

1. a) Karşılaştırmacı: $e(t) = r(t) - b(t)$ 01/

Kuvvetlendirici: $e_a(t) = K e(t)$ 01/

Doğru akım motoru:

$$e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t)$$

$$e_b(t) = K_b \frac{d\theta(t)}{dt}$$

$$T(t) = J_{me} \ddot{\theta}(t) + B_{me} \dot{\theta}(t) + T_L(t)$$

Dişli kutusu: $x(t) = n \theta(t)$ 01/

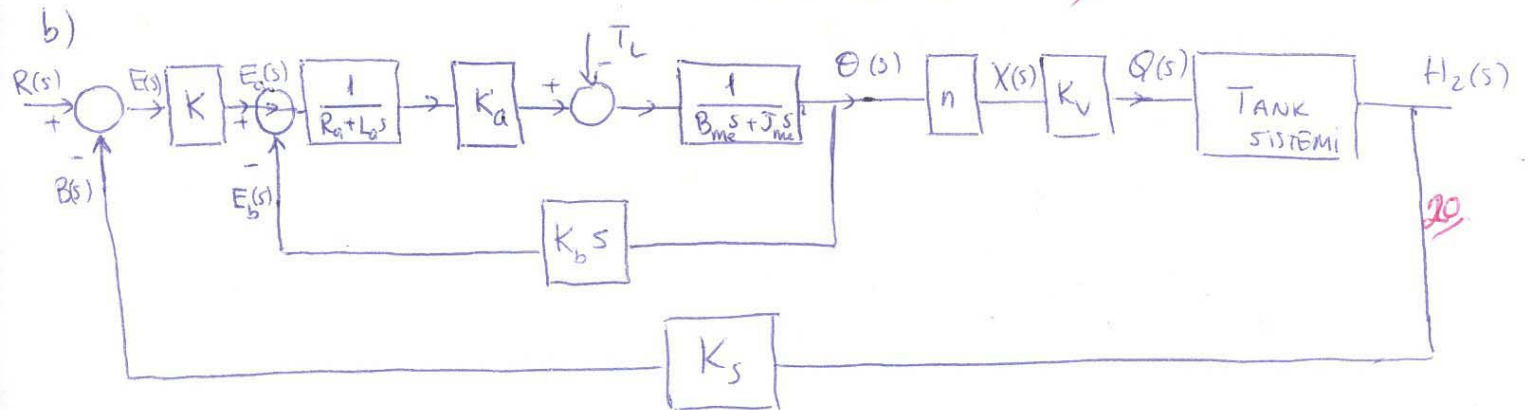
Valf: $q(t) = K_v x(t)$ 01/

Tanklar:

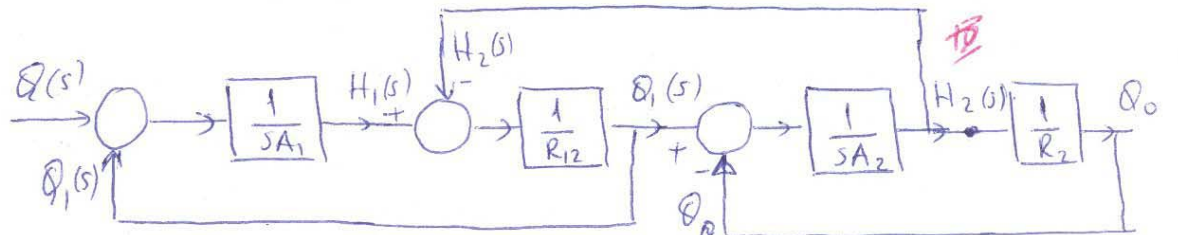
$$q - q_1 = A_1 \frac{dh_1}{dt}, \quad q_1 = \frac{h_1 - h_2}{R_{12}}$$

$$q_1 - q_0 = A_2 \frac{dh_2}{dt}, \quad q_0 = \frac{h_2}{R_2}$$

Dönüştürücü: $b(t) = K_s h_2(t)$ 01/



Tank:



OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİ

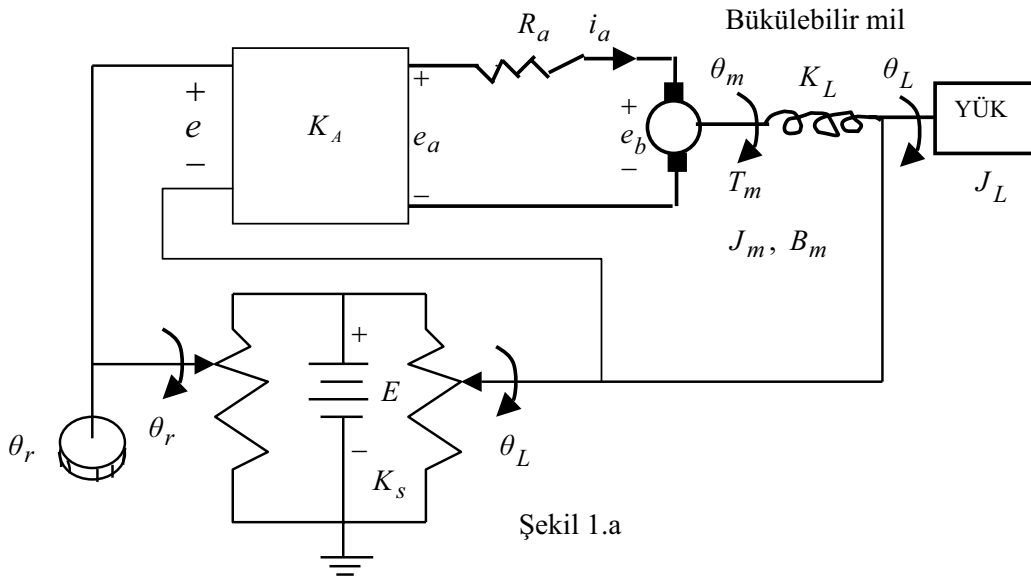
I. Yıl İçi Sınavı

Soru 2. Şekil 1.a 'da Doğru akım motorlu bir konum kontrol sisteminin şeması verilmiştir. Bu şemada e hata gerilimi, θ_r referans konumu, θ_L yük konumu, K_A kuvvetlendirici kazancı, e_a armatür gerilimi, e_b zıt elektromotor gerilimi, i_a armatür akımı, T_m motor moment, $\theta_e = \theta_r - \theta_L$ açısal konum hatasıdır. Sistem parametreleri

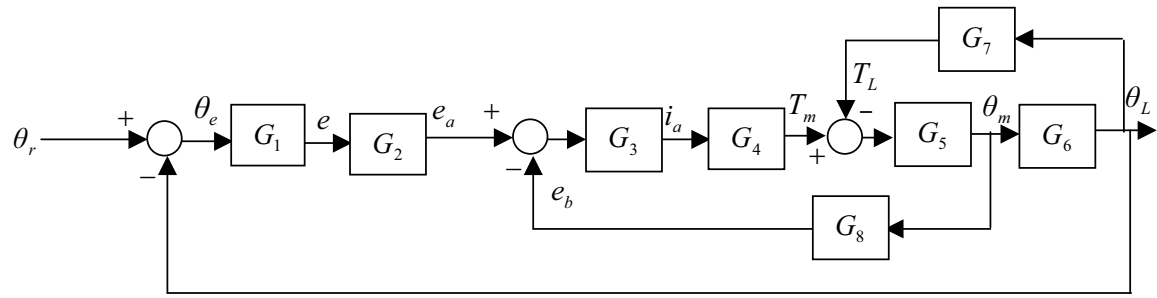
$J_m = 0.21 \cdot 10^{-3} \text{ [Kg-m}^2\text{]}$	motor eylemsizliği,
$B_m = 70.57 \cdot 10^{-3} \text{ [N-m-s]}$	motor viskoz sürtünme katsayısı,
$K_L = 352.85 \text{ [N-m/rad]}$	burulma yay sabiti,
$J_L = 0.35 \cdot 10^{-3} \text{ [kg-m}^2\text{]}$	yük eylemsizliği,
$K_i = 0.148 \text{ [N-m/A]}$	motor moment sabiti,
$K_b = 0.148 \text{ [V/(rad/s)]}$	Zıt elektromotor katsayısı,
$K_s = E/2\pi$	hata belirleyici katsayısı,
$E = 2\pi \text{ [V]}$	hata belirleyiciye uygulanan gerilim
$R_a = 1.15 \text{ [\Omega]}$	armatür direnci,

olarak verilmiştir.

