

## 1. Ön Kompanzasyonlu Statik Durum Geri Besleme Kontrolör Tasarımı

### 1.1. Deneyin Amacı

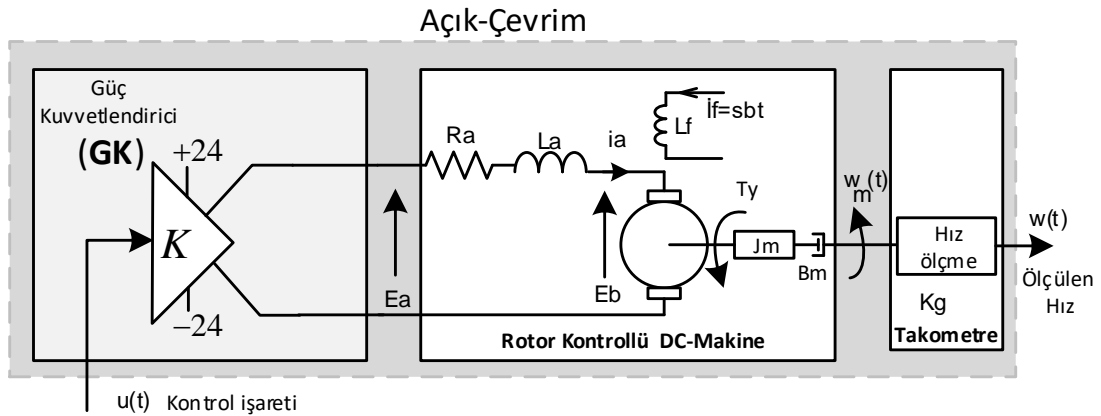
Bu deneyin amacı, **DC Motor Hız kontrolü** için modern kontrol kurallarından **statik durum geri besleme** yöntemi kullanılarak sistemin referansı takip etmesini sağlamak ve sistemin dinamiğinin istenen şekilde değiştirilmesidir.

Bu amaç için sırası ile,

- 1-Birinci dereceden basitleştirilmiş sistem (*rotor endüktansı*  $L_a = 0$ ) olarak kabul edilecek olan rotor kontrollü DC makinenin parametrelerinin ölçülmesi için **açık-çevrim** basamak cevap eğrisi elde edilecektir.
- 2- Bu açık-çevrim cevap eğrisinden  $\tau$  ölçülecek ve yine açık-çevrim kazancı  $G$  hesap edilecektir.
- 3- Tasarlanacak sistem için yeni zaman sabiti belirlenecek, ayrık zaman kontrol kutbu hesaplanacak ve  $K_0$  (ön kompanzatör kazancı),  $K$  (durum geri besleme matrisi) katsayıları hesaplanacaktır.

