

**ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**  
**TRƯỜNG CAO ĐẲNG CÔNG NGHỆ**

\*\*\*\*\*

## BÀI TH

### ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

(Sử dụng phần mềm MATLAB)

**Môn học: ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG**

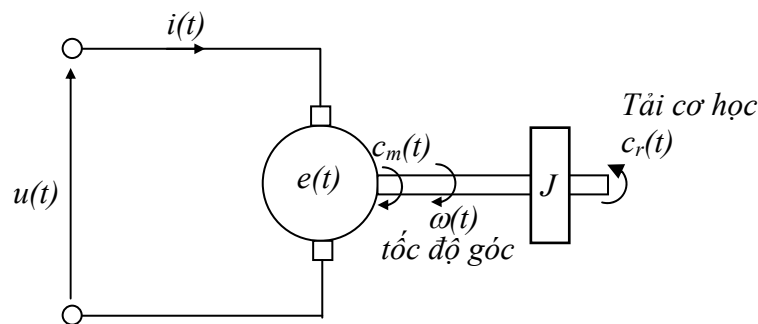
#### I. CHUẨN BỊ.

- Mỗi sinh viên mở một thư mục mang họ và tên (vd Mai Văn Hoà : MVHOA), sau đó mở thư mục con THDK, sau mỗi lần thực hiện mô phỏng trên Simulink lưu kết quả trong file tương ứng.
- Tính toán trước các giá trị số và các hàm truyền cần thiết.

#### II. THỰC HIỆN.

Thực hiện theo thứ tự từng bước và mục sau đây, vẽ lại sơ đồ khối và đồ thị nhận được trên giấy có kẻ ô. Đóng tập báo cáo.

**Bước 1. Mô hình hoá hệ :** Cho sơ đồ nguyên lý của một động cơ điện một chiều như sau:



Động cơ có các đặc tính sau đây:

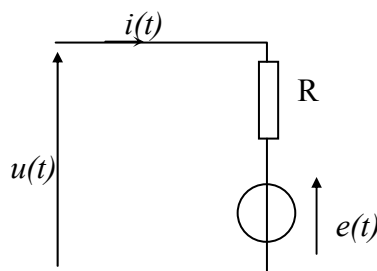
- Điểm danh nghĩa hoạt động của động cơ:  $10\text{Volt} \rightarrow 1000\text{vg/ph}$
- Mômen quán tính phần quay:  $J = 10^{-3} \text{Kgm}^2$ , bỏ qua ma sát trên trục.
- Các phương trình về động cơ theo tuyến tính:

$$e(t) = k \cdot \omega(t) \quad \text{với } e(t) \text{ là suất điện động của động cơ.}$$

$$c_m(t) = k \cdot i(t) \quad \text{với } c_m(t) \text{ là ngẫu hay mômen của động cơ.}$$

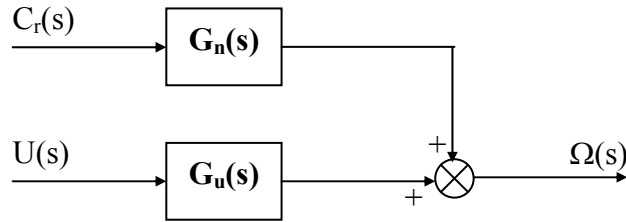
- Điện trở của phần ứng động cơ:  $R = 4,5 \Omega$ , bỏ qua điện cảm.

- a. Tính giá trị hằng số đặc trưng của động cơ  $k$  theo (Vs)/rd dựa vào đặc tính của động cơ.
- b. Sơ đồ điện tương đương phần ứng của động cơ như sau:



Hãy viết phương trình về điện (điện áp theo Kirchhoff) tương ứng với mạch.

- c. Tải cơ học tạo ra một ngẫu tải  $c_r(t)$  tác dụng trên trục động cơ.  
 Hãy viết phương trình về cơ (mô men theo Newton) ứng với phân quay.
- d. Dùng phép biến đổi Laplace lập hệ điện - cơ trên đây dưới dạng sơ đồ khối sau:



Trong đó:  $C_r(s)$ ,  $U(s)$  và  $\Omega(s)$  là biến đổi Laplace của  $c_r(t)$ ,  $u(t)$  và  $\omega(t)$ .

