



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009


TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975


Kontrol Sistemleri Ders Notu

Dr. Hakan TERZİOĞLU



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975


Ders İçerik Bilgisi

- ❑ **PID Parametrelerinin Elde Edilmesi**
 - A. Salınım (Titreşim) Yöntemi
 - B. Cevap Eğrisi Yöntemi
- ❑ **Karşılaştırmalı ve Denetleyicilerin Opamplarla Yapılması**
 1. Karşılaştırmalı Devrenin Opampla Gerçekleştirilmesi
 2. P Tipi (Oransal) Kontrolün Opampla Gerçekleştirilmesi
 3. I Tipi (İntegral) Kontrolün Opampla Gerçekleştirilmesi
 4. D Tipi (Türevsel) Kontrolün Opampla Gerçekleştirilmesi
 5. PI Denetleyicinin Opampla Gerçekleştirilmesi
 6. PD Denetleyicinin Opampla Gerçekleştirilmesi
 7. PID Denetleyicinin Opampla Gerçekleştirilmesi
- ❑ **Örnek**

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


2



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

PID Parametrelerinin Elde Edilmesi

Eğer sistemin matematiksel modeli elde edilmişse Köklerin Yer Eğrisi ve Frekans cevabı gibi analitik yöntemler kullanılarak sistemden beklenen cevap eğrisine uygun PID denetleyici parametreleri hesaplanabilir.


Eğer sistem modeli kolayca elde edilemeyecek kadar karmaşıksa analitik olarak kontrolcü parametrelerinin belirlenmesi imkânsızdır. Bu durumda deneysel yöntemler kullanılır. Diğer bir ifade ile PID parametreleri, kontrol edilmesi istenilen sistem üzerinde çalışma şartları altında deneyler yapılarak belirlenir.

PID parametreleri bulunacak sistemlerin MATLAB/Simulink modelleri oluşturulmuşsa, Simulink'teki optimizasyon aracı kullanılarak da ilgili PID parametreleri elde edilebilir.

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


3



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



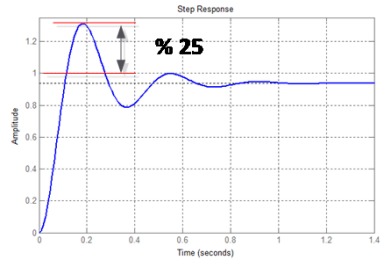
SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

PID Parametrelerinin Elde Edilmesi

İstenilen performans kriterlerine göre denetleyici katsayılarının belirlenmesi işlemine **denetleyici ayarı** (Controller Tuning) adı verilir.

PID parametrelerinin (K_p, τ_d, τ_i) ayarlanmasında kullanılan en yaygın yöntemlerden biri Ziegler-Nichols metodudur.

Bu yöntemlerde arzu edilen sistem cevabının % 25 aşma oluşturduğu göz önüne alınmıştır.



Step Response

Amplitude


Time (seconds)

% 25

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


4



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

PID Parametrelerinin Elde Edilmesi

Ziegler ve Nichols olarak bilinen bilim adamları, oransal kazanç (K_p), türev zamanı (τ_d) ve integral zamanını (τ_i) belirlemek için sistemin geçici durum davranışına dayanan iki deneysel yöntem önermiştir.


Bunlar:

1. Salınım (titreşim) yöntemi
2. Cevap eğrisi yöntemi

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


5



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

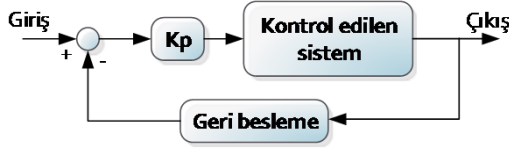
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

1. Salınım (Titreşim) Yöntemi

Bu yöntemde PID denetleyicinin integral ve türev etkileri başlangıçta yok edilerek ($\tau_i = \infty$ ve $\tau_d = 0$ yapılarak) sadece oransal denetleyici ile kontrol işlemi yapıldığı düşünülmüştür.




Oransal kontrol durumundayken sistem girişine basamak sinyali uygulanarak sistem kazancı $K_p = 0$ 'dan başlayıp yavaş yavaş artırılmak suretiyle çıkış cevabı gözlenir.

