



**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

PROJE I

PID Kontrol

**Mehmet POYRAZ
030205043
3/A
Kocaeli
ARALIK-2006**

Önsöz

Otomatik kontrol türleri tek bir amaç için çalışırlar olabildiği kadar doğru zamanda ve ayarda sistemi istenilen düzene getirilmesini sağlamak.

Yapmış olduğum bu derleme projede katkılarından Elektronik Müh. Mert Meral ve Elektrik Müh. Cihat Ergün'e teşekkür ederim.

İçindekiler

Konu 1

1. OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİNE GİRİŞ

Konu 2

2.0. Otomatik Kontrol Türleri

2.1. İki Konumlu Kontrol (ON-OFF)

2.2. Yüzer Kontrol (Floating)

2.3. Oransal Kontrol –P (Proportional)

2.4. Oransal+Integral Kontrol –PI (Proportional+Integral)

2.5. Oransal+Türevsel Kontrol –PD (Proportional+Derivative)

2.6. Oransal+Integral+Türevsel Kontrol –PID (Proportional+Integral+Derivative)

Konu 3

3.1. Zaman Oransal Kontrol (Time Proportioning Control)

3.2. P, I, D Kontrol Parametrelerinin Ayarlanması

3.2.1. Üç Terimli Denetleyici

3.2.2. P, I ve Denetleyicilerin karakteristikleri:

3.3. Optimum Performans için P I D Parametrelerinin Ayarlanması

3.3.1. Ziegler-Nichols Metodu

3.4. Zaman Oransal Kontrolde X_p ve X_t 'nin Ayarlanması

3.4.1. E-244 Serisi Yüzer Kontrol Cihazlarda X_p ve X_t 'nin Ayarlanması

Konu 4

4.0. PID Örnekler

4.3.0. PID tasarım metodu ile DC motor hız kontrolü

4.4.0. PID Tasarım Metodu ile Yükseklik Denetimi

4.5.0. PID kontrolü kullanarak top&kiriş problemlerinin çözümü

Konu 5

5.0 PD ve PI Denetleyicilerinin İşlemsel Kuvvetlendiricilerle Gerçekleştirilmesi:

1. OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİNE GİRİŞ

Kontrol işlemlerine günlük hayatın hemen her anında rastlanır. Bilinçli ya da bilinçsiz olarak kontrol işlemleri uygular, kontrol işlemleri içinde davranırız. Kontrol işlemlerinin birçoğu **otomatik** olarak insan girişimi olmadan gerçekleştirilir. Örneğin merdiven otomatığı, ilgili alanlardaki aydınlatma sisteminin çalışmasını ve belirli bir süre sonra kendi kendine kapanmasını sağlar. Termosifon, şofben ya da fırın sıcaklığının belirli bir değer etrafında tutulması, su basıncının hidrofor sistemleri yardımıyla ayarlanması ve yine depo seviyelerinin şamandıralı açma-kapama vanaları ile kontrolü günlük hayatta her zaman çevremizde görebileceğimiz benzer uygulamalardır.

İnsan bedeninde ise fazla miktarda, daha karmaşık ve oldukça hassas kontrol işlemleri gerçekleşmektedir. Fizyolojik kontrol olarak ta adlandırılabilir bu işlemlerden ilk akla gelenleri belirtmek gerekirse:

Kandaki şeker konsantrasyonunun sağlıklı insanlarda her zaman sabit belli bir değerde tutulması (ki bu sistemin bozulması diyabet olarak adlandırılmaktadır). Vücut sıcaklığı çevre sıcaklığının artması durumunda terleme (sıvı buharlaşmasının soğutma etkisiyle) yoluyla, çevre sıcaklığı azaldığı zaman ise kıl dibi kaslarının kasılması (ürperme) daha da ötede kasların titremesi vasıtasıyla vücutta üretilen ısı ile çevre sıcaklığının değişimlerine karşı kontrol edilir. Göze giren ışık şiddeti göz bebeğinin açılıp kapanması ile ayarlanır. Acı duyulduğu zaman geri çekilme refleksi, göz kas koordinasyonu (yazı yazma), uyuma ve uyanık kalma süreleri (biyolojik saat), hareket miktarı ile kalp atışlarının doğru orantılı olması, insan vücudunda örnek verilecek başlıca fizyolojik kontrol örnekleridir.

Toplumsal yaşamı doğrudan etkileyen konularda da kontrol uygulamalarına rastlanır:

Fiyat artışları, pazardaki talebin azaltılması veya paranın değerinin arttırılması ile kontrol edilebilir. Para değerini arttırmak için piyasadaki para miktarı ve kontrol edilebilen harcamalar azaltılabilir. Talebi azaltmak için ise kişilerin harcama güçleri kısıllanabilir. Bir diğer örnek; bir bölgenin ekonomik gelişmesinin kontrolü için verilebilir. Ekonomik gelişmeyi hızlandırmak için, o bölgeye yatırım ve nitelikli insan gücü akışını sağlamak gerekir. Bu da, özendirici ya da zorlayıcı önlemlerle sağlanabilir.

Kontrol işlemlerinin yukarıdaki örneklerdeki benzer yanlarından faydalanarak **kontrol** ve **otomatik kontrol** kavramları için şu genel tanımlamalar yapılabilir:

Kontrol: İncelenen davranışların belirli istenen değerler etrafında tutulması veya istenen değişimleri göstermesi için yapılanlar, genel anlamda kontrol işlemini tanımlar.

Otomatik Kontrol: Kontrol işlemlerinin, kontrol edilmek istenen olay etrafında kurulmuş bir karar mekanizması tarafından, doğrudan insan girişimi olmaksızın gerçekleştirilebilmesidir.

Kontrol işlemlerinin belirlenmesi ve otomatik kontrol mekanizmalarının kurulması, öncelikle bu işlemleri gerektiren amaçların ve istenen davranışların kesin biçimde tanımlanmasını, buna bağlı olarak ta, olayların olduğu ortamın, olayların **sebep-sonuç** ilişkilerinin ve **davranış özelliklerinin** incelenmesini gerektirir.

Otomatik kontrol, özellikle mühendislik sistemlerinde giderek daha da çok önem kazanmaktadır. Bunun nedenleri şöyle sıralanabilir:

- 1) Otomatik kontrol, insanları monoton tekrarlı işlerden kurtararak zeka ve düşünebilme yeteneklerini daha iyi kullanabilecekleri işlere yönelmelerini sağlar.
- 2) Otomatik kontrol, insanın fizyolojik yeteneklerini aşan (çok hızlı, çok hassas, yüksek kuvvetler gerektiren ve tehlikeli gibi) uygulamalarda insanın hakimiyetini kolaylaştırır.
- 3) Otomatik kontrolün mühendislik sistemlerinde kullanılması, gerek teorik tasarım gerekse gerçekleştirme ve uygulama bakımından daha sade, daha esnek, kolayca ayarlanabilen ve yüksek verimli çözümlere imkan vermektedir.
- 4) Bilgisayarların mühendislik uygulamalarında yaygın biçimde kullanılması, kontrol yöntemlerinin daha etkin olarak uygulanmasına yol açmıştır.

Günümüzde en basit uygulama alanlarından en karmaşık endüstriyel tesis uygulamalarına kadar her yerde yaygın olarak kullanılan otomatik kontrol sistemleri; temelde tüm fiziksel ve kimyasal değişkenlerin insan gücüne bağlı olmaksızın denetlenmesi ve kontrol altında tutulması amacına hizmet eder.

Domestik ve Endüstriyel ortamda gerçekleştirilmiş bir otomatik kontrol sisteminden;

- Sistemin güvenliğini ve kararlılığını sağlaması
- Kolay anlaşılır, tamir edilebilir ve değiştirilebilir olması
- Sistemin performansını istenen düzeye çıkarması
- Yatırım ve işletme maliyeti açısından ucuz olması istenir.

Sistem elemanlarının seçimi ve ayarı bu ilkeler doğrultusunda yapılır. Yukarıda da belirtildiği gibi bu koşulların gerçekleştirilmesi için kontrol edilecek sistemin yapısının ve dinamik özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekir.

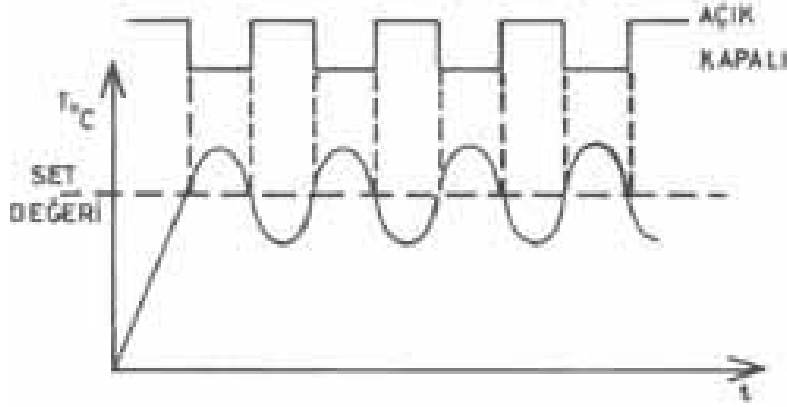
2.0 OTOMATİK KONTROL TÜRLERİ

Otomatik kontrol döngüsünde kontrol edici blok (karşılaştırma ve kontrol elemanı) yerine yerleştirilecek herhangi bir kontrol cihazı, kontrol noktası (ayar değeri) etrafında çalışması gereken hassasiyette sistemi kontrol etmelidir. Prosesin gerektirdiği hassasiyette çalışacak, hatayı gereken oranda minimuma indirecek çeşitli kontrol türleri mevcuttur.

2.1 İKİ KONUMLU KONTROL (ON-OFF)

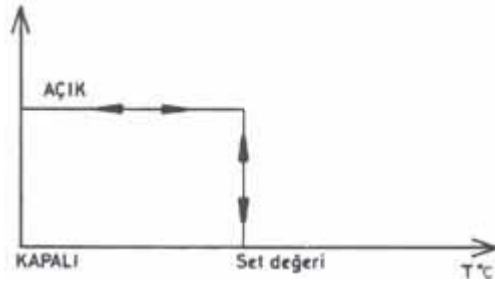
İki konumlu kontrol türünde; son kontrol elemanı bir konumdan değerine geçiş anı dışında ya tam açık veya tam kapalı konumdadır. Kontrol edilen değişken, kontrol noktasına geldiğinde son kontrol elemanı belirlenmiş bir konuma (tam açık veya tam kapalı) gelir ve kontrol edilen değişken değişmediği sürece bu konumda kalır. Kontrol edilen değişken, kontrol noktasından belirli bir düzeye uzaklaşınca son kontrol elemanı ikinci konumunu alır. Son kontrol elemanının hareketsiz kaldığı bu iki nokta arasındaki değere **fark aralığı** denir. Kontrol edilen değişken, fark aralığının iki sınır değerinden birine erişmediği sürece son kontrol elemanı hareket ettirilmez.

İki konumlu kontrol cihazı ile kontrol edilen bir sistemin kontrol edilen değişken-zaman eğrisi aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.1 = Açık-kapalı kontrol (ideal)

Bu tip kontrolün ideal transfer eğrisi Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2.2 = İdeal Açık - Kapalı kontrol transfer eğrisi

Bu kontrol çeşidini bir örnek ile açıklarsak; bir mahallede 20 derece sıcaklık kontrolü yapan bir oda termostatu (iki konumlu) ile mahallenin ısınmasını sağlayan ısıtma apareyi arasındaki ilişkiyi ele alalım. Oda termostatının fark aralığını $\Delta t=2$ derece ve ayar değerinin (X_s) altında yer aldığını kabul edelim. Ayrıca oda termostatının normalde kapalı (NC) bir anahtara (kontak) sahip olduğunu ve ısıtma apareyinin elektrik enerjisiyle çalıştığını düşünelim. Oda sıcaklığı 20 dereceye gelinceye kadar ısıtma apareyi açık (yani ısıtma yapma çalışması) konumdadır. Oda sıcaklığı 20 dereceyi bulduğunda, ısıtma apareyi kapalı konuma gelir ve oda sıcaklığı $X_s-\Delta t$ ($20-2$)=18 dereceye düşene kadar bu konumunu değiştirmez. Oda sıcaklığı 18 derecenin altına düştüğünde ısıtma apareyi tekrar açık konuma gelir ve bu hareket şekli sistem çalışma periyodu içinde aynı şekilde tekrar eder.

2.2 YÜZER KONTROL (FLOATİNG)

İki konumlu kontrol ile oransal kontrol arasında bulunan bu kontrol türü, üç konumlu (yüzer) olarak bilinmektedir. İki konumlu kontrolden farklı olarak son kontrol elemanına üç türlü kumanda uygulanabilir; aç-sabit, kal-kapa. Bu kontrol şeklinde sistemde istenen ayar değeri yakalandığında, servomotor o anda bulunduğu konumda hareketsizdir. İstenen ayar değerlerinin belli bir miktar dışına çıkıldığında ise servomotor oluşan farkı düzeltmek üzere açma ya da kapama yönünde hareket eder.

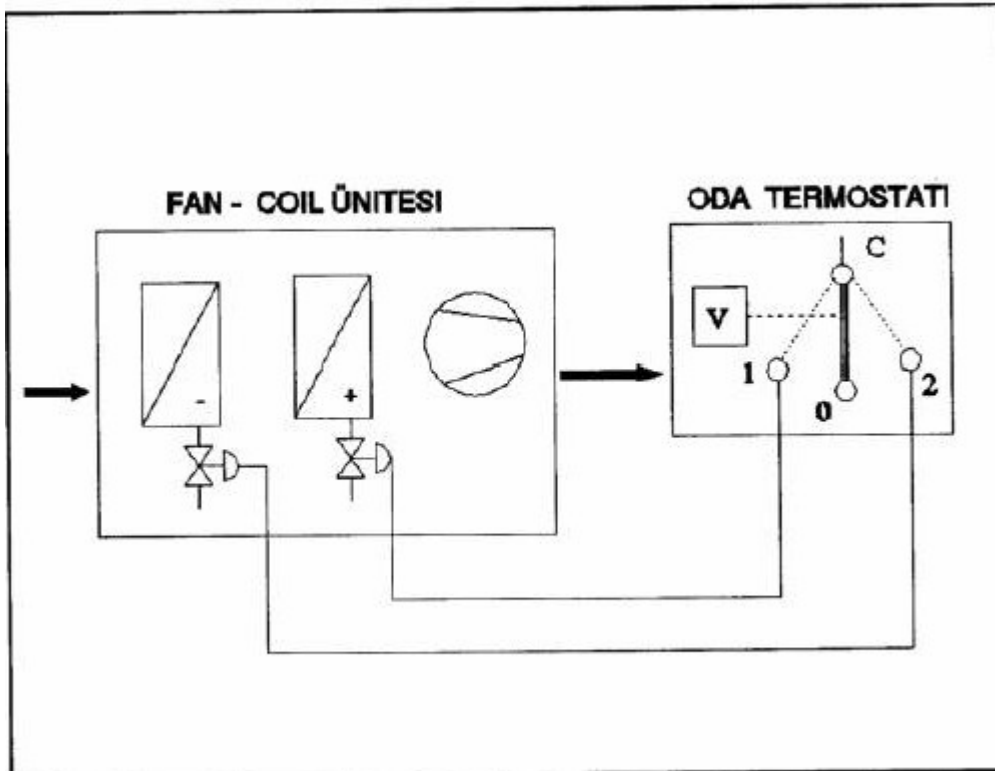
Yavaş hareket eden bir servomotor kullanılması ile sistemin herhangi bir kısmı yükte çalıştırılması mümkün olmaktadır. Bu sayede iki konumlu kontrolde oluşan salınımlar çok az indirgenmiştir.

Servomotorun hızı önemlidir. Çok yavaş bir servomotor ile sistemdeki ani değişikliklere uyum sağlama şansı kalmayacaktır. Servomotorun çok hızlı olması ise, iki konumlu kontrole yol açar, yani kısmi yüklerde çalışma mümkün olmaz.

Bu tip kontrolün daha gelişmiş bir çeşidi ise şu şekilde çalışmaktadır. Servomotorun hareket hızı istenen ayar değerinden uzaklaştıkça artmaktadır. Özellikle hızlı tepki veren sistemlere uygun bu uygulamada çok hassas bir kontrol sağlamak mümkün olmamaktadır.

Bu kontrol türünü daha iyi anlatabilmek için; ısıtma ve soğutma serpantini ele alınarak, bu serpantin girişlerinde ayrı ayrı on-off selenoid vanaları olan bir fan-coil ünitesi incelenecektir.

Kontrol elemanı olarak oda termostatu, nihai kontrol elemanı için ise iki adet selenoid vananın bir bütün olduğu kabul edilerek örnek incelenmiştir.



