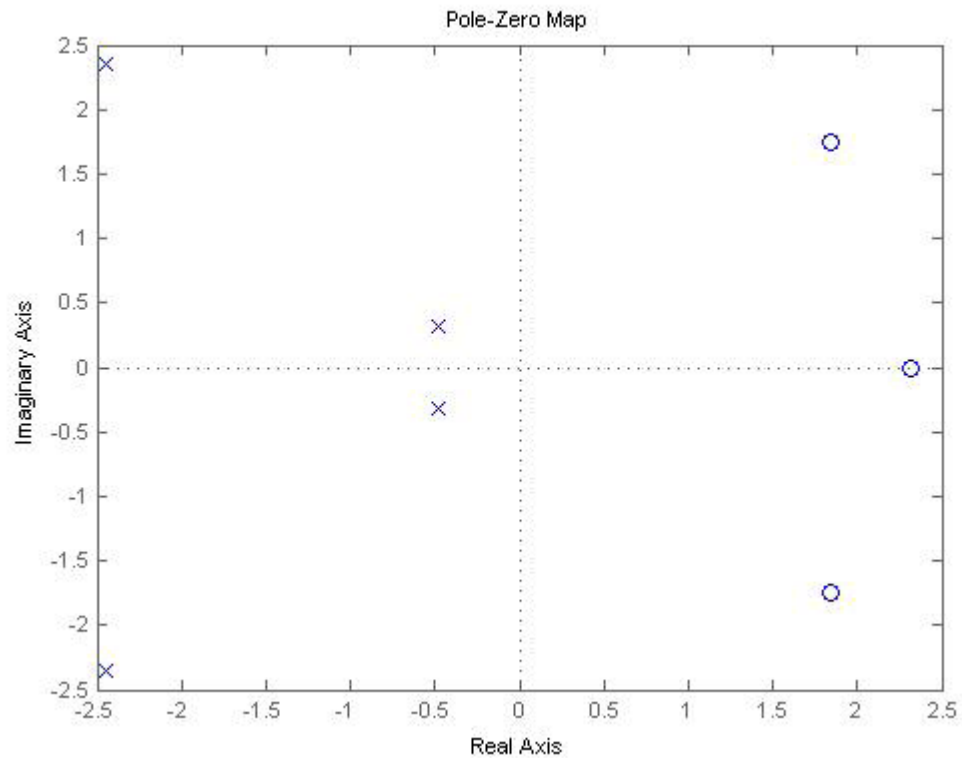
$$20 s^4 + 116.9 s^3 + 330.8 s^2 + 253.1 s + 76.95$$

```
>> step(Wkin)
```



**Hình 3.4:** Quá trình quá độ của hệ thống.

```
>> pzmap(Wkin)
```



**Hình 3.5:** Các điểm cực và điểm không.

```
>> [p,z]=pzmap(Wkin)
```

p =

-2.4440 + 2.3583i

-2.4440 - 2.3583i

-0.4778 + 0.3245i

-0.4778 - 0.3245i

z =

1.8389 + 1.7544i

1.8389 - 1.7544i

2.3222

Sau khi hiệu chỉnh ta thu được các đặc tính sau:

- Thời gian quá độ:  $t_{qd} = 8.23s$ .

- Độ quá điều chỉnh:  $\sigma_{\max} = 1.02\%$ .

Như vậy so với ban đầu, hệ thống đạt chất lượng cao, điểm cực cách xa trục ảo hơn.

### 3.2 BỘ ĐIỀU CHỈNH DÙNG THUẬT TOÁN PI.

#### 3.2.1. Yêu cầu thiết kế.

Thiết kế hệ thống điều khiển tự động có:

Bộ điều khiển PI có hàm truyền:

$$W(p) = K \left( 1 + \frac{1}{T_i p} \right) \quad (3.1)$$

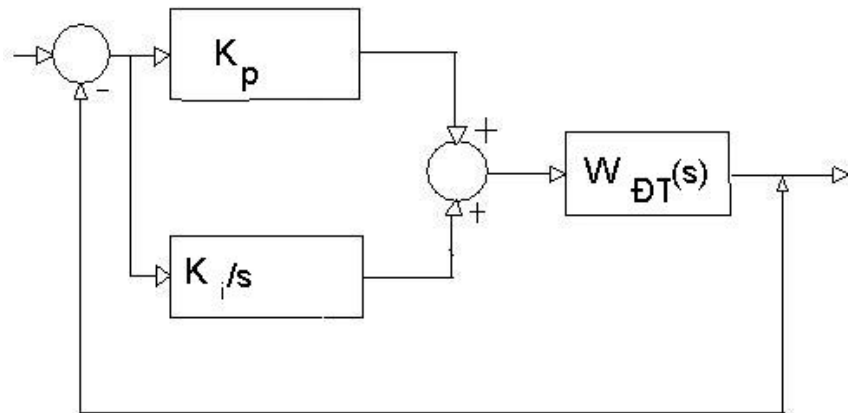
Đặc tính tần số logarit:  $\varphi = \text{arctg}(T_i \omega) - \pi/2$

#### 3.2.2. Tính toán với MATLAB.

Bộ điều khiển bao gồm khâu khuếch đại hệ số  $K_p$  và khâu tích phân có hàm truyền:

$$W_{tp} = \frac{K_i}{s} \quad (3.2)$$

Sơ đồ khối của hệ thống:



**Hình 3.6:** Sơ đồ khối của hệ thống.

Ta có chương trình Matlab như sau:

```
>> T=20;L=0.1*T;
>> [num,den]=pade(L,3);
>> Wtre=tf(num,den)
```

Transfer function:

$$-s^3 + 6 s^2 - 15 s + 15$$

-----

$$s^3 + 6 s^2 + 15 s + 15$$

```
>> Wdt=tf(1,[T 1])*Wtre
```

Transfer function:

$$-s^3 + 6 s^2 - 15 s + 15$$

-----

$$20 s^4 + 121 s^3 + 306 s^2 + 315 s + 15$$

```
>> Kp=0.9*T/L;
```

```
>> Ti=10*L/3;
```

```
>> Ki=Kp/Ti;
```

```
>> Wpid=Kp+tf(Ki,[1 0])
```

