



POSITION CONTROL OF AN ELECTROHYDROLIC SYSTEM

Prepared by: Prof. Dr. İbrahim YÜKSEL, Yrd. Doç. Dr. Elif TOPÇU

1. Scope

At this laboratory experiment are:

- at this lab experiment, the elements of an electrohydraulic systems will be introduced;
- Fundamental relationship (mathematical equations) will be introduced.
- Lately, an experiment will be done on an electrohydraulic position control system which is computer controlled.

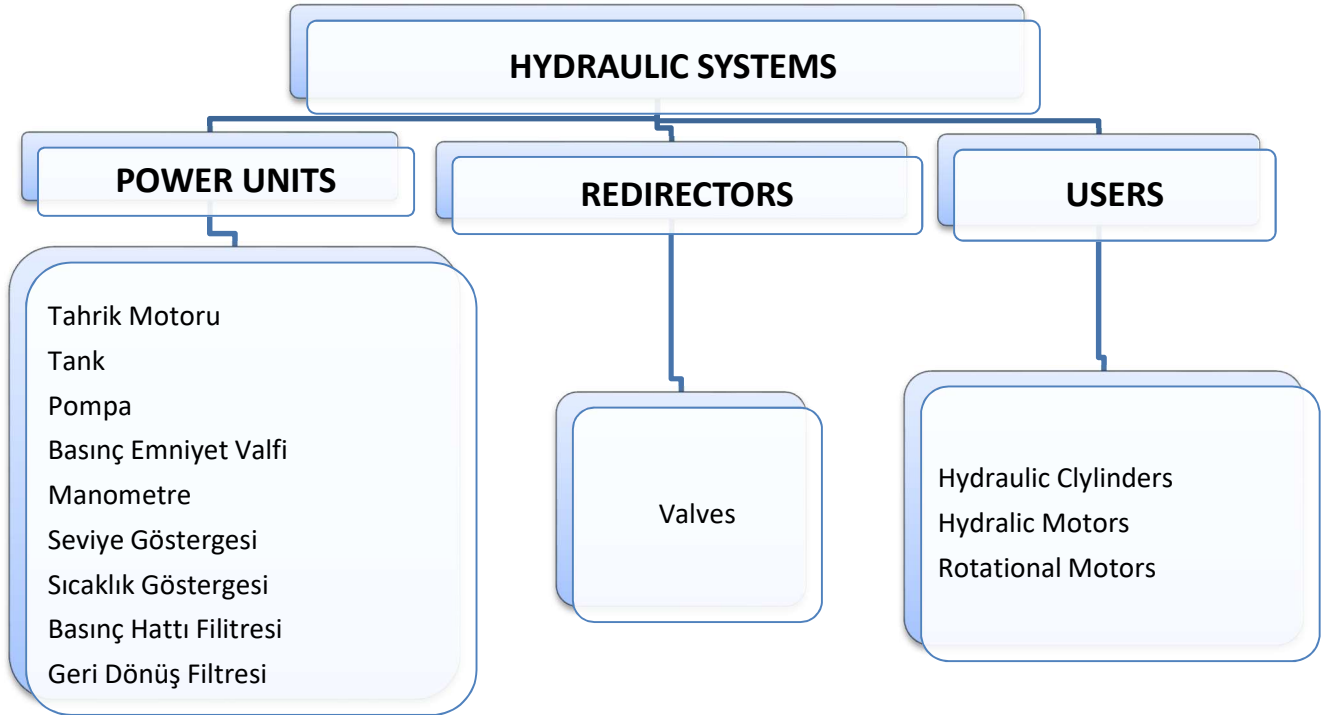
2. Introduction

Hidrolik güç iletim sistemleri endüstride değişken seviyelerdeki büyük güçlerin kullanıldığı ve hassas denetim gerektiren yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Basma ve kesme presleri, plastik enjeksiyon makineleri, robotlar, uzay araçları, uçaklar ve takım tezgahları hidrolik sistemlerin yaygın olarak kullanıldığı yerlerden bazılarıdır. Bu alanlarda kullanılan hidrolik sistemlerin pek çoğunda elektriksel denetim elemanları kullanılmaktadır. Geri beslemeli elektrohidrolik denetim ise sistemde elektrohidrolik valflerin, elektriksel algılayıcıların ve denetim organının kullanılmasıyla oluşturulmaktadır.

