

Deney No: 6

Top Dengeleme Sistemi

Deneyin Amacı: Bu deneyde iki boyutlu düz bir tabla üzerindeki topun konumu kontrol edilmeye çalışılmaktadır. Tabla basınca duyarlı sensör ile kaplıdır. Tabla üzerine yerleştirilen topun ağırlığını algılayarak x ve y eksenlerindeki koordinat bilgisini iletmektedir. Tablaya bağlı servo motorlar sayesinde tabla hareket ettirilerek top istenilen konuma getirilerek dengede tutulabilmekte veya bir yörüngeyi takip etmesi sağlanabilmektedir.

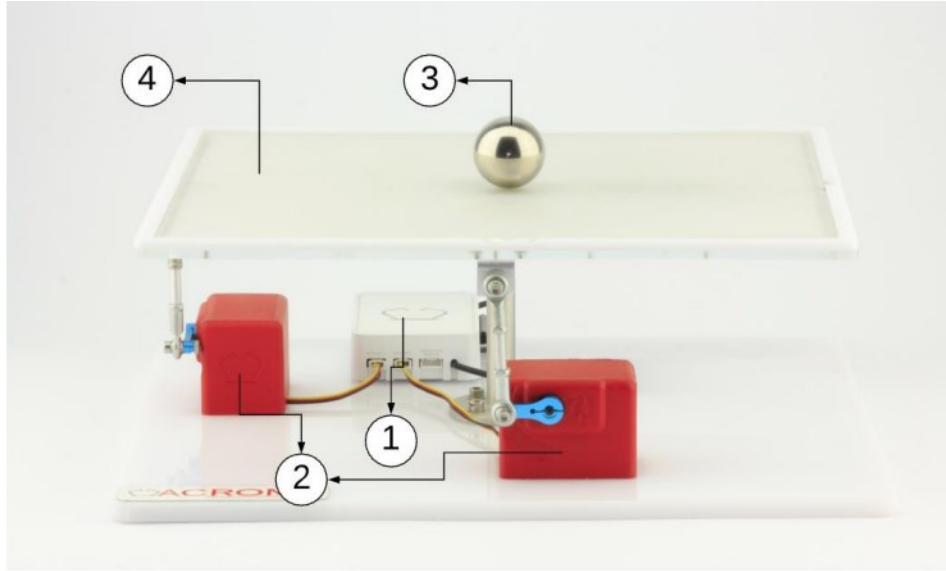
Deneyde Kullanılacak Malzemeler:

- ACROME top dengeleme tahtası düzeneği

1. ACROME Top Dengeleme Tahtası Düzeneği Bileşenleri

Top dengeleme tahtası Şekil 6.1’de görüldüğü üzere dört ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar;

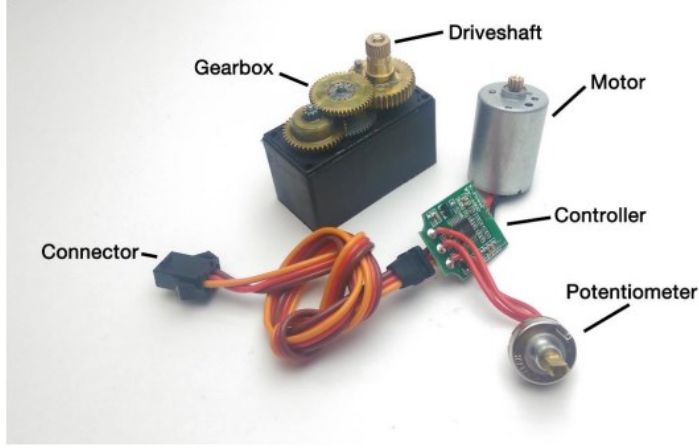
1. Güç dağıtım kutusu
2. RC servo motorlar
3. Çelik top (bilye)
4. 2 boyutlu rezistif dokunmatik sensör ve denetleyici tabla



Şekil 6.1. Top Dengeleme Tahtası ve bileşenleri [1]

1.1. RC Servo Motorlar

RC servo motorlar, elektrik sinyalini dönme hareketine dönüştüren elektromekanik cihazlardır. Çoğu kontrol ve robotik uygulamalar için basit ve kullanışlı çözümler sunar. RC servo motorlar Şekil 6.2’de gösterilen bileşenlerden oluşmaktadır.



Şekil 6.2. RC Servo motor bileşenleri [1]

Denetleyici (Controller): Denetleyici PWM sinyallerini okumaktan ve motoru buna göre kontrol etmekten sorumlu devredir. Analog servolar 50 Hz frekansa kadar PWM sinyallerini işlerken dijital servolar 330 Hz frekansa kadar olan PWM sinyallerini daha hassas bir şekilde işler. Kod çözmedeki bu fark dijital servo motorlara daha fazla tork sağlayabilmektedir.

Potansiyometre (Potentiometer): Ana milin konum geri beslemesi potansiyometre tarafından sağlanır. Tahrik miline bağlanır, böylece tahrik milinin dönüşü potansiyometre üzerinde farklı dirençlere neden olur. Denetleyici ile direnç değerleri okunarak, tahrik mili açısı tam olarak bilinir.

Motor (Motor): Servo motorları genellikle denetleyici devrelerinin içinde bulunan H-köprüleri tarafından kontrol edilen yüksek hızlı DC motorlardır.

Dişli Kutusu (Gearbox): Dişli seti, tahrik mili ile motor arasında yer alır. Motorun RPM'ini düzenleyerek daha düşük hareket hızı ve daha fazla tork sağlar.

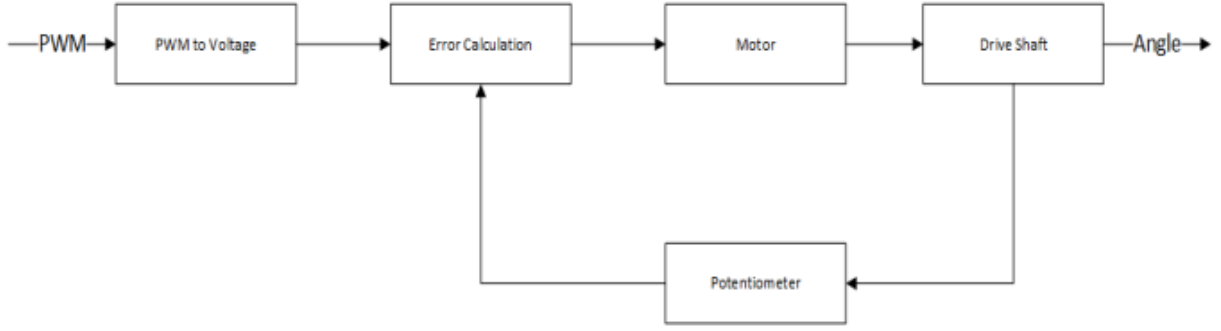
Tahrik Mili (Driveshaft): Tahrik mili tüm sistemin çıkışıdır. İstenilen açıya dönen asıl bileşendir.

Konektör (Connector): Genellikle denetleyiciye "+", "-" ve "sinyal" taşıyan üç pine sahiptirler. Konektörler üreticiye bağlı olarak farklı renk kodlarına sahip olabilir.

1.1.1. Çalışma Teorisi

Servo aslında sürekli giriş sinyali gerektiren bir kapalı döngü kontrol sistemidir. Şekil 6.3'te blok diyagramı gösterilen Servo çalışma mekanizması birkaç temel adımla açıklanabilir:

1. Denetleyici PWM giriş sinyalinin kodunu çözer ve bunu bir açıya karşılık gelen bir gerilime dönüştürür.
2. Denetleyici potansiyometre voltaj değerlerini okur ve mil konumunu belirler.
3. Denetleyici, giriş ve potansiyometre gerilimi arasındaki farktan hatayı hesaplar.
4. Denetleyici hatayı H-köprüsü çıkışına dönüştürür.



