

1. Nichols-Ziegler ile Sayısal PID kontrolör Tasarımı

1.1. Deneyin Amacı

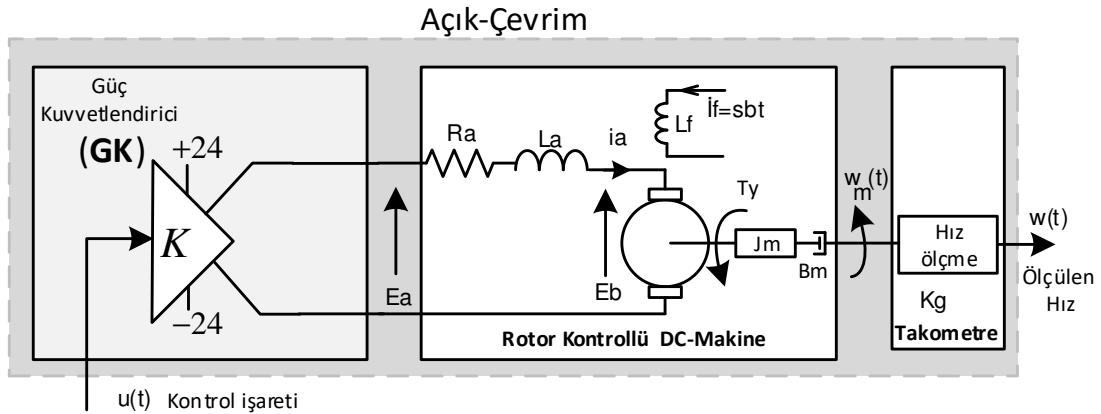
Bu deneyin amacı, basamak giriş için **açık-çevrim** cevap eğrisi S-şeklinde olan bir sistemin modelinin $G(s) = \frac{Ke^{-sL}}{\tau s + 1}$ ölü zamanlı I.dereceden olarak elde edilmesi ve kapalı çevrim kontrolü için sayısal **PID** kontrolör katsayıları K_p , K_i ve K_d nin **Ziegler-Nichols** metodlarından Basamak Cevap Metodu ile hesap edilmesidir.

Bu amaç için sırası ile,

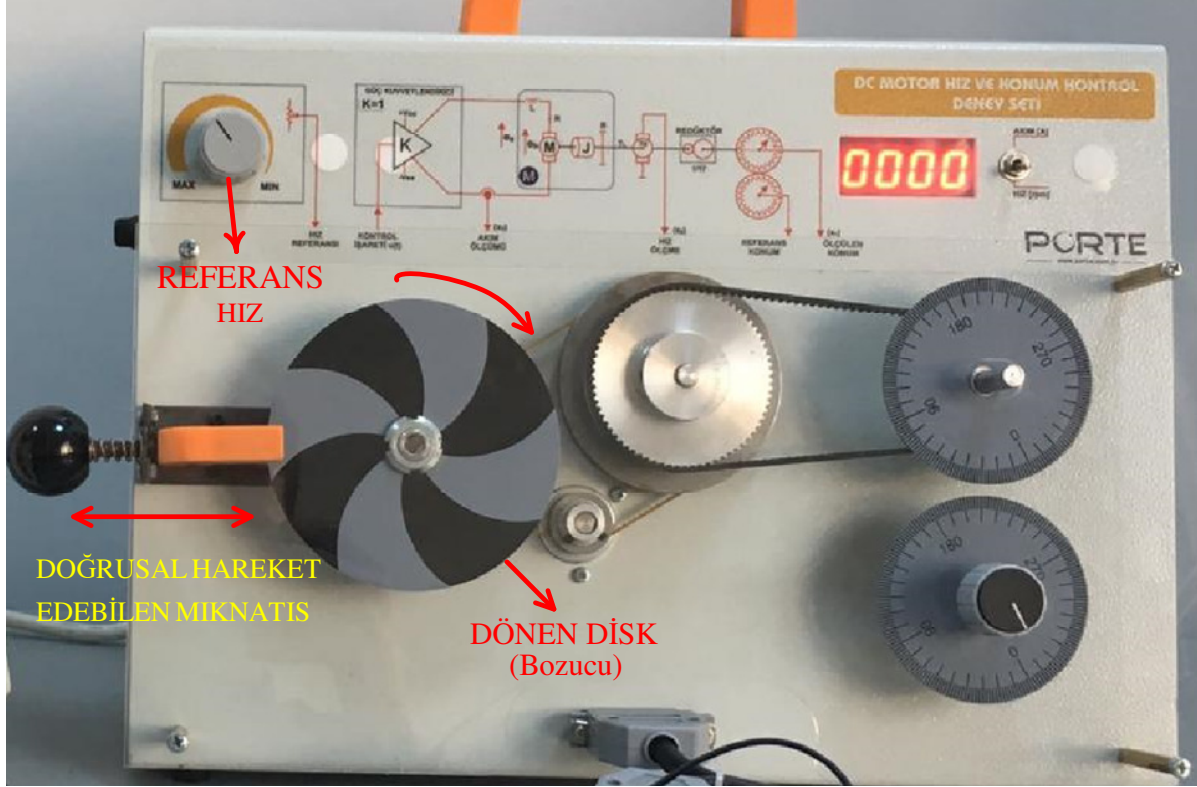
- 1-İkinci dereceden sistem olan rotor kontrollü DC makinenin **S**-şeklinde olan **açık-çevrim** basamak cevap eğrisi elde edilecektir.
- 2- Bu açık-çevrim cevap eğrisinde maximum eğim olan noktadan çizilecek bir doğru yardımı ile ölü zaman L , zaman sabiti τ ölçülecek ve yine eğri yardımı ile açık-çevrim kazancı K hesap edilecektir.
- 3- Basamak cevap yöntemine göre verilen tablodan K_p , T_i ve T_d katsayıları hesap edilecektir.

