



**T.C.**

**ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRO-MEKANİK SİSTEMLERİN DARBE GENİŞLİK MODÜLASYON  
TEKNİĞİ İLE SÜRÜLMESİ VE DENETİMİNİN İNCELENMESİ**

**SERTAN TURAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BURSA-2009**



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRO-MEKANİK SİSTEMLERİN DARBE GENİŞLİK MODÜLASYON  
TEKNIĞİ İLE SÜRÜLMESİ VE DENETİMİNİN İNCELENMESİ

SERTAN TURAN

PROF. DR. İBRAHİM YÜKSEL  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2009

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRO-MEKANİK SİSTEMLERİN DARBE GENİŞLİK MODÜLASYON  
TEKNIĞİ İLE SÜRÜLMESİ VE DENETİMİNİN İNCELENMESİ

SERTAN TURAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 13/02/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İbrahim YÜKSEL  
(Danışman)

Prof. Dr. Erdoğan DİLAVEROĞLU

Yrd. Doç. Dr. Osman H. KOÇAL

## ÖZET

Bu tez çalışmasında, elektromekanik supap mekanizması için kritik olan oturma hız denetiminin analizi yapılmış, denetim işlemi teorik ve deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Bir mekatronik sistem olarak ele alınabilecek elektromekanik supap mekanizmalarının (EMS) tamamlayıcı kısmını teşkil eden denetim birimi olarak uygun bir PIC (Peripheral Interface Controller – Çevresel arabirim denetleyici) mikrodenetleyici (PIC16F877) tabanlı devre tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Elektromekanik supap mekanizmasının kapalı döngü denetiminin sağlanabilmesi için supap konum bilgisini içeren geri besleme sinyali tasarım ve imalatı gerçekleştirilen alan etkili (hall-effect) konum algılayıcısı tarafından sağlanmıştır. Geri besleme sinyalini sayısal veriye çevirmek için mikrodenetleyici içindeki A/D (Analog-Dijital) çeviriciden yararlanılmıştır. Akım denetimi için mikrodenetleyici tarafından üretilen darbe genişlik modülasyon (DGM) sinyali kullanılmış ve akım sürücü devreye uygulanmıştır. Elektromekanik supap mekanizmasının denetimi uygun P (Proportional – Oransal), PD (Proportional and Derivative – Oransal ve türev) denetim yordamları ve DGM tekniği kullanılarak supap oturma hızı belli oranda azaltılmıştır.

Ayrıca elektromekanik supap mekanizmasının denetiminin Simulink ortamında benzetiminin gerçekleştirilmesi için üç aşamalı bir denetleyici tasarlanmış ve P ve PD denetim yordamları ile supap oturma hızının makul seviyelere çekilebileceği teorik deneyler çerçevesinde gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Elektromekanik supap mekanizması, supap oturma hız denetimi, PIC mikrodenetleyici, DGM.

## **ABSTRACT**

In this thesis, the control of valve landing velocity which is the one of critical problem of electromechanical valve actuator is analyzed, the control process is verified theoretically and experimentally.

An appropriate microcontroller (PIC16F877) based electronic circuit designed and built as the supplementary part of electromechanical valve actuator which will be thought as elements of a mechatronic system. The feedback signal including valve position information is obtained to ensure the closed-loop control of electromechanical valve actuator by hall-effect position sensor which is designed and built. The A/D converter that is the part of the microcontroller, is used to digitalize the feedback signal. The pulse width modulation (PWM) signal that is produced by microcontroller, is used to control the current and it is applied to the current driver circuit. The valve landing velocity is reduced to noticeable degree by realizing appropriate P, PD control techniques and PWM technique to control the electromechanical valve actuator.

In addition, a controller with three stages is designed in Simulink environment to implement the simulation of the control of electromechanical valve actuator and it is shown theoretically that the valve landing velocity can be reduced to an advisable level.

**Key words:** Electromechanical valve actuator, control of the valve landing velocity, PIC microcontroller, PWM.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa No</b>
<b>ÖZET</b>	iii
<b>ABSTRACT</b>	iv
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b>	vii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	x
<b>SİMGELER DİZİNİ</b>	xi
<b>1. GİRİŞ</b>	1
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b>	3
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b>	12
3.1. Elektromekanik Sistemler	12
3.2. Elektromekanik Supap Mekanizması	13
3.2.1. Hareket denklemleri	16
3.2.2. Denetim süreci	17
3.2.3. Elektromekanik supap mekanizmasının denetimi	18
3.3. Mikrodenetleyiciler	22
3.3.1. Tarihçe	22
3.3.2. Genel tanımlama	23
3.3.3. PIC 16F877 mikrodenetleyici	24
3.3.4. Bir PIC' in işlem yapabilmesi için gerekli bileşenler	26
3.4. Darbe Genişlik Modülasyon (DGM) Tekniği	27
3.5. Ayrık Denetleyici Tasarımı	30
3.5.1. PID denetim yordamı	30
3.5.2. Ayrık-zaman PD denetleyici	31
3.5.3. Kontrol algoritmasının mikrodenetleyici ile gerçekleştirilmesi	33
3.5.4. Örneklemeye zaman aralığının seçimi	34
3.6. Deney Düzenekleri	36
3.6.1. PIC mikrodenetleyici deney düzeneği (denetim kartı)	36
3.6.1.1. Regülatör devresi	37
3.6.1.2. Saat üretici – osilatör	38
3.6.1.3. Reset fonksiyonu	39
3.6.1.4. Başlatma ve durdurma butonları	40
3.6.1.5. PIC programının yazılması	40
3.6.1.6. Programın mikrodenetleyiciye gömülmesi	42
3.6.1.7. Pic programlama kartı	43
3.6.1.8. PROTEUS (ISIS) programı ile uygulamaların çalıştırılması	43
3.6.2. Konum algılayıcı	44
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI</b>	47

<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ</b>	51
<b>6. KAYNAKLAR</b>	53
<b>EKLER</b>	
EK 1. Program Akış Diyagramı	57
EK 2. PIC16F877 Denetim Kartı Devre Şeması	58
EK 3. PIC16F877' nin Genel Özellikleri	59
EK 4. PIC 16F877' nin Belirleyici Özellikleri	60
EK 5. PIC16F877' nin Pin Tanımlamaları	61
EK 6. PIC16F877' nin Basitleştirilmiş İç Yapısı	62
EK 7. Konum Algılayıcı Karakteristik Eğrisi	63
EK 8. Mikrodenetleyici Yazılımı	64
EK 9. DS1103 PPC Denetim Kartının Özellikleri	66
EK 10. ControlDesk Programının Özellikleri	67
EK 11. Deney Düzeneği Fotoğrafları	68
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	72
<b>TEŞEKKÜR</b>	73

**KISALTMALAR DİZİNİ**

$\mu$	– mikro
A	– Amper
ABD	– Amerika Birleşik Devletleri
AC	– Alternating Current (Alternatif akım)
ark.	– arkadaşları
bkz.	– bakınız
CMOS	– Complementary Metal Oxide Semiconductor (Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken)
CNC	– Computer Numerical Control (Bilgisayarlı nümerik kontrol)
CPU	– Central Processing Unit (Merkezi işlem ünitesi)
d	– devir
dak	– dakika
DC	– Direct Current (Doğru akım)
DGM	– Darbe Genişlik Modülasyonu
EMS	– Elektromekanik Supap Mekanizması
EPROM	– Erasable Programmable Read Only Memory (Silinir, yazılır sadece okunur bellek)
F	– Fahrad
G	– Gauss
HS	– High Speed (Yüksek hız)
Hz	– Herz
I/O	– Input/Output (Girdi/çıkıtı)
IGBT	– Insulated Gate Bipolar Transistor (İzole kapılı iki kutuplu transistör)
k	– kilo
LP	– Low Power (Düşük güç)
LPV	– Linear Parameter Varying (doğrusal parametre değişim)
LQ	– Linear Quadratic (Lineer kare)
LQR	– Linear Quadratic Regulator (Lineer kare düzenleyici)
M	– Mega
m	– metre
m <sup>2</sup>	– metrekare
mak	– maksimum
min	– minimum
mm	– milimetre
MOSFET	– Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistör (Alan etkili metaloksit yarıiletken taransistör)
ms	– milisaniye



n	– nano
no	– numara
P	– piko
P	– Proportional (oransal)
PD	– Proportional and Derivative (oransal ve türev)
PIC	– Peripheral Interface Controller (Çevresel arabirim denetleyici)
PID	– Proportional, Integral and Derivative (oransal, integral ve türev)
PWM	– Pulse Width Modulation (Darbe genişlik modülasyonu)
RAM	– Random Access Memory (Rastgele erişimli bellek)
RC	– Resistor, Capacitor (Direnc, kondansatör)
Ref	– Referans
RISC	– Reduced Instruction Set Computer (İndirgenmiş komut takımı bilgisayarı)
s	– saniye
V	– Volt
vb.	– ve benzeri
Wb	– Weber
XT	– Xrystal (Krisral)

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Konum algılayıcı bacak işlevleri

**Sayfa No**

45

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 3.1. Elektromekanik supap mekanizması	13
Şekil 3.2. Elektromekanik supap mekanizmasının çalışma prensibi	14
Şekil 3.3. Elektromekanik supap mekanizmasının anahtarlama karakteristikleri	15
Şekil 3.4. Doğrusallaştırılmış EMS modeli blok şeması	17
Şekil 3.5. Denetim sistemi blok şeması	18
Şekil 3.6. Elektromekanik supap mekanizması denetim şeması	19
Şekil 3.7. Üç aşamalı denetimin Simulink modeli	21
Şekil 3.8. PIC 16F877' nin bacak yapısı	25
Şekil 3.9. DGM sinyali	28
Şekil 3.10. DGM tekniğinin basit bir model üzerinde uygulanışı	30
Şekil 3.11. Denetleyici akış şeması (a) ana program; (b) kesme programı	34
Şekil 3.12. Mikrodenetleyici giriş çıkış birimleri	37
Şekil 3.13. Regülatör devresi	38
Şekil 3.14. Osilatör devresi	39
Şekil 3.15. Reset, başlatma ve durdurma devre şeması	40
Şekil 3.16. MikroBasic çalışma sayfası	41
Şekil 3.17. IC-Prog çalışma sayfası	42
Şekil 3.18. Programlama kartı devre şeması	43
Şekil 2.19. Proteus/Isis çalışma sayfası	44
Şekil 3.20. Konum algılayıcı iç yapısı	45
Şekil 3.21. Konum algılayıcının çalışma aralığındaki karakteristik eğrisi	46
Şekil 3.22a. Açık döngü denetim (teorik)	48
Şekil 3.22b. Açık döngü denetim (deneysel)	48
Şekil 3.23a. %20 doluluk oranında DGM ile anahtarlama (teorik)	48
Şekil 3.23b. %20 doluluk oranında DGM ile anahtarlama (deneysel)	49
Şekil 3.24a. P denetim (teorik)	49
Şekil 3.24b. P denetim (deneysel)	49
Şekil 3.25a. PD denetim (teorik)	50
Şekil 3.25b. PD denetim (deneysel)	50

## SİMGELER DİZİNİ

$F_d$	: Dış kuvvetler	[N]
$F_m$	: Mıknatıs çekim kuvveti	[N]
$K_p$	: Oransal kazanç sabiti	[-]
$T_d$	: Türev etki zaman sabiti	[s]
$T_i$	: İntegral etki zaman sabiti	[s]
$\bar{y}$	: Ortalama değer	[-]
$b$	: Sürtünme katsayısı	[N/(m/s)]
$B_g$	: Mıknatıs akısı yoğunluğu	[Wb/m <sup>2</sup> ]
$D$	: Doluluk oranı	[-]
$w_n$	: Doğal frekans	[Hz]
$e, e_c, e_t$	: Gerilim	[V]
$f$	: Kare dalga sinyali	[-]
$H$	: Mıknatıs alan şiddeti	[A-s/m]
$i$	: Akım	[A]
$j$	: İndis	[-]
$k$	: Örnekleme numarası	[-]
$k_y$	: Yay katsayısı	[N/m]
$l$	: Hava aralığı mesafesi	[m]
$L$	: İndüktans	[H]
$m$	: Toplam hareketli kütle	[kg]
$N$	: Bobin sarım sayısı	[-]
$w_s$	: Örnekleme frekansı	[Hz]
$R$	: Bobin direnci	[Ω]
$T_{ss}$	: Sistemin oturma zamanı	[s]
$T$	: Örnekleme periyodu	[s]
$t$	: Zaman	[s]
$t_0$	: supap kapanmaya başlama anı	[s]
$t_1$	: Supap kapanma anı	[s]
$t_c$	: Supabın hareket zamanı	[s]
$T_f$	: $f$ sinyalinin periyodu	[s]
$x$	: Hareketli elemanın yer değiştirme	[m]
$y$	: Genlik	[V]
$\Phi$	: Mıknatıs akısı	[Wb]
$A$	: Etkin kesit alanı	[m <sup>2</sup> ]
$u$	: Denetim sinyali	[-]
$\mu$	: Havanın geçirgenliği	[H/m]
$\pi$	: Pi sayısı	[-]

## 1. GİRİŞ

Son 100 yılda otomobiller sürekli gelişim kaydetmişlerdir. Kullanımdaki otomobil sayısının artmasıyla birlikte, daha yüksek yakıt verimine ve daha düşük emisyonu sahip araçların üretilmesi yönündeki talep de artmıştır. Teknolojideki ilerlemeler bize, daha önce motor kontrolünde kullanılan mekanik bağlantıların, esnekliğin arttırılması amacıyla elektronik kontrollü aygıtlar ile yer değiştirmesine olanak sağlamıştır.

İçten yanmalı motorlarda kalan en son büyük bağlantılardan biri kam milidir. Kam mili, emme ve egzoz supaplarının belirli zamanlarda açılıp kapanmasını sağlamaktadır. Değişken supap zamanlamaları elde edebilmek için kam profili, geniş motor hız aralıklarında işlem yapabilmesine olanak sağlayacak bir yapıda tasarlanmalıdır. Bu, rölanti çalışmadan (700 d/dak) yüksek hızlı çalışmaya (6000 d/dak) kadar değişen performans özellikleri göz önüne alındığında, çok defa birbiriyle bağdaşmayan gereksinimlere ihtiyaç duyulur.

Supap zamanlamasına daha fazla esneklik kazandıracak olan çalışmalar ışığında, elektromekanik supap mekanizmasının kam mili ve mekanik supap mekanizması ile değiştirilmesi fikri ortaya atılmıştır. Elektromıknatıslar sayesinde, EMS krank miline bağlı olmadan supap zamanlamasına olanak tanımaktadır. Böylece, tork, yakıt tüketimi ve emisyon açısından performansı en uygun şekilde getirebilecek esnekliğe erişilmiştir. Fakat EMS' lerin araçlarda uygulamasına geçilmeden önce, yumuşak iniş (soft landing) olarak tabir edilen problemin çözülmesi gerekmektedir. Uygun olmayan yöntemlerle kontrol edildiğinde, EMS' de, elektromıknatısların doğasında var olan dinamiklerden dolayı hareket eden parçalar arasında yaklaşık 1-2 m/s' lik çarpmalar meydana gelebilmektedir. Bu çarpmalar, mekanizmanın dayanıklılığı üzerinde zararlı etkilere neden olması yanında tüketici açısından bakıldığında da yüksek gürültü üretmektedir. Oturma hızını, yumuşak

iniş olarak bilinen yaklaşık 0.05 - 0.1 m/s aralığına düşürebilmek için kapalı döngü kontrole ihtiyaç duyulur.

Daha önce yapılan çalışmalarda, farklı denetim yordamlarının yanında, hızlı mikroişlemciler ve hassas ölçüm elemanları kullanılarak EMS' lerin temel sorunu olan oturma hızının azaltılmasına çalışılmıştır.

Bu çalışmada ise, basit ve maliyeti düşük bir denetim ile supap oturma hızı azaltılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, piyasadan kolayca temin edilebilen ve maliyeti düşük PIC16F877 mikrodenetleyici ile denetim kartı tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Geri besleme elemanı olarak da alan etkili (hall-effect) konum algılayıcı kullanılmıştır. Yaklaşık 4 ms de kapanan supabın kontrolünde, göreceli olarak yavaş çalışan (20 MHz) mikrodenetleyicinin karmaşık denetim yordamlarının işletebilmesi için daha fazla süre gerektirdiğinden dolayı klasik ve en temel denetim yordamı olan P ve PD denetim tercih edilmiştir.

Supap hareketinin yüksek motor hızlarına ayak uydurabilmesi gerekmektedir. Oturma hızının azaltılmasıyla, supap kapanma zamanının uzayacağı aşikardır. Ayrıca supap kapandığında, supabı kapalı tutacak optimum akımın sistemden çekilerek enerji sarfiyatı sağlanmalı ve bobinlerin fazla akımdan zarar görmesi engellenmelidir. Bu amaçla, oturma hız denetimi dahil olmak üzere üç aşamalı bir denetim uygulanmış ve bu olanaklarla oturma hızının ne oranda düşürülebileceği araştırılmıştır.

Ayrıca, elde edilen deneysel sonuçların teorik sonuçlarla karşılaştırılabilmesi için, elektromekanik supap mekanizması denetim benzetimi yapılmıştır. Bu amaçla üç aşamalı denetim benzetimi Simulink ortamında hazırlanmış ve sistem modeline uygulanmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Elektromekanik supap mekanizmaları üzerine yapılan çalışmaların büyük bir kısmını sistemin modellenmesi ve denetimi teşkil etmektedir. Sistemin modellenmesinde çeşitli benzetim yöntemleri kullanılırken, oturma hızının denetiminde de çok farklı denetim yordamları kullanılmaktadır. Sistemin denetimi ile ilgili olarak yapılan çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Wang ve ark. (2000) elektromekanik supap mekanizmalarında hareketli elemanın yüksek oturma hızlarının neden olduğu gürültüyü temel bir problem olarak tanımlayarak matematiksel bir model geliştirmişler ve model parametrelerini sistemin geçici ve kalıcı durum davranışını inceleyerek belirlemişlerdir. Deneysel sonuçlar ile modelden elde edilen sonuçları karşılaştırmışlar ve oturma hızını azaltmak için denetim sinyalinin hassasiyet analizini yapmışlardır.

Stubbs (2000) elektromekanik supap mekanizmasının modellenmesini ve denetimini araştırdığı bir çalışmada geliştirdiği matematik modeli test etmiş ve sistemin denetimi için iki aşamalı bir denetleyici önermiştir. İç döngüde PD denetleyici, döngüye dışarıdan ilave edilen dış döngüde ise tekrarlamalı denetleyici (repetitive controller) kullanmıştır.

Butzmann ve ark. (2000) elektromekanik supap mekanizmasında hareketli elemanın 0.1 m/s gibi düşük hızlarda yavaşlayarak durmasını sağlayan bir denetim yordamının geliştirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Ele aldıkları denetim yordamında, hareketli elemanın konumunu veya hızını algılamak için ayrı bir algılayıcı kullanmamışlar, yavaşlatma işlemini hız ve konum arasındaki oranı sabit tutacak şekilde bobindeki elektrik sinyalini denetleyerek gerçekleştirmişlerdir. Bu sistemi dört silindirli, on altı supaplı içten yanmalı

bir motorda laboratuvar şartlarında test etmişler ve besleme gerilimindeki değişimlere karşı sistem dayanımının yüksek olduğunu göstermişlerdir.

Tai ve ark. (2001) elektromekanik supap mekanizması için sistem tanımını ve matematiksel modeli esas alan doğrusal bir model geliştirmişler ve sistemde oturma hızını düşürmek için iki aşamalı bir denetleyici tasarlamışlardır. Tasarladıkları denetleyici, sistemi kararlı hale getirmek için döngü içinde kullanılan bir PD denetleyiciden ve sistemin performansını iyileştirmek için kapalı döngü denetim sistemine dışarıdan ilave edilen tekrarlamalı öğrenmeli bir denetleyiciden (repetitive learning control) oluşmaktadır. Tasarladıkları denetleyiciyi sisteme uyarlayarak deneysel sonuçları irdelemişler ve oturma hızını 10 ms' lik hareket süresinde 0.05 m/s olarak gerçekleştirmişlerdir.

Peterson ve ark. (2002a) elektromekanik supap mekanizmasında hareketli elemanın oturma hızını azaltmak ve sistemin performansını iyileştirmek için çıkış gözlemlenmeli geri beslemeli bir denetleyici (output observer based feedback controller) tasarlamışlar, denetleyicinin teorik ve deneysel analizini yapmışlar ve oturma hızını 3.42 ms' lik hareket süresinde 0.16 m/s olarak gerçekleştirmişlerdir.

Xiang (2002) elektromekanik supap mekanizmasının tasarımını ve çalışmasını ele aldığı bir çalışmada, denetim için doğrusal olmayan bir mıknatıs modeli geliştirmiş ve bu modeli deneysel olarak doğrulamıştır. Daha sonra sistemin dinamik modelini geliştirmiş ve enerji seviyesini anahtarlamayı ve buna bağlı olarak akım darbe modülasyonunu temel alan bir denetim stratejisini önermiş ve prototip sistem üzerinde uygulamıştır. Deneysel çalışmalarında oturma hızını 0.05 m/s olarak elde etmiştir.

Peterson ve ark. (2002b) elektromekanik supap mekanizmasının cevap hızını yüksek tutmak ve gürültü ve aşınma seviyelerini geleneksel kam milinden tahrikli supap mekanizmasındakine eşdeğer kılmak için denetim stratejilerini araştırmışlar, denetimde



ortaya çıkan zorlukları analiz etmişlerdir. Çarpma dinamiğini de dikkate alarak elektromekanik supap mekanizması için mevcut olan bir modeli genişletmişlerdir. Ayrıca oturma hızını 0.1 m/s' nin altına düşüren, hareket zamanını maksimum 4 ms yapan kendi kendini ayarlamalı doğrusal olmayan bir denetleyici tasarlayarak sisteme uygulamışlardır.

Wang ve ark. (2002) elektromekanik supap mekanizmasının modellenmesini ve denetimini inceledikleri çalışmalarında tutma akımının geciktirici etkisini analiz etmişler ve elektromekanik supap mekanizmasının açık döngü denetimini, ileri beslemeli öğrenmeli denetimini ve konum geri beslemeli denetimini araştırmışlardır. Elektromekanik supap mekanizmasının performansını deneysel çalışmalarla test etmişler ve açık döngü ve kapalı döngü denetim yardımıyla supabın bekleme zamanı, hareket zamanı ve oturma hızlarını ölçmüşlerdir.