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


6



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

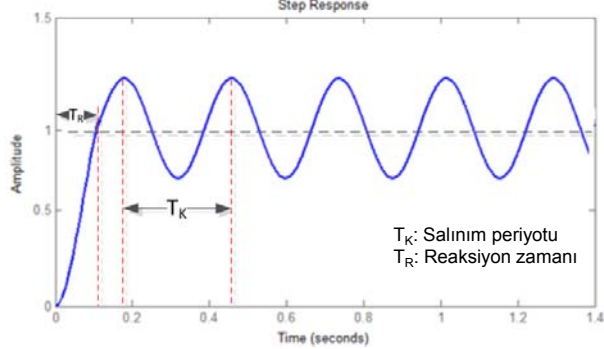


SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

1. Salınım (Titreşim) Yöntemi

Çıkış cevabı şekli eşit genlik ve eşit frekans durumuna ulaştığında oransal denetleyicinin kazancı kaydedilir. Şekil üzerinden salınım periyodu belirlenir.

Eğer oransal kontrol etkisi ne kadar artırılırsa artırılırsa sistem salınım göstermiyorsa, bu yaklaşım o sistemin PID denetleyici tasarımı için kullanılamaz.




T_K : Salınım periyodu
 T_R : Reaksiyon zamanı

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


7



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

1. Salınım (Titreşim) Yöntemi


Oransal kontrol deneyinde salınım anındaki kazanç K_{pmax} ve salınım periyodu T_K değerleri aşağıdaki tabloda kullanılarak P, PI, PID denetleyiciler için katsayılar belirlenir.

Kontrolcü Tipi	K_p	τ_i	τ_d
P	$0,5 \cdot K_{pmax}$	∞	0
PI	$0,45 \cdot K_{pmax}$	$0,825 \cdot T_K$	0
PID	$0,6 \cdot K_{pmax}$	$0,5 \cdot T_K$	$0,125 \cdot T_K$

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


8



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

1. Salınım (Titreşim) Yöntemi

ÖRNEK:

Salınım deneyinden $K_{pmax} = 300$, $T_K = 0,5sn$ bulunması durumundan tablodan PİD türü denetleyicinin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi bulunur.

$$K_p = 0,6 \cdot K_{pmax} = 0,6 \cdot 300 = 180$$

$$\tau_i = 0,5 \cdot T_K = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 sn$$

$$\tau_d = 0,125 \cdot T_K = 0,125 \cdot 0,5 = 0,0625 sn$$

$$G_{PID}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right)$$


$$= 180 \left(1 + \frac{1}{0,25s} + 0,0625s \right)$$

$$= 180 + \frac{720}{s} + 11,25s$$

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


9



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

2. Cevap Eğrisi Yöntemi

Bu yöntemle göre kapalı çevrim sistemde denetleyici devre dışı bırakılarak denetlenen sistem girişine basamak sinyali uygulanır. Ardından sistemin çıkışı gözlenir.

Eğer sistemde integratör ve baskın kompleks eşlenik kutup yoksa, sistemin cevabı Şekil 14'deki gibi salınımsız S şeklinde olur.


The figure shows a step response curve c(t) versus time t. The curve starts at the origin (0,0) and rises to a steady-state value K. A tangent line is drawn at the inflection point of the curve. The time delay L is the time from the origin to the point where the tangent line intersects the horizontal axis. The time constant τ is the time from the origin to the point where the tangent line intersects the horizontal axis at the value K.

Şekil 14.
Basamak cevaba verilen S-şeklindeki sistem cevabı. (T=τ)

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


10



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

2. Cevap Eğrisi Yöntemi

S-şekilli eğri (Şekil 14) gecikme zamanı L ve zaman sabiti τ ile karakterize edilebilir.

Gecikme zamanı L ve zaman sabiti τ S-şeklindeki eğrinin bükülme noktasından $c(t) = K$ doğrusunu kesecek şekilde bir teğet çizilerek elde edilir (Şekil 14).


Bu durumda sistemin transfer fonksiyonu aşağıdaki denklemle yaklaşık olarak elde edilebilir:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{\tau s + 1}$$

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


11



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

2. Cevap Eğrisi Yöntemi


Ziegler-Nichols bu yöntemle K_p , τ_d ve τ_i değerlerini bulmak için aşağıdaki tabloda verilen bağıntıları önermiştir.