3. Theory

3.1. Hydraulics

Basıncılı bir akışkan ile sağlanan güç iletimi ve kontrolü endüstrinin her alanında giderek yaygınlaşmaktadır. Büyük kuvvetlere, hassas hız kontrolüne ve yüksek güç-ağırlık oranlarına ihtiyaç duyulan durumlarda hidrolik sistemler kullanılır. Hidrolik güç, araba krikolarından hastane yataklarına, binlerce ton kuvvetindeki preslerden hassasiyeti mikrometre derecesine varan robotlara kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir. Hidrolik sistem elemanları genel olarak üç ana grupta toplanırlar.



Güç Ünitesi

Tahrik Motoru: Pompayı tahrik etmek için genellikle elektrik motoru kullanılır ancak açık arazide ve mobil taşıtlarda içten yanmalı motor kullanılır.

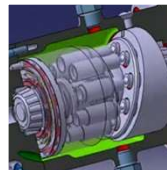
Tank: Sistemde dolaşan akışkanı depolamak için kullanılır.

Pompa: Hidrolik akışkan akışı meydana getirirler. Farklı tipte pompalar kullanılmakta olup şu şekilde adlandırılırlar;



Döner Pompalar

- Dıştan Dişli Pompalar
- İçten Dişli Pompalar
- Basit Kanatlı Pompalar
- Dengeli Kanatlı Pompalar
- Değişken Debili Kanatlı Pompalar



Pistonlu Pompalar

- Eksenel Pistonlu Pompalar
- Radyal Pistonlu Pompalar
- Plancer Pompalar

Basınç Emniyet Valfi: Sistemin belirlenen basınçta tutulmasını sağlar.

Sıcaklık Göstergesi: Akışkanın sıcaklığını kontrol etmek için kullanılır.

Seviye Göstergesi: Akışkanın sıcaklığını kontrol etmek için kullanılır.

Filtre: Basınç hattı ve geri dönüş filtresi olmak üzere iki adet kullanılır.

Yönlendiriciler;

Valfler: hidrolik akışkan, kontrol sinyali ve kullanıcılar arasındaki sınırı belirler. Debi, akış yönü ve akışkan basıncının kontrol edilmesi için kullanılırlar. Kontrol sinyalleri mekanik, el kumandalı, hidrolik, pnömatik veya elektrikli olabilir. Elektrikli olanları servo ve solenoid valf olarak iki grupta toplanırlar. Akışkanın gideceği yönü belirledikleri için bu adı alırlar. Valfleri aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

Basınç Kontrol Valfleri	Akış Kontrol Valfleri	Yön Kontrol Valfleri	Mobil Hidrolik Valfler
<ul style="list-style-type: none">• Emniyet Valfleri• Basınç Dengeleme Valfleri• Basınç sıralama Valfleri• Basınç Düşürücü Valfler	<ul style="list-style-type: none">• Üç yollu veya bypass geçişli valfler• Öncelikli akış kontrollü valfler• Akış bölücüler	<ul style="list-style-type: none">• Çek valfler• Oturtmalı valfler• Kayar sürgülü valfler• İki kademeli valfler	<ul style="list-style-type: none">• Sürgülü tipi kartuşlu valfler• Pistonlu tip kartuşlu valfler

Kullanıcılar;

Üç temel tip hidrolik kullanıcı vardır ve tipleri tabloda verildiği gibidir.



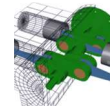
Hidrolik Silindirler

- Dalma Silindirler
- Tek Etkili Silindirler
- Çift Etkili Silindirler



Hidrolik Motorlar

- Jenaratif Tipte motor
- Piston Tipi Motorlar



Açısal Motorlar

- Kanatlı Tip Açısal Motorlar
- Piston Tipi Döner Silindirler
- Helisel Vidalı Açısal Motor

4. FUNDAMENTAL EQUATIONS OF AN ELECTROHYDRAULIC POSITION CONTROL SYSTEM



Yüke maruz servovalf denetimli bir elektrohidrolik bir sistemin matematik modeli genel olarak valf debi denklemleri, silindir debi denklemleri, yük denklemleri ve denetim sistemini ifade eden denklemlerden oluşmaktadır. Burada amaç detaylı bir matematik analiz olmayıp, basitçe sistemin dinamik davranışına esas olan parametrelerin etkilerini göstermektir.