Peterson ve ark. (2002c) oturma hızının ve hareket zamanının azaltılması için elektromekanik supap mekanizmasının denetimini ve denetimde ortaya çıkan zorlukları incelemişlerdir. Ayrıca elektromekanik supap mekanizması için doğrusal, doğrusal olmayan ve çevrimden çevrime kendi kendini ayarlamalı denetleyici tasarlamışlardır. Doğrusal ve doğrusal olmayan denetleyicide oturma hızını 0.16 m/s olarak, kendi kendini ayarlamalı denetleyicide 0.08 m/s olarak gerçekleştirmişlerdir.

Tai ve Tsao (2002) elektromekanik supap mekanizmasının modellenmesini ve oturma hızı denetimini araştırdıkları çalışmalarında matematiksel modeli ve sistem tanımını içine alan doğrusal bir model kullanmışlar ve sistemin kararlılığını analiz etmişlerdir. Bozucu girişlere karşı duyarlı olan sistemi denetlemek için iki aşamalı geri beslemeli denetleyici tasarlamışlar ve bu denetleyiciyi deneysel olarak test etmişlerdir. Döngü içinde kararlılığı iyileştirmek için LQ optimum denetleyici (linear quadratic optimal control) kullanmışlardır. Elektromekanik supap mekanizmasının kapanma zamanı, hareketli elemanın oturma hızı, hareket zamanı vb. gibi parametrelere göre denetim performansını değerlendirmişlerdir.

McNair ve ark. (2003) modelini çıkarttıkları bir elektromekanik supap mekanizmasının akım ve konum denetimini ele almışlardır. Sistemin denetiminde çeşitli türdeki elektronik devrelerden yararlanmışlardır.

Peterson ve ark. (2003a) elektromekanik supap mekanizmasının kararlı çalışmasını sağlayan doğrusal olmayan bir denetleyici tasarlamışlardır. Tasarladıkları denetleyiciyi uygulamalı olarak açıklamışlar ve bu denetleyici ile sistemde herhangi bir doğrusallaştırma kabulü yapmaksızın sistemin kararlı olarak çalışmasını sağlamışlardır. 4 ms' lik hareket süresinde oturma hızını 0.12 m/s olarak elde etmişlerdir.

Tai ve Tsao (2003) elektromekanik supap mekanizmasının fiziksel parametrelerini frekans cevabı verilerine bağlı olarak belirlemişlerdir. Elektromekanik supap mekanizmasında hareketli elemanın oturma hızı denetimi için ileri besleme ve geri besleme denetleyicisi ve ayrıca denetim performansını arttırmak için tekrarlamalı öğrenmeli bir denetleyici tasarlamışlardır. Deneysel çalışmalarda 0.61 m/s' lik supap oturma hızını 0.028 m/s' lik standart sapma ile elde etmişlerdir.

Kawabe (2003) emme ve egzoz supaplarında kullanılacak türde bir eyleyici için gürbüz denetim yöntemini ele almıştır. Eyleyicide hareketli elemanın oturma hızını ve dolayısıyla mekanik şoku ve gürültüyü azaltmak için akım geri beslemeli bir denetleyici tasarlamıştır. Denetleyicide kayan kip denetim yordamının (sliding mode control) değiştirilmiş şeklini kullanmıştır. Ayrıca mıknatıs kuvvetindeki doğrusalsızlık ve kararsızlık nedeniyle ortaya çıkan zorlukların üstesinden gelmek için uyarlamalı bir denetim yordamı geliştirmiştir.

Peterson ve ark. (2003b) yaptıkları diğer bir çalışmada, elektromekanik supap mekanizmalarında supap ve hareketli eleman arasında ısı genleşme için bırakılan

boşluğun neden olduğu çarpma etkisini incelemişlerdir. Supabın açılması sırasında bırakılan bu boşluk nedeniyle oluşan çarpmanın şiddetini azaltmak için bir denetleyici tasarlamışlardır. Bu denetleyici ileri beslemeli ve yinelemeli öğrenmeli denetimin (iterative learning control) birleşiminden meydana gelmiş ve oturma hızını 0.4 m/s değerine kadar düşürmüştür.

Haskara ve ark. (2003) elektromekanik supap mekanizmasında oturma hızını azaltmak için hareketli elemanın konumunun ve hızının geri beslendiği doğrusal olmayan çıkış izleyicili bir denetleyici (nonlinear output tracking controller) tasarlamışlardır. Denetimi dört aşamalı olarak incelemişlerdir. Bunlar; hareketli elemanın konumunun ölçülmesini, hareketli elemanın ölçülen konumuna bağlı olarak hız kestirimini, solenoid bobinin denetimini ve düşük oturma hızlarını içermektedir.

Hoffmann ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada, elektromekanik supap mekanizmalarında oturma hızının azaltılmasını ve denetimde ortaya çıkan güçlükleri incelemişlerdir. Sistemin denetiminde geri besleme ve ileri besleme döngüsü için yinelemeli öğrenmeli denetleyici (iterative learning controller) tasarlamışlardır. Yaptıkları benzetim çalışmalarında, motorun hem normal çalışma koşullarında hem de yanma durumunda tasarladıkları denetleyicinin iyi bir performans gösterdiğini öne sürmüşlerdir. Deneysel çalışmalarda supabın oturma hızını 0.04 m/s ve hareket süresini 3.9 ms olarak elde etmişlerdir.

Melbert ve ark. (2003) değişken zamanlamalı supap mekanizması için denetim birimi ile bütünleşik mekatronik bir eyleyici tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Bu sistemde seramik film teknolojisinden yararlanmışlar ve denetim stratejisi olarak algılayıcısız denetimi ele almışlardır. Tasarladıkları sistemin ısı, elektromekanik ve mekanik etkilere karşı dayanımının yüksek olduğunu ve düşük oturma hızlarının elde edildiğini göstermişlerdir.

Montarani ve ark. (2003) elektromekanik supap mekanizmalarında oturma hızını düşürmek için konum denetiminde referans bir yörünge tasarımı adreslemişler ve yörünge tasarımında temel olarak fiziksel ve enerji sınırlamalarını kullanmışlardır. Elektromekanik supap mekanizmasının denetimini mıknatıs akısı değişimine bağlı olarak yapmışlar ve denetimi supabın serbest bırakılması, serbest hareketi ve yuvasına oturması olmak üzere üç aşamalı olarak ele almışlardır.

Eyabi (2003) elektromekanik supap mekanizmasında hareketli elemanın sıçrama hareketini, sızıntı indüktansını ve sıcaklık etkilerini dikkate alan doğrusal olmayan bir model geliştirmiştir. Modelde mıknatıssal doyma dikkate alınmamasına karşın model doyma bölgesinde de iyi sonuç vermiş ve geliştirilen modelin denetim için uygun olduğu öne sürülmüştür. Daha sonra bu modele dayanan bir elektromekanik supap mekanizması tasarlamış ve imal ettirmiştir. Akım geri beslemesine bağlı olarak konum kestirimi yoluyla çarpma gürültüsünü ve oturma hızını azaltma yönünde sistemin denetimi gerçekleştirilmiştir. Denetim yordamı olarak kayan kip metodolojisi kullanılmış ve sistemin denetimi teorik ve deneysel olarak gerçekleştirilmiş, 22 ms' lik hareket süresinde oturma hızı 0.05 m/s' ye kadar düşürülmüştür.

Peterson ve ark. (2004a) elektromekanik supap mekanizmalarında meydana gelen çarpmaların genliğini azaltan uç değer araştırma denetleyicisi (extremum seeking controller) tasarlamışlardır. Tasarladıkları denetleyici ile çarpma sırasında meydana gelen ses yoğunluğuna bağlı olarak 4 ms' den daha küçük hareket zamanında oturma hızını 0.1 m/s' nin altına düşürmüştür. Denetim işlevinde geri besleme elemanı olarak supap konumunu ölçen bir konum algılayıcısı ve bir mikrofon kullanılmıştır.

Quong (2004) sistemin çalışma kestirimini yapan bir sistem belirleme yöntemi geliştirmiştir. Bununla birlikte arzu edilen konum için minimal enerji kayıplarını dikkate

alan ileri beslemeli bir denetim şeması ve supabın yuvasına düşük hızlarda oturması için geri beslemeli bir denetim şeması geliştirmiştir.

Montarani ve ark. (2004) elektromekanik supap mekanizmasının konum denetimi için bir denetim sistemi önerdikleri çalışmalarında, denetleyicinin iki anahtar noktasını konumun yeniden yapılandırılması ve referans yörünge tasarımı olarak adlandırmışlar ve bu noktaları adresleyerek sistemin dinamik performansı üzerindeki sınırlamaları incelemişlerdir.

Peterson ve ark. (2004b) bir mıknatıs devresinde konum denetimi için optimum denetimi temel alan geri beslemeli bir denetleyici ile sistemin performansını arttırmayı hedeflemişlerdir. Mıknatıssal doyma etkisini dikkate aldıkları modellerinde elektromekanik supap mekanizmaları için otomotiv motorlarında kullanılabilecek türde bir denetleyici tasarlamışlardır.

Peterson ve ark. (2005) elektromekanik supap mekanizmalarının denetimini kolaylaştırmak amacıyla sistemin modellenmesini ve denetimini incelemişlerdir. Bu çalışmada sistemin denetiminde akım veya mıknatıs akısının değişimini esas almışlar ve bant genişliği ayrımı (bandwidth separation), minimum olmayan faz dinamikleri (non-minimum phase dynamics), geniş denetim sinyalleri (large control signal) ve doğrusallaştırma hataları gibi sorunları incelemişlerdir. Denetimde geri besleme sinyali olarak akım yerine mıknatıs akısı kullanmışlardır.

Peterson (2005) elektromekanik supap mekanizmalarındaki denetim zorluklarını araştırmış ve bu zorlukların elektromekanik supap mekanizmasının karakteristik yapısından kaynaklandığını belirtmiştir. Sunduğu denetim tekniğinin elektromekanik sistemlerin çoğunda uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Sistemde modelleme ve tasarımın denetim problemini nasıl etkilediğini incelemiş, arzu edilen performansı

sağlamak için konum ve mıknatıs akısı değişimini esas alan doğrusal olmayan bir denetleyici tasarlamış ve bozucu girişlerin etkisini azaltan kendi kendini ayarlamalı (self tuning) bir yordam geliştirmiştir. Yaptığı deneysel çalışmalarda tasarladığı denetleyici ile supap oturma hızını yaklaşık olarak 0.1-0.2 m/s olarak elde etmiş ve değişken supap hareket miktarını kararlı olarak sağlamıştır.

Kamış (2005) elektromekanik supap mekanizmaları için en kritik durumlardan birisi olan supabın oturma hızı denetiminin analizini yapmış, denetim işlemini teorik olarak gerçekleştirmiş ve uygun denetim teknikleri kullanarak oturma hızının yaklaşık olarak istenen değerlere düşürülebileceği göstermiştir. Bu durum ayrıca basit deneysel çalışmalarla da doğrulamıştır.

Chladny ve ark. (2006) tasarladıkları manyetik akı tabanlı konum ve hız gözlemcisini elektromekanik supap mekanizmasında kullanmışlardır. 0.25 - 4.5 bar arasında değişen gaz basıncı ile yapılan deneylerde supap oturma hızının en yüksek 0.1 m/s olduğunu gözlemlemişlerdir.

Liu ve Mercorelli (2006) elektromekanik supap mekanizmasının tasarım ve denetimini incelemişlerdir. İki PD denetleyicinin arka arkaya yerleştirildiği denetleyiciyi hem bilgisayarlı benzetimde hem de laboratuarda kurulan deney düzeneklerinde denemişlerdir. Referans yörünge tayin edilen çalışmada konum algılayıcısı kullanılmış ve sistem denetiminin analizini yapmışlardır.

Forrai ve ark. (2007) elektromekanik supap mekanizmasının tanımlanması ve denetleyici tasarımını ele almışlardır. Yapılan deneylerle ilk önce doğrusal parametre değişim (linear parameter-varying, LPV) yöntemini kullanarak sistem modelini oluşturmuşlar ve daha sonra LPV yaklaşımını kullanarak denetleyici tasarlamışlardır. Teorik

ve deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile LPV yaklaşımıyla elde edilen denetleyicinin oturma hız denetiminde etkili olduğunu göstermiştir.

Lua ve ark. (2007) nın yaptıkları çalışmada yumuşak iniş için gözlemci tabanlı bir denetleyici önermişlerdir. Bu gözlemci, düzenleme teorisinde (regulation theory) türetilen durum denetleyicisi tabanlıdır. Yapılan deneylerde 3 ms kapanma zamanı ve maksimum 30 A' lik akım altında oturma hızı 0.05 m/s' ye düşürülmüştür.

Kamış ve ark. (2007) elektromekanik supap mekanizması üzerinde yapılan teorik deneylerde, kapalı döngü denetimde PD etki ve DGM tekniği ile oturma hızı 0.21 m/s' ye kadar düşürmüştür. Deneysel çalışmalarda oturma hızının akımın anahtarlanması ile azaltılabileceği göstermiştir.

Chladny ve Koch (2008) Elektromekanik supap mekanizması üzerinde çok yönlü bir denetim metodu geliştirmiştir. Teorik sonuçlarla da uygunluğu gösterilen deneysel çalışmalarda oturma hızının 0.06 m/s standart sapma ile ortalama 0.1 m/s ye kadar düşürülebileceğini göstermiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, öncelikle elektromekanik supap mekanizmasının yapısı ve çalışma prensibi ele alınmıştır. Daha sonra EMS' nin denetiminde kullanılan PIC mikrodenetleyici hakkında bilgi verilmiştir. Darbe genişlik modülasyon tekniği ve bu tekniğin uygulanması araştırılmıştır. Ayrıca denetim süreci, kullanılan denetim yordamı ele alınmış ve teorik olarak deney yapabilmek için denetim sistem modelinin benzetimi MATLAB/Simulink ortamı kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra, bu çalışma çerçevesinde kurulan deney düzenekleri hakkında bilgi verilmiştir.

#### 3.1. Elektromekanik Sistemler

“Elektromekanik aygıtlar, elektrik ve mekanik sistemlerin birleşiminden meydana gelen ve elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren düzeneklerdir. Bu dönüşüm sonucunda mekanik enerji bir dönme hareketi oluşturuyorsa elektrik motoru, öteleme hareketi oluşturuyorsa solenoid veya elektromekanik aygıt adını alır.”

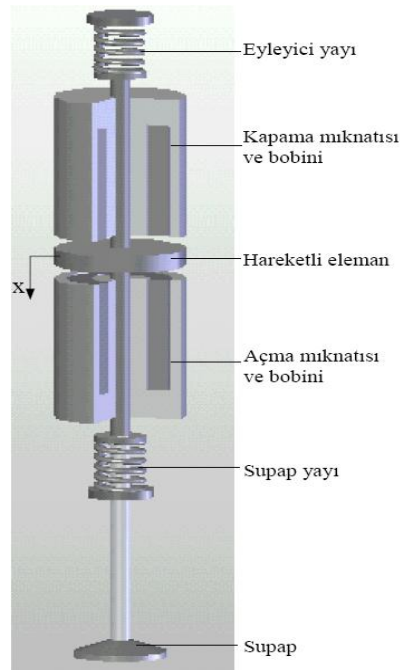
“Elektromekanik aygıtların, elektriksel çalışması, cevap hızının yüksek olması, uygulama esnekliği, hassasiyet ve otomatik olarak çalışması gibi üstün özellikleri ile ve elektronik ve bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ve denetim sistemlerindeki yeri ve önemi artıkça, endüstrinin bir çok alanında, basit bir su musluğundan, otomobil sektöründeki çok hassas denetim gerektiren enjeksiyon valflerine kadar yaygınlaşarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle robotlar, CNC (Computer Numerical Control – Bilgisayarlı nümerik kontrol) takım tezgahları ve elektriksel valfler gibi hassas konum denetimi gerektiren sistemlerde, yakıt tasarrufu sağlamak için ısı sistemlerinde ve otomobil sektöründe, tıbbi aletlerde, ölçme



elemanlarında kullanılan elektromekanik aygıtların, hassas ve uzaktan kumanda gerektiren daha bir çok uygulama alanında da kullanılacağı aşikardır” (Şefkat ve Yüksel 2003).

### 3.2. Elektromekanik Supap Mekanizması

Otomobillerin çevreye olan etkileri ve petrol fiyatlarının artmasıyla birlikte üreticiler yeni arayışlar içine girmiştir. Bu amaçla, otomobiller üzerinde görülen en büyük değişiklikler mekanik bağlantıların elektrik denetimli elemanlar ile yer değiştirmesi olmuştur. Günümüz otomobillerinde kalan mekanik bağlantılardan biri de supap mekanizmasını harekete geçiren kam milidir. Kam milinin ortadan kaldırılıp, elektronik denetimli yeni bir elektromekanik supap mekanizmasının araştırılmasına başlanmıştır. Elektromekanik supap mekanizmalarının getirdiği en büyük avantaj emme ve egzoz supabının açılma ve kapanma zamanlarının motor hızına ve diğer parametrelere bağlı olarak değiştirilebilmesidir. Böylelikle motor performansında artışın yanı sıra yakıt tüketiminin ve çevreye atılan zararlı gazların azaltılması sağlanmıştır.

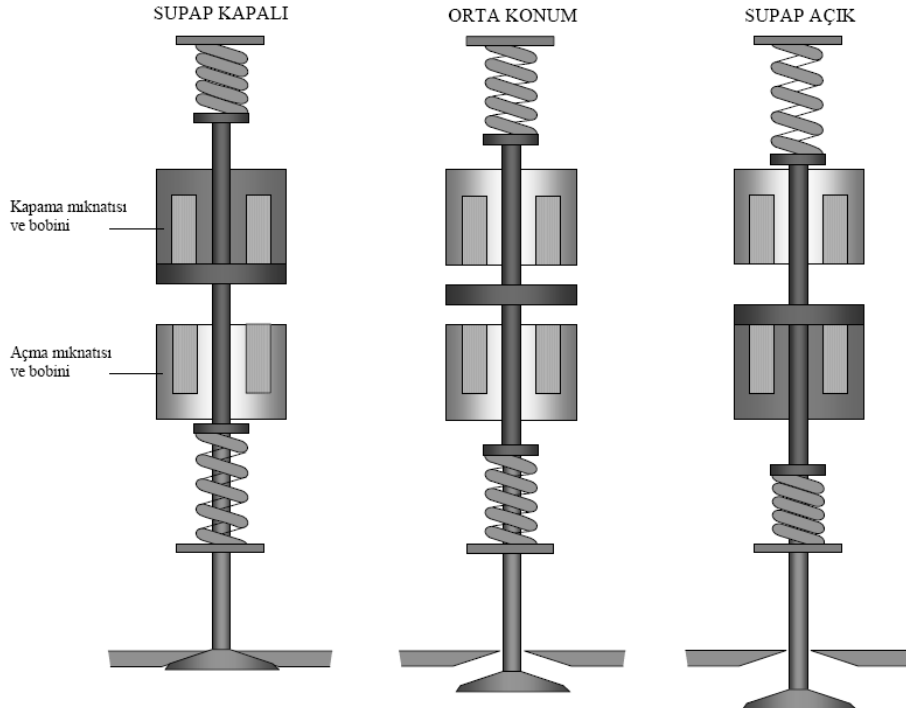


Şekil 3.1. Elektromekanik supap mekanizması

**KAYNAK:** Kamış 2005, s.22

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda ortaya çıkan elektromekanik supap mekanizmaları temelde birbirine benzemekle birlikte, farklılık gösteren tasarım yapıları da mevcuttur. Şekil 3.1 de bu çalışmada kullanılan EMS yapısı görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi EMS açma ve kapama olmak üzere iki adet mıknatıs devresi ve bobini, iki adet yay ve supap ile birlikte hareket eden disk veya piston biçiminde bir adet hareketli elemandan meydana gelmektedir.

Supabın açılıp kapanması, elektronik denetim biriminden gelen sinyale göre belirlenir. Kapanma bobinine uygulanan sinyal ile supap kapanır, açma bobinine uygulanan sinyal ile supap açılmaktadır. Hareketli elemanın hareketi, bobinlerin sağladığı mıknatıs kuvvetine ve yayların sağladığı potansiyel enerjiye bağlıdır. Bobinlerin ikisine de enerji uygulanmadığında hareketli eleman yaylar vasıtasıyla denge konumunda tutulur. Elektromekanik supap mekanizmasının çalışma prensibi Şekil 3.2' de verilmiştir.

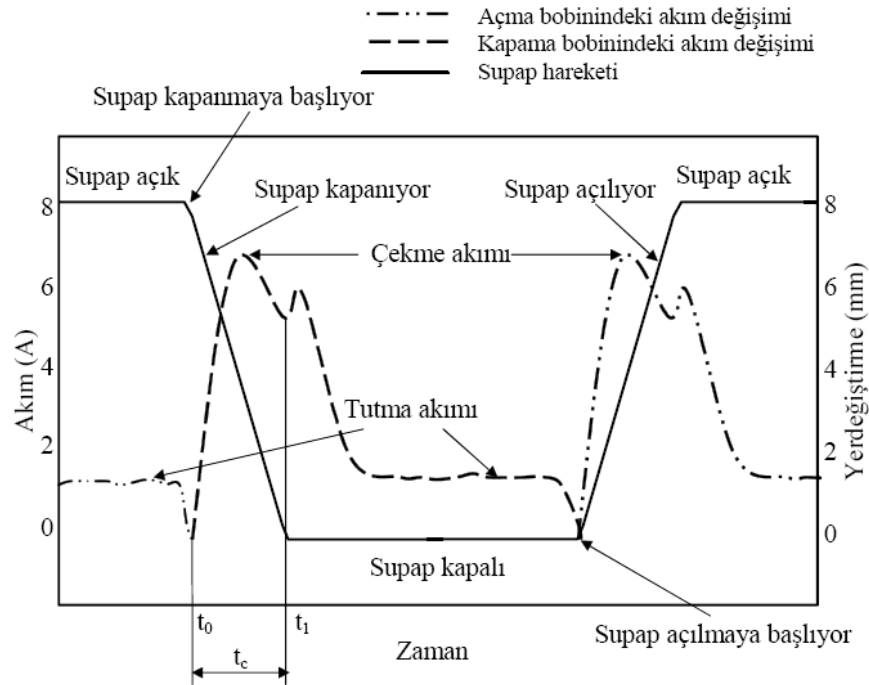


Şekil 3.2. Elektromekanik supap mekanizmasının çalışma prensibi

**KAYNAK:** Kamış 2005, s.23

“Supabın sürekli çalışması sırasında yayların sağladığı enerjinin önemi çok büyüktür. Sistemin dinamik davranışının analizinde yay kuvvetinin iletme sokulan mıknatis devresi için hareket mesafesinin yarısına kadar mıknatis kuvvetine yardımcı ve bu noktadan sonra ise karşı kuvvet olduğunun dikkate alınması gerekir. Buna göre elektromekanik supap mekanizması tasarımında yayların seçimi kritik olmaktadır. Mıknatis kuvvetinin etki etmediği durumda elektromekanik supap mekanizmasının dinamik davranışı basit bir kütle-yay-sönümleyici sisteminin dinamik davranışına eşdeğerdir. İki yay elemanı arasında hareket eden hareketli eleman hareketinin büyük bir kısmını yayların depoladığı potansiyel enerji ile tamamlar”(Kamış 2005).