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.



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.

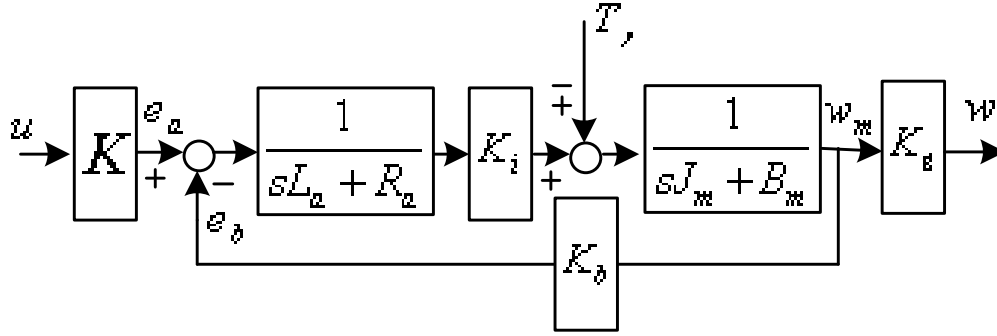
t-domen

- 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) $\Omega(s) = K_n \Omega_m(s)$

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.

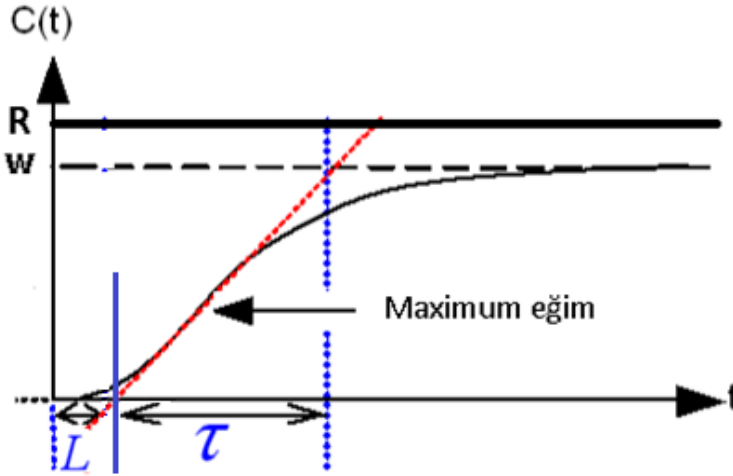


Şekil 3. Rotor Kontrollü DC-Makine Hız kontrolü için açık-çevrim kontrol blok diyagramı

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.