Transfer function:

$$9 s + 1.35$$

-----

$$s$$

```
>> Who=Wpid*Wdt;
```

```
>> Wkin=feedback(Who,1)
```

Transfer function:

$$-9 s^4 + 52.65 s^3 - 126.9 s^2 + 114.8 s + 20.25$$

-----

$$20 s^5 + 112 s^4 + 358.6 s^3 + 188.1 s^2 + 129.8 s + 20.25$$

```
>> pzmap(Wkin)
```

```
>> step(Wkin)
```

```
>> [p,z]=pzmap(Wkin)
```

p =

-2.5593 + 2.9173i

-2.5593 - 2.9173i

-0.1453 + 0.5756i

-0.1453 - 0.5756i

-0.1907

z =

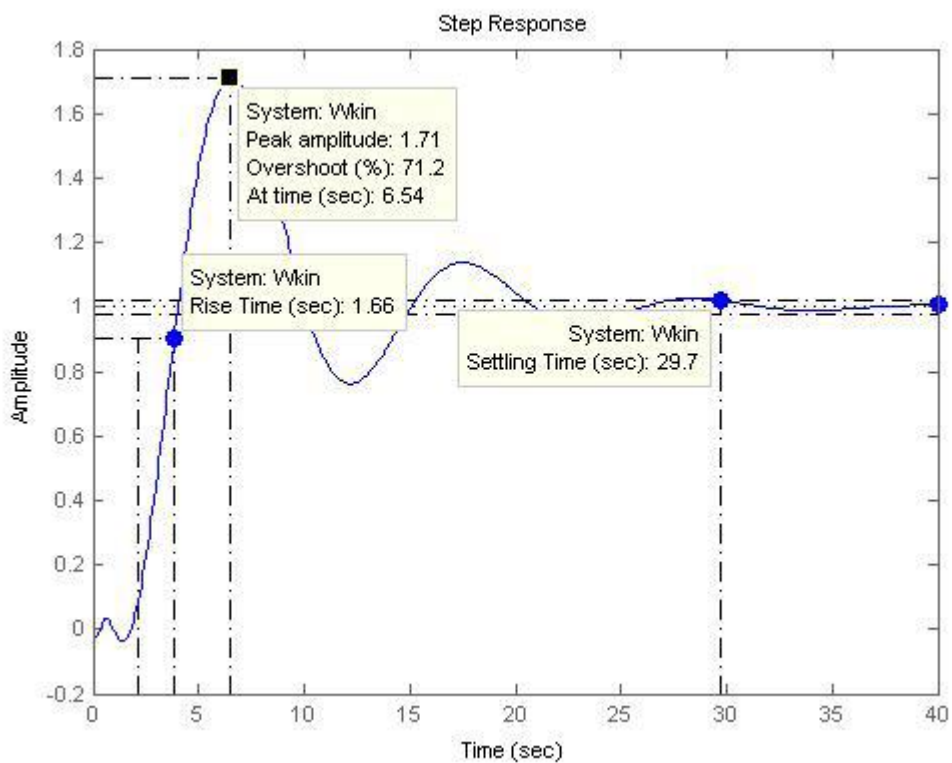
1.8389 + 1.7544i

1.8389 - 1.7544i

2.3222

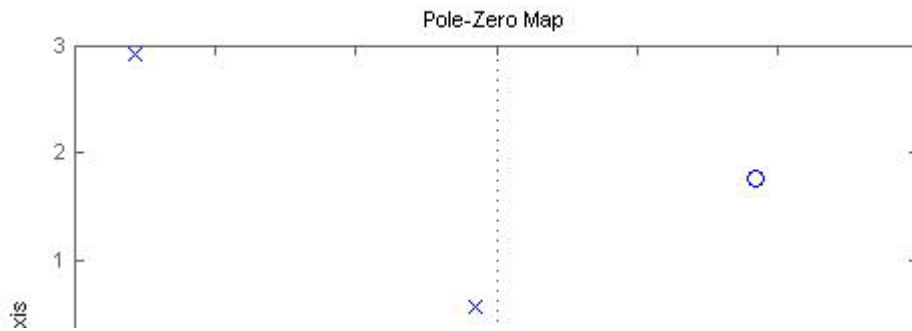
-0.1500

Quá trình quá độ của hệ thống:



**Hình 3.7:** Quá trình quá độ của hệ thống.

Các điểm cực và điểm không:



**Hình 3.8:** Các điểm cực và điểm không.

### 3.2.3. Nhận xét.

Với các thông số ban đầu của bộ điều khiển PI, hệ thống ổn định nhưng chất lượng chưa cao:

- Thời gian quá độ lớn:  $t_{qd} = 29.7s$ .
- Độ quá điều chỉnh cao:  $\sigma_{max} = 71.2\%$ .
- Thời gian tăng tốc:  $t_{tt} = 1.66s$ .

Chỉnh định các tham số để hệ thống có chất lượng tốt hơn:

```
>> Kp=0.213;
>> Ti=10*L/3;
>> Ki=Kp/Ti;
>> Wpid=Kp+tf(Ki,[1 0])
```

Transfer function:

$$0.213 s + 0.03195$$

-----

s

```
>> Who=Wpid*Wdt;
>> Wkin=feedback(Who,1)
```

Transfer function:

$$-0.213 s^4 + 1.246 s^3 - 3.003 s^2 + 2.716 s + 0.4793$$

-----

$$20 s^5 + 120.8 s^4 + 307.2 s^3 + 312 s^2 + 17.72 s + 0.4793$$

Ta nhận được quá trình quá độ:

Đồ thị các điểm cực và điểm không:

Ta thấy rằng:

- Thời gian quá độ :  $t_{qd} = 141s$ .
- Độ quá điều chỉnh:  $\sigma_{max} = 3.82\%$ .
- Các điểm cực và điểm không:

p =

$$-1.8924 + 1.7658i$$

$$-1.8924 - 1.7658i$$

$$-2.1960$$

$$-0.0293 + 0.0278i$$

$$-0.0293 - 0.0278i$$

z =

$$1.8389 + 1.7544i$$

$$1.8389 - 1.7544i$$

$$2.3222$$

$$-0.1500$$

### 3.3 BỘ ĐIỀU CHỈNH DÙNG THUẬT TOÁN PID.

#### 3.3.1 Yêu cầu thiết kế.

Với hàm truyền:

$$W_{PID(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (3.3)$$

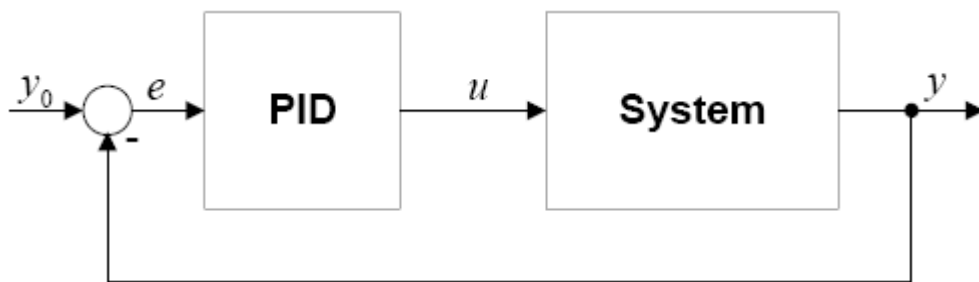
Với các tham số  $K_p, T_i, T_d$  chỉnh định được.

Đối tượng là khâu trễ và khâu quán tính bậc nhất có hàm truyền:

$$W_{DT}(s) = \frac{e^{-Ls}}{Ts + 1} \quad (3.4)$$



Thuật toán PID có thể mô tả như hình sau. Bộ điều khiển PID sẽ giám sát đầu ra của hệ thống, sau đó so sánh với giá trị mong muốn. Nếu hệ thống chưa đạt được giá trị mong muốn, nghĩa là  $e$  khác không, bộ PID sẽ tính toán ra giá trị tác động  $u$  mới, tác động vào hệ thống để hiệu chỉnh hệ thống, quá trình sẽ được thực hiện liên tục cho đến khi nào  $e = 0$ , lúc đó hệ thống sẽ đạt trạng thái ổn định. Hệ thống như thế còn gọi là hệ thống điều khiển vòng kín (Closed Loop Control). Vì nó có hồi tiếp trạng thái của hệ thống về bộ điều khiển.



**Hình 3.9:** Sơ đồ hệ thống dùng thuật toán PID.

Với tham số  $L, T$  cho trước:  $L/T=0.1$ ;  $T=20$ .

2. Tính toán các tham số  $K_p, T_i, T_d$  đảm bảo tính ổn định và chất lượng của hệ thống ( theo Ziegler-Nichols ).
3. Xét tính ổn định của hệ thống. Tìm các điểm cực và điểm không.
4. Khảo sát chất lượng, và chọn các tham số với các quy luật P, PI, PID đảm bảo cho hệ thống có chất lượng tốt nhất ( chỉnh định bằng tay ).
5. Tính tham số tối ưu của bộ điều khiển PID dùng hàm least-squares ( sai số bình phương nhỏ nhất ) với các tham số  $L$  và  $T$  đã cho.

### 3.3.2. Tính toán với MATLAB.

- a. Tính toán các tham số  $K_p, T_i, T_d$  đảm bảo tính ổn định và chất lượng của hệ thống:

Từ công thức thực nghiệm của Ziegler-Nichols:

**Bảng 3.1:** Các tham số điều khiển.

Luật điều khiển	Kp	Ti	Td
P	T/L	$\infty$	0
PI	0.9T/L	10L/3	0
PID	1.2T/L	2L	0.5L

Với các tham số:

$$L/T=0.1$$

$$T=20$$

Ta có:

$$L=2$$

$$T=20$$

Khi đó ta có các tham số điều khiển như sau:

**Bảng 3.2:** Các tham số điều khiển.

Luật điều khiển	Kp	Ti	Td
P	10	$\infty$	0
PI	9	6.667	0
PID	12	4	1

b. Xét hệ thống với các luật điều khiển P, PI, PID :

Từ hàm truyền của đối tượng:

$$W_{DT}(s) = \frac{e^{-Ls}}{Ts + 1} \quad (3.5)$$

Khai triển Taylor ta được hàm truyền của khâu trễ gần đúng ( lấy đến bậc 3 ) như sau:

```
>> T=20;L=0.1*T;
>> [num,den]=pade(L,3);
>> Wtre=tf(num,den)
```

Transfer function:

$-s^3 + 6 s^2 - 15 s + 15$

-----

$s^3 + 6 s^2 + 15 s + 15$

```
>> Wdt=tf(1,[T 1])*Wtre
```

Transfer function:

$-s^3 + 6 s^2 - 15 s + 15$

-----

$20 s^4 + 121 s^3 + 306 s^2 + 315 s + 15$

Với các luật P, PI, PID ta có các thông số  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  khác nhau.

c. Luật PID:

Hàm truyền của bộ điều khiển PID:

$$W_{PID}(s) = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (3.6)$$

Chương trình Matlab như sau:

```
>> T=20;L=T*0.1;
>> [num,den]=pade(L,3);
>> Wtre=tf(num,den)
```

Transfer function:

$-s^3 + 6 s^2 - 15 s + 15$

-----

$s^3 + 6 s^2 + 15 s + 15$

```
>> Wdt=tf(1,[L 1])*Wtre
```

Transfer function:

$$-s^3 + 6 s^2 - 15 s + 15$$

---

$$2 s^4 + 13 s^3 + 36 s^2 + 45 s + 15$$

>> Kp=1.2\*T/L;

>> Ti=2\*L;

>> Td=0.5\*L;

>> Kd=Kp\*Td;

>> Ki=Kp/Ti;

>> Wpid=tf([Kd Kp Ki],[1 0]);

>> Who=Wpid\*Wdt;

>> Wkin=feedback(Who,1)

Transfer function:

$$12 s^5 - 60 s^4 + 111 s^3 - 18 s^2 - 135 s - 45$$

---

$$10 s^5 - 73 s^4 + 75 s^3 - 63 s^2 - 150 s - 45$$

>> pzmap(Wkin)

>> step(Wkin)

>> nyquist(Who)