Şekil 2.3 = Yüzer Kontrol

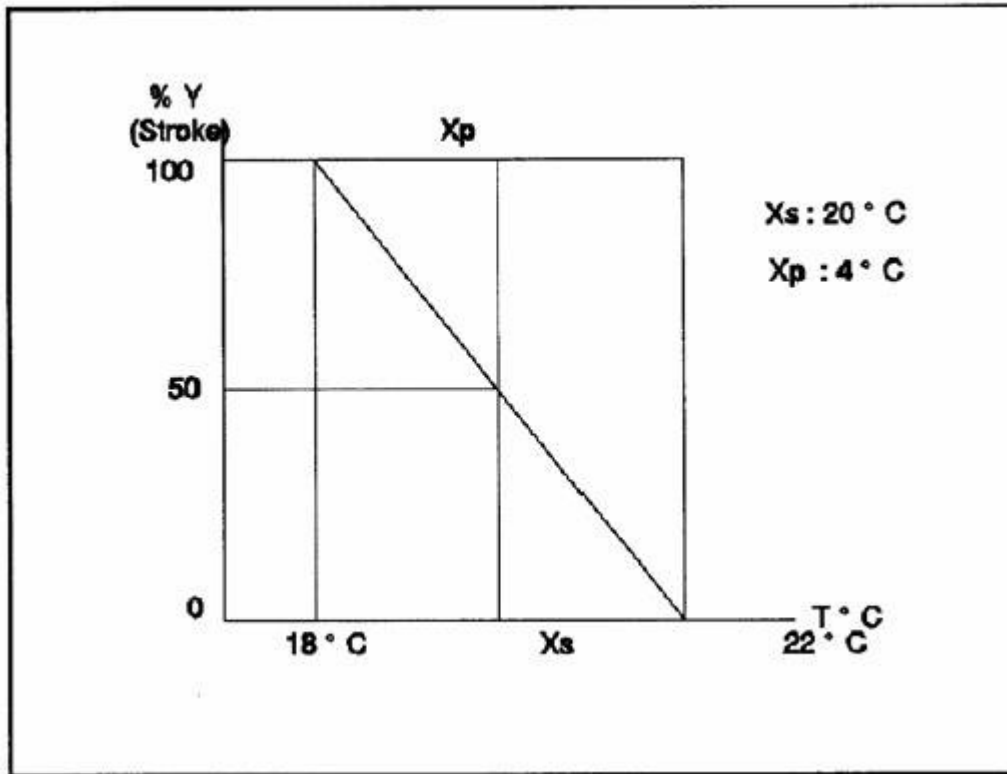
Oda termostatının ayar değerinin (X_s) 20 derece ve fark aralığının (Δt) 2 derece olduğunu kabul edelim. Oda sıcaklığı 18 dereceye gelene kadar oda termostatu kontağı C-1 konumunda kalır ve ısıtıcı selenoid vanası (S-1) açık konumunu sürdürerek mahal havası sıcaklığını arttırma yönünde davranır.

Mahal sıcaklığı değeri 18 dereceye eriştiğinde, termostat kontağı C-0 konumuna gelir ve bu konumda S-1 ısıtıcı selenoid vanası kapalı konuma gelir. Sistem yüzüne bağlı olarak mahal havası sıcaklığı artarak 21 dereceye eriştiğinde termostatin kontağı C-2 konumuna gelir ve bu konumda S-2 soğutucu selenoid vanası açık konuma gelerek mahal havası sıcaklığını düşürme yönünde davranır. Bu hareket şekli sistem çalışma periyodu içinde aynı şekilde tekrar eder.

Oda termostatu kontağının C-0 konumunun olduğu süreç ölü bölge olarak tanımlanır. Ayar değeri (X_s) genellikle bu ölü bölge ortasında yer alırken, fark aralığı (Δt) ölü bölge altında ve üstünde yer alır.

2.3 ORANSAL KONTROL -P (PROPORTIONAL)

Oransal kontrolde; nihai kontrol elemanı, kontrol edilen değişkenin değişim miktarına bağlı olarak konumlanır. Kontrol elemanının oransal bandı (X_p) içinde kontrol edilen değişkenin her değerine karşılık nihai kontrol elemanının bir tek konumu vardır. Başka bir deyişle kontrol edilen değişken ile nihai kontrol elemanı arasında doğrusal bir bağlantı kurularak gereksinim duyulan enerji ile sunulan enerji arasında bir denge oluşturulur.



Şekil 2.4 = Oransal Kontrol (P) Karakteristik Eğrisi

Oransal kontrol cihazı prosesin talep ettiği enerjiyi sürekli olarak ayar değişkenini ayarlayarak verir. Gereksinim duyulan enerji ile sunulan enerji arasında bir denge vardır. Elektrik enerjisi kullanılarak ısıtma yapılan bir proseste, oransal kontrol cihazı ısıtıcının elektrik enerjisini prosesin sıcaklığını set edilen değerde tutabilecek kadar, prosesin gereksinim duyduğu kadar verir. Enerjinin %0'dan %100'e kadar ayarlanabildiği, oransal kontrol yapılabilen sıcaklık aralığına ORANSAL BAND denir. Genel olarak oransal band, cihazın tam skala (span) değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanır ve set değeri etrafında eşit olarak yayılır. Örneğin 1200 °C'lik skalası olan bir cihazda %5'lik bir oransal band demek $0.05 \times 1200 °C = 60 °C$ 'lik bir sıcaklık aralığı demektir. Bu 60 °C'lik aralığın 30 °C'si set değerinin üzerinde 30 °C'si set değerinin altında yer alır ve kontrol cihazı 60 °C'lik aralıkta oransal kontrol yapar.

Set değeri 400 °C'ye ayarlanan, %5 oransal band verilen bir oransal kontrol cihazında 370 °C ve 430 °C'ler bandın uç noktalarıdır. Kontrol cihazı düşük sıcaklıklardan başlamak üzere 370 °C'ye gelinceye kadar ısıtıcılara %100 enerji verilir, yani enerji tamamen açıktır. 370 °C'den itibaren set değeri olan 400 °C'ye kadar sıcaklık yükselirken ısıtıcıya verilen enerji yavaş yavaş kısılır. Set değerinde sisteme %50 enerji verilir. Eğer sıcaklık set değerini geçip yükselmeye devam edecek olursa

430 °C'ye kadar enerji giderek kısılır ve 430 °C'nin üzerine geçtiği takdirde artık enerji tamamen kapatılır. Yani sisteme %0 enerji verilir. Sıcaklık düşüşünde anlatılanların tam tersi olacaktır. Oransal band örneğin %2'ye düşürüldüğü takdirde; $0.02 \times 1200 \text{ °C} = 24 \text{ °C}$ 'nin yarısı olan 12 °C üstte ve 12 °C altta olmak üzere köşe noktaları 412 °C ve 388 °C olacaktır. Değişik proseslerde ve değişik şartlarda duruma en uygun oransal band seçilerek oransal kontrol yapılır.

Şekil 2.4 de şematik olarak gösterilmiş transfer eğrisi üzerinden, ayar değerinin (X_s) 20 derece ve oransal band (X_p) değerinin 4 derece olduğu ters hareketli bir oransal kontrol sistemini inceleyelim. Sıcaklık değerinin 18 derece olduğu noktada nihai kontrol elemanı konumu %100 pozisyonundadır. Nihai kontrol elemanı, sıcaklık değerinin ayar değeri ile eşit olduğu noktada %50 pozisyonundadır. Sıcaklık değerinin 22 derece olduğu noktada ise nihai kontrol elemanı %0 pozisyonuna gelir. Bir oransal kontrol cihazının fonksiyonunu;

$$V_p = K_p \cdot e + V_o$$

V_p = Kontrol cihazı çıkışı

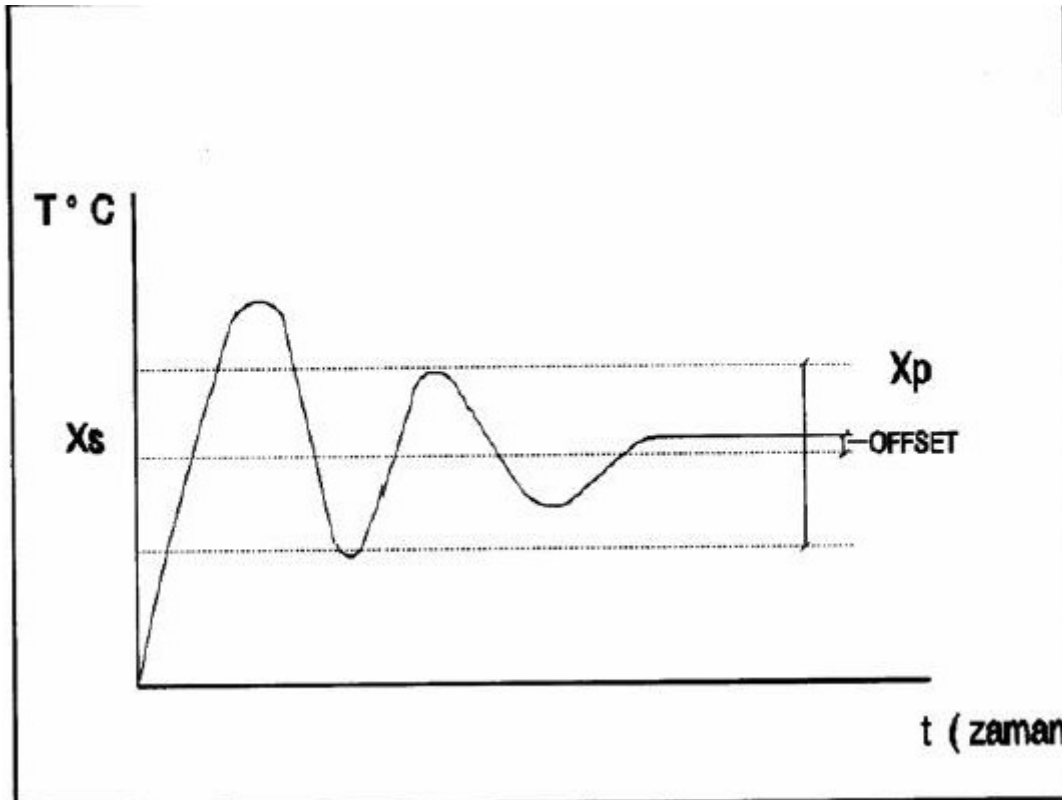
K_p = Oransal kazanç

e = Hata sinyali veya ofset

V_o = Ofset düzeltme parametresi

formülüyle de ifade edilebilir.

Aşağıda sembolize edilen oransal kontrol reaksiyon eğrisinden de gözüktüğü gibi; set değeri ile sistemin oturduğu ve sabit kaldığı değer arasındaki farka **sapma (offset)** denir. Sapma'yı azaltmak için oransal band küçültülebilir. Ancak oransal band küçüldükçe, iki konumlu (on-off) kontrole yaklaşıldığı için set değeri etrafında salınımlar artabilir ve sistem dengeye oturamaz.



Şekil 2.5 = Oransal Kontrol (P) Değişken Zaman Eğrisi

Geniş oransal band seçeneğinde ise sapmanın daha büyük olacağı düşünülürse; oransal band seçiminin kullanıldığı prosesin şartlarına uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Oransal band birçok proseste tam skala değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanıp yaygın olarak kullanılıyorsa da yine bazı proseslerde **kazanç** tanımı kullanılmaktadır.

Oransal band ve kazanç arasındaki bağıntıyı;

$$\text{Kazanç} = \%100 / \% \text{oransal band}$$

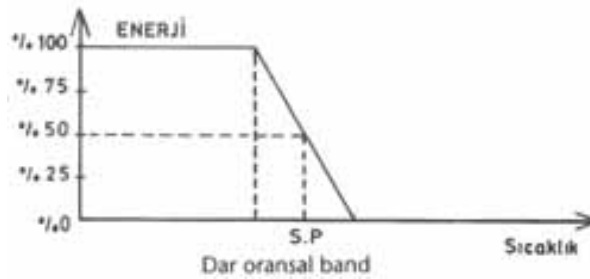
olarak ifade edebiliriz. Yukarıdaki formülden görüldüğü gibi oransal band daraldıkça kazanç artmaktadır.

Geniş seçilmiş bandda, küçük oranda enerji artışı büyük sıcaklık artışına sebep olur veya küçük oranda enerji düşüşüne sebep olur. Şekil 2.6'de seçilen dar oransal bandda ise küçük bir sıcaklık artışı veya düşüşü sağlamak için büyük oranda enerji düşüşü yapmak gerekir. Bu bandı giderek daraltıp sıfırlayacak olursak, bu takdirde oransal kontrol cihazı açık kapalı kontrol cihazı gibi çalışacaktır. 'Oransal band' birçok proseste tam skala değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanıp yaygın olarak kullanılıyorsa da yine bazı proseslerde 'kazanç' tanımı kullanılmaktadır.

Oransal band ve kontrol cihazı kazancı arasındaki bağlantı aşağıdaki gibidir.

$$\text{KAZANÇ} = \%100 / \% \text{Oransal Band}$$

Böylece görüldüğü gibi oransal band daraldıkça kazanç artmaktadır.

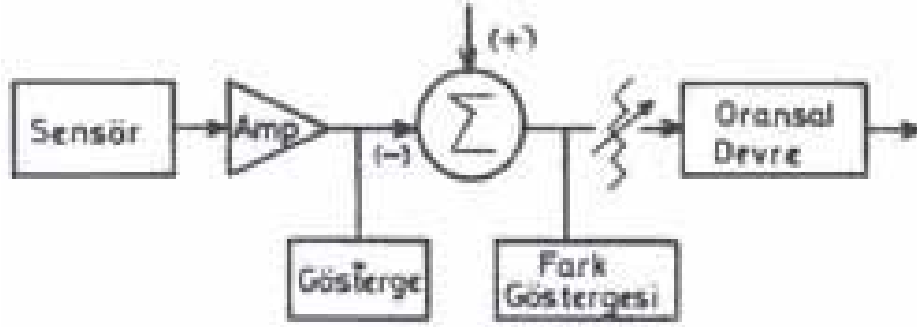


Dar Oransal Band



Şekil 2.6= Dar oransal band ve reaksiyon eğrisi.

Oransal kontrolü blok şemalar ile açıklayacak olursak,



Şekil 2.7 = Oransal kontrol blok şeması

Şekil 2.7’de görüldüğü üzere, sensör yardımıyla algılanan sıcaklık sinyali ortam sıcaklık kompensasyonu yapıldıktan sonra yükseltici bir devreden geçerek set değeri ile karşılaştırılır, ikisi arasındaki fark alınarak hata değeri veya fark değeri bulunur. Eğer bu değer pozitif ise proses set değerinin altındadır. Negatif ise proses set değerinin üzerindedir. Fark sıfır ise proses set değerindedir.

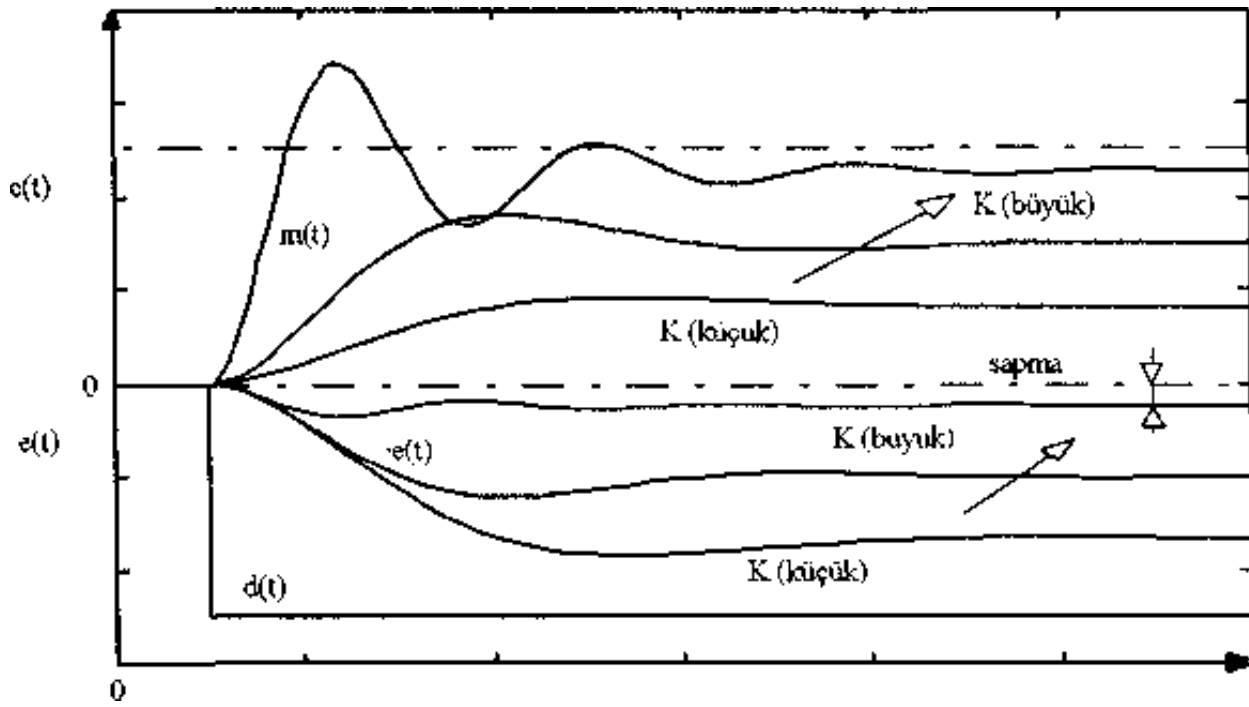
Fark değeri oransal kontrol devrelerinden geçerek uygun çıkış formuna gelir. Fark değeri sıfır olduğu anda oransal çıkış % 50’dir. Yani set değerinde çalışıyor demektir. % 50’lik çıkışı koruyup prosesi tam set değerinde tutmak zordur. Denge durumuna gelinceye kadar sıcaklık değişimi olması, hatta sıcaklık değeri ile set değeri arasında belli bir fark kalması oransal kontrolün en belirgin özelliğidir.

Set değeri ile sistemin oturduğu ve sabit kaldığı sıcaklık arasındaki farka off-set denir. Off-set’i azaltmak için oransal band küçültülebilir. Ancak, daha önce de belirtildiği gibi oransal band küçüldükçe, açık-kapalı kontrollerle yaklaşıldığı için set değeri etrafında salınımlar artabilir. Geniş oransal bandda off-set’in büyük olacağı düşünülerek prosese en uygun oransal bandın seçilmesi gerekir. Şekil 3, geniş ve dar oransal bandın göreceli karşılaştırılmasıdır.

Eğer sıcaklık yükselip bir kaç kere set değeri etrafında salınım yaptıktan sonra set değerinin üzerinde veya altında sabit bir sıcaklık farkı ile gelip oturursa off-set artı veya eksi olur.