Şekil 6.3. RC Servo motor çalışma teorisi [1]

1.2. 2 Boyutlu Rezistif Dokunmatik Sensör ve Denetleyici Tabla

Topun tabla üzerindeki pozisyon geri bildirimini elde etmeyi sağlayan dokunmatik ekrandır. Temel olarak bir dokunmatik ekran, üzerlerinde dirençler tarafından üretilen bir voltaj gradyanı bulunan iki tabakadan oluşur. Bu tabakalar bir hava boşluğu ile birbirinden ayrılmıştır. İki tabaka birbirine bastırıldığında, her bir tabaka üzerinde bölünen voltaj, bu voltajları ekran koordinatlarına çeviren dokunmatik ekran denetleyicisi tarafından okunur.

1.3. Arduino Due

Arduino, kullanıcıların robotik veya mekatronik sistemler tasarlamasına ve kontrol etmesine olanak tanıyan taşınabilir bir gömülü cihazdır.

1.4. Güç Dağıtım Kutusu

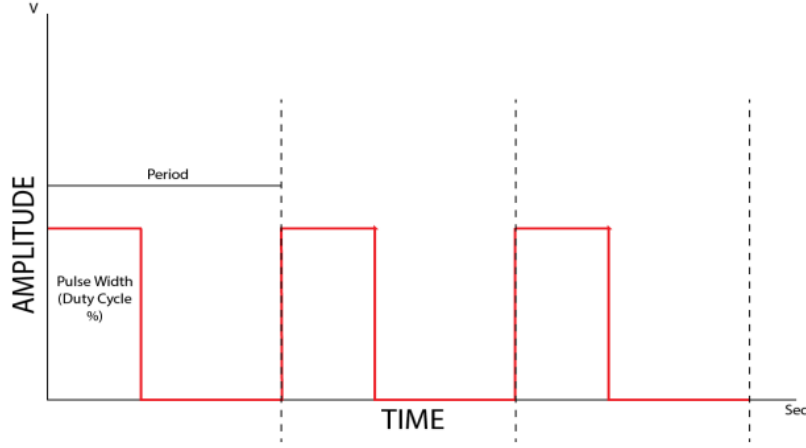
İki adet RC servo motor ve Arduino bağlantıları güç dağıtım kutusu üzerinde yer almaktadır. Sisteme enerji sağlamaktadır.

1.5. Top Denge Tahtasının Mekanığı

Tabla düzlemi, döner mafsallarla iki eksen boyunca serbestçe hareket eder. Her iki servo motor bu tablaya bağlıdır ve hareketlerini çubuk uçlu rulmanlar aracılığıyla sağlamaktadır.

2. Darbe Genişlik Modülasyonunu (PWM) ve RC Servo Motorlar

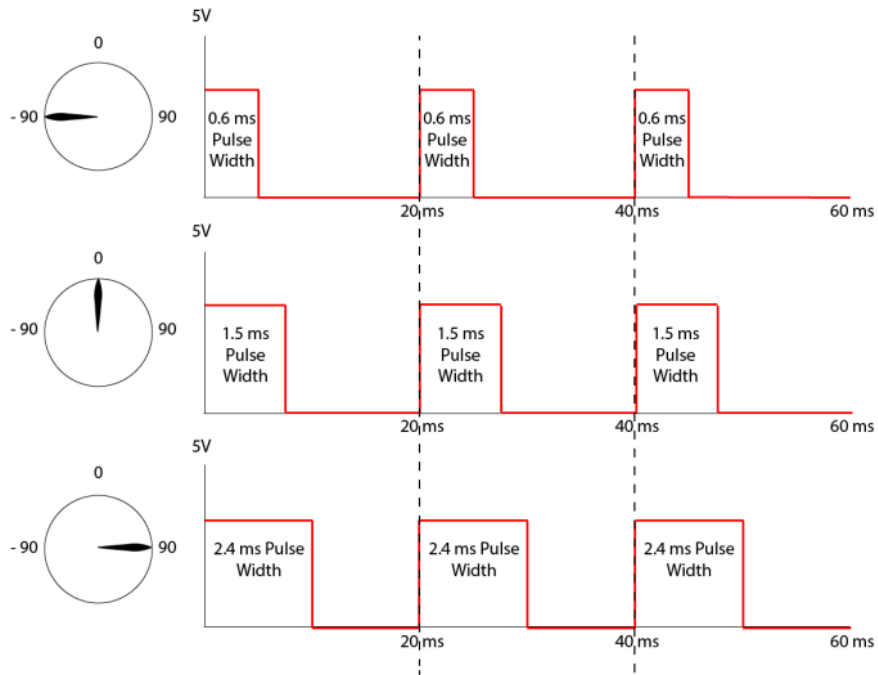
Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM), analog sinyali kodlamak için modüle edilen belirli bir görev döngüsüne sahip bir kare dalga üreterek analog sinyalleri dijital olarak kodlamak için kullanılan bir yöntemdir. PWM tekniği, anahtarlama güç kaynakları ve motor kontrolü gibi çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. PWM tekniği, periyot, frekans, genlik ve görev döngüsü gibi çeşitli özelliklere sahip bir kare PWM sinyali üretir. Tipik bir PWM sinyali ve özellikleri Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Tipik PWM sinyali ve özellikleri [1]

RC Servo Motorun PWM ile Sürülmesi

RC servo motorlar analog veya dijital olabilir. Servo motorun tipi servoları kontrol etmek için gerekli sinyalin özelliklerini etkiler. Tüm analog servoların 20 milisaniye (ms) periyotlu, dolayısıyla 50 Hz frekanslı ortak benzer sinyalleri vardır. Görev döngüsü bitiş süresi veya darbe genişliği 600 ila 2400 mikrosaniye (μ s) arasındadır. Darbe genişliği servoların konumunu belirler. Genellikle; 600 μ s, -90° pozisyonu, 1500 μ s, nötr veya 0° pozisyonu ve 2400 μ s, $+90^\circ$ pozisyonu ifade eder. Bu sürelerdeki değişimler doğrusaldır, bu nedenle çeşitli konumlar için istenen diğer zaman değerleri kolayca hesaplanabilir. Darbe genişliği ve pozisyon arasındaki ilişki değişebilir. Analog bir RC servo motorunu konumunu kontrol etmek için gerekli olan PWM sinyalleri Şekil 6.5'te gösterilmiştir.



Şekil 6.5. PWM Sinyali ve Servo Motor Konum İlişkisi [1]

3. Türevsel Filtreleme

Türev dalgalanmalarının iki ana nedeni vardır: ölçüm gürültüsü ve ayrık zaman türevi. Dokunmatik ekrandan topun konumu okunurken, yüksek frekanslı gürültüler ve doğrusal olmayan etkiler ölçülen verileri bozabilir. Sonuç olarak, gerçek konum ile ölçülen konum arasında ölçüm gürültüsünden kaynaklanan bir fark oluşur. Ek olarak, döngü süresi milisaniyenin birkaç katıdır, ölçülen verilerdeki küçük değişiklikler bile döngü süresine bölünür, bu nedenle bunların türevi yüksek bir sayıdır ve bu birçok dalgalanmaya neden olur. Bu nedenle, sistem yanıtını daha yavaş hale getirmek ve dalgalanmaları azaltmak için dahili bir filtre kullanılmalıdır. PID kontrolördeki türev terimine bir alçak geçiren filtre uygulanır. Bu deneyde kullanılan sistem için yapılan ön çalışmalar ile iç filtre kesim frekansı olarak "30" seçilmiştir. Bu filtrenin transfer fonksiyonu [1] aşağıda gösterilmiştir:

$$Filtre(s) = \frac{30}{s + 30}$$

4. Performans Ölçümleri

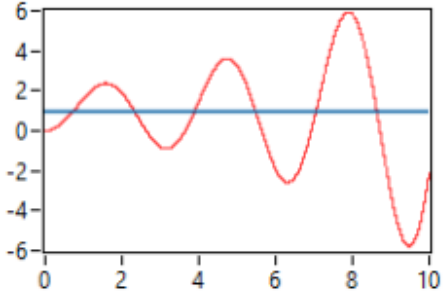
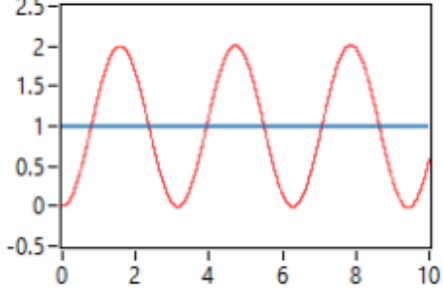
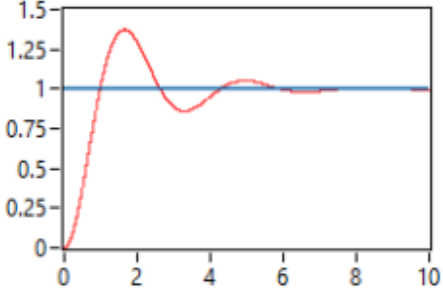
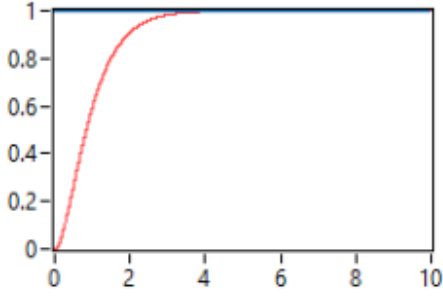
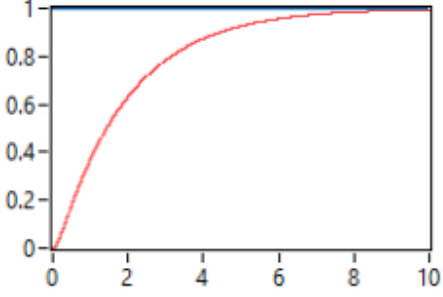
Performans ölçütleri veya kriterleri, ikinci dereceden sistemler için birim basamak girişi uygulanarak tanımlanır. Sistemlerin dinamikleri göz önünde bulundurularak farklı performans ölçütleri belirlenir. Performans ölçütlerine bağlı olarak, sönümlenme katsayısı (ξ) ve doğal frekans (ω_n) bulunabilir. Ayrıca, sönümlenme katsayısı ve doğal frekans biliniyorsa, performans ölçütleri hesaplanabilir. Performans ölçütleri maksimum aşma, yerleşme zamanı, tepe zamanı ve kararlı durum hatalarıdır.

Sönümlenme Oranı (ξ): Birim basamak girişi uygulandığında, sistem sönümlenme oranına bağlı olarak bir aşma sahiptir. Sönümlenme katsayısı ile yüzde maksimum aşma (PO) arasındaki ilişki aşağıdaki denklemde [1] gösterilmiştir. Ayrıca sönümlenme katsayısı ve sistem yanıtı Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

$$\xi = \frac{-\ln(PO/100)}{\sqrt{\pi^2 + (\ln(PO/100))^2}}$$

Doğal Frekans (ω_n): Sönümlenme katsayısı "0" a eşitken, doğal frekans sistemin salınım frekansıdır. Doğal frekans, yerleşme zamanı veya tepe zamanı kullanılarak hesaplanır.

Tablo 6.1. Sönümlenme katsayısı, sistem davranışı ve sistem tepki grafikleri

Damping Ratio (ξ)	System Behaviour	System Input and Output
$\xi < 0$	Unstable	
$\xi = 0$	Undamped	
$0 < \xi < 1$	Underdamped	
$\xi = 1$	Critically Damped	
$1 < \xi$	Over damped	

Maksimum Aşma (%): Kararlı bir sistem için aşma, maksimum ve nihai çıkış değerleri arasındaki farktır. Aşım yüzdesi, aşımın nihai çıkış değerine oranının 100 ile çarpımıdır. Ayrıca, aşım yüzdesi sistemin birim basamak giriş yanıtından hesaplanabilir. Ayrıca sönümlenme katsayısı ile maksimum aşma arasındaki ilişki [1] aşağıdaki gibidir:

$$\text{Maksimum aşma (\%)} = 100 * \frac{\text{Maksimum çıkış değeri} - \text{Son çıkış değeri}}{\text{Son çıkış değeri}} = 100 * e^{\frac{-\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}}$$

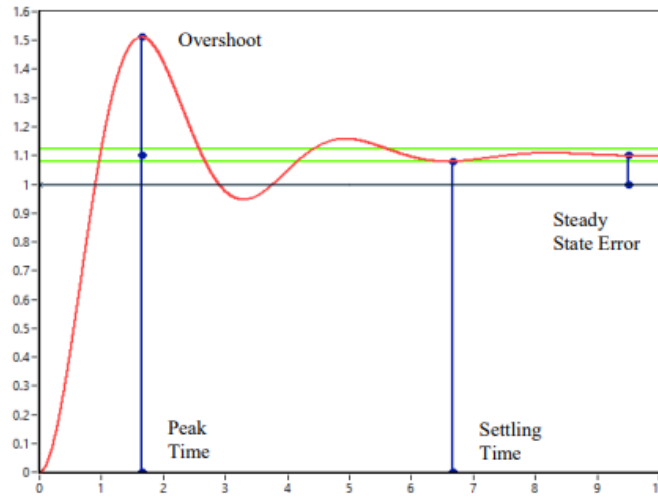
Tepe zamanı (t_p): Tepe zamanı, birim basamak girişinin uygulanmasından maksimum çıkış değerine kadar geçen süredir. Aşırı sönümlü sistemler için tepe zamanı tanımlı değildir. Tepe zamanı aşağıdaki denklem [1] ile hesaplanmaktadır.

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n * \sqrt{1 - \xi^2}}$$

Yerleşme süresi (t_s): Yerleşme süresi, yanıt nihai değerinin $\pm\%2$ 'si veya $\pm\%5$ 'i içinde kaldığı değerdir. Aşağıdaki denklem [1] ile hesaplanmaktadır.

$$t_s = \frac{4}{\xi * \omega_n}$$

Kararlı durum hatası: Kararlı durum hatası, referans giriş ile nihai çıkış değeri arasındaki farktır. Çoğu zaman sistem tepkisinin referans girişe oturmaması istenmeyen bir durumdur ve kararlı durum hatası olarak tanımlanır. Eğer sistemde kararlı durum hatası varsa, bu hata integral tipi bir denetleyici eklenerek kolayca giderilebilir. Performans kriterleri Şekil 6.6'da verilen grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Geçici ve kalıcı durum performans kriterleri

5. Kontrol Sistemi Tasarımı

Açık döngü sistemler, çıkışın giriş üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı için manuel kontrol sistemleri olarak adlandırılır. Açık döngü yapısı basit, ekonomik ve kararlı olmasına rağmen; hatalıdır, güvenilmezdir ve bozulma reddetme özelliği yoktur. Kapalı döngü sistemler otomatik kontrol sistemleri olarak adlandırılır ve bozulma reddi, gürültü azaltma, doğrusal olmama ve sağlamlık gibi birçok avantaja sahiptir; bu nedenle kontrol uygulamalarında genellikle kapalı döngü kontrol sistemleri tercih edilir.

Kapalı döngü sistemlerde denetleyici tasarımının amacı önceden belirlenen performans ölçütlerine ulaşmaktır. Denetleyici tipinin seçimi sistem hedeflerine ve ihtiyaçlarına bağlıdır. Genel olarak üç ayarlama parametresi vardır; oransal (P), integral (I) ve türev (D). P terimi mevcut hataya bağlıdır, I terimi geçmiş hataları biriktirir ve D terimi gelecekteki hataları tahmin eder.

