



# PULS GENİŞLİĞİ MODÜLASYONU TEKNİĞİNİN BİLGİSAYAR KONTROLLÜ HİDROLİK SİSTEMLERE UYGULANMASI

Ömer KELEŞ  
Yücel ERCAN

## ÖZET

Bu çalışmada, özellikle yavaş hareket eden hidrolik tahrik sistemlerinde meydana gelen tutuk hareketi ortadan kaldırmak amacıyla puls genişliği modülasyonu tekniği bilgisayar kontrollü hidrolik sistemlere uygulanmıştır. Bu uygulamada elektrohidrolik servovalf, piston-silindir ve yükten oluşan hidrolik bir servo sisteminin puls genişliği modülasyonlu girişler için konum kontrolü deneysel olarak yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, puls genişliği modülasyonu tekniğinin hidrolik sistemlere başarılı bir şekilde uygulanabildiği ve yavaş hareket esnasında meydana gelen tutuk hareketin de giderilebildiği gösterilmiştir.

## GİRİŞ

Hidrolik sistemler, hızlı cevap, büyük güç uygulayabilme ve yüksek hassasiyet gibi üstünlükleri nedeni ile, uçak sanayii, endüstriyel robotlar, savunma sanayii ve bilgisayar kontrollü takım tezgahları gibi dalları da içine alan oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bilgisayar teknolojisinde son yıllarda kaydedilen büyük gelişmeler ve fiyatlarındaki düşüşler sonucu, bu cihazlar diğer kontrol uygulamalarının yanı sıra akışkan gücü kontrolünde de kullanılmaya başlanmıştır. Böylece akışkan gücü kontrol sistemlerinde de sayısal bilgisayarların programlanabilme yeteneğinden ve kullanım esnekliğinden yararlanma imkanı doğmuştur. Ayrıca bilgisayar kullanımı gerek maliyeti azaltmak, gerekse sistemlerin performans özelliklerini iyileştirmek açısından büyük önem kazanmıştır [1-5].

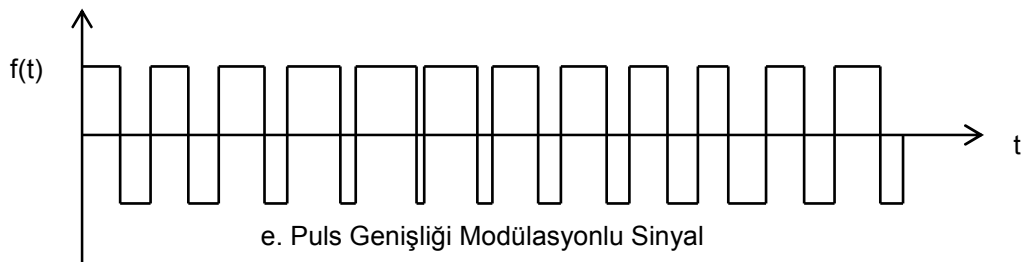
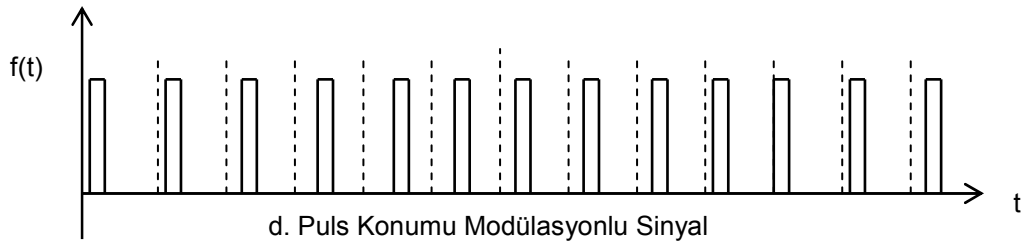
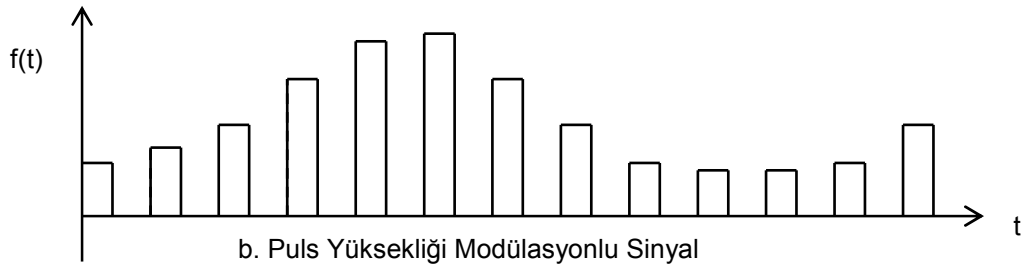
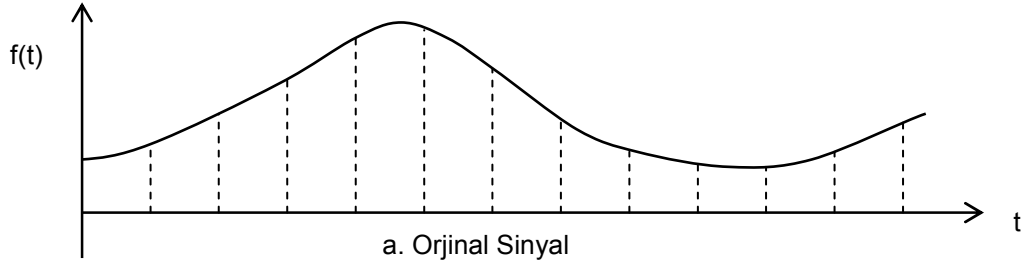
Özellikle yavaş hareket eden hidrolik tahrik sistemlerinde bazı problemler vardır. Bunlardan en önemlisi, "stick-slip" denilen sistemin tutuk hareket etmesi olayıdır. Diğer bir problem de, hidrolik yağın içinde bulunan kir ve benzeri maddelerin yavaş hareket esnasında valf orifislerini tıkamasıdır. Son yıllarda oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olan puls genişliği modülasyonu tekniği ile, bu tip problemlerin ortadan kaldırılabilmesi ya da azaltılabilmesi yapılan deneysel çalışmalarla gösterilmiştir [4-7]. Ayrıca bilgisayar yapısına uygun olması da bu tekniğin avantajlarından biridir. Puls genişliği modülasyonu tekniği, hidrolik sistemlere ekonomik yönden de fayda sağlamaktadır. Çünkü, bu tekniğin uygulandığı düşük frekanslarda çalışan hidrolik sistemlerde, daha basit olan aç-kapa tipi solenoid valfların kullanılması yeterli olmaktadır [4-7].