Xác định các biểu thức  $G_n(s)$  và  $G_u(s)$  và đặt chúng dưới dạng sau:

$$G_n(s) = \frac{G_1}{1 + sT_m} ; \quad G_u(s) = \frac{G_0}{1 + sT_m}$$

Lập các biểu thức và tính  $T_m$ ,  $G_0$  và  $G_1$ .

**Bước 2. Khảo sát hệ hở:**

Ngẫu tải bằng không ( không có tải cơ học  $c_r(t)=0$  ), tác dụng một điện áp vào  $u(t)$  bậc thang có biên độ:  $U_0 = 10$  Volt.

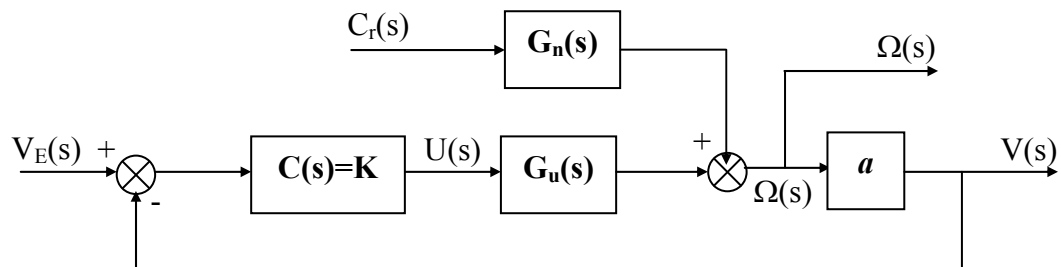
- a. Xác định biểu thức  $\omega(t)$ , nêu giá trị của tốc độ động cơ trong chế độ xác lập  $\omega_0$  và thời gian đáp ứng ở 5%:  $t_{r5\%}$ .
- b. Động cơ quay ở tốc độ  $\omega_0$  , ta tác dụng vào một ngẫu tải  $c_r(t)$  có biên độ:  $C_{R0} = 0,042$  Nm. Tính tốc độ mới của động cơ ở chế độ xác lập:  $\omega(+\infty) = \omega_{0R}$ .

**Sử dụng Matlab/Simulink thiết lập sơ đồ khối của hệ. Vẽ đáp ứng ra  $\omega(t)$  của hệ và so sánh các kết quả tính ở 2.a và 2.b với đồ thị. Nhận xét sự suy giảm tốc độ động cơ khi có tải.**

**Bước 3. Khảo sát hệ kín: Điều chỉnh tỷ lệ.**

Cho bộ khuếch đại sai số nối với bộ khuếch đại công suất điều khiển:  $u(t) = K. \varepsilon(t)$ . Bỏ trí một cảm biến tốc độ của động cơ cho điện áp:  $v(t) = a. \omega(t)$  với  $a = k$ .

Ta nhận được sơ đồ khối sau:



- a. Chứng tỏ rằng  $V(s)$  có thể được diễn tả dưới dạng sau:

$$V(s) = H_E(s) V_E(s) + H_R(s) C_r(s)$$

với:  $H_E(s) = \frac{H_{E0}}{1 + sT}$  và  $H_R(s) = \frac{H_{R0}}{1 + sT}$

Nêu các biểu thức của  $T$ ,  $H_{E0}$  và  $H_{R0}$ .

Ta chọn  $K=3$  và giả sử rằng hệ vẫn hoạt động trong dạng tuyến tính.

b. Khảo sát điều khiển theo dõi:  $c_r(t) = 0$ .

Cho tác dụng vào hàm bậc thang có điện áp là  $V_{E0}$ .

Biểu diễn tốc độ ở chế độ xác lập  $\omega_0$  và tính giá trị của điện áp  $V_{E0}$  để nhận được  $\omega_0 = 1000$  vg/ph.

Xác định giá trị của  $t_{r5\%}$  ở hệ kín.