- $x_1 = \theta_L, x_2 = d\theta_L/dt, x_3 = \theta_m, x_4 = d\theta_m/dt = \omega_m$ durum değişkeni olarak sistemin durum denklemlerini yazınız.
- Şekil 1.b de verilen blok diyagramında her bir kutuya ait transfer fonksiyonunu belirleyiniz.
- $G(s) = \theta_L(s)/\theta_e(s)$ açık çevrim transfer fonksiyonunu elde ediniz.
- $M(s) = \theta_L(s)/\theta_r(s)$ kapalı çevrim transfer fonksiyonunu yazınız



Şekil 1.a



Şekil 1. b

Gözüm Vize 1 Prb. 2 :

a) Sistem denklemleri :

Elektrik Yanı

Hata ölçer elemanı : $e = K_s \theta_e$, $\theta_e = \theta_r - \theta_L$

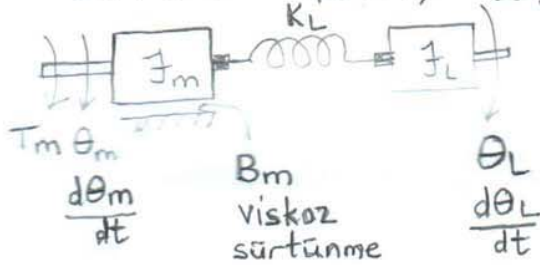
Kuvvetlendirici : $e_a = K_A e$

Motor armatür devresi : $e_a = R_a i_a + e_b$

Zıt elektromotor gerilimi : $e_b = K_b \frac{d\theta_m}{dt}$

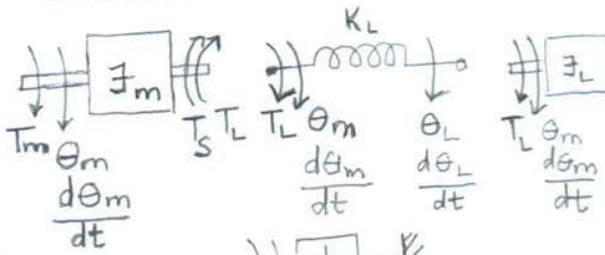
Motor momenti : $T_m = K_i i_a$

Mekanik Yanı : Hareket Denklemleri için gözönüne alınacak şema, diyagram ve devre topolojileri :



Yayla bağlı iki serbestlik dereceli dönmeli sistem

Serbest Cisim Diyagramı :



$$J_m \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_m - T_s - T_L$$

$$T_L = K_L (\theta_m - \theta_L) = J_L \frac{d^2 \theta_L}{dt^2}$$

$$T_s = B_m \frac{d\theta_m}{dt}$$

Motor miline indirgenen hareket denklemleri :

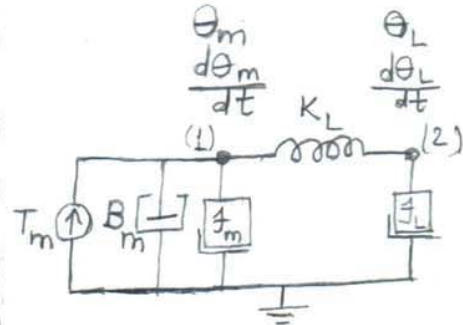
$$J_m \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} + B_m \frac{d\theta_m}{dt} = T_m - T_L$$

Yük miline indirgenen hareket denklemleri :

$$J_L \frac{d^2 \theta_L}{dt^2} = K (\theta_m - \theta_L) = T_L$$

Yazılır.

