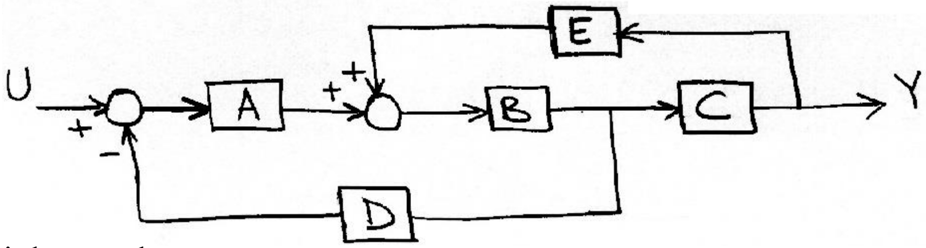
SİSTEM MODELLEME VE KONTROL SORU ÖRNEKLERİ

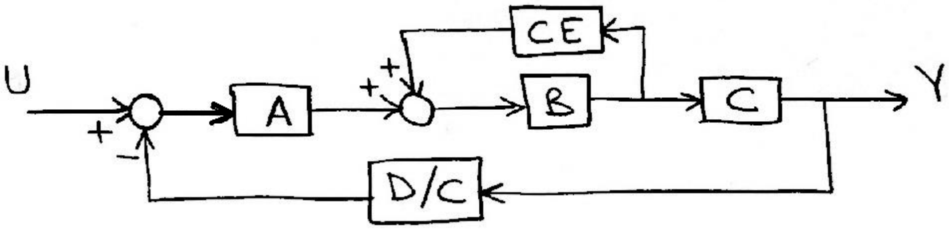
1. BÖLÜM

Bu bölümdeki sorularda A, B, C, D, E çeşitli skaler transfer fonksiyonlardır. Y ve U ise sırasıyla çıkış ve girişin Laplace dönüşümleridir. Her bir soru için $T(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$ *transfer fonksiyonunu bulunuz. Her sorudaki sonucunuz A, B, C, D, E cinsinden tek bir kesir olarak ifade edilsin (pay veya paydada başka kesir kalmasın).*

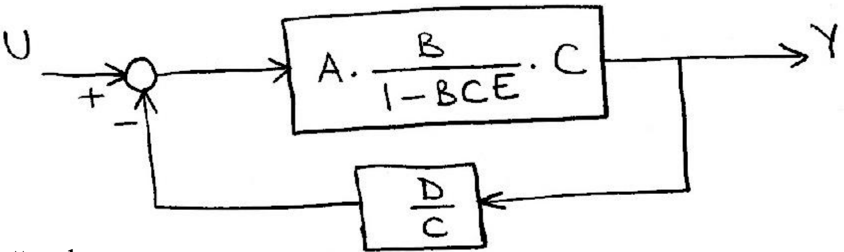
1.1)



Çözüm: İki ayrı düzenleme birden yapalım:



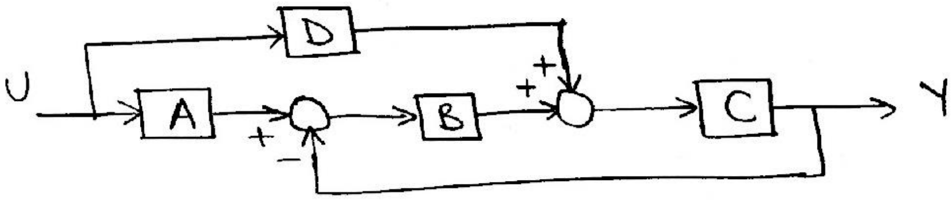
Üst sıradaki pozitif geribeslemeli blokun transfer fonksiyonunu seri bağlı olduğu A ve C ile çarparız:



Bu da negatif geribeslemeli olduğundan

$$T(s) = \frac{\frac{ABC}{1 - BCE}}{1 + \frac{ABC}{1 - BCE} \cdot \frac{D}{C}} = \frac{ABC}{1 - BCE + ABD}$$

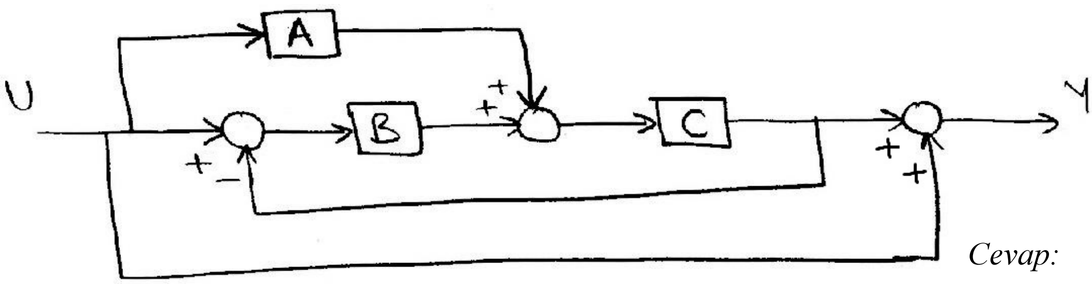
1.2)