**Sử dụng Matlab/Simulink để khảo sát đáp ứng ra của hệ với việc thay đổi các giá trị K. Nhận xét.**

c. Khảo sát điều khiển điều chỉnh: Động cơ quay với tốc độ chuẩn  $\omega_0 = 1000$  vg/ph và ta tác động vào một ngẫu tải bậc thang với  $C_{R0} = 0,042$  Nm. Tính tốc độ mới của động cơ ở chế độ xác lập:  $\omega(+\infty) = \omega'_{0R}$  và so sánh nó với  $\omega_{0R}$ .

**Sử dụng Matlab/Simulink để khảo sát đáp ứng ra của hệ với việc thay đổi các giá trị của K. Nhận xét.**

**Bước 4. Khảo sát hệ kín: Điều chỉnh tỷ lệ và tích phân.**

Ta thay bộ hiệu chỉnh tỷ lệ trên bằng một bộ hiệu chỉnh PI:  $C(s) = K \left( 1 + \frac{1}{sT_i} \right)$ .

a. Tính các hàm truyền mới  $H_E(s)$  và  $H_R(s)$ .

b. Khảo sát điều khiển theo dõi:  $c_r(t) = 0$ .

Cho tác dụng vào hàm bậc thang có điện áp là  $V_{E0}$ .

Biểu diễn tốc độ ở chế độ xác lập  $\omega_0$  và tính giá trị của điện áp  $V_{E0}$  để nhận được  $\omega_0 = 1000$  vg/ph.

**Sử dụng Matlab/Simulink để khảo sát đáp ứng ra của hệ với việc thay đổi các giá trị K và  $T_i$ . Nhận xét.**

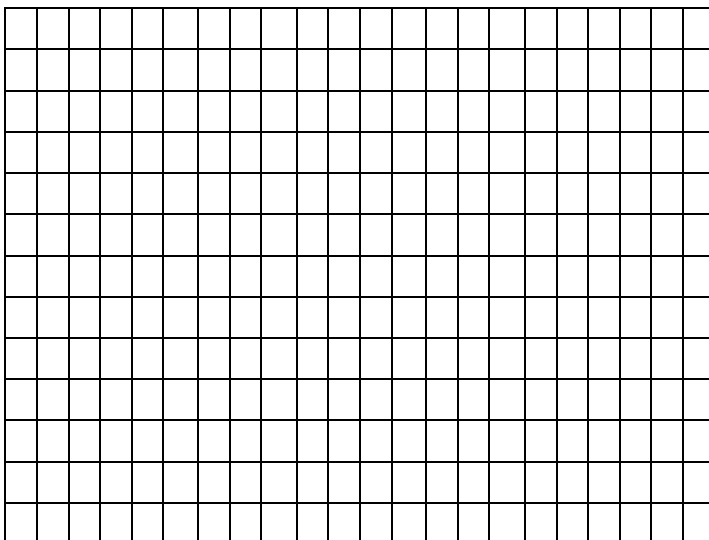
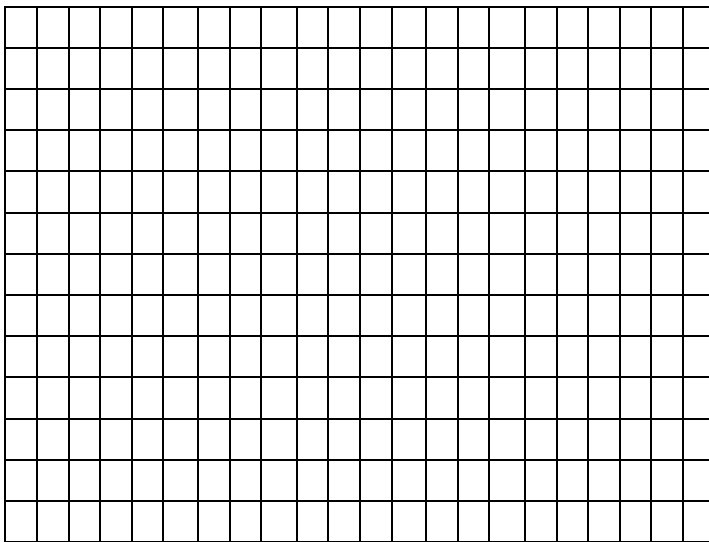
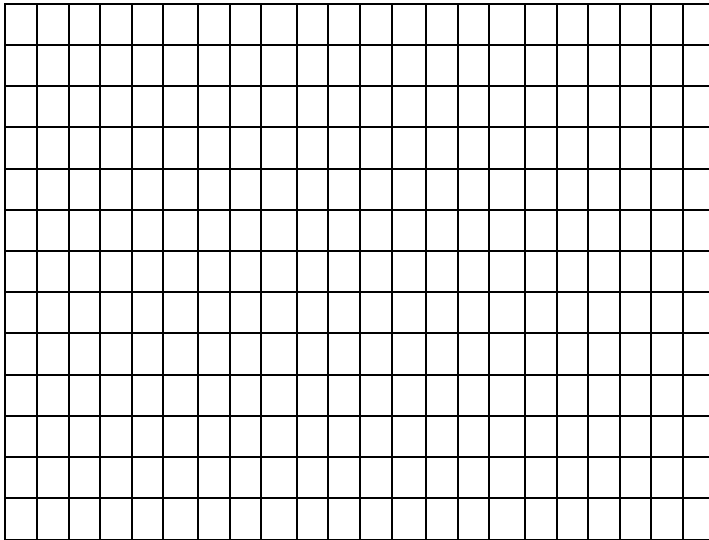
c. Khảo sát điều khiển điều chỉnh: Động cơ quay với tốc độ chuẩn  $\omega_0 = 1000$  vg/ph và ta tác động vào một ngẫu tải bậc thang với  $C_{R0}$ . Tính tốc độ mới của động cơ ở chế độ xác lập:  $\omega(+\infty)$  và cho kết luận.