Esdeğer Mekanik Devre, Elektriksel Paralel Analog



(1). düğüm denklemleri :

$$J_m \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} + B_m \frac{d\theta_m}{dt} + K_L \theta_m - K_L \theta_L = T_m$$

(2). düğüm denklemleri :

$$J_L \frac{d^2 \theta_L}{dt^2} + K_L \theta_L - K_L \theta_m = 0$$

Yazılır.

Durum denklemleri, $x_1 = \theta_L$, $x_2 = \frac{d\theta_L}{dt}$, $x_3 = \theta_m$, $x_4 = \frac{d\theta_m}{dt}$

tanımlarını kullanarak Yukarıda yazılan sistem denklemlerinden

$$J_L \frac{dx_2}{dt} + K_L x_1 - K_L x_3 = 0$$

$$\begin{aligned} J_m \frac{dx_4}{dt} + B_m x_4 + K_L x_3 - K_L x_1 &= K_i \dot{i}_a = K_i \frac{e_a - e_b}{R_a} \\ &= K_i \frac{K_A K_S (\theta_r - \theta_L) - K_b \frac{d\theta_m}{dt}}{R_a} \\ &= \frac{K_i K_A K_S}{R_a} \theta_r - \frac{K_i K_A K_S}{R_a} x_1 - \frac{K_i K_b}{R_a} x_4 \end{aligned}$$

$$J_m \frac{dx_4}{dt} + \left(B_m + \frac{K_i K_b}{R_a} \right) x_4 + K_L x_3 + \left(\frac{K_i K_A K_S}{R_a} - K_L \right) x_1 = \frac{K_i K_A K_S}{R_a} \theta_r$$

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2$$

$$\frac{dx_2}{dt} = -\frac{K_L}{J_L} x_1 + \frac{K_L}{J_L} x_3$$

$$\frac{dx_3}{dt} = x_4$$

$$\frac{dx_4}{dt} = -\frac{K_i K_A K_S - K_L R_a}{J_m R_a} x_1 - \frac{K_L}{J_m} x_3 - \frac{B_m R_a + K_i K_b}{J_m R_a} x_4 + \frac{K_i K_A K_S}{J_m R_a} \theta_r$$

elde edilir. Verilen parametre değerleri için

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2$$

$$\frac{dx_2}{dt} = -1008143 x_1 + 1008143 x_3$$

$$\frac{dx_3}{dt} = x_4$$

$$\frac{dx_4}{dt} = (613 K_A - 1676190) x_1 - 1676190 x_3 - 427 x_4 + 613 K_A \theta_r$$

yazılır.

b) $G_1 = K_S$, $G_2 = K_A$, $G_3 = \frac{1}{R_a}$, $G_4 = K_i$
 $G_5 = \frac{\theta_m(s)}{T_m - T_L} = \frac{1}{J_m s^2 + B_m s}$, $G_6 = \frac{\theta_L(s)}{\theta_m(s)} = \frac{K}{J_L s^2 + K}$
 $G_7 = \frac{T_L(s)}{\theta_L(s)} = J_L s^2$, $G_8 = \frac{E_b(s)}{\theta_m(s)} = K_b s$ olarak bulunur.

Şekil 2 deki Blok diyagramında Blok transfer fonksiyonları parametrelerinin verilen sayısal değerleri için,

$$G_1 = 1, \quad G_2 = K_A \quad G_3 = 0,87 \quad G_4 = 0,148$$

$$G_5 = \frac{4762}{s^2 + 336s} \quad G_6 = \frac{1008143}{s^2 + 1008143}$$

$$G_7 = 0,35 \cdot 10^{-3} s^2 \quad G_8 = 0,148 s$$

olarak verilebilir.

c) $\frac{\Theta_L(s)}{\Theta_e(s)} = G(s) = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \Delta_k}{\Delta}$ Mason Kazanç formülü

uygulanarak: Θ_e 'den Θ_L ye bir ileri yol var, $N=1$

İleri yol kazancı $P_1 = G_1 G_2 G_3 G_4 G_5 G_6 = \frac{618.147.921 K_A}{(s^2 + 336s)(s^2 + 1008143)}$