Cevap:

$$T(s) = \frac{C(AB + D)}{1 + BC}$$

1.3)



Cevap:

$$T(s) = \frac{1 + 2BC + AC}{1 + BC}$$

2. BÖLÜM

2.1) Transfer fonksiyonu $T(s)=\dfrac{K(s+1)}{s^2+4s+5}$ olan sistem için,

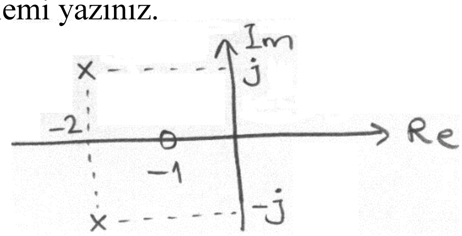
a) Kutup ve sıfırları karmaşık "*s*" düzleminde gösteriniz.

b) Sistem nasıl bir filtreleme yapar? (Alçak geçiren, yüksek geçiren, band geçiren?) Sistemin alçak frekans (lim ω → 0 için) kazancı 3 ise *K* nedir? Yüksek frekans (lim ω → ∞ için) kazancı nedir?

c) Sistem kararlı mıdır?

d) Sistemin giriş(*u*)-çıkış(*y*) ilişkisini gösteren diferansiyel denklemi yazınız.

Çözüm:



a) Paydanın kökleri $-2\mp j$ sistemin kutupları olup "*s*" düzleminde "×" ile, payın kökü -1 ise sistemin sıfırı olup "*s*" düzleminde "o" ile gösterilir (yandaki gibi).

b) $s=j\omega$ yazarsak, yüksek frekans (lim ω → ∞ için) kazancı $T(\infty)=0$, alçak frekans (lim ω → 0 için) kazancı $T(0)=K/5\neq 0$ olduğu için sistem alçak geçiren filtreleme yapar. Alçak frekans kazancı $3=K/5$ olduğu için $K=15$ demektir.

c) Sistemin bütün kutupları negatif reel kısımlı olduğu için sistem kararlıdır.

d) $T(s)=\frac{Y(s)}{U(s)}$ → $(s^2+4s+5)Y(s)=K(s+1)U(s)$

→ $\ddot{y}+4\dot{y}+5y=K\dot{u}+Ku$ → $\ddot{y}+4\dot{y}+5y=15\dot{u}+15u$

diferansiyel denklemi elde edilir.

2.2) Transfer fonksiyonu $T(s)=\dfrac{K(s^2-1)}{s^2+2s}$ olan sistem için,

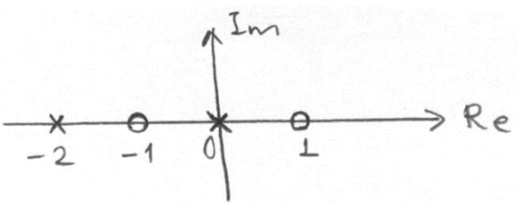
a) Kutup ve sıfırları karmaşık "*s*" düzleminde gösteriniz.

b) Sistem nasıl bir filtreleme yapar? (Alçak geçiren, yüksek geçiren, band geçiren?) Sistemin yüksek frekans (lim ω → ∞ için) kazancı 10 ise K nedir? Yüksek frekans (lim ω → ∞ için) kazancı nedir?

c) Sistem kararlı mıdır?

d) Sistemin giriş(u)-çıkış(y) ilişkisini gösteren diferansiyel denklemi yazınız.

Çözüm:



a) Paydanın kökleri -2 ve 0, sistemin kutupları; payın kökleri -1 ile 1 ise sistemin sıfırlarıdır.

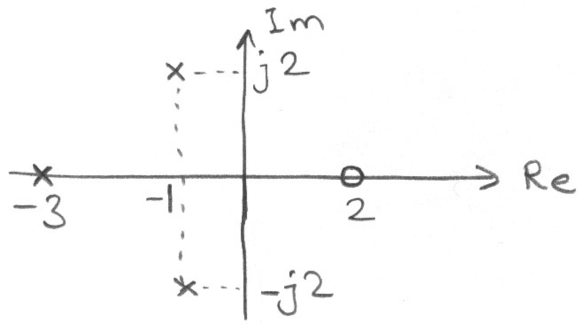
b) $s=j\omega$ yazarsak, yüksek frekans (lim ω → ∞ için) kazancı $T(\infty)=K$, alçak frekans (lim ω → 0 için) kazancı $T(0)=\infty$ olduğu için sistem alçak geçiren filtreleme yapar, ancak yüksek frekansları da bir miktar geçirir. Yüksek frekans kazancı $10=T(\infty)=K$ → $K=10$.

c) Sistem kutuplarından birisi düşey eksen üzerinde (burada orijinde) olduğu için sistem kararsızdır. Çünkü giriş sabit $(c\cdot e^{0\cdot t})$ olursa çıkışta *t* çarpanlı bir bileşen sonsuza gider.

d) $T(s)=\frac{Y(s)}{U(s)}$ → $(s^2+2s)Y(s)=K(s^2-1)U(s)$ → $\ddot{y}+2\dot{y}=K\ddot{u}-Ku$

→ $\ddot{y}+2\dot{y}=10\ddot{u}-10u$ diferansiyel denklemi elde edilir.