Tüm klasik doğrusal denetleyiciler, ileri ve geri besleme yollarında bu üç terimin kombinasyonlarına dayanır. P, PI, PD, PID, PI-PD, PV vb. gibi birçok doğrusal denetleyici türü vardır. PID denetleyici üç modlu denetleyici olarak adlandırılır ve endüstride kullanılan en yaygın kontrol algoritmasıdır. Genel olarak, türev terimi geçici yanıtı ayarlarken, integral terimi kararlı durum hatasını ortadan kaldırır. PID algoritmalarının üç ana yapısı vardır: akademik, paralel ve seri form. PID denetleyicinin akademik ve seri formları etkileşimli algoritmalar olarak tanımlanır. Öte yandan, paralel form etkileşimsiz algoritma olarak tanımlanır. Bu deneyde PID denetleyicinin akademik ve paralel formları, top dengeleme tahtasının konum kontrolü için kullanılmaktadır. Ayrıca, PID'nin akademik ve paralel formları kullanılarak P, PI ve PD gibi diğer denetleyici türleri elde edilebilir.

Akademik PID Denetleyici

Akademik PID denetleyici matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir [1].

$$u(t) = K_c(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt})$$

Burada oransal terim (K_c) denetleyicinin kazancıdır, bu nedenle integral ve türev eylemleri K_c değerine bağlıdır. K_c reeldir ve sonlu bir değere sahiptir; T_d türev teriminin T_i integral teriminin zaman sabitleridir.

Paralel PID denetleyici

Paralel PID denetleyici matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir [1].

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

Oransal terim, integral ve türev terimlerinden bağımsızdır. Paralel PID denetleyicinin üç ayarlama parametresi ayrı ayrı belirlenir. K_p , K_d ve K_i reeldir ve akademik PID denetleyicinin kazancına benzer şekilde sonlu değerlere sahiptir.

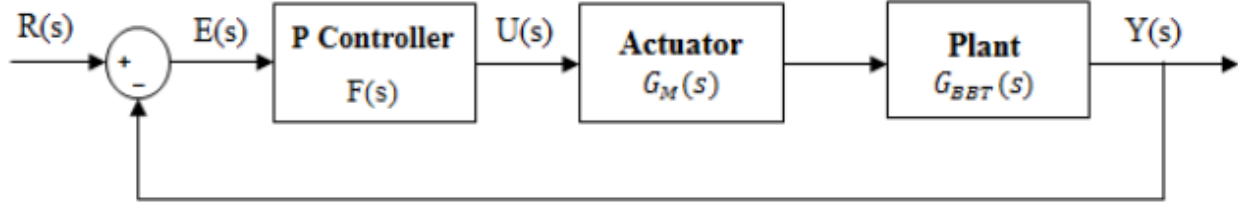
Akademik PID denetleyici formu, temel cebirsel hesaplamalar kullanılarak paralel forma dönüştürülebilir. Bu dönüşümün tersi de mümkündür.

P Denetleyici

P tipi denetleyici en basit denetleyicidir ve bir sisteme kolayca uygulanabilir. Ayrıca sistemin düzenini de değiştirmez. P Denetleyicili kapalı döngü sistem sadece bir performans ölçütünü karşılar ve sadece bir kapalı döngü kutbu istenildiği gibi konumlandırılır.

Bu nedenle birden fazla istenen kriterin olması durumunda yetersiz kalmaktadır. P denetleyici kararlı durum hatalarını ortadan kaldırmaz. P denetleyici ile denetleyici kazancı artar ve hata daha küçük olur, ancak kazançtaki yüksek artış kontrol sinyalinde yüksek artışa, aşım ve hatta sistemin kararsızlığına neden olabilir.

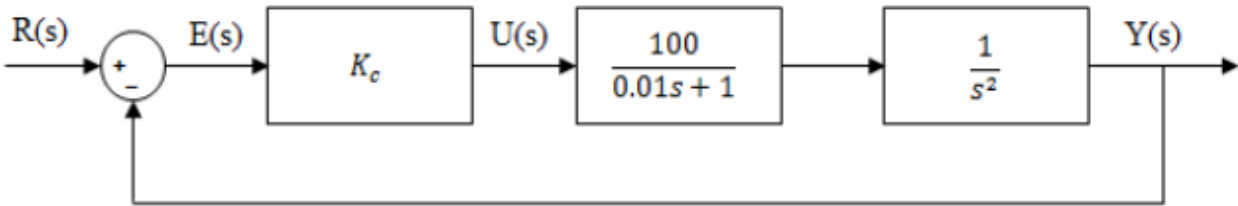
İntegral ve türev terimleri sıfır olduğunda, akademik PID denetleyici benzer şekilde P tipi denetleyici haline gelir. İntegral zaman sabiti sonsuz ve türev zaman sabiti sıfır ise paralel PID denetleyici P tipi denetleyici olur. P tipi Denetleyicili kapalı döngü sistemin genel blok diyagramı aşağıdadır:



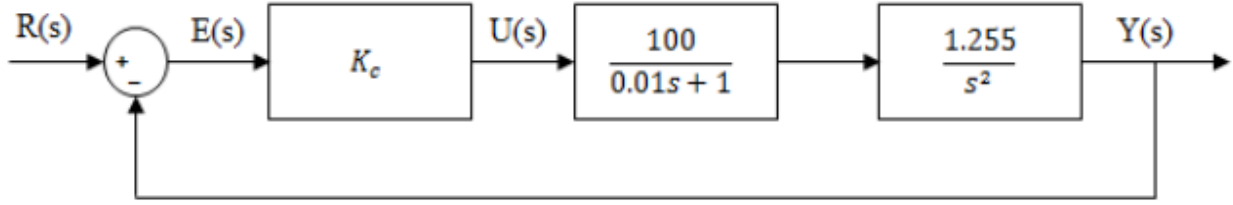
Şekil 6.7. P Denetleyicinin genel blok diyagramı [1]

Burada $F(s)$ P denetleyiciye ait transfer fonksiyonunu, $G_M(s)$ motora ait transfer fonksiyonunu ve $G_{BBT}(s)$ top dengeleme tahtasına ait transfer fonksiyonunu göstermektedir.

Bu deneyde kullanılan top dengeleme tahtası için P denetleyicinin x yönündeki kapalı döngü sisteme ait blok diyagramı aşağıdaki gibidir.

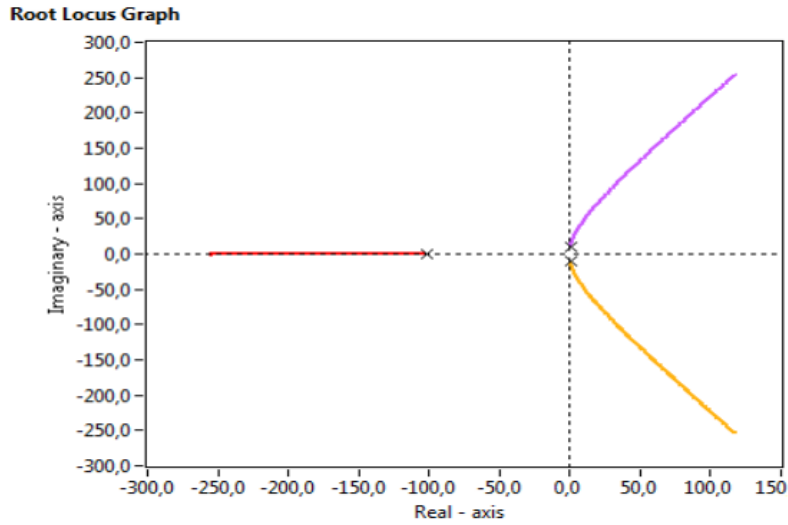


Bu deneyde kullanılan top dengeleme tahtası için P denetleyicinin y yönündeki kapalı döngü sisteme ait blok diyagramı aşağıdaki gibidir.