>> [p,z]=pzmap(Wkin)

p =

6.3349

0.9673 + 1.4460i

0.9673 - 1.4460i

-0.5000

-0.4694

z =

1.8389 + 1.7544i

1.8389 - 1.7544i

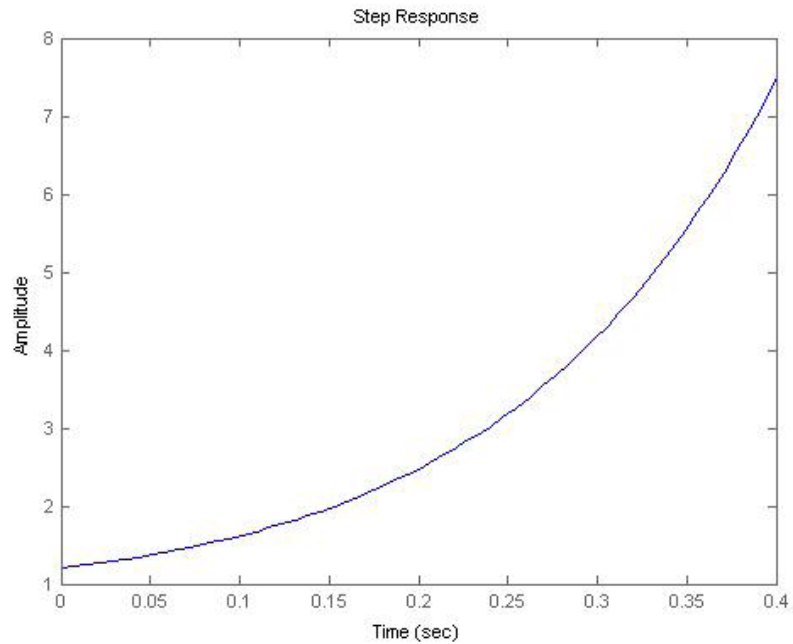
2.3222

-0.5000

-0.5000

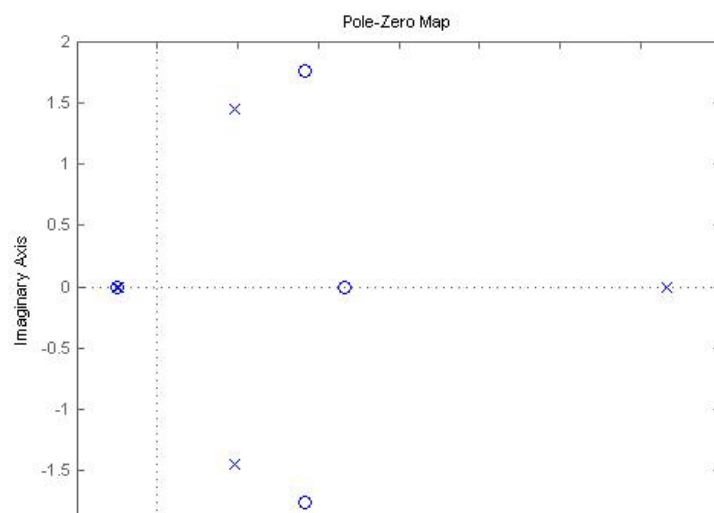
Sau khi chạy chương trình Matlab ta thu được các kết quả sau:

Quá trình quá độ của hệ thống:



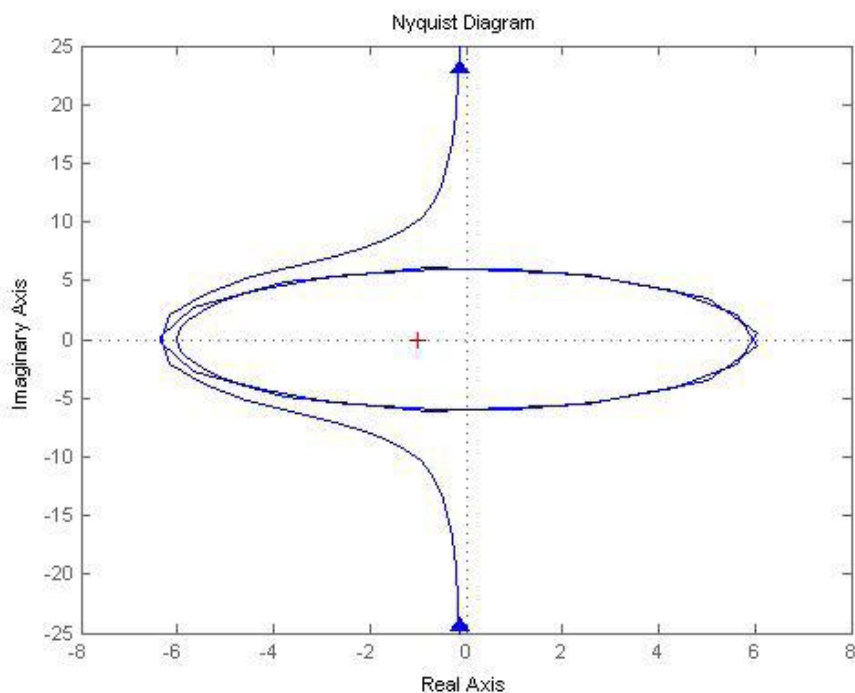
**Hình 3.10:** Quá trình quá độ của hệ thống.

Đồ thị các điểm cực và điểm không:



**Hình 3.11:** Đồ thị các điểm cực và điểm không.

Đường đặc tính tần:



**Hình 3.12:** Đường đặc tính tần.

### 3.3.3. Nhận xét.

Với các thông số ban đầu của bộ điều khiển PID tính theo công thức thực nghiệm của Ziegler-Nichols thì hệ thống không ổn định. Tồn tại điểm cực nằm bên phải trục ảo, quá trình quá độ không tắt dần theo thời gian.