Bir proseste tüm ayarlamalar yapıldıktan sonra örneğin artı oluşan off-set değeri proseste birkaç küçük değişiklik olması ile eksi değere gidebilir veya artı olarak yükselebilir.

Şekil 2.8 de orantı etki ile çalışan bir kapalı-döngü denetim sisteminin basamak bozucu giriş karşısında gösterdiği dinamik davranış eğrileri gerilmiştir. Burada kazanç katsayısı K_p değişimine bağlı olarak hatanın denetim sinyalinin ne şekilde değiştiği görülmektedir.



Şekil 2.78= Orantı etki ile çalışan denetim sistemi

$m(t)$: Denetim organı çıkışı

$e(t)$: Hata sinyali

2.4 ORANSAL+INTEGRAL KONTROL – PI (PROPORTIONAL+INTEGRAL)

Oransal kontrolde oluşan sapmayı azaltmak veya ortadan kaldırmak için kontrol cihazı olarak integratör (integral alıcı devre) kullanılır. Ölçülen değer ile set edilen değer arasındaki fark sinyalinin zamana göre integrali alınır. Bu integral değeri, fark değeri ile toplanır ve oransal band kaydırılmış olur.

Matematiksel olarak formülize edersek;

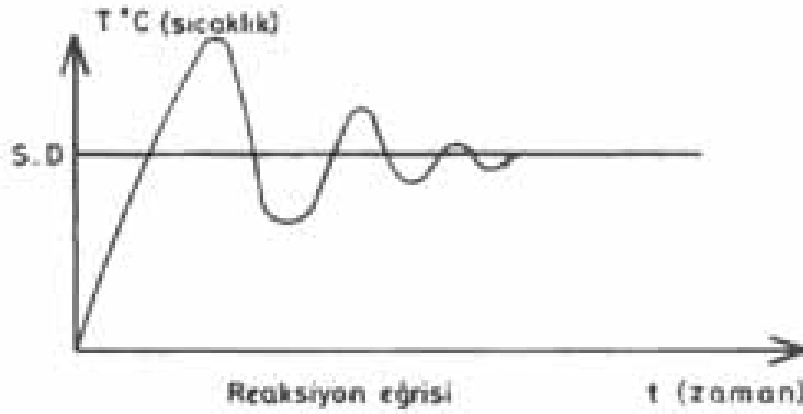
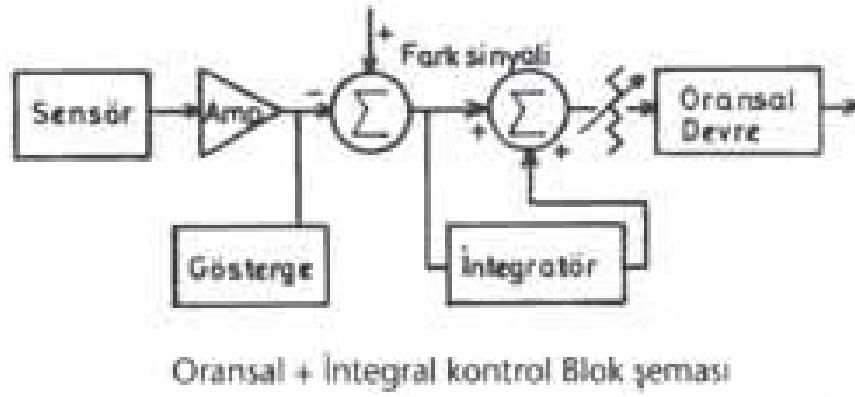
$$V_p = K_p \cdot e + K_i \cdot \int e \cdot t + V_o$$

V_p = Kontrol cihazı çıkışı

K_i = İntegral kazancı

t = Zaman

Bu şekilde sisteme verilen enerji otomatik olarak artırılır veya azaltılır ve proses değişkeni set değerine oturtulur. İntegratör devresi, gerekli enerji değişkenliğine set değeri ile ölçülen değer arasında fark kalmayınca kadar devam eder. Fark sinyali sıfır olduğu anda artık integratör devresinin integralini alacağı bir sinyal söz konusu değildir. Herhangi bir şekilde sistem dengesi bozulup, proses değişkeni değeri set değerinden uzaklaşacak olursa tekrar fark sinyali oluşur ve integratör devresi düzeltici etkisini gösterir.



Şekil 2.9= Oransal+integral kontrol blok şema ve reaksiyon eğrisi.

Şekil 2.9'deki şemada, sapması kalmış bir oransal + integral kontrol reaksiyon eğrisinden de görüleceği gibi; Oransal + İntegral kontrolün en belirgin özelliği sistemin başlangıcında proses değişkeni değeri, set değerini önemli bir miktarda ki bu ilk yükselme noktası **üst tepe değeri** (Overshoot) olarak tanımlanır. Üst tepe değerini alt tepe değeri izler (Undershoot).

Set değeri etrafında sistem yük değerine bağlı olarak birkaç kere salınım yaptıktan sonra, set değerine oturur. Sistem reaksiyon eğrisinde başlangıçtan itibaren olmak üzere eğrinin set değeri etrafındaki tolerans bandına (bir daha çıkmamak üzere) giriş yaptığı noktaya kadar geçen zaman, sistemin kararlı (dengeye oturmuş) rejim süresidir. Başlangıçtan itibaren bu noktaya kadar geçen zaman aralığında sistem set değeri etrafında salınım yapar ve kararsız bir davranış sergiler (kararsız rejim). Otomatik kontrol sistemlerinde amaç salınımları oldukça azaltıp sistemi kararlı rejime oturtmaktır. Kararlı rejim süresi sistemin zaman sabitiyle doğru orantılıdır. Pratik olarak sistemler, üç zaman sabiti süre toplamı sonunda %66 oranında kararlı hale geçerler. Dört zaman sabiti süre toplamı sonunda ise sistem %98 oranında kararlı rejime geçmiş demektir. Her sistemin ve onu oluşturan alt sistemlerin farklı zaman sabitleri vardır.

2.5 ORANSAL+TÜREVSEL KONTROL –PD (PROPORTIONAL+DERIVATIVE)

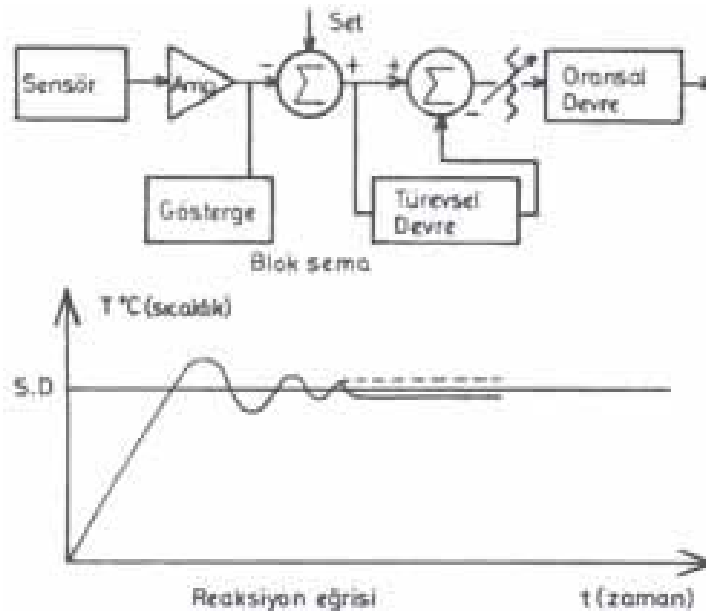
Oransal kontrolde oluşan ofset, Oransal+Türevsel kontrol ile de azaltılabilir.

Oransal+Türevsel kontrolde set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark sinyalinin türevi alınır. Türevi alınan fark sinyali, tekrar fark sinyali ile toplanır ve oransal devreden geçer. Bu şekilde düzeltme yapılmış olur. Ancak türevsel etkinin asıl fonksiyonu üst-alt tepe (Overshoot-Undershoot) değerlerini azaltmak içindir. Üst ve alt tepe değerlerini azaltırken bir miktar sapma kalabilir. Oransal + Türevsel kontrolde set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark sinyali, elektronik türev devresine gider. Türevi alınan fark sinyali tekrar fark sinyali ile toplanır ve oransal devreden geçer. Bu şekilde düzeltme

yapılmış olur. Şekil 2.10'da blok şema halinde oransal+türevsel kontrolü göstermektedir. Ayrıca Şekil 3.2'de göreceli olarak reaksiyon eğrisi verilmektedir. .

Türevsel etki, düzeltici etkisini hızlı bir şekilde gösterdiği için hızlı değişimlerin olduğu kısa süreli proseslerde kullanılması uygundur. Sürekli tip uzun süreli proseslerde ve sapma istemeyen durumlarda PI yada PID tip seçilebilir.

Türevsel etki düzeltici etkisini hızlı bir şekilde gösterir. Banyo tipi proseslerde yani daldır-çıkart gibi uygulamalarda hızlı değişimlere ayak uydurmak üzere PD seçilebilir. Sürekli tip uzun süreli fırın ya da proseslerde ve off-set arzu edilmeyen hallerde PI tip seçilebilir. Uygulayıcı birçok faktörü göz önüne almalıdır.



Şekil 2.10 = Oransal + Türevsel kontrol blok şema ve reaksiyon eğrisi

2.6 ORANSAL+INTEGRAL+TÜREVSEL KONTROL –PID (PROPORTIONAL+INTEGRAL+DERIVATIVE)

Kontrolü güç, diğer kontrol türlerinin yeterli olmadığı proseslerde tercih edilen bu kontrol türünde; oransal kontrolde oluşan sapma, integral fonksyonu ile giderilir. Meydana gelen alt ve üst tepe değerler bu kontrole türevsel etkinin eklenmesiyle minimum seviyeye indirilir veya tamamen ortadan kaldırılır.

PID kontrolü matematiksel olarak formüle edersek;

$$V_p = K_p \cdot e + K_i \cdot \int e \cdot \Delta t + K_d \cdot \Delta e / \Delta t + V_o$$

K_d : Türevsel Kazanç
 $\Delta e / \Delta t$: Hatanın Türevi

Esas amaç ayar değeri ile ölçüm değeri arasındaki hatayı sıfıra indirmek ve bu sayede istenen değere ulaşmak olan tüm kontrol türlerinde; Oransal (P), Integral (I), Türev (D) parametrelerinin uygun bir şekilde ayarlanmaları sayesinde kontrol edilen değişkenin ayar değerine;

- Minimum zamanda
- Minimum üst ve alt tepe (overshoot ve undershoot) değerlerinden geçerek ulaşmasını sağlarlar.



Şekil 2.11 = Oransal +Integral + Türevsel kontrol reaksiyon eğrisi

Integral ve türevsel parametrelerin söz konusu olmadığı ve sadece P tipi kontrol cihazları ile kurulan sistemlerde de dengeye ulaşmak mümkündür. Ancak sadece P'nin aktif olduğu bu tür kontrol sistemlerinde az da olsa set değeri ile kontrol edilen değer arasında sıfırdan farklı + veya – değerlerde ve sıfıra indirilmeyen bir sapma mevcuttur. Sadece P ile kontrol edilen böyle bir sisteme I'nın ilavesi sapmayı ortadan kaldırmaya yöneliktir. Diğer bir deyişle PI türündeki bir kontrol cihazı ile denetlenen bir proseste normal şartlar altında sistem dengeye oturduktan sonra sapma oluşması söz konusu değildir. Integral etki sapmayı sıfıra indirirken sisteme faz gecikmesi katarak sistemin kararlılığını azaltır.

Bununla beraber integral zamanının çok kısa olması prosesin osilasyona girmesine neden olabilir. PI denetim mekanizmasına D ilavesi ise set değerine ulaşmak için geçen zamanı kısaltmaya yaramaktadır. Diferansiyel etki sisteme faz avansı getirir ve sistemin kararlı hale gelmesinde yardımcı olur. Böylece büyük orantı kazançları elde edilebilir. Fakat büyük nakil gecikmeleri olan sistemlerde diferansiyel etkinin önemi çok azalır.

PID uygulamaları için standart bir tanımlama yoktur.Karl Astrom'a göre PID algoritması aşağıdaki gibidir:

$$u(t) = K[e(t) + 1/T_i \int_0^t e(\tau)d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt}]$$

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

Burada u(t) kontrol değişkeni, e(t) toplama noktası, y(t) çıkıştan ölçülen değerle aynıdır. K, Ti, Td PID parametreleridir. Yukarıdaki formülü biraz daha basite indirirsek:

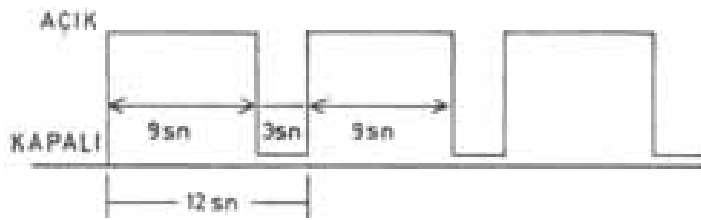
$$u(t) = P(t) + I(t) + D(t)$$

P: Oransal **I:** İntegral **D:**Türevsel

$$P_s = K_{p_s} S(t) , \quad I_s = K_{i_s} \int_0^t S(\tau) d\tau , \quad D_s = K_{d_s} \frac{dS(t)}{dt}$$

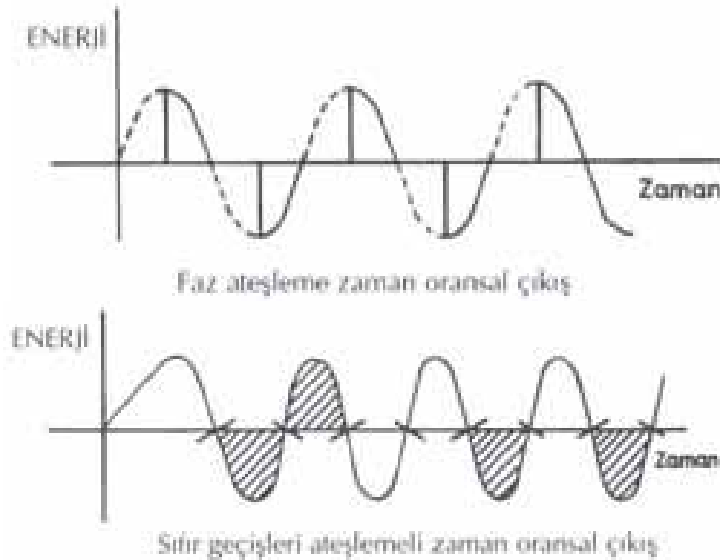
3.1 ZAMAN ORANSAL KONTROL (TIME PROPORTIONING CONTROL)

Oransal kontrol formları içinde özellikle elektrik enerjisi ile çalışan sistemlerde en yaygın kullanılan kontrol formlarından olan zaman oransal kontrolde enerji yüke belli bir periyodun yüzdesi olarak verilir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi 12 saniyelik bir periyodda sisteme 9 saniye enerji veriliyor, 3 saniye kesiliyor. Bunun anlamı sisteme 12 saniyelik periyodun %75’inde enerji veriliyor, %25’inde kesiliyor demektir.



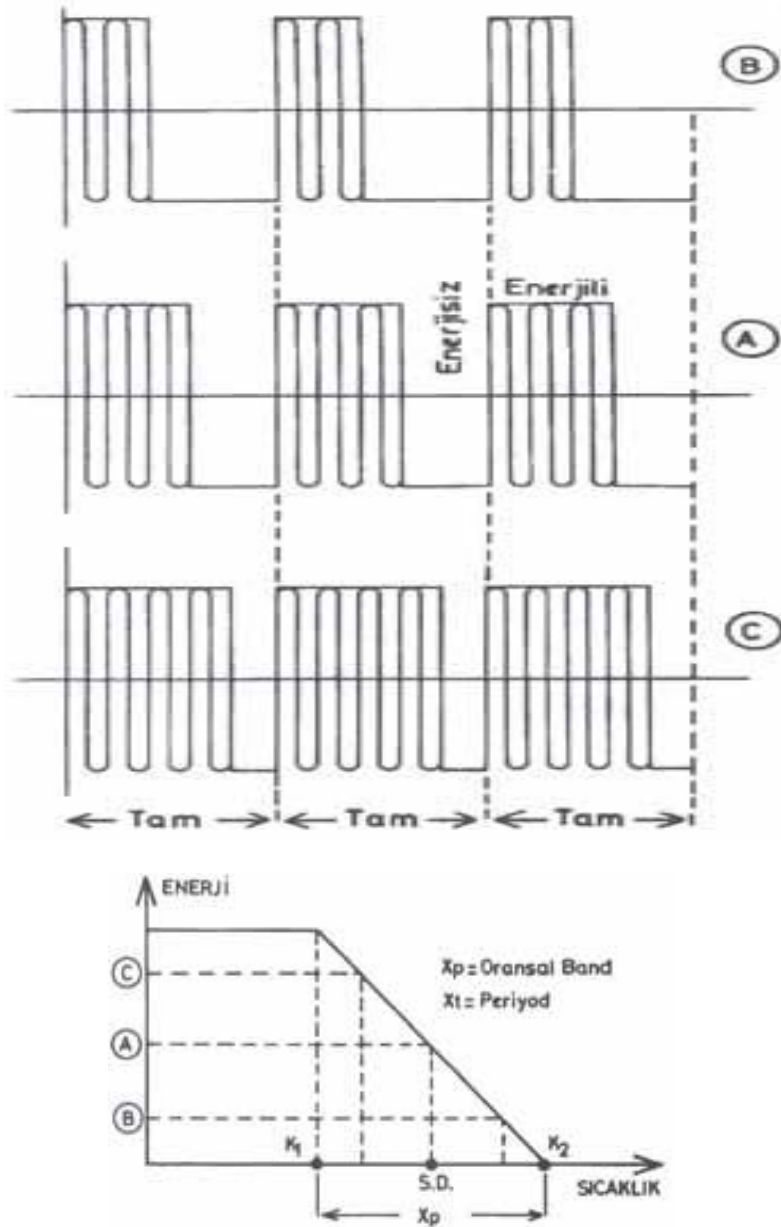
Şekil 3.1= Zaman oransal kontrol

Bu tip çıkış en uygun biçimde, son kontrol elemanı kontaktör , triak veya tristör olan proseslerde görülür. Triak, tristör son kontrol elemanı olarak kullanıldığı zaman enerji kesilip verme süreleri çok küçük aralıklara kadar indirilebilir. Bu süre 50 Hz’lik şehir gerilimi periyodu altında düşecek olursa rastgele bir ateşleme, güç problemleri doğuracaktır. Bu yüzden, ateşleme sıfır geçişlerinde yapılır. Şekil 3.2 “sıfır geçişi ateşleme” prensibine uyulmadan kesilen sinüzoidal dalgayı göstermektedir



Şekil 3.2 = Zaman oransalda iki tür ateşleme

Şekil 3.3’de zaman oransal kontrol formu anlatılmaktadır. Şöyle ki: zaman oransalda X_p parametresi olarak bir oransal band saptanır. Ayrıca X_t parametresi olarak bir periyod saptanır. Kontrol cihazı set edilen değere geldiğinde seçilen X_p oransal band içinde yine seçilen X_t periyodunun % 50’sinde sisteme enerji verir, diğer % 50’sinde enerjiyi keser. Yani tüm set değerlerinde enerji % 50 olarak yüke sürülür. Şekil 3.3’de A noktası. Sistemde set değerinin üzerine doğru yükseltilecek olur ise enerjinin giderek kısılması başlar yani sisteme daha az enerji verilir. Aynı X_p oransal bandda ayarlanan X_t periyodunun küçük bir aralığında enerji yüklenir. B noktası örnek gösterilebilir. Sistem set değerinin altına düşecek olur ise bu takdirde daha çok süreli enerji verilmelidir. Bu işlem yine aynı X_p ve X_t parametreleri için de otomatik olarak yapılır. Örneğin C noktasında ayarlanan X_t periyodunun daha uzun süresinde sisteme enerji verilir. K-1 ve K-2 noktaları alt ve üst limitlerdir. Bu limitler arası seçilen X_p oransal banddır. K-1’in altında sisteme enerji %100 verilir, K2’nin üstünde enerji komple kesilir. Arzu edilen bir kontrol sağlanabilmesi için X_p ve X_t ayarları iyi yapılmalıdır.