Kontrolcü Tipi	K_p	τ_i	τ_d
P	$\frac{\tau}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \cdot \frac{\tau}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \cdot \frac{\tau}{L}$	$2 \cdot L$	$0,5 \cdot L$

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


12



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

2. Cevap Eğrisi Yöntemi

Bu durumda PID kontrolcünün transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir:


$$\begin{aligned}
 G_{PID}(s) &= K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) \\
 &= 1,2 \frac{\tau}{L} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0,5Ls \right) \\
 &= 0,6\tau \frac{\left(s + \frac{1}{L} \right)^2}{s}
 \end{aligned}$$

Bu yöntemle elde edilen PID kontrolcünün $s=0$ 'da bir kutbu, $s = -1/L$ 'de katlı sıfırları vardır.

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


13



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

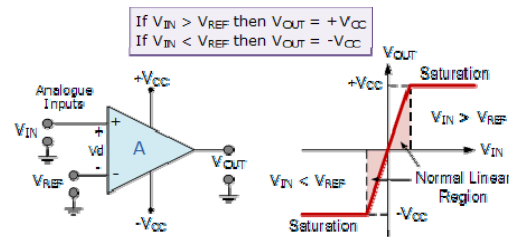
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

Karşılaştırıcı Devrenin Opamp ile Gerçekleştirilmesi

Şekildeki devrede V_{IN} ve V_{REF} gerilimleri arasında çok küçük bile olsa bir fark olduğunda, bu fark opampın açık devre kazancı ile çarpılır ve çıkışta yaklaşık olarak $+V_{CC}$ veya $-V_{CC}$ görülür.




If $V_{IN} > V_{REF}$ then $V_{OUT} = +V_{CC}$
 If $V_{IN} < V_{REF}$ then $V_{OUT} = -V_{CC}$

Deneylerde kullanılacak 747 opamp devresinin maksimum dayanabileceği diferansiyel giriş ± 30 V civarındadır. Buna nedenle V_{gr} ile V_{REF} arasındaki gerilim farkı hiçbir zaman 30 voltu aşmamalıdır. Aksi durumda opamp hasar görür.

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


14



TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

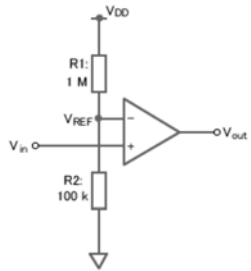
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



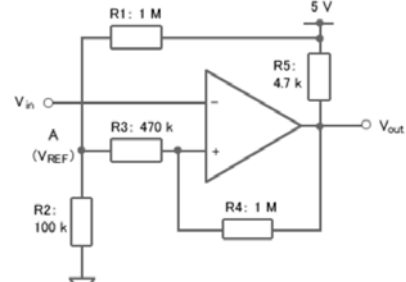
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

Karşılaştırıcı Devrenin Opampla Gerçekleştirilmesi

Uygulamada bu devre, gürültüye karşı hassasiyetini azaltmak için bir histerisiz gerilim aralığı dahil edilerek iyileştirilebilir. Aşağıdaki devre giriş geriliminde gürültü olsa bile kararlı çalışmasını sürdürecektir.




Karşılaştırıcı devresi.



Histerisizli karşılaştırıcı devresi.


Dr. Hakan TERZİOĞLU
KONTROL SİSTEMLERİ
15



TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

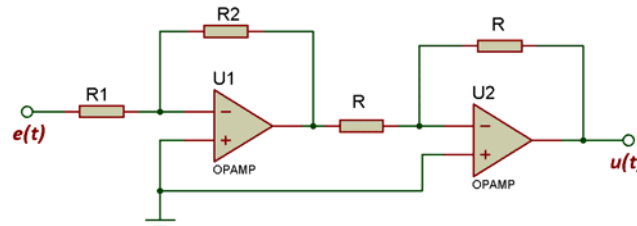
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

P Tipi (Oransal) Kontrolün Opampla Gerçekleştirilmesi



Oransal tip denetleyicinin opamplarla gerçekleştirilmesi

$$u(t) = \frac{R_2}{R_1} \cdot e(t) \text{ ve } \frac{R_2}{R_1} = K_p \text{ ise;}$$

$$u(t) = K_p \cdot e(t)$$

$$U(s) = K_p \cdot E(s)$$

$$G_p(S) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p = \frac{R_2}{R_1}$$