4.1. Mathematical Model of a Servo Valve

Yük basıncı (P_L) ve valf sürgü konumuna (x_v) bağlı olarak valfin debi denkleminin doğrusallaştırılmış şekilde ifadesi

$$Q_v(t) = K_v \cdot x_v(t) - K_p \cdot P_L(t) \quad (1)$$

ile ifade edilebilir. Valfin elektriksel kısmının dinamik davranışı ise birinci dereceden bir gecikme elemanı gibi modellenir.

$$G_v(s) = \frac{X_v(s)}{I(s)} = \frac{K_v}{T_v s + 1} \approx K_v \quad (2)$$

Burada K_s valf kazancı, T_v valf zaman sabitidir. Valfin zaman sabiti tüm sistemin zaman sabitinin yanında çok küçük kaldığı için ihmal edilerek valf bir kazanç elemanı gibi ele alınabilir.

4.2. Mathematical Model of the Hydraulic Cylinder

Belirli bir karşı yüke, kütle ve sönümleyiciye sahip, sıkıştırılabilirliğin ve sızıntı kayıplarının da hesaba katıldığı çift piston çubuklu bir silindir sisteminin denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Q_L(t) = A \frac{dy(t)}{dt} + C_{tp} P_L(t) + \frac{V_t}{4\beta_e} \frac{dP_L(t)}{dt} \quad (3)$$

Burada, A (m^2) piston etkin kesit alanı V_t (m^3) toplam sıkıştırılabilir hacim, C_{tp} ($(m^3/s)/(N/m^2)$) toplam sızıntı katsayısı, β_e (N/m^2) bulk modülü, y (m) piston konumudur. Sıkışabilirlik ve sızıntı ihmal edildiği takdirde denklem



$$Q_L(t) = A \frac{dy}{dt} = A v(t)$$

(3)

olarak ifade edilebilir. Burada $v(t)$ piston hızıdır.

Silindir hareketli elemanların kütlesi m (kg) , sönüm katsayısı B (N/(m/sn)) olan bir sistemde hareket oluşturmaktadır. Sistemde silindir hareketini tamamlamadan yay kuvveti ile bozucu giriş etkisi oluşturulmaktadır. Buna göre hareket denklemi için;

$$AP_L(t) - F_y(t) = m \frac{d^2y(t)}{dt^2} + B \frac{dy(t)}{dt} \quad (4)$$

ifadesi yazılabilir. Burada F_y (N) yay kuvveti bozucu giriş olup deneydeki sistem için $k \cdot x_h(t)$ ı içermektedir. $x_h(t)$ silindirin yaya temasından sonraki hareket miktarı, k yaylılık katsayısıdır.

4.3. Mathematical Model of the Controlling Part, Position Sensor, and Current Driving Circuit

Denetim organı, konum algılayıcısı ve akım sürücü kazanç tipi elemanlar olarak ele alınmıştır. Buna göre her birinin transfer fonksiyonu

$$G_{\text{denetim}}(t)=K \ ; \ G_{\text{akım sürücü}}(t)=K_a \ ; \ G_{\text{algılayıcı}}(t)=K_{\text{alg}} \quad (5)$$

olarak ifade edilebilir.

4.4. Control of the Closed Loop System

Başvuru giriş, karşılaştırıcı, denetim organını da içine alan denetleyici kısmı temelde mikrodenetleyici olarak isimlendirilen elektronik bir devredir. Bu çalışma çerçevesinde denetim kısmı, içinde veri toplama kartı bulunan bir bilgisayar ile gerçekleştirilmektedir. Bu



sistem veri toplama kartı ile sistemin çalışmasını ve denetim yordamlarını (algoritmalarını) çalıştıran bir yazılımdan (programdan) meydana gelmiştir.