Şekil 3.3’ te mıknatis kuvveti yardımıyla çalışan supabın konum değişimi ve bu değişime bağlı olarak bobinlerdeki akım değişimi karakteristikleri verilmiştir.



Şekil 3.3. Elektromekanik supap mekanizmasının anahtarlama karakteristikleri

**KAYNAK:** Kamış 2005, s.25

### 3.2.1. Hareket denklemleri

Elektromekanik supap mekanizmasında kullanılan mıknatıs devresi elektrik, mıknatıs ve mekanik alt sistemlerinden meydana gelir. Sistemin hareket denklemleri alt sistemlerin birbiriyle etkileşimine bağlı olarak, elektrik, mıknatıs, mıknatıs kuvveti ve mekanik denklemleri sırasıyla aşağıdaki şekilde düzenlenebilir (Topçu ve ark 2008).

$$e(t) = Ri(\phi, x) + N \frac{d\phi(x, i)}{dt} \quad (3.1)$$

$$Ni(\phi, x) = \frac{2B_g(x, i)x}{\mu} + \sum_j H_j l_j \quad (3.2)$$

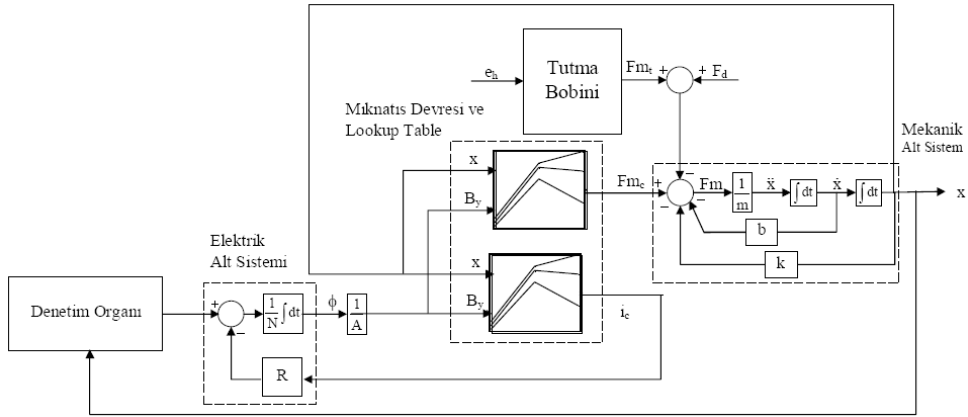
$$F_m = \frac{\phi_g(x, i)^2}{A\mu} \quad (3.3)$$

$$F_m = m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + k_y x + F_d \quad (3.4)$$

Burada, (3.1) nolu denklemdeki  $e$  bobine uygulanan gerilim (V),  $R$  bobin direnci ( $\Omega$ ),  $i$  akım (A),  $N$  bobin sarım sayısı,  $\phi$  mıknatıs akısı (Wb), (3.2) nolu denklemdeki  $B_g$  mıknatıs akısı yoğunluğu (Wb/m<sup>2</sup>),  $x$  yer değiştirme (m),  $\mu$  havanın geçirgenliğidir ( $4\pi 10^{-7}$ ).  $\frac{2B_g x}{\mu}$ ,  $x$  mesafesindeki hava aralığında  $B_g$  mıknatıs yoğunluğunu oluşturmak için gerekli magnetomotor kuvvetini ve  $\sum_i H_i l_i$  devrenin demir kısımlarındaki akıyı oluşturmak için gerekli elektromotor kuvvetini temsil eder. (3.3) nolu denklemdeki  $F_m$  mıknatıs çekim kuvveti (N),  $A$  etkin kesit alanı (m<sup>2</sup>), (3.4) nolu denklemdeki  $F_d$  dış kuvvetlerdir (N).

Görüldüğü gibi yukarıdaki denklemler doğrusal olmayıp sayısal çözüm teknikleri kullanarak çözümleri elde edilebilir. Bu denklemlerde en önemli doğrusalsızlık mıknatıs devre denklemlerinden kaynaklanmakta olup burada ayrıca mıknatıs devresinin boyutlarının da hesaba katılması gerekir. Boyutları ve malzeme özellikleri bilinen EMS' nin

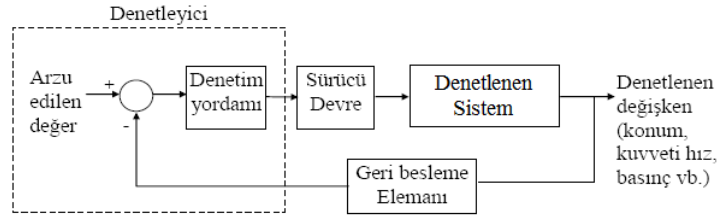
mıknatis özellikleri için sayısal çözüm teknikleri ile veri tabloları (look-up table) oluşturmak mümkündür. Kamış'ın (2005) doktora tezinde tasarlanmış ve Topçu ve ark. (2008) tarafından veri tabloları yoluyla belli oranda doğrusallaştırılmış EMS modeli bu çalışmada sistemin geri beslemeli denetiminin benzetiminde kullanılmıştır. Şekil 3.4' te veri tabloları kullanan sistemin Simulink modeli verilmiştir.



Şekil 3.4. Doğrusallaştırılmış EMS modeli blok şeması

### 3.2.2. Denetim süreci

Bir denetim sisteminin amacı, sistemin kararlı çalışması koşuluyla yüksek cevap hızında, en düşük veya sıfır konum hatası ile istenen çıkış değerine ulaşmasını sağlamaktır. Şekil 3.5' ten görüldüğü gibi kapalı döngü denetim sistemi bir denetleyici, sürücü devre, denetlenen sistem ve geri besleme elemanından oluşmaktadır. Geri besleme elemanının türü denetlenecek niceliğe (konum, basınç, kuvvet vb.) göre değişmektedir. Denetleyici olarak da PID (Proportional, Integral and Derivative – oransal, integral ve türev) gibi endüstride geniş kullanım alanı bulmuş klasik denetim yordamı kullanılabileceği gibi bulanık mantık, kayan kipli denetim, genetik algoritmalar vb. yeni denetim yordamlarının da kullanılması mümkündür.

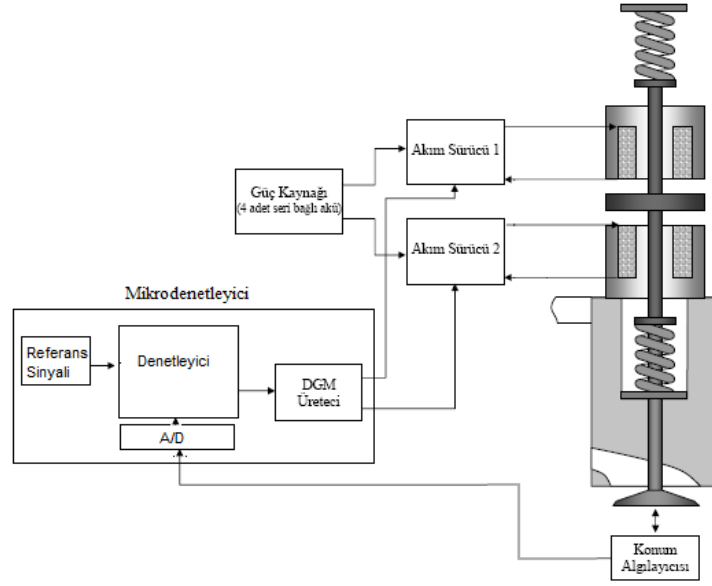


Şekil 3.5. Denetim sistemi blok şeması

### 3.2.3. Elektromekanik supap mekanizmasının denetimi

Bu tez çalışması kapsamında elektromekanik supap mekanizmasının denetimi uygulama amacıyla olanaklar çerçevesinde teorik ve deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin denetiminde darbe genişlik modülasyon tekniğinden yararlanılmıştır.

Şekil 3.6' da bu çalışmada kullanılan sistemin konum geri beslemeli denetim şeması gösterilmiştir. Sistem, güç kaynağı, akım sürücüler, elektromekanik supap mekanizması, konum algılayıcı ve denetleyici olmak üzere beş kısımdan oluşur. Burada kullanılan mikrodenetleyici, konum algılayıcısından gelen konum bilgisini değerlendirerek uygun akım sürücü devreye darbe genişlik modülasyon sinyali gönderir. Akım sürücü devrenin temel elemanı güç transistörü olup, DGM sinyali ile açılır ve kapanır. Bu sayede güç kaynağından elde edilen gerilim arzu edilen seviyelere düşürülerek bobine uygulanır. Bobin uçlarında oluşan gerilime orantılı olarak, bobinden akım geçer ve bu akım manyetik bir alan oluşturur. Ferromıknatıstan yapılan ve elektromekanik supap mekanizmasında bulunan hareketli eleman bu manyetik alanla uyarılır. Böylece supap arzu edilen hareketini gerçekleştirmiş olur.



Şekil 3.6. Elektromekanik supap mekanizması denetim şeması

Yapılan çalışmalarda açık döngü olarak kontrol edilen EMS' de yüksek oturma hızlarının ortaya çıktığı görülmüştür. Supabın oturma hızının fazla olması yüksek gürültüye ve sistemin aşınmasına neden olmaktadır. Bu nedenle 21. yüzyılda elektromekanik supap mekanizmaları üzerinde yapılan araştırmalar yumuşak iniş olarak bilinen problemin çözülmesi üzerinde yoğunlaşmıştır.

Yüksek oturma hızlarının sebebi, hareket mesafesinin son 1/3' ünden sonra supap hareketinin kararsız hale gelmesinden kaynaklanmaktadır (Peterson 2005). Bunun nedeni ise, supap oturma pozisyonuna yaklaştıkça net kuvvetin hızlı bir şekilde artmasından kaynaklanır. Bilindiği gibi supap denge konumundan oturma noktasına doğru ilerlerken, yaylar supap hareketine ters ve mesafe ile doğru orantılı bir kuvvet uygularken, bobinde oluşan mıknatıs kuvvetinin supap hareketi doğrultusunda ve doğrusal olmayan bir kuvvet uygulamaktadır. Mıknatıs kuvveti, akım ve konumun karesiyle ters orantılı bir seyir izlediğinden dolayı, supabın kapanmasına yakın mesafelerde supap hareketi doğrultusundaki net kuvvet hızla artmakta ve yüksek oturma hızları kaçınılmaz olmaktadır. Bu nedenle sistemin açık döngü denetimi ile bu kararsız bölgenin denetimi çok zor olmakla

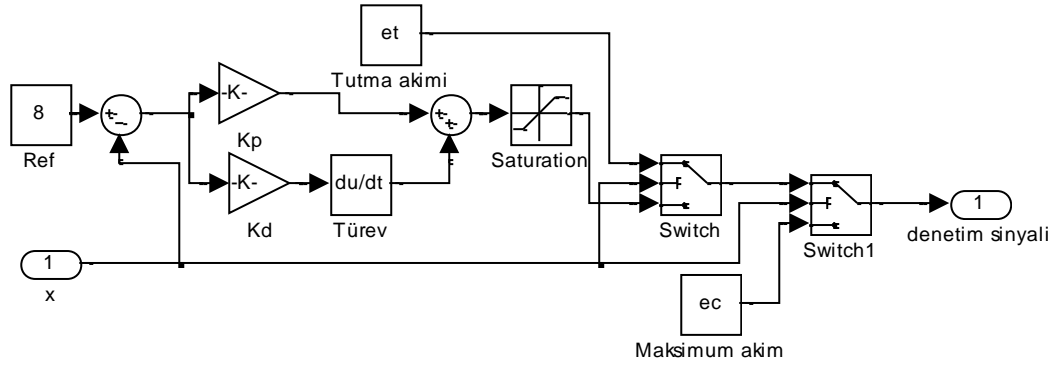
birlikte, yapılan çalışmalarda kapalı döngü denetim ile supap oturma hızının uygun seviyelere çekilmesi önerilmektedir.

Günümüzde birçok kapalı döngü denetim yöntemi mevcuttur. Oturma hızının denetiminde de bu yöntemlerden yararlanılmıştır. Bunlar, PD denetleyici (Stubbs 2000), tekrarlamalı öğrenmeli denetleyici (Tai ve ark. 2001), LQ optimum denetleyici (Tai ve Tsao 2002), çıkış gözlemlenmeli geri beslemeli denetleyici (Peterson ve ark. 2002a), doğrusal, doğrusal olmayan ve çevrimden çevrime kendi kendini ayarlamalı denetleyici (Peterson ve ark. 2002c), doğrusal olmayan çıkış izleyicili denetleyici (Haskara ve ark. 2003), yinelemeli öğrenmeli denetleyici (Hoffmann ve ark. 2003), kayan kip denetim yordamı (Kawabe 2003), ileri beslemeli ve yinelemeli öğrenmeli denetim (Peterson ve ark. 2003b), uç değer araştırma denetleyicisi (Peterson ve ark. 2004a), LPV yaklaşımını kullanarak elde edilen denetleyici (Forrai ve ark. 2007) olarak sayılabilir.

Kapalı döngü sistemin olmazsa olmazı olan geri besleme sinyali çeşitli algılayıcılar vasıtası ile sağlanır. Elektromekanik supap mekanizması üzerinde yapılan çalışmalarda dört çeşit algılayıcı kullanılmıştır. Bunlar, konum, akım, manyetik akı ve ses algılayıcılarıdır.

Bu çalışmada, konumun belirlenmesinde tasarımı yapılan alan etkili konum algılayıcısı kullanılmış ve hızın değişimi ise konumun türevinden kestirim yoluyla belirlenmiştir. Kapalı döngü denetimde ise supap oturma noktası referans olarak tanımlanmış ve bu referans noktası ile çıkış konumu arasındaki hata sinyali ve kararsızlık durumuna geçme durumu göz önünde bulundurularak P, PD denetim yordamları ve DGM tekniği ile oturma hızı belli oranda azaltılmıştır. Teorik ve deneysel sonuçları karşılaştırmak amacıyla, üç aşamalı denetimi esas alan Şekil 3.7' deki Simulink modeli kurulmuştur. Modelde yer alan anahtar (switch) elemanları yardımıyla üç aşamalı durumun gözden geçirilmesi sağlanmış ve geri beslemeli modelin çıkısındaki denetim sinyali EMS modeline giriş olarak uygulanmıştır.





Şekil 3.7. Üç aşamalı denetimin Simulink modeli

Şekil 3.7 de görülen üç aşamalı denetim modeli, üç hedef gözetilerek hazırlanmıştır. Bunlar; supabın olabildiğince çabuk kapanması, oturma esnasında yumuşak inişin sağlanması ve oturduktan sonra sistemden çekilen akımın düşürülerek hem enerji sarfiyatı sağlanması hem de açılma zamanını arttırmaktır. Adımlar detaylandırılacak olursa:

- **Birinci adım:** Supabın kapanabilmesi için açma bobinindeki enerji kesilir. Fakat ferromıknatis malzemede oluşan kalıcı mıknatıslanma etkisi hareketli elemanın bir süre daha açık konumda kalmasına ve bu da kapanma için geçen sürede sistem ölü zamanına neden olur. Ölü zamanı en aza indirebilmek için kapama bobinine en yüksek akım (~20 A) uygulanır. Bu da akım sürücü devreye %100 doluluk oranındaki DGM sinyalinin uygulanmasıyla mümkündür. Supap hareketine başladıktan sonra tam doluluk oranındaki DGM sinyali ile akım sürücü sürülür. Böylelikle supap hareketini ikinci adıma kadar çıkabileceği en yüksek hızla sürdürür ve kapama zamanı azaltılmış olur.
- **İkinci adım:** Bu adım sistem kararsızlık noktasına az bir mesafe kala devreye girer. Sistem kararsızlık noktası supap hareketinin son 1/3 lük kısmını teşkil eder. Bu adımdaki amaç supabın olabildiğince düşük bir hızla oturmasını sağlamaktır. Bu amaçla ikinci adımda P veya PD denetim yordamı devreye girer. Konum algılayıcısından alınan bilgi değerlendirilerek, hata değeri oluşturulur ve denetim

yordamına uygulanır. Burada referans değeri supabın oturma konumudur. Denetim yordamından elde edilen çıkış verisine göre uygun DGM sinyali üretilir ve akım sürücüsüne uygulanır.

- **Üçüncü adım:** Supap oturduktan sonra, supabın kapalı konumda tutulabilmesi için gereken en düşük akım uygulanmalıdır. Yapılan deneylerde %20 doluluk oranına sahip DGM sinyali bu ihtiyaca karşılık vermektedir. Kapama bobininden geçen 4-5 A değerindeki akım supabı kapalı konumda tutar ve bir sonraki açılma döngüsü başladığında en düşük kalıcı mıknatıslanma üretilerek supabın açılma zamanı azaltılmış olur. Ayrıca sistemden çekilen enerji azalır ve bobinin uzun sürelerle yüksek akıma maruz kalması engellenmiş olur.

### **3.3. Mikrodenetleyiciler**

Daha önce yapılan araştırmalarda, elektromekanik supap mekanizması denetimi bilgisayarlar vasıtasıyla gerçekleştirilmiş olup bu çalışma, EMS denetiminin mikrodenetleyici ile gerçekleştirilmesi ile öne çıkmaktadır. Bu bağlamda aşağıda mikrodenetleyici ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

#### **3.3.1. Tarihçe**

Karmaşık ve uzun zaman alan hesaplamaların çözümlenmesi için bilim dünyası sürekli bir arayış halindeydi. Alman bilim adamı Zuse 1936 yılında mekanik anahtarlı Z1 adında ilk bilgisayarı yaptıktan sonra 1939 yılında manyetik röle ile çalışan Z2 bilgisayarı tasarlamıştır. 1942 yılında Iowa State Üniversitesinin profesörü John Atanasoff ile öğrencisi Clifford Berry ilk elektronik bilgisayar olan vakum tüpleriyle ABC' nin yapımını gerçekleştirdi. 1946 yılında ABD' de askeri amaç için düşünülen bomba izlerinin hesaplanmasında kullanılacak olan ENIAC yapıldı. Bu bilgisayarlar manyetik röle ve vakum

tüplü olduklarından, fiziki olarak bir oda büyüklüğünde ve sadece özel amaçlı kullanılıyordu.

1948 yılında yarı iletkenlerin keşfi ve 1950 yılında transistörlerin kullanılmasıyla birlikte bilgisayarlar yeni bir boyuta taşındı. Eskisine göre daha küçük ve az enerji harcayan bilgisayarlar üretilmeye başlandı. 1970 yılında Intel firması bilgisayarın beyni sayılan mikroişlemciyi (CPU) tek bir entegre olarak tasarladı.

Gelen istekler doğrultusunda sürekli geliştirilen mikroişlemciler, sadece bilgisayarlarda kullanılmayıp otomobil, telefon sistemleri, beyaz eşya, robotlar, müzik aletleri, güvenlik sistemleri ve endüstride kullanılmaktaydı. Bellek, giriş/çıkış birimleri ve işlemciden meydana gelen basit bir mikroişlemcili sistem daha sonraları günümüzde adı geçen elemanların tek bir entegre haline getirilmesiyle mikrodenetleyici adını almıştır. Mikroişlemcili sistemi meydana getiren birimlerin kırılmış özellikleri mikrodenetleyici sistemde kullanıldığından, maliyet düşmüş, programlanması kolay olmuş ve dolayısıyla boyutları da küçülmüştür. Mikrodenetleyiciler sürekli geliştirilmekte, özellikleri ve performansları arttırılmaktadır. Mikrodenetleyiciler bilindik kullanım yerlerinin dışında endüstride ve günlük yaşantımızda kendisine sürekli yeni kullanım alanları açmaktadır ([www.forumsayfam.info/elektrik-muhendisligi-icin-e-book-t-269.htm](http://www.forumsayfam.info/elektrik-muhendisligi-icin-e-book-t-269.htm), 2007).

### **3.3.2. Genel tanımlama**

Bir bilgisayar içerisinde bulunması gereken temel bileşenlerden, mikroişlemci, RAM (rastgele erişimli bellek), I/O (giriş/çıkış) ünitesinin tek bir entegre devre içerisinde üretilmiş biçimine mikrodenetleyici denir. Denetim teknolojisi gerektiren uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmış olan mikrodenetleyiciler, mikroişlemcilere göre çok daha basit ve ucuzdur. Endüstrinin her kolunda kullanılan mikrodenetleyiciler; otomobillerde, kameralarda, cep telefonlarında, fotokopi ve çamaşır makinelerinde, televizyonlarda, oyuncak vb. cihazlarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Bir mikrodnetleyici genel olarak aşağıdaki birimlerden oluşur:

- CPU (Merkezi işlem ünitesi - central processing unit)
- RAM (Rastgele erişimli bellek-Random Access Memory)
- EPROM/PROM/ROM (Silinir, yazılır sadece okunur bellek-Erasable Programmable Read Only Memory)
- I/O (Girdi/çıktı - input/output) - seri ve paralel
- Timers (Zamanlayıcılar)
- Interrupt controller (Kesmeler)

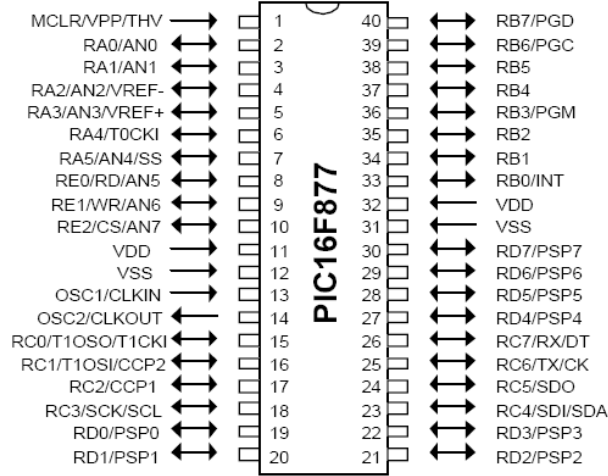
Günümüzde mikrodnetleyiciler, basit ve ucuz üretim maliyetleri dolayısıyla birçok firma tarafından üretilmektedir. Bunlardan en önemlilerine; Intel firması tarafından üretilen 8051 serisi, Motorola tarafından üretilen 68HC11 serisi ve Microchip tarafından üretilen ve kısaca PIC (Peripheral Interface Controller) denilen 16X/18X serisi örnek olarak verilebilir (Akar ve Yağımlı 2006).