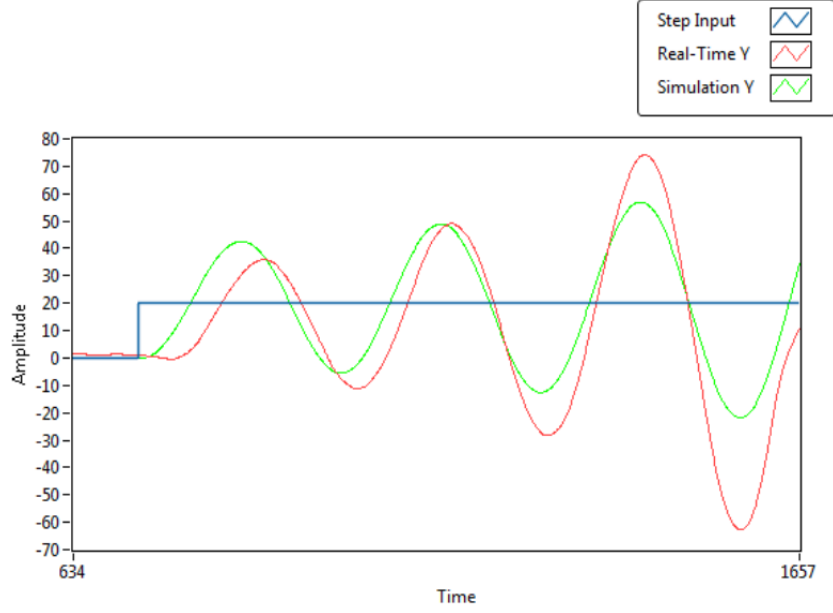
Bu deney için y yönünde P denetleyici tasarımı gerçekleştirildiği kabul edilsin. Sisteme ait karakteristik polinom ve kök yer eğrisi grafiği Şekil 6.8'de gösterilmiştir.

$$P_c(s) = 0.01s^3 + s^2 + 125K_c$$



Şekil 6.8. P Denetleyicili kapalı döngü sistemin karakteristik polinomu ve kök yer eğrisi grafiği [1]

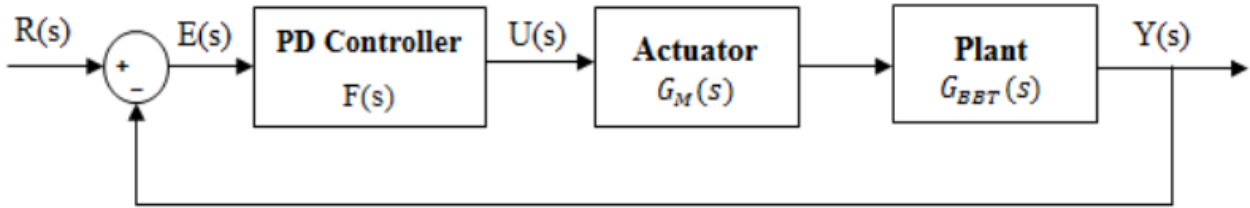
Kök yer eğrisi grafiği analiz edilirse, kapalı döngü sistemin üç kutbu vardır. Bunlar bir karmaşık eşlenik kutup çifti ve bir reel kutuptur. Doğrusal bir sistemin kararlı olabilmesi için tüm kutupların negatif reel kısımlara sahip olması gerekir. Karmaşık eşlenik kutup çiftinin reel kısmı K_c 'nin her değeri için pozitiftir, dolayısıyla tüm kutuplar sağ yarı düzlemde yer alır. Sonuç olarak, kapalı döngü sistemin kararsız olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle, zaman arttıkça sistemin çıkışı sonsuza yaklaşmaktadır. Kapalı döngü sisteme birim basamak giriş uygulandığında sistemin çıkışı benzetim ve deneyde (gerçek zamanlı) Şekil 6.9'daki gibi olmaktadır.



Şekil 6.9. Birim basamak giriş için y ekseninde P Denetleyici ile deney (gerçek zamanlı) ve benzetim grafikleri [1]

PD Denetleyici

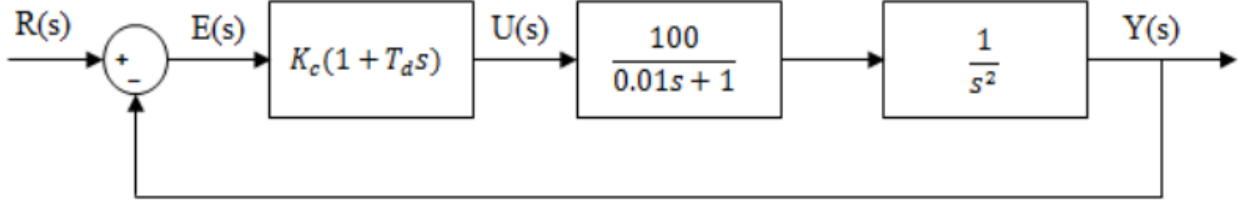
PD denetleyici, genellikle konum kontrol uygulamaları için kullanılır. Sistemin sırasını değiştirmeden iki kapalı döngü sistem kutbunu istenen konumlara yaklaştırır ve aynı anda bir sıfır ekler. PD denetleyici sisteme bir sıfır ekler. Girişe birim basamak sinyali uygulandığında, başlangıç hatasının türevi bir anda sonsuza yaklaşır. Bu darbe türev vuruşu olarak tanımlanır. PD denetleyicinin ileri yol üzerinde tasarlanması türev vuruşu ile sonuçlanır. PD denetleyicinin diğer bir dezavantajı ise bozucu etkiyi reddedememesi ve kararlı durum hatasını ortadan kaldıramamasıdır. PD Denetleyicili kapalı döngü sistem blok diyagramını Şekil 6.10'daki şekilde gösterilmiştir.



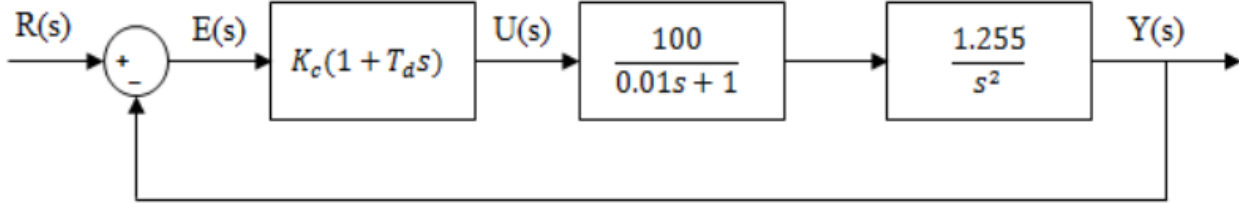
Şekil 6.10. PD Denetleyicinin genel blok diyagramı [1]

Burada $F(s)$ PD denetleyiciye ait transfer fonksiyonunu, $G_M(s)$ motora ait transfer fonksiyonunu ve $G_{BBT}(s)$ top dengeleme tahtasına ait transfer fonksiyonunu göstermektedir.

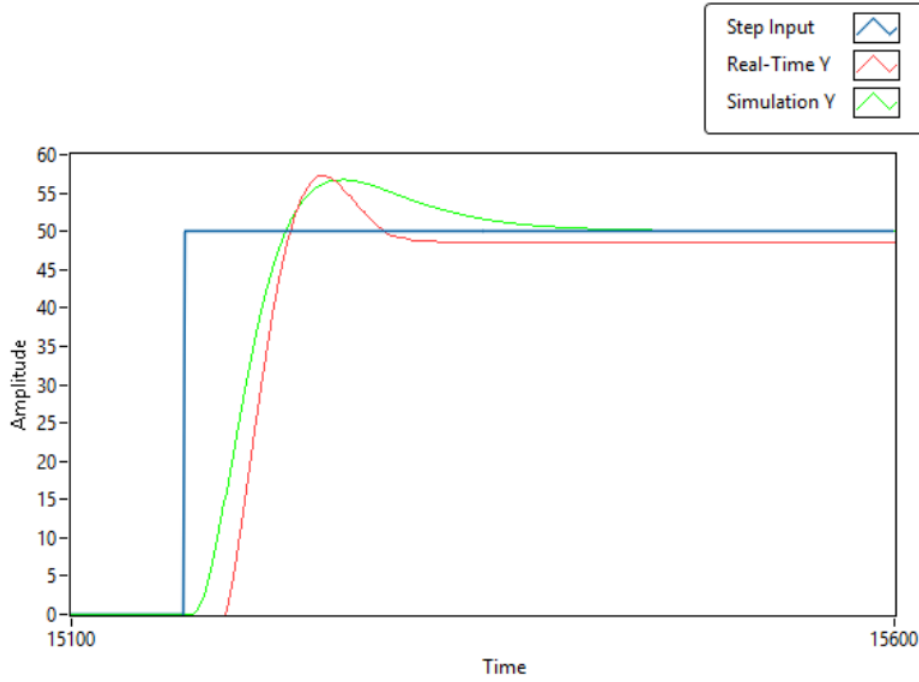
Bu deneyde kullanılan top dengeleme tahtası için PD denetleyicinin x yönündeki kapalı döngü sisteme ait blok diyagramı aşağıdaki gibidir.