Şekil 1'den de görüldüğü gibi denetleyicide giriş bilgileri ile geri besleme bilgileri karşılaştırıldıktan sonra ortaya çıkan hata sinyaline bağlı olarak uygun bir denetim bilgisi veya işareti üretilir. Bu denetim bilgisi denetleyicide uygun bir denetim etkisi biçiminde hazırlanır. Bu işlem de uygun bir yazılım programı ile yerine getirilir.

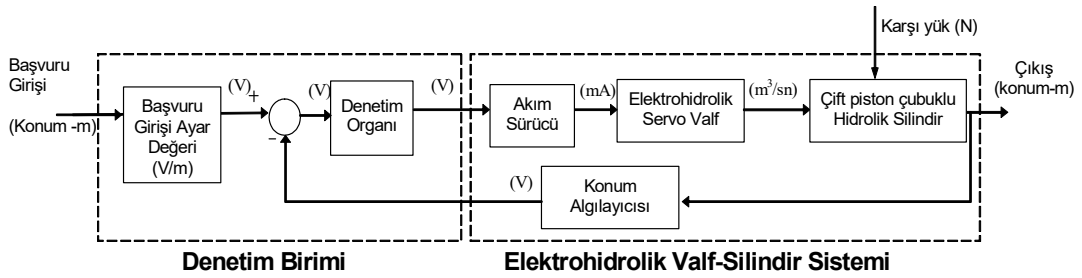
Denetleyicinin çıkışında elde edilen denetim bilgisi veya işareti motor eleman olan valfe gönderilir. Yalnız sayısal biçimde (kesikli/dijital) olan bu işaret genelde benzeşik (sürekli/analog) işaret ile çalışan motor elemana gönderilmeden önce DAC (dijital-analog çevirici) adı verilen elektronik bir devrede benzeşik bir işarete dönüştürülür. Bu işaret ise düşük akımlı bir gerilim işareti olduğu için eyleyiciyi harekete geçirecek güce sahip değildir. Bunun için benzeşik elektronik elemanlardan (genelde tranzistör, diyot gibi) meydana gelmiş bir sürücü devre (akım sürücü devre veya güç kuvvetlendiricisi) kullanılır. Bu devreden sağlanan yüksek akımlı elektrik enerjisi temel devresi bir sargı (bobin) elemanından oluşan valfte mekaniksel bir hareket oluşturur. Bu mekaniksel hareket sonucunda valften akışkan akışı sağlanır. Akışkan akışı ise silindirin ilgili odalarına dolarak basınç kuvveti yardımıyla piston hareketini oluşturur. Geri besleme döngüsü içinde yer alan en önemli elemanlardan birisi de konum algılayıcısıdır. Kullanılan konum algılayıcısı pistonun konumunu algılayıp değerlendiren bir ölçme elemanıdır. Algılama elemanı algılama ve işaret kuvvetlendirme-değerlendirme olmak üzere iki kısımda inceleyebiliriz. Algılama kısmı ölçülecek ve dolayısıyla denetlenen değişkeni hisseden bölümdür. Burada algılanan fiziksel değişken uygun bir işarete dönüştürülür. Algılayıcının bu kısmı işaret veya enerji dönüştürücü (transducer) olarak bilinir. Bu dönüştürme işlemi için elektronik elemanlardan oluşan devreler kullanılır. Algılayıcı çıkışı benzeşik bir işaret olduğundan denetleyiciye gönderilmeden önce benzeşik-sayısal (analog-dijital) dönüştürücü olan ADC de sayısal işarete dönüştürülür.