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

Rotor kontrollü DC makine transfer fonksiyonu görüldüğü gibi ikinci derecedendir. Sönüm oranı $\zeta > 1$ için ikinci dereceden sistemin basamak girişe karşılık cevap eğrisi S-şeklinde. Basamak cevabı S-şeklinde olan sistem aşağıda verilen şekilde görüldüğü gibi birinci dereceden ölü zamanlı sistem olarak modellenebilir.



Şekil 4 $\zeta > 1$ için II.dereceden sistem cevabı.

S-şeklindeki şekil 4 te verilmiş olan cevap eğrisinden maximum eğim noktasından çizilecek doğru yardımı ile ölü zaman L , zaman sabiti τ ölçülecek ,

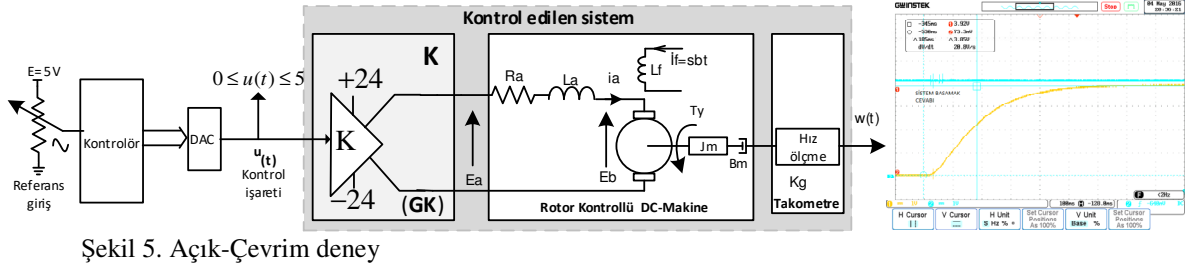
$$\frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-sL}$$

ve yine eğri yardımı ile ,

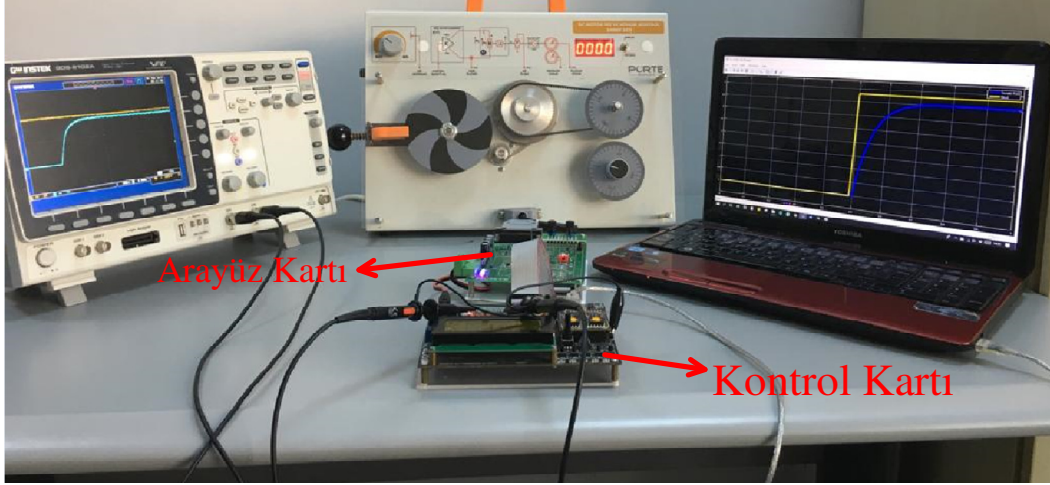
$$K = \frac{w-0}{R-0}$$

açık-çevrim kazancı K hesap edilecektir.