İleri yola dokunmayan diyagramın Δ_1 'si: $\Delta_1 = 1$

$G(s)$ için, $\Delta = 1 - L_1 - L_2$ olup birim geribesleme dışında

iki kapalı çevrim var; $L_1 = -G_3 G_4 G_5 G_8 = -\frac{90,75}{s + 336}$

$$L_2 = -G_5 G_6 G_7 = -\frac{1680272 s}{(s + 336)(s^2 + 1008143)} \quad \text{ve bunlar}$$

birbirine dokunuyorlar.

$$\Delta = 1 + \frac{90,75}{s + 336} + \frac{1680272 s}{(s + 336)(s^2 + 1008143)}$$

$$= \frac{(s + 336)(s^2 + 1008143) + 90,75(s^2 + 1008143) + 1680272 s}{(s + 336)(s^2 + 1008143)}$$

$$= \frac{s^3 + 426,75 s^2 + 2688415 s + 91488977}{(s + 336)(s^2 + 1008143)}$$

hesaplanır ve böylece

$$\frac{\Theta_L(s)}{\Theta_e(s)} = G(s) = \frac{P_1 \Delta_1}{\Delta} = \frac{618.147.921 K_A}{s^3 + 426,75 s^2 + 2688415 s + 91488977}$$

elde edilir.

$$d) \frac{\Theta_L(s)}{\Theta_r(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)} = \frac{618.147.921 K_A}{s^3 + 426,75 s^2 + 2688415 s + 91488977 + 618147921 K_A}$$

$$\dot{u}_2 = \frac{K}{\tau} u_1(t) - \frac{1}{\tau} u_2(t)$$

$$s U_2(s) = \frac{K}{\tau} U_1(s) - \frac{1}{\tau} U_2(s) \Rightarrow \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$$

$$u_1(t) = u_g(t) - u_c(t) \Rightarrow U_1(s) = U_g(s) - U_c(s)$$

$$i(t) = \frac{u_2(t) - u_c(t)}{R} ; \quad u_c(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt$$

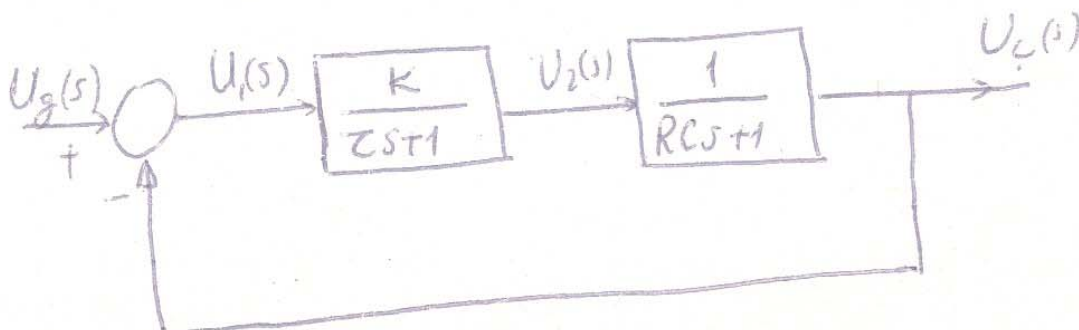
$$I(s) = \frac{U_2(s) - U_c(s)}{R} ; \quad U_c(s) = \frac{1}{sC} I(s)$$

$$U_c(s) = \frac{1}{sC} \left(\frac{U_2(s) - U_c(s)}{R} \right)$$

$$RC s U_c(s) + U_c(s) = U_2(s)$$

$$\frac{U_c(s)}{U_2(s)} = \frac{1}{1 + RC s}$$

PI



$$T(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

$$T(s) = \frac{K / (s+1)(RCs+1)}{1 + K / (s+1)(RCs+1)} = \frac{K}{(RCs+1)(s+1) + K}$$