PIC serisi mikrodnetleyiciler, Microchip firması tarafından geliştirilmiştir. PIC' in kelime anlamı çevresel arabirim denetleyicisidir. Üretim amacı; çok fonksiyonlu mantık uygulamalarının hızlı ve ucuz bir mikrodnetleyici ile yazılım yoluyla karşılanmasıdır.

### **3.3.3. PIC16F877 mikrodnetleyici**

PIC16F877 yüksek performanslı, CMOS, tamamen statik, 8 bit, 40 bacaklı bir mikrodnetleyicidir (bkz Şekil 3.8). Tüm PIC 16/17 mikrodnetleyicileri gibi PIC16F877 de RISC mimarisini kullanmaktadır. PIC16F87X mikroları birçok esas özelliklere sahiptir. 14 seviyeli, derin küme ve çoklu iç ve dış kesme kaynaklarına sahiptir. 2 aşamalı komut hattı tüm komutların tek bir çevrimle (cycle) işlenmesini sağlamaktadır. Yalnızca bazı özel komutlar iki çevrim çekerler. Bu komutlar dallanma komutlarıdır. PIC16F87X ailesi dış

elemanları azaltacak özelliklere sahiptir ve böylece maliyet minimuma inmekte, sistemin güvenilirliği artmakta, enerji sarfiyatı azalmaktadır.



Şekil 3.8. PIC 16F877' nin bacak yapısı

**KAYNAK:** [ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf) 2007 p.1

Bunun yanı sıra tüm PIC' lerde 4 adet osilatör seçeneği mevcuttur. Bunlarda tek pinli RC osilatör, düşük maliyet (4 MHz) , LP osilatör (Kristal veya seramik rezonatör), enerji sarfiyatını minimize etmekte (asgari akım) (40 KHz), XT kristal veya seramik rezonatör osilatörü standart hızlı ve HS kristal veya seramik rezonatörlü osilatör çok yüksek hıza sahiptir (20 MHz). PIC mikrodenetleyicilerinin en büyük özelliği uyku modu özelliğidir. Bu mod sayesinde işlem yapılmadığı durumlarda PIC uyuma moduna geçerek çok düşük akım çeker. Kullanıcı birkaç iç ve dış kesmeyle PIC' i uyuma modundan çıkarabilmektedir. Yüksek güvenilirlikli Watchdog Timer kendi bünyesindeki entegre üstü RC osilatörü ile yazılımı kilitlemeye karşı korumaktadır. PIC 16F877 EEPROM program belleği, yeniden programlanabilirliği kod güncelleştirmeye izin vermektedir. ([ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf) 2007).

### 3.3.4. Bir PIC' in işlem yapabilmesi için gerekli bileşenler

PIC mikrodenetleyici tabanlı denetim kartının işlem yapabilmesi için gerek duyulan birkaç bileşen vardır. Aşağıda bahsedilen bileşenler içinde yer alan "simülatör" bileşeninin mikrodenetleyicinin çalışmasında gerekli bir yordam olmamasına karşılık, mikrodenetleyicinin sanal ortamda doğru çalışıp çalışmadığını test etmek amaçlı kullanılan yararlı bir bileşendir. Ayrıca bu bileşenler, deney düzenekleri bölümünde ayrıntılarıyla ele alınmıştır.

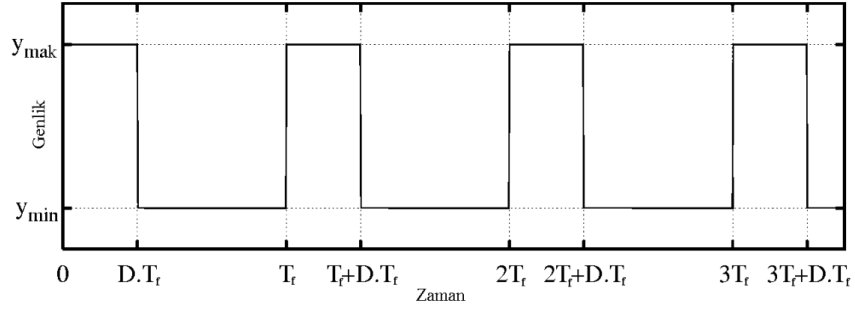
- **Giriş-Cıkış (I/O):** Mikrodenetleyicinin dış dünya ile ilişkisini sağlayan, girdi ve çıktı şeklinde ayarlanabilen bir bağlantı pinidir.
- **Yazılım:** Mikrodenetleyicinin çalışmasını ve işletilmesini sağlayan bilgidir. Başarılı bir uygulama için yazılım hatasız olmalıdır. Yazılım C, Pascal, Basic veya Assembly gibi çeşitli dillerde veya ikilik (binary) olarak yazılabilir.
- **Donanım:** Mikrodenetleyiciyi, bellek, arabirim bileşenleri, güç kaynakları, sinyal düzenleyici devreler ve bunları çalıştırmak ve arabirim görevini üstlenmek için bu cihazlara bağlanan tüm bileşenlerdir.
- **Programlayıcı:** Yazılımın, mikrodenetleyicinin belleğinde programlamasını sağlayan bir birimdir. Çoğunlukla seri port 'a (örneğin RS-232) bağlanan bu birimler çok çeşitli biçim, ebat ve fiyatlara sahiptir.
- **Kaynak dosyası:** Hem çeviricinin (assembler) hem de tasarımcının anlayabileceği dilde yazılmış bir programdır. Kaynak dosya mikrodenetleyicinin anlayabilmesi için önceden çeviri (assemble) edilmiş olmalıdır.

- **Assembler:** Kaynak dosyayı bir nesne dosyaya dönüştüren yazılım paketidir. Hata araştırma bu paketin yerleşik bir özelliğidir. Bu özellik çeviri sürecinde hatalar çıktıkça programı hatalardan arındırırken kullanılır. MPASM, tüm PIC ailesini elinde tutan Microchip' in son çeviricisidir.
- **Nesne dosyası (object file) :** Çevirici tarafından üretilen bu dosya, programcı veya simülatörün anlayabileceği ve böylelikle dosyanın işlevlerinin çalışmasını sağlayabileceği bir dosyadır. Dosya uzantısı çeviri edicinin emirlerine bağlı olarak .obj veya .hex olur.
- **Simülatör:** PC üzerinde çalışan ve mikrodenetleyicinin içindeki işlemleri simüle eden MPSIM, MPLAB veya Proteus/Isis gibi bir yazılım paketidir. Hangi olayların ne zaman meydana geldiği biliniyorsa bir simülatör kullanmak, tasarımları test etmek için kolay bir yol olacaktır. Öte yandan simülatör, programları tümüyle veya adım adım izleyerek hatalardan arındırma fırsatı sunar.

### 3.4. Darbe genişlik modülasyon tekniği

Bir bilgiyi iletişim hattı üzerinden iletmeye veya yüke gönderilen gücün miktarını kontrol etmek için bir sinyalin veya güç kaynağının iş çevriminin (duty cycle) modülasyonu, darbe genişlik modülasyonu elde edilir.

Darbe genişlik modülasyonu tekniği, kare dalganın doluluk - boşluk oranının modüle edilmesiyle, dalga formunun ortalama değerinin değiştirilmesine olanak tanır. Şekil 3.9' daki gibi en alt değeri  $y_{min}$ , en üst değeri  $y_{mak}$ , doluluk oranı  $D$  ve periyodu  $T_f$  olan bir kare dalga  $f(t)$  bulunduğunu düşünülüğünde, bu dalga formunun ortalama değeri (3.5) nolu denklemdeki gibi hesaplanır.



Şekil 3.9. DGM sinyali

$$\bar{y} = \frac{1}{T_f} \int_0^{T_f} f(t) dt \quad (3.5)$$

$f(t)$  kare dalga ve  $y_{mak}$  değeri  $0 < t < D \cdot T_f$  ve  $y_{min}$  değeri  $D \cdot T_f < t < T_f$  aralığında geçerli olduğundan dolayı, dalga formunun ortalama değeri (3.8) nolu denklemdeki ifadeye dönüşür:

$$\bar{y} = \frac{1}{T_f} \left( \int_0^{DT_f} y_{max} dt + \int_{DT_f}^{T_f} y_{min} dt \right) \quad (3.6)$$

$$= \frac{D \cdot T_f \cdot y_{max} + T_f(1 - D)y_{min}}{T_f} \quad (3.7)$$

$$= D \cdot y_{max} + (1 - D)y_{min} \quad (3.8)$$

Birçok uygulamada  $y_{min}$  sifira eşit olduğu için, (3.8) nolu denklem,

$$\bar{y} = D \cdot y_{max} \quad (3.9)$$

olarak basitleştirilir. Buradan hareketle açıkça görülmektedir ki, sinyalin ortalama değeri ( $\bar{y}$ ) doğrusal olarak doluluk oranına ( $D$ ) bağlıdır.

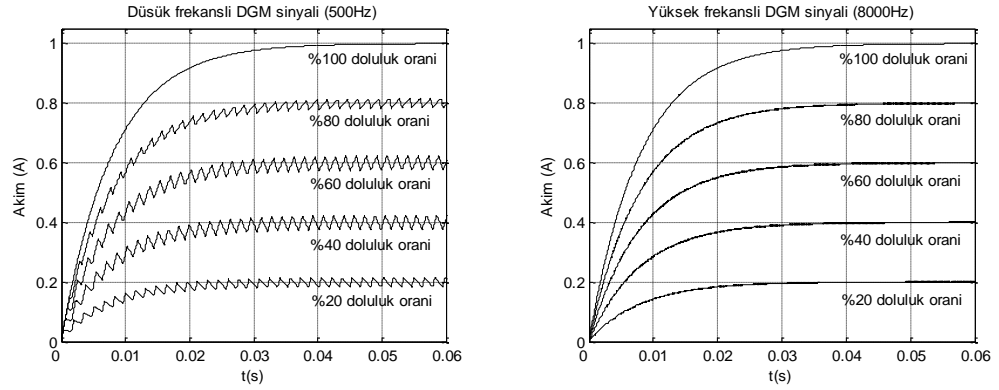


DGM tekniği genellikle anahtarlama elemanlarıyla zaman oransal çıkış elde edilmek istenen sistemlerde kullanılır. Buradaki zaman oransallık, sinyalin doluluk oranıyla doğru orantılı bir çıkışın elde edilmesidir.

Elektromekanik supap mekanizmalarında akım denetiminin yapılabilmesi için bobinlerdeki akım, giriş sinyali ile orantılı olarak ayarlanabilmektedir. Bu amaçla DGM tekniği ile sürülecek akım sürücülerde anahtarlama elemanı olarak MOSFET veya IGBT türündeki açma kapama elemanları kullanılır. Böylelikle DGM sinyalinin doluluk oranıyla orantılı akım elde etmek mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, DGM tekniği yardımı ile sürülen anahtarlama elemanı (IGBT) girişine uygulanan darbe trenleri şeklindeki işarete karşılık, bobinde bu işaretin zaman ortalamasıyla orantılı bir akım sinyali elde edilmiştir. Bobinden geçen akımın sürekli sinyal şeklinde olabilmesi için DGM sinyalinin periyodu milisaniyenin kesri mertebelerinde olmalıdır. Akım sürücüde bulunan IGBT' nin cevap hızı yüksek olduğundan dolayı, kararlı bir akım sinyali elde edebilmek için DGM sinyalinin frekansı 8 KHz olarak seçilmiştir.

Şekil 3.10' da elektromekanik supap mekanizmasının bobinini temsil etmek üzere DGM tekniğinin uygulamasını gösteren basit bir örnek ele alınmıştır. Bu örnekte farklı doluluk oranındaki darbe sinyalleri bir L-R devresine uygulanmıştır. Şekil 3.10' dan görüldüğü gibi DGM sinyalinin doluluk oranı %100 iken akımın ulaştığı son değer 20 A, %80 oranında 16 A, %60 oranında 12 A, %40 oranında 8 A ve %20 oranında 4 A' dir. Görüldüğü gibi akımın son değeri sinyalin doluluk oranı ile orantılıdır. DGM sinyalinin frekansı arttıkça çıkış değişkenindeki salınım azalmakta, yüksek frekanslarda ise sürekli sinyal biçimini almaktadır.



Şekil 3.30. DGM tekniğinin basit bir model üzerinde uygulanişı

DGM sinyali bilgisayar ortamında sayısal olarak oluşturulabileceği gibi benzeşik (analog) devrelerle de oluşturulabilir. Bu çalışmada daha esnek ve kararlı sinyal elde etmek için 8 kHz' lik DGM sinyali mikrodenetleyici tarafından elde edilmiştir.

### 3.5 Ayrık denetleyici tasarımı

Sayısal ortamda denetim algoritmasının hazırlanabilmesi için sürekli zaman denetleyicilerin, ayrık zamandaki ifadeleri kullanılmalıdır. Bu amaçla, PID denetim yordamı hakkında bilgi verilmiş ve PD denetim yordamının ayrık zamana dönüştürülmesi ele alınmıştır. Ayrıca elde edilen ayrık zaman denetleyicinin mikrodenetleyici ile gerçekleşmesi ve örnekleme zamanının belirlenmesi gibi konular hakkında bilgi verilmiştir.

#### 3.5.1. PID denetim yordamı

Günümüzde pek çok yeni denetim tekniği geliştirilmiş olmasına rağmen klasik PID denetimi halen endüstride en çok bilinen ve kullanılan denetim tekniğidir. Denetim sistemlerinin %90' nından fazlasında PID denetim algoritması kullanılmaktadır. Klasik PID gibi basit bir denetim yordamıyla hızlı cevap ve sıfır hata gibi bir denetim sisteminden istenebilecek temel nitelikleri sağlamak mümkün olmaktadır. Bu yüzden bir sisteme kapalı

döngü denetim uygulanacağı zaman klasik PID denetim yordamı ilk akla gelen çözümlerden biri olmaktadır.

PID denetim organı; orantı (P), integral (I) ve türev (D) olmak üzere üç temel denetim etkisinin birleşiminden oluşur. PID denetim organının çıkışı veya denetim yasası kuramsal olarak;

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $u(t)$  denetleyici çıkışı,  $e(t)$  hata sinyali olup, arzu edilen sistem çıkış değerinin, o an ki sistem çıkışından farkını ifade etmektedir.  $K_p$  oransal kazanç sabiti olup,  $T_i$  ve  $T_d$  sırasıyla integral ve türev etki zaman sabiti olarak bilinmektedir.

PID denetleyicisindeki integral etki genellikle sistem kalıcı hatalarının ortadan kaldırılması için kullanılır. Elektromekanik supap mekanizmasında, supap hareketini sınırlı bir aralık içerisinde tamamladığından dolayı, sistemde kalıcı konum hatası oluşmamaktadır. Bu nedenle konum geri beslemeli denetimde P ve PD denetim yordamlarının kullanılması uygun görülmüştür.

### 3.5.2. Ayrık-zaman PD denetleyici

Sayısal bilgisayar kullanarak PD denetleyiciyi uygulayabilmek için (3.11) nolu denklemi sürekli zamandan ayrık zamandaki ifadeye çevrilmelidir.

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3.11)$$

Bunun için birkaç yöntem vardır ve en basiti türev için (3.12) nolu ifadedeki geriye doğru fark yaklaşımı (backward difference) kullanılmasıdır.

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(kT) - e(kT - T)}{T} \quad (3.12)$$

Yukarıdaki (3.12) nolu ifade kullanıldığında (3.11) nolu denklem aşağıdaki (3.13) nolu denkleme dönüşür:

$$u(kT) = K_p \left[ e(kT) + T_d \frac{e(kT) - e(kT - T)}{T} \right] \quad (3.13)$$

Bu haliyle, (3.13) nolu denklem dijital ortamda gerçekleştirilebilir hale gelmiş olur. Bu biçimdeki PD denetleyicisi, konumsal (positional) PD denetleyicisi olarak adlandırılır.

PID denetleyicisinin ayrık zaman formu, (3.11) nolu denklemin z-düzlemindeki dönüşümü bulunarak da türetilebilir:

$$\frac{U(z)}{E(z)} = K_p \left[ 1 + T_d \frac{(1 - z^{-1})}{T} \right] \quad (3.14)$$

(3.14) nolu denklemi ayrık zamana dönüştürdüğümüzde,

$$u(kT) = K_p [e(kT)] + \frac{K_p T_d}{T} [e(kT) - 2e(kT - T) + e(kT - 2T)] \quad (3.15)$$

(3.15) nolu denklem elde edilir. Bu biçimdeki PD denetleyicisi, hız (velocity) PD denetleyicisi olarak adlandırılır (Ogata 1995, Doğan 2006).

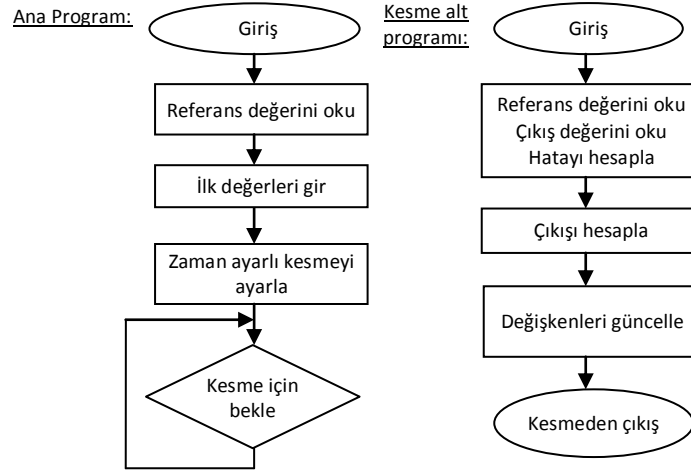
Hız PD denetleyicisi, ani olarak değişen referans değerlerinin bulunduğu sistemlerin kontrol edilmesinde daha etkili sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada referans değeri sabit olduğundan dolayı konumsal PD denetleyicisinin kullanılması uygun görülmüştür.

### 3.5.3. Kontrol algoritmasının mikrodenetleyici ile gerçekleştirilmesi

Dijital kontrol sistem tasarımının son aşaması, denetleyici algoritmasının dijital bir bilgisayarda uygulanmasıdır. Bu bölümde, dijital denetleyici algoritmasının PIC mikrodenetleyiciler üzerinde uygulanmasının incelenmesi yapılacaktır. Bu amaçla, A/D çeviriciye, yeterli miktarda program ve veri hafızasına ve iki adet PWM çıkışına sahip olmasından dolayı bu uygulamada PIC16F877 kullanılmıştır.

Assembly dilinin karmaşık programların yazılmasındaki ve sonrasında oluşacak hataların denetlenip düzeltilmesinin zorluğundan dolayı, üst seviye dillerden birisi olan Basic tercih edilmiştir.

Denetim algoritmasının uygulanmasında birkaç yöntem bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı, uygulamalarda yüksek doğruluğa sahip olan ve gerekli gecikmeyi veya örnekleme zamanını oluşturmak için kullanılan zaman ayarlı kesmedir (timer interrupt). Bu yöntemde, yazılım iki bölümden oluşur: ana program ve kesme alt programı (ISR, interrupt service routine). Şekil 3.11'de görüldüğü gibi, ana programda, A/D çevirici, zaman ayarlı kesme ayarlarının yapılması ve programda kullanılacak çeşitli değişkenlere ilk değer atanır. Kesme programı için gerekli olan zamanlayıcıya, gerekli olan dijital denetleyicinin örnekleme zamanına eşit bir değer atanır. Zaman ayarlı kesme olduğu anda, program kesme programına atlar (Şekil 3.11) ve bu program içinde asıl denetleyici algoritması devreye girer. Arzu edilen değer ile ölçülen değer arasındaki farkın hesaplanmasıyla hata değeri elde edilir. Daha sonra kontrol algoritması uygulanır ve bir sonraki örnekleme zamanına kadar uygulanacak olan çıkış elde edilir. Bir diğer kesme programı döngüsünde kullanılmak üzere ilgili değişken güncellenir. Kesme programından dönüşte, ana programda bir sonraki örnekleme zamanı beklenir ve yukarıda anlatılan işlem tekrarlanır (Doğan 2006).



Şekil 3.11. Denetleyici akış şeması (a) ana program; (b) kesme alt programı

### 3.5.4. Örnekleme zaman aralığının seçimi

Dijital bir kontrol sistemi tasarlandığında, uygun bir örnekleme aralığı seçilmelidir. Geniş örnekleme aralıklarının seçimi, sistem üzerinde kararsızlıklara yol açtığı gibi, bilgi kaybına da neden olur. Bunun yanında sürekli bir sistemin, ayrıklaştırılması esnasında oluşan hataların artmasına neden olur.

Endüstriyel uygulamalardan, 1 saniye örnekleme zaman aralığının, basınç, sıcaklık, akış kontrolü gibi birçok uygulamada yeterli olduğu görülmüştür. Cevap hızı yüksek olan elektromekanik sistemler milisaniye mertebesinde örnekleme zaman aralığına ihtiyaç duyarlar.

Birçok araştırmacı örnekleme aralığının seçimi için çeşitli ampirik kurallar öne sürmüşlerdir. Bu kurallar, deney ve benzetim sonuçlarına dayanmaktadır. Bunlardan birkaçı aşağıdaki gibidir (Doğan 2006):

- Eğer sistemin baskın zaman sabiti  $T_p$  ise, kapalı döngü sistemin örnekleme aralığı  $T < T_p/10$  olacak şekilde seçilmelidir.
- Sistemin açık döngü Ziegler-Nichols matematik modeli

$$G(s) = \frac{K e^{-sT_1}}{1 + T_s s} \quad (3.16)$$

(3.16) nolu denklemdeki gibi kabul edilirse, örnekleme aralığı  $T < T_1/4$  olacak şekilde seçilmelidir.