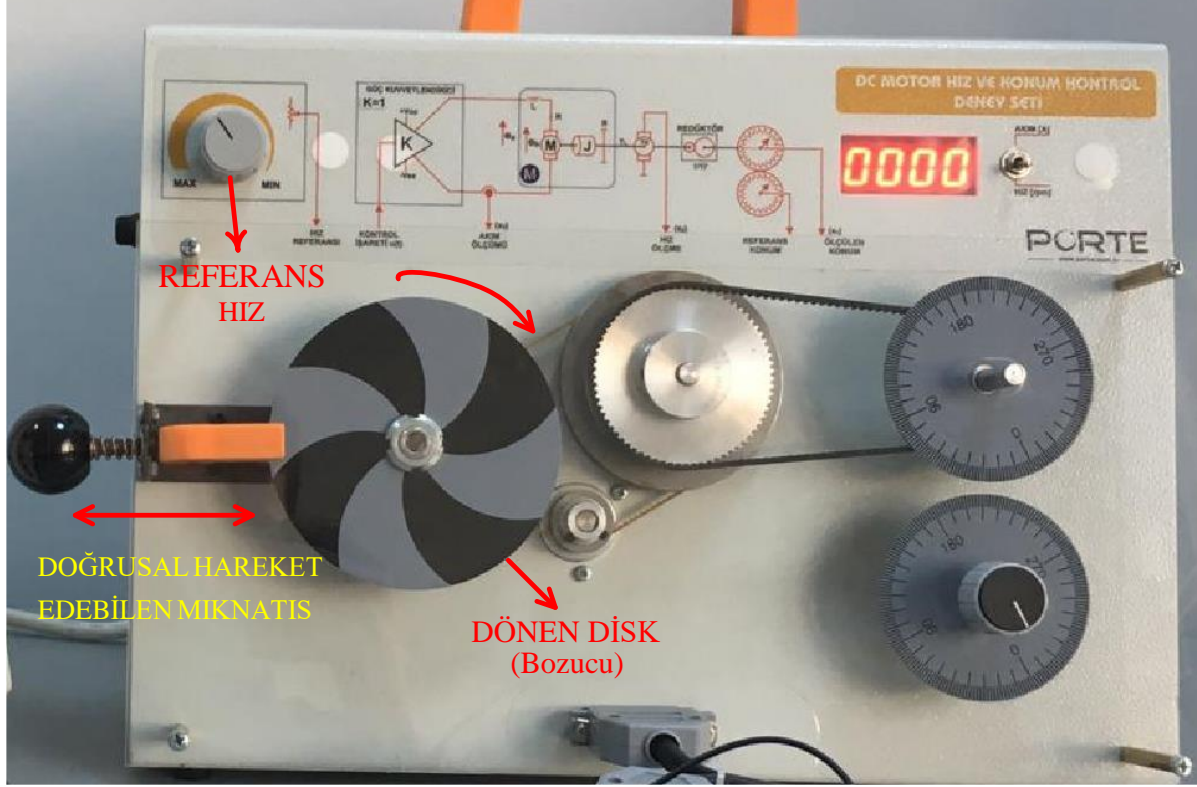
### 1.2. Deney Düzeneği

Kontrol edilecek olan sistem, kazancı  $K = 4$  olan güç kuvvetlendirici (**GK**) ile rotor kontrollü DC-makine ve  $K_g$  kazançlı hız ölçmek için kullanılmış olan takometreden oluşmaktadır şekil 1.



Şekil 1. Kontrol edilecek olan sistem

Ayrıca kontrol edilecek olan sisteme ait deney düzeneğinde, doğrusal hareket edebilen bir mıknatıslı sistem ve dönen bir diskten oluşan bozucu etkilerin oluşturulabileceği bir bozucu sistem (**Yük**) mevcuttur şekil 2.



Şekil 2. DC-makine hız kontrol deney düzeneği

DC-makine hız referansı **Hız referans potansiyometresi** ile verilmektedir. Bozucu etkisi ise doğrusal hareket edebilen mıknatısın konumu ayarlanarak dönen diske frenleme etkisi ile oluşturulmaktadır. Motor devir sayısı veya çektiği akım seçilen anahtar pozisyonuna göre 4-haneli 7-parçalı göstergede gösterilmektedir, şekil 2.

### 1.3. DC-Makine Açık-Çevrim Transfer Fonksiyonu

Şekil 1 de verilmiş olan DC –makineye ait blok diyagram göz önünde bulundurularak aşağıdaki dinamik denklemler yazılmıştır.

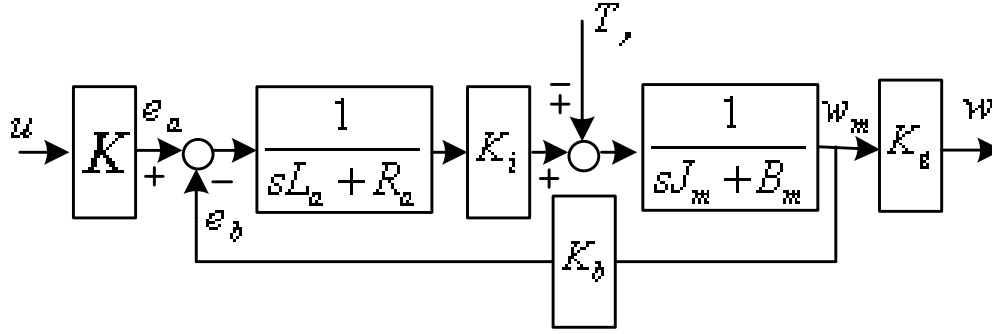
#### t-domen

- 1)  $e_a(t) = Ku(t)$
- 2)  $e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t)$
- 3)  $e_b(t) = K_b w_m(t)$
- 4)  $T_e(t) = K_i i_a(t)$
- 5)  $T_m(t) = J_m \frac{dw_m(t)}{dt} + B_m w_m(t) + T_y(t)$
- 6)  $T_e(t) = T_m(t)$  sürekli rejimde
- 7)  $w(t) = K_g w_m(t)$

