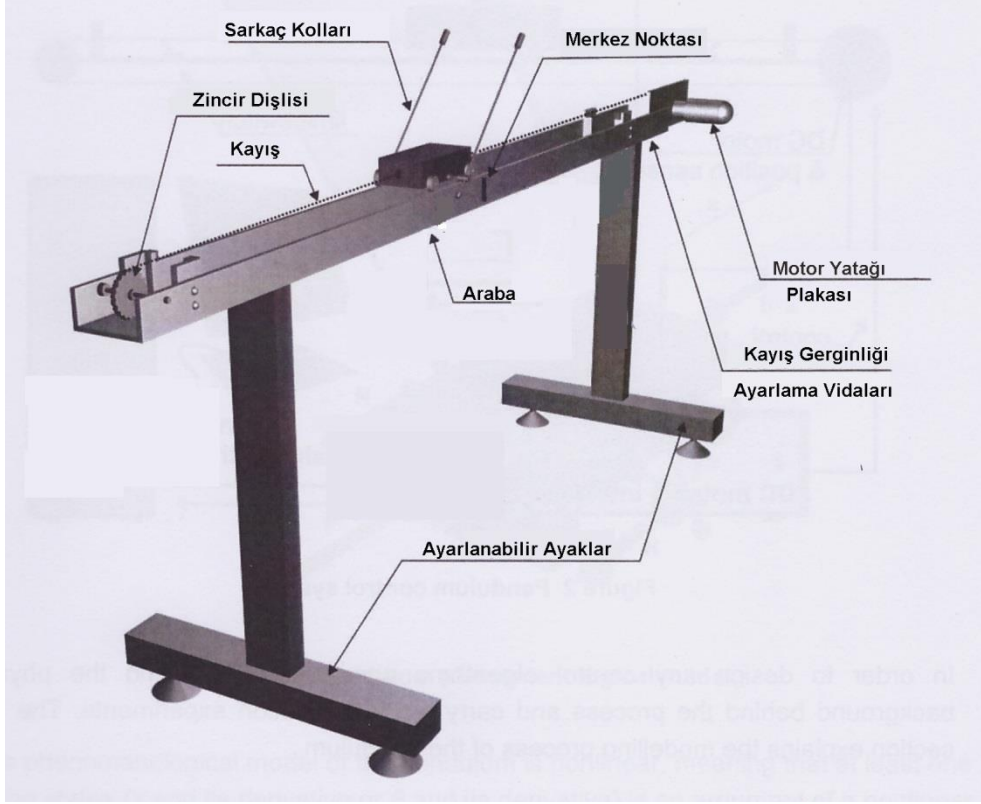


MEKATRONİK VE KONTROL LABORATUARI

DENEY FÖYÜ

DENEYİN ADI: Ters Sarkaç Kontrol Deneyi

AMAÇ: Bu laboratuvar deneyinde matematik denklemleri sıkça karşımıza çıkan arabalı ters sarkacın kontrolünü gerçekleştireceğiz. Arabalı ters sarkacın parçalarını Şekil 1’ de inceleyiniz.



Şekil 1. Arabalı Ters Sarkaç Düzeneği

KAPALI VE AÇIK ÇEVİRİM

Kapalı çevirimin en önemli farkı, dış etkenlere ve iç değişimlere karşı hassasiyetin az oluşudur. Dolayısıyla nispeten çok hassas olmayan ve kusurlu denebilecek bileşenler ile hassas kontrol gerçekleştirebilirken, açık çevrimde bu mümkün olmamaktadır.

Kararlılık açısından bakıldığında açık çevrimli bir sistemi oluşturmak kolay olmakla birlikte sistem kararlılığı göz önüne alınmaz (veya önemsizdir). Diğer yandan sistem kararlılığının önemli olduğu kapalı-döngü kontrol sisteminde aşırı düzeltme sonucu (sistem kararlılığını iyileştiren parametrelerin belli noktalarda veya aralıklarda sistemin davranışını olumsuz etkilemesi) sonuç salınım ve büyüklük değişimi şeklinde gözlemlenebilir. Bazı durumlarda (bozucu etkenin olmadığı veya çıkışın ölçümünün mümkün olmadığı durumlarda) açık-çevrim kontrol sistemi tercih edilebilir.

PID KONTROL SİSTEMİ

PID (Proportional-Integrator-Derivative) elektrik, hidrolik ve mekanik sistemlerde en çok kullanılan kontrol sistemidir. Kontrol sisteminden sistemdeki hatayı telafi eden yani hatayı sıfıra indirgeyen bir yapı anlaşılmalıdır. Bir çok PID kontrolcü sahada intibak edilir ve literatürdeki bir çok yaklaşım kullanılarak ayarlaması yapılabilir. Bu yaklaşımlar ile sahada hassas ve ince ayarları dahi yapılabilir. Ayrıca; otomatik ayarlama metodları da kullanılabilir. Endüstride bir çoğu uygulandığı gibi kazanç katsayıları belirli program ve zaman dahilinde değiştirilebilir.

PID kontrolün faydası, bir çok kontrol sistemine genel uygulanabilirliğinin bir sonucudur. Genel olarak sistemin matematik modeli bilinmediği zaman analitik yöntemler uygulanamaz; ancak PID kontrol kendini bu bakımdan kanıtlamış durumdadır. PID kontrol genel olarak tatmin edici kontrol sonuçları verse de optimum kontrol sağlayamaz.

$$G_c = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

P-PI-PD-PID KONTROL ORGANI TİPLERİ

Genel olarak ifade edecek olursak;

a) Orantı etki (P – Kontrol): T_i sonsuza ve T_d gitmesi halinde kontrolör yalnızca orantı etki ile çalışır. Bunu da orantı kazancı K_p 'nin ayarı ile kontrolör duyarlılığı artırılabilir. Pratikte genellikle orantı etki orantı bandı (PB) cinsinden ayarlanır.

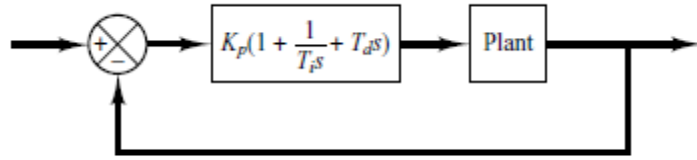
b) PI kontrolör: Orantı etkiye integral etki ilavesi ile elde edilen PI kontrolörün yapısı nispeten basit olup, özellikle süreç kontrolör sistemleri nin %75 - %90 arasında kullanılır. En yaygın kullanım alanları; basınç, seviye ve akış kontrol sistemleridir.

İntegral etki, denetlenen çıkış büyüklüğünde meydana gelebilecek kalıcı - durum hatalarını ortadan kaldırır. İntegral etkinin kullanım amacı sistemin değişen talepleri üzerinde yeterli bir kontrolör etkisi sağlamaktır. Eğer sistemden gelen bir talep yalnız başına P etkisi ile karşılanabiliyorsa I etkisinin kullanılması gereksizdir. Buna karşılık, sistemden oldukça sık aralıklarda yüksek miktarda talepler ortaya çıkıyorsa, yalnızca P etkisine sahip bir kontrolör bu talepleri karşılayamaz. Böyle bir kontrolörün karakteristiklerine ve talebin (bozucu giriş) büyüklüğüne bağlı olarak sistemde kalıcı – durum hatası ortaya çıkar. Eğer P etkisine I etkisi ilave edilecek olursa, kontrolör çıkışından sürekli artan (entegre olan) kontrolör etkisi elde edilir. Böylece, motor elemanının, hatanın ortadan kalmasını sağlayacak kadar hareket etmesi temin edilmiş olur. Bu işlem sonucunda, denetlenen çıkış büyüklüğünde ortaya çıkan sapma sıfırlanmış olur.

c) PD kontrolör: Orantı etkiye türev etki ilavesi ile elde edilen PD kontrolör; kalıcı – durum hatasını sıfırlayamamakla beraber, bozucu girişten doğan kalıcı – durum hatasının fazla önemsenmediği, fakat buna karşılık orantı etkiye göre geçici – durum davranışının iyileştirilmesi istenen konum servo mekanizmalarında tercih edilir. Türev etki ilavesi, sisteme sönüm ilave ederek kararsız veya kararsızlığa yatkın sistemi daha kararlı hale getirebilir. Türev etki ilavesinin en önemli sakıncası, kontrolör sinyalleri yanında sistemde ortaya çıkan gürültü (parazit) sinyallerini de kuvvetlendirmesidir. Bunun sonucu olarak son kontrolör (düzeltme elemanı) çıkışında salınımlı bir hareket meydana gelebilir.

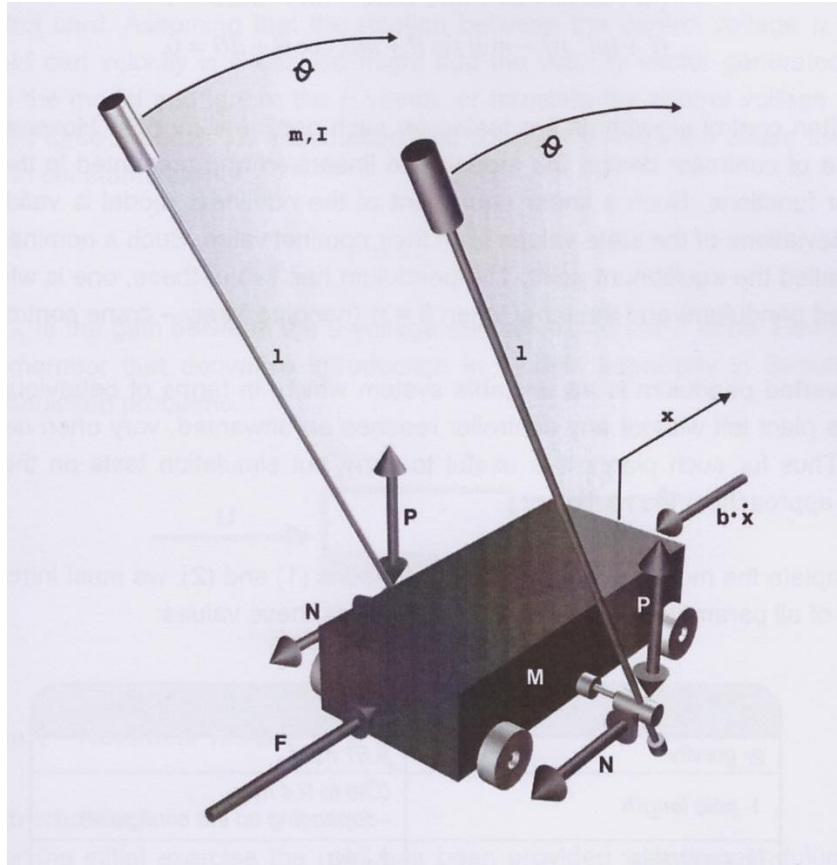
d) PID kontrolör: Uzun ölü zaman gecikmelerinin ortaya çıktığı süreç kontrolör sistemlerinde, PI kontrolörde integral etkinin tamamlayıcısı olarak türev etki kullanılır. Sıcaklık, pH, yoğunluk, karışım v.b. ölçümlerinde ortaya çıkan ölü zaman gecikmeleri, PID kontrolör kullanılarak telafi edilebilir.

Düşük şiddetli bozucu girişlere maruz bir sistemin PI etki ile denetlenmesi halinde PB orantı bandı ayarının geniş ve türev etki kazancı ($K_i=1/T_i$) ayarının düşük tutulması tercih edilir. Bu ayarlar altında, sisteme geniş zaman aralıkları içerisinde büyük şiddetli bozucu girişler etki edecek olursa, hatada meydana gelen değişimleri izlemeye ve düzeltmeye PI etki tek başına yeterli olamaz. Bu durumda bir türev etki ilavesi orantı kazancı ayarının daha yüksek tutulmasına (orantı bandının daralması) o lanak tanıyarak kontrolörün tepki süresini hızlandıracaktır. Çok küçük sönüm katsayısına sahip servomekanizmalarda PI kontrolör yeterli olmamaktadır. Bu durumda da türev etki ilavesi, sistemde fazla bir kararsızlık problemi yaratmadan K_p , orantı kazancının yüksek tutulmasını sağlayarak, sistemin kararsızlığa yatkınlığını önlemiş olur. Böylece PID kontrolör etkisi ile bir taraftan kalıcı – durum hatası sıfırlanırken diğer taraftan da sistemin geçici – durum davranışı iyileştirilmiş olur.



Şekil 2. PID Kontrol Sistemi

ARABALI TERS SARKACIN MATEMATİK MODELİ



Şekil 3. Arabalı Ters Sarkacın Serbest Cisim Diagramı

$$(m + M)\ddot{x} + b\dot{x} + ml\ddot{\theta}\cos\theta - ml\dot{\theta}^2\sin\theta = F \quad (1)$$

$$(I + ml^2)\ddot{\theta} - mgl\sin\theta + ml\ddot{x}\cos\theta + d\dot{\theta} = 0 \quad (2)$$

Denklem (1) ve denklem (2) doğrusal olmayan (non-linear) eşitliklerdir. Sistem modeli kontrol için denge konumu etrafında (küçük salınım açıları için) doğrusallaştırılabilir. Bunlardan bir tanesi $\theta = 0$ (ters sarkaç durumu) diğeri ise $\theta = \pi$ (serbest sarkaç) olmaktadır.

Ters sarkaç durumunda doğrusallaştırma yapılırsa:

$$\sin \theta = \theta \quad (3)$$

$$\cos \theta = 1 \quad (4)$$

$$\dot{\theta}^2 = 0 \quad (5)$$

Doğrusallaştırılan denklem (1) ve (2) aşağıda yeniden düzenlenirse:

$$(m + M)\ddot{x} + b\dot{x} + ml\ddot{\theta} = F \quad (6)$$

$$(I + ml^2)\ddot{\theta} - mgl\theta + ml\ddot{x} + d\dot{\theta} = 0 \quad (7)$$

Yukarıdaki denklemlerde ifadelerin Laplace dönüşümleri aşağıda verilmiştir.

$$\ddot{x}(t) = s^2 X(s) - sx(0) - \dot{x}(0) \quad (8)$$

$$\ddot{\theta}(t) = s^2 \theta(s) - s\theta(0) - \dot{\theta}(0) \quad (9)$$

$$\dot{x}(t) = sX(s) - x(0) \quad (10)$$

$$\dot{\theta}(t) = s\theta(s) - \theta(0) \quad (11)$$

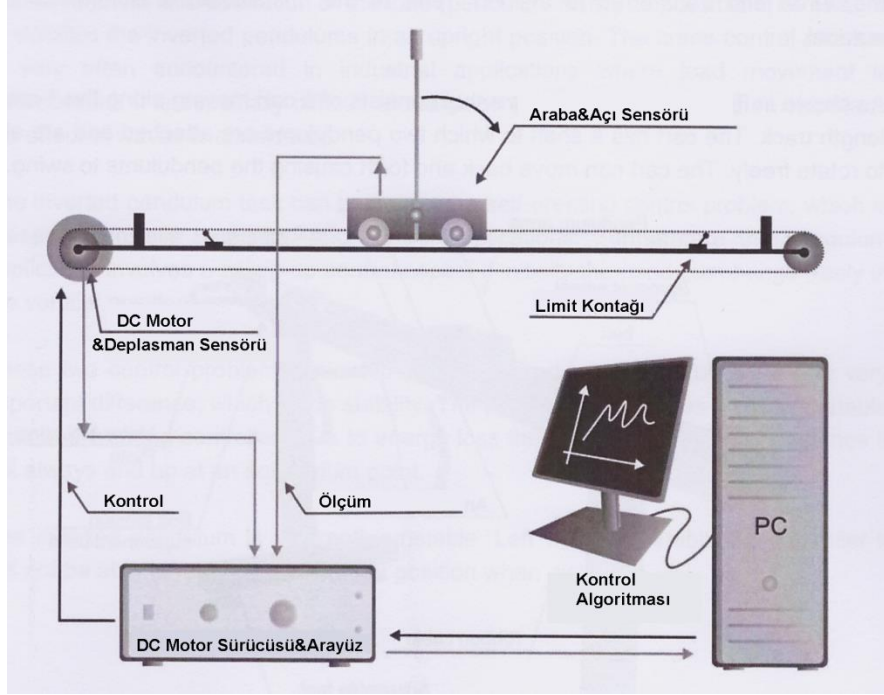
$$x(t) = X(s) \quad (12)$$

$$\theta(t) = \theta(s) \quad (13)$$

Verilen Laplace dönüşümlerinde başlangıç şartları sıfır alınarak Transfer fonksiyonu aşağıda olduğu gibi elde edilebilir.

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{F(s)} = \frac{s}{d_3 s^3 + d_2 s^2 + d_1 s + d_0} \quad (14)$$

SİSTEM KONTROLÜ



Şekil 4. Kontrol Sistemi

Tablo 1. Sarkaç Parametreleri

Parametreler	Değerler
g-yerçekimi	9.81 m/s ²
l-çubuk uzunluğu	0.36 dan 0.4 m ye
M-arabanın kütlesi	2.4 kg
m-çubuğun kütlesi	0.23 kg
I-Çubuğun atalet momenti	Yaklaşık 0.0999 kg-m ²
b-arabanın sürtünme katsayısı	0.05 Ns/m
d-sarkaç sönümleme katsayısı	ihmal edilebilir olmasına rağmen modelde 0.005 Nms/rad

Deney Raporunda Yapılacak Adımlar:

- 1- Deney ile ilgili amaç, yöntem, deney düzeneğinin tanıtılması, teorik bilgi, deneyin yapılışı yazılmalıdır.
- 2- Arabalı ters sarkaç sistemin doğrusal olmayan (non-linear) modelinin çıkarılışı yapılmalıdır.
- 3- Doğrusallaştırılmış denklemleri kullanarak sisteme ait transfer fonksiyonunun denklem (14) deki gibi olduğu ispatlanmalıdır. Not: d_3 , d_2 , d_1 , d_0 katsayılarını m , M , b , l , F , I , g ve d ye bağlı olarak bulunmalıdır.
- 4- Arabalı ters sarkaç sistemi için transfer fonksiyonu Tablo 1'deki değerler kullanarak elde edilmelidir.
- 5- Elde edilen sonuçlar yorumlanmalıdır.

KAYNAKLAR: Modern Control Engineering, Katsuhiko Ogata, 5th Edition