Şekil 3.3= Zaman Oransal kontrol formu

3.2 P, I, D KONTROL PARAMETRELERİNİN AYARLANMASI

Oransal kontrol cihazları içinde en gelişmiş olanı PID denetim parametrelerine sahip olanıdır. Üretilen cihazlar içinde yeralan gerek konvansiyonel cihazlar ve gerekse mikroişlemci donanımlı PID cihazlarının ayarlanmasında aşağıdaki yöntem kullanılabilir.

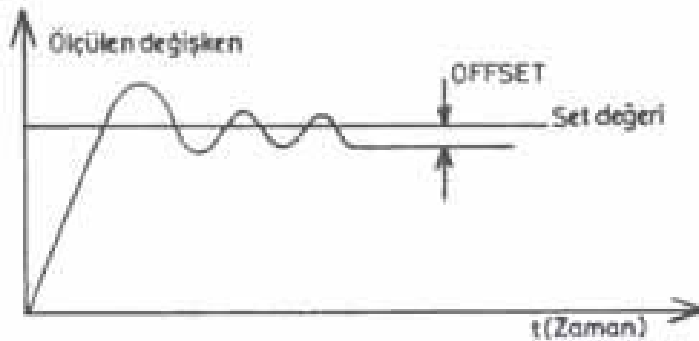
Esas amacı ayar değeri (SET POINT) ile ölçü değeri (MEASUREMENT) arasındaki hatayı sıfıra indirmek ve bu sayede istenilen değere (CONTROLLED VARIABLE) ulaşmak olan bu tür kontrol cihazları, P, I, D parametrelerinin uygun bir şekilde ayarlamaları sayesinde kontrol edilen değişkenin ayar değerine;

- a) Minimum zamanda
- b) Minimum üst ve alt tepe değerleri (overshoot ve undershoot)’ndan geçerek ulaşmasını sağlar.

Burada kısaca P, I ve D olarak adlandırılan parametreler İngilizce karşılıkları olan (P)roportional, (I)ntegral ve (D)erivative kelimelerinin baş harfleri olup, sırası ile Oransal-Integral ve Türevsel anlamına gelmektedir.

P diğer adıyla oransal band parametresi kontrol cihazının içinde yeralan denetim mekanizmasının KAZANÇ miktarı ile ters orantısı olan değeridir. $\%PB = 1/K \times 100$ eşitliği ile izah edildiği üzere oransal bandı %20’ye ayarlanmış olan bir kontrol cihazının K (kazancı) 5’tir. Oransal bandın çok aza ayarlandığı cihazlarda kazanç çok büyük olacağından, bu cihazın kontrol ettiği prosesler dengesiz olacak hatta miktarı artı ve eksi yönde gittikçe artan miktarda osilasyona girecektir.

İntegral ve Türevsel parametrelerin söz konusu olmadığı ve sadece P tip kontrol cihazları ile yapılan denetimlerde de dengeye ulaşmak mümkündür. Ancak sadece P’nin aktif olduğu bu tür kontrol sistemlerinde az da olsa set değeri ile kontrol edilen değer (ölçüm değeri) arasında sıfırdan farklı + veya - değerlerde ve SIFIRA indirilemeyen bir değer söz konusu olup, bu değere otomatik kontrol terminolojisinde OFFSET adı verilmektedir.

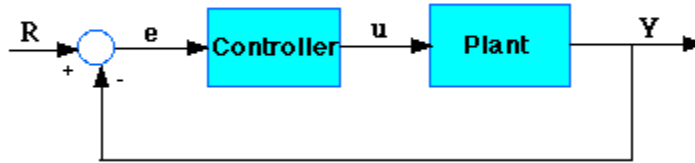


Şekil 3.4= Reaksiyon eğrisi

Sadece P ile kontrol edilen böyle bir sisteme I'nın (İntegral etkinin) ilavesi off-seti ortadan kaldırmaya yöneliktir. Diğer bir değişle P+I türündeki bir kontrol cihazı ile denetlenen bir proseste normal şartlar altında OTURMA sonuçlandıktan sonra OFFSET oluşması söz konusu değildir.

Bununla beraber İntegral zamanın (I) çok kısa olması, prosessin osilasyona girmesine neden olabilecektir. P+I denetim mekanizmasına D (Türevsel) etkinin ilavesi ise SET DEĞERİNE ulaşmak için geçen zamanı kısaltmaya yaramaktadır.

Burada oransal (P), integral (I) ve türevsel (D) denetleyicilerin her birinin karakteristiklerini ve istenilen tepkiyi bulmakta nasıl kullanıldıklarını inceleyeceğiz. İşlemlerimizde aşağıdaki geri beslemeli sistemi tercih edeceğiz.



Şekil 3.5

Plant: kontrol edilecek sistem

Denetleyici; Plant için uyarı sağlar; sistem davranışı denetlemek için tasarlanmıştır.

3.2.1 Üç Terimli Denetleyici

PID denetleyicinin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_p s^2 + K_i + K_d s^3}{s}$$

- K_p = Oransal kazanç
- K_i = İntegral kazancı
- K_d = Türevsel kazanç

Yukarıdaki şemadaki kapalı döngülü sistem kullanılmış PID denetleyicinin nasıl çalıştığını inceleyelim. Değişken (e) izleme hatasını, istenilen giriş değeri (R) ile gerçek çıkış değeri (Y) arasındaki farkı gösterir. Bu (e) hata sinyali PID denetleyiciye gönderir ve denetleyici bu hata sinyalinin hem türevini hem de integralini hesaplar. Sadece denetleyiciden geçen (u) sinyali, oransal kazanç (K_p) ile hata değeri, integral kazancı (K_i) ile hatanın integrali, türevsel kazanç (K_d) ile hatanın türevi çarpımlarının toplamına eşittir.

$$u = K_p e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt}$$

Bu (u) sinyali denetlenen sisteme gönderilir ve yeni çıkış (y) elde edilmiş olur. Bu (y) çıkış sinyali algılayıcıya geri gönderilerek yeni hata sinyali (e) bulunur. Denetleyici yeni hata sinyaline aynı işlemleri uygular ve bu işlem böyle devam eder.

3.2.2 P, I ve Denetleyicilerin karakteristikleri:

Oransal denetleyicilerin (K_p), yükselme zamanını azaltmada etkisi vardır ve azaltır, ama asla tamamen yok etmez (kararlı hal hatası). İntegral denetleyicinin (K_i) kararlı hal hatasının çıkarılmasında etkisi vardır ancak bu geçici tepkinin daha kötü olmasına sebep olabilir. Türevsel denetleyicinin (K_d) sistemin kararlılığının artmasında etkisi vardır, aşmayı azaltır ve geçici tepkiyi düzeltir. Kapalı döngülü bir sistemde, her bir denetleyicinin etkisi K_p , K_d ve K_i aşağıdaki tabloda özet olarak gösterilmiştir.

CL TEPKİSİ	YÜKSELME ZAMANI	AŞMA	YERLEŞME ZAMANI	S-S HATASI
K_p	Azalır	Artar	Az Değişir	Azalır
K_i	Azalır	Artar	Artar	Yok olur
K_d	Az Değişir	Azalır	Azalır	Az Değişir

Tablo 1

Unutmamalı ki bu düzeltmeler tam olarak geçerli değildir. Çünkü K_p , K_i ve K_d birbirlerine bağımlıdır. Yani değişkenlerden birinin değişimi diğer ikisinin etkisini değiştirebilir. Bu yüzden tablo K_i , K_p ve K_d değerlerinin belirlenmesinde sadece bir referanstır.

3.3 OPTİMUM PERFORMANS İÇİN P, I, D PARAMERELERİNİN AYARLANMASI

Bu konuda detaya girmeden önce önemli bir noktaya temas etmek yerinde olacaktır. Biraz sonra aşağıda verilen ayar yöntemleri her türlü proses için aynı olmakla birlikte gereken oturma zamanı, gerek reaksiyon zamanı ve gerekse de üst ve alt salınımların optimum değerleri doğal olarak prosesden prosese değişiklik göstereceğinden her proses için ortaya çıkacak olan P, I, D değerleri de doğal olarak birbirinden farklı olacaktır.

Diğer bir deyişle herhangi bir SICAKLIK PROSESİ için ayarlanmış bulunan P, I, D parametreleri bir BASINÇ PROSESİ için uygun olmayabilir.

Ancak daha önce ayarlanarak optimum değerleri tespit edilmiş bulunan PID parametreleri birbirine benzeyen proseslerde ufak-tefek değişikliklerle kullanılabilir.

PID parametreleri ilk kez devreye alma esnasında optimum kontrol için ayarlanmaları gerekli olan değerler olup, cihazın bu değerlere ayarlanmasını takiben bir daha gerekmedikçe (işletme mühendisleri daha farklı bir uygulama için fikir değiştirmedikçe) değiştirilmeleri söz konusu değildir.

Bu şekilde hesaplanıp ayarlanmış bulunan parametreler ilk devreye alma işlemini takiben **ÖLÇÜM DEĞERİ SET DEĞERİNİ YAKALAMIŞKEN** etkilerini;

i) ya set değerinin ihtiyaca göre eksi veya artı yönde değiştirilmesi

ii) ya da kontrol edilen parametrede prosesten kaynaklanan ani etkilerin varolması sırasında gösterilecektir.

Aşağıda açıklanan ayar yöntemi oldukça basit ve en pratik olanıdır. Yöntemin tatbiki sırasında ayarı yapan kişinin proses hakkındaki bilgi ve yorumları şüphesiz ayarlamamanın daha kısa ve az deneme yanılmaya yol açarak sonuçlanmasında etken olacaktır.

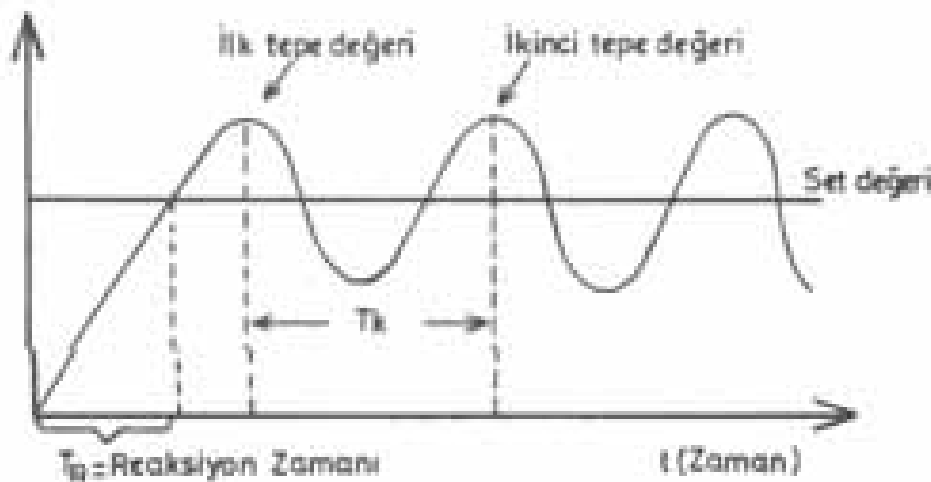
Ayarlama işlemine başlamadan önce sisteminizin olası üst ve alt sapmalarda herhangi bir problem çıkarp çıkarmayacağından emin olunmalıdır. Örneğin 0-100 Bar'lık basınç kontrol sisteminin kontrolüne yönelik bir sistemde bu ayarı yaparken denemeler sırasında basıncın ayar değeri olan (örnek olarak 50 Bar) miktardan 100 Bar'a veya 0 Bar'a kadar yükselip alçalması eğer sisteme **ZARAR VERECEKSE** bu durumda daha önce bilinen (varsa) PID değerleri ile başlamak yerinde olacaktır.

ilk olarak P %100'e, I maksimuma (OFF) ve D minimuma (OFF) getirilmelidir.

Bu durumda cihaz integral ve türevsel etkiden yoksun olarak sadece oransal cihaz olarak çalışacaktır.

Yukarıdaki örneğimizden yola çıkarak **SET DEĞERİNİ** de arzu ettiğimiz bir değere 50 Bar'a ayarlayıp bu işlemleri takiben cihaz **OTOMATİK KONUMDA** devreye alınır. Cihaz çalışır çalışmaz kontrol cihazı sistemin basıncını o anda var olan değerden (başlangıçta sistemin basıncının 0=Sıfır olduğunu varsayalım) itibaren arttırmaya başlayacaktır.

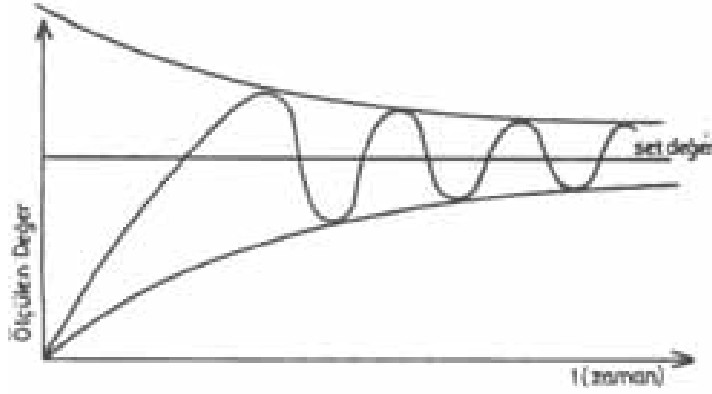
Sistemin devreye alındığı andan **AYAR DEĞERİ'ne** ulaşmasına kadar geçen zaman çok önemlidir. (Bak. Şekil 3.6)



Şekil 3.6= Tk ve Tr'nin tanımı.

Bu zaman, sistemin REAKSİYON ZAMANIDIR. Bu değer ileriki safhalarda beklenilmesi gereken zaman olarak dikkate alınmalıdır.

Eğer Şekil 3.7'teki gibi gittikçe azalan bir salınım (osilasyon) izleniyorsa bu durumda P' 'yi %20 kadar azaltarak yine salınım izlenmelidir.



Şekil 3.7 = Azalan salınım reaksiyon eğrisi.

İzleme işlemi varsa bir kayıt cihazı ile yoksa zamana karşılık izlenen değerleri kağıda yazmak sureti ile yapılabilir. Yukarıda belirtilen %20'lik azaltmalara, Şekil 2.2'deki sabit salımlara erişinceye kadar devam edip sistemin Şekil 2.2'de görünen SABİT GENLİKLİ OSİLYON'a girdiği değer PROSESİN KRİTİK NOKTASI olup ilk iki üst tepe değeri ile ikinci üst tepe değeri arasındaki ZAMAN salınım zamanıdır. Zaman sn cinsinden hesaplanmaktadır.

Bu tespitle birlikte ayarlamalar için gerekli doneler elde edilmiş olmaktadır. Sabit Genlikli Osilasyonu yakalamış olan P değeri P_k değeri olarak ayrıca not edilir.

Bundan sonra;

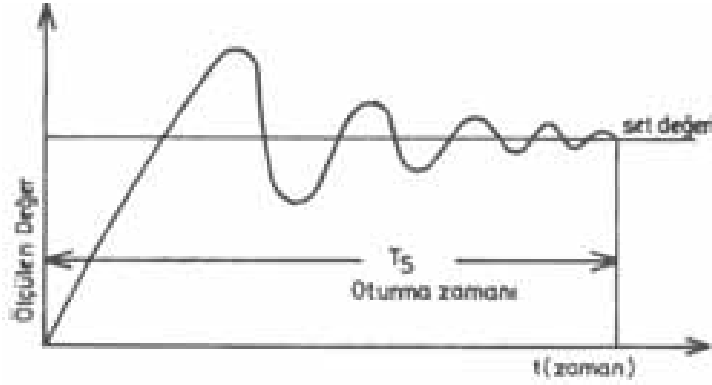
P' 'yi 1.6 P_k 'ya (PID veya PD tip kontrol cihazlarında)
2.2 P_k 'ya (PI tip kontrol cihazlarında)
2.0 P_k 'ya (Sadece P tip kontrol cihazlarında)

I' 'yi $T_k/2$ 'ye (PID tip kontrol cihazlarında)
 $T_k/1.2$ 'ye (PI tip kontrol cihazlarında)

D' 'yi $T_k/8$ 'e (PID tip kontrol cihazlarında)
 $T_k/12$ 'ye (PD tip kontrol cihazlarında)
ayarlanır.