Chỉnh định để hệ thống ổn định với chất lượng tốt nhất:

```
>> Kp=0.16;Kd=0.16;Ki=0.13;
```

```
>> Wpid=tf([Kd Kp Ki],[1 0]);
```

```
>> Who=Wpid*Wdt;
```

```
>> Wkin=feedback(Who,1)
```

Transfer function:

```
-0.16 s^5 + 0.8 s^4 - 1.57 s^3 + 0.78 s^2 + 0.45 s + 1.95
```

-----

```
1.84 s^5 + 13.8 s^4 + 34.43 s^3 + 45.78 s^2 + 15.45 s + 1.95
```

```
>> step(Wkin)
```

```
>> pzmap(Wkin)
>> nyquist(Who)
>> [p,z]=pzmap(Wkin)
```

p =

-4.4659

-1.3086 + 1.5164i

-1.3086 - 1.5164i

-0.2084 + 0.1254i

-0.2084 - 0.1254i

z =

1.8389 + 1.7544i

1.8389 - 1.7544i

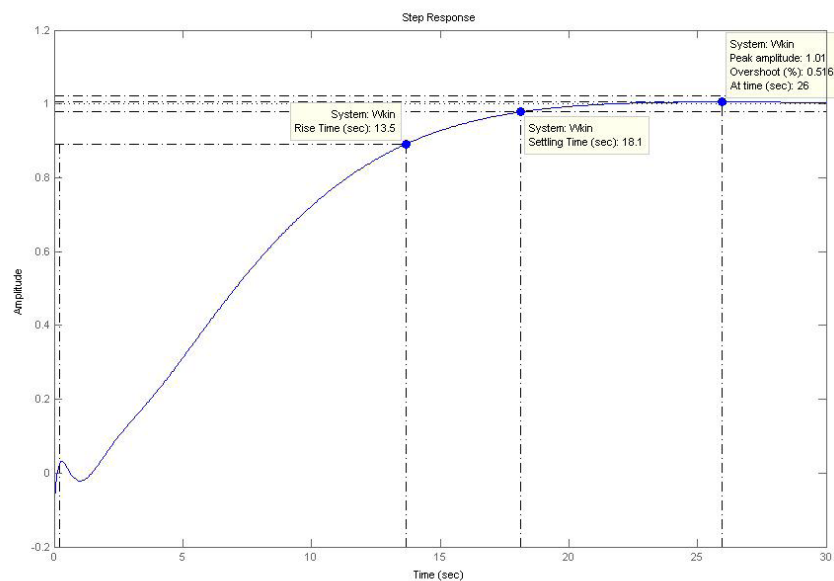
2.3222

-0.5000 + 0.7500i

-0.5000 - 0.7500i

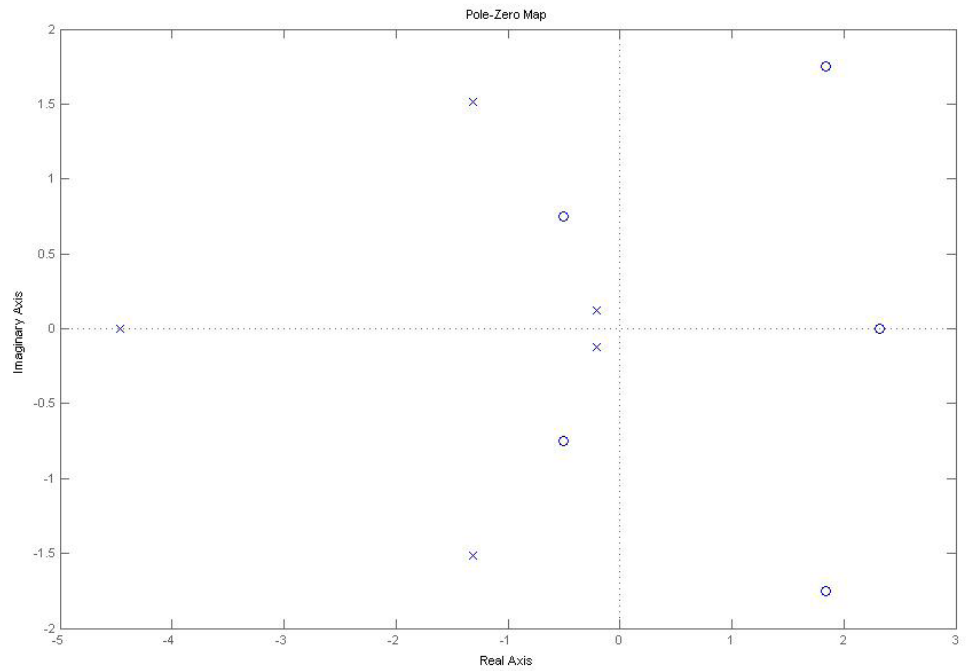
Kết quả:

Đồ thị quá trình quá độ:



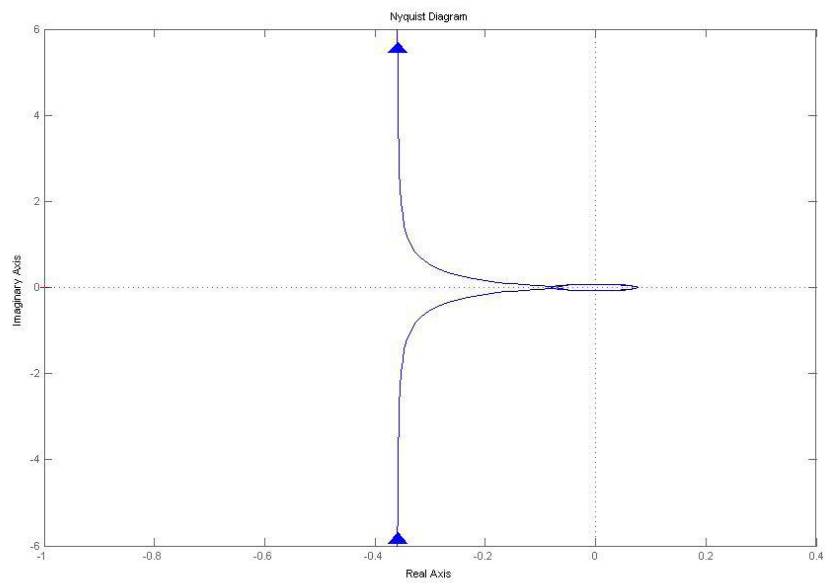
**Hình 3.13:** Đồ thị quá trình quá độ.

Đồ thị các điểm cực và điểm không:



**Hình 3.14:** Đồ thị các điểm cực và điểm không.

Đặc tính tần:



**Hình 3.15:** Đặc tính tần.

Ta thấy rằng:

- Thời gian quá độ :  $t_{qd} = 18.1s$ .