Bu deneyde kullanılan top dengeleme tahtası için PD denetleyicinin y yönündeki kapalı döngü sisteme ait blok diyagramı aşağıdaki gibidir.



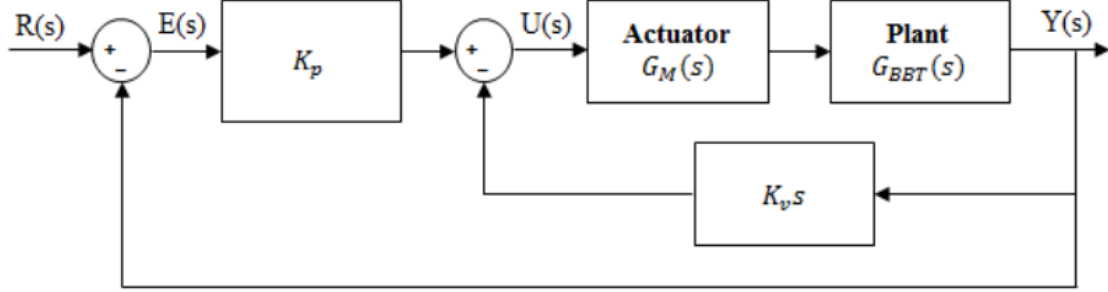
PD Denetleyicili sisteme birim basamak giriş uygulandığında sistemin çıkışı benzetim ve deneyde (gerçek zamanlı) Şekil 6.11'deki gibi olmaktadır.



Şekil 6.11. Birim basamak giriş için y ekseninde PD Denetleyici ile deney (gerçek zamanlı) ve benzetim grafikleri [1]

PV Denetleyici

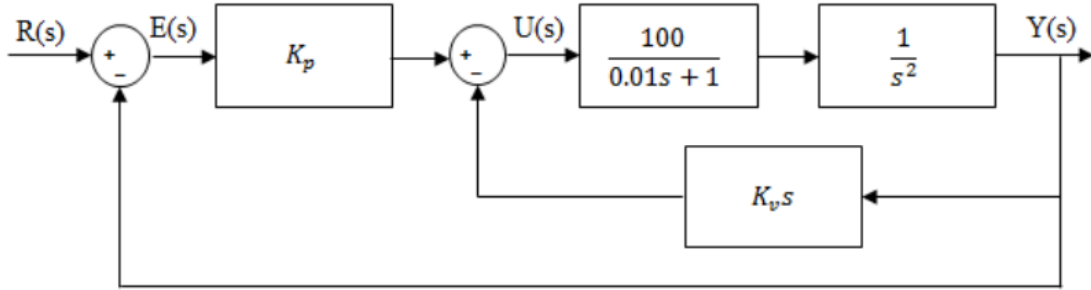
PV denetleyici en popüler servo motor konum denetleyicilerinden biridir. PD denetleyicinin aksine, PV denetleyici sisteme bir sıfır ve bir kutup eklemeyiz. Sadece sistemin kök yer eğrisini değiştirir. Başka bir deyişle, kapalı döngü sistemine ait olan kutuplar PV denetleyici tarafından kök yer eğrisi üzerinde daha kararlı bir bölgeye taşınır. Ayrıca, türev terimi geri besleme yolu üzerinde olduğu için PV denetleyici türev vuruşlarını önler. Buna ek olarak, türev terimi ile kökün (kutbun) yeri kolayca değiştirilebilir. PV denetleyiciye ait blok diyagramı Şekil 6.12’de gösterilmiştir.



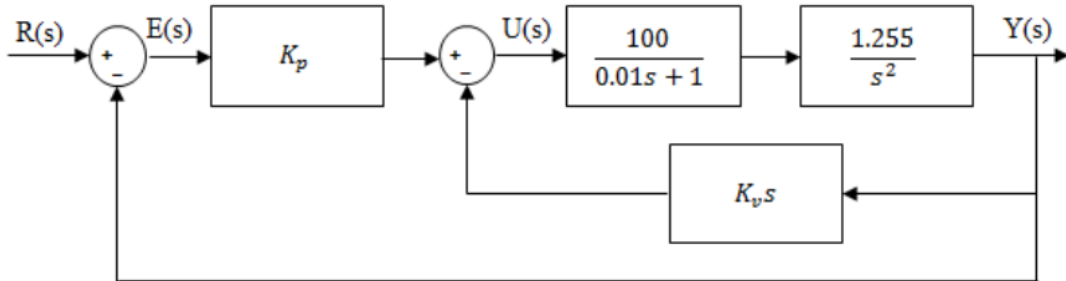
Şekil 6.12. PV Denetleyicinin genel blok diyagramı [1]

Burada $G_M(s)$ motora ait transfer fonksiyonunu ve $G_{BBT}(s)$ top dengeleme tahtasına ait transfer fonksiyonunu göstermektedir.

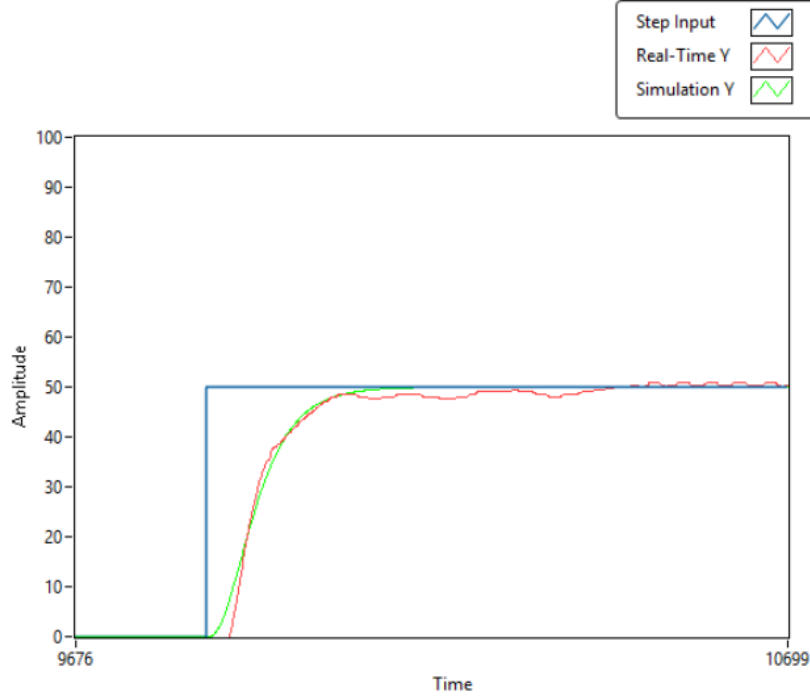
Bu deneyde kullanılan top dengeleme tahtası için PV denetleyicinin x yönündeki kapalı döngü sisteme ait blok diyagramı aşağıdaki gibidir.