Dr. Hakan TERZİOĞLU
KONTROL SİSTEMLERİ
16

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

I Tipi (İntegral) Kontrolün Opampla Gerçekleştirilmesi

İntegral tip denetleyicinin opamplarla gerçekleştirilmesi

$$u(t) = \frac{1}{\tau_i} \int_0^t e(t) dt \Rightarrow U(s) = \frac{1}{\tau_i s} \cdot E(s) \Rightarrow U(s) = \frac{1}{RCs} \cdot E(s)$$

$$\left(\tau_i = RC, \quad K_i = \frac{1}{\tau_i} = \frac{1}{RC} \right) \quad G_I(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{1}{RCs} = \frac{K_i}{s}$$

Dr. Hakan TERZİOĞLU KONTROL SİSTEMLERİ 17

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

D Tipi (Türevsel) Kontrolün Opampla Gerçekleştirilmesi

Türevsel tip denetleyicinin opamplarla gerçekleştirilmesi

$$u(t) = K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \Rightarrow u(t) = \tau_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \Rightarrow u(t) = R \cdot C \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

$$U(s) = RCs \cdot E(s) \Rightarrow G_D(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = RCs = K_d s$$

Dr. Hakan TERZİOĞLU KONTROL SİSTEMLERİ 18

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

PI Denetleyicinin Opampla Gerçekleştirilmesi

PI tipi denetleyicinin opamplarla gerçekleştirilmesi

Dr. Hakan TERZİOĞLU KONTROL SİSTEMLERİ 19

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975


PI Denetleyicinin Opampla Gerçekleştirilmesi

$$u(t) = \frac{R_2}{R_1} \cdot e(t) + \frac{1}{R_i \cdot C_i} \int_0^t e(t) dt \quad \Rightarrow \quad U(s) = \frac{R_2}{R_1} \cdot E(s) + \frac{1}{R_i \cdot C_i \cdot s} \cdot E(s)$$

$$G_{PI}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{R_i \cdot C_i \cdot s} = K_p + \frac{K_i}{s}$$

PI tipi denetleyicinin bir diğer şekli


Dr. Hakan TERZİOĞLU KONTROL SİSTEMLERİ 20



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975


PI Denetleyicinin Opampla Gerçekleştirilmesi

ÖRNEK:

Aşağıda transfer fonksiyonu verilen PI denetleyiciyi gerçekleştiriniz (Keyfi seçilen dirençleri $1k\Omega$ alınız).

$$G_{PI}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = 10 + \frac{1}{s}$$


Dr. Hakan TERZİOĞLU
KONTROL SİSTEMLERİ
21



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



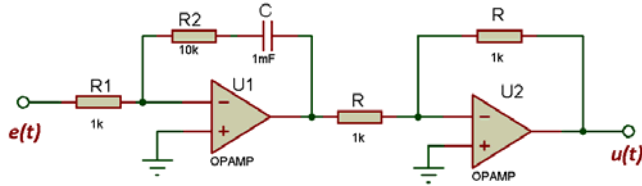
SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

PI Denetleyicinin Opampla Gerçekleştirilmesi

ÇÖZÜM:

$$G_{PI}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = 10 + \frac{1}{s} = \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{R_i \cdot C_i \cdot s}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = 10 \quad , \quad R_1 = 1k\Omega \quad \Rightarrow \quad R_2 = 10k\Omega$$

$$R_i \cdot C_i = 1 \quad , \quad R_1 = 1k\Omega \quad \Rightarrow \quad C_i = 1mF$$


Dr. Hakan TERZİOĞLU
KONTROL SİSTEMLERİ
22

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

PD Denetleyicinin Opampla Gerçekleştirilmesi

PD tipi denetleyicinin opamplarla gerçekleştirilmesi

$$u(t) = \frac{R_2}{R_1} \cdot e(t) + R_D \cdot C_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \Rightarrow U(s) = \frac{R_2}{R_1} \cdot E(s) + R_D \cdot C_D \cdot s \cdot E(s)$$

$$G_{PD}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{R_2}{R_1} + R_D \cdot C_D \cdot s = K_p + K_d \cdot s$$

Dr. Hakan TERZİOĞLU KONTROL SİSTEMLERİ 23

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975


PD Denetleyicinin Opampla Gerçekleştirilmesi

PD tipi denetleyicinin bir diğer şekli

$$u(t) = \frac{R_2}{R_1} \cdot e(t) + R_2 \cdot C \cdot \frac{de(t)}{dt} \Rightarrow U(s) = \frac{R_2}{R_1} \cdot E(s) + R_2 \cdot C \cdot s \cdot E(s)$$

$$G_{PD}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{R_2}{R_1} + R_2 \cdot C \cdot s = K_p + K_d \cdot s$$