Bu değerlerin de cihaza set edilmelerini takiben kontrol cihazının optimum performansla çalışması mümkün olacaktır. Eğer isteniyorsa bu değerler ince ayar amacı ile bir miktar reaksiyonları incelenerek artırılıp azaltılabilir. Bu şekilde ayarlanmış bulunan sistemin Şekil 3.8'deki salınım dizisi ile SET DEĞERİNE OTURACAKTIR.

Bu süreye T_s =Oturma zamanı denilmekte olup, sistemden sisteme yarım saatten 5-6 saate kadar uzun olabilmektedir.



Şekil 3.8= Set değerine oturma zamanı

Oturma gerçekleşikten sonra gerek set değerinde yapılan bir değişiklik, gerekse de sistemde oluşan ani dengesizlikler sonucu ortaya çıkan bozucu etkenler (DISTURBANCES) nedeni ile denetim mekanizması tekrar devreye girecek, ölçü değerini ayar değerine oturtmak üzere harekete geçecektir.

Herhangi bir nedenle sistemin durdurulması veya ilk parametrelerinin tespitinden sonra sistemin işletmeye alınması esnasında ölçü değerini set değerine minimum zamanda getirmek için kullanılan diğer bir imkân da KONTROL CİHAZLARININ KENDİ ÜZERLERİNDE BULUNAN VEYA AYRI OLARAK KULLANILAN OTO/MANUEL İSTASYONDUR.

Bu istasyon OTO'da iken kumanda tamamen otomatik olarak kontrol cihazında, MANUEL'de iken ise OPERATÖRÜN denetimindedir. Manuel konuma alınmış bir kontrol cihazında ölçü değerini set değerine getirmek için, operatör bir taraftan cihaz göstergesinde ölçü değerini izlerken öte yandan da nihai kontrol elemanını (Servomotorlu vana, Pnömatik vana, Damper sürücü v.b.) yavaş yavaş açmak veya kapatmak sureti ile tamamen kendi kontrolunda sistemi SET değerine oturtabilecektir.

Doğal olarak OTOMATİK KONUMDA çok daha uzun sürebilecek bu işlem MANUEL müdahale ile MİNİMUM SÜREDE yapılmış olacaktır.

Sistem, istenilen değerde ve CİHAZ MANUEL KUMANDA'da iken artık yapılacak tek şey sistemi OTO TUŞUNA BASARAK otomatik kumandaya almaktır.

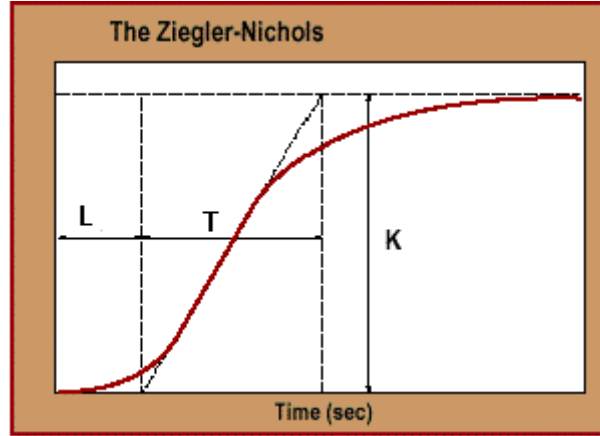
Artık sistemi kontrol eden KONTROL CİHAZI olup, proseste oluşan değişikliklerde SET EDİLMİŞ BULUNAN P, I, D parametrelerinin etkisi altında gerekli reaksiyonu gösterip tekrar ölçü değerini set değerine oturtacaktır.

3.3.1 Ziegler-Nichols metodu

Başka bir yöntemde:

Elle ayarlama veya parametrelerin hesaplanması (Ziegler-Nichols metodu).

1- Sistemin açık çevrim step cevabında aşağıdaki değerler hesaplanır.



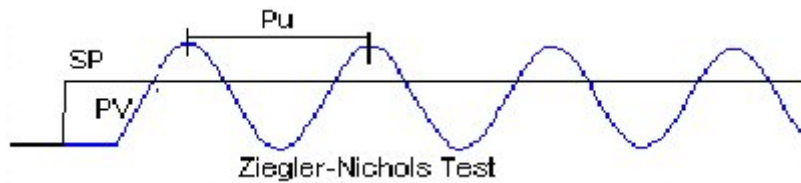
Şekil 3.9

$$G(s) = \frac{K}{s} \cdot e^{-Ls} \quad T_c = 4 \cdot L$$

$$R = K \cdot L \quad K_c = \frac{2}{m \cdot L}$$

Controller	K	T_i	T_d	T_p
P	$0.5K_c$			T_c
PI	$0.45K_c$	$0.83 T_c$		$1.4 T_c$
PID	$0.6K_c$	$0.5 T_c$	$0.125 T_c$	$0.85 T_c$

2- PID kontrolörün I,D katsayıları 0 yapılır. P sistem osilasyona gidene kadar yavaş yavaş artırılır. Sistemin osilasyona gittiği andaki P değerine K_u , osilasyon frekansına P_u dersek



	K_c	t_I	t_D
P control	$K_u/2$		
PI control	$K_u/2.2$	$P_u/1.2$	
PID control	$K_u/1.7$	$2/P_u$	$P_u/8$

3.4 Zaman Oransal Kontrolde Xp ve Xt'nin Ayarlanması

Zaman oransal kontrol cihazlarında Xp .= Oransal band Xt= Açma-Kapama periyodudur. Bu parametrelerin iyi ayarlanması sonucu osilasyon minimuma inecek ve istenilen set değerinde dar bir bandda çalışılacaktır.

a) Oransal Band ayarı (Xp) = Oransal band sisteminin ayar noktası etrafında oransal olarak kontrol edildiği banddır. Örneğin 400 °C skalalı bir cihazda % 10 band şu anlama gelir. Ayarlanan nokta etrafında ± 20 °C'lık ($400/100 \times 10 = 40$ °C) bir bandı tanımlar. Bu durum da cihaz bu band içinde ayarlanan nokta ile sistemin bulunduğu nokta arasındaki hata ile orantılı olarak, hata (-) ise zamanın çoğunda açık, azında kapalı, hata (+) ise zamanının azında açık, çoğunda kapalı durumuna geçecek ve hata sıfır olduğunda ise zamanın %50'sinde açık, %50'sinde kapalı olacak şekilde hata ile açık-kapalı zamanlarını doğru orantılı olarak ayarlar.

Osilasyonu minimuma indirmek ve düzgün bir kontrol elde edilmek istenirse oransal band oldukça büyük seçilmelidir. Ancak her sistem belli bir noktada çalışması için dizayn edilir ve bu noktada sisteme %50 güç verildiğinde sistem sabit kalır, fakat bu nokta dışında %50 güçte sistem ayarlanan noktanın ya altında veya üstünde bir noktaya oturacak ve belli bir hata olacaktır. Bu hata oransal band daraltılarak giderilebilir veya minimuma indirilebilir. Oransal bandın sıfır olması bildiğimiz açık-kapalı kontrole karşı gelecektir ki bu da sistemin osilasyonda olması demek olduğundan eğer oransal kontrol seçiliyorsa arzu edilen bir durum değildir.

Bu durumda oransal bandın seçiminde özet olarak şöyle davranılabilir. Eğer sistem dizayn edildiği noktada çalışıyorsa bu band maksimum seçilmelidir ve bu noktadan uzaklaşıldıkça oransal band da sıfır olmamak kaydıyla orantılı olarak daraltılmalıdır.

Diğer bir husus ise oransal band geniş seçildiğinde sistem daha yavaş oturacaktır, eğer bu bir dezavantaj sayılıyorsa bandı daraltmak düşünülebilir, bu durumda sistem oldukça hızlı oturacak fakat ilk başta bir osilasyon, üst tepe değeri olacaktır. Oransal bandın ayarlanması ile ilgili olarak bir önceki bölümde anlatılan bilgilerden de istifade edilebilir.

b) Açma-Kapama periyodunun ayarı (Xt)=Zaman oransal bu tip kontrol formunda açık-kapalı oranı belli bir zaman diliminde değiştirilir, işte bu zaman dilimi de Xt zaman ayarı ile yapılır. Kontrolde istenilen amaca ulaşmak için bu ayar şöyle yapılabilir;

Zaman oransal kontrolün açma kapama periyodunu minimumda tutmak en iyi kontrolü sağlayacaktır, böylece sistemin gidişi yani hatadaki değişme çok kısa zaman aralıklarında gözlenip buna göre yeni bir açık-kapalı oran seçilecektir. Açma-kapama periyodunun minimum olması cihaz rölesinin dolayısı ile buna bağlı kontaktörün çok fazla açıp-kapaması demektir. Şöyle ki Xt=20sn seçildiğinde röle 10 sn'de bir açıp kapayacaktır. Bu durum röle veya kontaktörlü sistemlerde sistemin ömrünü

kısalttığından istenilen bir durum değildir. Bu durumda X_t zamanı sistem için mümkün olan en yüksek değerde seçilebilir. Bu da çok kolay olarak şöyle ayarlanabilir. Sistemin ısınma ve soğuma eğrilerinden $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik bir artışın ne kadar zamanda (t_1) olduğu ve $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik soğumanın ne kadar zamanda (t_2) olduğu okunabilir veya gözlemlenebilir ve bunlardan küçük olanı X_t 'nin maksimum değeri olarak saptanır.

Örnek = $t_1 < t_2$ ise $X_t \leq t_1$ saptanabilir. Eğer X_t zamanı bu maksimumdan daha büyük seçilirse sistemde osilasyonlar olacak veya çok büyük seçildiğinde ise kontrol tamamen kaybolacaktır. Çok sık olarak plastik, lastik sanayinde kullanılan bu tür cihazlarda kabaca $X_p = \%5$ ve $X_t = 25\text{sn}$ seçilebilir.

3.4.1 E - 244 SERİSİ YÜZER KONTROL CİHAZLARDA X_p X_t 'nin AYARLANMASI

Bu seri cihazlar özellikle servomotor ile kontrol edilen sistemler için tasarımılanmış, arada sürücü gerektirmeden servomotor doğrudan bağlanabilen cihazlardır. Bu seri cihazlarda kontrol noktaları diğer sayısal kontrol cihazlarımızda olduğu gibi LED göstergede kolay ve hassas olarak ayarlanır. Kontrol noktaları tüm skala boyunca ayarlanabilir. Bu özellik cihazlarda kontrol noktalarının ALT ve ÜST olarak belirlenmiş olmasına rağmen kullanıcının uygulamasına uygun şekilde kullanımını sağlar. E-244 seri cihazları sadece yüzer kontrol sağlarlar.

Mikroşlemci donanımlı olan bu cihazlarda X_p ve X_t , cihaz ön yüzünden programlanabilir.

X_p ve X_t en küçük değere getirilir. Bu durumda cihaz on-off (açık-kapalı) kontrol formunda çalışır. Sıcaklık değeri göstergeden izlenir. Minimum ve maksimum sıcaklık değerleri arasındaki fark sıcaklık, çalışılabilecek X_p oransal band kabul edilebilir. En fazla sapma değeri için geçen süre X_t olarak kabul edilir ve set değerleri buna göre ayarlanır. Reaksiyon eğrisi incelenir, gerekli düzeltmeler yapılır. Cihaz çalışmaya başladıktan sonra eğer sıcaklık istenilen değer altındadır ise, açma bobini aralıklarla enerjilenecektir. Eğer sıcaklık istenilen değer üstündedir ise kapama bobini aralıklarla enerjilenecektir.

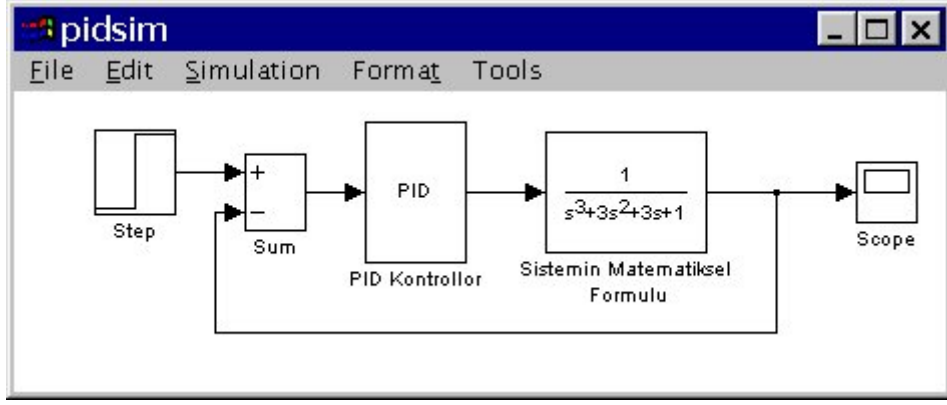
4.0 PID Örnekler

PID kontrol her alanda kullanılması nedeniyle bir çok örnekleri vardır. Burada sistemin kendisine uygulama yerine simulasyon örneklerini bulabilirsiniz.

4.1 Örnek 1:

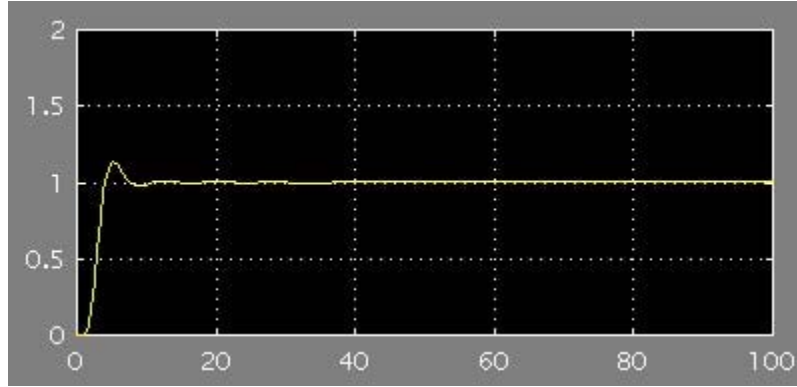
Matematiksel modeli aşağıdaki gibi olan bir sistem için Matlab ile simulasyonunun yapılması

$$G(s) = \frac{1}{(s + 1)^3}$$



Şekil 4.1 = Simulasyon

Burada PID parametreleri değiştirilerek simulasyonu çalıştırırsak sistem davranışını Scope ile aşağıdaki gibi görebiliriz.



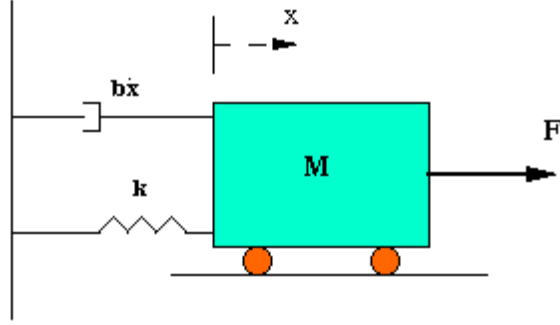
Şekil 4.2 = Scope ekranı

Uygun PID parametrelerini bulmak için sisteme Ziegler Nichols yöntemini uygulayalım. Bunun için PID'nin I ve D parametrelerini 0 yapılarak P katsayısı sistem osilasyon yapana kadar yavaş yavaş artırılır. Şekildeki sistem için bu $P=8$ de gerçekleşmektedir. Osilasyon anındaki kazanca K_u osilasyon zaman aralığına P_u diyelim. Burada K_u 3.2 P_u ise yaklaşık 4 birim zamandır. Ziegler-Nichols yönteminden PID parametrelerini yeniden hesaplırsak aşağıdaki değerler elde edilir:

$$P = K_u / 1.7 = 1.92 \quad I = 2 / P_u = 0.5 \quad D = P_u / 8 = 0.5$$

4.2 Örnek 2:

Basit bir kütle, yay ve tampondan oluşan bir problemimiz olduğunu varsayalım..



Bu sistemin model denklemi;

$$M\ddot{x} + b\dot{x} + kx = F$$

Yukarıdaki denklemin laplace dönüşümünü alırsak;

$$Ms^2X(s) + bsX(s) + kX(s) = F(s)$$

$$Ms^2X(s) + bsX(s) + kX(s) = F(s)$$

Yer değişim $X(s)$ ve giriş $F(s)$ arasındaki transfer fonksiyonu

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + bs + k}$$

olur.

- $M = 1\text{ kg}$
- $b = 10\text{ N.s/m}$
- $k = 20\text{ N/m}$
- $F(s) = 1$

olarak alıp değerleri yerine koyduğumuzda transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{s^2 + 10s + 20}$$

Bu problemin amacı K_p , K_i ve K_d 'nin her birinin hızlı yükselme zamanı, minimum aşma ve hatasız kararlı hal elde etmedeki faydalarını görmektir.