5. Experiment Sets

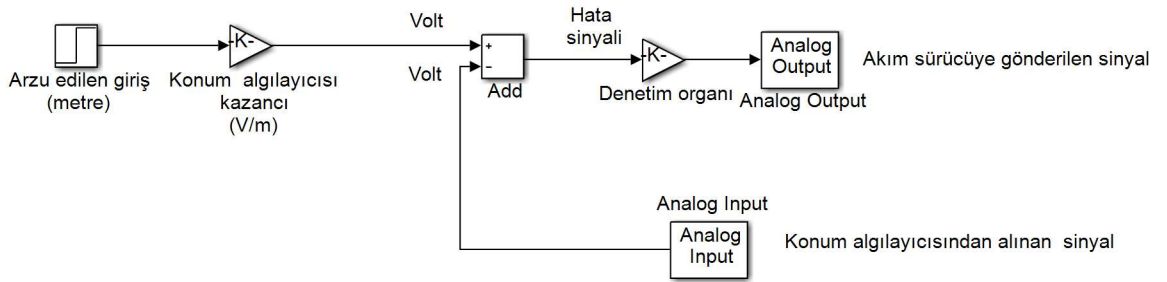
Kullanılan deney düzeneği çift etkili silindir, servo valf, sürücü devreler, direnç tipi bir konum algılayıcısı, denetim birimi ve güç ünitesinden oluşmaktadır. Hidrolik silindir 150 mm stroklu, 40mm piston, 22 mm piston çubuğu çaplı çift etkili-çift piston çubuklu senkronize bir silindiridir. Güç ünitesi 20 lt/dak ve 100 bar basınç sağlayabilen dişli bir pompa, 5 kW lık güce

sahip elektrik motoru ve yağ tankından oluşmaktadır. Servo valfin kapasitesi 10 lt/dak'dır. Akım sürücü kazancı 3 mA/V' dur. Konum algılayıcının kazancı ise 25 V/m' dir. Sistemde bulunan yay 0,05 m uzak mesafeye konumlandırılmıştır. Silindir harekete başladığı andan yaya temas edene kadar yüksüz durumdadır. Sistemin kapalı döngü blok şeması Şekil 1' de gösterildiği gibidir.

Sistem bilgisayar ve veri toplama ve denetim kartından oluşan bir denetim birimi ile denetlenmektedir. Hidrolik sistemi denetleyebilmek için MATLAB/Simulink ortamında Şekil 2' de gösterilen model kurulmuştur.



Şekil 1. Elektrohidrolik Konum Denetim Sisteminin Kapalı Döngü Blok Şeması



Şekil 2- Denetim birimi MATLAB/Simulink modeli

6. The Way of the Experiment

Sistem elektrik düğmesinden açık hale getirilerek elektrik motorunun, sürücü, valf ve algılayıcının güç ihtiyacı karşılanır. sağlanır. Basınç emniyet valfi maksimum sistem basıncının yaklaşık %15 fazla değerine ayarlanır. Bu değer not edilir.

Geri beslemeli elektrohidrolik konum denetim sisteminin silindir elemanının hareket mesafesi belirlenir ve bu değer bilgisayar ortamında hazırlanan model üzerinde arzu edilen giriş

değeri olarak verilir. Bu deneyde sistemin basamak girişe karşılık verdiği cevap inceleneceği için hazırlanan modelde arzu edilen giriş değeri olarak basamak girişin şiddeti girilir. Denetim organı kazancı ayarlanır. Bilgisayar programında hazırlanan model çalıştırılarak akım sürücü devreye denetim sinyali gönderilir. Silindirin pistonunun hareketi ile konum algılayıcı eleman üzerinden de sinyaller veri toplama sistemi üzerinden toplanmaya başlar. Elde edilen sonuçlar bilgisayar üzerinden ve sistem üzerinden gözlenir.

Farklı kazanç değerleri için deney tekrarlanır.