## PULS MODÜLASYONU

Puls modülasyonu, elektronikte özellikle haberleşme alanında ve motorların hız kontrolünde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Yükün düşük hızlarda sürüldüğü hidrolik sistemlerde karşılaşılan tutukluk ve hız düşmesi problemlerine çözüm getirdiği ve bilgisayar uygulamalarına müsait olduğu için hidrolik kontrolde kullanımı da gündeme gelmiştir. Verilen bir sinyale puls modülasyonu başlıca dört biçimde uygulanmaktadır:



- Puls yüksekliği modülasyonu
- Puls frekansı modülasyonu
- Puls konumu modülasyonu
- Puls genişliği modülasyonu



Şekil 1. Puls modülasyonu türleri



Puls yüksekliği modülasyonunda, pulsun genişliği ve frekansı sabit olup, pulsun yüksekliği modüle edilen sinyalin (Şekil 1.a) büyüklüğüne bağlı olarak, zamana göre değişkendir (Şekil 1.b). Pulsun işareti ise modüle edilen sinyalin işaretine göre seçilir. Puls yüksekliği modülasyonunda modüle edilen sinyalin büyüklüğü azaldığında pulsların büyüklüğü de azalacağından, hidrolik kontrolde kullanıldığı takdirde düşük hızlarda tutukluk ve orifislerde mil teşekkülü gibi problemler ortaya çıkabilir.

Puls frekansı modülasyonunda ise, puls yüksekliği ve genişliği sabit olup, pulsun frekansı zamana göre değişkendir (Şekil 1.c). Bu teknik, frekans modülasyonu kullandığından karmaşık elektronik aygıtlar gerektirir. Özel arabirimler ve aygıtlar olmadan normal bilgisayarlarla uygulanması bu günkü teknolojiyle mümkün değildir. Diğer yandan negatif işaretli sinyallerin modülasyonu için özel tedbirler alınması gereklidir. Bu ise sistemi daha da karmaşık hale getirir.

Puls konumu modülasyonunda, pulsun yüksekliği, genişliği ve frekansı sabit tutulmakta, pulsun bir periyot içindeki konumu zamana göre değiştirilmektedir (Şekil 1.d). Bu tekniğin hidrolik kontrole uygulanması da özel cihazlar geliştirilmesini ve negatif sinyalleri pozitif sinyallerden ayıracak özel tedbirler alınmasını gerektirir.

Puls genişliği modülasyonunda, sabit genlikli bir pozitif bir de negatif pulstan yararlanılır. Birbirini izleyen pozitif ve negatif iki pulsun toplam süresi daima sabittir. Ancak pozitif ve negatif pulsların birbirlerine göre uzunluğu modüle edilen sinyalin büyüklük ve işaretine göre değişir (Şekil 1.e).

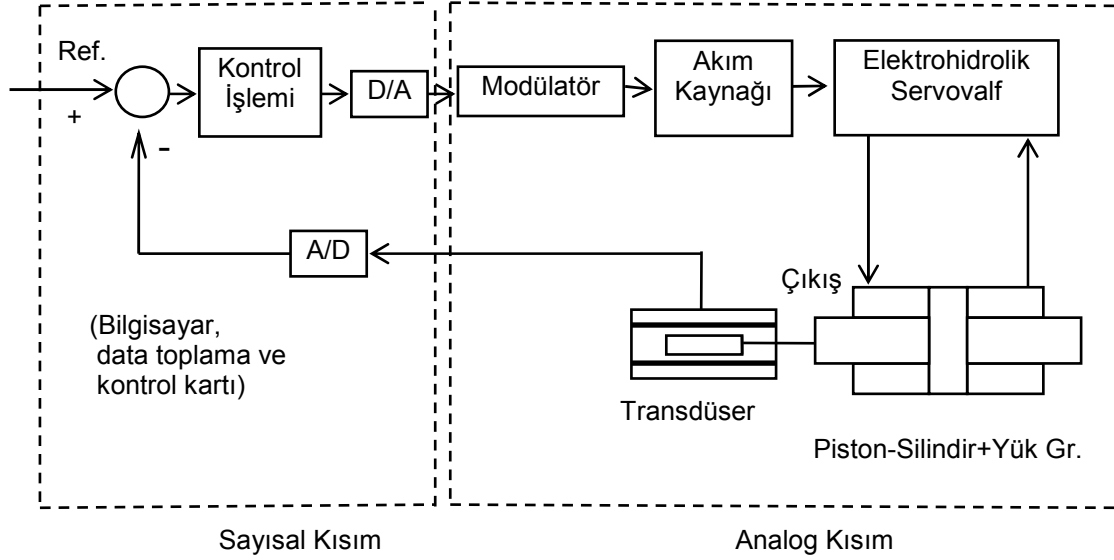
Elektrohidrolik kontrolde puls genişliği modülasyonu tekniği kullanılmaktadır. Elektrohidrolik kontrolde puls genişliği modülasyonunun tercih edilmesinin en önemli nedeni, puls genişliği modülasyonunun biri pozitif diğeri negatif olmak üzere puls çiftlerinden oluşmuş olmasıdır. Bu sinyal yapısı uygulamada yüksek hızlı solenoid valfların açık/kapalı biçimde kullanılmasına olanak sağlar. Servovalf kullanılan sistemlerde ise sistemi işaret değiştiren darbelerle çalıştırdığından yavaş hareketin istendiği sistemlerde tutukluğu ortadan kaldırır ve valfin içindeki orifislerde mil oluşmasını önleyerek hareketin yavaşlamasına mani olur. Modülasyon yapısı hem pozitif hem de negatif işaretli sinyallerle kullanmaya uygundur. Puls yüksekliğinin ve frekansının sabit olması uygulamada kolaylık sağlar; sistemin karmaşıklığını azaltır; sistemin tasarım ve analizini kolaylaştırır [1].