**Sử dụng Matlab/Simulink để khảo sát đáp ứng ra của hệ với việc thay đổi các giá trị của K. Nhận xét.**

**Bước 5. Khảo sát hệ kín: Điều chỉnh PID**

Thay vào hệ bộ điều chỉnh PID:  $C(s) = K \left( 1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right)$

Thực hiện các công việc như bước 4 và nêu giá trị  $K$ ,  $T_i$  và  $T_d$  hợp lý để có được hệ thống điều khiển tốc độ động cơ tốt nhất.



## BÀI GIẢI

### Bài tập Điều khiển tốc độ Động cơ điện DC

#### Bước 1.

a. Xác định các hằng số đặc trưng của động cơ k theo (Vs)/rd.

$$n_{dc} = 1000 \text{v/ph} \Rightarrow \omega = \frac{1000 \cdot 2\pi}{60} \text{rad/s} = 105 \text{rad/s}$$

$$e(t) = k\omega(t) \Rightarrow k = \frac{e}{\omega} = \frac{10}{105} = 0,095 \text{Vs/rad}$$

b. Sử dụng định luật Kirchoff ta có phương trình điện áp trên mạch phản ứng:

$$u(t) = Ri(t) + e(t) = Ri(t) + k\omega(t) \quad (1)$$

c. Sử dụng định luật Newton ta có phương trình cân bằng momem trên trục động cơ:

$$\begin{aligned} c_m(t) &= J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + c_r(t) \\ \Rightarrow k \cdot i(t) &= J \frac{d\omega(t)}{dt} + c_r(t) \end{aligned} \quad (2)$$

d. Biến đổi Laplace các phương trình trên:

$$(1) \Rightarrow U(s) = RI(s) + k \cdot \Omega(s) \quad \Rightarrow I(s) = \frac{U(s) - k \cdot \Omega(s)}{R}$$

$$(2) \Rightarrow kI(s) = Js\Omega(s) + C_r(s)$$

$$\Rightarrow \frac{k}{R}(U(s) - k \cdot \Omega(s)) = Js \cdot \Omega(s) + C_r(s) \quad \Rightarrow \frac{k}{R}U(s) - \frac{k^2}{R}\Omega(s) = Js\Omega(s) + C_r(s)$$