#### s-domen

- 1)  $E_a(s) = KU(s)$
  - 2)  $I_a(s) = \frac{E_a(s) - E_b(s)}{R_a + sL_a}$
  - 3)  $E_b(s) = K_b \Omega(s)$
  - 4)  $T_e(s) = K_i I_a(s)$
  - 5)  $T_m(s) = (J_m s + B_m) \Omega_m(s) + T_y(s)$
- $$\rightarrow \Omega_m(s) = \frac{T_m(s) - T_y(s)}{J_m s + B_m}$$
- 6)  $T_e(s) = T_m(s)$
  - 7)  $\Omega(s) = K_g \Omega_m(s)$

Yukarıdaki şekilde verilen hız kontrolüne ait dinamik denklemler t ve s domeninde olmak üzere elde edilmiştir. s-domen’de elde edilen ifadeler kullanılarak Şekil 1’de verilen hız kontrolüne ait **açık-çevrim kontrol blok diyagramı** Şekil 3’de verildiği gibi elde edilebilir.



Şekil 3. Rotor Kontrollü DC-Makine Hız kontrolü için açık-çevrim kontrol blok diyagramı

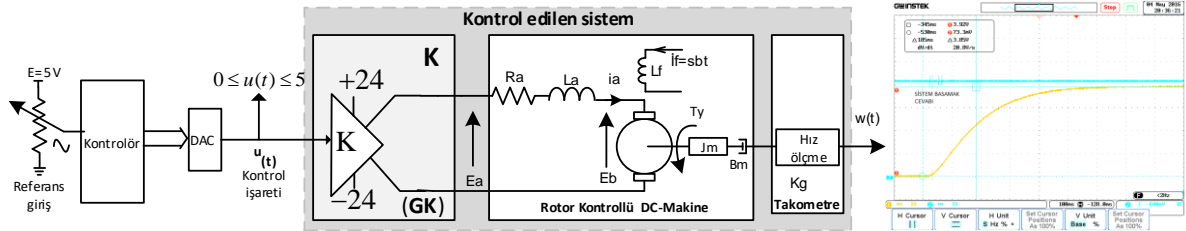
Şekil 3’deki açık-çevrim kontrol blok diyagramından  $\Omega(s)$  ile  $U(s)$  arasındaki transfer fonksiyonu (yük momenti,  $T_y = 0$ ) parametrik olarak aşağıda verildiği gibi yazılır.

$$\frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{\frac{K K_g K_i}{L_a J_m}}{s^2 + s \frac{(L_a B_m + J_m R_a)}{L_a J_m} + \frac{(R_a B_m + K_i K_b)}{L_a J_m}}$$