## SİSTEM YAPISI

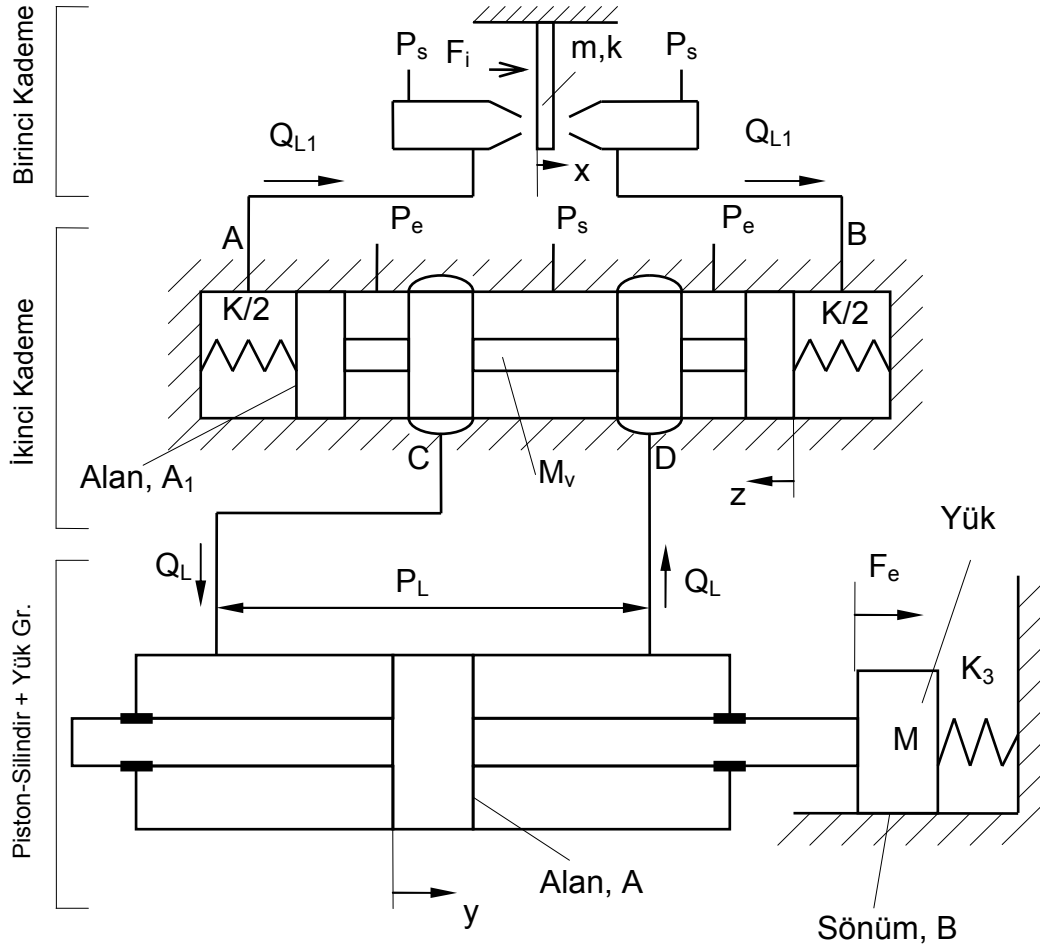
Bu çalışmada ele alınan sistem, analog puls genişliği modülasyonlu sistemlere göre daha üstün özelliklere sahip olan sayısal bir puls genişliği modülasyonlu elektrohidrolik servo sistem olup, yapısı Şekil 2.'de şematik olarak verilmiştir. Sistem sayısal ve analog olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Sayısal kısım bilgisayar, data toplama ve kontrol kartından oluşmaktadır. Kontrol işleminin seçimi, kontrol parametrelerinin belirlenmesi, istenen referans girişinin sağlanması sayısal ortamda yapılmaktadır. Analog kısım ise puls genişliği modülatörü devresi, akım kaynağı (servo yükseltici), elektrohidrolik servovalf, piston-silindir ve yük grubu ile konum transdüserinden meydana gelmiştir. Böylece, sayısal kontrolün sağladığı kullanım esnekliği ile puls genişliği modülasyonunun sağladığı performans özellikleri bir araya getirilmektedir.

Bu sistemde, analog/sayısal (A/D) ve sayısal/analog (D/A) dönüşümleri yapabilmesi amacıyla normal bir bilgisayarın içine data toplama ve kontrol kartı takılmıştır. Sistemin çalışması sırasında analog transdüser çıkışı bilgisayar tarafından A/D dönüştürücü kullanılarak belli zaman aralıklarıyla okunur. Okunan değer sayısal hale getirilir ve bir sonraki okumaya kadar saklanır. Bu değer bilgisayarın hafızasında bulunan ya da yine örnekleme yoluyla bilgisayar tarafından okunan referans değeri ile karşılaştırılarak hata bulunur. Hataya kontrol işlemi uygulanarak sisteme gönderilecek kontrol girişi önce sayısal olarak elde edilir, sonra da bilgisayardaki D/A dönüştürücüyle analog bir gerilim haline getirilir. Bu gerilim yeni bir kontrol çıkışı hesaplanıncaya kadar sabit tutulur. Bilgisayardan elde edilen bu analog gerilim sistemin analog kısmına kontrol girişi olarak beslenir. Sinyal önce puls genişliği modülatörü ile puls genişliği modülasyonlu bir gerilim sinyali haline dönüştürülür, sonra da akım kaynağına gönderilerek puls genişliği modülasyonlu bir akım sinyaline dönüştürülür. Bu amaç için

akışkan gücü kontrol sistemlerinde kullanılan normal bir servo yükselticiden yararlanılabilir. Akım kaynağından çıkan sinyal elektrohidrolik servovalfı tahrik eder. Servovalf de piston-silindiri tahrik ederek yükün sürülmesini sağlar.



Şekil 2. Puls genişliği modülasyonu ile sayısal elektrohidrolik servo sistemin yapısı

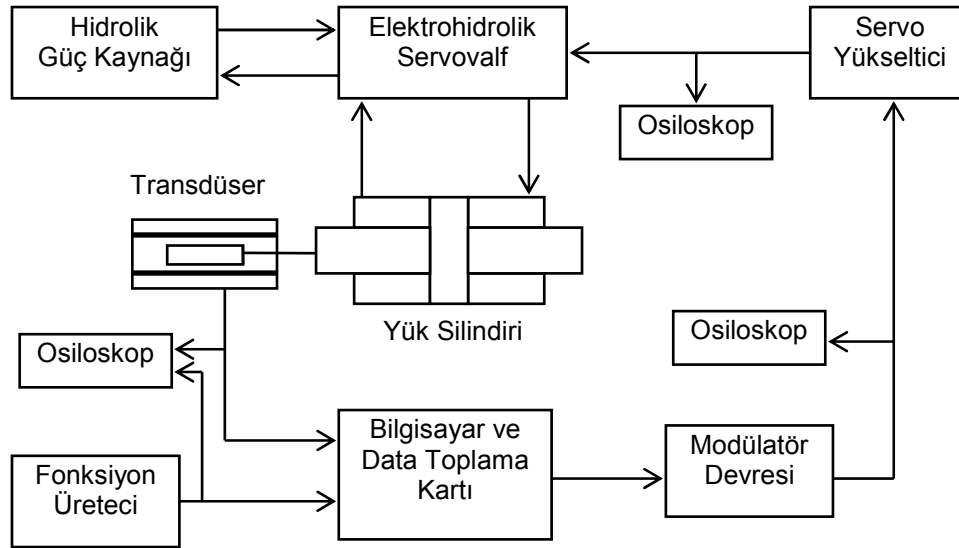


Şekil 3. Servovalf, piston-silindir ve yük grubu

Bu sistemde kullanılan servovalf , piston-silindir ve yük grubu basitleştirilmiş olarak Şekil 3.'de görülmektedir. Elektrohidrolik servovalf, birinci kademesi kanat-nozul tipinde olan iki kademeli bir servovalftır ve  $P_s$  sabit basıncındaki hidrolik akışkanla beslenmektedir. Akım kaynağından gelen akım sinyali ile tahrik edilen moment motoru birinci valf kademesini, birinci valf kademesinin hidrolik çıkışı da ikinci valf kademesini tahrik etmektedir. Valfın ikinci kademesiyle birinci kademesi arasında geribesleme elemanları yoktur. Servovalfın ikinci kademe çıkışı piston-silindir grubunu tahrik etmektedir. Servovalf, piston-silindir ve yükün detaylı modellemesi [1]'de verilmiştir.