- Độ quá điều chỉnh:  $\sigma_{\max} = 0.516\%$ .
- Đường đặc tính tần đã bao lấy điểm Nyquist. Hệ thống là một hệ ổn định.

**Kết luận:**

Các tham số tối ưu của bộ điều khiển PID ứng với đối tượng đã biết hàm truyền:

$$K_p = 1.0935$$

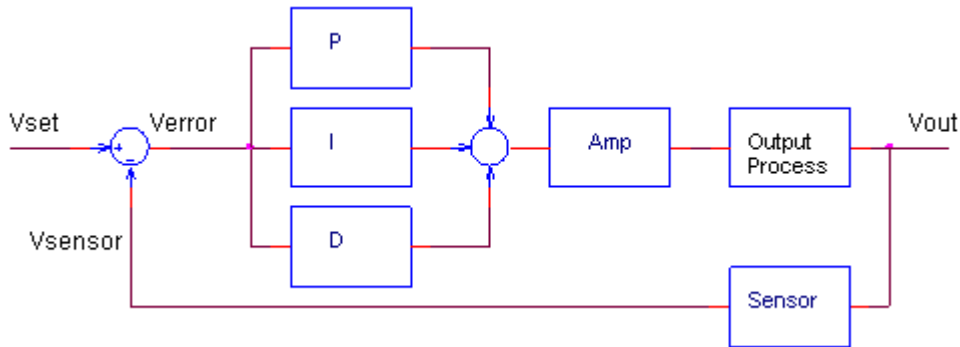
$$K_i = 0.0731$$

$$K_d = -0.3411$$

Với các tham số tối ưu này hệ thống đạt chất lượng tốt nhất.

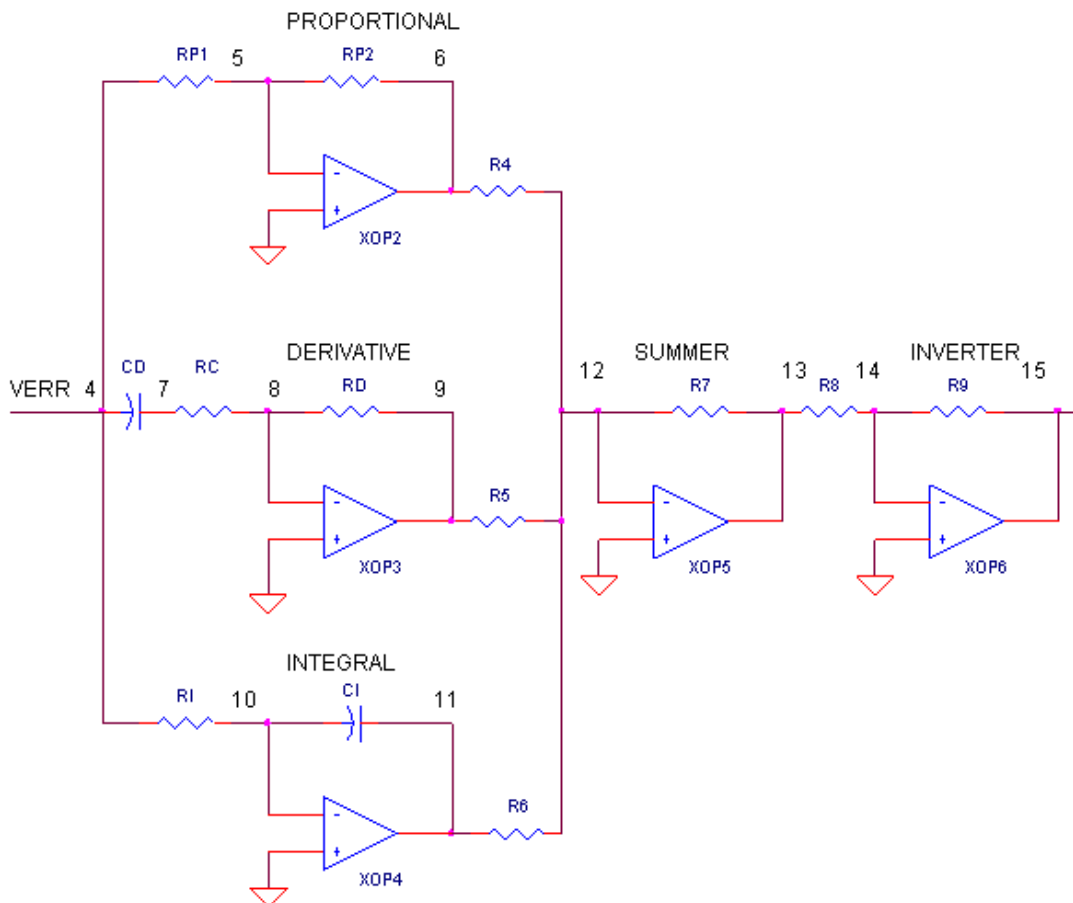
### 3.4. XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN.