- Kapalı döngü sistemin oturma zamanının  $T_{ss}$  veya doğal frekansının  $w_n$  olması bekleniyorsa, örnekleme zamanı  $T < T_{ss}/10$  veya örnekleme frekansı ( $w_s = 2\pi/T$ )  $w_s > 10w_n$  olacak şekilde seçilmelidir.
- Nyquist örnekleme teoremine göre, frekans alanında sınırlı band genişliğine sahip örnekleme yapılacak sinyalin, band genişliğinin en az iki katı frekansta olacak şekilde örneklenmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

GHz mertebelerinde çalışan bilgisayarlarda, denetim algoritmasının işlenmesi ve çıkış sinyali üretilmesi için geçen zaman, örnekleme zamanından küçük olduğundan ihmal edilebilir boyuttadır. 20 MHz hızında çalışan bir mikrodenetleyici için örnekleme zaman aralığı, bir başka deyişle kesme zaman aralığı, konum algılayıcısından gelen analog bilginin sayısallaştırılması, denetim algoritmasının işlenmesi ve buna uygun DGM sinyalinin üretilmesi için geçen sürelerin toplamıyla belirlenir. Bu süre yaklaşık olarak 0,5 ms olarak hesaplanmış ve programlama esnasında kesme süresi 0.5 ms olarak düzenlenmiştir.

### **3.6. Deney dzenekleri**

Bu çalışmada yer alan deneyler Uludağ Üniversitesi Mühendislik–Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Otomatik Kontrol Laboratuarı' nda bir doktora tezi (Kamış 2005) kapsamında kurulan elektromekanik supap mekanizması ve akım sürücü devre dzenekleri üzerinde yürütülmüştür.

Bu bağlamda, supap oturma hızının denetlenebilmesi için mikrodenetleyici yazılımı hazırlanmış, PIC16F877 denetim kartı, programlama kartı ve konum algılayıcısı tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Ayrıca sistemin bilgisayar ortamında kapalı döngü denetim benzetimi yapılabilmesi için Simulink kullanılarak denetleyici tasarlanmıştır.

#### **3.6.1. PIC mikrodenetleyici deney düzeneği (denetim kartı)**

Elektromekanik supap mekanizmasının denetlenebilmesi için konum bilgisinin sayısallaştırılması ve denetim algoritmasının işlenmesi gerekmektedir. Elde edilen denetim sinyaline uygun DGM sinyali, akım sürücü devreye uygulanmalıdır. Bu doğrultuda, yukarıda sayılan işlemlerin gerçekleştirilmesi için PIC16F877 entegre devresi kullanılarak, mikrodenetleyici tabanlı deney düzeneği tasarlanmış (bkz. EK 2) ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

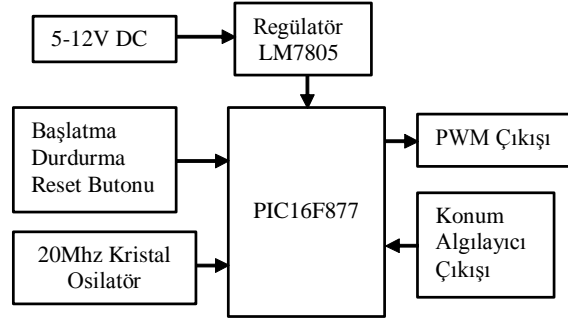
Microchip Teknoloji firması tarafından üretilen, 8-bit'lik bu denetleyicinin diğer mikrodenetleyicilerle karşılaştırıldığında iki önemli özelliği ile öne çıktığı görülür. Başta PIC program hafızası yonga ile tümleşiktir. Diğer rakip mikrodenetleyicilerde olduğu gibi harici hafızaya ihtiyaç duyulmaz. Bunun sonucu olarak da PIC, diğer mikrodenetleyicilerden daha hızlıdır.

PIC' in ikinci üstünlüğü ise dahili hafızasına rağmen boyutunun küçük olmasıdır. Ayrıca bu aygıt kolay programlanabilir, yeniden kullanılabilir ve maliyeti düşüktür. Bütün bu



karakteristikler, PIC mikrodenetleyicinin seçiminde rol oynamaktadır. Bu çalışmada, A/D çevirici, PWM çıkış ve 20 MHz hızında çalışabilme özelliği bulunan PIC16F877 kullanılmıştır.

Temel olarak, donanım mikrodenetleyiciye bağlanmış olan birkaç bölümden oluşur. PIC16F877 bütün sistemde ana denetleyici rolünü oynamaktadır. Elektronik donanımın kavramsal bağlantıları Şekil 3.12' deki blok diyagram tarafından sağlanmaktadır.



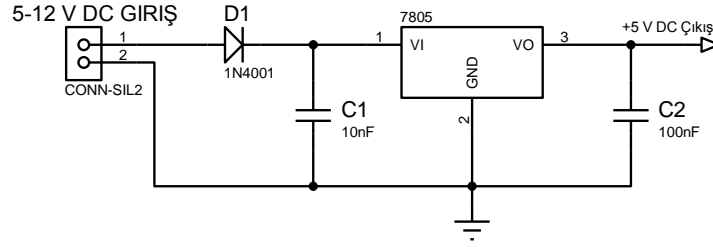
Şekil 3.12. Mikrodenetleyici giriş çıkış birimleri

### 3.6.1.1. Regülâtör devresi

Mikrodenetleyicinin aktif olabilmesi için besleme gerilimine ihtiyaç duyulur. PIC16F877 2-5.5 V aralığında çalıştırılabilir. Genellikle +5 V tercih edildiğinden dolayı bu çalışmada besleme gerilimi olarak 5 V üretebilen devre tasarlanmıştır. Bunun için şebeke gerilimi olan 220 V AC gerilimi DC gerilime çevirmek için 0-12 V DC kademeli adaptör kullanılmıştır. Fakat besleme voltajındaki istenmeyen dalgalanmaları önlemek ve sürekli +5 V DC gerilim elde edebilmek için Şekil 3.13' teki regülâtör devresi tasarlanmıştır.

78XX entegre serisi regülâtör uygulamalarında kullanılmakta olup, burada 7805 entegresi kullanılmıştır. "05" ibaresi, entegre çıkışında 5 V DC gerilim verdiğini göstermektedir. 7805 entegresi üç bacaklı olup 1 numaralı bacağına regüle edilmek istenen gerilim uygulanır. Bu bacağına uygulanacak gerilim 5 - 30 V ile sınırlı olmalıdır. 2

numaralı bacağı toprağa bağlanır. 3 numaralı bacağından ise regüle edilen gerilim alınır. Voltajdaki dalgalanmaları önlemek için entegre giriş ve çıkışlarına (1 ve 3 nolu bacaklara) sırasıyla 10 nF ve 100 nF'lık kondansatörler yerleştirilmiştir. Entegreye negatif gerilim vermemek için 1 numaralı bacağı önüne diyot (1N4007) eklenmiştir.



Şekil 3.13. Regülatör devresi

Böylelikle, regülatör çıkışından elde edilen +5 V' luk gerilim PIC16F877 entegresinin 11 ve 32 numaralı bacaklarına besleme gerilimi olarak uygulanır. 12 ve 31 numaralı bacaklar ise toprak ile irtibatlandırılır.

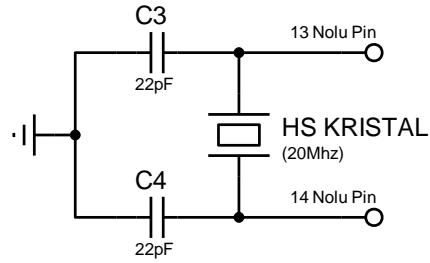
### 3.6.1.2. Saat üretici – osilatör

PIC içerisine gömülen programların işletilebilmesi için bir “kare dalga” saat darbesi üreticisine ihtiyaç bulunmaktadır. Mikrodenetleyicinin 13 numaralı OSC1/CLKIN ve 14 numaralı OSC2/CLKOUT bacakları bu amaç için kullanılmaktadır. PIC16F877 bu uçlara bağlanacak farklı konfigürasyonlara göre dört farklı osilatör modundan birisiyle çalıştırılabilir. Bu modlar;

- XT Kristal veya seramik rezonatör (frekans limiti 4 MHz'e kadar)
- RC Direnç/Kondansatör (frekans limiti 4 MHz'e kadar)
- LP Düşük güçlü kristal (frekans limiti 200 KHz'e kadar)
- HS Yüksek hızlı kristal (frekans limiti 20 MHz'e kadar)

Bu uygulamada mikrodenetleyiciyi en yüksek hızda çalıştırabilmek için HS modu kullanılmıştır. Osilatör devresi için bir adet kristal rezonatör ve iki adet kondansatör

gerekmektedir. Şekil 3.14' teki devrede kullanılan C3 ve C4 kondansatörlerinin değeri kullanılan kristalin frekansına ve seçilen osilatör moduna bağlı olup, 20 MHz kristal (HS modunda) kullanıldığında C3 ve C4, 15-33 pF arasında bir değerde olmalıdır. Kapasitenin yüksek seçilmesi osilatörün kararlılığını artırırken osilatörün start-up zamanını da artırmaktadır. Uygulamalarda genellikle 22 pF değeri kullanıldığından dolayı, bu devrede de 22 pF' lık kondansatörler tercih edilmiştir (Şekil 3.14).



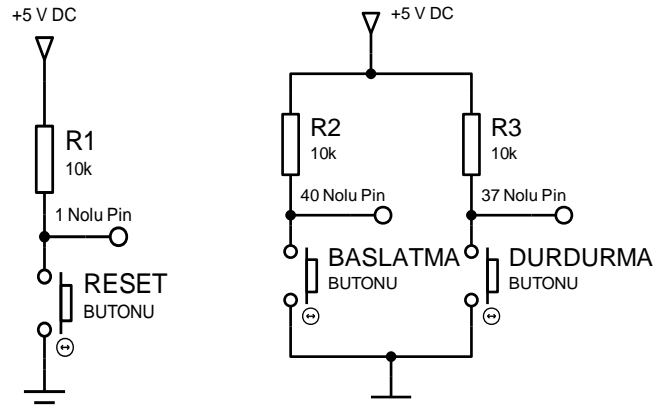
Şekil 3.14. Osilatör devresi

### 3.6.1.3. Reset fonksiyonu

Mikrodenetleyici içindeki programın çalışması esnasında oluşabilecek hatalara anında müdahale edip, programı başlangıç noktasına getirmek için resetleme fonksiyonuna ihtiyaç duyulur. Bu amaçla, PIC16F877 mikrodenetleyicisinin 1 numaralı bacağı reset amaçlı olarak kullanılmakta olup, "0" aktif yapmaktadır. Yani programın normal çalışması esnasında lojik "1", yani +5V uygulanırken, kullanıcı tarafından program reset edilmek istendiğinde lojik "0" (toprak) seviyesine çekilmelidir. Şekil 3.15'teki devrede R1 (10 KΩ) direncinin kullanılmasının nedeni, reset anında besleme geriliminin (+) ve (-) uçlarının kısa devre olmasını engellemek amacıyla taşımaktadır. Resetleme işlemi tamamlandıktan sonra 1 nolu pinin yeniden +5 V' a çekilmesi gerekir. Bu yüzden resetleme butonu basmalı buton (push-button) yapısında olup, basma işleminden sonra bırakıldığında hemen ilk konumuna dönmektedir. Bunun dışında PIC' e enerji uygulandığı ilk anda bellekteki programın başlangıç adresinden itibaren işletilmesini sağlayan POR (Power-on-reset) adında dahili bir reset devresi daha vardır.

### 3.6.1.4. Başlatma ve durdurma butonları

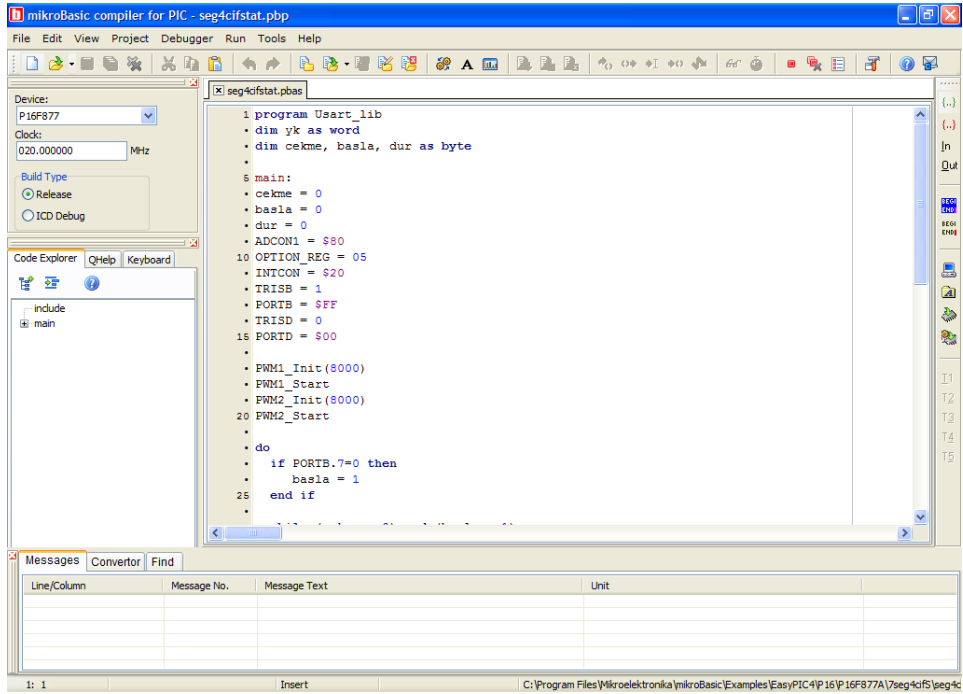
Mikrodenetleyici içerisine gömülen programı başlatmak ve durdurmak için kullanıcı tarafından dışarıdan uyarı verilmesi gerekmektedir. Bu amaçla iki adet buton kullanılmıştır (Şekil 3.15). Buradaki butonların işlevi reset fonksiyonundaki butonun işleviyle aynıdır. Yani butona basıldığında ilgili bacağa lojik "0" (0 V) uygulanmakta, basılmadığı durumda ise lojik "1" (+5 V) uygulanmaktadır. Başlatma için, kontrol edilecek veri 40 numaralı bacağından (PortB' nin 7 nolu bacağı), durdurma için kontrol edilecek veri ise 37 numaralı bacağından (PortB' nin 4 nolu bacağından) alınmaktadır. Program yazılırken ilgili bacaklar giriş olarak belirlenmelidir.



Şekil 3.15. Reset, başlatma ve durdurma devre şeması

### 3.6.1.5. PIC programının yazılması

PIC mikrodenetleyicisi genel olarak assembly dili ile programlanır. Bu dilin en büyük avantajı sadece 35 komuta sahip olmasından ileri gelmektedir. Fakat problem çözümleri, çarpma, bölme gibi bazı karmaşık uygulamalarda zorluk çıkmaktadır. Bu nedenle kolay anlaşılabilirliği ve geniş kütüphane kodlarına sahip olan mikroBasic ve mikroC gibi diller geliştirilmiştir. Bu uygulamada, öğrenilmesi ve kullanımı daha kolay olan mikroBasic dili tercih edilmiştir (bkz. Ek 8).

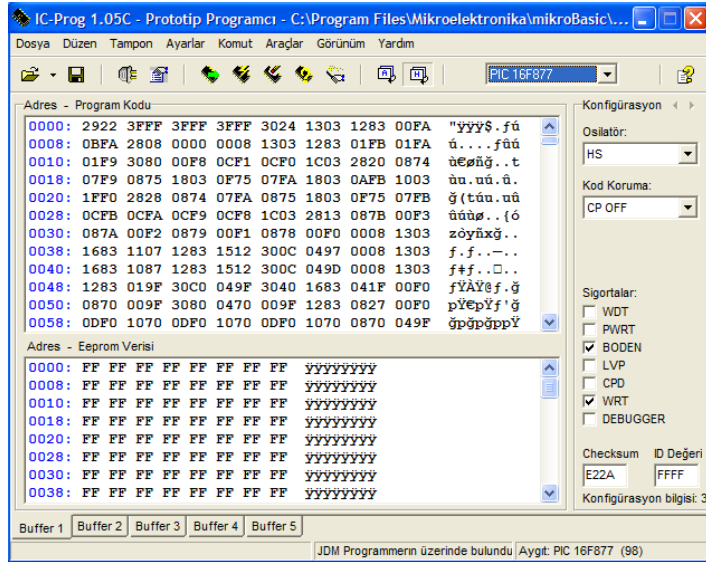


Şekil 3.16. MikroBasic çalışma sayfası

Şekil 3.16’ da PIC için mikroBasic derleyicisi görülmektedir. Metin editöründe tasarlanan program yazıldıktan sonra, proje kurulumu kısmındaki “device” bölümünden programlanacak PIC mikrodenetleyici seçilir, “clock” bölümünden ise kullanılan rezonatör frekansı girilmektedir. “Quick Build” ile program derlenir ve bunun sonucunda “kaynak kod” (source code) olarak adlandırılan, assembler dilinde oluşturulmuş .asm uzantılı dosya oluşturulur. Fakat asıl önemlisi, mikrodenetleyiciye gömülecek olan “amaç kod” (object code) olarak bilinen, 16’ lık tabanda oluşturulan .hex uzantılı dosya oluşturulur. Derleme sırasında program içinde hatalar varsa, bu hatalar mesaj kutusu bölümünde listelenir.

### 3.6.1.6. Programın mikrodenetleyiciye gömülmesi

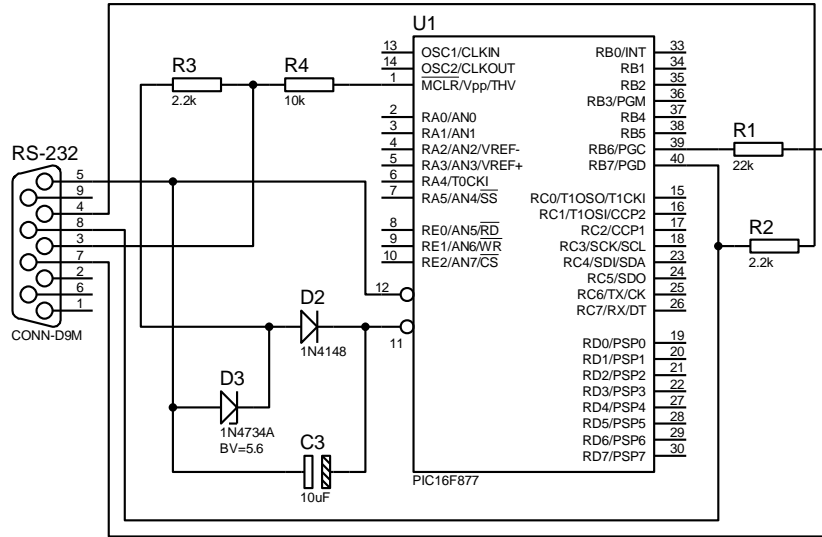
Bir sonraki aşama derleme sonucunda elde edilen .hex uzantılı dosyanın PIC mikrodenetleyici içerisine yazdırılmasıdır. Bu maksatla herhangi bir PIC programlama kartı ve bu karta ait programlayıcı yazılımı gerekmektedir. PIC mikrodenetleyici seri programlama modüllerinden birisi olan IC-Prog programı farklı ölçeklerde birçok PIC mikrodenetleyicinin programlanabilmesine olanak tanır (Şekil 3.17). İnternetten ücretsiz olarak indirilebilir. Program ayarlamaları yapıldıktan sonra, “dosya aç” bölümünden derleme sonucunda elde edilen .hex uzantılı dosya programa gösterilir. Daha sonra “tümünü programlama” ya basılarak .hex dosyası RS-232 seri haberleşme kablosuyla bilgisayara bağlı bulunan programlama kartı üzerindeki mikrodenetleyiciye gömülür.



Şekil 3.17. IC-Prog çalışma sayfası

### 3.6.1.7. Pic programlama kartı

Bilgisayar ortamında hazırlanan yazılım mikrodenetleyiciye programlama kartı üzerinden aktarılır. Bu amaçla Şekil 3.18’deki programlama kartı devresi tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu programlama kartı RS-232 seri haberleşme kablosuyla bilgisayara bağlanmaktadır. Ic-Prog yazılımı kullanılarak .hex uzantılı kaynak dosya mikrodenetleyiciye gömülmüştür.

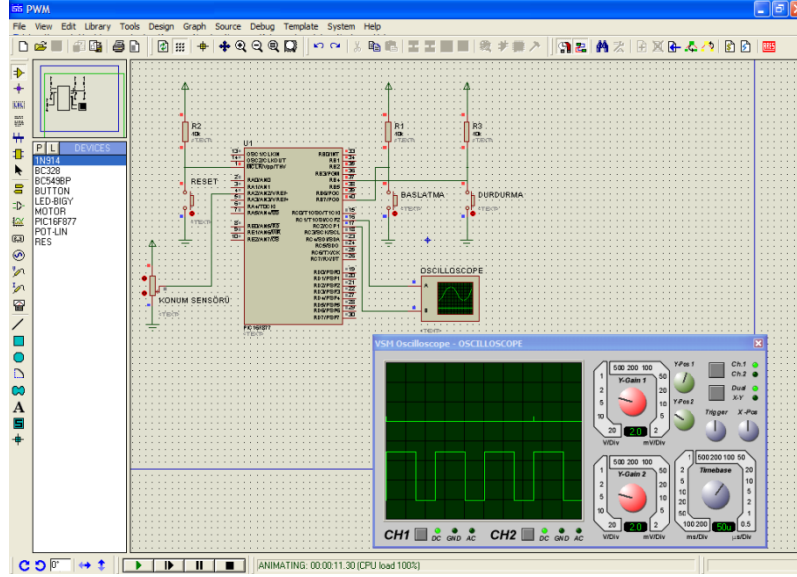


Şekil 3.18. Programlama kartı devre şeması

### 3.6.1.8. PROTEUS (ISIS) programı ile uygulamaların çalıştırılması

İnternet üzerinden ücretsiz olarak temin edilebilen Proteus programının deneme versiyonunda devre çizimi ve simülasyonunu gerçekleştiren ISIS ve baskılı devre çıkarılmasında kullanılan ARES adında iki alt programı bulunmaktadır. ISIS programının mikrodenetleyici içeren devreleri de simule edebilmesi özelliği ile tasarlanan tüm uygulamaların, harici hiçbir donanıma gereksinim duyulmadan denenmesini sağlar ve hataların görülmesine olanak tanır. Bunun için Şekil 3.19’deki gibi devre bağlantıları Isis programı ile oluşturulmuştur. Ardından mikroBasic derleyicisi ile derlenen ve heksadesimal kodları elde edilen uygulamayı Isis dahilinde mikrodenetleyici içerisine gömmek üzere Şekil 3.19’deki mikrodenetleyici üzerine gelinerek sağ tıklanır. Bu işlemin sonucunda “Edit

Component” penceresi açılmaktadır. Bu pencerede “Program File” bölümünde simülasyonda PIC’e yüklenecek olan .hex dosyasının seçilmesi sağlanır. Son işlem olarak simülasyonu başlatmak için sol alt bölümde bulunan başlat ikonu tıklanır.