2.3) Kutup ve sıfırları yandaki gibi karmaşık "*s*" düzleminde gösterilen sistemin transfer fonksiyonu s 'e göre polinom kesri biçiminde ve alçak frekans kazancı $T(0) = 20$ ise $T(s)$ transfer fonksiyonunu bulunuz. Sistem kararlı mıdır? Sistemin giriş(u)-çıkış(y) ilişkisini gösteren diferansiyel denklemi yazınız.



Çözüm: Eşlenik iki kutbun toplamlarının eksiyle çarpımı +2, ikisinin birbiriyle çarpımı da $(-1)^2 + 2^2 = 5$. Reel kutbun eksiyle çarpımı ise +3. Bunlarla payda belirlenir. Reel olan sıfırın eksiyle çarpımı da -2 olup payı belirler. K da yazılarak:

$$T(s) = \frac{K(s-2)}{(s+3)(s^2+2s+5)}$$

$T(0) = -2K/15 = 20$ → $K = -150$ olur. Sistemin bütün kutupları karmaşık "s" düzleminin sol yarı bölgesinde olduğu için sistem kararlıdır. (Sağ yarı bölgede sıfır olmasının kararlılığa etkisi yok)

$$T(s) = \frac{300 - 150s}{(s+3)(s^2+2s+5)} = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

$$(s^3 + 5s^2 + 11s + 15)Y(s) = (-150s + 300)U(s)$$

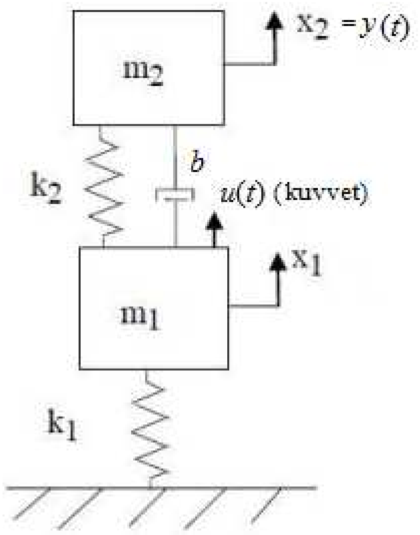
$$\dddot{y} + 5\ddot{y} + 11\dot{y} + 15y = -150\dot{u} + 300u$$

Değerleri değiştirerek benzeri çok sayıda soru üretebilirsiniz.

3. BÖLÜM

Bu bölümdeki sorularda verilen sistemlerin her biri için giriş(u)-çıkış(y) ilişkisini gösteren diferansiyel denklemi ve buradan da $G(s) = Y(s)/U(s)$ transfer fonksiyonunu bulunuz.

3.1)



Çözüm: Her kütle için $m{\cdot}a$ = net kuvvet yazılır.

$$m_1\ddot{x}_1 = u - k_1x_1 - k_2(x_1 - x_2) - b(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)$$

$$m_2\ddot{x}_2 = -k_2(x_2 - x_1) - b(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)$$

Denklemleri düzenlerken $x_2 = y$ yazalım:

$$m_1\ddot{x}_1 + b\dot{x}_1 + k_1x_1 + k_2x_1 = u + b\dot{y} + k_2y$$

$$m_2\ddot{y} + b\dot{y} + k_2y = b\dot{x}_1 + k_2x_1$$

Laplace dönüşümleri alınıp sırasıyla $X_1(s)$ ve $Y(s)$ çekilir:

$$X_1 = \frac{1}{m_1s^2 + bs + (k_1 + k_2)} \cdot U + \frac{bs + k_2}{m_1s^2 + bs + (k_1 + k_2)} \cdot Y$$

$$Y = \frac{bs + k_2}{m_2s^2 + bs + k_2} \cdot X_1$$

X_1 ifadesini Y ifadesinde yerine yazalım ve Y'yi çekelim:

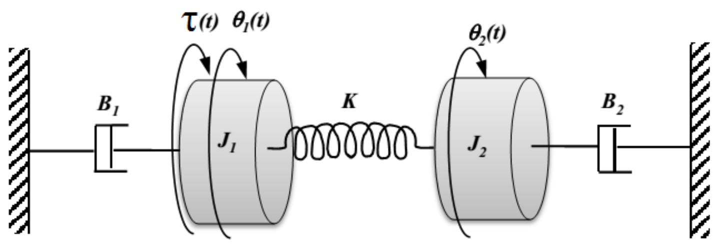
$$Y = \frac{bs + k_2}{[m_2s^2 + bs + k_2]} \cdot \frac{1}{[m_1s^2 + bs + (k_1 + k_2)]} \cdot U + \frac{bs + k_2}{[m_2s^2 + bs + k_2]} \cdot \frac{bs + k_2}{[m_1s^2 + bs + (k_1 + k_2)]} \cdot Y$$

$$\left\{1 - \frac{(bs + k_2)^2}{[m_2s^2 + bs + k_2][m_1s^2 + bs + (k_1 + k_2)]}\right\} Y = \frac{bs + k_2}{[m_2s^2 + bs + k_2][m_1s^2 + bs + (k_1 + k_2)]} \cdot U$$

$$\frac{Y}{U} = G(s) = \frac{bs + k_2}{[m_2s^2 + bs + k_2][m_1s^2 + bs + (k_1 + k_2)] - (bs + k_2)^2}$$

Bu hesaplarda ağırlıklar sadece yayların denge konumunu değiştirirler; ancak tanımlanan sapma mesafeleri o denge konumunu referans alarak tanımlandığı için ağırlıkları hiç hesaba katmıyor gibi görünürüz.