Sơ đồ khối chức năng của hệ điều khiển sử dụng bộ điều khiển PID



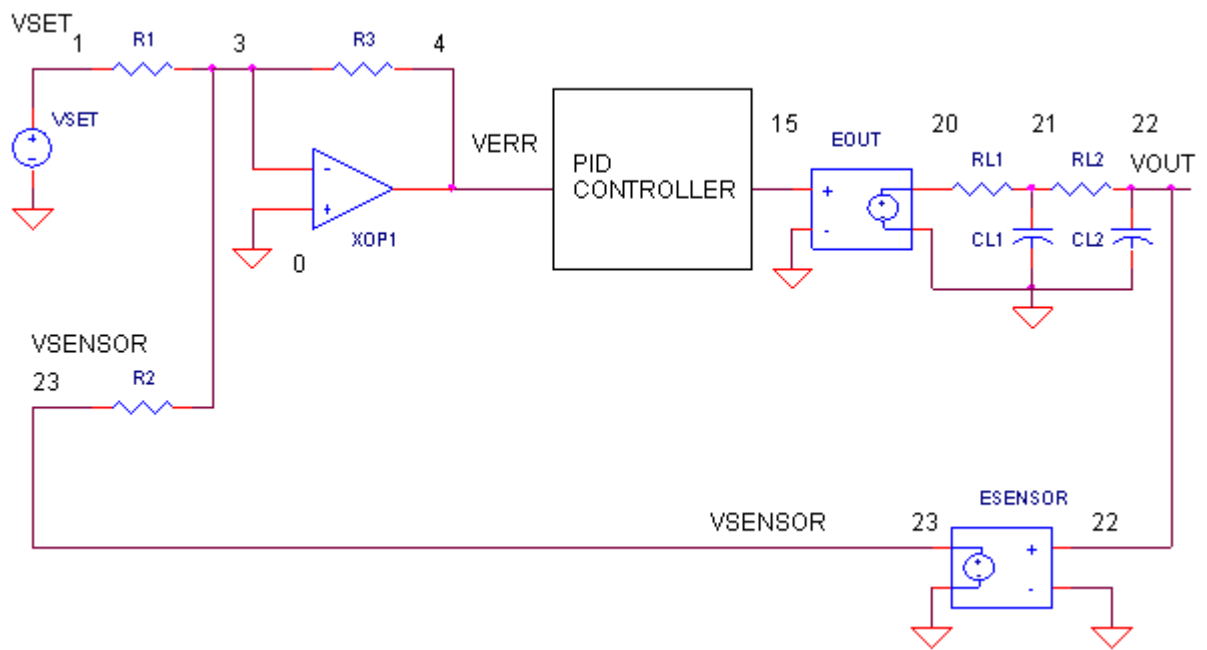
**Hình 3.16:** Sơ đồ khối chức năng của hệ điều khiển sử dụng bộ điều khiển PID.

Mạch điều khiển PID



**Hình 3.17:** Mạch điều khiển PID.

Những thành phần cơ bản của một hệ thống điều khiển được thể hiện trên ( Hình 3.18). Khâu phản hồi cung cấp giá trị thực tế một cách liên tục. Nó so sánh giá trị bạn đặt,  $V_{set}$ , với giá trị hiện tại của hệ thống,  $V_{sensor}$ , bằng cách tính toán sự khác biệt giữa hai giá trị,  $V_{err} = V_{set} - V_{sensor}$ . Bộ điều khiển PID có lỗi này và xác định lại điện áp và xử lý để mang lại  $V_{set} = V_{sensor}$  hoặc  $V_{err} = 0$ .



**Hình 3.18:** Sơ đồ mạch PID hoàn chỉnh.

### Khâu phản hồi

Một mạch cổ điển tính toán lỗi là một amp op tổng hợp. Trong bộ điều khiển XOP1 thực hiện tính toán lỗi. Amp tổng hợp là một amd đảo, em tính toán hiệu năng của nó và sử dụng  $R1 = R2 = R3 = 10 \text{ k}\Omega$ .

$$V_{err} = - (V_{set} / R1 + V_{sensor} / R2) \cdot R3$$

$$= (V_{set} + V_{sensor}) \cdot (10 \text{ k} / 10 \text{ k})$$

$$= - (V_{set} + V_{sensor})$$

Nhưng làm thế nào hệ thống tính toán sai lệch? Vâng, nó không yêu cầu mạch cảm biến của bạn tạo ra một điện áp đầu ra tiêu cực. Giả sử  $V_{sensor}$  là

tiêu cực của Vsensor cảm biến điện áp thực tế = -Vsen, bạn sẽ thấy sự khác biệt.

$$V_{err} = -(V_{set} - V_{sens}) \quad (3.7)$$

Bạn có thể xem xét chức năng của amp lỗi theo cách này. Khi Vsensor là tiêu cực Vset, dòng điện qua R1 và R2 bình đẳng và đối diện, triệt tiêu lẫn nhau khi đi vào ngã ba tổng hợp amp op. Nó kết thúc với lỗi hiện tại thông qua R3 và dĩ nhiên là 0V, hoặc không có ở đầu ra. Bất kỳ sự khác biệt giữa Vset – Vsensor, kết quả là trong một điện áp lỗi tại đầu ra bộ điều khiển PID có thể hoạt động theo.

**OUTPUT PROCESS:** EOUT đại diện cho một mô hình rất đơn giản của một quá trình được kiểm soát, chẳng hạn như tốc độ động cơ.