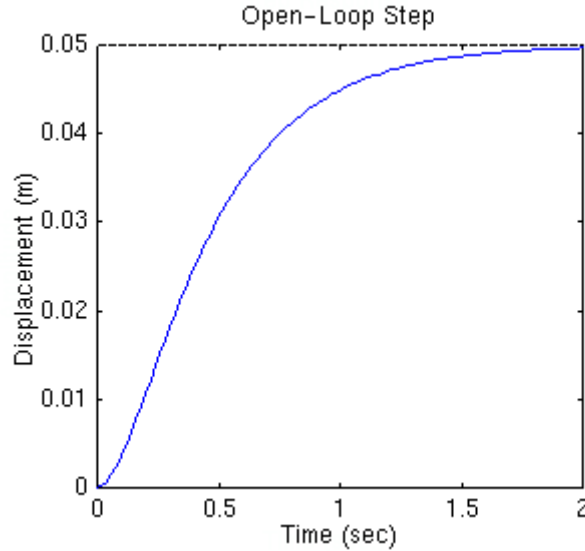
- Hızlı yükselme zamanı
- Minimum aşma
- Kararlı hal elde etme

4.2.1 Açık Döngü Adım Tepkisi

İlk önce açık döngü adım tepkisini Matlab komutları ile ifade edelim.

```
num=1;  
den=[1 10 20];  
step(num,den)
```

Bu m-kütük'ün Matlab komutlarıyla çalıştırılmasıyla aşağıdaki grafik elde edilir.



Denetlenen sisteme ait transfer fonksiyonunun DC kazancı $1/20$ 'dir, bu yüzden birim basamak girişi uygulandığında çıkış değeri en yüksek 0,05 olur. Bu kararlı hal hatasının 0,95'i ile uyuşur, yani 1 büyüktür. Ayrıca, yükselme zamanı yaklaşık 1 saniye ve yerleşme zamanı yaklaşık 1,5 saniyedir.

4.2.2 Oransal kontrol

Tablo-1-de oransal denetleyicinin (K_p)yükselme zamanını düşürdüğünü, aşmayı arttırdığını ve kararlı hal hatasını azalttığını görmüştük. Yukarıdaki sistemin oransal denetleyicili kapalı döngü transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

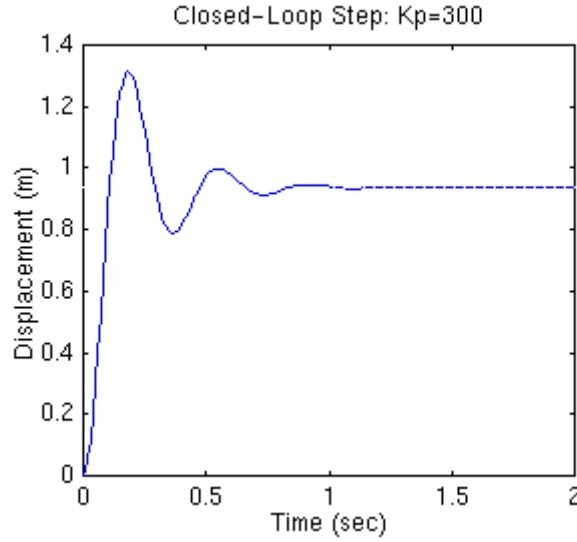
$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_p}{s^2 + 10s + (20 + K_p)}$$

Oransal kazancı (K_p) 300'e eşit kabul edelim ve kütüğü şu şekilde değiştirelim.

```
Kp=300;  
num=[Kp];  
den=[1 10 20+Kp];
```

```
t=0:0.01:2;  
step(num,den,t)
```

Bu kütüğün Matlab komutlarıyla çalıştırılması halinde aşağıdaki grafik elde edilir



NOT: clloop olarak adlandırılan Matlab fonksiyonuyla kapalı döngü transfer fonksiyonu, açık döngü transfer fonksiyonundan direkt olarak elde edilir. Cloop komutunun kullanılmasıyla yukarıdakiyle özdeş bir grafik elde edilir

```
num=1;
den=[1 10 20];
Kp=300;

[numCL,denCL]=clloop(Kp*num,den);
t=0:0.01:2;
step(numCL, denCL,t)
```

Yukarıdaki grafik bize oransal denetleyicinin yükselme zamanını ve kararlı hal hatasını düşürdüğünü, aşmayı arttırdığını ve yerleşme zamanını az bir miktarda düşürdüğünü göstermektedir

4.2.3 Oransal-Türevsel Kontrol

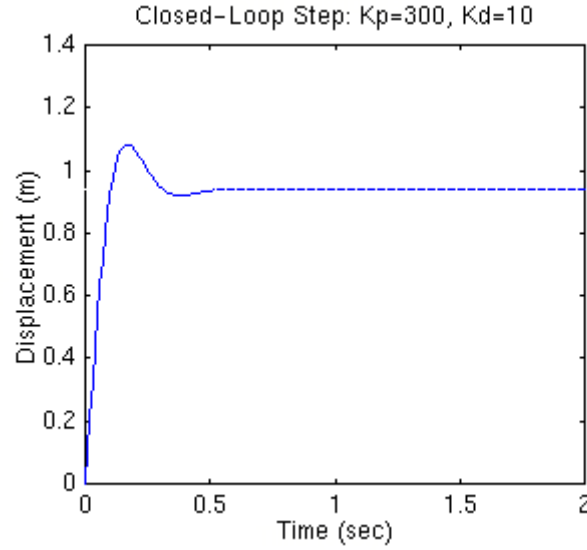
Şimdi PD kontrolü inceleyelim. Tablo-1'e göre türevsel denetleyici (K_D), yerleşme zamanını ve aşmayı azaltır. PD kontrollü bir sistemin kapalı döngü transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_D s + K_P}{s^2 + (10 + K_D)s + (20 + K_P)}$$

K_P 'yi 300 ve K_D 'yi 10 alalım ve m _kütüğü aşağıdaki gibi değiştirelim.

```
Kp=300;
Kd=10;
num=[Kd Kp];
den=[1 10+Kd 20+Kp];

t=0:0.01:2;
step(num,den,t)
```



Yukarıdaki grafiğe göre türevsel denetleyici aşma ve yerleşme zamanını azaltır, yükselme zamanını ve kararlı hal hatasını çok az etkiler.

4.2.4 Oransal-İntegral Denetleyici

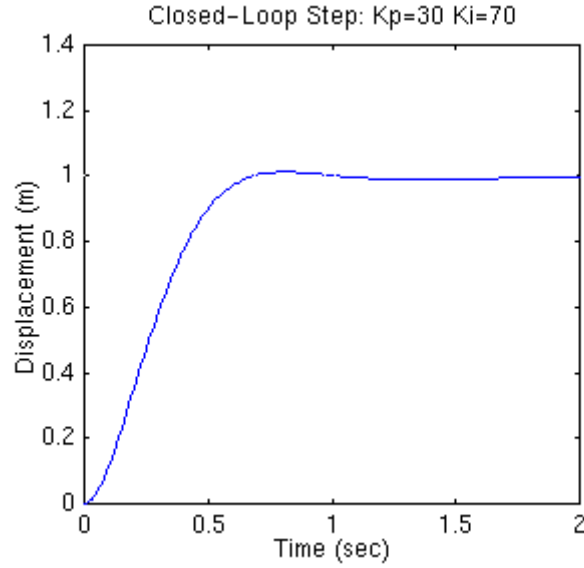
PID denetleyiciye girmeden önce PI denetleyiciyi inceleyelim. tablo-1'e göre integral denetleyici (Ki) yükselme zamanını azaltır, aşma ve yerleşme zamanını arttırır, kararlı hal hatasını yok eder. PI kontrollü bir sistemin kapalı döngü transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_P s + K_I}{s^3 + 10s^2 + (20 + K_P)s + K_I}$$

Kp'yi 30 ve Ki'yi 70 kabul edelim. M_kütükü şu şekilde değiştirelim.

```
Kp=30;
Ki=70;
num=[Kp Ki];
den=[1 10 20+Kp Ki];
t=0:0.01:2;
step(num,den,t)
```

Bu m_kütük Matlab komutlarıyla çalıştırıldığında aşağıdaki grafik elde edilir.



Hem oransal kazanç (K_p) hem de integral denetleyici yükselme zamanını azalttığı, aşmayı arttırdığı için çift etki oluşur. Bu etki integral denetleyicinin kararlı hal hatasını yok ettiğini gösterir.

4.2.5 Oransal-İntegral-Türevsel Denetleyici

Şimdi PID kontrolünü inceleyelim. PID kontrollü bir sistemin kapalı döngü transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

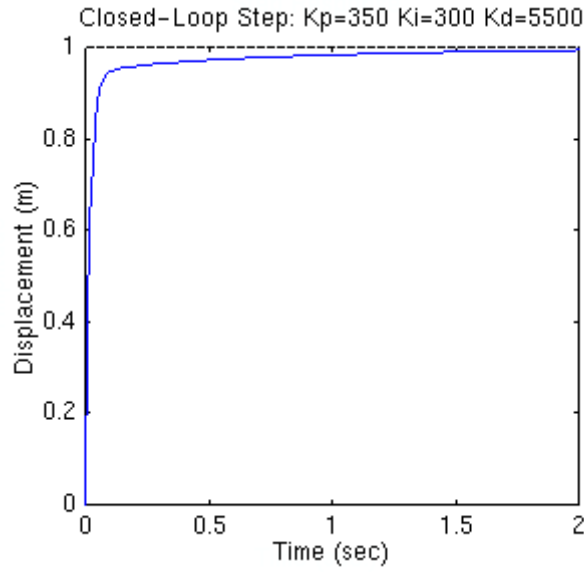
$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s^3 + (10 + K_D)s^2 + (20 + K_P)s + K_I}$$

Birkaç denemeden sonra istenilen tepkiyi elde etmek için kazançları $K_p=350$ $K_i=300$ $K_D=50$ alalım. Bu durumda m_kütük aşağıdaki gibi olur.

```
Kp=350;  
Ki=300;  
Kd=50;
```

```
num=[Kd Kp Ki];  
den=[1 10+Kd 20+Kp Ki];
```

```
t=0:0.01:2;  
step(num,den,t)
```



Bu durumda aşma olmayan, hızlı yükselme zamanına sahip ve kararlı hal hatası olmayan bir sistem elde edilir.

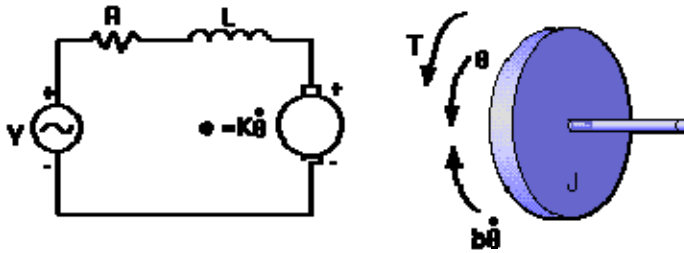
4.3.0

PID tasarım metodu ile DC motor hız kontrolü

Oransal kontrol

PID kontrol

Kazançların ayarı



- * rotor eylemsizlik momenti (J) = $0.01 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$
- * mekanik sistemin sönüm oranı (b) = 0.1 Nms
- * elektromotor kuvvet sabiti ($K=K_e=K_t$) = 0.01 Nm/Amp
- * rezistans (R) = 1 ohm
- * indüktans (L) = 0.5 H
- * giriş (V): kaynak voltajı
- * çıkış(θ): mil durumu
- * rotor ve milin sert olmadığı kabul edilir

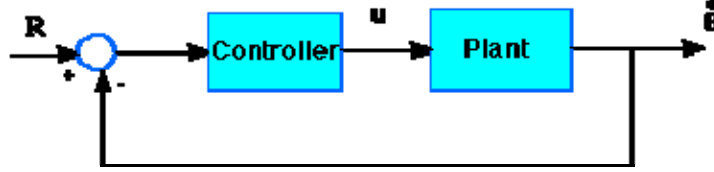
Bu problemde, DC motorun dinamik eşitliği ve açık döngü transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$s(Js + b)\Theta(s) = KI(s)$$

$$(Ls + R)I(s) = V - Ks\Theta(s)$$

$$\frac{\Theta}{V} = \frac{K}{(Js + b)(Ls + R) + K^2}$$

ve sistem şeması şöyledir:



1 rad/sn basamak girişli tasarım kriterleri:

- 2 saniyeden az yerleşme zamanı
- %5'den az aşma
- %1'den az kararlı hal hatası

Şimdi bir PID denetleyici tasarlayalım ve sisteme dahil edelim. İlk önce yeni bir m_kütük oluşturalım.

```
J=0.01;
b=0.1;
K=0.01;
R=1;
L=0.5;
num=K;
den=[(J*L) ((J*R)+(L*b)) ((b*R)+K^2)];
```

PID kontrolü transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_p s^2 + K_i + K_d s^3}{s}$$

4.3.1 Oransal kontrol

İlk önce kazancı 100 olan oransal denetleyici kullanarak inceleyelim. M_kütüğümüzün sonuna aşağıdaki komut dizisini ekleyelim.

```
Kp=100;
numa=Kp*num;
dena=den;
```

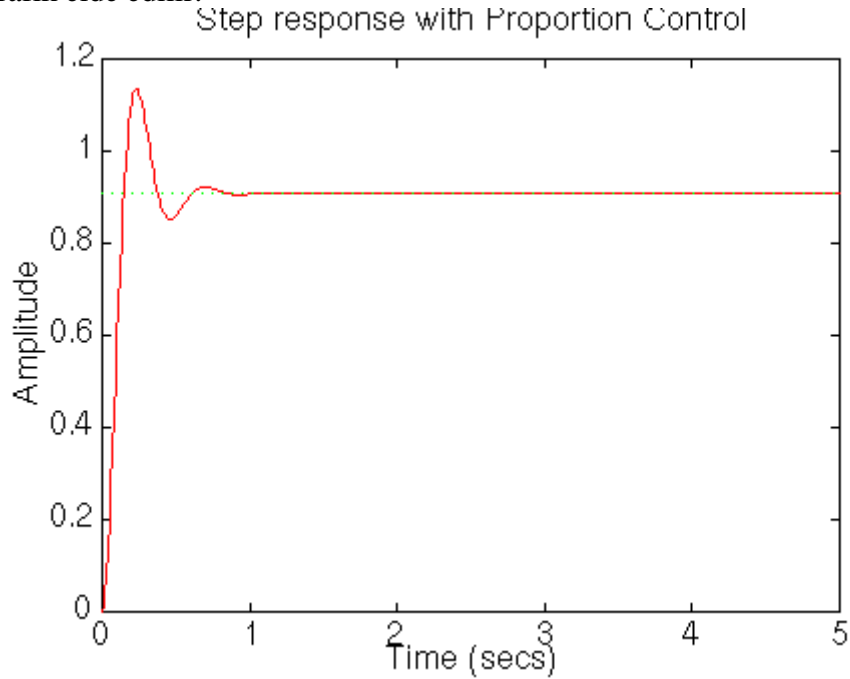
kapalı döngülü transfer fonksiyonunu çözmek için, close komutu kullanılır. Bunu kütüğe aşağıdaki gibi ekleyelim

```
[numac,denac]=close(numa,dena);
```

numac ve denac kapalı döngü transfer fonksiyonu numaratör ve denumaratördür. Şimdi adım tepkisini nasıl göreceğimize bakalım ve bunu aşağıdaki gibi kütüğün sonuna ekleyelim.

```
t=0:0.01:5;  
step(numac,denac,t)  
title('Step response with Proportion Control')
```

aşağıdaki grafik elde edilir.

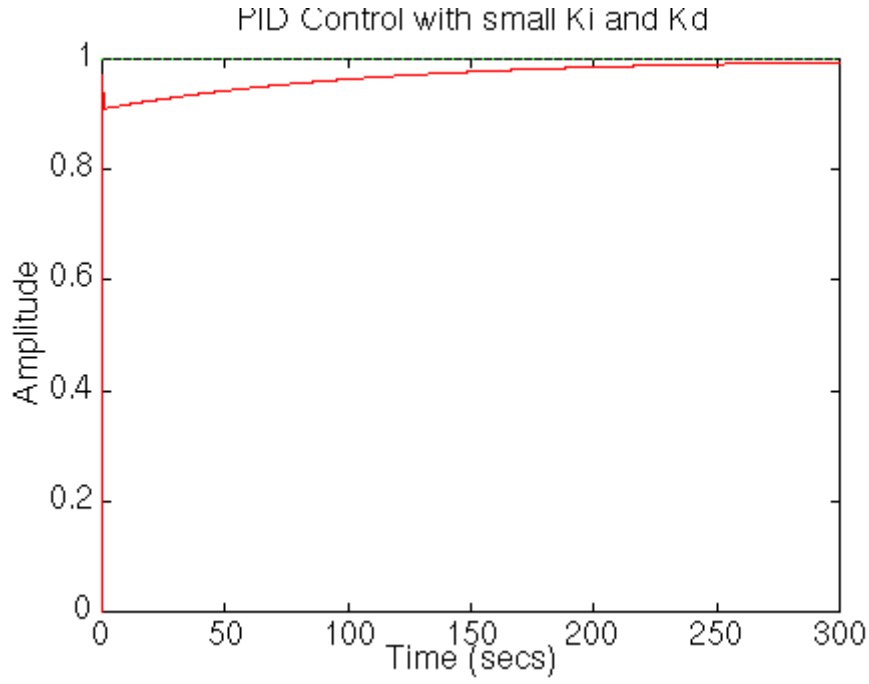


4.3.2 PID kontrol

Yukarıdaki grafikten kararlı hal hatasının ve aşmanın çok büyük olduğu görülür. İntegral halinin eklenmesinin kararlı hal hatasını yok ettiğini ve türev halinin aşmayı azalttığını daha önce görmüştük. Küçük K_i ve K_D 'ye sahip PID denetleyiciyi inceleyelim. kütüğümüzü aşağıdaki gibi değiştirelim. Bu kütük çalıştırıldığında aşağıda verilen grafik elde edilir.