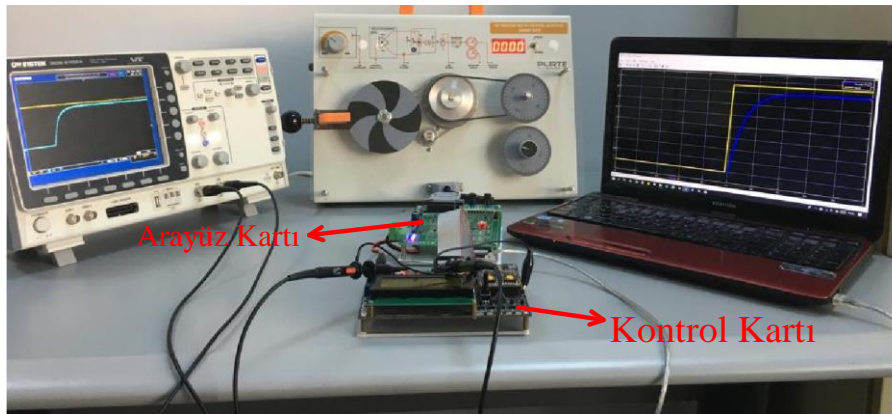
$L_a = 0$  (basit model için)  $\Omega(s)$  ile  $U(s)$  arasındaki transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{w_m(s)}{U(s)} = \frac{\frac{K K_i}{R_a(sJ_m + B_m)}}{1 + \frac{K K_i K_b}{R_a(sJ_m + B_m)}} = \frac{K K_i}{R_a(sJ_m + B_m) + K K_i K_b} = \frac{\frac{K K_i}{R_a J_m}}{s + \frac{B_m + K K_i K_b}{R_a J_m}} = \frac{G}{\tau s + 1} \quad (1)$$

#### 1.4. Açık-Çevrim Deney

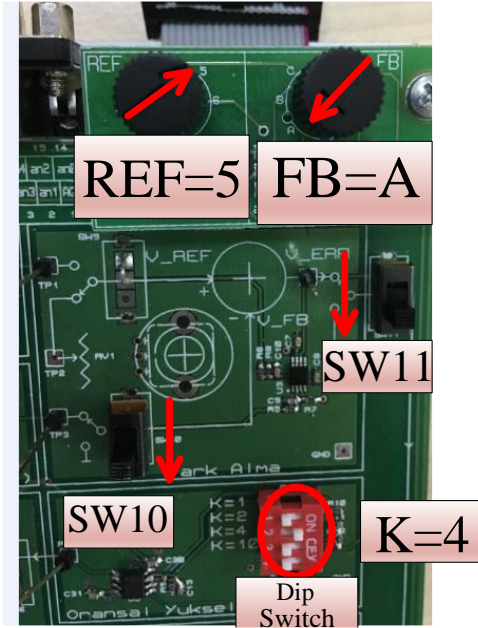


Şekil 5. Açık-Çevrim deney



Şekil 6. Açık-Çevrim deney düzeneği

- 1) Rotor kontrollü DC-makine'nin basamak girişe karşılık açık çevrim cevabı için şekil 7 deki **Arayüz kartı** üzerindeki anahtarları aşağıda verilen konumlara getiriniz.

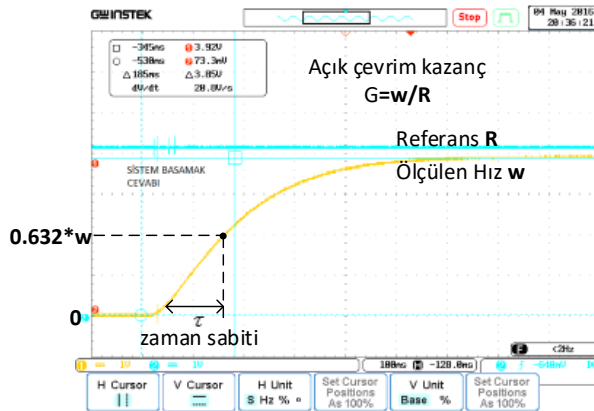


- a) REF=5
- b) FB=A
- c) SW10=ALT
- d) SW11=ALT
- e) Şekilde kazanç  $K=4$  için 'dip switch 2' on .

Şekil 7) Açık-Çevrim Arayüz kart konfigürasyonu

Deney seti üzerinde şekil 2 **Referans Hız** potansiyometresini 0-4Volt arası belirlediğiniz **R** basamak değerine ayarlayınız.

- 2) **Kontrolör kartı** üzerinde bulunan "**Referans Hız**" bağlantısına osiloskobun **CH1** kanalını ve '**Ölçülen Hız**'a ise osiloskobun **CH2** kanalını bağlayınız.
- 3) Kontrolör, deney seti ve osiloskop ayarları yapıldıktan ve enerjilendirildikten sonra sistemi açık çevrim çalıştırmak için **Arayüz Kartı** üzerindeki **SW11=ÜST** konumuna alınız.
- 4)



Şekil 7 da verilmiş olan cevap eğrisinden  $\tau$  ölçülecek ve yine eğri yardımı ile ,

$$G = \frac{w-0}{R-0}$$

açık-çevrim kazancı  $G$  hesap edilecektir.