Şekil 3.19. Proteus/Isis çalışma sayfası

Ayrıca, ISIS programında “Debug” menüsünün altında yer alan seçeneklerden ilgili yazmaçların o anki durumları ile ilgili simülasyon bilgileri de görülebilir. Bu bilgiler özellikle programın adım adım kontrolünde önem taşımaktadır.

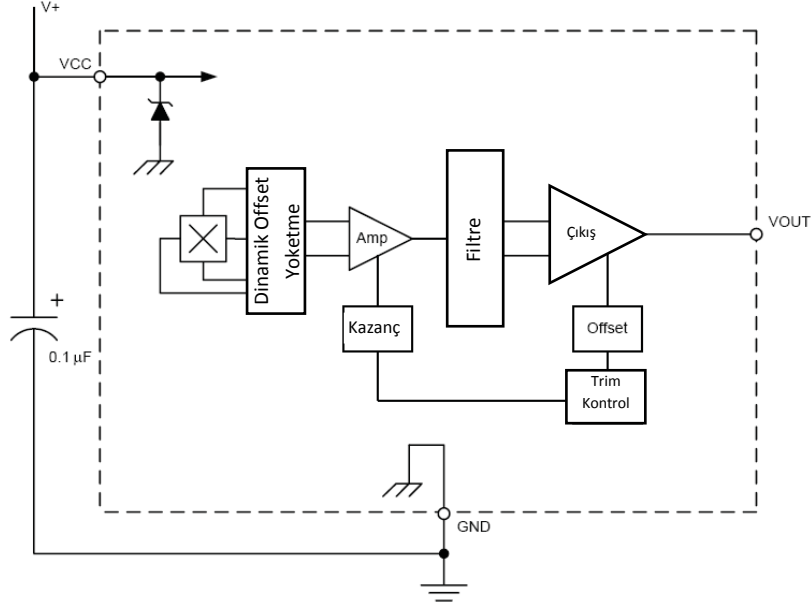
### 3.6.2. Konum algılayıcı

Supapların konumunu algılayabilmek için Allegro firması tarafından üretilen A1321 alan etkili (hall-effect) konum algılayıcısı kullanılmıştır (Şekil 3.20). 2 mm x 3 mm x 1 mm boyutunda olup, üç bacağı sahiptir (Çizelge 3.1). Boyutunun küçük olması yanında, hassasiyeti yüksektir (2,5 mV/G). Bu algılayıcı tipi, üzerine dik gelen manyetik alan şiddetine karşılık doğrusal çıkış gerilimi vermektedir. Algılayıcı, regülatör devresinden elde edilen +5 V DC gerilim ile beslenmiş ve herhangi bir manyetik alana maruz kalmadığında, çıkışında besleme geriliminin yarısını (+2,5 V) vermektedir. Bu nedenle, algılayıcı, konuma karşılık 2,5-5 V aralığında bir çıkış gerilimi göstermektedir.



Çizelge 3.1. Konum algılayıcı bacak işlevleri

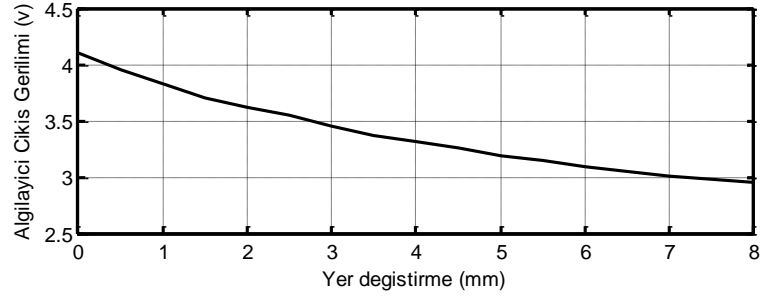
Bacak Numarası	İşlev
1	Besleme gerilimi (+5 V)
2	Çıkış
3	Şase



Şekil 3.20. Konum algılayıcı iç yapısı

Konum algılayıcısının karşısına belli bir mesafede permanent mıknatıs yerleştirilip, mıknatısın algılayıcıya olan uzaklığına karşılık algılayıcının çıkışında ölçülen gerilim ölçülmüş ve Ek 7' deki algılayıcının karakteristik eğrisi elde edilmiştir. 0-20 mm arasında çıkış gerilim değişimi fazla olduğundan dolayı  $\frac{1}{2}$  mm aralıklarla, 20-59 mm arasındaki çıkış gerilimi ise 1 mm aralıklarla ölçülmüştür. 59 mm' den sonra çıkış gerilimi 2,5 V ile sabittir. Bu da, kullanılan mıknatısın 59 mm ve ötesinde algılayıcı üzerinde etkisinin kalmadığını göstermektedir. Ek 7' deki grafikten de görüleceği gibi konuma karşılık gelen çıkış doğrusal değildir. Bunun nedeni, manyetik alanı şiddetinin konumun karesiyle ters orantılı olmasından dolayıdır. Fakat dar aralıklarda, çıkış göreceli olarak doğrusaldır ve bu alanlar ölçüm için kullanılabilir. EMS' de çalışma aralığı yaklaşık 8 mm olduğundan algılayıcının

Çalışma aralığı olarak doğrusalsızlığın ihmal edilebilecek bir mertebede ve kazancın da en yüksek olduğu 8 mm' lik bir aralık seçilmiştir (şekil 3.21). Bu duruma karşılık gelen algılayıcı kazancı ise yaklaşık 1,2 volt/8 mm' dir.



şekil 3.21. Konum algılayıcısının çalışma aralığındaki karakteristik eğrisi

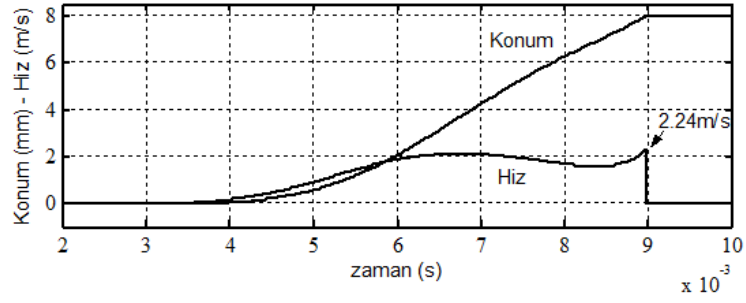
Manyetik alan kaynağı olarak, 15 mm x 8 mm x 8 mm boyutunda kütlesi ihmal edilebilecek mertebelerde permanent mıknatıs kullanılmış ve supabın alt yüzeyine yatay konumda yerleştirilmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

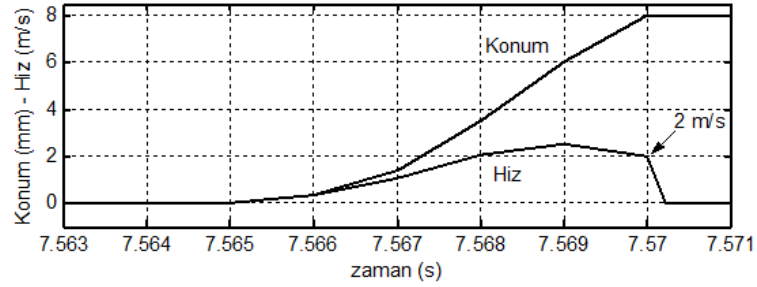
Bu çalışmada elektromekanik supap mekanizmalarında oturma hızını azaltmak amacıyla gerçek sistem üzerinde deneysel ve sistem modeli üzerinde teorik çalışmalar yürütülmüŐtür. Karşılaştırma yapmak için kapalı döngü denetim yanında açık döngü denetim de uygulanmıştır. Sistemin PIC mikrodenetleyici ile çalıştırılması sırasında elde edilen veriler, dSPACE-DS1103 denetim kartı ve grafiksel kullanıcı ara yüz paneli olan ControlDesk kullanılarak MATLAB ortamına aktarılmıŐtır.

Şekil 3.22' de sistemin açık-döngü teorik ve deneysel konum ve hız cevabı eğrileri verilmiştir. Şekil 3.22a' da teorik oturma hızının kestiriminden hareketin yaklaşık olarak 2.24 m/s gibi çok yüksek bir değerde olduğu görülür. Bu sistemlerde oturma hızının kabul edilebilir değerleri 0.05 - 0.1 m/s arasındadır (Montari ve ark. 2004).

Şekil 3.22b' de verilen deneysel sonuçlardan ise oturma hızının 2 m/s' de olduğu görülür ve bu teorik değerlerin biraz altında bir değerdir. Açık döngü denetimde supabın kapanmasına yetecek bir süre boyunca %100 doluluk oranında DGM sinyali uygulanmış ve bobin maksimum akımla sürülmüştür. Kapama süresi sonunda DGM sinyali doluluk oranı %20' ye düşürülerek akımın tutma akımı seviyesine (4-5 A) düŐürülmesi sağlanmıştır. Bu Şekilde bir taraftan daha az enerji kullanımı sağlanırken diğer taraftan anahtarlama hızının artırılması hedeflenmiŐtir.

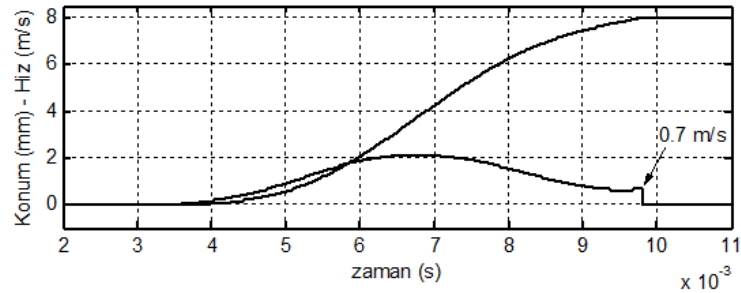


Şekil 3.22a. Açık döngü denetim (teorik)

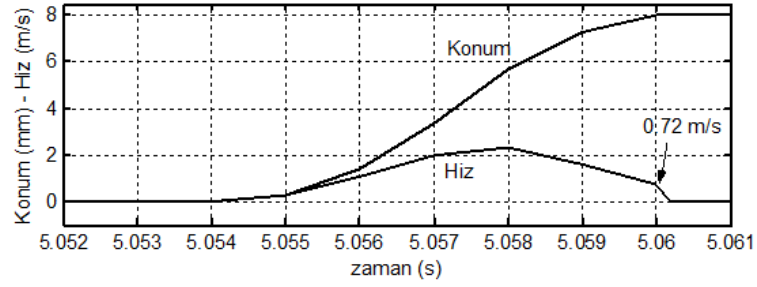


Şekil 3.22b. Açık döngü denetim (deneysel)

Şekil 3.23' te DGM sinyali değişimi yoluyla oturma hızının denetiminin sonuçları verilmiştir. Şekil 3.23a' da verilen sonuçlardan oturma hızının teorik olarak 0,70 m/s' ye ve Şekil 3.23b' de verilen sonuçlardan da oturma hızının deneysel olarak 0,72 m/s' ye kadar düşürülebildiği görülmektedir. Bu çalışmada başlangıçta uygulanan %100 dolulukta DGM sinyali hareketin yaklaşık son 3 mm' lik mesafesinde %20' ye düşürülmüştür. Bu şekilde DGM sinyali değişimi yoluyla supap yavaşlatılmaya çalışılmıştır. Bu da oturma hızında önemli oranda azalma sağlamıştır. Bu uygulamada geri besleme işareti kullanılmış olmakla beraber hata denetimi yapılmamıştır.



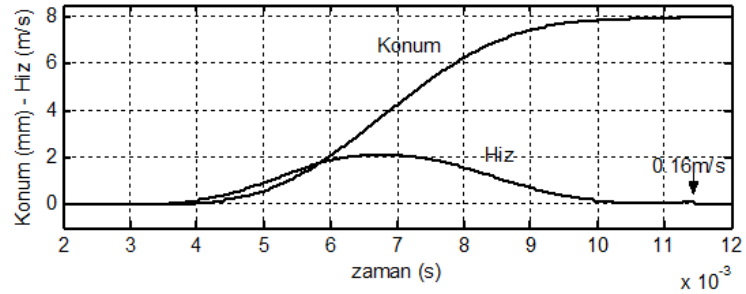
Şekil 3.23a. %20 doluluk oranında DGM ile anahtarlama (teorik)



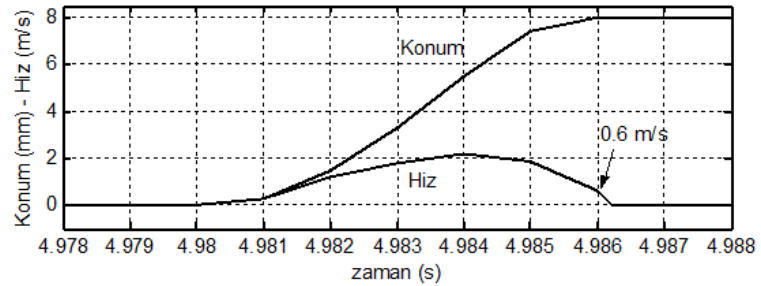
Şekil 3.23b. %20 doluluk oranında DGM ile anahtarlama (deneysel)

Şekil 3.24 ve 3.25' teki sonuçlar, daha önce bahsedilen üç aşamalı denetim planının uygulanmasıyla elde edilmiştir.

Şekil 3.24a' da verilen sonuçlardan, P denetim yordamıyla oturma hızının teorik olarak 0.16 m/s' ye kadar düşürülebileceği görülmektedir. Buna karşılık Şekil 3.24b' de verilen deneysel sonuçlardan kestirim yoluyla elde edilen oturma hızının 0,6 m/s' de kaldığı anlaşılmaktadır.

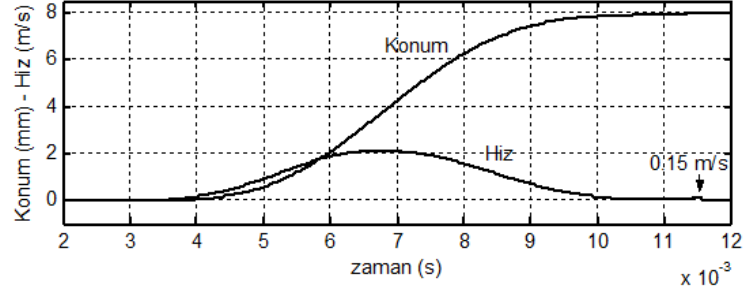


Şekil 3.24a. P denetim (teorik)

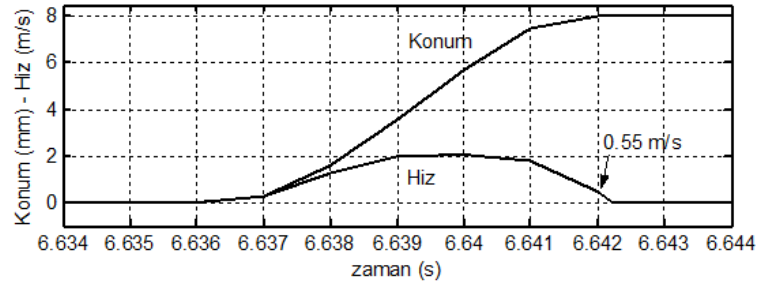


Şekil 3.24b. P denetim (deneysel)

Şekil 3.25a' da PD denetim yordamıyla oturma hızının en fazla 0,15 m/s ye kadar düşürülebileceği görülmektedir. Şekil 3.25b' deki sonuçlardan ise bunun deneysel olarak 0,55 m/s' ye kadar düşürülebildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.25a. PD denetim (teorik)



Şekil 3.25b. PD denetim (deneysel)

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çerçevesinde yapılan çalışmalarda EMS' de önemli bir problem olan oturma hızının teorik olarak 0.15 m/s seviyelerine, buna karşılık deneysel olarak ancak 0,55 m/s seviyelerine düşürülebileceği tespit edilmiştir. Teorik çalışmalarla deneysel çalışmalar arasında en iyi uyum DGM sinyali yoluyla denetim uygulamasında elde edilmiştir. Buna karşılık P ve PD denetim yordamı yapılan çalışmalarda teorik sonuçlarla deneysel sonuçlar arasında büyük oranda sapma ortaya çıkmıştır.

Bunun nedeni olarak PIC türü mikrodenetleyicinin çalışma hızının, 4-5 ms gibi yüksek cevap hızına sahip bir sisteme oranla yavaş kalması gösterilebilir. Bu nedenle de uygulanan üç aşamalı denetim planında, denetim algoritması supap hareketinin son 1.5-2 ms' sinde devreye girmektedir. Yapılan ölçümlerde mikrodenetleyicinin denetim algoritmasından elde ettiği veriyi DGM çıkısına, en hızlı yaklaşık 0,5 ms' de uygulayabileceğini göstermektedir. Bu da, denetim algoritmasının supabın ikinci aşamada en fazla dört kere devreye girebileceğini gösterir. Bu durumda hatanın yeteri kadar hassas biçimde düzeltilmesinin mümkün olmadığını söylenebilir.

Deneysel olarak yapılan çalışmalarda PIC türü bir mikrodenetleyici kullanarak bir elektromekanik supap mekanizmasında oturma hızının önemli oranda azaltılabileceği gösterilmiştir. Yalnız elde edilen değerler kabul edilebilir değerlere göre hala yüksek kalmaktadır. Bunun için daha hızlı çalışan mikrodenetleyiciye ve özel denetim yordamlarına (kayan kipli denetim vb.) ihtiyaç olduğu söylenebilir.

Diğer taraftan geliştirilen bir model üzerinde yapılan teorik çalışmalarda oturma hızını yaklaşık olarak kabul edilebilir sınırlara çekilebileceği gösterilmiştir. Bundan sonraki

çalışmalarda uygun bir mikrodeneleyici donanımı kullanarak oturma hızının uygun seviyelere çekilebileceği öngörölmüştür. Elektronik alanında ortaya çıkan gelişmeler gelecekte daha yüksek performanslı ve daha düşük maliyetli mikrodeneleyicilerin ortaya çıkacağını göstermektedir.



## 6. KAYNAKLAR

AKAR, F. ve M. YAĞIMLI. 2006. PIC Mikrodenetleyiciler 16F84A & 16F628A. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul. 566 s.

BUTZMANN, S., J. MELBERT, A. KOCH. 2000. Sensorless Control of Electromagnetic Actuators for Variable Valve Train. Variable Valve Actuation 2000, SAE, 2000-01-1225, p.65-70.

CHLADNY, R. R. and C. R. KOCH. 2006. Flatness-Based Tracking of an Electromechanical VVT Actuator with Magnetic Flux Sensor. Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications, Munich, Germany, October 4-6, 2006, p. 1663-1668.

DOĞAN, İ. 2006. Microcontroller Based Applied Digital Control. John Wiley & Sons Ltd. 311 p.

EYABI, P. B. 2003. Modeling and Sensorless Control of Solenoidal Actuators. PhD Thesis, The Ohio State University, Columbus, USA. 142 p.

FORRAI, A., T. UEDA, T. YUMURA. 2007. Electromagnetic Actuator Control: A Linear Parameter- varying (LPV) Approach. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 54, NO. 3: 1430-1441

HASKARA, İ., L. MIANZO, V. KOKOTOVIC. 2003. Method of Controlling an Electromagnetic Valve Actuator. United States Patent US 6, 644, 253 B2. (<http://www.patentstorm.us/patents/6644253/fulltext.html>)

HOFFMANN, W., K. PETERSON, A. STEFANOPOULOU. 2003. Iterative Learning Control for Soft Landing of Electromechanical Valve Actuator in Camless Engines. IEEE Transactions on Control System Technology, 11 (2): 174-184.

KAMIŞ, Z. 2005. Supaplar İçin Elektromekanik Eyleyici Tasarımı ve Denetiminin Araştırılması. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 165 s.

KAMIŞ, Z., İ. YÜKSEL, E. E. TOPÇU. 2007. Elektromekanik Supap Mekanizmalarında Geribeslemeli Denetimin Araştırılması. TOK'07, Sabancı Üniversitesi, İstanbul, 5-7 Eylül 2007, s. 101-106.

KAWABE, T. 2003. Initial Condition-adaptive Robust Control for a High-speed Magnetic Actuator. *Control Engineering Practice*, 11 (6): 675-685.

LIU, S. B. S. and P. MERCORELLI. 2006. Design and Control of an Electromagnetic Valve Actuator. *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications*. Munich, Germany, October 4-6, 2006, p. 1657-1662.

LUA, C. A., B. C. TOLEDO, M. D. D. BENEDETTO, S. D. GENNARO. 2007. Output Feedback Regulation of Electromagnetic Valves for Camless Engines. *Proceedings of the 2007 American Control Conference*, Marriott Marquis Hotel at Times Square New York City, USA, July 11-13, 2007, p. 2967-2972.

MCNAIR, K. M., M. ZENS, H. SALZWEDEL. 2003. System-Level Partitioning Using Mission-Level Design Tool for Electronic Valve Application. *SAE World Congress*, 2003-01-0865, New York. 13 p.

MELBERT, J., R. UHLENBROCK. 2003. A High Power High Temperature Mechatronic Actuator for the Electromagnetic Valve Drive. *Vehicular Technology Conference*, 6-9 October 2003, Orlando, Florida, USA, p. 3202-3206.

MONTANARI, M., F. RONCHI, C. ROSSI, A. TONIELLI. 2004. Control of a Camless Engine Electromechanical Actuator: Position Reconstruction and Dynamic Performance Analysis. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 51 (2): 299-311.

MONTANARI, M., F. RONCHI, C. ROSSI. 2003. Trajectory Generation for Camless Internal Combustion Engine Valve Control. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 9-12 June 2003, Brazil, p. 454-459.

OGATA, K. 1995. *Discrete-Time Control Systems*. Prentice-Hall, New Jersey. 754 p.

PETERSON, K. S. 2005. *Control Methodologies for Fast & Low Impact Electromagnetic Actuators for Engine Valves*. PhD thesis, The University of Michigan, USA. 107p.

PETERSON, K. S., A. G. STEFANOPOULOU, J. FREUDENBERG. 2005. Current Versus Flux in the Control Design of Electromechanical Valve Actuators. *2005 American Control Conference*, Portland, OR, USA, June 8-10, 2005, p. 5021-5026

PETERSON, K. S., A. G. STEFANOPOULOU, Y. WANG, T. MEGLI. 2003b. Virtual Lash Adjuster for an Electromechanical Valve Actuator Through Iterative Learning Control. *Proceedings of IMECE'03 ASME International Mechanical Engineering Congress* Washington, D.C., : 1-7

PETERSON, K. S., A. G. STEFANOPOULOU. 2003a. Rendering the Electromechanical Valve Actuator Globally Asymptotically Stable. Proceedings of the 42<sup>nd</sup> IEEE Conference on Decision and Control, Maui, Hawaii USA, : 1753-1758

PETERSON, K. S., A. G. STEFANOPOULOU. 2004a. Extremum Seeking Control for Soft Landing of an Electromechanical Valve Actuator. International Federation of Automatic Control, Automatica, 40 (6): 1063-1069.

PETERSON, K., A. STEFANOPOULOU, T. MEGLI, M. HAGHGOOIE. 2002a. Output Observer Based Feedback for Soft Landing of Electromechanical Camless Valvetrain Actuator. Proceedings of American Control Conference. 8-10 May 2002, p. 1413-1418.

PETERSON, K., A. STEFANOPOULOU, Y. WANG, M. HAGHGOOIE. 2002b. Nonlinear Self-Tuning Control for Soft Landing of an Electromechanical Valve Actuator. Proceedings of IFAC Mechatronics Conference, Nov 2002. 6 p.

PETERSON, K., A. STEFANOPOULOU, Y. WANG. 2002c. Control of Electromechanical Actuators: Valves Tapping in Rhythm. The Mohammed Dahkeh Symposium. University of California, Santa Barbara. (<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=15032249>)

PETERSON, K.S., J.W. GRIZZLE, A.G. STEFANOPOULOU. 2004b. Nonlinear Magnetic Levitation of Automotive Engine Valves. p. 645-650. ([www.ghost.engin.umich.edu/ifac\\_2004\\_conf4.pdf](http://www.ghost.engin.umich.edu/ifac_2004_conf4.pdf))

QUONG, M. 2004. System Identification and End Control of an Electromagnetic Valve Actuator. ([www.sfu.ca/~jtsai/auto21/Doucmentation\\_Final.pdf](http://www.sfu.ca/~jtsai/auto21/Doucmentation_Final.pdf))

STUBBS, A. 2000. Modeling and Controller Design of an Electromagnetic Engine Valve. M.Sc. Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign. 68 p.

ŞEFKAT, G. ve İ. YÜKSEL. 2003. Bir Elektromekanik Sistemin Statik Davranışının İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi. Bursa. Cilt 8, Sayı 1, sayfa 147.

TAI, C. and T. C. TSAO. 2002. Control of Electromechanical Camless Valve Actuator. Proceedings of the American Control Conference, 8-10 May 2002, Anchorage, AK, p. 262-267.

TAI, C. and T. C. TSAO. 2003. Control of Electromechanical Actuator for Camless Engines. Proceedings of the American Control Conference, 4: 3113-3118.

TAI, C., A. STUBBS, T. C. TSAO. 2001. Modeling and Controller Design of an Electromagnetic Engine Valve. Proceedings of the American Control Conference, 25-27 June 2001, Arlington, VA, p. 2890-2894.

TOPÇU, E. E., Z. KAMIŞ, İ. YÜKSEL. 2008. Simplified Numerical Solution of Electromechanical Systems by Lookup Tables. Mechatronics Article in press, 7 p.

WANG, Y., A. STEFANOPOULOU, M. HAGHGOOIE, I. KOLMANOVSKY, M. HAMMOUD. 2000. Modeling of an Electromechanical Valve Actuator for a Camless Engine. Proceedings AVEC 2000. (<https://vpn.uludag.edu.tr/http/0/ghost.engin.umich.edu/avecyan.pdf>)

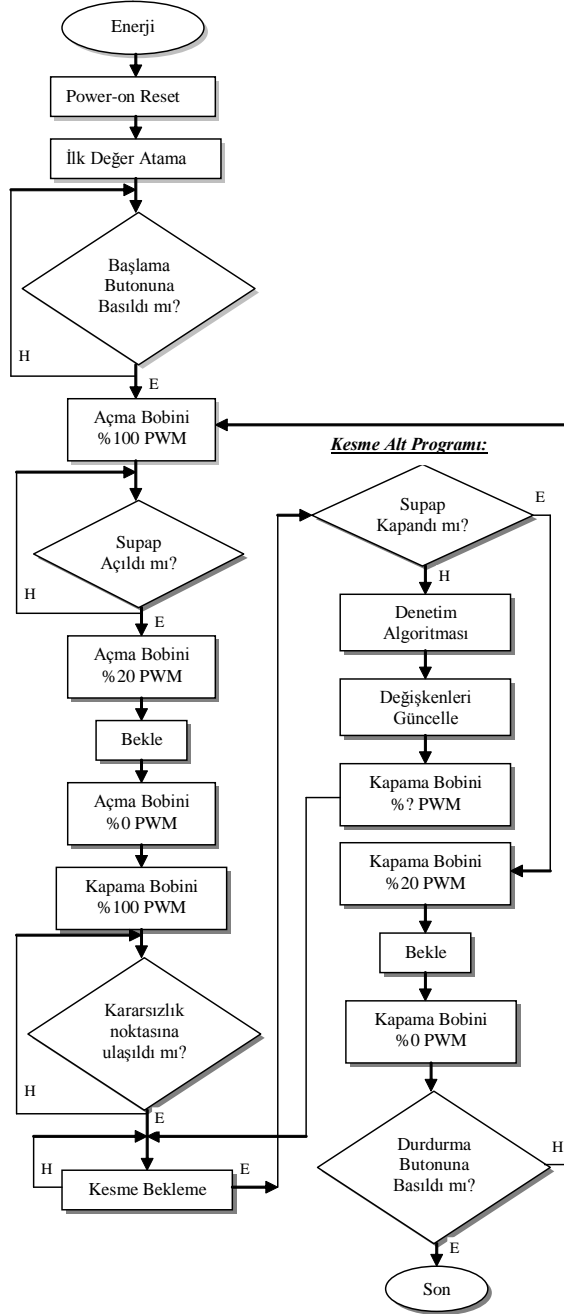
WANG, Y., T. MEGLI, M. HAGHGOOIE, K. S. PETERSON, A. G. STEFANOPOULOU. 2002. Modeling and Control of Electromechanical Valve Actuator. Variable Valve Actuation 2002, SAE. 2002-01- 106. 10 p.

[ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf), *Erişim Tarihi: 15.09.2007.*  
*Konu: PIC16F87X Data Sheet.*

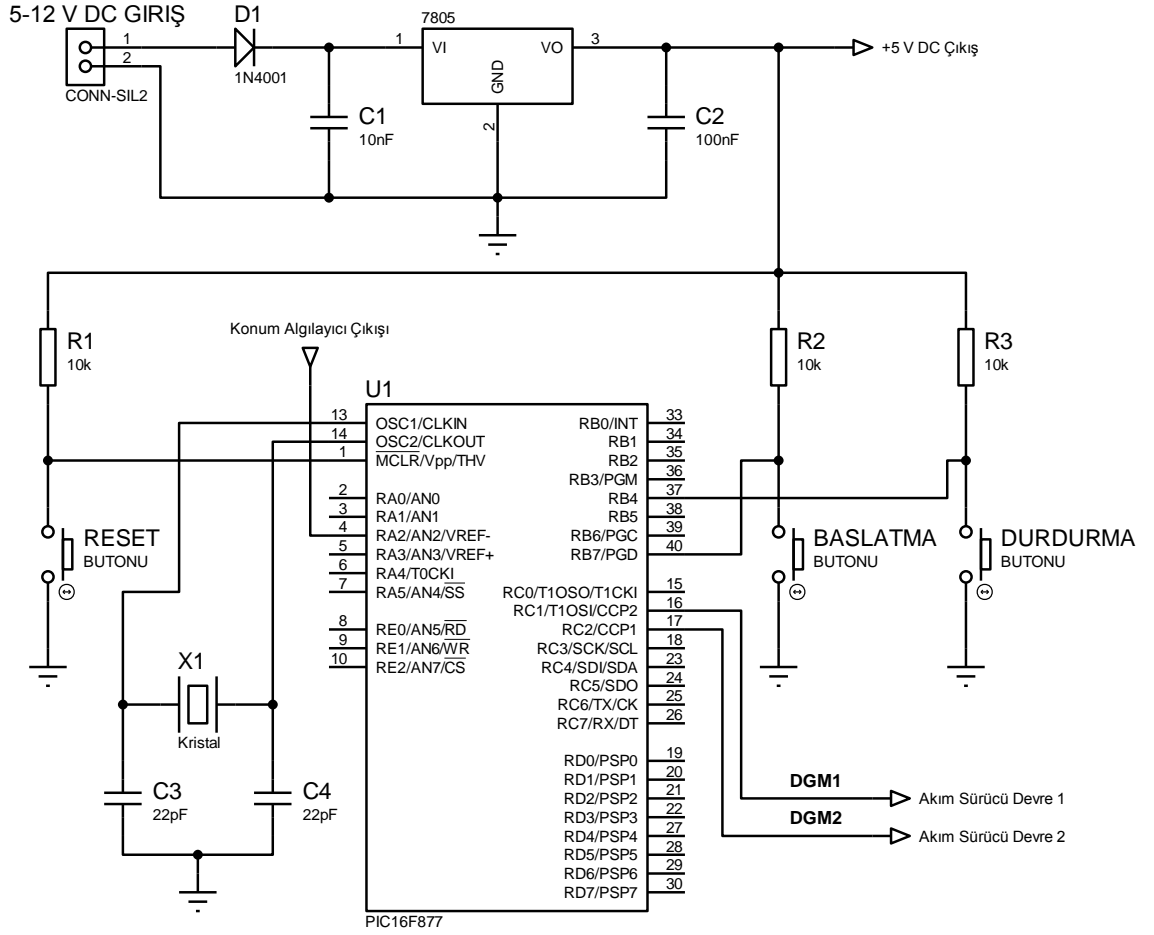
[www.forumsayfam.info/elektrik-muhendisligi-icin-e-book-t-269.htm](http://www.forumsayfam.info/elektrik-muhendisligi-icin-e-book-t-269.htm), *Erişim Tarihi:*  
*21.10.2007. Konu: Mikrodenetleyicilerin Tarihçesi*

XIANG, J. Y. 2002. Modeling and Control of a Linear Electro-Mechanical Actuator (LEMA) for Operating Engine Valves. Industry Applications Conference, 3: 1943-1949

## EK 1. Program Akış Diyagramı



## EK 2. PIC16F877 Denetim Kartı Devre Şeması



### **EK 3. PIC16F877' nin Genel Özellikleri**

- Yüksek hızlı RISC işlemciye sahiptir;
  - 35 adet komut mevcuttur;
  - Tüm komutlar 1 çevrim çeker, (Dallanma komutları 2 çevrim çeker.);
  - 20 Mhz'ye kadar işlem hızına sahiptir;
  - 20 Mhz' de 1 çevrim 200 ns' dir;
  - 8K x 14 word' lük flash program belleği mevcuttur;
  - 368 x 8 bayt' lık data belleği;
  - 256 x 8 byte'lık EEPROM data belleği;
  - PIC16C73B/74B/76/77 ile uyumlu pin yapısı;
  - Doğrudan ve dolaylı adresleme;
  - Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) , üzerinde bulunan RC osilatör ile çalışan Watchdog Timer (WDT);
  - Programlanabilen kod koruma;
  - Enerji tasarrufu için uyku (SLEEP) modu;
  - Düşük güçlü yüksek hızlı CMOSFLASH/EEPROM teknolojisi;
  - Tamamen statik tasarım;
  - Devre üzerinde seri programlama;
  - 5 V' luk kaynak ile çalışma;
  - 2 V ile 5.5 V arasında işlem yapabilme özelliği;
  - Düşük güç harcaması;
- < 2 mA @ 5V, 4 MHz  
-20 mA @ 3V, 32 kHz  
-< 1 mA @standby

**EK 4. PIC 16F877' nin Belirleyici Özellikleri**

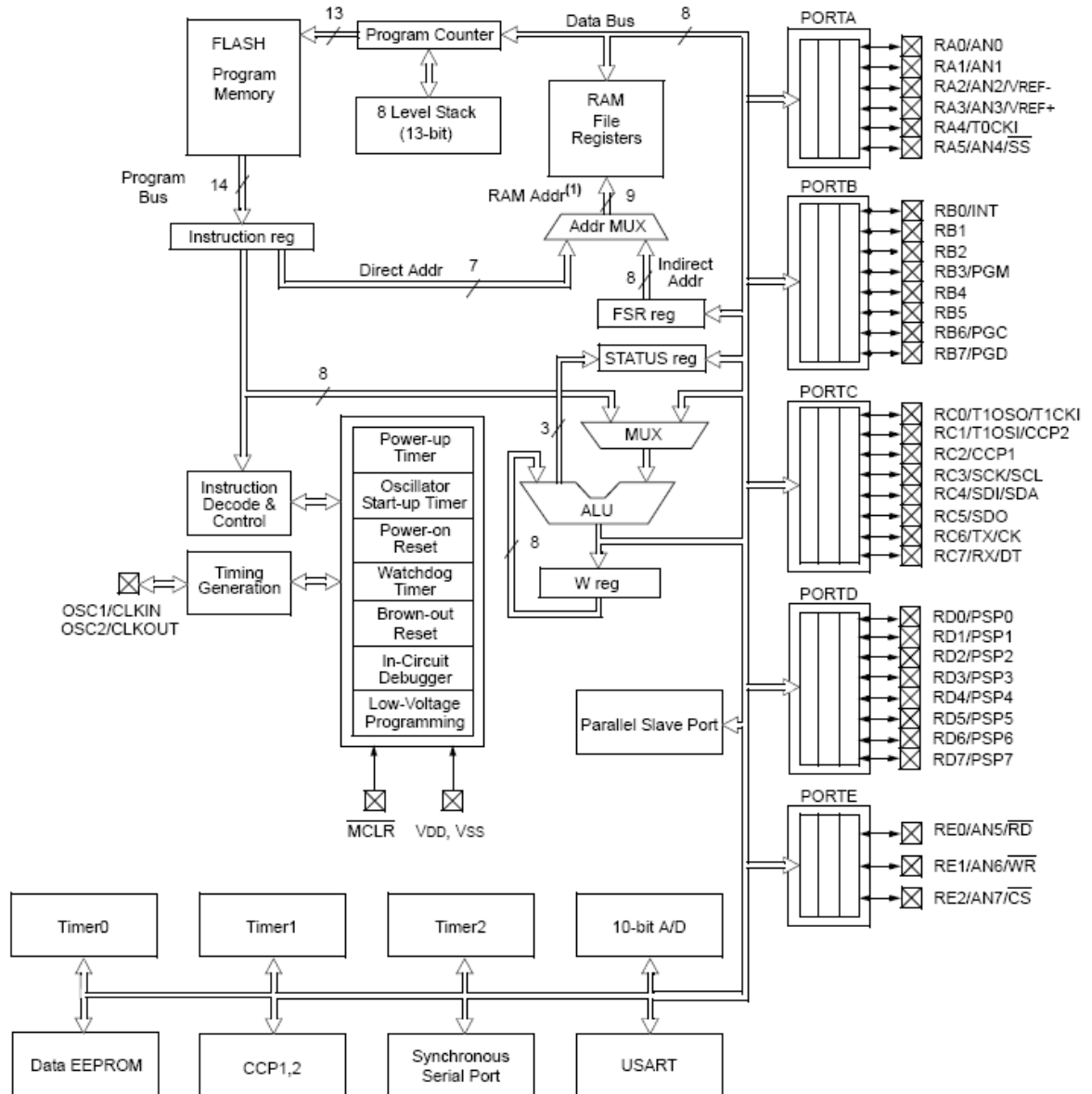
- Timer0: 8 bit ön bölücüye sahip 8 bit zamanlayıcı/sayıcı,
- Timer1: Uyku modunda artış gösterebilen ve harici saat darbesiyle artırılabilen ön bölücülü 16 bit zamanlayıcı/sayıcı,
- Timer2: 8bit periyot kaydedicili,ön bölücü ve postscalerli 16bit zamanlayıcı/sayıcı,
- İki adet tutma, karşılaştırma, PWM modülü
- 200ns çözünürlükte 16 bitlik karşılaştırma
- 8 bit çözünürlükte PWM
- 10 bit çok kanallı Analog-Dijital çevirici
- Seri port ve I<sup>2</sup>C modülleri
- 9 bit adres saptamaya sahip USART/SCI
- 8 bit genişliğinde paralel slave port

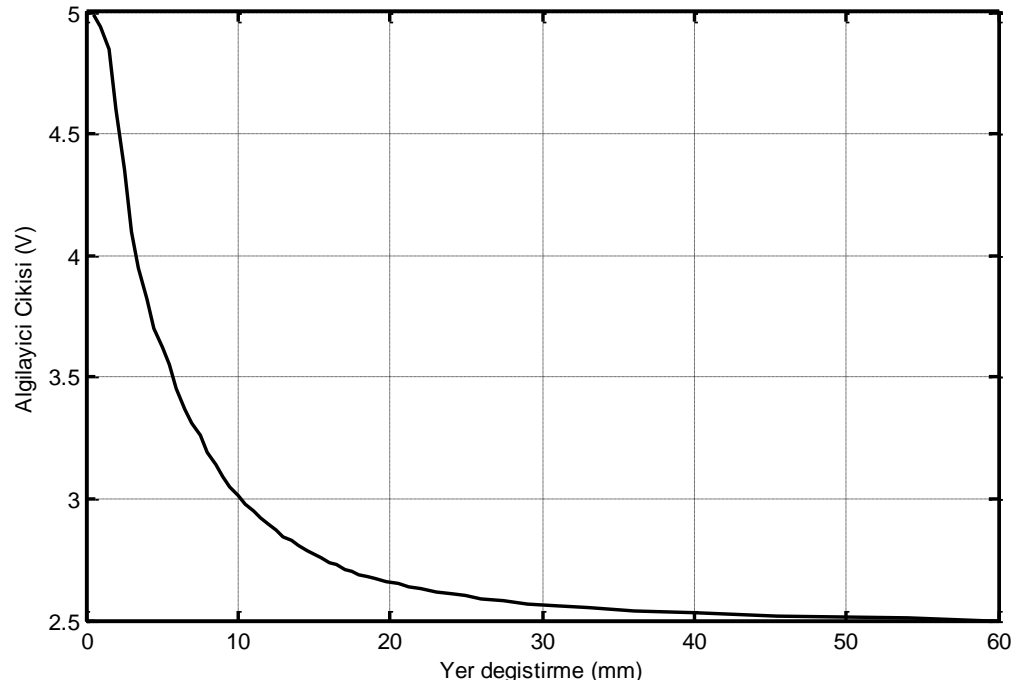


## EK 5. PIC16F877' nin Pin Tanımlamaları

OSC1/CLKIN	13	G	ST/CMOS	Kristal osilatör girişi/Harici osilatör kaynağı girişi
OSC2/CLKOUT	14	Ç	—	Kristal osilatör çıkışı.RC osilatör modunda 1/4 f değerinde frekans çıkışı
MCLR/VPP/THV	1	G/P	ST	Mikrodenetleyici için reset ucu. Normal çalışmada 1 seviyesinde tutulur
RA0/AN0	2	G/Ç	TTL	PORTA:G/Ç olarak yönlendirilebilir port.Pinler G/Ç görevi dışında; RA0: 0. Analog giriş görevi yapar.
RA1/AN1	3	G/Ç	TTL	RA1: 1. Analog giriş görevi yapar.
RA2/AN2/VREF-	4	G/Ç	TTL	RA2: 2. Analog giriş veya negatif referans gerilimi girişim görevi yapar.
RA3/AN3/VREF+	5	G/Ç	TTL	RA3: 3. Analog giriş veya pozitif referans gerilimi girişim görevi yapar.
RA4/T0CKI	6	G/Ç	ST	RA4: TIMER0 için clock girişi görevi yapar. Açık drain çıkışa sahiptir.
RA5/SS/AN4	7	G/Ç	TTL	RA5: 4. Analog giriş veya SSP için slave seçimi görevi yapar.
RB0/MNT	33	G/Ç	TTL/ST	PORTB: G/Ç olarak yönlendirilebilir port.Tüm girişlerinde yazılımla programlanabilir düşük değerli pull-uplar vardır.Pinler G/Ç görevi dışında;
RB1	34	G/Ç	TTL	RB0:Harici kesme ucu görevi yapar.
RB2	35	G/Ç	TTL	RB3:Düşük seviye programlama girişi görevi yapar.
RB3/PGM	36	G/Ç	TTL	RB6:Seri programlama girişi görevi yapar
RB4	37	G/Ç	TTL	RB7:Seri programlamada data girişi görevi yapar.
RB5	38	G/Ç	TTL	
RB6/PGC	39	G/Ç	TTL/ST	
RB7/PGD	40	G/Ç	TTL/ST	
RC0/T1OSO/T1CKI	15	G/Ç	ST	PORTC: G/Ç olarak yönlendirilebilen port .Pinler G/Ç görevi dışında; RC0:TIMER1 osilatör çıkışı veya TIMER1 clock çıkışı görevi de yapar.
RC1/T1OSI/CCP2	16	G/Ç	ST	RC1:TIMER1 osilatör girişi veya Capture2-G/Compare2-O/PWM2-Ç görevi yapar.
RC2/CCP1	17	G/Ç	ST	RC2:Capture1-G/Compare1-Ç/PWM1-Ç görevi de yapar.
RC3/SCK/SCL	18	G/Ç	ST	RC3: SPI ve I2C modunda senkron seri clock G/Ç görevi yapar.
RC4/SDI/SDA	23	G/Ç	ST	RC4: SPI modunda SPI data giriş, I2C modunda data G/Ç görevi yapar.
RC5/SDO	24	G/Ç	ST	RC5: SPI modunda SPI data çıkış görevi yapar.
RC6/TX/CK	25	G/Ç	ST	RC6:USART asenkron gönderme veya senkron clock görevi yapar.
RC7/RX/DT	26	G/Ç	ST	RC7: USART asenkron alma ve senkron data görevi yapar.
RD0/PSP0	19	G/Ç	ST/TTL	PORTD:G/Ç olarak yönlendirilebilir port veya mikroişlemci hattında arabirim olarak kullanıldığında paralel slave port.
RD1/PSP1	20	G/Ç	ST/TTL	
RD2/PSP2	21	G/Ç	ST/TTL	
RD3/PSP3	22	G/Ç	ST/TTL	
RD4/PSP4	27	G/Ç	ST/TTL	
RD5/PSP5	28	G/Ç	ST/TTL	
RD6/PSP6	29	G/Ç	ST/TTL	
RD7/PSP7	30	G/Ç	ST/TTL	
RE0/RD/AN5	8	G/Ç	ST/TTL	PORTE: G/Ç olarak yönlendirilebilir port . Pinler G/Ç görevi dışında; RE0:Paralel Slave porttan okuma kontrolü veya 5. analog giriş görevi yapar.
RE1/WR/AN6	9	G/Ç	ST/TTL	RE1 :Paralel Slave porttan yazma kontrolü veya 6. analog giriş görevi yapar.
RE2/CS/AN7	10	G/Ç	ST/TTL	RE2:Paralel Slave porttan seçim kontrolü veya 7. analog giriş görevi yapar.
VSS	12,31	P	—	Mikrodenetleyici için toprak seviyesini oluşturur.
VDD	11,32	P	—	Mikrodenetleyici için pozitif kaynak gerilimini oluşturur.