Bu deneyde kullanılan top dengeleme tahtası için PV denetleyicinin y yönündeki kapalı döngü sisteme ait blok diyagramı aşağıdaki gibidir.



PD Denetleyicili sisteme birim basamak giriş uygulandığında sistemin çıkışı benzetim ve deneyde (gerçek zamanlı) Şekil 6.13'teki gibi olmaktadır.

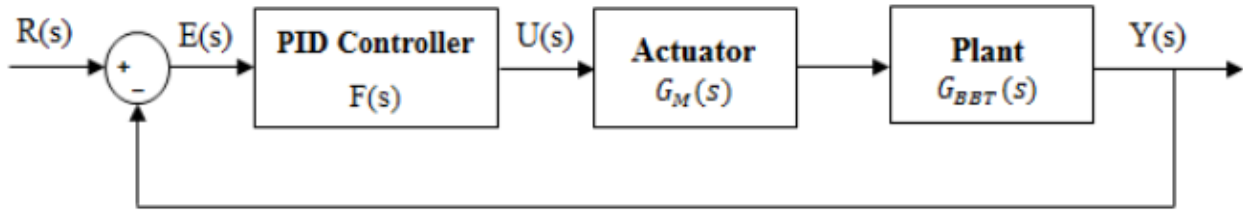


Şekil 6.13. Birim basamak giriş için y ekseninde PV Denetleyici ile deney (gerçek zamanlı) ve benzetim grafikleri [1]

PD denetleyici ile karşılaştırıldığında, PV denetleyici yerleşme zamanını azalttığı ve aşımı ortadan kaldırdığı görülmektedir.

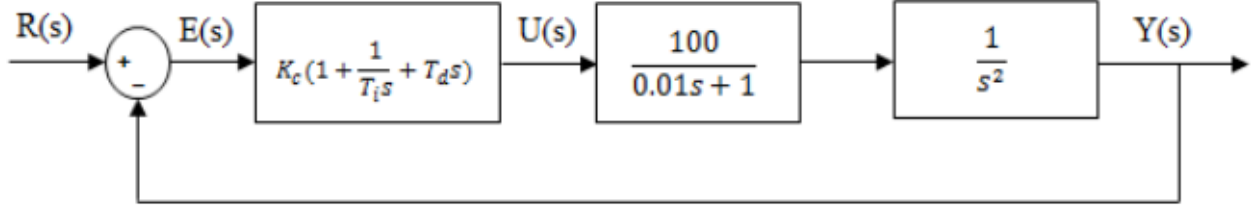
PID Denetleyici

PID denetleyici, doğrusal olmayan uygulamalar kullanıldığında en popüler denetleyicidir. Doğrusal olmayan denetleyici türleri karmaşıktır ve zor uygulanır, bu nedenle sistem doğrusal olsa bile PID denetleyici tercih edilir. PID Denetleyici sisteme iki sıfır ve bir kutup ekler. Temel olarak, denetleyici kapalı döngü kutuplarını istenen bir konuma yerleştirir. Bununla birlikte, PI denetleyici gibi, PID denetleyici de genellikle konum kontrolü için doğru bir sonuç vermez. PID denetleyiciye ait blok diyagramı Şekil 6.14'te gösterilmiştir.

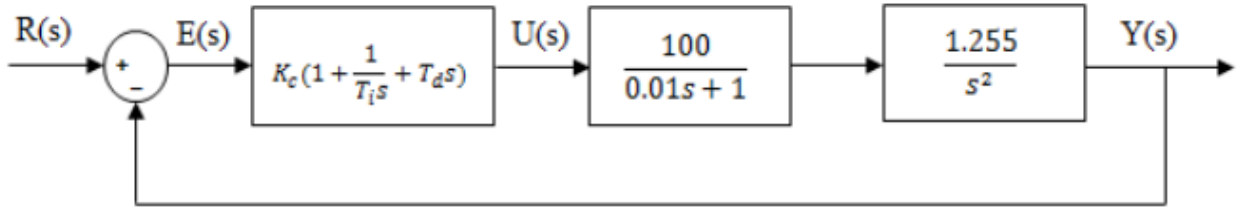


Şekil 6.14. PID Denetleyicinin genel blok diyagramı [1]

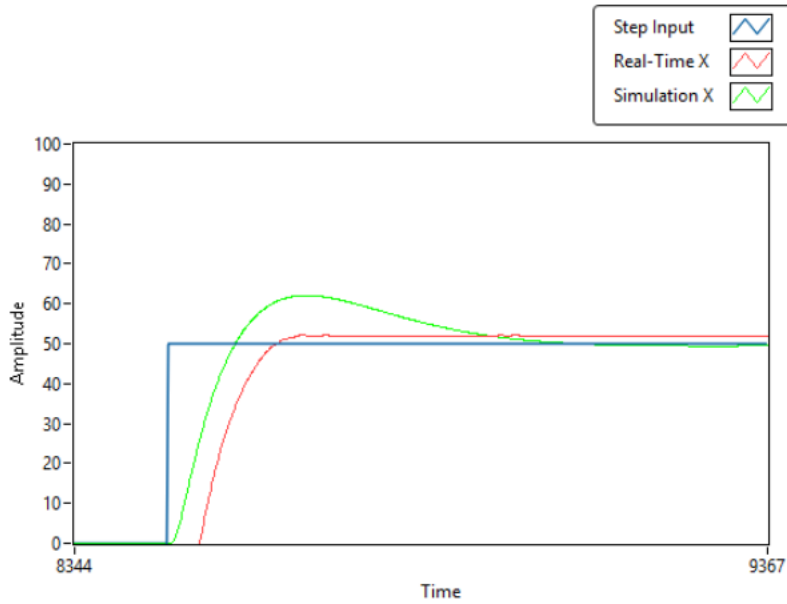
Bu deneyde kullanılan top dengeleme tahtası için PID denetleyicinin x yönündeki kapalı döngü sisteme ait blok diyagramı aşağıdaki gibidir.



Bu deneyde kullanılan top dengeleme tahtası için PID denetleyicinin y yönündeki kapalı döngü sisteme ait blok diyagramı aşağıdaki gibidir.



PID Denetleyicili sisteme birim basamak giriş uygulandığında sistemin çıkışı benzetim ve deneyde (gerçek zamanlı) Şekil 6.15'teki gibi olmaktadır.



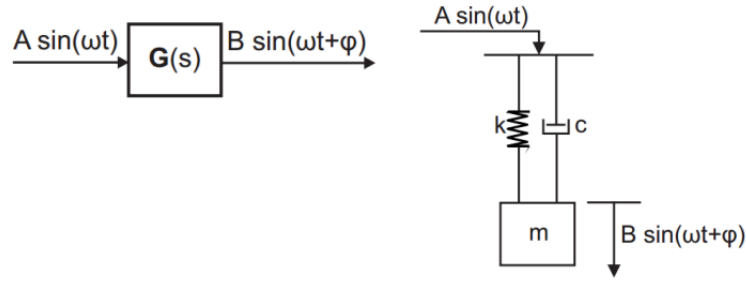
Şekil 6.15. Birim basamak giriş için y ekseninde PID Denetleyici ile deney (gerçek zamanlı) ve benzetim grafikleri [1]

PID denetleyici tasarımı, sistemin integratör terimleri nedeniyle top dengeleme tahtası için tercih edilmemektedir. PV ve PD ile karşılaştırıldığında, aşım çok yüksektir. Ayrıca, sistem PV ve PD kadar hızlı değildir.