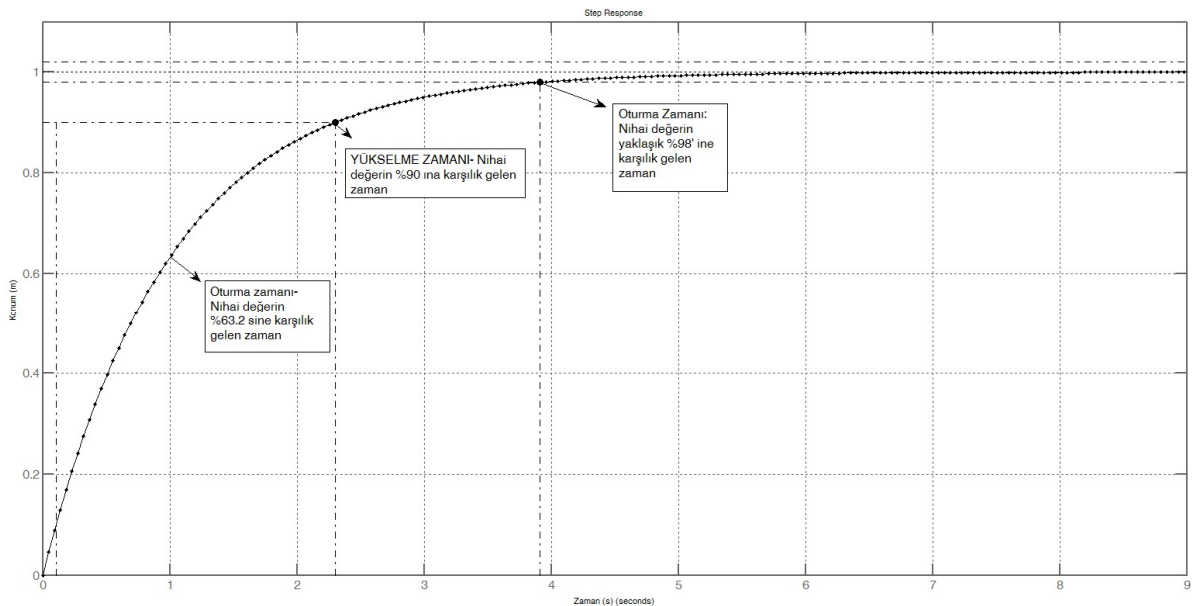
7. Measurement Values

Başvuru giriş değeri, denetim organı kazancı değeri not edilir. Deney sırasında silindir pistonunun hareketi ile elde edilen zamana bağlı konum değişim değerleri çıkış olarak ölçülür. Burada hesaplanacak değerlerin açıklaması aşağıda verilmiştir.

Oturma zamanı: Çıkışın nihai değerinin yaklaşık %98' ine karşılık gelen zaman değeri

Yükselme zamanı: Çıkışın nihai değerinin %90' ına karşılık gelen zaman değeri

Zaman sabiti: Çıkışın nihai değerinin %63.2' sine karşılık gelen zaman değeri



Şekil 3 Zaman sabiti bir sistemin birim basamak giriş için cevap eğrisi



8. Desired Things to be Calculated

Birim basamak giriş için elde edilen zaman- silindir konum değişim eğrisi çizdirilecek. Konum değişiminin zamana göre gerilim cinsinden değişimi deney sırasında okunacaktır. Buna göre sistem tanımlamasında verilen konum algılayıcısı kazancına göre pistonun konum değişim eğrisi x ekseninde zaman, y ekseninde metre cinsinden konum değişimi olarak çizdirilecek. Bu eğrinin hangi denetim organı kazanç için çizdirildiği yazılmalıdır.

Elde edilen bu eğriden sistemin zaman sabiti, yükselme zamanı, oturma zamanı değerleri buldurulacak.

Elde edilen konum eğrisinden hareketle pistonunun yaklaşık hız değişimi ve bu hız değişimine göre valf debisi hesabı yapılacak. Bunun için harekete başladığı noktadan itibaren yaklaşık doğrusal bir eğri çizilerek ilk harekete başladığı anda sisteme verilen debi hesabı yapılabilir.

Pistonun ileri hareketinde sistem basıncı dikkate alındığında pistonun verilen boyutları için kaç N' luk bir yük harekete ettirilebilir? Hesaplayınız.

SOURCES

- [1] *Merritt, H.E.*, Hydraulic Control Systems, John Wiley & Sons Inc., New York, London, Sydney, 1967.
- [2] *İbrahim YÜKSEL*, “Otomatik kontrol, Sistem Dinamiği ve Denetim sistemleri”. Dora Yayıncılık. 2014.
- [3] *Elif Erzan Topçu, Mesut Şengirgin, İbrahim Yüksel* “Servovalf Kumandalı Elektrohidrolik Bir Konum Denetim Sisteminde Karşı Yükün Etkisinin İncelenmesi” 6. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi Ve Sergisi, 12-15 Ekim 2011, Tepekule İzmir.