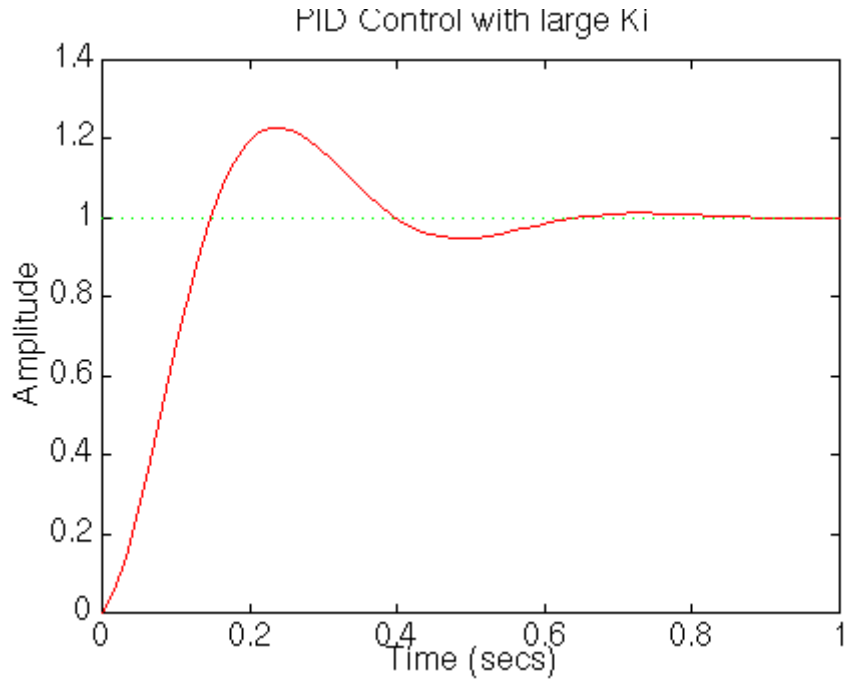
```
J=0.01;  
b=0.1;  
K=0.01;  
R=1;  
L=0.5;  
num=K;  
den=[(J*L) ((J*R)+(L*b)) ((b*R)+K^2)];  
  
Kp=100;  
Ki=1;  
Kd=1;  
numc=[Kd, Kp, Ki];  
denc=[1 0];  
numa=conv(num,numc);  
dena=conv(den,denc);  
[numac,denac]=cloop(numa,dena);  
step(numac,denac)
```

```
title('PID Control with small Ki and Kd')
```

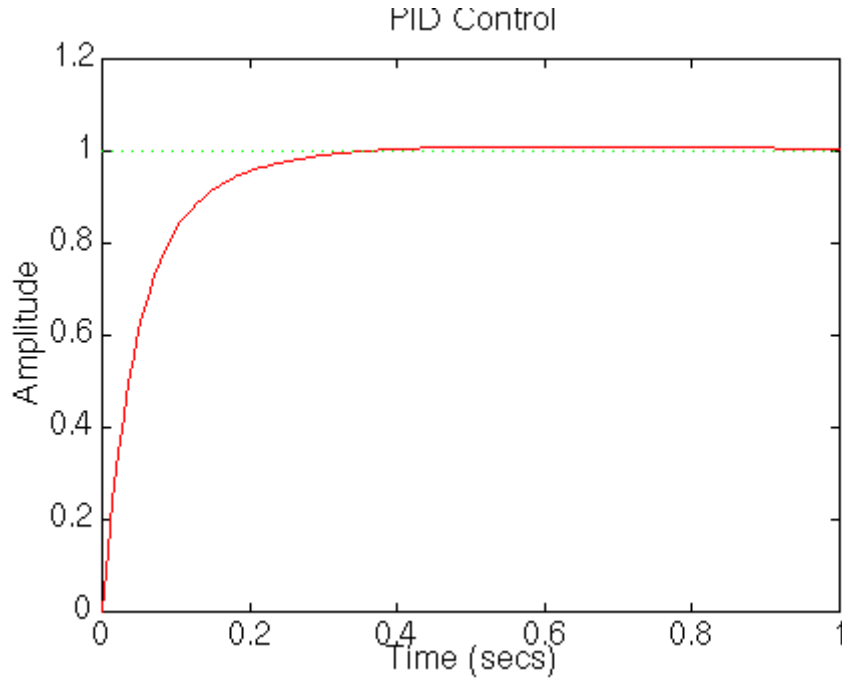


4.3.3 Kazanç ayarı

Yükselme zamanını çok uzun yapalım. Yükselme zamanını azaltmak için K_i 'yi arttıralım. Kütükte K_i 'yi 200 olarak değiştirelim. Bu durumda aşağıdaki grafik elde edilir.



Şimdi etkinin öncesinden daha hızlı ama büyük olduğunu görüyoruz. K_i kötü bir geçici tepkiye sahip olur (büyük aşma). Aşmayı düşürmek için K_D 'yi arttıralım. kütükte K_D 'yi 10 olarak değiştirelim. Bu durumda aşağıdaki grafik elde edilir.



Böylece, $K_p=100$, $K_i=200$, $K_D=10$ alınarak PID denetleyicili tasarım için gereklilikler karşılanmış olur

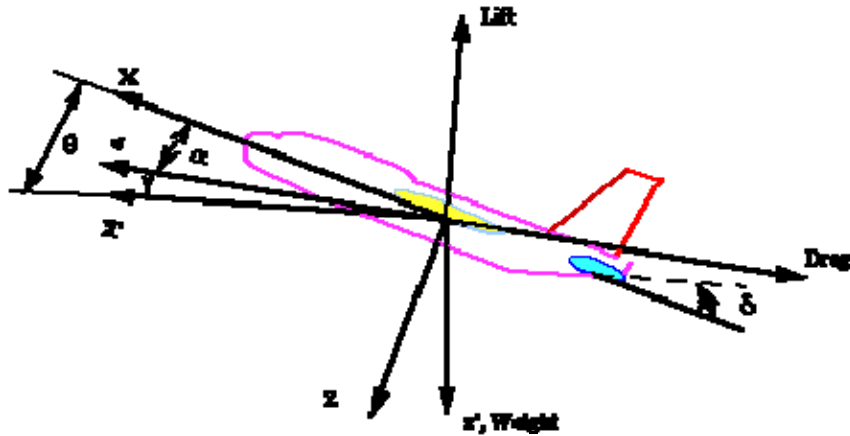
4.4.0

PID Tasarım Metodu ile Yükseklik Denetimi

Oransal kontrol

Oransal-Türevsel kontrol

Oransal-İntegral-Türevsel kontrol



$$\dot{\alpha} = \mu \Omega \alpha [-(C_{L\alpha} + C_{D\alpha}) \alpha + (1/\mu - C_{L\alpha}) q - (C_{w\alpha} \sin \gamma_a) \theta + C_{Lz}]$$

$$\dot{q} = \frac{\mu \Omega}{2 i_{yy}} \{ [C_{M\alpha} - \eta (C_{L\alpha} + C_{D\alpha})] \alpha + [C_{Mq} + \sigma C_{M\alpha} (1 - \mu C_{L\alpha})] q + (\eta C_{w\alpha} \sin \gamma_a) \delta \}$$

$$\dot{\theta} = \Omega q$$

Transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\theta(s)}{\delta(s)} = \frac{1.151s + 0.1774}{s^3 + 0.739s^2 + 0.921s}$$

Giriş (yükseltme sapma açısı, delta e) 0.2 rad (11 derece) ve çıkış adım açısıdır (teta).

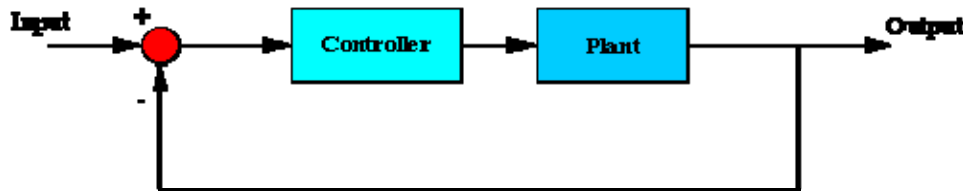
Tasarımda istenilenler:

- Aşma: %10'dan az
- Yükselme zamanı: 2 saniyeden az
- Yerleşme zamanı: 10 saniyeden az
- Kararlı hal hatsı: %2'den az

PID denetleyicinin transfer fonksiyonunun aşağıdaki gibi olduğunu görmüştük.

$$K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_p s^2 + K_i s + K_d}{s}$$

Oransal(K_p), İntegral(K_i), Türevsel(K_d) denetleyicileri tek bir birim olarak aşağıdaki blok diyagramdaki gibi ifade ederiz.



İlk olarak oransal kontrolü inceleyelim.

4.4.1 Oransal Kontrol

Problemin çözümünde PID kontrolü kullanırken ,oransal kontrollü(K_p) kapalı döngü transfer fonksiyonunu bulmak gerekir..Kapalı döngü transfer fonksiyonu clloop adı verilen Matlab komutu ile elde edilir. Buradan kapalı döngü transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\theta(s)}{\delta(s)} = \frac{K_p(1.151s + 0.1774)}{s^3 + 0.739s^2 + (1.151K_p + 0.921)s + 0.1774K_p}$$

Not: Matlab sembolik değişkenlerle iyi kullanılamaz. clloop fonksiyonunun kullanılabilmesi için kapalı döngü transfer fonksiyonuna ait numaratör ve denumaratörün sayısal sabitleri bilinmelidir.

```
Kp=[1]; %Enter any numerical value for the proportional gain
num=[1.151 0.1774];
num1=conv(Kp,num);
den1=[1 0.739 0.921 0];
```

```
[numc,denc]=clloop(num1,den1)
```

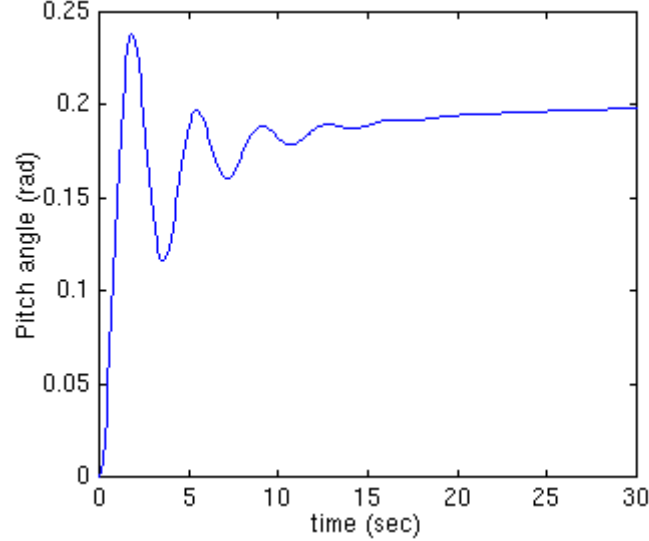
Şimdi oransal kazanç K_p 'yi 2 kabul edelim ve sistem davranışını gözlemleyelim. M-kütüğe Matlab komutlarını yazdığımızda aşağıdaki gibi bir çalışma elde ederiz:

```
de=0.2;
Kp=2;

numc=Kp*[1.151 0.1774];
denc=[1 0.739 1.151*Kp+0.921 0.1774*Kp];

t=0:0.01:30;
step (de*numc,denc,t)
```

Closed-loop step response, Kp=2



Görüldüğü gibi aşmanın ve yerleşme zamanının bazı düzeltmelere ihtiyacı vardır.

4.4.2 PD Kontrol

Daha önce gördüğümüz gibi türevsel denetleyici aşmayı ve yerleşme zamanını düşürür. Şimdi bir PD denetleyiciyi inceleyelim. PD denetleyicili bu sistemin kapalı döngü transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

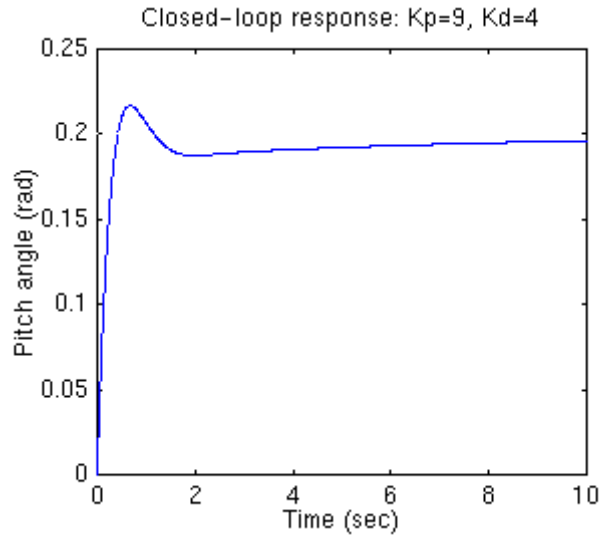
$$\frac{\theta(s)}{\delta(s)} = \frac{1.151K_p s^2 + (1.151K_p + 0.1774K_D)s + 0.1774K_p}{s^3 + (0.739 + 1.151K_D)s^2 + (0.921 + 1.151K_p + 0.1774K_D)s + 0.1774K_p}$$

Aşağıdaki komutlar oransal kazanç (K_p) 9 ve türevsel kazanç (K_D) 4 alındığında uygun olan tepki elde edilir.

```
de=0.2;
Kp=9;
Kd=4;

numc=[1.151*Kd 1.151*Kp+0.1774*Kd 0.1774*Kp];
denc=[1 0.739+1.151*Kd 0.921+1.151*Kp+0.1774*Kd 0.1774*Kp];

t=0:0.01:10;
step (de*numc,denc,t)
```



Bu adım tepkisinde yükselme zamanı 2 saniyeden az, aşma %10'dan az, yerleşme zamanı 10 saniyeden az ve kararlı hal hatası %2'den azdır. Bu durumda bütün tasarım yeterlilikleri sağlanmıştır.

4.4.3 PID Kontrol

PD denetleyiciyle istenilen bütün tasarım yeterlilikleri sağlanmış olmasına rağmen, integral denetleyici ilavesiyle sivri tepeyi azaltmış ve daha düzgün bir tepki elde etmiş oluruz. Oransal kazanç $K_p=2$, integral kazanç $K_i=4$ ve türevsel kazanç $K_D=3$ olduğunda düzgün bir adım tepkisi sağlanmış olur. Komutlar M-kütüğe yazılıp çalıştırıldığında aşağıdaki çalışma elde edilir .

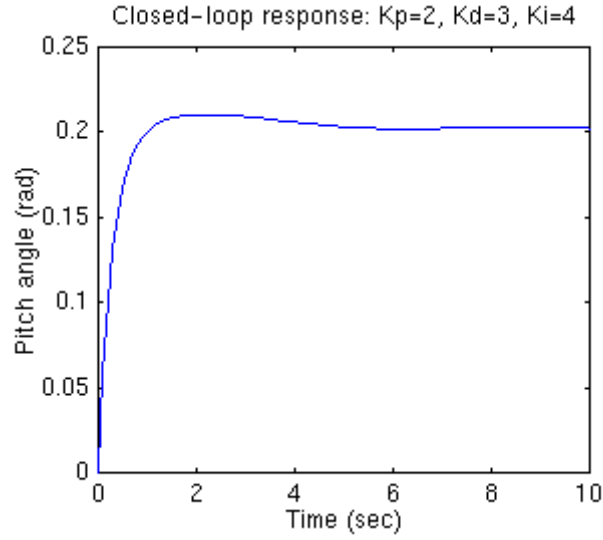
NOT: Burada kapalı döngü transfer fonksiyonunu bulmak için [cloop](#) fonksiyonunu kullanacağız ve adım tepkisini elde edeceğiz.

```
de=0.2;
Kp=2;
Kd=3;
Ki=4;

numo=[1.151 0.1774];
deno=[1 0.739 0.921 0];
numpid=[Kd Kp Ki];
denpid=[1 0];

num1=conv(numo,numpid);
den1=conv(deno,denpid);

[numc,denc] = cloop(num1,den1);
t=0:0.01:10;
step (de*numc,denc,t)
```



AÇIKLAMALAR:

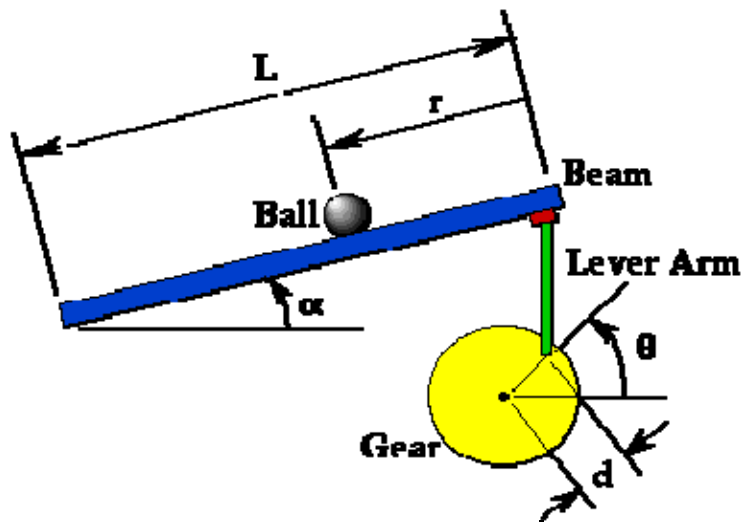
1. Kazançlardan (K_p, K_i, K_D) herhangi biri değiştirildiğinde diğer iki kazanç da değiştirilmelidir.
2. PI denetleyicili sistemimiz istenilen tepkiyi sağlamıyorsa, PI kontrol kısmı ihmal edilebilir. Bunu PID kontrol kısmındaki M-kütükte K_D 'yi sıfır alarak ispatlayabiliriz.