## DENEY DÜZENEGİ

Bu çalışmada ele alınan elektrohidrolik servo sistem, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü imkanları ile Otomatik Kontrol Laboratuvarı'nda kurulmuş ve tüm deneyler burada yapılmıştır. Deney düzeneğinin şematik diyagramı ise Şekil 4.'de görülmektedir. Deney düzeneği hidrolik bir güç kaynağından beslenmektedir. Kontrol çevriminde veri toplama ve kontrol kartıyla donatılmış bir bilgisayar referans ve geribesleme bilgilerini örnekleyerek karşılaştırma işlemini yapmakta ve kontrol işlemini belirleyerek analog bir kontrol çıkışı sağlamaktadır. Çevrimin ileri besleme hattında sırasıyla puls genişliği modülatörü, servo yükseltici, servovalf ve yük silindiri yer almaktadır. Geribesleme hattında ise yükün konumunu ölçen bir transdüser bulunmaktadır. Sisteme referans girişi bir fonksiyon üretici veya bilgisayar tarafından sağlanmaktadır.



Şekil 4. Deney düzeneğinin şematik diyagramı

## Hidrolik Güç Kaynağı

Hidrolik güç kaynağı basınç kompensatörlü, değişken deplasmanlı tipte pistonlu bir hidrolik yağ pompası, bunu süren 22 kW'lık bir elektrik motoru ve gerekli filtreleme elemanlarından oluşmaktadır. Pompanın çıkış basıncı 200 bar'a kadar ayarlanabilmektedir. 1450 d/dk'da ve 200 bar çıkış basıncında pompanın debisi yaklaşık 60 l/dk'dır. Deneylerde kullanılan hidrolik sistem parçalarının çoğunun kullanım basıncı 100 bar olduğundan deneyler sırasında 100 bar kaynak basıncı kullanılmıştır.

## Elektrohidrolik Servovalf

Bu çalışmada MOOG marka 931 model bir elektrohidrolik servovalf kullanılmıştır. Valfın en yüksek çalışma basıncı 200 bar olmasına rağmen, diğer elemanlarla uyumluluk sağlanması için 100 bar'da çalıştırılmıştır. Valf iki kademeli olup, birinci kademesi kanat-nozul tipinde, ikinci kademesi ise



makaralı tiptedir. İki kademe arasında herhangi bir geribesleme elemanı bulunmamaktadır. Birinci valf kademesi elektromanyetik olarak bir moment motoru tarafından sürülmektedir. Bu amaçla valfa sağlanan giriş akımının maksimum nominal değeri 13.25 mA'dır. İmalatçı firma, maksimum giriş akımında ve 3000 psi basınç farkında valftan geçen debinin nominal değerini 2.5 in<sup>3</sup>/s olarak vermiştir.

### Yük Silindiri

Deney düzeneğinde yükü sürmek için bir piston-silindir kullanılmıştır. Deneyler sırasında daha büyük genlikli konum değişiklikleri elde edebilmek amacıyla laboratuvarında bulunan silindirlere en küçük alanlısı seçilmiştir. Kullanılan silindir çift etkili ve çift kollu pistonuna sahiptir.

### Konum Transdüseri

Deney düzeneğinde SENSOTEC marka, MDL 3000 model, DCDT tipi bir konum transdüseri kullanılmıştır. Silindirik ve paslanmaz çelik gövdeli olan transdüserin ölçüm sınırları  $\pm 3$  inch'tir. Transdüserle birlikte gelen kalibrasyon sertifikasında transdüser dönüşüm katsayısı  $K_f=0.06768$  V/mm olarak verilmiştir.

### Servo Yükseltici

Deneylerde MOOG marka, E082-300-100 model, oransal kontrol yapabilen ve oransal kazancı ayarlanabilen, gerilim girişli ve akım çıkışlı bir DC servo yükseltici kullanılmıştır. Servo yükselticinin kazancı 3-50 mA/V aralığında kesintisiz ayarlanabilmektedir. İki değişken kazançlı olmak üzere dört adet girişi mevcuttur. Servo yükseltici puls genişliği modülasyonlu deneylerde sadece akım kaynağı olarak kullanılmıştır. Analog deneylerde ise oransal kontrol yapan bir kontrol organı olarak kullanılmıştır.

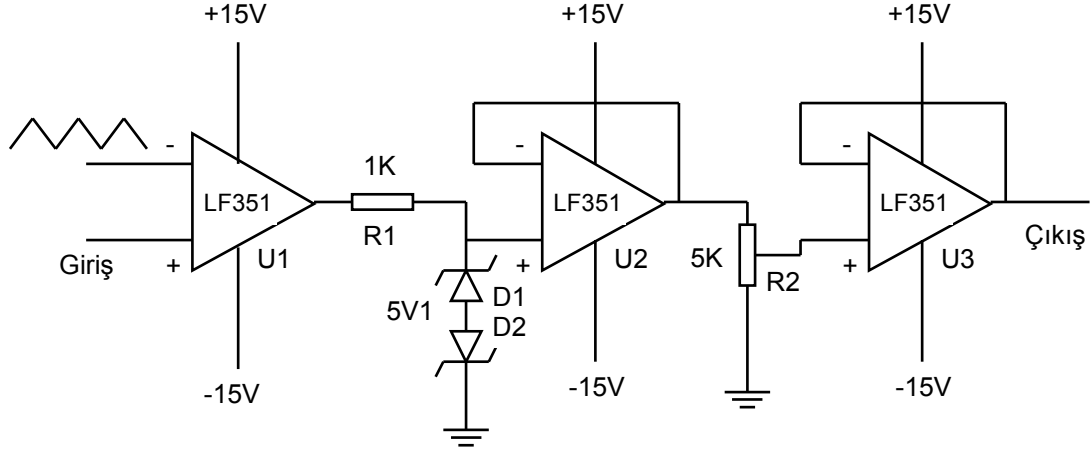
### Bilgisayar, Veri Toplama ve Kontrol Kartı

Deneylerde 80486-DX2-66 MHz'lik işlemciye sahip, 8 MB RAM'i olan bir PC tipinde bilgisayar kullanılmıştır. Ayrıca bilgisayara MetraByte marka, DAS20 model veri toplama ve kontrol kartı takılmıştır. Bu kart analog-sayısal ve sayısal-analog dönüşüm işlemlerini yapabilmektedir. Kartın önemli özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Analogtan sayısala saniyede 10000 dönüşüm yapabilme,
- 16 tek veya 8 çift uçlu analog giriş kanalı,
- Her bir kanal için okuma hassasiyeti 12 bit ve her ölçüm aralığı için hassasiyet 1/4096,
- Multipleksör kullanarak giriş kanal sayısını 128'e çıkarabilme imkanı,
- Yazılım vasıtası ile 7 değişik aralıkta ölçüm yapabilme,
- 8 adet giriş ve 8 adet çıkış olmak üzere toplam 16 adet, 8 bit'lik sayısal kanal.