1.4) Açık-Çevrim Deney

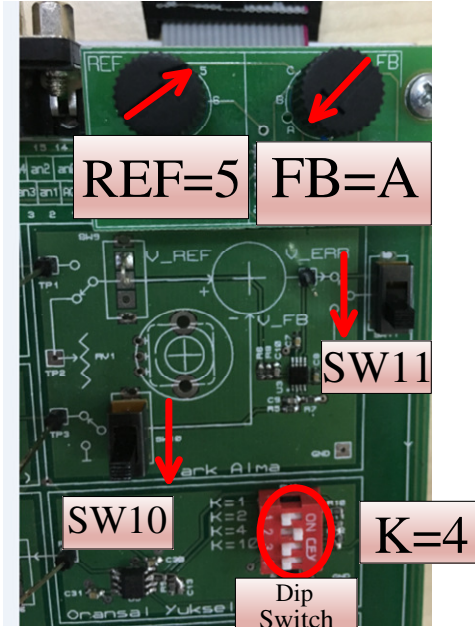


Şekil 5. Açık-Çevrim deney



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.

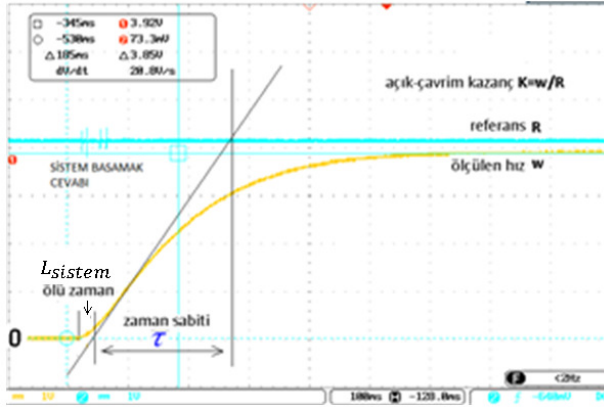


Şekil 7) Açık-Çevrim Arayüz kart konfigürasyonu

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

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 8. Açık-Çevrim deneye ait osiloskop çıktısı örneği.

Yanda verilmiş olan basamak giriş için elde edeceğiniz cevap eğrisi

örneğinden, ölü zaman L_{sistem} , zaman sabiti τ ölçünüz ve yine eğri yardımı ile açık-çevrim kazancı K yı hesap ediniz. Örnekleme zamanını ise başlangıç olarak,

$$T = \frac{L_{sistem}}{2} \quad \text{veya} \quad T = \frac{L_{sistem}}{4}$$

olarak seçebilirsiniz.

DeneySEL PID parametre ayar yöntemleri Nichol-Ziegler , aynı zamanda ayrık-zaman PID kontrolörlerde uygulanabilir. Sıfırıncı dereceden tutucu $\frac{1-e^{sT}}{s} \cong e^{-\frac{T}{2}}$ alınarak, sisteme ilave $\frac{T}{2}$ ölü zaman getirdiği yaklaşıklığı ile, yeni ölü zaman $L = L_{sistem} + \frac{T}{2}$ olarak elde edilir. Aynı analog PID katsayı tablosu (aşağıda verilmiş olan) kullanılabilir.

Basamak cevap yöntemine göre, K_p , T_i ve T_d PID parametre tablosu.

Kontrolör	K_p	T_i	T_d
Oransal(P)	$\frac{\tau}{KL}$	-	-
Oransal-İntegral(Pİ)	$\frac{0.9\tau}{KL}$	$3L$	-
Oransal-integral-türevsel(PID)	$\frac{1.2\tau}{KL}$	$2L$	$0.5L$

$K_i = \frac{K_p}{T_i}$ ve $K_D = K_p T_d$ ile hesaplanır. Bulunan katsayılar aşağıda verilmiş olan Sayısal PID Kontrolör’de kullanılacaktır.