3.2) Yandaki burulma yaylı (K) sistemde tork $u = \tau(t)$ giriş, $y = \theta_2(t)$ çıkıştır.



Çözüm: Herbir J için $J\alpha$ = net tork denklemi yazılır:

$$J_1\ddot{\theta}_1 = \tau - B_1\dot{\theta}_1 - K(\theta_1 - \theta_2) \qquad \text{ve} \qquad J_2\ddot{\theta}_2 = -K(\theta_2 - \theta_1) - B_2\dot{\theta}_2$$

Denklemleri düzenlerken $\theta_2 = y$ ve $\tau = u$ yazalım:

$$J_1\ddot{\theta}_1 + B_1\dot{\theta}_1 + K\theta_1 = u + Ky \qquad \text{ve} \qquad J_2\ddot{y} + B_2\dot{y} + Ky = K\theta_1$$

Laplace dönüşümleri alınıp sırasıyla $\Theta_1(s)$ ve $Y(s)$ çekilir:

$$\Theta_1(s) = \frac{1}{J_1s^2 + B_1s + K} \cdot U(s) + \frac{K}{J_1s^2 + B_1s + K} \cdot Y(s) \qquad \text{ve} \qquad Y(s) = \frac{K}{J_2s^2 + B_2s + K} \cdot \Theta_1(s)$$

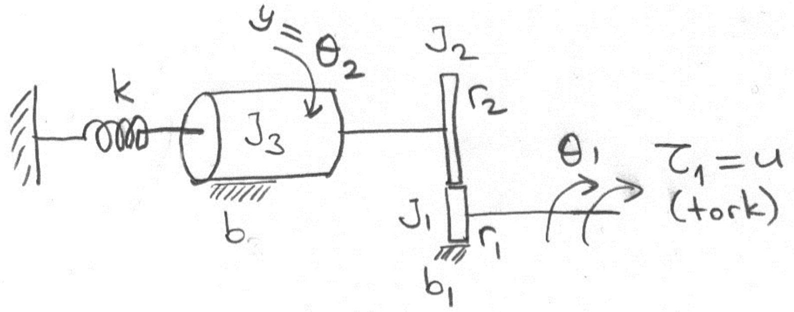
$\Theta_1(s)$ ifadesini $Y(s)$ ifadesinde yerine yazalım ve $Y(s)$ 'i çekelim:

$$Y(s)=\frac{K}{\left(J_2 s^2+B_2 s+K\right)}\cdot\frac{1}{\left(J_1 s^2+B_1 s+K\right)}\cdot U(s)+\frac{K}{\left(J_2 s^2+B_2 s+K\right)}\cdot\frac{K}{\left(J_1 s^2+B_1 s+K\right)}\cdot Y(s)$$

$$\left[1-\frac{K^2}{\left(J_2 s^2+B_2 s+K\right)\cdot\left(J_1 s^2+B_1 s+K\right)}\right]\cdot Y(s)=\frac{K}{\left(J_2 s^2+B_2 s+K\right)\cdot\left(J_1 s^2+B_1 s+K\right)}\cdot U(s)$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)}=G(s)=\frac{K}{\left(J_2 s^2+B_2 s+K\right)\cdot\left(J_1 s^2+B_1 s+K\right)-K^2}$$

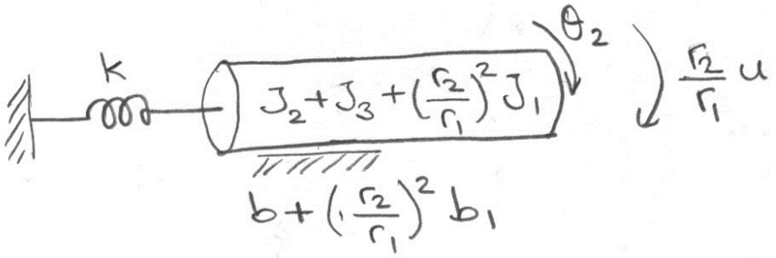
3.3) Yandaki sistemde k burulma yayı sabiti, b sürtünme katsayısı, r_1 ile r_2 de çarkların yarıçaplarıdır. Çarklar arasındaki sürtünmenin tamamı 1. tarafta varsayılarak modellenmiştir.



Çözüm: $r_1\theta_1=r_2\theta_2$ ve $\dfrac{\tau_1}{r_1}=\dfrac{\tau_2}{r_2}$ yazılabilir.

(τ_1 'in yansıtılmışına τ_2 dedik). Buna göre 1. eksendeki u torku, 2. eksende $\dfrac{r_2}{r_1}u$ olarak görülür. Diğer yandan,

$$J_1\ddot{\theta}_1=J_1\frac{r_2}{r_1}\ddot{\theta}_2 \qquad \text{ve} \qquad b_1\dot{\theta}_1=b_1\frac{r_2}{r_1}\dot{\theta}_2$$



yazılabilir. Bunlar 1. taraftaki tork değerine maruz kalan bileşenlerdir. Bunları 2. taraftaki torka maruz kalır gibi ve θ_2 'ye göre kullanacaksak katsayılarını bir kez daha r_2/r_1 ile çarparak kullanmalıyız. Böylece yukarıdaki eşdeğer şekli elde ederiz. Buna göre dinamik denklemi yazarsak

$$\left(J_2+J_3+\left[\frac{r_2^2}{r_1^2}\right]J_1\right)\ddot{\theta}_2=\frac{r_2}{r_1}u-\left(b+\left[\frac{r_2^2}{r_1^2}\right]b_1\right)\dot{\theta}_2-k\theta_2$$

Düzenlenip $y=\theta_2$ yazılarak Laplace dönüşümünü alınırsa,

$$\left\{\left(J_2+J_3+\left[\frac{r_2^2}{r_1^2}\right]J_1\right)s^2+\left(b+\left[\frac{r_2^2}{r_1^2}\right]b_1\right)s+k\right\}Y(s)=\frac{r_2}{r_1}U(s)$$

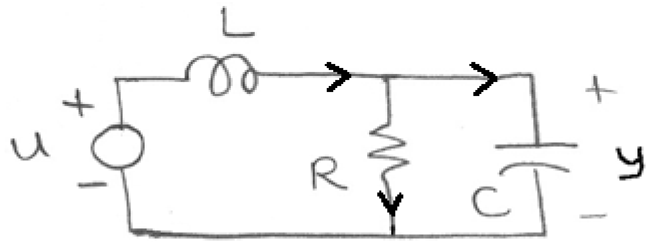
Buradan da transfer fonksiyon şöyle bulunur:

$$\frac{Y(s)}{U(s)}=G(s)=\frac{r_2/r_1}{\left(J_2+J_3+\left[\frac{r_2^2}{r_1^2}\right]J_1\right)s^2+\left(b+\left[\frac{r_2^2}{r_1^2}\right]b_1\right)s+k}$$

İstenseydi herşey 1. tarafa yansıtılarak da işlem yapılabilirdi. O zaman payın ve paydanın r_1^2/r_2^2 ile çarpılmışı olan, yani yukardakine eşit şu ifade bulunurdu:

$$G(s)=\frac{r_1/r_2}{\left(J_1+\left[\frac{r_1^2}{r_2^2}\right]\left(J_2+J_3\right)\right)s^2+\left(b_1+\left[\frac{r_1^2}{r_2^2}\right]b\right)s+\left[\frac{r_1^2}{r_2^2}\right]k}$$

3.4)



Çözüm: Her türevsel eleman için bir denklem yazılır. L üzerindeki akıma i dersek:

$u-y=L\dfrac{di}{dt}$ $\quad$ i'den direnç akımını çıkartırsak C'nin akımını buluruz:

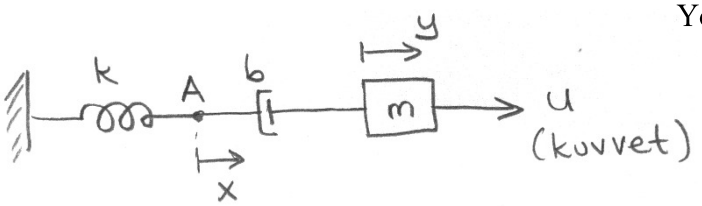
$i-\dfrac{y}{R}=C\dfrac{dy}{dt}$ $\quad$ Her iki denklemin de Laplace dönüşümü alınıp düzenlenerek

$U(s)-Y(s)=sL\,I(s)$ $\quad$ ve $\quad$ $I(s)=\left(\dfrac{1}{R}+sC\right)Y(s)$ $\quad$ bulunur. $I(s)$ 'i diğerinde yerine yazalım:

$$U(s)-Y(s)=\left(\frac{sL}{R}+s^2LC\right)Y(s) \quad\rightarrow\quad \left(1+\frac{sL}{R}+s^2LC\right)Y(s)=U(s)$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)}=G(s)=\frac{1}{s^2LC+\dfrac{sL}{R}+1}=\frac{\dfrac{1}{LC}}{s^2+\dfrac{1}{RC}s+\dfrac{1}{LC}}$$ bulunur.

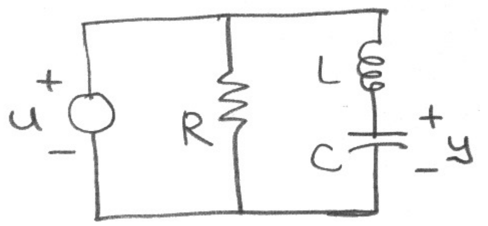
3.5)



Yol gösterme: A noktasında sıfır değerli bir kütle düşünerek çözünüz.

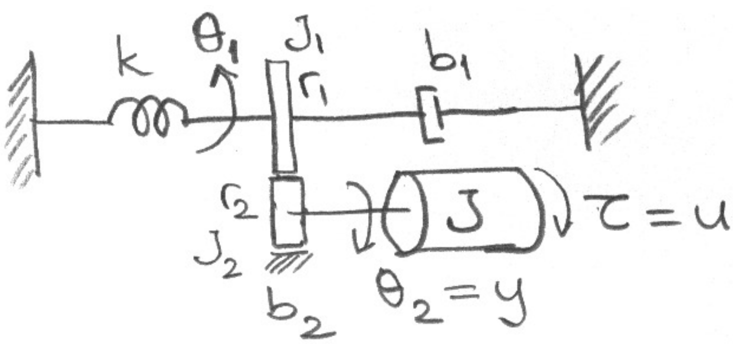
Cevap: $\dfrac{Y(s)}{U(s)}=G(s)=\dfrac{bs+k}{mbs^3+bks}$

3.6)



Cevap: $\dfrac{Y(s)}{U(s)}=G(s)=\dfrac{1}{LCs^2+1}=\dfrac{\dfrac{1}{LC}}{s^2+\dfrac{1}{LC}}$

3.7)



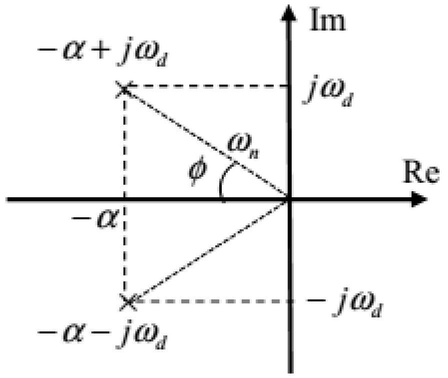
Cevap: $$\frac{Y(s)}{U(s)}=G(s)=\frac{1}{J_e s^2+b_e s+k_e}=\frac{1}{\left(J+J_2+\left[\dfrac{r_2^2}{r_1^2}\right]J_1\right)s^2+\left(b_2+\left[\dfrac{r_2^2}{r_1^2}\right]b_1\right)s+\left[\dfrac{r_2^2}{r_1^2}\right]k}$$

(Payın ve paydanın r_1^2/r_2^2 ile çarpılmışını bulmak da mümkündür; fark etmez.)

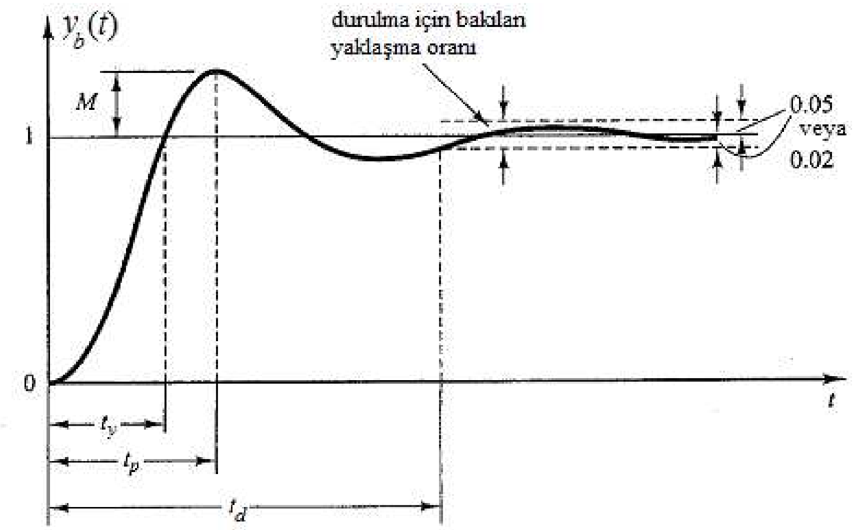
4. BÖLÜM

Yardımcı formüller: Transfer fonksiyonu $T(s)=\dfrac{\omega_n^2}{s^2+2\alpha s+\omega_n^2}$ olan 2. mertebeli bir sistem için

$\xi=\alpha/\omega_n$ olmak üzere, $0<\xi<1$ için



$\omega_d=\sqrt{\omega_n^2-\alpha^2}$, $\cos\phi=\dfrac{\alpha}{\omega_n}=\xi$, $\sin\phi=\dfrac{\omega_d}{\omega_n}=\sqrt{1-\xi^2}$



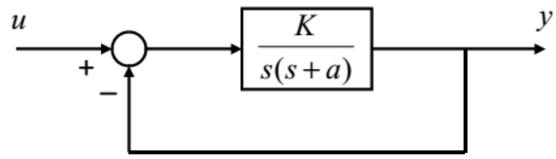
$$M=e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}=e^{-\alpha\pi/\omega_d}$$

$$t_y=\frac{\pi-\phi}{\omega_d} \qquad t_p=\frac{\pi}{\omega_d}$$

$$t_d(\%5)\approx\frac{3}{\alpha} \qquad t_d(\%2)\approx\frac{4}{\alpha}$$

Yukarıda y_b sistemin birim basamak tepkisidir.

Bu bölümdeki ilk 4 *soruyu yandaki sistem için cevaplayınız.*
K ve a ayarlanabilen parametrelerdir.



4.1) $M=\%2$ ve $t_d(\%5)=0{,}5$ isteniyor. K ve a ne olmalıdır? Bu durumda sönüm katsayısı ξ ne olur?

Çözüm: $T(s)=\dfrac{\dfrac{K}{s(s+a)}}{1+\dfrac{K}{s(s+a)}}=\dfrac{K}{s^2+as+K}$ Yani $K=\omega_n^2$ ve $a=2\alpha=2\xi\omega_n$

$t_d(\%5)=\dfrac{3}{\alpha}=0{,}5 \;\rightarrow\; \alpha=6 \;\rightarrow\; 2\alpha=a=12$

$\ln M=-\dfrac{\alpha\pi}{\omega_d}$, $M=0{,}02 \;\rightarrow\; -3{,}912=-\dfrac{6\pi}{\omega_d} \;\rightarrow\; \omega_d=4{,}818$, $\omega_n^2=6^2+4{,}818^2=59{,}2=K$

$\omega_n=\sqrt{59{,}2}=7{,}7$ ve $\xi=\alpha/\omega_n=6/7{,}7=0{,}78$ olur.

4.2) $M=\%10$ ve $t_d(\%2)=0{,}1$ isteniyor. K ve a ne olmalıdır? Bu durumda sönüm katsayısı ξ ne olur?

Cevap: $a=80$, $K=4578$, $\xi=40/67{,}66=0{,}59$

4.3) $K=100$ ve $a=30$ için maksimum aşma nedir?

Cevap: $\alpha=15$, $\omega_n=10$, $\xi=1{,}5>1$ olduğu için salınım yok, aşırı sönümlü. Yani aşma yok.

4.4) Verilen sistemin birim rampa giriş (t) için kalıcı durum hatasının en çok 0,1 olması isteniyorsa K en az kaç seçilmelidir?

Çözüm: $e(t)=u(t)-y(t)$, $\dfrac{E(s)}{U(s)}=\dfrac{1}{1+\dfrac{K}{s(s+a)}}=\dfrac{s^2+as}{s^2+as+K}$, $U(s)=\dfrac{1}{s^2}$ $\rightarrow$ $E(s)=\dfrac{a/s}{s^2+as+K}$

$$\lim_{t\to\infty} e(t)=e(\infty)=\lim_{s\to 0} sE(s)=\lim_{s\to 0}\frac{a}{s^2+as+K}=\frac{a}{K}\le 0{,}1 \quad \rightarrow \quad K>10a \text{ seçilmelidir.}$$

4.5) Problem 3.7'deki sistemin transfer fonksiyonu, bu bölümdekinin sadece belli bir katsayıyla çarpılmışı olmasından dolayı sadece çıkışın denge değeri burada verilen şekildekinden farklı olacak, diğer tüm analizler aynı olacaktır. Bunun için paydadaki katsayıları kullanmak yeterlidir (ama s^2'nin katsayısını 1 yapacak düzenlemeden sonra).

Problem 3.7'deki sistemde $k_e=100\,Nm/rad$, $J_e=1\,kgm^2$ ise b_e'nin hangi değerinde sistem kritik sönümlü olur? $b_e=12\ Nm\cdot s/rad$ ise sönüm oranı nedir? Salınım varsa, sönüm açısal frekansı, yükselme zamanı, tepe zamanı, maksimum aşma, %5'lik ve %2'lik durulma zamanları nedir?

Cevap: $b_e^{kritik}=14{,}14\ Nm\cdot s/rad$. Fakat $b_e=12\ Nm\cdot s/rad$ ise $\xi=0{,}6$ olur, salınımlı sönümlü, sönüm açısal frekansı $8\,rad/s$, yükselme zamanı 0,277s, tepe zamanı 0,393s, maksimum aşma %9,4 , $t_d(\%5)=0{,}5\ s$, $t_d(\%2)=0{,}667\ s$ olur.

4.6) Birinci mertebeden doğrusal zamanla değişmez bir sistemin birim basamak tepkisi $y_b(t)=2e^{-t}$ olduğuna göre sistemin transfer fonksiyonunu yazınız.

Çözüm: $Y_b(s)=\dfrac{2}{s+1}=T(s)\cdot\dfrac{1}{s}$ (Birim basamağın Laplace dönüşümü 1/s olduğu için)

Sonuç: $T(s)=\dfrac{2s}{s+1}$

4.7) Birinci mertebeden doğrusal zamanla değişmez bir sistemin birim basamak tepkisi $y_b(t)=3-e^{-2t}$ olduğuna göre sistemin transfer fonksiyonunu yazınız.

Çözüm: $Y_b(s)=\dfrac{3}{s}-\dfrac{1}{s+2}=T(s)\cdot\dfrac{1}{s}$ $\rightarrow$ $T(s)=3-\dfrac{s}{s+2}=\dfrac{3s+6-s}{s+2}$

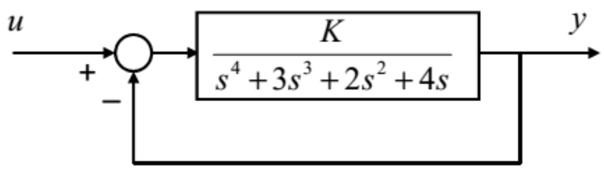
Sonuç: $T(s)=\dfrac{2s+6}{s+2}$

4.8) Birinci mertebeden doğrusal zamanla değişmez bir sistemin birim basamak tepkisi $y_b(t)=1+4e^{-3t}$ olduğuna göre sistemin transfer fonksiyonunu yazınız.

Cevap: $T(s)=\dfrac{5s+3}{s+3}$

5. BÖLÜM

5.1) Yanda verilen sistem K 'nın hangi değer aralığında kararlıdır?



Çözüm: $T(s)=\dfrac{\dfrac{K}{s^4+3s^3+2s^2+4s}}{1+\dfrac{K}{s^4+3s^3+2s^2+4s}}=\dfrac{K}{s^4+3s^3+2s^2+4s+K}$

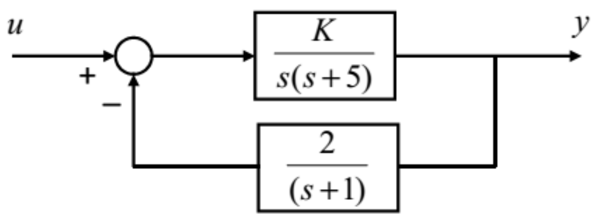
Paydanın köklerinin kaç tanesinin karmaşık "*s*" düzleminin sağ yarı bölgesinde bulunduğunu görmek için Routh-Hurwitz testi uygulayalım:

s^4	1	2	K	0
s^3	3	4	0	0
s^2	2 – (4/3) = 2/3	K	0	
s^1	4 – (3K/(2/3)) = 4 – (9K/2)	0		
s^0	K	0		

İlk sütunda hiç işaret değişikliği olmazsa sağ yarı bölgede kutup olmaz, sistem kararlı olur. Bunun için

$K > 0$ ve $4 > (9K/2)$ olmalıdır. Düzenlenirse $0 < K < 8/9$ olması gerektiği görülür.

5.2) Yanda verilen sistem K 'nın hangi değer aralığında kararlıdır?



Çözüm: $T(s)$ 'in paydasını sıfır yapan kökler kısaca

$1+G(s)H(s)=0$ denkleminden de bulunabilir.

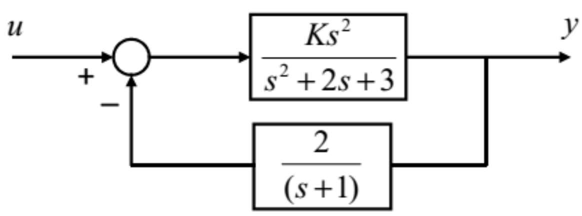
$1+\dfrac{K}{s(s+5)}\cdot\dfrac{2}{(s+1)}=0 \quad \rightarrow \quad s^3+6s^2+5s+2K=0$ denklemine bakarız.

s^3	1	5	0
s^2	6	2K	0
s^1	5 – (2K/6)	0	
s^0	2K	0	

İlk sütunda hiç işaret değişikliği olmazsa sağ yarı bölgede kutup olmaz, sistem kararlı olur. Bunun için

$2K > 0$ ve $5 > (K/3)$ olmalıdır. Düzenlenirse $0 < K < 15$ olması gerektiği görülür.

5.3) Yanda verilen sistem K 'nın hangi değer aralığında kararlıdır?



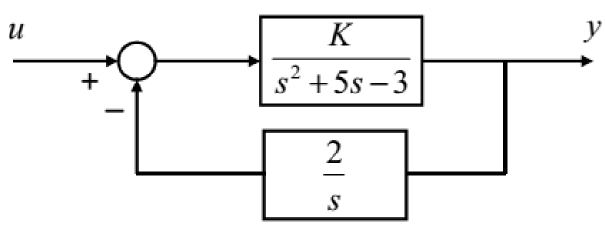
Cevap: $K > -6/5$

5.4) Transfer fonksiyonu $T(s)=\dfrac{3s^3+4s^2+2s-7}{s^4+6s^3+3s^2+s+3}$

olan sistemin sağ yarı bölgede kaç kutbu vardır? Sistem kararlı mıdır?

Cevap: İki kutup sağdadır. Dolayısıyla sistem kararsızdır.

5.5) Yanda verilen sistem K 'nın hangi değer aralığında kararlı olur?



Cevap: Olamaz.