### Puls Genişliği Modülatörü

Puls genişliği modülatörü, laboratuvarında geliştirilmiş bir elektronik devredir. Devre şeması Şekil 5.'de verilen bu elektronik devre, bilgisayardan gelen analog sinyalleri puls genişliği modülasyonlu analog sinyallere dönüştürerek servo yükselticiye göndermektedir. Modülatörde temel eleman olarak 4 MHz band genişliğine sahip, FET girişli işlemel yükselteç olan LF351 entegre devreleri kullanılmıştır. Modülatörün çalışması sırasında, üretilmesi istenilen puls genişliği modülasyonlu sinyalin frekansına eşit frekansta bir üçgen dalga fonksiyon üreticiden sağlanır. Modülatördeki  $U1$  entegresi, fonksiyon üreticiden gelen üçgen dalga ile bilgisayardan gelen giriş gerilimini karşılaştırarak  $\pm 15$  V genlikli puls genişliği modülasyonlu sinyal üretmektedir.  $D1$  ve  $D2$  diyotları yardımıyla  $\pm 15$  V genlikli puls genişliği modülasyonlu sinyalin genliği  $\pm 5.7$  V'da sabit tutulur.  $U2$  ve  $U3$  entegre devreleri tampon olarak kullanılmıştır.  $R2$  potansiyometresi ise, puls genişliği modülasyonlu çıkış sinyalinin genliğini ayarlamaktadır. Bilgisayardan gelen giriş sinyali  $\pm 4$  V arasında değişmektedir. Giriş sinyali ile puls genişliği modülasyonlu çıkış sinyalinin puls genişlikleri arasında lineer bir ilişki vardır. Giriş sinyali 0 V olduğunda çıkıştaki puls çiftlerinin genişlikleri birbirine eşit olmaktadır.



Şekil 5. Puls genişliği modülatörünün devre şeması

## DENEYSEL SONUÇLAR

Puls genişliği modülasyonlu sistemin performansının deneysel olarak incelenmesi iki aşama halinde yürütülmüştür. İlk olarak açık çevrim sistemin basamak ve sinüsoidal cevapları bulunmuştur. Daha sonra kapalı çevrim sistemin basamak, sinüsoidal ve rampa cevap deneyleri yapılmıştır.

### Açık çevrim sistemin basamak cevabı

Açık çevrim basamak cevap deneyinde puls frekansından kaynaklanan salınımların belirlenmesi amacı ile yüksekliği sıfır olan basamak giriş için frekans taraması yapılmıştır. Bu deneyin sonuçları Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Açık çevrim sistemin basamak cevap deney sonuçları

Puls Frekansı (Hz)	Puls Frekansındaki Salınımların Genliği (mm)
10	5.25
20	2.20
30	1.17
50	0.53
80	0.24
100	0.15
200	0.12
400	0.07
600	0.05

### Açık çevrim sistemin sinüsoidal cevabı

Açık çevrim sinüsoidal cevap deneyinde iki ayrı referans giriş frekansı için puls frekansı taraması yapılmıştır. Bu deneyde frekans oranı ile genlik oranı arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Bu deneyin sonuçları Tablo 2.'de verilmiştir.

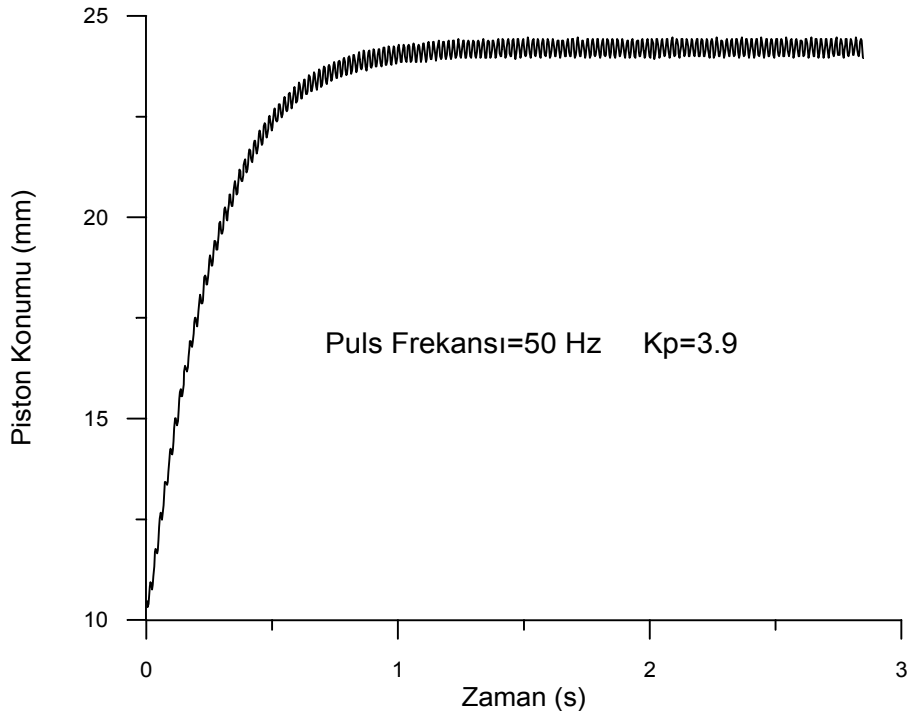
**Tablo 2.** Açık çevrim sistemin sinüsoidal cevap deney sonuçları

Puls Frekansı (Hz)	Sinüsoidal Referans Giriş Frekansı (Hz)	Frekans Oranı k	DeneySEL Genlik Oranı(*) %
10	2	5	50
20	2	10	25
40	2	20	20
80	2	40	2
100	2	50	1.5
120	2	60	1.4
160	2	80	1.1
200	2	100	1
400	2	200	<1
600	2	300	<1
1000	2	500	<1
50	10	5	48
100	10	10	23
200	10	20	16
400	10	40	1.9
500	10	50	1.4
600	10	60	1
800	10	80	<1
1000	10	100	<1