Dr. Hakan TERZİOĞLU KONTROL SİSTEMLERİ 24



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

PD Denetleyicinin Opampla Gerçekleştirilmesi

ÖRNEK:


Aşağıda transfer fonksiyonu verilen PD denetleyiciyi gerçekleştiriniz (Keyfi seçilen dirençleri $1k\Omega$ alınız).

$$G_{PD}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = 10 + 5s$$

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


25



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



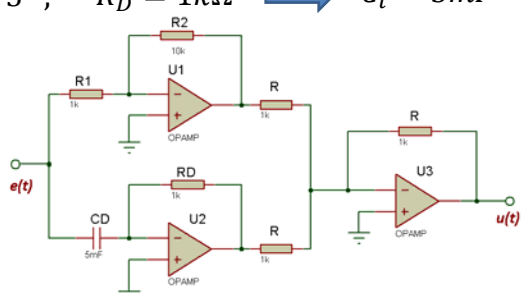
SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

PD Denetleyicinin Opampla Gerçekleştirilmesi

ÇÖZÜM:

$$G_{PD}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = 10 + 5s \implies K_p = 10 \quad , \quad K_d = 5$$


$$K_p = \frac{R_2}{R_1} = 10 \quad , \quad R_1 = 1k\Omega \implies R_2 = 10k\Omega$$

$$R_D \cdot C_D = 5 \quad , \quad R_D = 1k\Omega \implies C_i = 5mF$$


Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


26



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

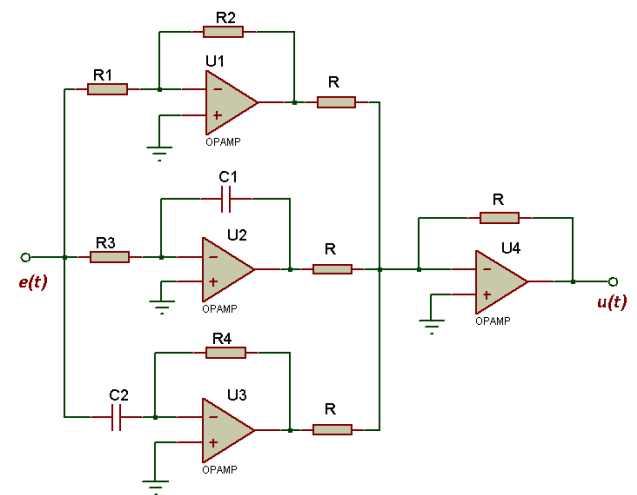
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

PID Denetleyicinin Opampla Gerçekleştirilmesi




PID tipi denetleyicinin opamplarla gerçekleştirilmesi

Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


27



TEKNOLOJİ
FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

PID Denetleyicinin Opampla Gerçekleştirilmesi

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

$$u(t) = \frac{R_2}{R_1} \cdot e(t) + \frac{1}{R_3 \cdot C_1} \int_0^t e(t) dt + R_4 \cdot C_2 \cdot \frac{de(t)}{dt}$$


$$G_{PID}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

$$\left\{ K_p = \frac{R_2}{R_1}, \quad K_i = \frac{1}{R_3 \cdot C_1}, \quad K_d = R_4 \cdot C_2 \right\}$$

Dr. Hakan TERZİOĞLU


KONTROL SİSTEMLERİ

28



TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

Örnek:

Bir işletmedeki fırının sıcaklığı 0-10V arasında değişen bir referans gerilim ile 600°C'ye kadar kontrol edilecektir.

Fırının kontrolü 100kW'lık bir rezistans grubuyla bir kontaktör üzerinden aç-kapa mantığıyla yapılacaktır.


Sıcaklık $\pm 2^\circ\text{C}$ 'lik bir hata ile kontrol edildiğine göre sistem için gereken aç-kapa devresini tasarlayınız.

Sensör olarak 600°C'yi 10mV'a dönüştüren bir termokupul kullanılmaktadır.