Şekil 7. Açık-Çevrim deneye ait osiloskop çıktısı örneği.

$G(s) = \frac{G}{\tau s + 1}$  olacak şekilde sistem transfer fonksiyonu elde edilir.

Örnekleme zamanını ise başlangıç olarak,

$$T = \frac{\tau}{10} \text{ olarak seçebilirsiniz.}$$

$G_p(z) = Z \left\{ \frac{1-e^{-sT}}{s} G(s) \right\} = \frac{B}{z-A}$  ayrık zaman transfer fonksiyonu bulunur.

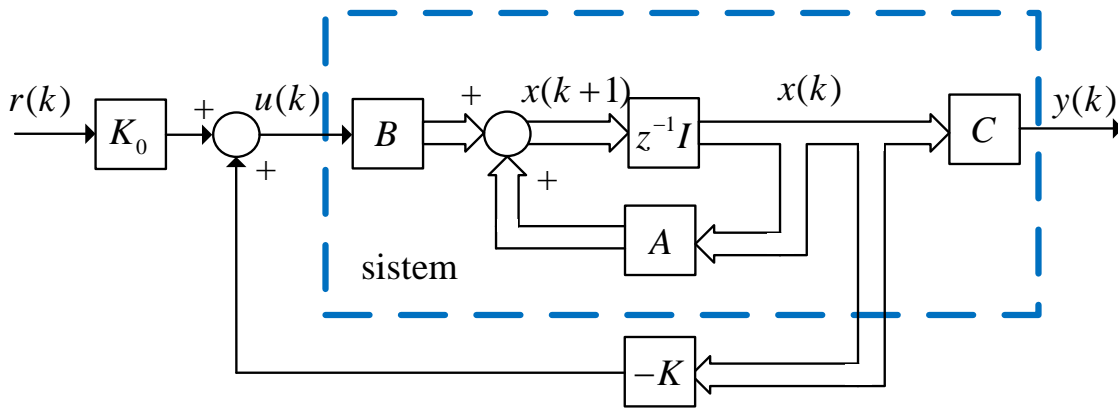
$\frac{x(z)}{U(z)} = \frac{B}{z-A}$  içler dışlar çarpımı yapılırsa

$zX(z) - AX(z) = BU(z)$  ters z dönüşümü ile Sistemin ayrık zaman durum uzay modeli

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + Bu(k) \\ y(k) &= x(k) \end{aligned}$$

şeklinde elde edilecektir.

### 1.5. Ön Kompanzasyonlu Statik Durum Geri Besleme Kontrolör Tasarımı



Yukarıdaki şekilde statik durum geri beslemeli sistemin blok diyagramı verilmiştir.

Kontrol kuralı  $u(k) = K_0 r(k) - Kx(k)$  durum denklemlerinde yerine yazılır ise

$x(k+1) = (A - BK)x(k) + BK_0 r(k)$  olarak elde edilir.

Tasarlanan sistemin karakteristik denklemi

$$|zI - A + BK| = 0$$

Olarak elde edilir.

$K$  değiştirilerek sistemin karakteristiği değiştirilecektir.  $K_0$  kazancı birim basamak giriş için  $y(\infty) = 1$  olacak şekilde ayarlanacaktır.

#### Yeni zaman sabitinin belirlenmesi:

$\tau_{yeni}$  tasarımcı tarafından belirlenecektir.

$\tau_{yeni}s + 1 = 0$  karakteristik denklemi ile sürekli zaman kökün yeri bulunacak

$$s = \frac{-1}{\tau_{yeni}} \text{ ve}$$

$z_i = e^{s_i T}$  dönüşümü ile ayrık zaman kök belirlenecektir.

$|zI - A + BK| = |zI - z_i|$  kutup oturtma problemi çözülerek  $K$  durum geri besleme matrisi elde edilecektir.

$$x(k+1) = \underbrace{(A - BK)}_G x(k) + \underbrace{BK_0}_H r(k)$$
$$y(k) = Cx(k)$$

Durum denkleminde transfer fonksiyonu hesaplanır ise

$$G(z) = C(zI - G)^{-1}H$$

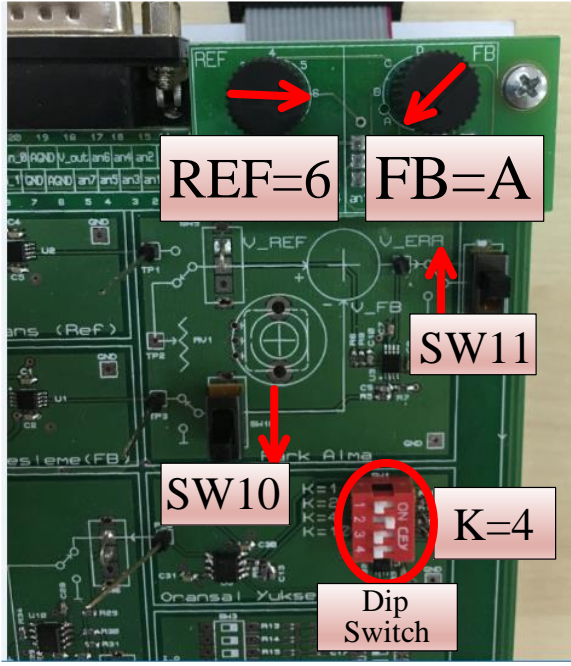
Durum geri beslemeli ön kompanzatör girişli sisteme ait transfer fonksiyonu elde edilir.

Son değer teoreminden

$y(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1) \frac{z}{z-1} G(z) = 1$  eşitliği kullanarak  $K_0$  ön kompanzatör kazancı hesaplanır.

### 1.6) Statik durum geri beslemeli ön kompanzatörlü gerçek zaman Deney

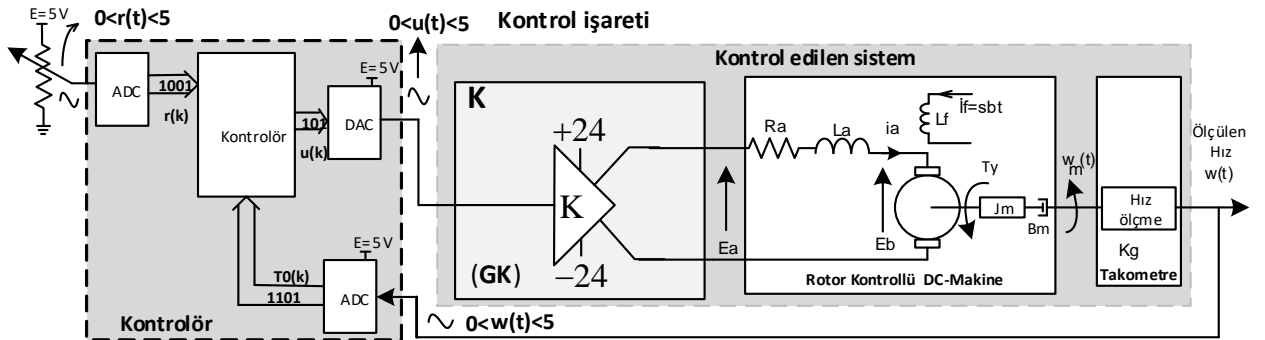
Rotor kontrollü DC-makine deney setinde kapalı çevrim hız kontrolü yapılabilmesi için **setin enerjisi kesilir** ve Şekil 10'da gösterilen **Arayüz kartı** üzerindeki anahtarları aşağıda verilen konumlara getiriniz.



- a) REF=6
- b) FB=A
- c) SW10=ALT
- d) SW11=ÜST
- e) Şekilde kazanç  $K=4$  için  
'dip switch 2' on .

Şekil 10) Kapalı-Çevrim Arayüz kart konfigürasyonu

Kontrolör ve kontrol edilen sistemden oluşan kapalı çevrim sisteme ait donanım ve işaret büyüklükleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 9. Kapalı çevrim sisteme ait donanım