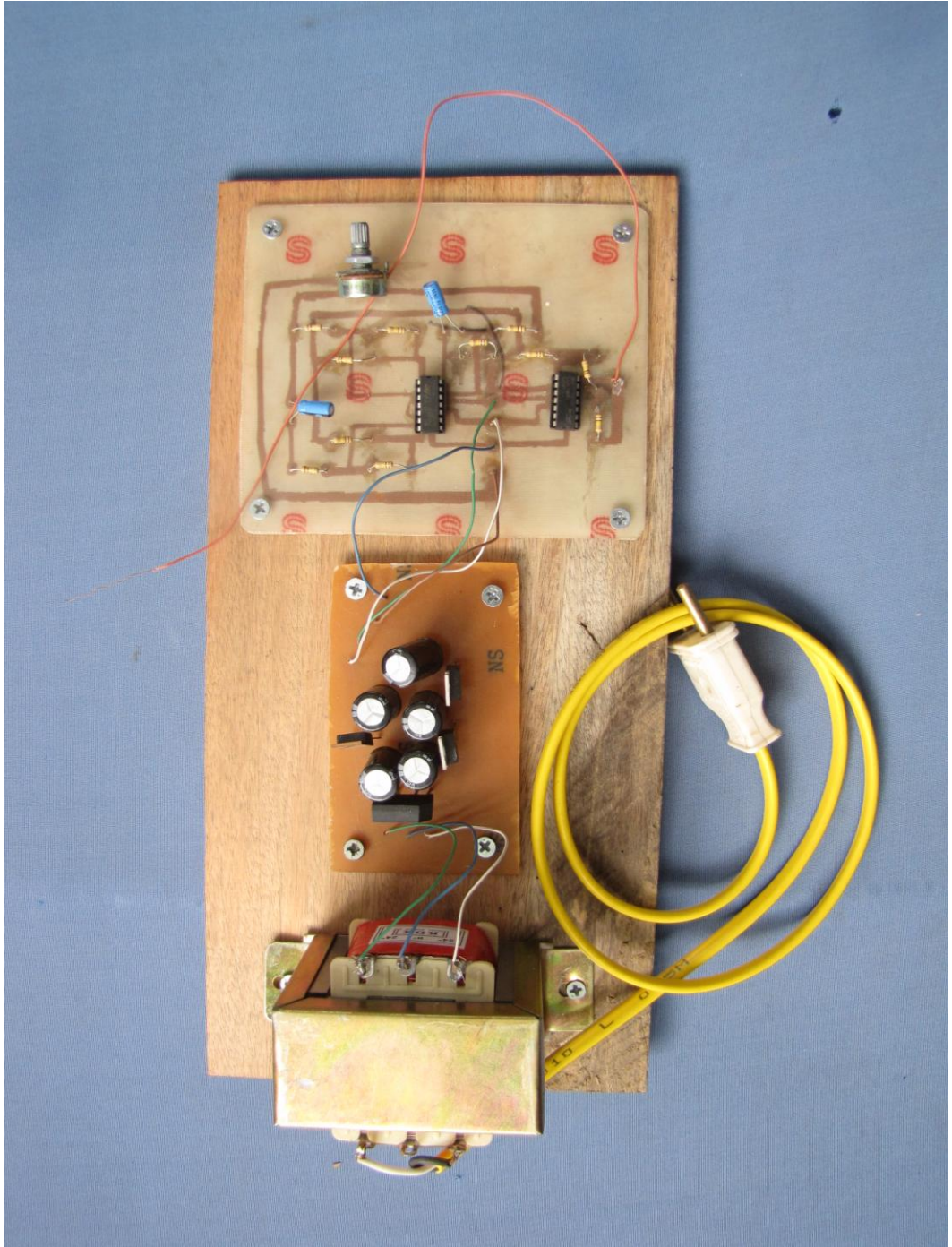
**SENSOR:** Cảm biến sẽ cho bạn biết tốc độ thực tế của động cơ, 1v/100 RPM cho tachometer này. ESENSOR mô hình thiết bị này là thông tin phản hồi.

#### Điều chỉnh bộ điều khiển PID

Các giá trị thành phần mạch ban đầu làm cho P yếu và hầu như không đáng kể so với D

Mặc dù có rất nhiều cách để điều chỉnh PID, đây là một cách đơn giản để kiểm tra bộ điều khiển này.

1. SET Kp: Bắt đầu với Kp = 5, Ki = 0 và Kd = 0. Từng bước tăng Kp để giảm lỗi cho đến khi hiệu suất vượt qua mức cho phép.
2. SET Kd: Tăng Kd để giảm quá đích đến một mức độ chấp nhận được.
3. SET Ki: Tăng Ki để mang lại lỗi cuối cùng bằng 0.



**Hình 3.19:** Mạch PID thực tế.

### **Kết luận:**

Vì khả năng còn hạn chế nên em thực hiện một mạch điện đơn giản với điện áp đặt ở đầu vào  $V_{set}$  có thể điều chỉnh từ 0 đến 5V.

Các giá trị điện trở  $R_{P1} = R_{P2} = R_C = R_D = R_I = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = R_9 = 100k\Omega$ . (vì vậy mạch điện của em không thể điều chỉnh các hệ số PID như một mạch thực sự).

Các giá trị tụ điện  $C_D = C_I = 0,47\mu F$ .

Các bộ khuếch đại thuật toán trong mạch được tích hợp trong IC TL084CN được cấp nguồn  $\pm 15V$ .

Mạch điện không có khâu phản hồi so với một hệ thống hoàn chỉnh.

## KẾT LUẬN

Trên đây em đã trình bày tất cả những cơ sở lý thuyết xoay quanh đề tài “Xây dựng bộ điều khiển P, PI, PID truyền thống có khả năng dùng cho các bộ điều chỉnh” mà bản thân em đã thu thập được, từ đó chế tạo thành công và đưa hệ thống vào hoạt động như một bài thí nghiệm thực tế về hệ truyền động điện một chiều. Sau khi hoàn thành đồ án này đã giúp em đạt được những vấn đề sau:

- Tìm hiểu các bộ điều khiển trong hệ thống tự động
- Tìm hiểu các bộ khuếch đại thuật toán
- Xây dựng bộ điều khiển truyền thống có khả năng dùng cho các hệ điều chỉnh

Với vốn kiến thức còn hạn hẹp của bản thân, cộng thêm nguồn tài liệu có những hạn chế nhất định mà đồ án này không tránh khỏi những thiếu sót. Em rất mong nhận được ý kiến góp ý, cũng như những lời nhận xét từ phía các thầy cô giáo trong bộ môn và các bạn sinh viên, đồng nghiệp để đồ án này được hoàn thiện hơn.

Em xin chân thành cảm ơn !

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bùi Quốc Khánh – Nguyễn Văn Liễn – Nguyễn Thị Hiền, *Cơ sở truyền động điện*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
2. GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn – TS Nguyễn Tiến Ban, *Điều khiển tự động các hệ thống Truyền động điện*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
3. GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn (2005), *Máy Điện*, Nhà xuất bản Xây Dựng.
4. Lê Văn Doanh – Nguyễn Thế Công – Trần Văn Thịnh, *Điện tử công suất Lý thuyết thiết kế ứng dụng*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
5. Nguyễn Xuân Phú - Tô Đăng (1996), *Khí cụ điện-Kết cấu sử dụng và sửa chữa*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
6. Nguyễn Phùng Quang – Andreas Dittric, *Truyền động điện thông minh*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
7. Phạm Văn Chới ( 2005), *Khí Cụ Điện*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
8. ThS. Phạm Thanh Huyền – ThS. Đỗ Việt Hà, *Linh kiện điện tử căn bản*, Nhà xuất bản Thông tin và truyền thông.
9. Trần Văn Thịnh, *Tính toán thiết kế thiết bị điện tử công suất*, Nhà xuất bản Giáo dục.
10. Website [www.ebook.edu.vn](http://www.ebook.edu.vn)
11. Website [www.xbook.com.vn](http://www.xbook.com.vn)
12. Website [tailieu.vn](http://tailieu.vn)