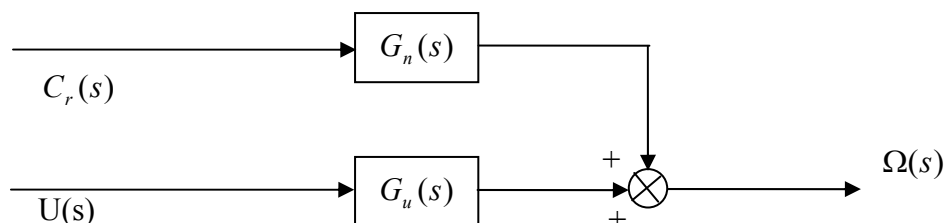
$$\Rightarrow \frac{k}{R}U(s) - C_r(s) = (Js + \frac{k^2}{R})\Omega(s) \quad \Rightarrow \frac{k}{R}U(s) - C_r(s) = \frac{JR s + k^2}{R}\Omega(s)$$

$$\Rightarrow \Omega(s) = \frac{k}{JR s + k^2}U(s) - \frac{R}{JR s + k^2}C_r(s)$$

$$\Rightarrow \Omega(s) = \frac{1/k}{1 + \frac{JR}{k^2}s}U(s) + \frac{-R/k^2}{1 + \frac{JR}{k^2}s}C_r(s)$$

$$\Leftrightarrow G_u(s) = \frac{1/k}{1 + \frac{JR}{k^2}s} = \frac{G_0}{1 + s \cdot T_m} \quad \text{và} \quad \Leftrightarrow G_n(s) = \frac{-R/k^2}{1 + \frac{JR}{k^2}s} = \frac{G_1}{1 + s \cdot T_m}$$

Ta có được sơ đồ khối:



Với  $G_o = \frac{1}{k}$ ;  $G_1 = \frac{-R}{k^2}$ ;  $T_m = \frac{J.R}{k^2}$

Thay giá trị k, J, R vào ta được:  $G_o = 10,5rad / Vs$ ;  $G_1 = -500rad / Vs$ ;  $T_m = 0,5s$

**Bước 2. Khảo sát hệ hở.**

a. Không tải:  $c_r(t) = 0$ ;  $U_o = 10Volt$  ta có:  $C_r(s) = 0$  và  $U(s) = U_o/s$

$$\Rightarrow \Omega(s) = G_u(s)U(s) = \frac{G_o}{1+sT_m} \cdot \frac{U_o}{s} = \frac{G_o U_o}{T_m s} \cdot \frac{1}{s+1/T_m}$$

$$\Rightarrow \omega(t) = \frac{G_o U_o}{T_m} T_m (1 - e^{-t/T_m}) = G_o U_o (1 - e^{-t/T_m})$$

Ở chế độ xác lập là khi  $t \rightarrow \infty$ , theo định lý giá trị cuối ta có:

$$\Rightarrow \omega_0 = \omega(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \Omega(s) = G_o U_o = 10,5 \times 10 = 105rad / s$$

ứng với  $n = 1000$  vòng/phút

$$\omega(t_{r5\%}) = 105 \times 95\% rad / s \quad \Rightarrow 95 = 1000(1 - e^{-2t})$$

$$\Rightarrow (1 - e^{-2t}) = 0,95 \Rightarrow t = 1,5s$$

Vậy thời gian đáp ứng ở 5%:  $t_{5\%} = 1,5s$

b. Khi có ngẫu tải với biên độ  $C_{RO} = 0,042Nm$

Ta có:

$$\Omega(s) = G_u(s)U(s) + G_n(s)C_r(s)$$

$$\Omega(s) = \frac{G_o}{1+sT_m} \cdot \frac{U_o}{s} + \frac{G_1}{1+sT_m} \cdot \frac{C_{RO}}{s}$$

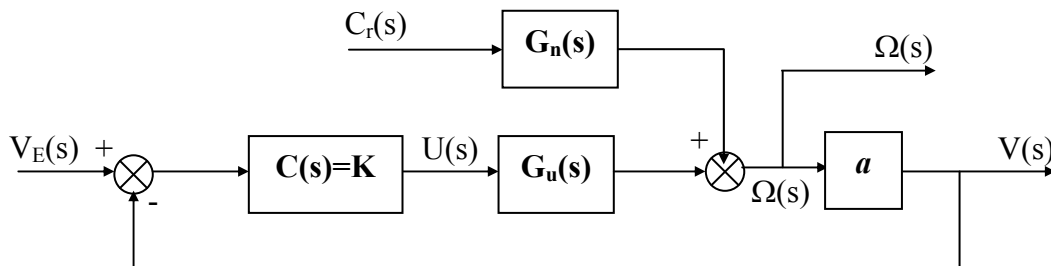
Áp dụng định lý giá trị cuối, ta có:

$$\omega(\infty) = \omega_{OR} = \lim_{s \rightarrow 0} s \Omega(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \left( \frac{G_o U_o}{1+sT_m} + \frac{G_1 C_{RO}}{1+sT_m} \right)$$

$$\omega_{OR} = G_o U_o + G_1 C_{RO} = \omega_0 + G_1 C_{RO}$$

$$\omega_{OR} = 105 - 500 \times 0,042 = 84rad / s \approx n = 800v / ph$$

**Bước 3. Khảo sát hệ kín theo điều chỉnh tỷ lệ.**



a. Chứng tỏ:  $V(s) = H_E(s) V_E(s) + H_R(s) C_r(s)$

\* Khi  $C_r(s) = 0$ , từ sơ đồ khối trên ta có:

$$\Rightarrow \frac{V(s)}{V_E(s)} = \frac{aKG_u(s)}{1+aKG_u(s)} \quad \Rightarrow V(s) = \frac{aK \frac{G_o}{1+sT_m}}{1+aK \frac{G_o}{1+sT_m}} V_E(s)$$

$$\Rightarrow V(s) = \frac{aKG_0}{aKG_0 + 1 + sT_m} V_E(s) = \frac{\frac{aKG_0}{1 + aKG_0}}{1 + \frac{T_m}{1 + aKG_0}} V_E(s)$$

$$\Rightarrow V(s) = H_E(s) \cdot V_E(s)$$

$$H_E(s) = \frac{H_{EO}}{1 + sT}; \quad H_{EO} = \frac{aKG_0}{1 + aKG_0}; \quad G_0 = \frac{1}{k}; a = k$$

$$\Rightarrow H_{EO} = \frac{K}{1 + K}; \quad T = \frac{T_m}{1 + K}$$

\* Khi  $V_E(s) = 0$  thì:

$$-V(s) \cdot K \cdot G_u(s) \cdot a + C_r(s) \cdot G_n(s) \cdot a = V(s)$$

$$\Rightarrow -\frac{K}{1 + sT_m} V(s) + \frac{aG_1}{1 + sT_m} = V(s)$$

$$\Rightarrow V(s) \left( 1 + \frac{K}{1 + sT_m} \right) = \frac{aG_1}{sT_m + 1} C_r(s)$$

$$\Leftrightarrow V(s) \left( \frac{1 + K + sT_m}{1 + sT_m} \right) = \frac{aG_1}{sT_m + 1} C_r(s)$$

$$\Rightarrow V(s) = \frac{aG_1}{1 + K} \cdot \frac{1}{1 + \frac{T_m}{1 + K}} C_r(s) = H_R(s) \cdot C_R(s)$$

Trong đó  $H_R(s) = \frac{H_{RO}}{1 + sT}$  với  $H_{RO} = \frac{aG_1}{1 + K}; \quad T = \frac{T_m}{1 + K}$

Do vậy ta có thể diễn tả  $V(s)$  khi có tín hiệu vào và tải như sau:

$$V(s) = H_E(s) V_E(s) + H_R(s) C_r(s)$$

b. **Trường hợp điều khiển theo dõi:**  $c_r(t) = 0$

TH vào hàm bậc thang có điện áp là  $V_{EO}$  nên  $V_E(s) = \frac{V_{EO}}{s}$

Khi  $C_r(s) = 0 \Rightarrow V(s) = H_E(s) \cdot V_E(s)$

$$V(s) = \frac{H_{EO}}{1 + sT} \cdot \frac{V_{EO}}{s}$$

Ta có:  $V(s) = a \cdot \Omega(s) = k \cdot \Omega(s)$

$$\Rightarrow \Omega(s) = \frac{V(s)}{k} = \frac{1}{k} \cdot \frac{H_{EO}}{1 + sT} \cdot \frac{V_{EO}}{s}$$

$$\Rightarrow \omega_0 = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \Omega(s) = \frac{H_{EO} \cdot V_{EO}}{k} = \frac{K}{k(1 + K)} \cdot V_{EO}$$

$$\Rightarrow \omega_0 = 1000v / ph = 105rad / s$$

$$K=3; \quad k=0,095$$

$$\Rightarrow 105 = \frac{3}{0,095(1 + 3)} \cdot V_{EO} \Rightarrow V_{EO} = 13,3V$$

$$t_{r5\%} = 3T = 3 \cdot \frac{0,5}{4} = 0,375s$$

**c. Trường hợp điều khiển điều chỉnh:**

Ta có:  $V(s) = H_E(s) V_{EO}(s) + H_R(s) C_r(s)$

$$\text{Nên } \Rightarrow \Omega(s) = \frac{V(s)}{k} = \frac{1}{k} \cdot \frac{H_{EO}}{1+sT} \cdot \frac{V_{EO}}{s} + \frac{1}{k} \cdot \frac{H_{RO}}{1+sT} \cdot \frac{C_{RO}}{s}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \omega(+\infty) &= \omega'_{0R} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \Omega(s) = \frac{H_{EO} \cdot V_{EO}}{k} + \frac{H_{RO} \cdot C_{RO}}{k} = \omega_0 + \frac{a \cdot G_1 \cdot C_{R0}}{k(1+K)} \\ &= \omega_0 - \frac{R \cdot C_{R0}}{k^2(1+K)} = 105 - 5,25 = 99,75 \text{ rad/s} = 950 \text{ v/ph} \end{aligned}$$

**Tiếp tục thực hiện các bước sau:**

**Bước 4. Khảo sát hệ kín: Điều chỉnh tỷ lệ và tích phân.**

Ta thay bộ hiệu chỉnh tỷ lệ trên bằng một bộ hiệu chỉnh PI:  $C(s) = K \left( 1 + \frac{1}{sT_i} \right)$ .

d. Tính các hàm truyền mới  $H_E(s)$  và  $H_R(s)$ .

e. Khảo sát điều khiển theo dõi:  $c_r(t) = 0$ .

Cho tác dụng vào hàm bậc thang có điện áp là  $V_{EO}$ .

Biểu diễn tốc độ ở chế độ xác lập  $\omega_0$  và tính giá trị của điện áp  $V_{EO}$  để nhận được  $\omega_0 = 1000$  vg/ph.

**Sử dụng Matlab/Simulink để khảo sát đáp ứng ra của hệ với việc thay đổi các giá trị  $K$  và  $T_i$ . Nhận xét.**

f. Khảo sát điều khiển điều chỉnh: Động cơ quay với tốc độ chuẩn  $\omega_0 = 1000$  vg/ph và ta tác động vào một ngẫu tải bậc thang với  $C_{R0}$ . Tính tốc độ mới của động cơ ở chế độ xác lập:  $\omega(+\infty)$  và cho kết luận.

**Sử dụng Matlab/Simulink để khảo sát đáp ứng ra của hệ với việc thay đổi các giá trị của  $K$ . Nhận xét.**

**Bước 5. Khảo sát hệ kín: Điều chỉnh PID**

Thay vào hệ bộ điều chỉnh PID:  $C(s) = K \left( 1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right)$

Thực hiện các công việc như bước 4 và nêu giá trị  $K$ ,  $T_i$  và  $T_d$  hợp lý để có được hệ thống điều khiển tốc độ động cơ tốt nhất.