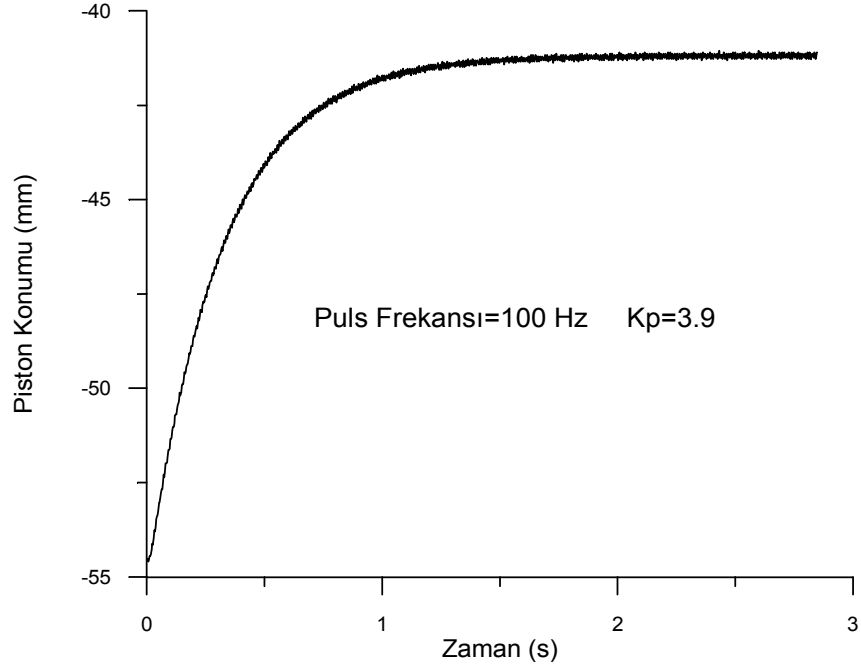
\* Puls frekansı bileşeni genliğinin referans frekansı bileşeni genliğine oranı

### Kapalı çevrim sistemin basamak cevabı

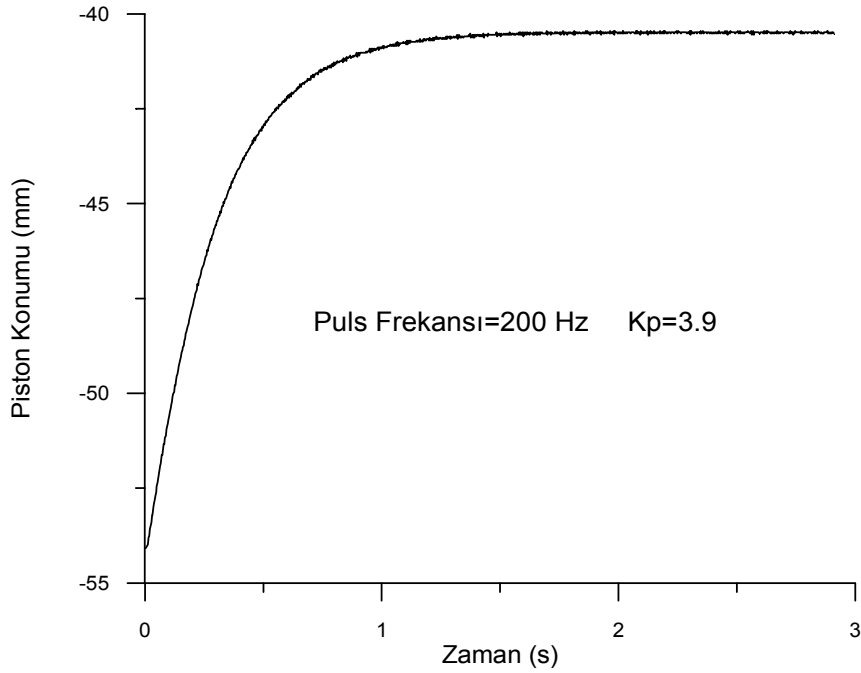
Kapalı çevrim sistemin basamak cevabı deneyinde sabit kazanç ve sabit basamak yüksekliğinde puls frekansı taraması yapılmıştır. Bu deneyin sonuçlarından tipik üç tanesi Şekil 6-8.'de grafik halinde görülmektedir.

**Şekil 6.** Kapalı çevrim basamak cevabı





Şekil 7. Kapalı çevrim basamak cevabı



Şekil 8. Kapalı çevrim basamak cevabı

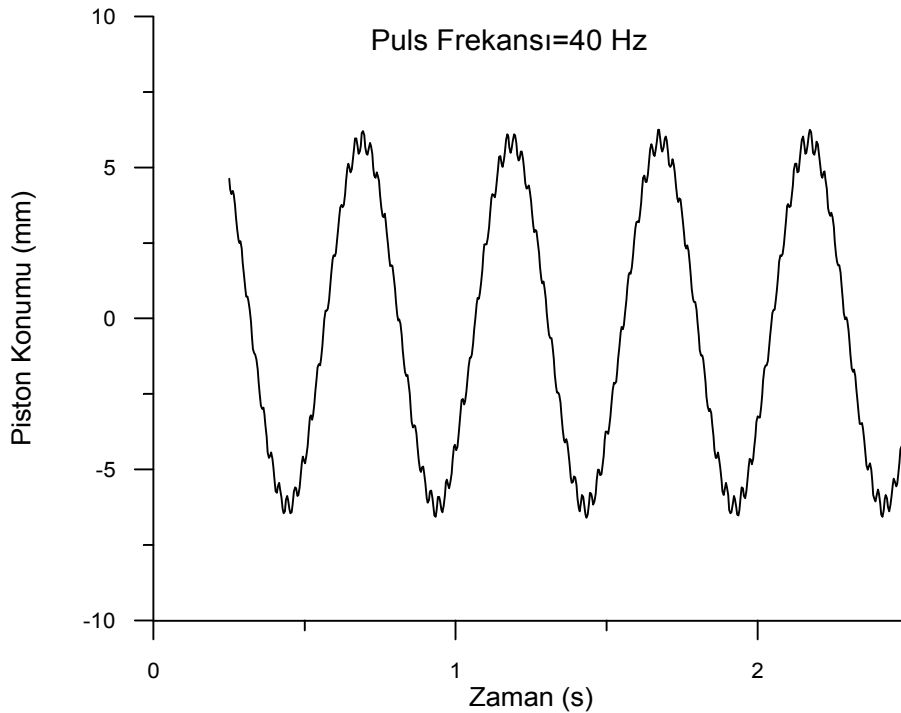
#### Kapalı çevrim sistemin sinüsoidal cevabı