Dr. Hakan TERZİOĞLU


KONTROL SİSTEMLERİ

29



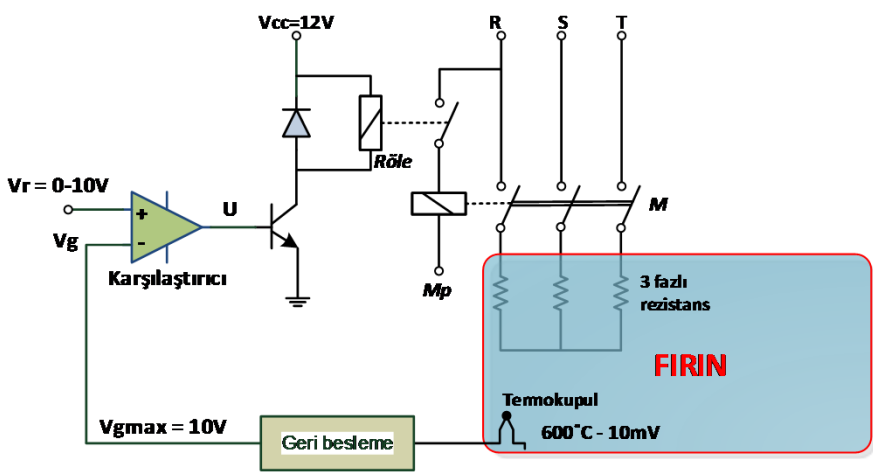
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975


Çözüm:



Dr. Hakan TERZİOĞLU

KONTROL SİSTEMLERİ


30



TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

Çözüm:

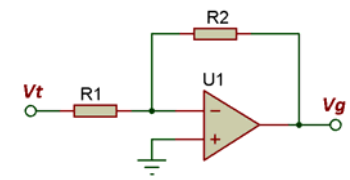
Geri besleme devresi için;
Geri besleme kazancı;

$$K_g = \frac{V_{gmax}}{V_{tmax}} = \frac{10}{10mV} = 1000$$

$$K_g = \frac{R_2}{R_1} = -1000, R_1 = 1k\Omega \Rightarrow R_2 = 1M\Omega$$


Geri besleme devresinde eviren yükselteç kullanıldığından -1000 yazıldı. Buradaki negatiflik, karşılaştırıcı devresinde de eviren yükselteç kullanılarak giderilecek!

V_t : Termokupul gerilimi
V_g : Geri besleme elemanı çıkış gerilimi



Geri besleme devresi


Dr. Hakan TERZİOĞLU KONTROL SİSTEMLERİ 31



TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ



SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

Çözüm:

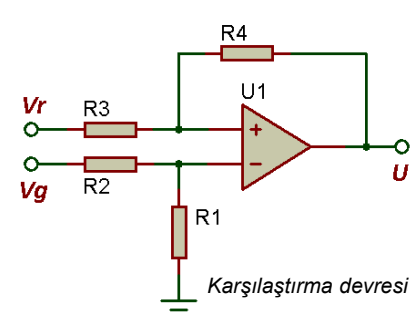
Karşılaştırma devresi için;
Geri besleme elemanı 600°C için 10V verecekse 2°C için 33,3mV verecektir. Bu değer ölü bölge değeridir ($\Delta V = 33,3mV$).
Buna göre R_4 direncinin değeri;

$$\Delta V = \frac{R_3}{R_3 + R_4} \cdot V_{CC}$$

$$33,3 \cdot 10^{-3} = \frac{1000}{1000 + R_4} \cdot 12$$

$$R_4 = 360k\Omega$$

$$R_1 = R_2 = 1k\Omega$$



Karşılaştırma devresi

Dr. Hakan TERZİOĞLU KONTROL SİSTEMLERİ 32

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975

Çözüm:

iki devrenin birleştirilmesiyle elde edilen komple devre şeması.

Dr. Hakan TERZİOĞLU KONTROL SİSTEMLERİ 33

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
KONYA - 2009


TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975


ÖDEV

Oransal kazancı 20, integral zaman sabiti 500ms, türev zaman sabiti 1ms olan PID denetleyiciyi opampları kullanarak gerçekleyiniz.

Dr. Hakan TERZİOĞLU KONTROL SİSTEMLERİ 34

 **TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ**
KONYA - 2009

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
KONYA - 1975 

Bu günlük bu kadar...
Teşekkürler

Dr. Hakan TERZİOĞLU KONTROL SİSTEMLERİ 35