## EK 6. PIC16F877' nin Basitleştirilmiş İç Yapısı



**EK 7. Konum Algılayıcı Karakteristik Eğrisi**

## EK 8. Mikrodenetleyici Yazılımı

```

program PWM
dim T, Kp, Td, Pk, Dk, Kd as float      'değişken ve sabit türlerinin belirlenmesi'
dim ek_1, ek, yk, rk, vk as word
dim bekle, basla, dur as byte

sub procedure interrupt                  'kesme alt programı'
  INTCON.2 = 0                          'TMRO taşma sıfırlama'
  TMRO = 100                             'zamanlayıcı ayarlama'
  if (yk > 615) then                      '3. Aşamaya Ulaşıldı mı?'
    ek = rk - yk                          'hata hesaplama'
    Pk = Kp * ek                          'oransal etkinin hesaplanması'
    Dk = Kd * (ek - ek_1) / T             'türev etkinin hesaplanması'
    vk = floor(Pk + Dk)                  'denetim sinyalinin hesaplanması'
    ek_1 = ek                            'hata güncelleme'
  else
    INTCON.5 = 0                          'kesmeyi engelle'
    bekle = 0                             'kesme beklemeden çık'
  end if
end sub

main:                                    'ana program'
T = 0.0005 rk = 616 Kp = 1.0 Td = 1.0 ek_1 = 0 vk = 255  'değişken ve sabitlere ilk değer atanması'

bekle = 1
basla = 0
dur = 0
ADCON1 = $80                              'A/D çevirici ayarı'
OPTION_REG = $03                          'frekans bölücü ayarı'
INTCON = $80                              'global kesmeye izin verme'
TRISB = 1                                 'Port B nin giriş olarak atanması'
PORTB = $FF                              'Port B ye ilk değer atama'
Kd = Kp * Td                              'türev sabitinin hesaplanması'
PWM1_Init(8000)                            '1 numaralı DGM çıkış frekansının girilmesi'
PWM1_Start                                '1 numaralı DGM çıkışının aktif edilmesi'
PWM2_Init(8000)                            '2 numaralı DGM çıkış frekansının girilmesi'
PWM2_Start                                '2 numaralı DGM çıkışının aktif edilmesi'

do
  if PORTB.7=0 then                        'başlama butonuna basıldı mı?'
    basla = 1

```

```

end if
loop until (basla = 1)

while (dur = 0)
  vk = 255
  PWM1_Change_Duty(255)           '1 numaralı DGM doluluk oranını %100 yap'
  do
    yk = ADC_read(2)              'konum bilgisini oku'
    loop until (yk > 881)          'Supap açılana kadar döngüyü sürdür'
    PWM1_Change_Duty(51)         '1 numaralı DGM doluluk oranını %20 yap'
    Delay_ms(100)                '100 ms bekle'
    PWM1_Change_Duty(0)          '1 numaralı DGM doluluk oranını %0 yap'
    PWM2_Change_Duty(255)       '2 numaralı DGM doluluk oranını %100 yap'
    do
      yk = ADC_read(2)            'konum bilgisini oku'
      loop until (yk < 615)       '2. Aşamaya kadar döngüyü sürdür'
      INTCON.5 = 1                'TMRO kesmeye izin ver'
    do
      yk = ADC_read(2)            'konum bilgisini oku'
      PWM2_Change_Duty(vk)        'denetim sinyaline uygun DGM2 sinyali üret'
      loop until (bekle = 0)      '3. Aşamaya kadar döngüyü sürdür'
      PWM2_Change_Duty(51)       '2 numaralı DGM doluluk oranını %20 yap'
      Delay_ms(100)              '100 ms bekle'
      PWM2_Change_Duty(0)        '2 numaralı DGM doluluk oranını %0 yap'
      if PORTB.4=0 then          'durdurma butonuna basıldı mı?'
        dur = 1
      end if
    end if
  end while
wend
end.                               'program sonu'

```

## EK 9. DS1103 PPC Denetim Kartının Özellikleri

Ana işlemci	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motorola PowerPC 604e/333 MHz</li> <li>- Süper skaler mikroişlemci</li> <li>- 9.0 SPECfp95, 14.6 SPECint95</li> <li>- 3 tam sayı birimi, 1 yüzer nokta birimi</li> <li>- 2 çip üstünde zamanlayıcı birimi</li> <li>- 32 Kbyte emir hafıza</li> <li>- 32 Kbyte veri hafıza</li> <li>- Hızlı bozuk emir icra</li> </ul>
Zamanlayıcı Hafıza	<ul style="list-style-type: none"> <li>- İki genel amaçlı zamanlayıcı</li> <li>- 2 MB yerel SRAM</li> <li>- 16 MB global DRAM, veri depolamak için 32 MB' tan 128 MB' a genişleyebilir.</li> </ul>
Kesinti Denetim Ünitesi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PC, CAN, Slave DSP, ser arayüz artırımı kodlayıcı ve 4 adet dış giriş</li> <li>- DGM eş zamanlı kesiciler</li> </ul>
Analog Giriş	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 16 kanal 16-bit</li> <li>- 4 örnekleme ve tutma ünitesi</li> <li>- 4 kanal 12-bit örnekleme ve tutma 800 ns örnekleme zamanı (1.25 Mhz)</li> <li>- <math>\pm 10</math> V giriş gerilimi</li> </ul>
Analog Çıkış	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 8 kanal 14-bit</li> <li>- 5 <math>\mu</math>s ayarlı zaman</li> <li>- <math>\pm 10</math> V çıkış gerilimi</li> </ul>
Artırımı kodlayıcı	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 6 kanal sayısal giriş</li> <li>- Sayısal gürültü darbe filtreleme</li> <li>- Maksimum sayma frekansı 6.6 MHz</li> <li>- Analog Giriş, TC3005H denetleyici ile</li> </ul>
Sayısal Giriş/ Çıkış	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 kanal 8-bit sayısal giriş/çıkış ucu</li> <li>- Tekli programlanabilir kanallar</li> </ul>
Seri Arayüz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RS232 ve RS 422 transceiver desteği</li> <li>- 1 Mbaud' a kadar Baudrate üretici</li> </ul>
CAN Arayüz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siemens 80C164 mikrodenetleyici</li> <li>- ISO 11898 transceiver</li> <li>- Saat frekans üretici</li> <li>- 4 K kelime çift kapılı hafıza</li> </ul>

## EK 10 . ControlDesk Programının Özellikleri

### Zaman Gösterimi ve Veri Toplama

- Çizici ile gerçek zamanda zaman gösterimi
- Gerçek zaman deneyleri ile kesintisiz gösterim
- Tipik osiloskop özellikleri (x/y çizim, referans sinyali vb.)
- Yarıllogaritmik çizim
- İkili değişkenler için özel mantık analiz gösterimi
- Serbest çalışma ya da tetiklemeli veri yakalama
- Farklı gösterge güncelleme modları
- Yaklaşma, farklı ölçümler ve minimum/maksimum değer arama gibi tekli veya çoklu çizimler için çeşitli çizim analizi yardımcıları
- Stream to disc işlem modu
- Ön ve son işlemci için MATLAB ve ControlDesk , Test Automation arayüzler giriş ve çıkışı

### Denetleme ve Gösterimin Gerçek Zaman Uygulamaları

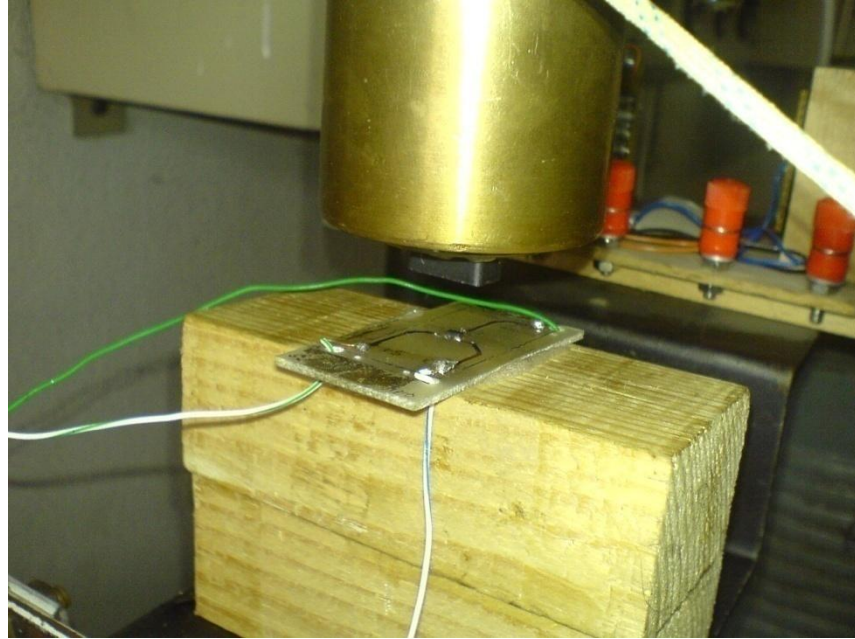
- Parametrelerin anında (online) ayarı
- Değişken değerlerinin sürekli gösterimi
- Mouse ya da klavye yardımıyla işlemleri gerçekleştirme
- Çalışma anında çoklu cihaz panelleri

### Gerçek Zaman Sinyal Üretimi

- Gerçek zaman uyarıcılarının ya da değişen model değişkenlerinin tanımlanması için grafik editörü
- Parçalı bileşik sinyallerin gelişigüzel sayısının tanımlanması için matris formatı (satır=model değişkeni, kolon=zaman, hücre girişi=sinyal formunun tanımı)
- Sinyal formları sabit, ramp, gürültü, üssel, kare, sinüs, darbe, üçgen, testere dişi
- Simulink modeli hiyerarşisini temsil eden Variable Browser' ı kapsayan sezgisel değişken tahmini
- Döngüler ve şartlı denetimler (daha büyükse/daha küçükse) için denetim yapılarının grafiksel tanımı
- Tanımlanmış sinyallerin offline denetimi için çizimler

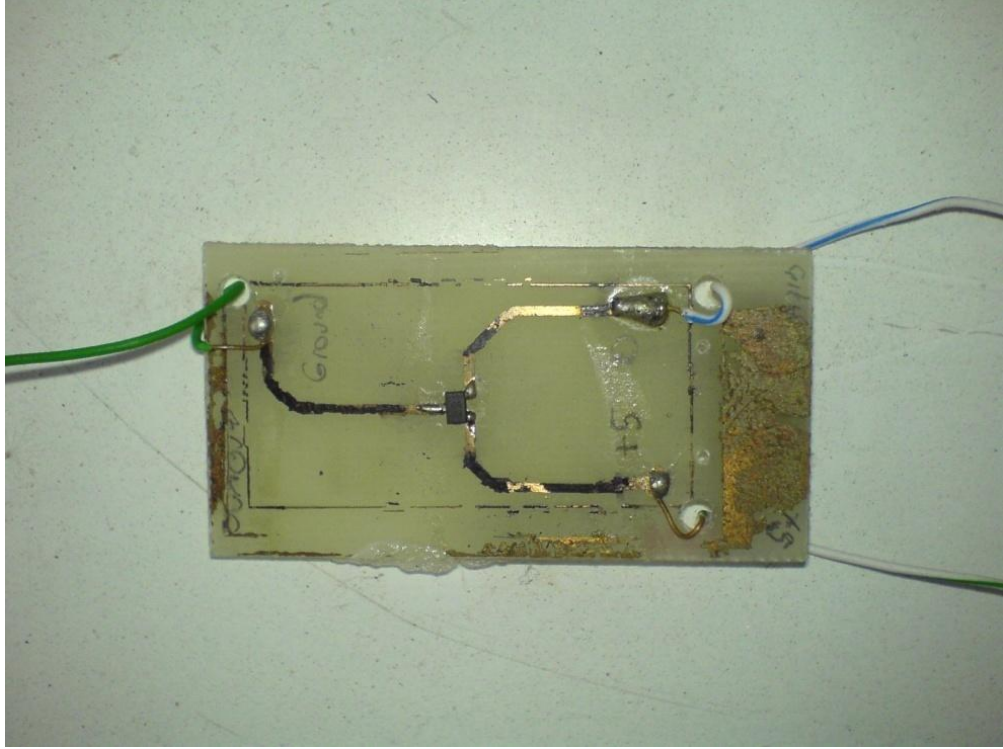
**EK 11. Deney Düzeneği Fotoğrafları**

Elektromekanik supap mekanizması

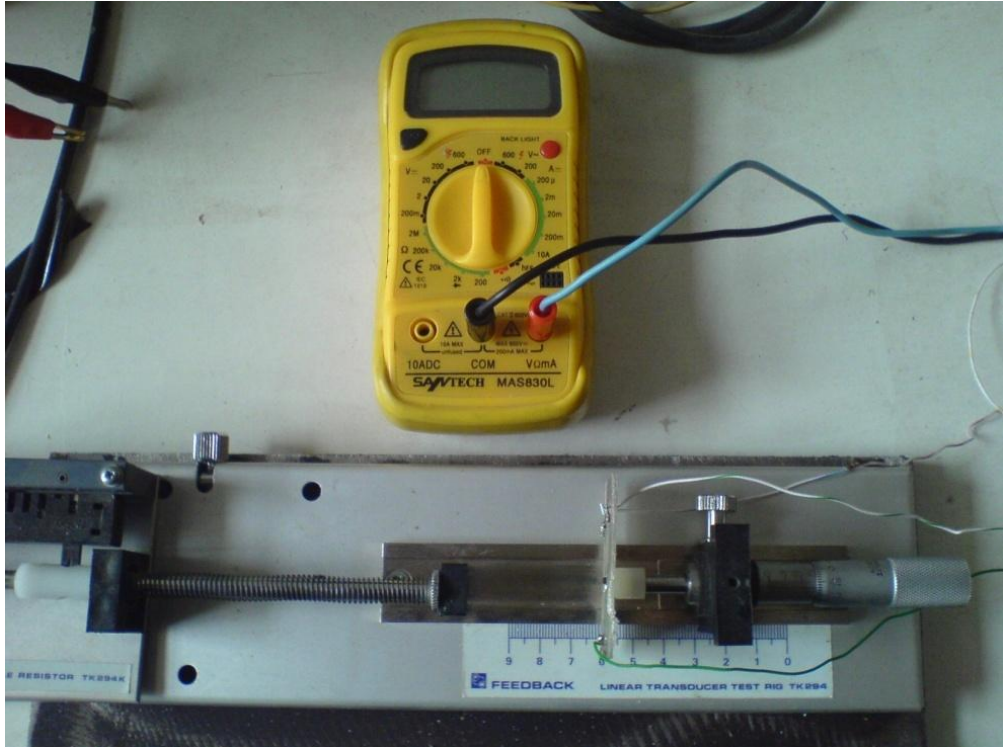


Alan etkili konum algılayıcı yerleşimi

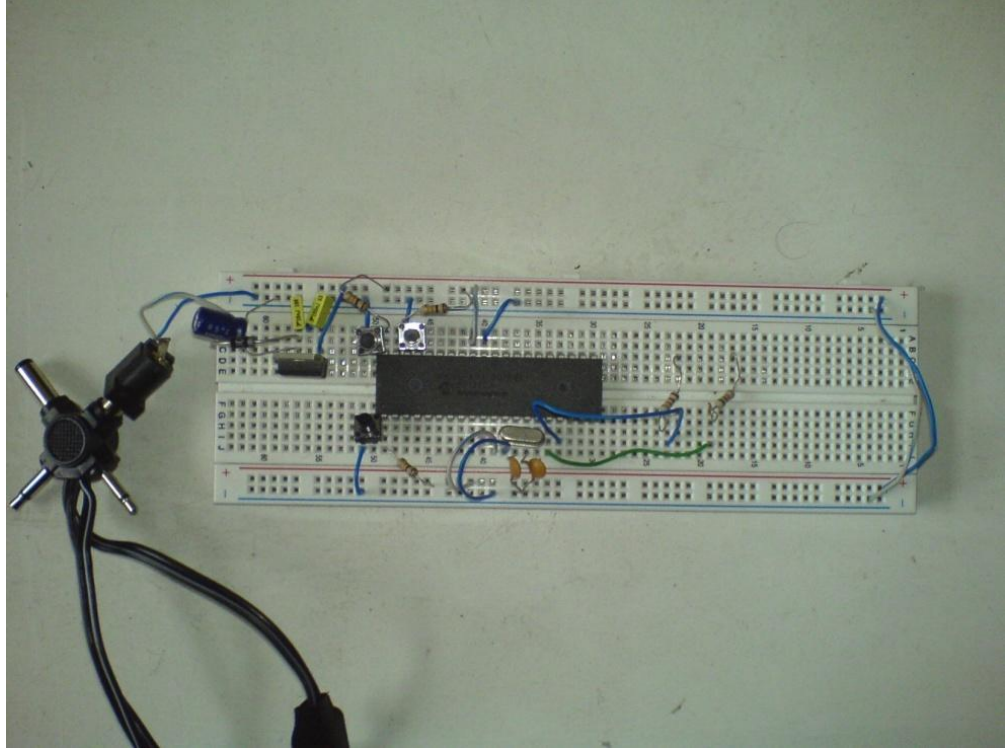




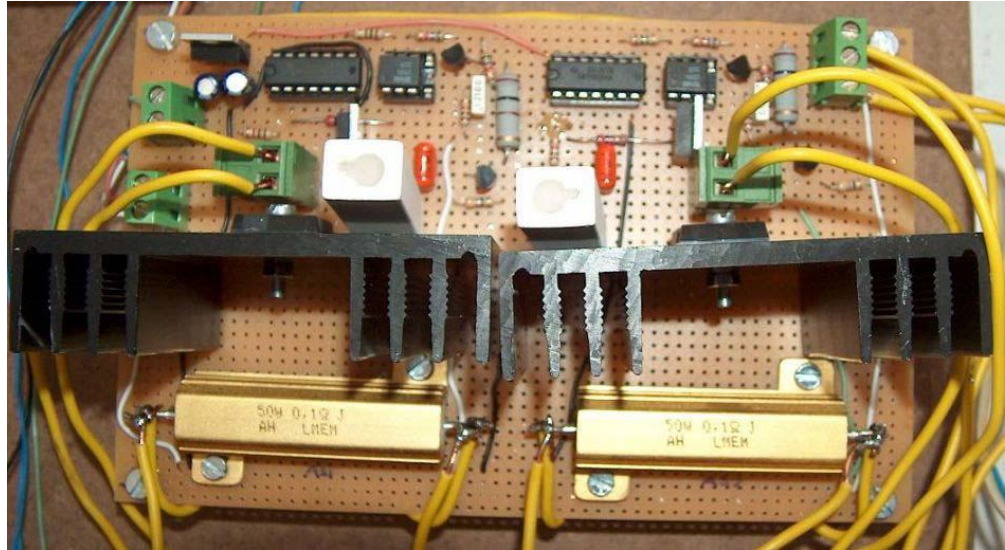
Alan etkili konum algılayıcı



Konum algılayıcı karakteristik eğrisinin çıkarılmasında kullanılan düzenek



Pic mikrodnetleyici tabanlı kontrol kartı



Akım sürücü devre



Deney düzeneği



Deney düzeneği

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim sırasında yardım ve desteklerini esirgemeyen Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği öğretim görevlisi değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim YÜKSEL' e çok teşekkür ederim. Tüm hayatım boyunca benden maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam sırasında, üzerinde çalıştığım elektromekanik supap mekanizmasını hazırlamış ve ayrıca her konuda bana yardımcı olan Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği öğretim görevlilerinden Sayın Dr. Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK' a çok teşekkür ederim.

Ayrıca mikrodenetleyici konusunda bana yardımcı olan BEGEV (Bursa Eğitim Geliştirme Vakfı) öğretmenlerinden Hasan AKBULUT' a, yanan makaranın yeniden imalatında emeği olan BEGEV öğretmenlerinden Faik Cengiz İÇEL' e, bobinlerin sarılmasında emeği geçen Gazcılar'daki trafocu Salim ustaya, konum algılayıcısını temin eden Allegro firmasına, konum algılayıcısının imalatında yardımcı olan Uludağ Üniversitesi Elektronik Mühendisliği öğretim görevlilerinden Dr. İsmail TEKİN' e ve otomatik kontrol laboratuvar olanaklarından yararlanmamı sağlayan Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dekanlığı ve Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığı' na, kütüphanede bulunan internet olanaklarına evden erişebilmemi sağlayan Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı' na teşekkür ederim.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Sertan TURAN, 1983 yılında Bursa'da doğdu. 2001 yılında Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2006 yılında Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Ekim 2008' den beri Tekno Tasarım şirketinde çalışmaktadır.