6. Frekans Tepki Analizi

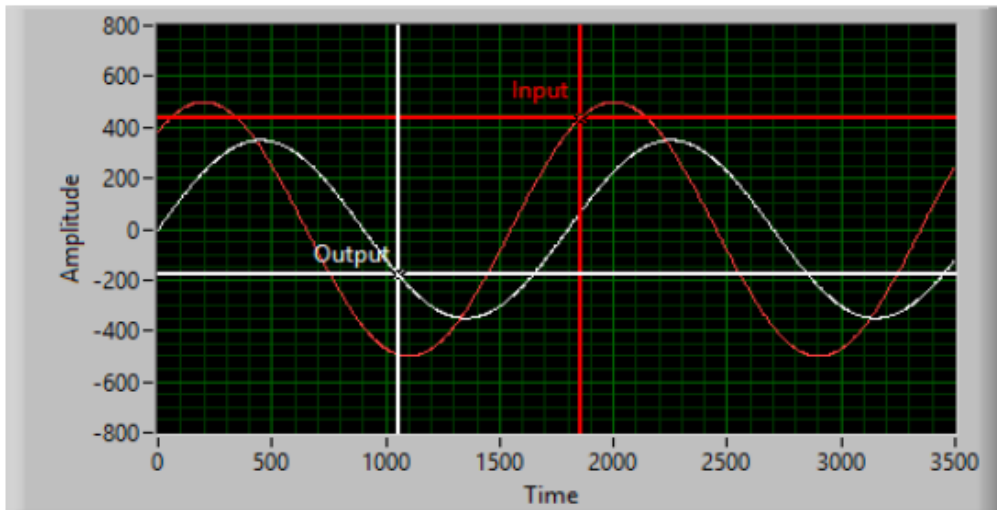
Dinamik sistemler için Zaman cevabı ve Frekans cevabı olmak üzere iki ana tepki mevcuttur. Sistem tepkileri de Geçici durum ve Kararlı durum tepkisi olmak üzere ikiye ayrılabilir. Zaman cevabı analizinde, geçici tepki özellikleri tepkinin önemli bir parçasıdır. Bir sistemin geçici tepkisi birim basamak ve rampa girişleri için belirlenir. Frekans cevabı analizinde; giriş sinüzoidal bir fonksiyondur ve cevabın önemli kısmı kararlı durum tepkisidir. Doğrusal zamanla değişmeyen sistemler için, sinüzoidal bir girişin cevabı da aynı frekansta sinüzoidal bir cevaptır.

Örneğin Şekil 6.16'da gösterilen kütle-damper-yay sistemi için, üst kenardan sinüzoidal bir giriş uygulanırsa, kütle bloğu aynı frekansta sinüzoidal bir form olarak hareket eder. Ancak, genel olarak, hareketlerin genliği eşit değildir ($A \neq B$) ve bir faz farkı oluşur ($\varphi \neq 0$).



Şekil 6.16. Sinüzoidal giriş ve sistem cevabı [1]

Şekil 6.17'de giriş ve çıkış arasındaki ilişki açıkça görülebilir. Giriş sinyalinin cevabı ölçeklendirilmiş ve geciktirilmiştir. Ölçek (genlik oranı) ve gecikme (faz) giriş frekansının fonksiyonlarıdır.



Şekil 6.17. Sinüzoidal giriş ve çıkış arasındaki ilişki [1]

Bu Giriş- Çıkış İlişkisi Bode Diyagramları ile ifade edilebilir. Bode Diyagramları Frekansa Karşı Genlik Oranı (Logaritmik) ve Frekansa Karşı Faz olmak üzere iki ayrı diyagram içerir. Bu deneyde

frekans ve genlik arasındaki ilişki incelenecektir. Top Dengeleme Tahtası kontrol sisteminin Genlik Oranı- Frekans diyagramı deneysel olarak gösterilecektir.

Ön Hazırlık Çalışmaları

1. Bir sistemde geçici durum performans kriterleri nelerdir açıklayınız?
2. Denetleyici nedir ve ne için kullanılır? Bu deney düzeneğinde denetleyicinin işlevi nedir açıklayınız?
3. Bu deney düzeneğinde kullanılan P, PD, PV ve PID denetleyicilerin blok diyagramlarını çizin ve sistemin girişine birim basamak sinyali uygulandığında elde edilen çıkış sinyallerini ölçeksiz olarak çizin.
4. Bu deney düzeneğinde kullanılan P, PD, PV ve PID denetleyicilerin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları nelerdir?

Deney Adımları

1. Geçici ve kalıcı durum performans analizleri:

Bu deney adımı için top dengeleme sisteminin girişine birim basamak sinyali verildiğinde sönümlenme katsayısına göre sistem davranışının üç farklı durumu için giriş ve çıkış sinyalleri ile topun denge tahtası üzerindeki davranışı incelenecektir. MATLAB arayüzünde “PerformanceMeasures.slx” programını çalıştırınız.

- a. Sistem davranışını kritik sönümlü olarak ayarlayınız. Topu tabla üzerine bırakınız. Sistemin giriş-çıkış sinyallerini ekran üzerinden ve topun tabla üzerinde istenilen konuma gelmesi için sergilediği davranışı gözlemleyiniz. Gözlemlerinizi yazınız.
- b. Sistem davranışını yetersiz sönümlü olarak ayarlayınız. Topu tabla üzerine bırakınız. Sistemin giriş-çıkış sinyallerini ekran üzerinden ve topun tabla üzerinde istenilen konuma gelmesi için sergilediği davranışı gözlemleyiniz. Gözlemlerinizi yazınız.
- c. Sistem davranışını kararsız olarak ayarlayınız. Topu tabla üzerine bırakınız. Sistemin giriş-çıkış sinyallerini ekran üzerinden ve topun tabla üzerinde istenilen konuma gelmesi için sergilediği davranışı gözlemleyiniz. Gözlemlerinizi yazınız.

2. Denetleyici tipinin etkisinin incelenmesi:

Bu deney adımı top dengeleme tahtası sisteminde istenilen performans kriterleri için y yönünde tasarlanan denetleyici tiplerinin etkileri incelenecektir. Deneyde P, PD, PV ve PID denetleyicilerin etkisi incelenecektir. Bunun için tabla üzerine yerleştirilen topun y eksenini üzerindeki konumu $y=50$ noktasına ayarlanacaktır. Bu sistemin girişine birim basamak sinyali uygulanması anlamına gelmektedir. Buna göre;

- a. P denetleyici için MATLAB arayüzünde “PControl.slx” programını çalıştırınız. Sistemin girişine birim basamak sinyali uygulandığında ($y=50$ konumuna getirildiğinde) ekran üzerinden çıkış sinyalinin davranışını ve topun tabla üzerindeki davranışını gözlemleyiniz. Gözlemlerinizi açıklayınız.
- b. PD denetleyici için MATLAB arayüzünde “PDControl.slx” programını çalıştırınız. Sistemin girişine birim basamak sinyali uygulandığında ekran üzerinden çıkış sinyalinin davranışını ve topun tabla üzerindeki davranışını gözlemleyiniz. Gözlemlerinizi açıklayınız.
- c. PV denetleyici için MATLAB arayüzünde “PVControl.slx” programını çalıştırınız. Sistemin girişine birim basamak sinyali uygulandığında ekran üzerinden çıkış sinyalinin davranışını ve topun tabla üzerindeki davranışını gözlemleyiniz. Gözlemlerinizi açıklayınız.
- d. PID denetleyici için MATLAB arayüzünde “PIDControl.slx” programını çalıştırınız. Sistemin girişine birim basamak sinyali uygulandığında ekran üzerinden çıkış sinyalinin davranışını ve topun tabla üzerindeki davranışını gözlemleyiniz. Gözlemlerinizi açıklayınız.

3. Frekans Tepkisi Analizi:

Bu deney adımıında top dengeleme tahtası sisteminin girişine sinüzoidal sinyal uygulanacak ve sistemin frekans tepkisi incelenecektir. MATLAB arayüzünde “FrequencyResponse.slx” programını çalıştırınız. Girişten verilen sinüzoidal sinyalin frekansını, topun x eksenindeki konumunu ve y eksenindeki konumunu değiştirerek topun tabla üzerindeki davranışının gözlemleyiniz. Gözlemlerinizi açıklayınız.

Kaynaklar

[1] “Ball Balancing Table Courseware.pdf” eğitim dökümanı.