4.5.0 PID kontrolü kullanarak top&kiriş problemlerinin çözümü

Kapalı döngü ifadesi

Oransal kontrol

Oransal-türevsel kontrol



Bu problem için top ve kiriş arasındaki kayma ve sürtünmeyi ihmal edelim. Bu örnek için sabit ve değişkenler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

M	Topun kütlesi	0.11 kg
R	Topun yarıçapı	0.015 m
d	Kaldıraç kolu	0.03 m
g	Yerçekimi ivmesi	9.8 m/s ²
L	Kiriş uzunluğu	1.0 m
J	Topun ivme momenti	9.99e-6 kgm ²
r	Topun pozisyon koordinatları	
alfa	Kiriş koordinat açısı	
teta	servo donanım açısı	

Tasarım kriterleri:

- Yerleşme zamanı 3 saniyeden az
- Aşma %5'den az

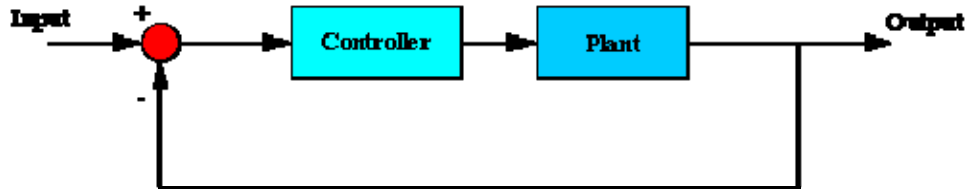
Sistem Denklemleri

Top ve giriş deneyinin açık döngü transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\Theta(s)}{\Theta(s)} = -\frac{mgd}{L\left(\frac{J}{R^2} + m\right)} \frac{1}{s^2}$$

Kapalı döngü ifadesi

Bu örnek için topun pozisyonunun bir denetleyici ve bir birim geri beslemeden oluşan blok diyagramı aşağıda verilmiştir:



İlk olarak yukarıdaki sistemin oransal kontrolünü inceleyelim. daha sonra gerekli ise integral ve/veya türevsel kontrolü incelenir.

PID kontrolü için transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_p s^2 + K_i + K_d s^3}{s}$$

4.5.1 Oransal kontrol

Oransal kazancı (Kp) 100 olan oransal kontrollü sistemin kapalı döngü transfer fonksiyonu , Matlab komutlarıyla aşağıdaki gibi ifade edilir:

```
m = 0.111;
R = 0.015;
```

```

g = -9.8;
L = 1.0;
d = 0.03;
J = 9.99e-6;

K = (m*g*d)/(L*(J/R^2+m)); %simplifies input

num = [-K];
den = [1 0 0];

kp = 1;
numP = kp*num;

[numc, denc] = cloop(numP, den)

```

Numaratör ve denumaratör şöyle olmalıdır:

```

numc =

      0      0  0.2100

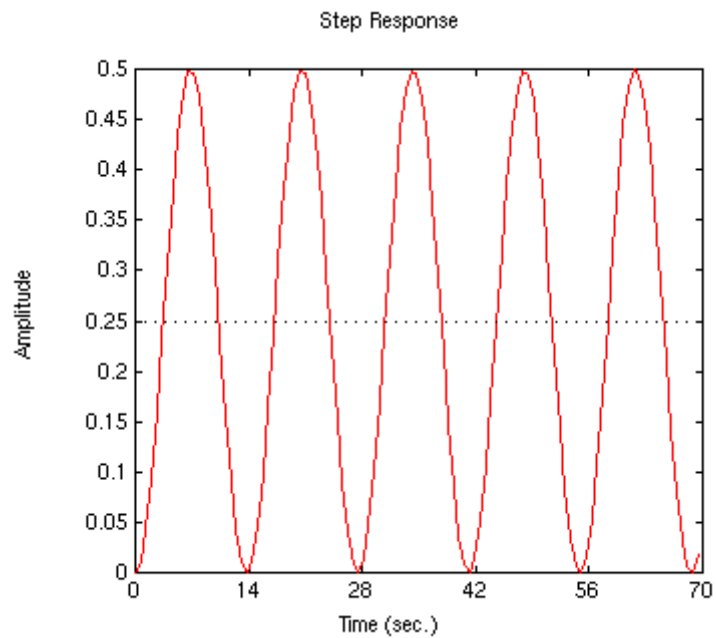
denc =

 1.0000      0  0.2100

```

Sistem tepkisi için adım girişini 0,25m alalım.bunu m_kütüğe ekleyelim .
step(0.25*numc,denc)

Aşağıdaki çıkış elde edilir .



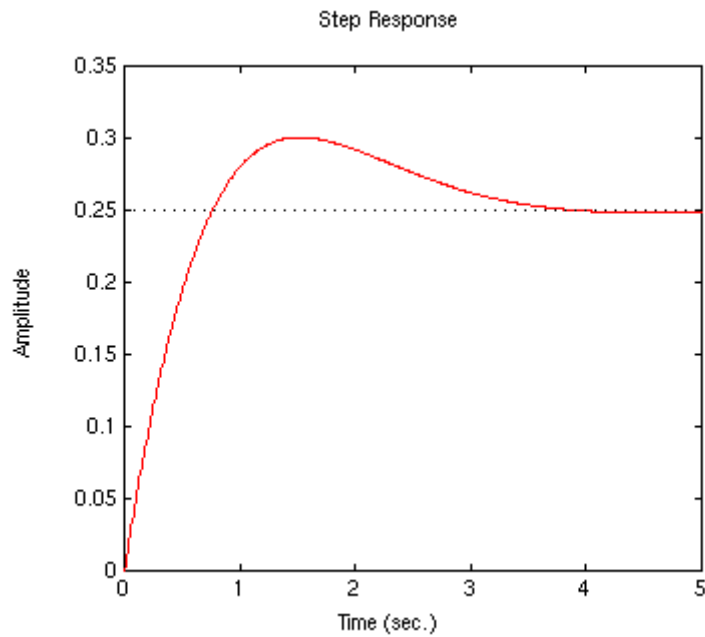
Buradan oransal kazancın sistemi kararlı yapmadığı görülmektedir. Kp için değişik değerler denenir ve sistemin kararsız kaldığına dikkat edilir.

4.5.2 Oransal-Türevsel kontrol

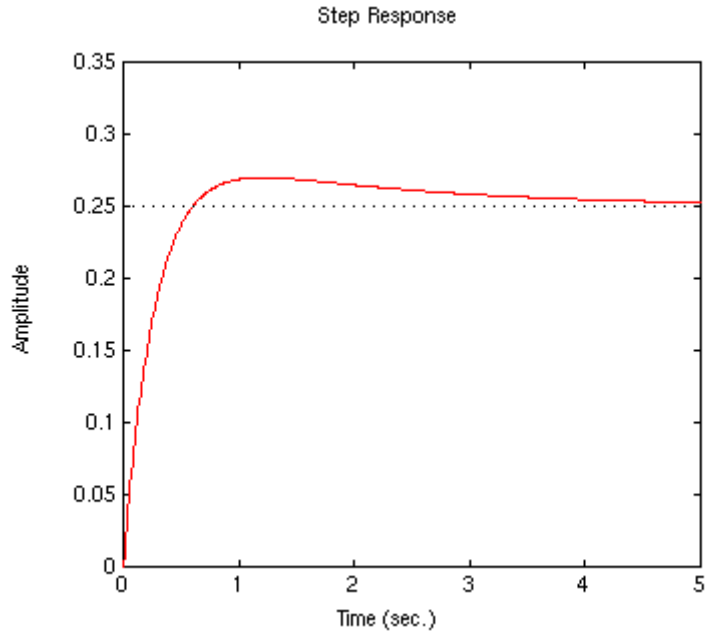
Şimdi denetleyiciye türevsel kontrolü ekleyelim. Sistem tepkisini görmek için devam eden kütüğe aşağıdakileri ilave edelim.

```
m = 0.111;  
R = 0.015;  
g = -9.8;  
L = 1.0;  
d = 0.03;  
J = 9.99e-6;  
  
K = (m*g*d)/(L*(J/R^2+m)); %simplifies input  
  
num = [-K];  
den = [1 0 0];  
  
kp = 10;  
kd = 10;  
numPD = [kd kp];  
  
numh = conv(num, numPD);  
[numc, denc] = cloop(numh, den);  
t=0:0.01:5;  
step(0.25*numc,denc,t)
```

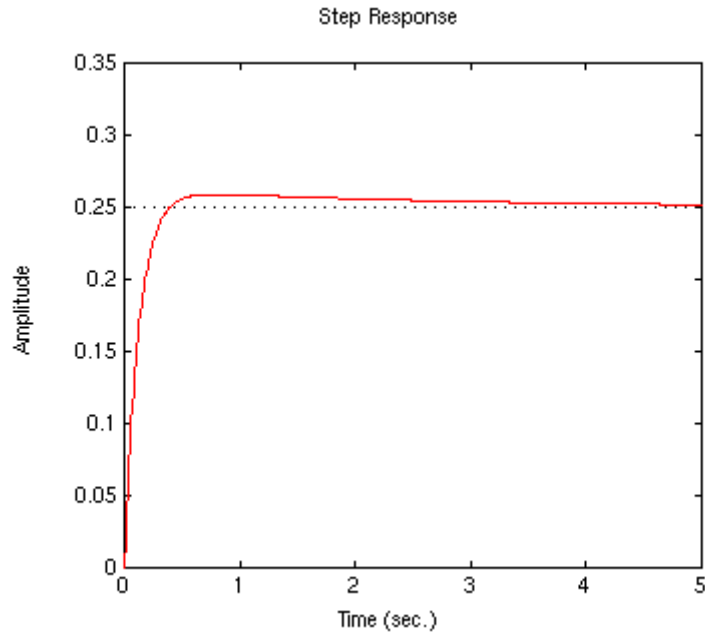
Grafik aşağıdakine benzer olmalıdır.



Şimdi sistem kararlı ama aşma çok yüksek ve yerleşme zamanının biraz azaltılması gerekmektedir. Daha önce gördüğümüz gibi K_D 'yi arttırarak aşmayı aşağıya çekip, yerleşme zamanını azaltabiliriz. buradan K_D 'yi 20 alıp kütükte yerine yazarsak, çıkış aşağıdaki gibi olur.



Aşma kriteri karşılandı ama yerleşme zamanını biraz daha düşürülmesi gerekiyor. Yerleşme zamanını azaltmak için yükselme zamanı arttırılır ve bunun için de K_p değeri artırılır. Ayrıca türevsel kazanç K_D aşmanın artmasına, bu da K_p 'nin artmasına sebep olur. Bu durumda $K_p=15$ ve $K_D=40$ alınarak adım tepkisinin grafiği aşağıdaki gibi elde edilir:



Yukarıdaki grafikten de görüldüğü gibi integral kontrolü kullanılmadan bütün sistem gereklilikleri sağlandı. Unutulmamalıdır ki bir kontrol problemi için birden fazla metodla sonuç elde edilebilir.

5.0 PD ve PI Denetleyicilerinin İşlemsel Kuvvetlendiricilerle Gerçekleştirilmesi:

5.1 PD kontrol:

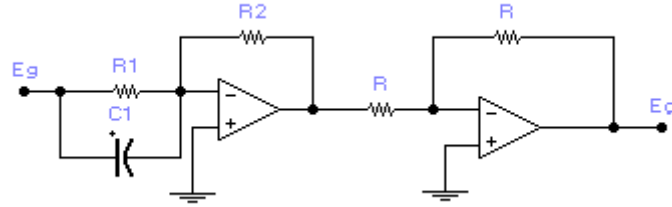
PD kontrollü bir sistemin transfer fonksiyonu ;

$$G(s) = K_p + K_D s \quad \text{şeklindedir. (1)}$$

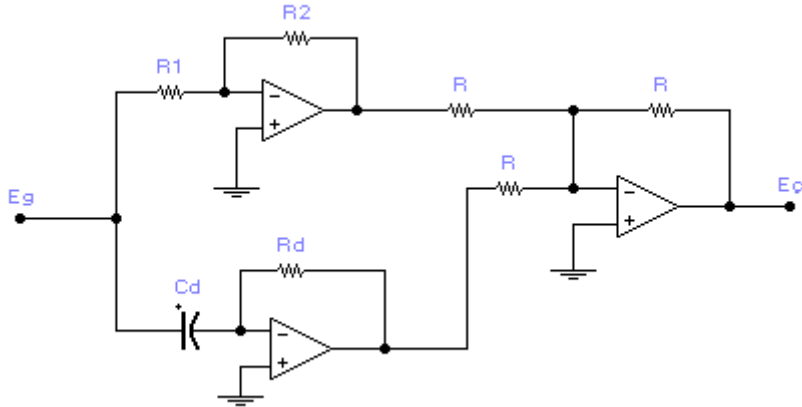
Buna göre sisteme uygulanan kontrol işareti K_p ve K_D orantı ve türev katsayıları olmak üzere;

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

şeklinde olur.



(a)



(b)

Şekil 1

şekil-1- PD kontrolörünün işlemsel kuvvetlendiricilerle gerçekleştirilmesi

(a)iki işlemsel kuvvetlendiricili devre

(b)üç işlemsel kuvvetlendiricili devre

şekil-1-(a)'daki devrenin transfer fonksiyonu

$$G(s) = \frac{E_3(s)}{E_g(s)} = \frac{R_2}{R_1} + R_2.C_1.s$$

olarak bulunur. (1) ilişkisi ile karşılaştırılırsa;

$$K_p = R_2/R_1 \quad K_D = R_2.C_1$$

elde edilir.

Şekil-1-(b) devresine ilişkin transfer fonksiyonu ise;

$$G(s) = \frac{E_3(s)}{E_g(s)} = \frac{R_2}{R_1} + R_d.C_d.s$$

Şeklindedir. Benzer şekilde (1) ile karşılaştırılırsa;

$$K_p = R_2/R_1 \quad K_D = R_d.C_d$$

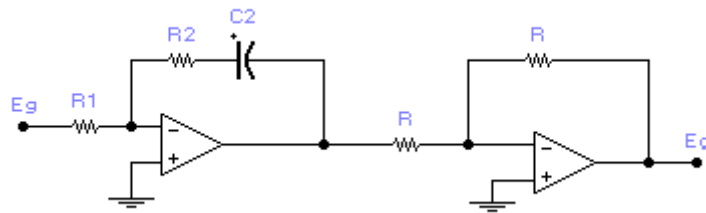
olduğu görülür. Şekil-1-(a)'daki devrenin üstünlüğü sadece iki işlemsel kuvvetlendiricinin kullanılmış olmasıdır. Ancak devrede K_p ve K_D katsayıları birbirlerinden bağımsız ayarlanamaz, her ikisi R_2 direnci ile birbirine bağlıdır. Ayrıca büyük bir K_D katsayısı için C_1 kapasitesi de büyük olmalıdır. Şekil-1-(b)'deki devrede K_p ve K_D katsayıları birbirinden bağımsız ayarlanabilir. Büyük K_D katsayıları için R_d büyük seçilerek C_d gerçekçi değerlere düşürülebilir.

5.2 PI kontrol:

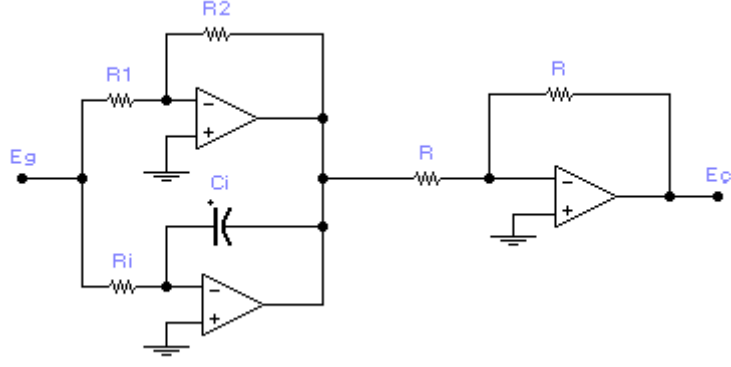
PI kontrollü bir sistemin transfer fonksiyonu ;

$$G(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (1)$$

şeklindedir.



Şekil2 (a)



Şekil 2 (b)

şekil-2-PI kontrolörünün işlemsel kuvvetlendiricilerle gerçekleştirilmesi

(a)iki işlemsel kuvvetlendiricili devre

(b)üç işlemsel kuvvetlendiricili devre

şekil-2-(a)'daki iki işlemsel kuvvetlendiricili devrenin transfer fonksiyonu;

$$G(s) = \frac{E_3(s)}{E_g(s)} = \frac{R2}{R1} + \frac{R2}{R1 \cdot C2 \cdot s}$$

şeklindedir.(1) nolu denklem ile karşılaştırılırsa;

$$K_p = \frac{R2}{R1} \quad K_i = \frac{R2}{R1 \cdot C2}$$

olduğu görülür.

Şekil-2-(b)'deki üç işlemsel kuvvetlendiricili devrenin transfer fonksiyonu;

$$G(s) = \frac{E_3(s)}{E_g(s)} = \frac{R2}{R1} + \frac{1}{R1 \cdot C2 \cdot s}$$

olarak elde edilir. Buna göre PI kontrolör katsayıları devre parametreleri cinsinden ifade edilirse;

$$K_p = \frac{R2}{R1} \quad K_i = \frac{1}{Ri \cdot Ci}$$

olduğu görülür. K_p ve K_i değerleri bağımsız devre parametrelerine bağlı olduğundan şekil-2-(b)'deki devre daha üstündür. Ancak her iki devrede K_i katsayıları kapasite değeri ile ters orantılıdır. Ne yazık ki etkin PI kontrol tasarımında küçük K_i değerlerine ihtiyaç duyulur ve gerçek dışı geniş kapasite değerleri ile karşı karşıya gelinir.

KAYNAKLAR:

- 1.<http://www.angelfire.com/music/roamer/ders>
- 2.<http://rclsq.enq.ohio-state.edu/matlab/PID/PID.html>
- 3.<http://www.jashaw.com/PID/tutorial>
- 4.Control Systems An Introduction / KEVIN WARWICK (1989)
- 5.Otomatik Kontrol Sistemleri / BENJAMIN C. KUO
- 6.Otomatik Kontrol / Prof. Dr. M. KEMAL SARIOĞLU
- 7.Otomatik Kontrol Sistemlerinin İncelenmesi(Bitirme tezi) / Mert Meral