NOT: **Deney düzeneğindeki sayısal kontrol uygulamalarında,**

$$K_i = 0.0005 * \frac{K_p}{T_i} \text{ ve } K_D = 50 * K_p T_d$$

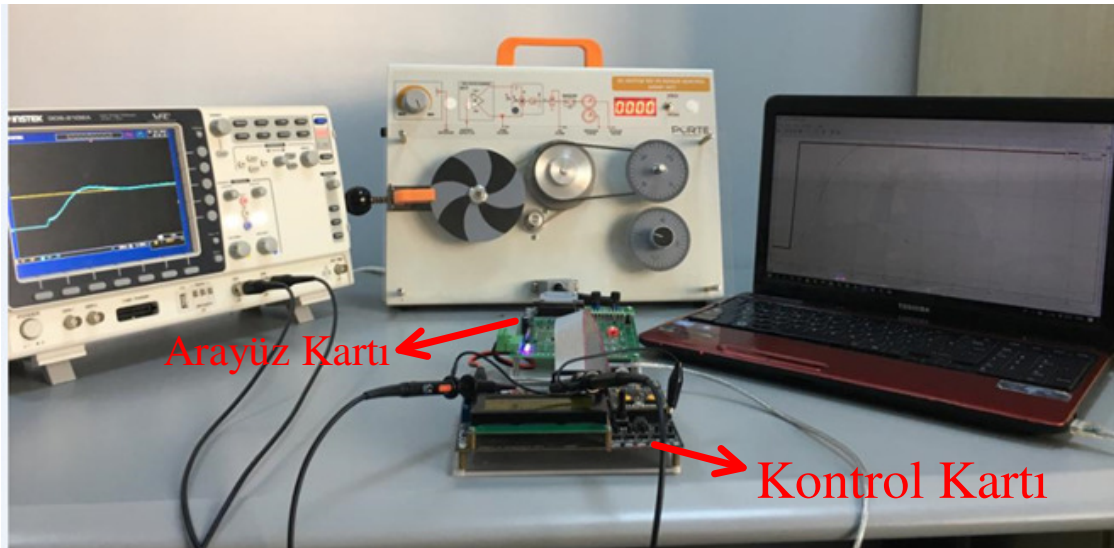
alınız ve bu nokta civarlarında değişiklikler yapınız.

$$\frac{U(z)}{E(z)} = \underbrace{(K_p + K_i + K_d)}_{K_{pid}} \frac{z^2 - \underbrace{\frac{(K_p + 2K_d)}{(K_p + K_i + K_d)}}_a z + \underbrace{\frac{K_d}{(K_p + K_i + K_d)}}_b}{z(z-1)}$$

5) Sistemin kapalı çevrim çalıştırmak için önce Kontrolör kartı üzerindeki reset tuşuna ve menüden '**kapalı çevrim için**' **BT3**'e basınız. Bulunan K_p K_i ve K_d katsayılarını kontrolcüye giriniz. Ekrandaki yönlendirmeleri takip ediniz.

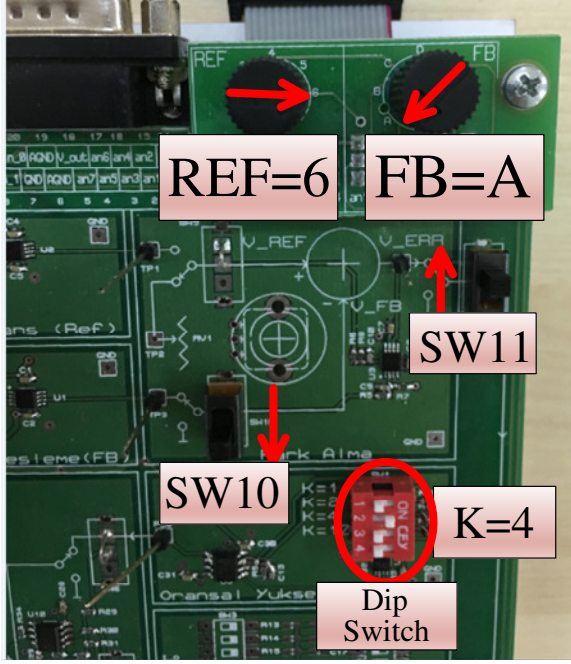
6) Hız Kontrol deney düzeneğinde Kontrolör kartı üzerindeki ekrandaki yönlendirmeler yardımı ile Kapalı-çevrim deneyini yapınız.

1.5) Kapalı Çevrim Deney



Şekil 9. Kapalı-Çevrim deney düzeneği

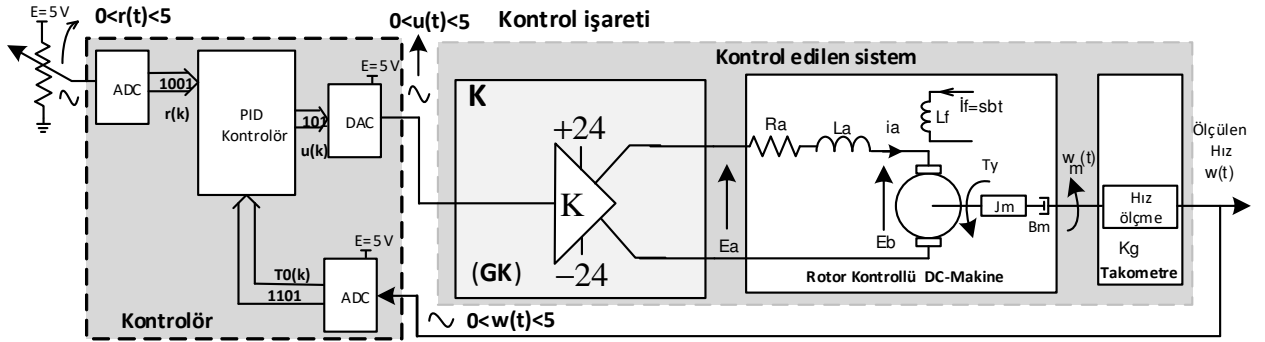
Rotor kontrollü DC-makine deney setinde kapalı çevrim hız kontrolü yapılabilmesi için **setin enerjisi kesilir** ve Şekil 10'da gösterilen **Arayüz kartı** üzerindeki anahtarları aşağıda verilen konumlara getiriniz.



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

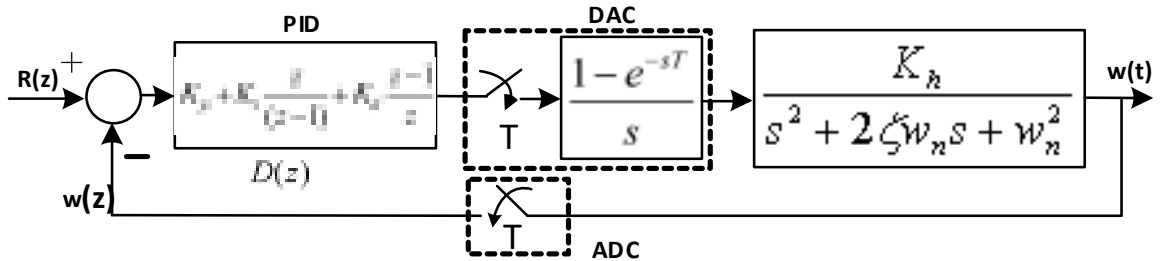
Şekil 10) Kapalı-Çevrim Arayüz kart konfigürasyonu

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



Şekil 9. Kapalı çevrim sisteme ait donanım

Kapalı çevrim sisteme ait ayrık-zaman kontrol blok diyagramı aşağıda verilmiştir.



Şekil 10. Kapalı-çevrim kontrol blok diyagramı.

Bu kurallar PID parametrelerinin seçiminde ilk değer vermeyi sağlar. Parametrelere son değerler, **kapalı-çevrim sistemde gerçek zamanda** K_i azaltılarak ve K_d arttırılarak istenen performans elde edilinceye kadar ince ayar yapmaya devam edilir.

NOT: Kapalı çevrimde basamak giriş vermek için BT5 basılı tutarak referans hızı değiştirin ve BT5 bırakınız.

Açık çevrimde kontrolör etkisini görebilmek için, **REF=5** konumuna alınız. Sistem açık çevrim çalışacağından referans işareti hata ile takip edecektir ve her yük devreye girdiğinde makinenin hızı azalacaktır. **REF=6** yaparak kapalı çevrime geçiniz ve sonuçları yorumlayınız.