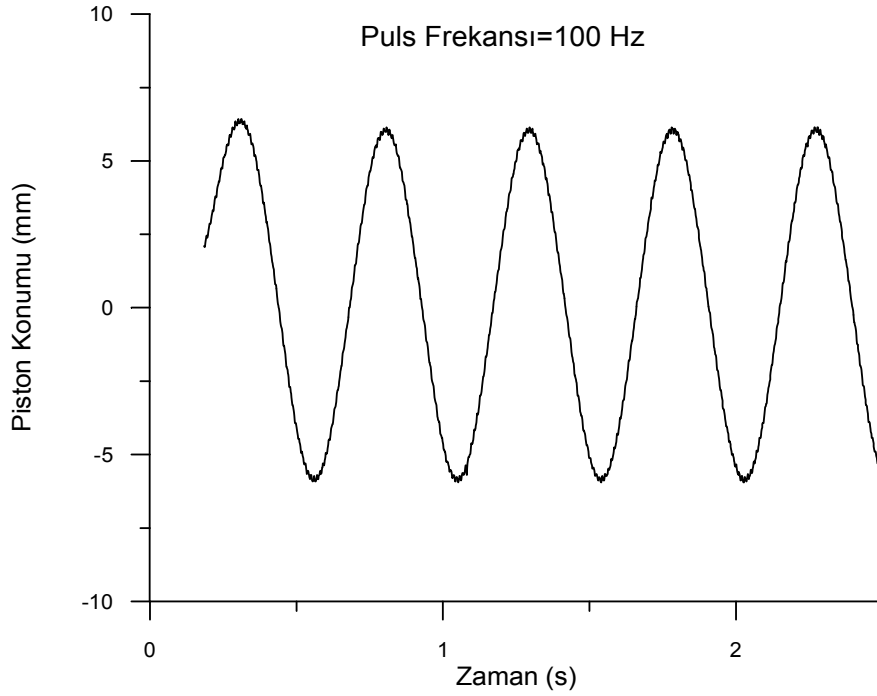
Kapalı çevrim sistemin sinüsoidal cevap deneyinde açık çevrimde olduğu gibi iki ayrı referans giriş frekansı için puls frekansı taraması yapılmıştır. Bu deneyde de frekans oranı ile genlik oranı arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Bu deneyin sonuçları Tablo 3.'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Kapalı çevrim sistemin sinüsoidal cevap deney sonuçları

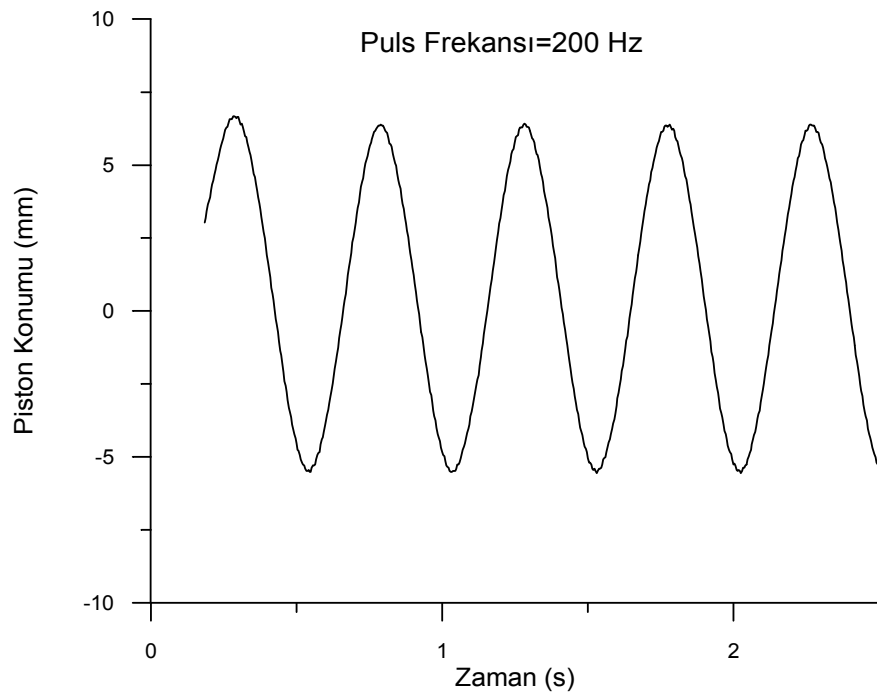
Puls Frek. (Hz)	Kp	Sinüsoidal Referans Giriş Frekansı (Hz)	Frekans Oranı k	Genlik Oranı (*) %
10	20	2	5	0.364
20	20	2	10	0.157
40	20	2	20	0.063
80	20	2	40	0.017
100	20	2	50	0.013
120	20	2	60	0.011
160	20	2	80	<0.01
200	20	2	100	<0.01
400	20	2	200	<0.01
600	20	2	300	<0.01
1000	20	2	500	<0.01
50	20	10	5	0.159
100	20	10	10	0.047
200	20	10	20	0.037
400	20	10	40	0.016
500	20	10	50	<0.01
600	20	10	60	<0.01
800	20	10	80	<0.01
1000	20	10	100	<0.01

Ayrıca 2 Hz'lik referans girişi için tipik üç deney sonucu grafik halinde Şekil 9-11.'de verilmiştir.

**Şekil 9.** Kapalı çevrim sinüsoidal cevap (2 Hz için)



Şekil 10. Kapalı çevrim sinüsoidal cevap (2 Hz için)

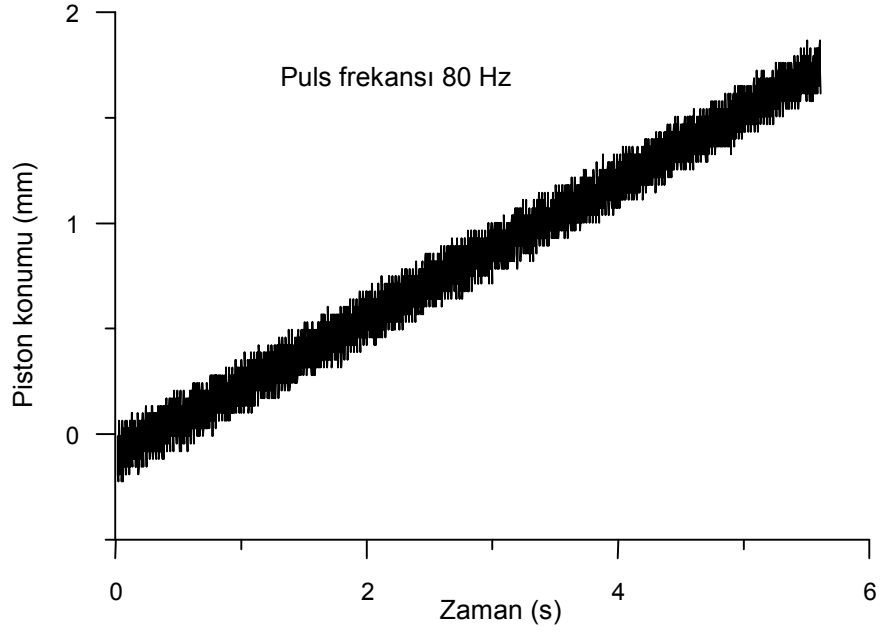


Şekil 11. Kapalı çevrim sinüsoidal cevap (2 Hz için)

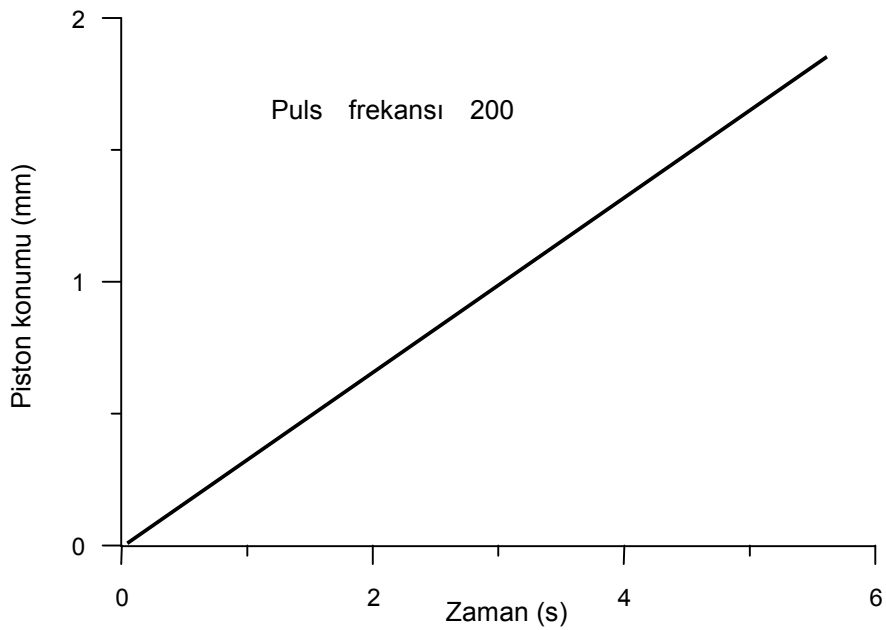
#### Kapalı çevrim sistemin rampa cevabı

Puls genişliği modülasyonu tekniğinin yavaş hareket esnasındaki tutukluk etkisini giderdiğini görmek amacıyla değişik puls frekanslarında kapalı çevrim sistemin rampa cevabı deneyleri yapılmıştır. Pistonu yavaş bir şekilde hareket ettirmek için sisteme 20 mm/dak eğimli bir rampa giriş verilerek

sistem cevapları bulunmuştur. Bu deneylerin sonuçlarından iki tanesi Şekil 12. ve 13.'de grafik olarak verilmiştir. Deneylerde pistonun yavaş hareket esnasında tutuk hareket yapmadan gayet düzgün bir şekilde hareket ettiği osiloskopa izlenmiştir. Düşük puls frekanslarında yapılan deneylerin sonuçları incelendiğinde puls frekansından kaynaklanan salınımlar belirgin bir şekilde görülmektedir. Puls frekansı arttıkça bu salınımlar azalmaktadır.



Şekil 12. Kapalı çevrim sistemin rampa cevabı (80 Hz)



Şekil 13. Kapalı çevrim sistemin rampa cevabı (200 Hz)



## SONUÇ

Bu çalışmada, puls genişliği modülasyonu tekniğinin bilgisayar kontrollu hidrolik sistemlere başarılı bir şekilde uygulanabildiği gösterilmiştir. Özellikle yavaş hareket esnasındaki tutuk hareketi giderdiği yapılan rampa cevap deneyleri ile belirlenmiştir. Ayrıca puls frekansı puls frekansı ile referans giriş frekansı arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla puls genişliği modülasyonlu açık ve kapalı çevrim sistemlerin, deneysel sinüsoidal cevapları incelenmiştir. Bu incelemede, özellikle puls frekansı bileşeni genişliğinin referans frekansı bileşeni genişliğine oranı dikkate alınmıştır. İnceleme neticesinde bu çalışmada ele alınan elektrohidrolik servo sistem için puls frekansı bileşeni genişliğinin referans frekansı bileşeni genişliğine oranının %1 olmasının yeterli olduğu düşünülmüş, puls frekansının referans giriş frekansına oranının 50 ve üzerinde seçilmesinin uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Bu oran küçüldükçe yani puls frekansı referans frekansına yaklaştıkça, puls frekansı bileşeni genişliği artmakta, referans frekansı bileşeni net bir şekilde ayırt edilememekte ve çıkış eğrisi sinüs şeklinden uzaklaşıp üçgen halini almaktadır. Bu çalışma ile ilgili detaylı bilgiler için [1] nolu referansa başvurulmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] KELEŞ, Ö. "Puls Genişliği Modülasyonu ile Hidrolik Konum Kontrolünün Teorik ve Deneysel İncelenmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak. Makina Müh. Böl., 1998.
- [2] KELEŞ, Ö., ERCAN, Y. "Puls Genişliği Modülasyonlu Hidrolik Bir Servo Sisteminin Açık Çevrim Davranışının İncelenmesi", 8. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu Bildiri Kitabı, s. 326, Elazığ, 1997.
- [3] ERCAN, Y. "Akışkan Gücü Kontrolü Teorisi", Gazi Üniversitesi Yayını, 1995.
- [4] Suematsu, Y., Yamada, H., Tsukamoto, T. "Digital Control of Electrohydraulic Servo System Operated by Differential Pulse Width Modulation", JSME Int. Journal, Series 3, Vol. 36, No 1, p 61-68, 1993.
- [5] Muto, T., Yamada, H., Suematsu, Y. "Digital Control of Hydraulic Actuator System Operated by Differential Pulse Width Modulation", JSME Int. Journal, Series 3, Vol. 33, No 4, p 641, 1990.
- [6] Yüksel, İ., Şengirgin, M. "Elektrohidrolik Valfların DGM Tekniği ile Sürülmesinin Teorik ve Deneysel Araştırılması", Türkiye Otomatik Kontrol Kongresi, İstanbul, 1994.
- [7] Yüksel, İ., Önbaş, H.İ. "Elektrohidrolik disk valfların mikrodenetici yolu ile denetimlerinin incelenmesi", 6. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu Bildiri Kitabı, Cilt I, s. 181-190, Trabzon, 1993.

## ÖZGEÇMİŞ

### Ömer KELEŞ

1967 yılında Ankara'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini burada tamamladı. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1989 yılında Lisans, 1992 yılında Yüksek Lisans ve 1998 yılında da Doktora derecelerini aldı. 1990 yılından beri aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.

### Yücel ERCAN

1943 yılında Konya'da doğdu. MIT Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1966 yılında Lisans, 1968 yılında Yüksek Lisans ve 1971 yılında Doktora derecelerini aldı. 1976 yılında Doçent, 1982 yılında Profesör oldu. Halen Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmaktadır.