

**T.C  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HİBRİT ADIM MOTORUNUN SAYISAL KONTROLÜ**

**Durmuş UYGUN**  
(Elektrik Teknik Öğretmeni)  
141101220040126

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRİK EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
Yrd. Doç. Dr. Caner AKÜNER**

**İSTANBUL 2006**

**T.C.**  
**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABUL VE ONAY BELGESİ**

**HİBRİT ADIM MOTORUNUN SAYISAL KONTROLÜ**

Durmuş UYGUN'un HİBRİT ADIM MOTORUNUN SAYISAL KONTROLÜ isimli Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14.06.2006 tarih ve 1744 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından ELEKTRİK EĞİTİMİ Anabilim Dalı ELEKTRİK EĞİTİMİ Programında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Danışman : ( Ünvanı, Adı Soyadı)(Üniversite) Yrd. Doç Dr. Caner AKÜNER (M  
Üye : ( Ünvanı, Adı Soyadı)(Üniversite) Doç Dr. Fevzi BABA (M.Ü.)  
Üye : ( Ünvanı, Adı Soyadı)(Üniversite) Yrd. Doç Dr. Adnan KAKİLLİ (M.Ü.)  
Tezin Savunulduğu Tarih : 21.06.2006

**ONAY**

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararı ile Durmuş UYGUN'un ELEKTRİK EĞİTİMİ Anabilim Dalı ELEKTRİK EĞİTİMİ Programında Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hibrit adım motorları; sayısal girişli motorlar grubunda değerlendirilip 1930 yılında ilk sayısal girişli adım motorunun icadı ve 1960'lı yıllarda teknolojinin büyük bir ilerleme kaydetmesi ile endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olmuşlardır. Güç elektroniği elemanları ve kontrol tekniklerinin daha da geliştirilmesi yakın gelecekte bu tip sayısal giriş ile denetlenebilen mekanizmaların daha fazla kullanım alanına sahip olmalarını ve dolayısıyla daha etkin şekilde kullanılmalarını sağlayacaktır.

Bu çalışmada hibrit adım motorlarının (HSM) bilgisayar üzerinden yön, hız denetimleri, istenilen zamanlar arasında çalıştırılmasıyla ilgili yazılımlar ve kontrol teknikleri ele alınmış ve incelenmiştir. Yapılan analizler ve uygulanan kontrol teknikleri sonucunda HSM için en uygun kontrol algoritması elde edilmiştir. Bu çalışmada her türlü desteğini esirgemeyen başta değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Caner AKÜNER'e, çalışmalarımnda bilgilerinden sıkça yararlandığım değerli arkadaşım Kaner YURTBAŞI'na, değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Erdal BEKİROĞLU'na, her zaman maddi ve manevi desteklerini sürdürerek bana sabır gösteren biricik nişanlım Gözde PİRKOCA'ya ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

**Haziran 2006**

**Durmuş UYGUN**

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR</b> .....	I
<b>ÖZET</b> .....	VI
<b>ABSTRACT</b> .....	VIII
<b>YENİLİK BEYANI</b> .....	X
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	XI
<b>KISALTMALAR</b> .....	XIII
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	XIV
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	XVII
<b>BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ</b> .....	1
<b>I.1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>I.2. AMAÇ</b> .....	2
<b>BÖLÜM II. GENEL BİLGİLER</b> .....	3
<b>VI.1. ADIM MOTORLARI KONUSUNDA YAPILAN ÇALIŞMALAR</b> <b>(TARİHÇE)</b> .....	3
<b>II.1. ADIM MOTORLARINA GİRİŞ</b> .....	5
<b>II.2. ÖZELLİK VE KARAKTERİSTİKLERİ</b> .....	6
<b>II.2.1 Adım Motorlarının Genel Özellikleri</b> .....	6
<b>II.2.2 Adım Motorlarının Karakteristik Özellikleri</b> .....	7
II.2.2.1 Statik Karakteristikler.....	7
II.2.2.2 Dinamik Karakteristikler.....	9
<b>II.3. SONUÇ</b> .....	13

<b>BÖLÜM III. ADIM MOTORLARININ ÇALIŞTIRILMASI</b> .....	15
<b>III.1. GİRİŞ</b> .....	15
<b>III.2. ADIM MOTORLARINI SÜRME TEMELLERİ VE</b>	
<b>ÖZELLİKLERİ</b> .....	16
<b>III.2.1. Unipolar ve Bipolar Adım Motorları</b> .....	16
<b>III.2.2. Unipolar Adım Motorlarının Sürülmesi</b> .....	17
III.2.2.1. Bir Fazlı Tam Adımlı Sürme Tekniği (Dalga Sürüm	
Modu).....	17
III.2.2.2. İki Fazlı Tam Adımlı Sürme Tekniği.....	18
III.2.2.3. İki Fazlı Yarım Adımlı Sürme Tekniği.....	18
<b>III.2.3. Bipolar Adım Motorlarının Sürülmesi</b> .....	19
III.2.3.1. Bir Fazlı Tam Adımlı Sürme Tekniği (Dalga Sürüm	
Modu) .....	19
III.2.3.2. İki Fazlı Tam Adımlı Sürme Tekniği.....	19
III.2.3.3. İki Fazlı Yarım Adımlı Sürme Tekniği.....	20
<b>III.3. ADIM MOTORLARI İÇİN SÜRÜCÜ VE ÇEVİRİCİ</b>	
<b>(TRANSLATOR) DEVRELER</b> .....	20
<b>III.3.1. Unipolar Adım Motorları İçin Sürücü ve Çevirici</b>	
<b>(Translator) Devreler</b> .....	21
III.3.1.1. Temel Sürme Devresi .....	21
III.3.1.2. Temel Çevirici Devre Örneği.....	22
III.3.1.3. Kompleks Çevirici (Translator) Devreler .....	24
III.3.1.4. Komple Sürücü Devreler .....	25
4.a. UCN 5840B Entegreli Sürücü Devre .....	26
4.b. Paralel Port Kontrollü Sürücü Devre.....	26
4.c. PIC Mikrokontrolör Kullanılarak Tasarlanmış Sürücü	
Devre .....	28
<b>III.3.2. Bipolar Adım Motorları İçin Sürücü ve Çevirici</b>	
<b>(Translator) Devreler</b> .....	29
III.3.2.1. H-Bridge Temel Sürme Devresi .....	29
III.3.2.2. Transistorlu H-Bridge Sürme Devresi .....	30
III.3.2.3. Mosfetli H-Bridge Sürme Devresi .....	31
III.3.2.4. Çevirici (Translator) Devreler.....	32
III.3.2.5. Komple Sürücü Devreler .....	32
5.a. Pic 16F684 ile Tasarlanmış Sürücü Devre .....	32
5.b. Çift Yönlü (Dual) Bipolar Sürücü Devresi.....	32
<b>III.3.3. Akım Sınırlandırması, Kıyıcı (Chopper) Devre ve Kıyıcı</b>	
<b>Kontrolü</b> .....	34
III.3.3.1. Akım Sınırlandırması (Current Limiting) .....	34
III.3.3.2. Kıyıcı (Chopper) Kontrolü.....	35
<b>III.4. ADIM MOTORLARININ PERFORMANS AÇISINDAN</b>	
<b>KARŞILAŞTIRILMASI</b> .....	36
<b>III.4.1. Tork Özellikleri (Bipolar-Unipolar)</b> .....	36
<b>III.4.2. Yarım ve Tam Adım Çalışma Durumları</b> .....	37
<b>III.5. SONUÇ</b> .....	37
<b>BÖLÜM IV. HİBRİT ADIM MOTORLARI</b> .....	38

<b>IV.1. GİRİŞ</b> .....	38
<b>IV.2. YAPISAL ÖZELLİKLERİ</b> .....	39
<b>IV.2.1. Genel Özellikleri</b> .....	39
<b>IV.2.2. Rotor Yapıları</b> .....	40
<b>IV.2.3. Stator Yapıları</b> .....	41
<b>IV.2.4. Farklı Yapıların Motor Performansı Üzerindeki Etkisi</b> .....	42
<b>IV.2.5. Yapıya Bağlı Olarak Akı Yollarının Değişimi</b> .....	43
<b>IV.3. ÇALIŞMA KARAKTERİSTİKLERİ</b> .....	44
<b>IV.3.1. Açısal Pozisyon</b> .....	44
<b>IV.3.2. Tork ve Hız</b> .....	44
<b>IV.3.3. Rezonans</b> .....	47
<b>IV.3.4. Mikroadımlama (Microstepping)</b> .....	47
<b>IV.4. HAREKET KONTROL MEKANİZMALARI VE YÜK HESABI</b> .....	49
<b>IV.4.1. Hareket Kontrol Mekanizmaları</b> .....	50
<b>IV.4.1.1. Direkt Sürüş Mekanizmaları</b> .....	50
<b>IV.4.1.2. Kayışlı Sürüş Mekanizmaları</b> .....	50
<b>IV.4.1.3. Lineer (Doğrusal) Hareket Mekanizmaları</b> .....	51
<b>IV.4.1.4. Tanjant Hareket Mekanizmaları</b> .....	51
<b>IV.4.2. Yük Hesabı</b> .....	52
<b>IV.4.2.1. Kasnak Çapı ve Çözünürlük</b> .....	52
<b>IV.4.2.2. Hız ve Darbe Frekansı</b> .....	53
<b>IV.4.2.3. Eylemsizlik Momenti ve Yük Torku</b> .....	53
<b>IV.5. SONUÇ</b> .....	55
<b>BÖLÜM V. PARALEL VE SERİ ASENKRON İLETİŞİM</b> .....	56
<b>V.1. GİRİŞ</b> .....	56
<b>V.2. SERİ ASENKRON İLETİŞİM</b> .....	57
<b>V.2.1. Seri İletişim Genel</b> .....	57
<b>V.2.2. Seri Port Konektörü (RS-232) ve Özellikleri</b> .....	58
<b>V.2.3. Asenkron Deyimi</b> .....	60
<b>V.2.4. Seri Port ile Veri Aktarımı ve UART Tümdevresi</b> .....	62
<b>V.2.5. Seri Port Yazılımı</b> .....	63
<b>V.3. PARALEL İLETİŞİM</b> .....	66
<b>V.3.1. Paralel İletişim Genel</b> .....	66
<b>V.3.2. Paralel Port Adresleri</b> .....	68
<b>V.3.3. DATA Portu ile Programlama</b> .....	69
<b>V.4. SONUÇ</b> .....	70
<b>BÖLÜM VI. TEZ ÇALIŞMALARI</b> .....	71
<b>VI.1. GİRİŞ</b> .....	71
<b>VI.2. TASARLANAN SİSTEMİN DONANIM ÖZELLİKLERİ</b> .....	71
<b>VI.2.1. Paralel Port Kontrollü Sistemin Donanım Özellikleri</b> .....	75
<b>VI.2.2. Seri Port Kontrollü Sistemin Donanım Özellikleri</b> .....	76
<b>VI.3. TASARLANAN SİSTEMİN YAZILIM ÖZELLİKLERİ</b> .....	77
<b>VI.3.1. Seri Port Kontrollü Sistemin Yazılım Özellikleri</b> .....	78
<b>VI.3.2. Paralel Port Kontrollü Sistemin Yazılım Özellikleri</b> .....	82
<b>VI.3.3. Diğer Yazılım Özellikleri</b> .....	85
<b>VI.3.3.1. Tablolar Menüsü ve Özellikleri</b> .....	86

VI.3.3.2. Grafikler Menüsü ve Özellikleri .....	87
VI.3.3.3. Motor ve Program Bilgileri.....	90
<b>VI.4. SONUÇ</b> .....	92
<b>BÖLÜM VII. ÇALIŞMANIN EĞİTİME KATKISI</b> .....	93
<b>BÖLÜM VIII. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME</b> .....	96
<b>KAYNAKLAR</b> .....	98
<b>EK-A</b> .....	103
Şekil A.1. Kompleks unipolar sürücü devresi .....	103
Şekil A.2 Bipolar sürücü yönlendirici sistem (translator sistem) .....	104
Şekil A.3 Bipolar sürücü sistemi.....	104
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	105

# ÖZET

## HİBRİT ADIM MOTORUNUN SAYISAL KONTROLÜ

Hibrit Adım Motorları (HSM) endüstride birçok uygulama sahasına sahip olmalarından dolayı her geçen gün denetimleri için farklı kontrol mekanizmaları geliştirilmektedir. Bu denli geniş kullanım alanına sahip olmaları şüphesiz ucuz ve kolay kontrol edilebilir özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Hibrit adım motorlarının kontrolü için geliştirilen ve kontrol tekniğine katkıda bulunacağı düşünülen sistem için temel olarak iki farklı denetim mekanizması geliştirilmiştir.

1. Paralel port kontrollü denetim mekanizması,
2. Seri port kontrollü denetim mekanizması.

Önerilen bu iki kontrol yönteminde; yönlendirme programının yazılımında Visual Basic 6.0 yazılım dili ile HTML Help Workshop yardım yazılım programı ve sürücü sisteminin kurulumunda HI-Tech PIC programlama dili kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda kontrol yazılımı için en uygun algoritma elde edilmiş ve denetim için uygun görülmüştür. Yapılan yazılımla; motorun devir/dakika olarak hızı, derece olarak aldığı açısal yol ve aldığı adım sayıları elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler sayesinde motorun zamana bağlı hız, adım, açısal yol grafikleri elde edilmiştir.

Tezin birinci bölümünde çalışmanın içeriği hakkında kısaca bilgiler verilerek çalışmanın amacı belirtilmiştir.

İkinci bölümde; adım motorlarının genel özellikleri, dinamik ve statik karakteristikleri içerisinde akım-moment / sönüm / dönme açısı-hata karakteristikleri ve çıkarılış yöntemleri üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde; adım motorlarının bipolar-unipolar çalıştırılma yöntemleri ile bu yöntemler kullanılarak elde edilen sürücü sistemleri üzerinde durulmuş ve tasarlanan sistem için en uygun sürücü sistemi elde edilmeye çalışılmıştır.

Dördüncü bölümde ise çalışmamızın temelini oluşturan Hibrit Adım Motorları (HSM) hakkında geniş bilgiler verilmiş, bu bilgiler ışığında kontrol sistemine uyan en özellikli ve kullanışlı hibrit motor ve süreceği yük belirlenmiştir.

Beşinci bölümde; girişte bahsedilen seri ve paralel port özellikleri ile yazılım dilinin kullanımı hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın ana temasını oluşturan altıncı bölümde ise adım motorları (değişken relüktanslı, sabit mıknatıslı ve hibrit) ile ilgili yapılan tez çalışmaları tarihi akış içerisinde verilmiş ve tasarlanan sistemin genel ve görsel özellikleri ile ilgili tanımlamalar yapılmıştır.

Yedinci ve son bölümde ise yapılan çalışmanın diğer çalışmalar arasındaki yeri ve kontrol sistemine katkısı ile geliştirilebilirlik durumları tartışılmış ve değerlendirilmiştir.

**Haziran 2006**

**Durmuş UYGUN**

# **ABSTRACT**

## **DIGITAL CONTROL OF HYBRID STEP MOTOR**

Because of the fact that hybrid step motors (HSM) have many application area in the industry, different control mechanisms are being developed for operating them day by day. That is certainly resulted from the capabilities such as they are controlled easily and they are cheap. Two kinds of operating mechanisms have been proposed for the system developed to control hybrid step motors and thought to be useful for control technique.

1. The system controlled through paralel port,
2. The system controlled through serial port.

Within these two control methods proposed, Visual Basic Programming language for direction software, HTML Help Workshop for help software and HI-Tech PIC programming language for driving software have been used.

The most suitable algorithm has been obtained at the end of studies and explorations done. With the programme written; the velocity of the motor as rotation/minute, the angular way taken by the motor as degree and the steps have been obtained. The graphics of velocity, step and angular way related to time have been derived.

In the first section of thesis; the aim of the study has been explained by giving short informations about the content of the study.

In the second section; the general specifications of step motors, current-moment / damping / rotation angle-error characteristics in dynamic and static characteristics have been emphasized to explain these all.

In the third section; the bipolar and unipolar driving methods of step motors, the driving systems obtained by using these methods have been emphasized on and the most suitable driving system has been tried to be obtained for the mechanism designed.

In the fourth section of the thesis; spacious informations have been given about the hybrid step motors which were basic sample of our study; the most special-practical hybrid motor and the load that it can drive have been obtained.

In the fifth section; the short informations about the usage of software language with serial and parallel port features mentioned before have been given.

In the sixth section which is the basic theme for our study; the thesis studies achieved for all step motors (variable reluctance, permanent magnet and hybrid) have been discussed and the definitions about general and visual features of the system designed have been introduced.

In the seventh (the last) section; the position of the study amongst the other studies, the contribution and the improveability of the study have been discussed and utilized.

**June 2006**

**Durmuş UYGUN**

# YENİLİK BEYANI

## HİBRİT ADIM MOTORUNUN SAYISAL KONTROLÜ

Hibrit Adım Motorları (HSM) endüstride birçok uygulama sahasına sahip olmalarından dolayı her geçen gün denetimleri için farklı kontrol mekanizmaları geliştirilmektedir. Bu denli geniş kullanım alanına sahip olmaları şüphesiz ucuz ve kolay kontrol edilebilir özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Hibrit adım motorlarının kontrolü için geliştirilen ve kontrol tekniğine katkıda bulunacağı düşünülen sistem için temel olarak iki farklı denetim mekanizması geliştirilmiştir.

3. Paralel port kontrollü denetim mekanizması,
4. Seri port kontrollü denetim mekanizması.

Önerilen bu iki kontrol yönteminde; yönlendirme programının yazılımında Visual Basic 6.0 yazılım dili ile HTML Help Workshop yardım yazılım programı ve sürücü sisteminin kurulumunda HI-Tech PIC programlama dili kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda kontrol yazılımı için en uygun algoritma elde edilmiş ve denetim için uygun görülmüştür. Çalışma temel olarak üç ana bölümden oluşmaktadır:

- 1. kısımda motorun çalıştırılması ve yapısal özellikleri ile ilgili bilgiler yer almaktadır.
- 2. kısımda ise motorun denetimi için kullanılacak yöntemler geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur. Motorun denetimi için en uygun kontrol algoritması ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.
- 3. ve son kısımda ise motor kontrolünün gerçekleştirilmesi için uygun programlama yapılmış ve uygulamaya konulmuştur.

Bu çalışma ile motorun optimal kontrolü için literatürde önerilen iki farklı metot ve bu iki metodun beraber kullanılması sayesinde özgün bir çalışma ortaya konulmuştur.

## SEMBOL LİSTESİ

<b>J<sub>M</sub></b>	: Rotor eylemsizliği (kg.m <sup>2</sup> )
<b>J<sub>L</sub></b>	: Yükün eylemsizlik momenti (kg.m <sup>2</sup> )
<b>G</b>	: Rotor ağırlığı (kg)
<b>D</b>	: Rotor çapı (m <sup>2</sup> )
<b>m</b>	: Adım motorunun faz sayısı
<b>Z</b>	: Rotor dişlerinin veya manyetik kutup çiftlerinin sayısı
<b>f<sub>SL</sub></b>	: Yüklü başlama frekansı (darbe/s)
<b>f<sub>S</sub></b>	: Yüksüz başlama frekansı (darbe/s)
<b>E<sub>p</sub></b>	: Statik açısal hata (%)
<b>θ<sub>s</sub></b>	: Teorik adım açısı (derece)
<b>T<sub>d</sub></b>	: Tutma torku (N.m) (motor uyarıldığı durumda)
<b>T<sub>h</sub></b>	: Tutma torku (N.m) (motor uyarılmadığı durumda)
<b>T<sub>o</sub></b>	: Çekme torku (N.m)
<b>f<sub>p</sub></b>	: Darbe oranı (darbe/s)
<b>v</b>	: Dakika başına devirdeki rotor hızı (r/min)
<b>f</b>	: Besleme sinyallerinin frekansı (Hz)
<b>w</b>	: Saniye başına radyandaki rotor hızı (rad/sn)
<b>ℓ</b>	: Çözünürlük veya birim adım (cm/step)
<b>D</b>	: Çıkış katı kasnağının çapı (cm)
<b>i</b>	: Küçültme diş oranı
<b>F</b>	: Yüke etkiyen kuvvet (Newton)
<b>F<sub>A</sub></b>	: Tepki kuvveti (Newton)
<b>α</b>	: Eğim (derece)
<b>μ</b>	: Yüzeyin sürtünme katsayısı
<b>W</b>	: Yük ağırlığı (Newton)
<b>η</b>	: Verim

**n** :  $3.6^\circ / \theta s$   
**g** : Yerçekimi ivmesi ( $cm^2/sn$ )

## **KISALTMALAR**

<b>PM</b>	: Permanent Magnet
<b>VR</b>	: Variable Reluctance
<b>HSM</b>	: Hybrid Step Motor
<b>N</b>	: North
<b>S</b>	: South
<b>DC</b>	: Direct Current
<b>AC</b>	: Alternating Current
<b>AR-GE</b>	: Araştırma-Geliştirme
<b>CW</b>	: Clock-Wise
<b>CCW</b>	: Counter-Clock-Wise
<b>GND</b>	: Ground
<b>NPN</b>	: Negative-Positive-Negative
<b>PNP</b>	: Positive-Negative-Positive
<b>CLK</b>	: Clock
<b>PIC</b>	: Programmable Integrated Circuit
<b>PWM</b>	: Pulse Width Modulation
<b>AlNiCo</b>	: Alluminium-Nickel-Cobalt
<b>SPR</b>	: Step Per Rotation
<b>SA</b>	: Step Angle
<b>EIA</b>	: Electronic Industries Association
<b>COM</b>	: Communication
<b>VB</b>	: Visual Basic

# ŞEKİL LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
<b>Şekil II.1</b> Adım Motoru İçin Darbe Oranı-Tork Karakteristiği. ....	10
<b>Şekil II.2</b> Adım Motoru İçin Zamana Bağlı Tek Adım Tepkisi ve Sönüm Karakteristiği. ....	11
<b>Şekil II.3</b> Adım Motoru İçin Zaman Bağlı İki Adım Tepkisi. ....	11
<b>Şekil II.4</b> Adım Motorunun Akım-Moment Eğrisi. ....	12
<b>Şekil II.5</b> Adım Motorunun Dönme Açısı-Hata Karakteristiği. ....	13
<b>Şekil III.1</b> Bağlantı Şekli Açısından Adım Motorları. ....	16
<b>Şekil III.2</b> Farklı Yapılardaki Bipolar Adım Motorları. ....	16
<b>Şekil III.3</b> Adım Motoru ve Sürücü Devresine Ait Blok Diyagramı. ....	21
<b>Şekil III.4</b> Transistorlarla Tasarlanmış Basit Bir Adım Motoru Sürme Devresi. ....	22
<b>Şekil III.5</b> Basit Bir Sürücü Devre Yönlendirici Sistemi. ....	23
<b>Şekil III.6</b> Kompleks Sürücü Yönlendirici Sistem. ....	24
<b>Şekil III.7</b> Çoklayıcı Kullanan İki Faz Sürücü Yönlendirici Sistem. ....	25
<b>Şekil III.8</b> UCN 5804B Entegresi Kullanılarak Tasarlanmış Komple Bir Sürücü Sistemi. ....	26
<b>Şekil III.9</b> Paralel Port Kontrollü Sürücü Devresi. ....	27
<b>Şekil III.10</b> PIC Kullanılarak Tasarlanmış Unipolar Bir Adım Motoru Sürme Devresi. ....	28
<b>Şekil III.11</b> Sadece Bir Sargı Grubu İçin H-Bridge Temel Sürme Devresi. ....	30
<b>Şekil III.12</b> Transistorlar ile Tasarlanmış Bipolar Sürme Devresi. ....	31
<b>Şekil III.13</b> Mosfetlerle Tasarlanmış Bipolar Sürücü Devresi. ....	31
<b>Şekil III.14</b> PIC 16F684 ve TC4469 Kullanılarak Tasarlanmış Bipolar Sürücü Devre. ....	32
<b>Şekil III.15</b> PIC Mikroişlemci ile İki Bipolar Motorun Kontrolü	

(Dual Sürücü) .....	33
<b>Şekil III.16</b> Akım Sınırlandırmasına Ait Gösterimler .....	34
<b>Şekil III.17</b> Kıyıcı Kontrolü İçin Akım ve Kaynak Gerilimi Karşılaştırılması .....	35
<b>Şekil III.18</b> Bipolar Adım Motorları İçin Kıyıcı (chopper) Devresi .....	36
<b>Şekil III.19</b> Bipolar ve Unipolar Adım Motorlarının Tork Özelliği Açısından Farkı .....	37
<b>Şekil IV.1</b> Farklı Hibrit Adım Motoru Çeşitleri .....	39
<b>Şekil IV.2</b> Hibrit Adım Motorlarında Stator ve Rotor Yapıları .....	40
<b>Şekil IV.3</b> Hibrit Adım Motorunun Tasarımında Kullanılan Farklı Rotor Yapıları .....	41
<b>Şekil IV.4</b> Hibrit Adım Motorunun Açık Rotor ve Stator Yapısı .....	41
<b>Şekil IV.5</b> Standart Hibrit .....	43
<b>Şekil IV.6</b> Özel Stator Yapısı .....	44
<b>Şekil IV.7</b> Akıma Bağlı Hız-Tork Eğrisi .....	46
<b>Şekil IV.8</b> Gerilime Bağlı Hız-Tork Eğrisi .....	46
<b>Şekil IV.9</b> Normal ve Mikroadım Durumunda Akı Yön ve Miktarları .....	48
<b>Şekil IV.10</b> Tam Adım Sürüş ile 1/8 Mikroadımlama Tekniğinin Açısız Pozisyon Tork ve Hız Değerleri Açısından Karşılaştırılması .....	49
<b>Şekil IV.11</b> Direkt Sürüş (Direct Drive) Mekanizmaları .....	50
<b>Şekil IV.12</b> Kayışlı Sürüş Mekanizmaları .....	51
<b>Şekil IV.13</b> Lineer Hareket Mekanizması .....	51
<b>Şekil IV.14</b> Tanjant Hareket Mekanizması .....	52
<b>Şekil IV.15</b> Çalışma Hesapları Yapılacak Sistem .....	53
<b>Şekil V.1</b> Seri İletişimin Basit Olarak Karakterize Edilişi .....	57
<b>Şekil V.2</b> Seri Port Konektörü ve Pin Uçları .....	59
<b>Şekil V.3</b> Asenkron Veri Aktarımının Temel Gösterimi .....	60
<b>Şekil V.4</b> İdeal ve Bozulmuş Asenkron İletişim Örnekleri .....	61
<b>Şekil V.5</b> Seri Bilgi Akışında İfade Edilen Bit Çeşitleri ve Seri Sıra İçerisindeki Yerleri .....	62
<b>Şekil V.6</b> Seri Asenkron İletişim Sistem Modeli .....	63
<b>Şekil V.7</b> MsComm Seri İletişim Protokolünün VB Gösterimi .....	64
<b>Şekil V.8</b> Bilgisayar Üzerinden Seri Port Ayarlarının Yapılması .....	66
<b>Şekil V.9</b> Paralel Portun Basit Olarak Karakterize Edilişi .....	66
<b>Şekil VI.1</b> Tasarlanan Sistemin Üstten Görünüşü .....	72

<b>Şekil VI.2</b> Tasarlanan Sistemin Genel Blok Diyagramı (HSM Sürücü devre sistemi) .....	74
<b>Şekil VI.3</b> Paralel Port Kontrollü Sistemin Akış Diyagramı .....	75
<b>Şekil VI.4</b> Seri Port Kontrollü Sistemin Akış Diyagramı .....	76
<b>Şekil VI.5</b> Ana Kontrol Panelin Görünümü.....	77
<b>Şekil VI.6</b> Seri Port Kontrollü Sistemin Denetim Arayüzü .....	79
<b>Şekil VI.7</b> Seri Port Ayar Penceresi.....	80
<b>Şekil VI.8</b> Çıkış Bilgi Benceresi.....	81
<b>Şekil VI.9</b> Motor Kontrol Yardımı HTML Yazılım Görünümü.....	82
<b>Şekil VI.10</b> Paralel Port Kontrollü Sistem Programlama ve Denetim Arayüzü .....	83
<b>Şekil VI.11</b> Paralel Port Ayar Uyarı Penceresi.....	84
<b>Şekil VI.12</b> Sistemin Hız Uyarı Penceresi .....	84
<b>Şekil VI.13</b> Tam ve Yarım Adımlı Animasyonlar .....	85
<b>Şekil VI.14</b> Seri Port Denetimli Sistemin Tablo Değerleri.....	86
<b>Şekil VI.15</b> Paralel Port Denetimli Sistemin Tablo Değerleri .....	87
<b>Şekil VI.16</b> Paralel Port Kontrollü Sisteminin Adım-Zaman Grafiği.....	88
<b>Şekil VI.17</b> Paralel Port Kontrollü Sisteminin Açısız Yol-Zaman Grafiği .....	89
<b>Şekil VI.18</b> Paralel Port Kontrollü Sisteminin Hız-Zaman Grafiği .....	89
<b>Şekil VI.19</b> Seri Port Kontrollü Sisteminin Çalışmaya Bağlı Devir ve Yön Değişim Grafiği .....	90
<b>Şekil VI.20</b> HSM Özellik Formu .....	91
<b>Şekil VI.21</b> Program Özeti Formu .....	91

# TABLO LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
<b>Tablo II.1</b> Adım Motorlarının Diğer Elektrik Motorlarıyla Karşılaştırılması.....	7
<b>Tablo III.1</b> 1 Fazlı Tam Adım Sürme Tekniği .....	17
<b>Tablo III.2</b> 1 Fazlı Tam Adım Sürme Tekniği .....	17
<b>Tablo III.3</b> 2 Fazlı Tam Adım Sürme Tekniği .....	18
<b>Tablo III.4</b> 2 Fazlı Yarım Adım Sürme Tekniği .....	18
<b>Tablo III.5</b> 1 Fazlı Tam Adım Sürme Tekniği .....	19
<b>Tablo III.6</b> 2 Fazlı Tam Adım Sürme Tekniği .....	20
<b>Tablo III.7</b> 2 Fazlı Yarım Adım Sürme Tekniği .....	20
<b>Tablo V.1</b> Seri Port Pinleri ve Anlamları .....	59
<b>Tablo V.2</b> Seri Port Pinlerinin Fonksiyonel Olarak Açıklaması .....	60
<b>Tablo V.3</b> Paralel Port (LPT yazıcı portu) Pinleri ve İşlevleri .....	67
<b>Tablo V.4</b> Paralel Port Adresleri .....	68
<b>Tablo V.5</b> LPT BIOS Data Alanında LPT Adresleri.....	69
<b>Tablo VII.5</b> Tasarımın kullanılabileceği dersler ve içerikleri .....	94

# BÖLÜM I

## GİRİŞ ve AMAÇ

### I.1. GİRİŞ

Adım motorları (step motorlar) icatlarından bu yana bazı özel karakteristiklerinin sayesinde gerçekten de geniş bir kullanım alanına sahip olagelmışlerdir. Çoğunlukla kapalı bir döngüye gerek kalmadan sadece açık döngü kontrol sistemi ile kolayca kontrol edilmeleri onların başlıca avantajlarından biridir. Ayrıca düşük hız ve yüksek kalkınma tork karakteristikleri ile maliyetlerinin düşük olması adım motorlarını başta servo motorlar olmak üzere özellikle robotik uygulamalarda birçok motor türüne göre tercih sebebi haline getirmiştir. Bu ve buna benzer birçok sebep adım motorlarının endüstride kullanımını tetiklemiş ve üreticileri veya motor kontrol tasarımı ile uğraşan birçok kuruluşu bu tarz motorların kontrolünde farklı metotlar üretmeye ve geliştirmeye yönlendirmiştir.

Bu çerçevede gelişen teknoloji ile birlikte sadece adım motorlarının değil diğer tüm elektrik motorlarının (bir ve üç fazlı indüksiyon motorları, relüktans motorlar, servo motorlar, ultrasonik motorlar vs.) kontrolünde özel sürücü devreleri ve bilgisayar üzerinden özel yazılımlar aracılığıyla farklı denetim mekanizmalarının geliştirilmesi buna en güzel örnektir. Buna bağlı kalarak çalışmada geliştirilmesi amaçlanan bu kontrol mekanizması; diğer tüm kontrol sistemlerine benzer olarak *“bilgisayar-sürücü devresi-kontrol edilen mekanizma”* üçgeninin bir türevidir.

## II.2. AMAÇ

Bu çalışmada 4 fazlı hibrit step motorun sayısal kontrolü amaçlanmıştır. Temel olarak fazlarının belirli bir düzen içerisinde uyarılması ile çalışan adım motorları için çalışmamızda özel bir sürücü devresi tasarlanmış ve sürücü devresinin kontrolünde Visual Basic 6.0 paket programı aracılığıyla kullanışlı bir arayüz yazılımı geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde 4 fazlı hibrit adım motorunun hem paralel hem de seri porttan kontrolünün sağlanması amaçlanmıştır.

Seri port kontrolü için geliştirilen arayüzde; devir ve yön bilgilerinin birer birer girilmesini sağlayan “text” panellerinin yanında motorun her devir alışından sonra ne kadar bekleme yapacağını gösterir zamanlama paneli de bulunmaktadır. Ayrıca periyodik çalışmalar için “data” kutucuklarının kullanılmasıyla 9 çalışma zamanına kadar ayar seçeneği sunan bir veritabanı uygulaması mevcuttur. Tüm bu veriler girildikten sonra seri port aracılığı ile (COM1) mikroişlemciye (Pic 16F84) gönderilen bilgiler sayesinde motorun kontrolü amaçlanmıştır.

Paralel port için geliştirilen arayüzde ise; motorun dönüş yönü, çalışacağı adım tipi (yarım, tam, dalga vs.) belirlendikten sonra uygun paralel port adresinin (yapılan çalışmada h378 olarak konfigüre edilmiştir) seçilerek tasarlanan sürücü devresinin uygun biçimde motor sargılarını uyararak sistemin sayısal kontrolü amaçlanmıştır.

Tasarlanan sistemde, hem seri hem de paralel port kontrolü durumunda tasarlanan arayüzler sayesinde motorun aldığı adım sayısını, açılmal yolu ve d/dk olarak hızını görsel olarak izleyebilme olanağı bulunmaktadır. Program ayrıca kullanıcılara her iki kontrol sisteminde de adım, devir, açılmal yol ve yön bilgileri ile ara zamanların tablo şeklinde görüntülenip grafiğini çizdirme olanağını da sunmaktadır.

# BÖLÜM II

## GENEL BİLGİLER

### II.1. ADIM MOTORLARI KONUSUNDA YAPILAN ÇALIŞMALAR (TARİHÇE)

Sayısal girişli ilk adım motorun 1930 yılında denendiği ve bunu takip eden yıllarda adım motorunda kaydedilen gelişmelerin 1960'lı yıllara kadar sürdüğü, çok yüksek güçlü anahtarlama transistörlerinin ve devrelerinin yapılması ile birlikte adım motorlarındaki gelişmelerin maksimum düzeye ulaştığı daha önceki bölümlerde ifade edilmişti. Tarihsel akış içerisinde sayısal girişli motorlar sınıfında gösterilen adım motorları üzerinde yapılan tez çalışmalarını şu şekilde sıralayabiliriz:

1983'te Moshe; adım motoru kullanılarak geliştirilmiş bir robot mekanizmasında optimal yani en iyi performans için gerekli olabilecek şartları araştırdı ve hassas kontrol mekanizmalarının optimal çalışma şartları için önemli sonuçlar elde etti [18].

1983'te White sabit mıknatıslı adım motorunun dinamik karakteristiklerini belirleyerek motorun dolayısı ile sistemin performansı için gerekli olan parametrelerin düzgünlüğünü araştırdı [17].

1986 yılında Brown robot kontrol sistemine yardımcı olmak amacı ile belirlenen açılarda dönen ve o günün şartlarında geliştirilen robotlarda kullanılma özelliğine sahip bir sistem geliştirdi ve başarılı sonuçlar elde etti [16].

1989 yılında Kartchner mikroişlemci tabanlı bir adım motoru kontrolörü geliştirdi. Açık döngü kontrolünü destekleyen bu çalışma mikroişlemci tabanlı kontrol tekniğinin gelişmesinde önemli bir paya sahip oldu ve sistem performansında herhangi bir aksaklığa meyil vermeden çalıştırılabilir özelliklere sahip idi [15].

1990 yılında Allsup; iki eksenli bir çalışma düzeneği için geliştirilen ve içerisinde adım motoru kullanılan sistemin sürüş ve çalışma özelliklerini araştırdı [19].

1990 yılında Göktaş, 1991 yılında Türkay ve 2000 yılında Kıvrak; hemen hemen aynı çalışma konusu çerçevesinde, mikroişlemciler kullanılarak adım motorlarının denetimini gerçekleştirdi [21, 23, 30].

1990'da Usta hibrit adım motorlarının modellenmesi ve simülasyonu konusunda çok güzel bir çalışma yaptı ve elde ettiği bulgularla hibrit adım motorlarının çalışma koşulları ve genel özellikleri hakkında önemli bilgiler elde etti [22].

1996 yılında Dağdelen; kontrol konusunda kilometre taşı olarak kabul edilen bulanık mantık yöntemini kullanarak adım motorlarının hem matematiksel hem de çalışma özelliklerini tarif ederek kontrolleri konusunda önemli bulgular elde etti [24].

1997'de Taştan, 1998'de Taşçı ve Çetişli; tarafımdan gerçekleştirilen araştırma ve uygulama konusuna yakın kontrol sistemleri kullanarak adım motorlarının bilgisayar destekli olarak denetimini sağladı [25, 27, 28].

2004'te Kang tarafından HSM'lerin dinamik karakteristikleri çıkartılarak kontrolü için yeni bir güç konvertörü geliştirildi ve elde edilen sonuç ile HSM'nin çalışma karakteristiklerinde önemli ölçüde iyileşmeler olduğu gözlemlendi [24].

Literatürde adım sabit miknatıslı adım motorlarının mikroişlemci ile kontrolüne ait birkaç çalışmaya rastlanmaktadır. Fakat hibrit adım motoru ile ilgili çok fazla araştırma ve çalışma konusu bulunmamaktadır.

Bu çalışmada daha önceki bölümlerde ifade edildiği gibi HSM'nin hem seri hem de paralel port aracılığı ile kontrolüne yer verilmiştir. Özel olarak tasarlanmış ve seri port kontrolü için Bileşim A.Ş.'den tedarik edilen mikroişlemcili sürücü devresinin yanında paralel port kontrolü için tarafımdan geliştirilen özel bir yazılım ve sürücü devresi mevcuttur. Sonuçta kullanılan ve uygulaması yapılan devrenin birkaç eksik noktası olmasına rağmen geliştirilmeye açıktır.

Geliştirilen sistem içerisinde özellikle paralel port kontrollü sistem dahilinde verilerin çalışmaya bağlı olarak zamansal grafikleri çizdirilmiştir. Fakat motor açık döngü ile kontrol edildiğinden dışardan herhangi bir etkiye bağlı olarak (mekanik zorlama gibi) zamana bağlı olarak verilen motorun adım-zaman, açılı-zaman gibi verilerde bozulmalar meydana gelebilir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda motorun kapalı döngü içerisinde hata denetimi ile kullanılması bu tarz problemlerin ortaya çıkmasına meyil vermeyecektir.

## II.2. ADIM MOTORLARINA GİRİŞ

İlk olarak sayısal girişli adım motoru 1930 yılında denenmiştir [54]. 1960'lara doğru elektronik teknolojisindeki gelişmeler, çok yüksek güçlü anahtarlama transistörlerinin ve devrelerinin yapılabilme olanağı da beraberinde getirmiş ve bu gelişmeler sonrası adım motoru daha etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Adım motorları; kullanım alanları, çalışma şekilleri ve yapılarına göre birçok gruba ayrılırlar. Fakat bu tür motorları temel anlamda sabit mıknatıslı (PM) adım motorları, değişken relüktanslı (VR) adım motorları ve karışık yapılı (hibrit) adım motorları (HSM) olarak üç grupta toplamak mümkündür [14, 15]. Lineer ve hidrolik adım motorları da diğer adım motorları grubuna dahil edilebilir. Yapılan çalışma karışık yapılı (hibrit) adım motorları üzerinde olduğundan sabit mıknatıslı (PM) ve değişken relüktanslı (VR) adım motorlarının yapısal özellikleri hakkında detaylı bilgi verilmeyecektir. Ama kısaca açıklamak gerekirse VR adım motorları; çelikten yapılmış çıkıntılı bir rotor ile sarım bobinlerinden meydana gelmiş bir stator yapısına sahip olup çalışma prensipleri sargıların her uyarılışında rotor ve stator arasında bulunan hava boşluğu (gap) ve bunun sonucunda ortaya çıkan hava aralığı direncinin sürekli değişmesine dayanır. Bazı VR adım motorları daha yüksek tork elde etmek için birden fazla rotor ile imal edilirler [14]. PM adım motorlarının ise rotorları sabit mıknatıstan yapılmış olup statorları VR adım motorlarında olduğu gibidir. Çalışma prensipleri de N-S-N-S şeklinde sıralanmış rotor çıkıntılarının uyarılan stator manyetik alanı tarafından çekilmesi prensibine dayanmaktadır.

Adım motorları hassas hareket gerektiren birçok robotik ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Darbe ile çalışan bu motorlara her darbe uygulandığında motor belli bir miktar dönmekte olup bu dönüş miktarına *adım* adı verilmektedir. Bazı motorların adımları 90 derece, daha hassas motorların ise 1.8 ve hatta 0.72 derece olabilmektedir. Uygun kontrolör sayesinde adım motorlarını yarım-adım veya daha küçük ve mikro adım diye bilinen oldukça küçük adımlar şeklinde döndürmek mümkündür. Adım motorları otomatik kontrol devrelerinde genellikle geri besleme olmadan kullanılmaktadır. Bu motorların hassasiyetleri bir adımın %3 ve %5'i arasında değişmekte olup en önemlisi hatanın bir adımdan diğer adıma geçmemesidir. Böylece, geri besleme olmadan çok hassas motor pozisyon kontrol uygulamaları yapılabilmektedir [1].

## II.3. ÖZELLİK VE KARAKTERİSTİKLERİ

### II.3.1 Adım Motorlarının Genel Özellikleri

Endüstride birçok kullanım alanına sahip adım motorlarının özelliklerinin de o derece fazla olmasını beklemek bu duruma gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Kısaca çalışma durumu ve performansa göre adım motorlarının genel özelliklerini şu şekilde sıralamak mümkündür;

- **Açık devre (open-loop) kontrol sisteminde tam pozisyon doğruluğunu sağlama:** Adım motorlar geri beslemesiz devre kontrol sisteminde; dönüş açısıyla giriş darbelerinin oranını sabit tutarak, dönüş hızıyla darbe frekansı yani giriş darbe oranı sabitleyerek ve açısal hatayı hemen hemen hesaplanmayacak düzeye getirerek tam pozisyon doğruluğunu sağlarlar [39].
- **Tutma torku ile statik pozisyon kararlılığı sağlama:** Adım motorları; son sargının enerjili kalması durumunda motor sargılarının uyarılması veya sistemin enerjisiz kalması durumunda sabit mıknatıs kullanılması itibariyle ürettikleri tutma torku sayesinde son pozisyonlarını korurlar [39].
- **Başlama, durma ve çalışma anında yön değiştirme olaylarına hızlı cevap verme:** Adım motorlarının çalışması faz sayısına göre sahip oldukları stator sargılarının ardı ardına uyarılması prensibine dayandığı için sargı enerjilendirmeleri doğru yapıldığı sürece başlama, durma ve herhangi bir çalışma periyodunda yön değiştirme olaylarına hızlı tepki verebilirler [43].
- **Fırçasız yapıya sahip olma:** Birçok motor yapısında var olan ve çalışma esnasında elektrik arki yaratan fırça sistemine sahip değillerdir [43].

Bu özelliklerden farklı olarak adım motorlarının açık çevrim (döngü) davranışlarının  $\pm 1$  step doğruluk pozisyonuna sahip olması yani kesin açısal mesafe tanımlandığında motorun dönmesinin uygun sayıda adımla kontrol edilmesiyle mekanik sistemde mil hareketinin yeterli ölçüde olması ve yüke yeterli momenti sağlayabilmeleri bu tip motorların diğer önemli özelliklerindedir [3].

Adım motorları endüstride kullanılan diğer DC ve AC motorlarla karşılaştırılırsa aşağıdaki tablo elde edilir [46]:

**Tablo II.1 Adım motorlarının diğer elektrik motorlarıyla karşılaştırılması**

	ADIM MOTORLARI	DC SERVO MOTORLAR	FIRÇASIZ DC MOTORLAR	AC İNDÜKSİYON MOTORLARI
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"><li>• Açık-döngü kontrolü</li><li>• Düşük hızda dönme</li><li>• Düşük hız-yüksek tork karakteristiği</li><li>• Sıralı darbe girişi</li><li>• Yüksek hızda adım alma kabiliyeti</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kapalı-döngü kontrolü</li><li>• Yüksek tork</li><li>• Yüksek dönme verimi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüksek hız-yüksek tork</li><li>• Yüksek dönme verimi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüksek hız</li><li>• Yüksek verim</li></ul>
Dezavantajları	<ul style="list-style-type: none"><li>• Adım hatası</li><li>• Manyetik gürültü</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fırçalı çalışma</li><li>• Doğrultma limiti</li><li>• Düşük güvenilirlik</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Servo motora göre yüksek maliyet</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alternatif frekans limiti</li><li>• Hız kontrol zorluğu</li></ul>

Buna benzer özelliklerin sayesinde adım motorları endüstri veya araştırma-geliştirme (AR-GE) çalışmalarının yapıldığı ortamlarda hassas yön, moment ve hız vb. sistemlerinin kontrolünde önemli bir yer edinmişlerdir.

## II.3.2 Adım Motorlarının Karakteristik Özellikleri

Adım motorlarının kullanım alanı, hız, yön, tork gibi özelliklerine ait birçok terim ve karakteristik bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılacak yük özellikleri ve bu tip motorlarının genel özellikleri dikkate alınarak sadece önemli terim ve karakteristikler üzerinde durulmuş ve statik ve dinamik karakteristikler olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

### II.3.2.1 Statik Karakteristikler

Bu karakteristikler zamana göre değişim göstermeyen veya motorun yapısal özellikleriyle ilgili olan karakteristikler olup aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

- 1. Sargı Direnci:** Adım motorunun bir fazı için stator sargısının DC direnç değeri olup  $R$  ile gösterilir ve birimi  $\Omega$ 'dur.
- 2. Sargı İndüktansı:** Adım motorunun bir fazı için stator sargısının maksimum indüktans değeridir.  $L$  ile gösterilir ve birimi  $mH$ 'dir.
- 3. Rotor Eylemsizliği:** Rotor eksenlerine bağlı olarak değişen eylemsizlik momentinin değeridir.  $J_M$  ile gösterilir ve birimi  $kg.m^2$ 'dir. Eylemsizlik momentinin değeri şu şekilde hesaplanır;

$$J_M = \frac{G.D^2}{4} \text{ (kg.m}^2\text{)} \quad (\text{II.1})$$

Burada;

$J_M$ =Rotor eylemsizliği (kg.m<sup>2</sup>)

G= Rotor ağırlığı (kg)

D= Rotor çapı (m<sup>2</sup>)'dir.

4. **Adım Açısı:** Bir darbe komutuna bağlı olarak motor şaftının belirlenen uyarma şekli dahilinde teorik dönme açısıdır. Kısaca motor etiketinde yazılı olan dönüş açısına denir.  $\theta_a$  ile gösterilir ve derece (°) birimindedir.
5. **Temel Adım Açısı:** Uygulamada motorun bir fazı uyarıldığında meydana gelen açısız dönmeye denir.  $\theta_t$  ile gösterilir ve derece (°) birimindedir. Değeri kullanılan adım motoru tipine göre değişir. Çalışmamızda tercih ettiğimiz adım motoru çeşidi HSM olduğundan bu motor için değeri;

$$\theta_t = \frac{360^\circ}{2m.Z} \text{ (derece)} \quad (\text{II.2})$$

Burada;

m = adım motorunun faz sayısı

Z = rotor dişlerinin veya manyetik kutup çiftlerinin sayısıdır.

6. **Akım:** Manyetik devre doyumu, sıcaklık artışı vb. gibi değerler göz önünde bulundurulması durumunda tanımlanan nominal sargı akımıdır.  $I_R$  ile gösterilir ve birimi  $A(\text{amper})$ 'dir.
7. **Gerilim:** Sargılardan nominal bir  $I_R$  akımını geçişini sağlayan uygulanan gerilimin değeri olup  $V_R$  ile gösterilir ve birimi  $V(\text{volt})$ 'tur. Bu gerilim değeri aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir;

$$V_R = I_R \cdot R \text{ (Volt)} \quad (\text{II.3})$$

8. **Histerezis Hatası:** Motorun saat yönü (CW- counter wise) ile saat yönünün tersinde (CCW- counter clock wise) dönmesi arasındaki tüm statik açısız hatalarındaki maksimum fark olup  $\Delta\theta_h$  ile gösterilir ve birimi derece (°)'dir.

### II.3.2.2 Dinamik Karakteristikler

Bu karakteristikler zamanla değişen ya da motorun çalışma durumuyla ilgili olan karakteristikler olup aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir.

- 1. Tutma Torku (1):** Motorun uyarılmadığı durumda açısal olarak rotor pozisyonunda herhangi bir değişme olmasına engel olan artık tork değeridir.  $T_d$  ile gösterilir ve birimi  $N.m$ 'dir.
- 2. Tutma Torku (2):** Motorun uyarıldığı durumda açısal olarak rotor pozisyonunda herhangi bir değişme olmasına engel tork değeridir.  $T_h$  ile gösterilir ve birimi  $N.m$ 'dir. Ayrıca *maksimum statik torku* olarak ta adlandırılmaktadır
- 3. Darbe Oranı:** Adım motorunu sürmede her bir birim zaman için darbe sayılarıyla belirlenen giriş sinyali olarak ifade edilir. Darbe frekansı olarak ta bilinmektedir.  $f_p$  ile gösterilir ve birim olarak saniye başına darbe (*darbe/s*) kullanılır.
- 4. Maksimum Başlama Frekansı:** Yükün bulunmadığı durumda adım fonksiyonu olarak dışarıdan uygulanan giriş darbe frekansı ile motorun kendi kendini sürmesi iim gerekli olan maksimum başlama giriş darbe frekansıdır.  $f_s$  ile gösterilir ve birim olarak saniye başına darbe (*darbe/s*) kullanılır.
- 5. Maksimum Tepki Frekansı:** Yükün bulunmadığı durumda işe dönüşen yani motorun ilk hareketi için kullanılan frekansın büyüklüğüdür.  $f_m$  ile gösterilir ve birim olarak saniye başına darbe (*darbe/s*) kullanılır.
- 6. Başlama Torku:** Bilinen bir darbe giriş frekans değerinde motorun kendini sürebilmesi için gerekli olan maksimum yük torku değeridir.  $T_s$  ile gösterilir ve birimi  $N.m$ 'dir.
- 7. Başlama Tork Karakteristiği:** Giriş darbe frekansına bağlı başlama torkunun değişimini veren karakteristik eğridir. Başlama karakteristiği olarak ta bilinir.  $T_s(f_p)$  ile gösterilir ve birimi  $N.m$ 'dir.
- 8. Çekme Torku:** Bilinen bir darbe giriş frekans değerinde eşzamanlı (senkron) iş yapan maksimum tork değeridir.  $T_o$  ile gösterilir ve birimi  $N.m$ 'dir.
- 9. Çekme Tork Karakteristiği:** Giriş darbe frekansına bağlı çekme torkunun değişimini veren karakteristik eğridir. Döndürme torku olarak ta bilinir.  $T_o(f_p)$  ile gösterilir ve birimi  $N.m$ 'dir.
- 10. Darbe Oranı & Eylemsizlik Momenti Karakteristiği:** Yük eylemsizlik momenti ile başlama frekansı arasındaki ilişkiyi veren karakteristiktir.  $f_{sl}(J_L)$

ile gösterilir ve birimi *darbe/s*'dir. Genel olarak yük eylemsizlik momenti arttığında, başlama frekansının değeri düşmektedir. Ve yükün sürtünme torku ihmal edildiğinde aşağıdaki eşitlik ile gösterilebilir;

$$f_{SL} = \frac{f_s}{\sqrt{1 + \frac{J_L}{J_M}}} \quad (II.4)$$

Burada;

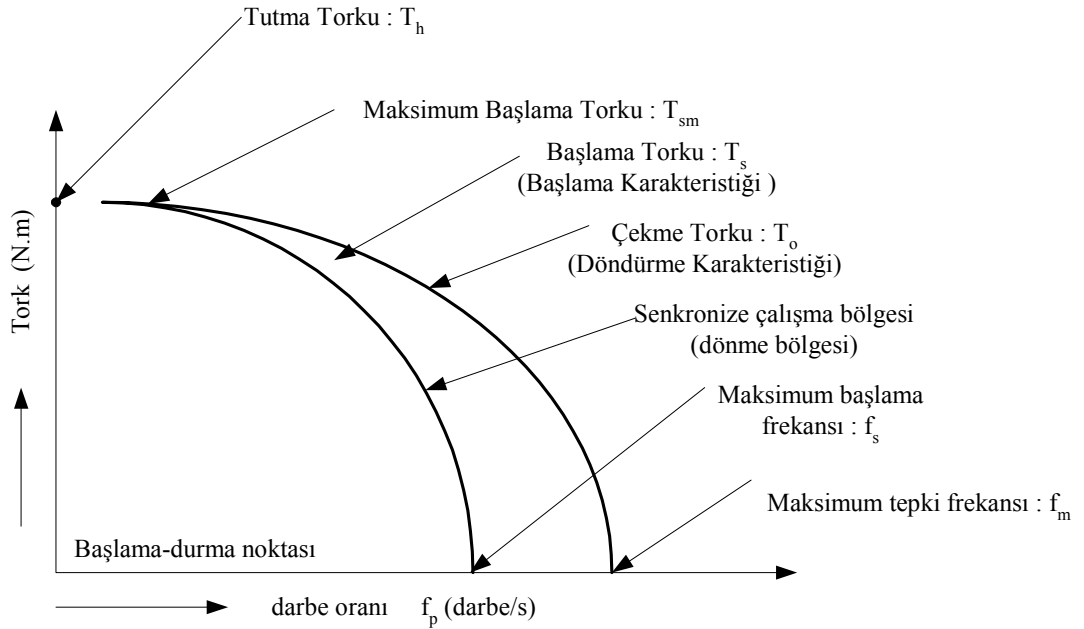
$f_{SL}$  = yüklü başlama frekansı (darbe/s)

$f_s$  = yüksüz başlama frekansı (darbe/s)

$J_L$  = yükün eylemsizlik momenti (kg.m<sup>2</sup>)

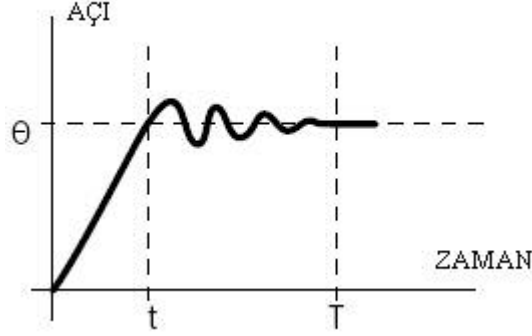
$J_M$  = rotorun eylemsizlik momenti (kg.m<sup>2</sup>)'dir.

**11. Darbe Oranı & Tork Karakteristikleri:** Darbe oranı (darbe giriş frekansı) ile üretken tork arasındaki bağıntıyı veren karakteristik eğridir. Darbe oranına bağlı olarak yukarıda tanımlanan tork çeşitlerinin değişimini veren grafik aşağıdaki gibidir;



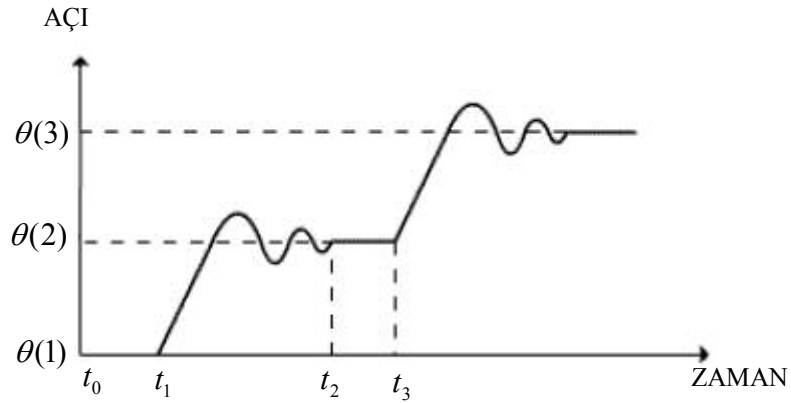
**Şekil II.1 Adım motoru için darbe oranı-tork karakteristiği**

**12. Tek Adım Tepkisi ve Rezonansı:** Adım motoruna bir steplik darbe uygulandığında rotor shaftı aşağıdaki grafikte görüldüğü gibi 0-t anı boyunca darbenin etkisiyle  $\theta$  açısı kadar yol alır. Fakat motorda sadece bir adımlık uyarma olduğundan atalet momentinin etkisiyle belli bir süre durmak için ileri-geri giderek salınım yapar ve sonunda sönüm zamanı (T-t) bitince durur.



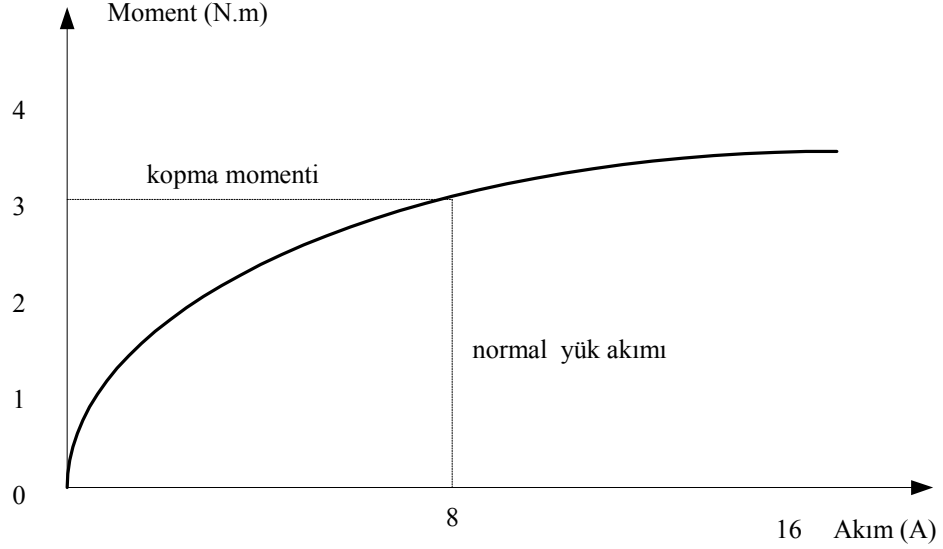
Şekil II.2 Adım motoru için zamana bağlı tek adım tepkisi ve sönüm karakteristiği

Adım motorunun iki adım aldığı düşünülürse adım tepki karakteristiği aşağıdaki gibi olur:



Şekil II.3 Adım motoru için zaman bağlı iki adım tepkisi

**13. Moment-Akım Karakteristiği:** Adım motorunun ürettiği moment stator akımına bağlıdır. Moment ile akım ilişkisini veren aşağıdaki karakteristikte motor akımı 8 A olduğunda motor 3 N.m'lik bir moment üretir. Bu motorun bir konumdan diğerine hareketinde ürettiği moment olup kırılma momenti olarak adlandırılır. Motor bir konumda dururken en son uyarılan sargıdan geçen akıma "tutma akımı" adı verilemektedir. Tutma akımı devam ettiği sürece rotor en son konumunda kilitli olarak kalacaktır [45].



Şekil II.4 Adım motorunun akım-moment eğrisi

**14. Rampalama:** Bir yükü süren adım motoru dururken aniden bir adım sonraki yüksek bir konum değerine geçemez (5000 adım/s gibi). Ters durumda da, motor 5000 adım/s'de dönüyorsa bir adım sonra durma konumuna getirilemez. Bunun anlamı, motorun hızı değiştirmek istendiğinde bu işlemin kademeli olarak yapılmasının gerekli olmasıdır. İşlem yapılırken motorun ani konum hareketinin akım darbelerine uyma şartı yerine getirilmelidir. Bu işleme rampalama (ramping) adı verilir [2].

**15. Açısal Doğruluk:** Dönme açısına bağlı doğruluk iki grupta incelenebilir [39];

- a. Statik açısal hata
- b. Adım açısı hatası

**Statik Açısal Hata:** Rotor yüksüz durumda iken belirlenen uyarma metodu dahilinde herhangi bir açıda adım adım dönmektedir. Teorik açı ile uygulamadaki açı arasındaki fark  $360^\circ$ 'de ölçülür ve maksimum tam negatif ve pozitif değerlerin ortalaması statik açısal hata olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$E_p = \pm \frac{||+\Delta\theta_i| + |-\Delta\theta_j|}{2\theta_s} \times 100 (\%) \quad (II.5)$$

Burada;

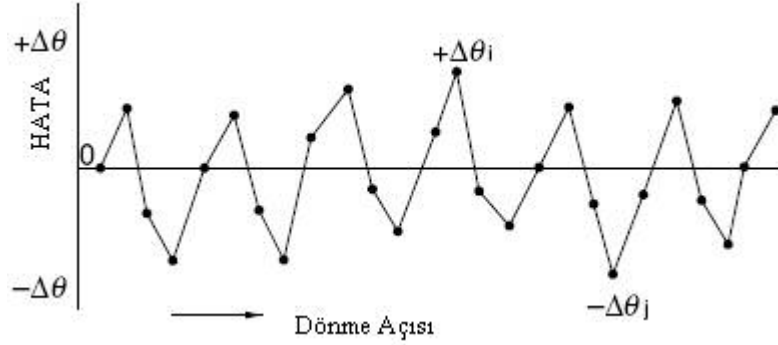
$E_p$  = statik açısal hata .....(%)

$+\Delta\theta_i$  = maksimum pozitif değer ( $\theta_i - i\theta_s$ ).....(derece)

$-\Delta\theta_i$  = maksimum negatif değer ( $\theta_j - j\theta_s$ ).....(derece)

$\theta_s$  = teorik adım açısı .....(derece)

Bu verilere göre dönme açısı ile hata (°) arasındaki grafiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edebiliriz;



Şekil II.5 Adım motorunun dönme açısı-hata karakteristiği

**Adım Açısı Hatası:** Rotor yüksüz durumda iken belirlenen uyarma metodu dahilinde herhangi bir açıda adım adım dönmektedir. Her bir step için teorik açı ile uygulamadaki açı arasındaki fark  $360^\circ$ 'de ölçülür. Ve maksimum pozitif ve negatif değerleri adım açısı hatası olarak nitelendirilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$E_s = \frac{+\Delta\theta_i}{\theta_s} \times 100 (\%) \text{ ve } E_s = \frac{-\Delta\theta_j}{\theta_s} \times 100 (\%) \quad (\text{II.6})$$

Burada;

$E_s$  = adım açısı hatası .....(%)

$+\Delta\theta_i$  = maksimum pozitif değer ( $\theta_i - \theta_{i-1} - i\theta_s$ ).....(derece)

$-\Delta\theta_j$  = maksimum negatif değer ( $\theta_j - \theta_{j-1} - j\theta_s$ ).....(derece)

$\theta_s$  = teorik adım açısı .....(derece)

## II.4. SONUÇ

Bu bölümde; adım motorlarının çalışma temellerini oluşturan karakteristik özellikler ve ortaya çıkarılış yöntemleri üzerinde durulmuştur.

Adım motorlarının dinamik karakteristiklerinin ölçümlerle bulunması ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Referans [48]'de geliştirilen yazılım ve donanım sayesinde motor performansı, statik adım doğruluğu, statik mikro-adım doğruluğu,

düzgün hız karakteristiği, rezonans ve sönüm katsayısı belirleme ile ilgili testlere olanak sağlanmaktadır.

Elde edilen sonuçlar ve ideal karşılaştırmalarla motor performansı için çok daha uygun çalışma şartları ve farklı uygulama teknikleri için uygun kontrol teknikleri elde edilebilir.

# BÖLÜM III

## ADIM MOTORLARININ ÇALIŞTIRILMASI

### III.1. GİRİŞ

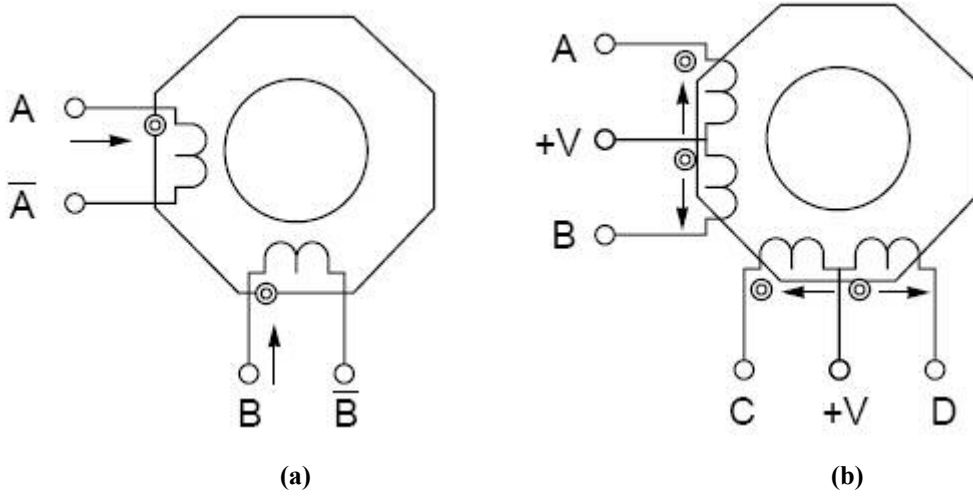
DC servo motorlarda döner alan, rotor üzerindeki kollektör aracılığıyla dönüş hareketiyle birlikte rotor üzerindeki sarımların belirli bir sırayla devreye girmesiyle sağlanır. Senkron ve asenkron AC motorlarda ise döner alan stator ve rotorda oluşan faz farkından yararlanılarak meydana getirilir. DC ve AC motorların aksine adım motorları, bobinlerine gerilim verildiğinde serbestçe dönmeye başlamazlar [57]. Adım motorları; manyetik alanların karşılıklı etkileşimi (itme-çekme) prensibiyle çalışmaktadır. Sürücü durumundaki manyetik alan stratejik olarak yerleştirilmiş bobin gruplarının enerjilendirilip ardından enerjinin kesilmesi yoluyla döner. Bu dönen manyetik alan adım motorunun sabit mıknatıslı mil rotorunu da beraber çekerek döndürür ve hareket oluşur. Mikroişlemciler ya da lojik sistemler aracılığıyla bobinlerin sırayla devreye girmesi ile döner alan oluşturulur ve rotor, motoru kontrol eden mikroişlemci ya da lojik sistemin istediği hızda ve yönde dönmeye başlar.

Sabit adım açısı adım motorlarını hareket kontrolünde DC motorlara göre üstün kılan özelliktir. Adım motor karakteristiklerinde belirtilen tork ve hız değerleri aşılmadığı sürece bir bilgisayar sistemi, yolladığı adım komutlarını sayarak step motorun kaç adım attığını bilmekte ve böylece pozisyon hakkında kesin bilgi sahibi olmaktadır.

## III.2. ADIM MOTORLARINI SÜRME TEMELLERİ VE ÖZELLİKLERİ

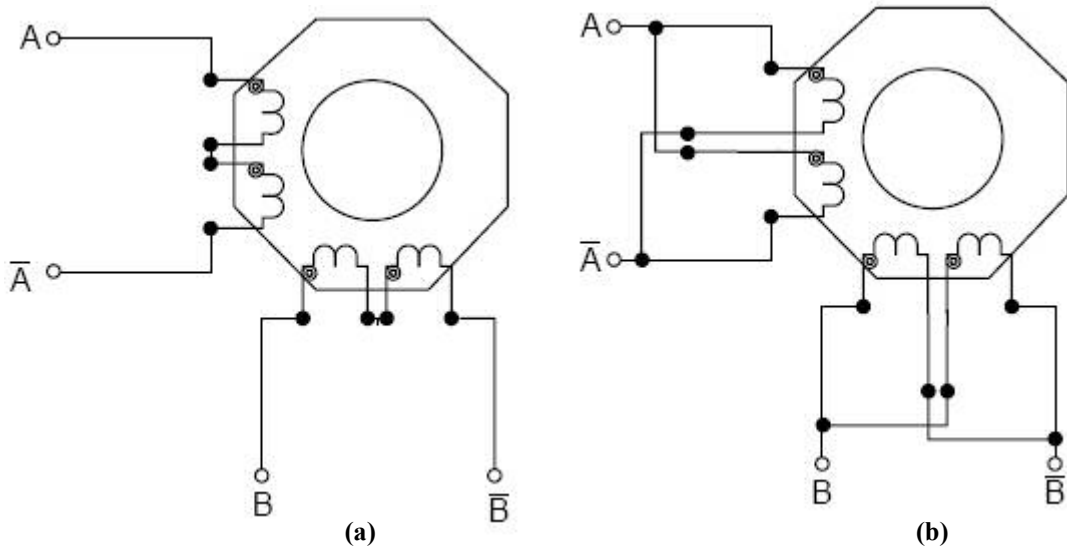
### III.2.1. Unipolar ve Bipolar Adım Motorları

Adım motorları endüstride genel olarak bağlantı şekli açısından çok kutuplu (unipolar) ve iki kutuplu (bipolar) olmak üzere 2 tipte üretilip kullanılmaktadır. Şekil II.5'te 6 telli-unipolar ve 4 telli-bipolar adım motorlarının sarımları gösterilmiştir. Unipolar adım motorları 4,5 ve 6 bacaklı imal edilirler ve ortak bacak genellikle +V gerilimine bağlanmaktadır [1]. Bipolar adım motorlarının ise sadece 4 bacak bağlantısı bulunmaktadır.



Şekil III.1 Bağlantı şekli açısından adım motorları: (a) 4 telli-bipolar adım motoru (b) 6 telli-unipolar adım motoru

Bunlardan farklı olarak bipolar adım motorları da farklı şekillerde de üretilebilir [47]:



Şekil III.2 Farklı yapılarıdaki bipolar adım motorları: (a) Seri bağlı (b) Paralel bağlı

Yukarıdaki temsili devrelerde görüldüğü üzere bipolar adım motorları için sargı giriş çıkış uçları A,  $\bar{A}$ , B ve  $\bar{B}$  şeklinde adlandırılırken unipolar adım motorlarının sargı giriş-çıkış uçları A, B, C ve D şeklindedir.

### III.2.2. Unipolar Adım Motorlarının Sürülmesi

Unipolar adım motorları 1 fazlı (dalga sürüm modu), 2 faz-tam adımlı ve 2 faz-yarım adımlı olmak üzere üç değişik şekilde sürebilir. Yapılan çalışmada paralel port kontrollü adım motorunun sürülmesinde bu üç kontrol tekniği de kullanılmıştır.

#### III.2.2.1. Bir Fazlı Tam Adımlı Sürme Tekniği (Dalga Sürüm Modu)

Adım motorlarını sürmede veya sargılarını uyarmada kullanılan bu teknik “*dalga sürüm modu*” adını da almaktadır. Aşağıda verilen tabloda görüldüğü gibi adım motoru her adımda bir palslik darbe almakta yani her seferinde sadece bir adet sargı enerjilenmektedir[2]. Yani adım motorunun bir sayıklık dönüşü toplam 4 adımdan meydana gelmektedir. Tabloda kullanılan “1” rakamının anlamı o sargının enerjili olduğu, “0” ise sargının enerjisiz olduğudur. Oluşturulan tabloda Şekil III.1 (b)’de verilen unipolar motorun sargı uçları örnek olarak kullanılmıştır (A,B,C ve D uçları).

**Tablo III.1 1 fazlı tam adım sürme tekniği (CW)**

Adım	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

Kontrol yöntemlerinin hemen hepsinde motorların dönüş yönleri ifade etmek için geliştirilmiş ortak bir sistem mevcuttur. CW saat yönünde (clock-wise), CCW ise saat yönünün tersinde (counter clock-wise) dönüşü temsil eden terimlerdir. Yukarıda verilen tabloda motorun dönüşü CW’dir. CCW için sargı enerjilendirmeleri aşağıdan yukarı doğru yapılır (Tablo III.2).

**Tablo III.2 1 fazlı tam adım sürme tekniği (CCW)**

Adım	A	B	C	D
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	1	0	0	0

### III.2.2.2. İki Fazlı Tam Adımlı Sürme Tekniği

Adım motorlarını sürmede kullanılan en yaygın tekniktir. Tablo III.3'te verildiği gibi, bu sürme tekniğinde her adımda motor sargı uçlarından her ikisi enerjilenmektedir (her adımda ikişer pils). Enerjinin yani gücün fazla olması beraberinde üretilen torkun da yüksek olmasını getirmektedir. Dalga sürüm modunda olduğu gibi CCW için motor sargılarının aşağıdan yukarıya sırasıyla uyarılması gerekmektedir.

**Tablo III.3 2 fazlı tam adım sürme tekniği (CW)**

Adım	A	B	C	D
1	1	0	0	1
2	1	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	1

### III.2.2.3. İki Fazlı Yarım Adımlı Sürme Tekniği

Bu sürme tekniğinde ise A,B,C ve D olarak adlandırılan motor sargı uçları bazen ikişer bazen de sadece bir pils almaktadır. Motor yarım adım sürüldüğünden tablo III.4'te de görüldüğü üzere bir sayıklık periyodu tamamlamak için 8 adım almalıdır. Bu tekniğin en önemli özelliği iki katı hassasiyet elde edilmesidir. Fakat üretilen tork yarıya düşmektedir.

**Tablo III.4 2 fazlı yarım adım sürme tekniği (CW)**

Adım	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0

4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

### II.2.3. Bipolar Adım Motorlarının Sürülmesi

Bipolar adım motorlarını sürmek için, unipolar motorlara göre daha karmaşık sürücü devreleri gerekmektedir. Çünkü bipolar motorlarda ayrı bobinler olup bu bobinlere verilen gerilim yönünün değiştirilmesi gerekmektedir [1]. Bu tip motorları sürmek için genellikle çift H-köprü devreleri kullanılmaktadır. Özellikle asimetrik beslemeli uygulamalarda (VCC-GND) 4 tane NPN ve 4 tane PNP olmak üzere toplam 8 adet transistora ihtiyaç vardır.

#### III.2.3.1. Bir Fazlı Tam Adımlı Sürme Tekniği

Bipolar adım motorlarında önemli olan sargılardan geçen akım yönlerini değiştirmek olacağından tablolarda 1-0 ibarelerinin yerine sargılardan geçen akım yönlerini temsil eden “+” ve “-” işaretlerini kullanmak daha doğru olacaktır. Tablolarda şekil II.6 (a)’da kullanılan bipolar adım motorunun sargı uçları örnek alınmıştır.

**Tablo III.5 1 fazlı tam adım sürme tekniği (CW)**

Adım	$A$	$\bar{A}$	$B$	$\bar{B}$
1	+	-	-	-
2	-	+	-	-
3	-	-	+	-
4	-	-	-	+

#### III.2.3.2. İki Fazlı Tam Adımlı Sürme Tekniği

Sistem tıpkı unipolar motorları sürmede olduğu gibidir. Farklı olarak sargı yönleri her adımda ikişer aynı yönlü olmalıdır.

**Tablo III.6 2 fazlı tam adım sürme tekniği (CW)**

Adım	$A$	$\bar{A}$	$B$	$\bar{B}$
1	+	-	-	+
2	+	+	-	-
3	-	+	+	-
4	-	-	+	+

### III.2.3.3. İki Fazlı Yarım Adımlı Sürme Tekniği

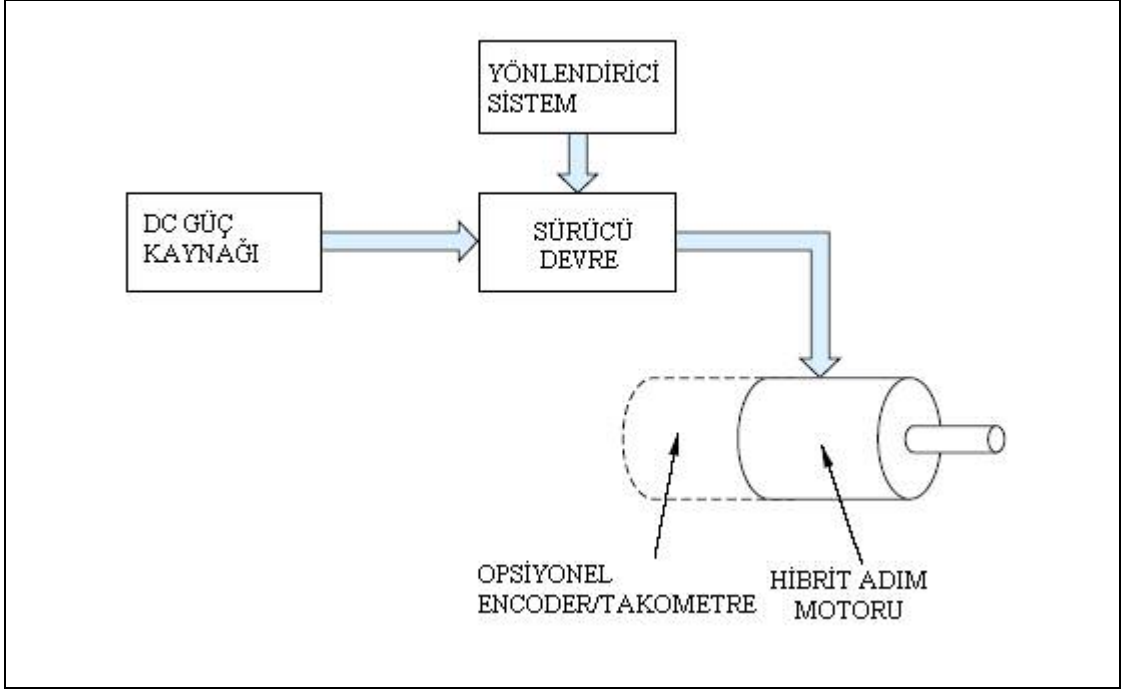
Yarım adım sürme tekniği unipolar motorları sürmede olduğu gibidir. Farklı olarak her adımda sargılardan ikisinin yönü aynı veya bazı durumlarda sadece bir sargının yönü farklı olmalıdır.

**Tablo III.7 2 fazlı yarım adım sürme tekniği (CW)**

Adım	$A$	$\bar{A}$	$B$	$\bar{B}$
1	+	-	-	-
2	+	+	-	-
3	-	+	-	-
4	-	+	+	-
5	-	-	+	-
6	-	-	+	+
7	-	-	-	+
8	+	-	-	+

## III.3. ADIM MOTORLARI İÇİN SÜRÜCÜ VE ÇEVİRİCİ (TRANSLATOR) DEVRELER

Adım motorlarında rotorun dönüşü için gerekli olan faz işaretlerinin sırası bir kontrol devresi veya programı ile sağlanır. Motor ile kontrol birimi arasında ayarlayıcı bir devrenin olması şarttır. Teknolojinin gelişmesi ile günümüzde adım motorların fazlarına istenilen sırada darbe uygulama işlemi kolayca yapılabilmekte olup bu devrelere “*sürücü devre*” ismi verilmektedir [4]. Sürücü devreleri yönlendirici bir sistem (bilgisayar veya özel çevirici devreleri) ve güç sürücülerini adımlı verdiğimiz tetikleyici bir sistemden meydana gelmektedir. Basit anlamda bir adım motoru (yapılan çalışmada hibrit adım motoru) ve sürücü devresine ait blok diyagram aşağıdaki şekilde verilmiştir [39].



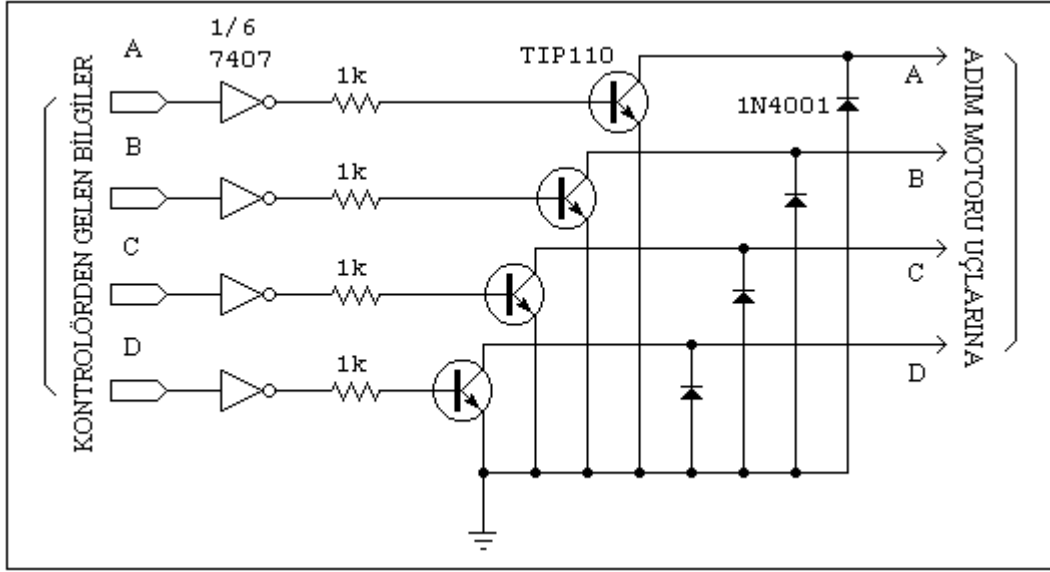
Şekil III.3 Adım motoru ve sürücü devresine ait blok diyagramı

Adım motorlarını sürme metotlarında olduğu gibi sürücü devre tasarım şemalarında da unipolar ve bipolar adım motoru çeşitlerine göre sınıflandırma yoluna gidilecektir.

### III.3.1. Unipolar Adım Motorları İçin Sürme ve Çevirici Devreler

#### III.3.1.1. Temel Sürme Devresi

Bir önceki bölümde değinildiği gibi unipolar adım motorlarını sürmek bipolar adım motorlarını sürmekten daha kolaydır. Bu tip motorlarda uygulanan uyarma metoduna göre her faz enerjilendirmesi için sadece bir uyarıcı elemanın kullanılması yeterli olmaktadır. Genellikle adım motorları sürücü devrelerinde tetikleme elemanı olarak “*transistor*”lar tercih edilmektedir. Bu bilgiler ışığında 4 faz uçlu unipolar bir adım motoru için geliştirilmiş en basit sürücü devresi aşağıdaki gibidir [50].

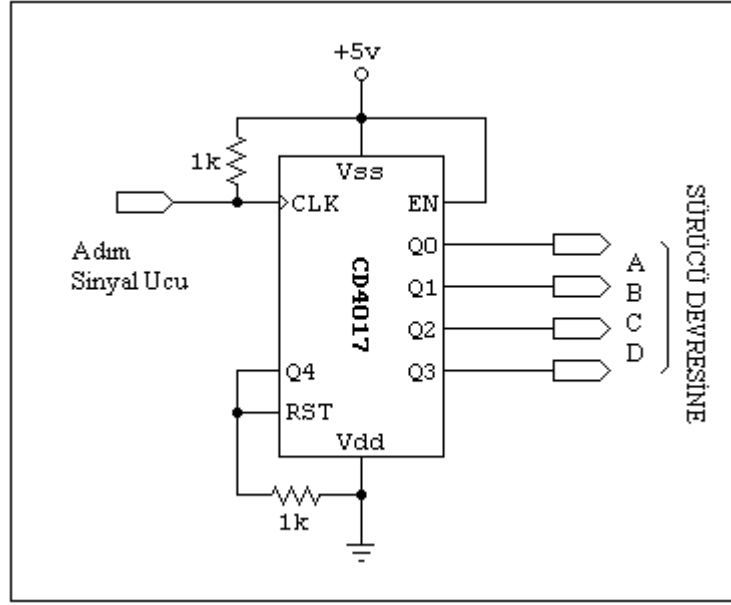


Şekil III.4 Transistorlarla tasarlanmış basit bir adım motoru sürme devresi

Yukarıda görülen sürücü devresinde A, B, C, D ile ifade edilen, kontrolör veya translötör (çevirici) devre ya da bilgisayardan özel yazılımlar aracılığıyla uyarılan uçlara gönderilen lojik bilgiler 7407 adı verilen lojik kapılar yardımıyla terslenerek transistor beyzini tetikler. Böylece adım motorunun istediği akım darbeleri elde edilmiş olur. Sistemde dikkat edilmesi gereken bu devreden önce mutlaka darbeleri sırasıyla verecek çevirici bir devre ya da özel bir bilgisayar yazılımının kullanılması gerektirir.

### III.3.1.2. Temel Çevirici Devre Örneği

Aşağıda unipolar adım motorlarını sürmede kullanılan sürücü devrenin parçası halinde olan çevirici (translator) bir devre görülmektedir [50]. Kullanılan bu devre bîpolar adım motorlarında kullanılan sürücü devreleri uyarda da kullanılabilir.

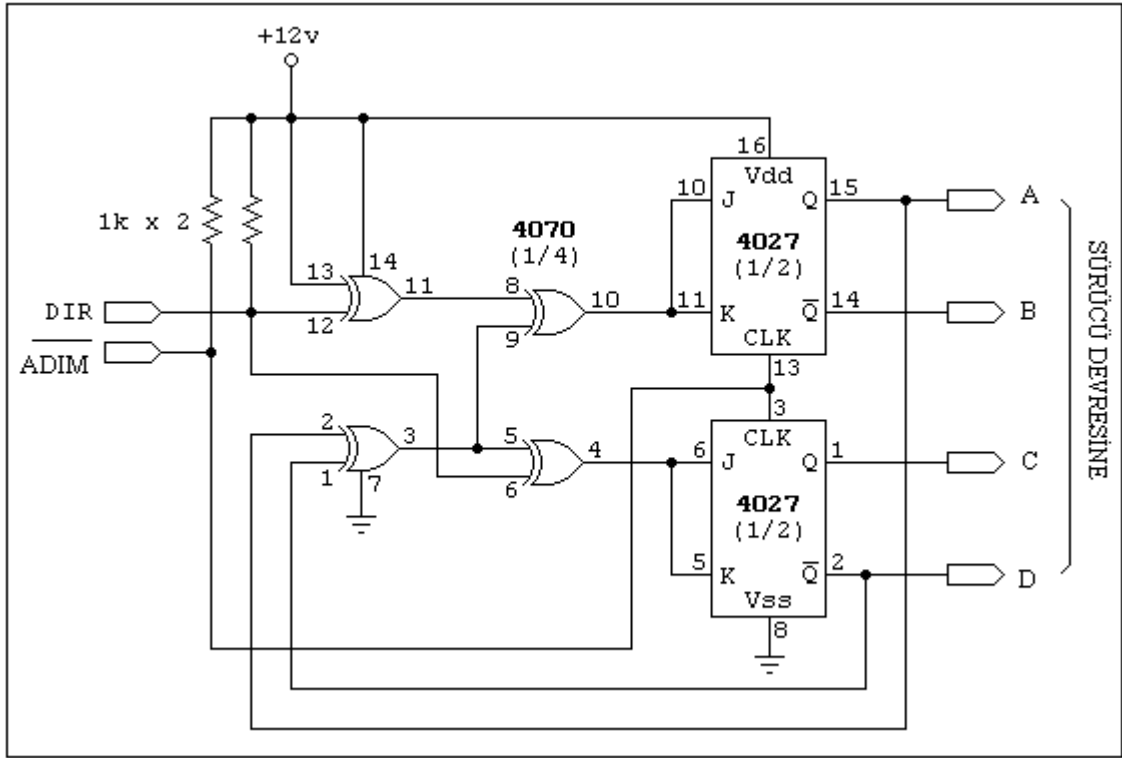


**Şekil III.5 Basit bir sürücü devre yönlendirici sistemi**

Yukarıda görülen çevirici devrede kullanılan CD 4017 entegre çipi CLK (clock) ucuna herhangi bir sinyal üretici sayesinde uygulanan her darbeye, sürücü devreye giden A, B, C ve D uçlarını 1-faz tam adım sürme metoduna uygun olacak şekilde uyararak şekil III.4’de gösterilen sürücü devredeki transistorların enerjilenmesini ve motorun tam adım ilerlemesini sağlamaktadır. Kullanılan bu devre adım motorunun yönünde herhangi bir değişiklik yapılmayacak ise birçok uygulamada kullanılabilme özelliğine sahiptir.

### III.3.1.3. Kompleks Çevirici Devreler

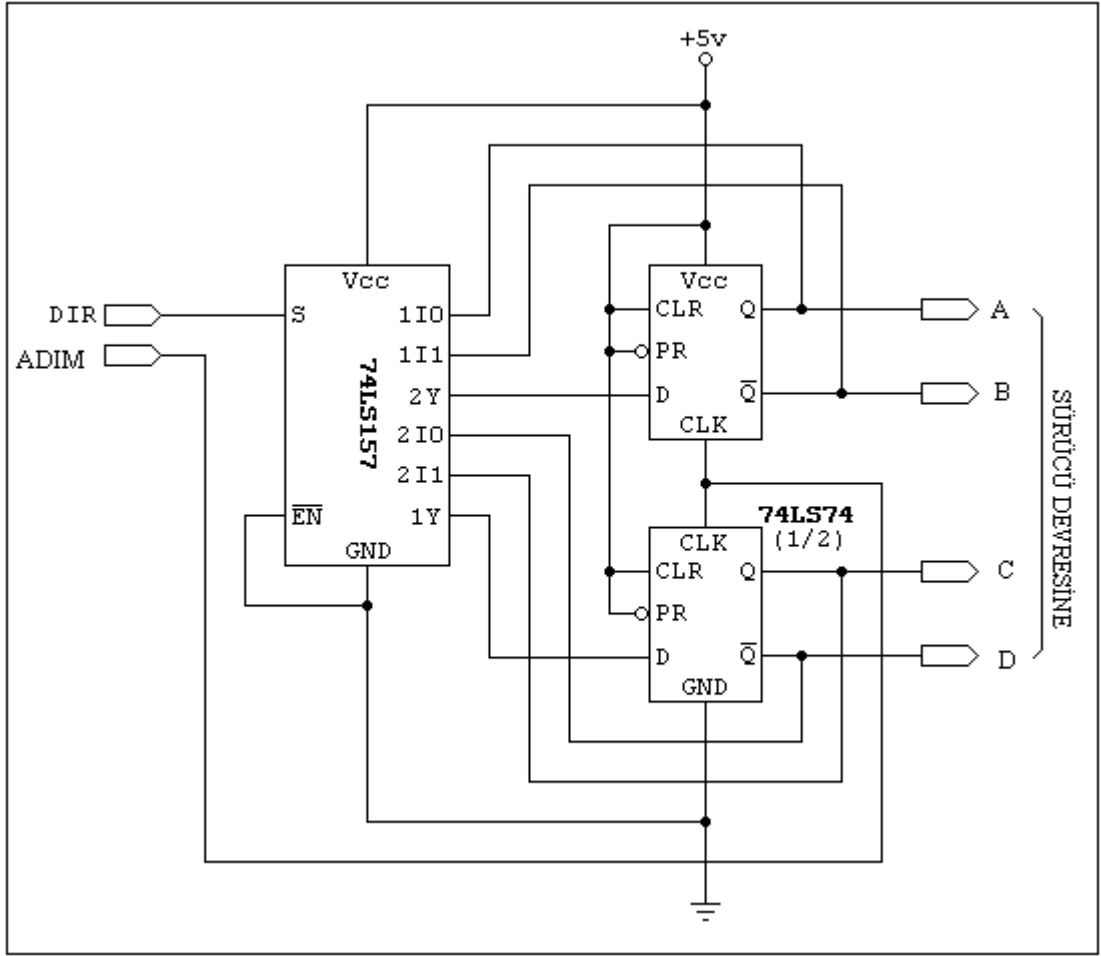
Aşağıda buna benzer fakat daha karmaşık bir çevirici devre görülmektedir [11].



Şekil III.6 Kompleks sürücü yönlendirici sistem

Şekil III.6’da CD 4017 ile tasarlanmış olan çevirici sistem yukarıdaki sistemde lojik kapılar ve flip-flop entegre çipleri ile tasarlanmıştır. Aynı şekilde “ADIM” girişinden verilen clock sinyalleri sayesinde tetiklenen devre elemanları A, B, C ve D girişlerini uyararak motorun istenilen durumda (tam adım) çalışmasını sağlayacaktır. Kullanılan bu çevirici sistem hem bipolar hem de unipolar adım motorları için kullanılabilir.

Verilen örneklerden daha farklı olarak aşağıda multiplekser (çoklayıcı) adımı verdiğimiz entegre elemanlar kullanılarak tasarlanmış iki faz sürücülü unipolar yönlendirici bir kontrol devresi görülmektedir [3].

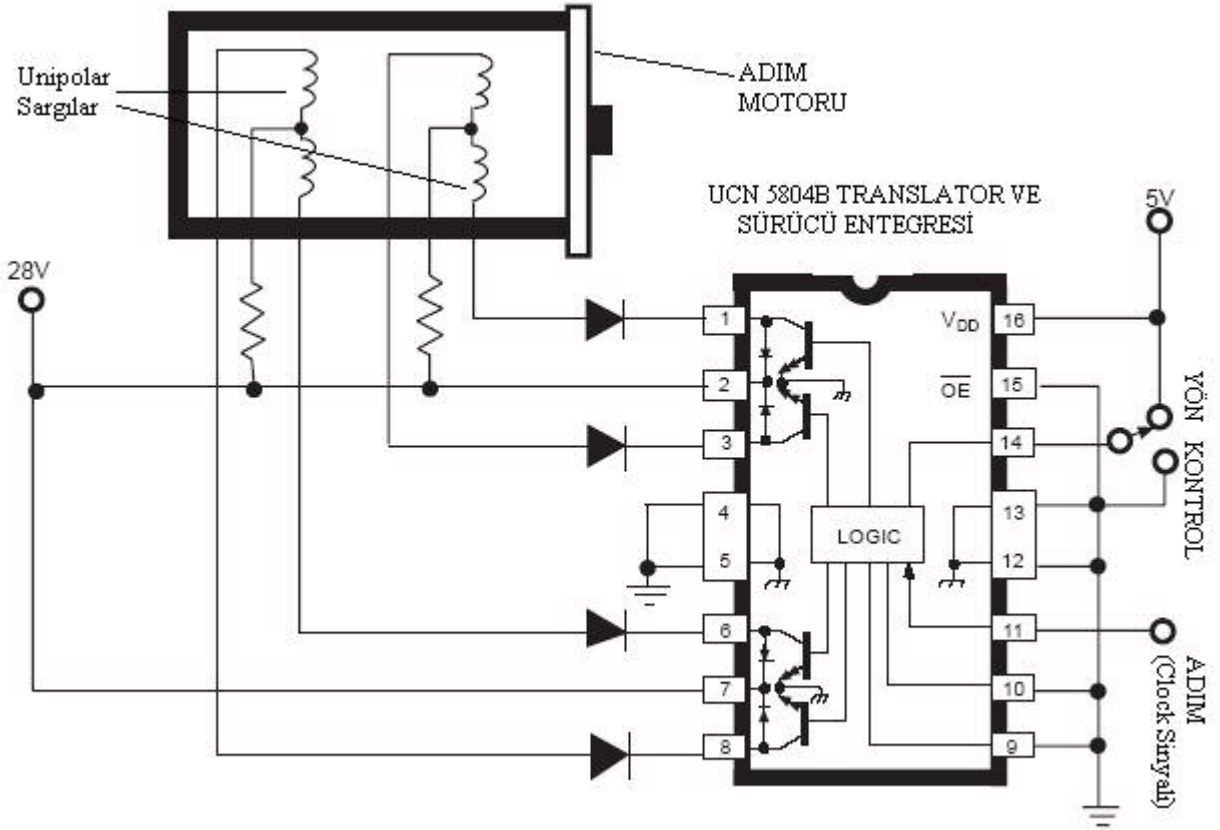


Şekil III.7 Çoklayıcı kullanan iki faz sürücü yönlendirici sistem

#### III.3.1.4. Komple Sürücü Devreler

Sonuç olarak bir adım motorunun kontrolü veya faz sırasının istenen yön ve düzende enerjilendirilmesini sağlamak için yukarıda örnek olarak verilen basit veya karmaşık çevirici sistemler ile birlikte sürme kontrol devrelerinin de kullanılması gerekmektedir.

### 1.a. UCN 5840B Entegreli Sürücü Devre

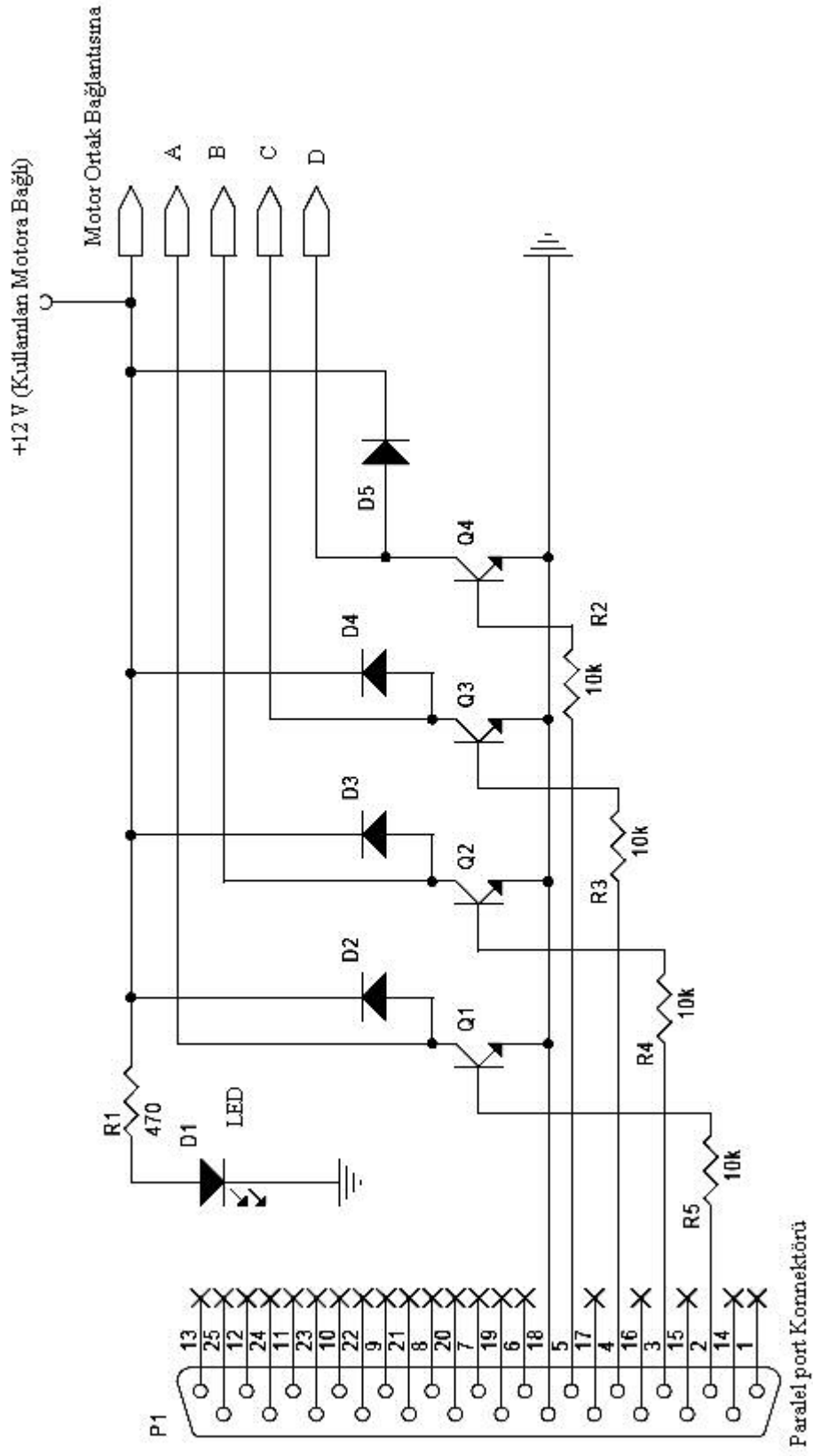


Şekil III.8 UCN 5804B entegresi kullanılarak tasarlanmış komple bir sürücü sistemi

Yukarıda UCN 5840B entegresi kullanılarak tasarlanmış sürücü sisteminde [41] “ADIM” ucuna uygulanan “clock” darbe sinyalleri sayesinde ilettime geçen transistörleri adım motorunun unipolar sarılmış sargılarını enerjilendirmekte ve motoru 2 faz tam adım sürmektedir. “YÖN KONTROL” seçimiyle motorun hem CW hem de CCW yönlerinde dönmesi kontrol edilmektedir.

### 1.b. Paralel Port Kontrollü Sürücü Devre

Adım motorları sadece bir entegre eleman veya eleman grupları ile lojik sistemler aracılığı ile kontrol edilmezler. Bilgisayar kontrollü adım motorlarını yapılan çalışmada olduğu gibi paralel ve seri portlardan kontrol etmek mümkündür. Çalışmada tasarlanan paralel port kontrollü sürücüye benzer nitelikte olan komple bir sürücü sistemi aşağıda görülmektedir.

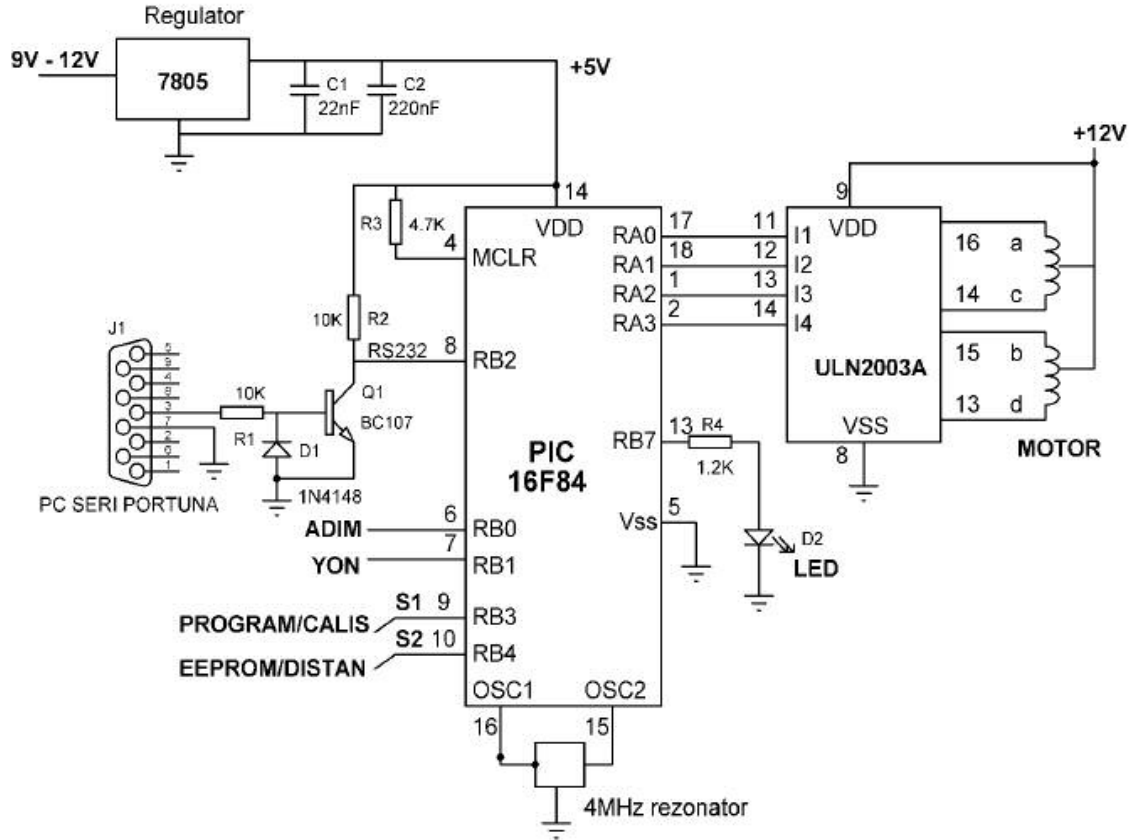


Şekil III.9 Paralel port kontrollü sürücü devresi

Yukarıda gösterilen paralel port kontrollü unipolar sürücü devresinde [57] 25 çıkışı olan portun sadece 2-3-4-5 ile 18 uçları kullanılmıştır. 18 no'lu uç toprak görevini üstlenmiş olup diğerleri sinyallerin gönderildiği uçlardır. Bu tip port kontrollü sürücü devre ile endüstriyel eleman denetim mekanizmalarında sistemin kontrolü özel programlar (Basic, C, Fortran vs.) sayesinde sağlanmaktadır. Bu bağlamda örneğin adım motoru kontrolünde motorun tam, yarım veya dalga sürüm modlarını bir düzen içerisinde uygulamak direkt programla yapılabilir bir özellik konumundadır.

### 1.c. PIC Mikrokontrolör Kullanılarak Tasarlanmış Sürücü Devre

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yarı iletken teknolojisi bunun yanında mikroşlemci tasarımı büyük bir ilerleme kaydetmiştir. Böylelikle gelişen mikroşlemci teknolojisi endüstriyel uygulamalarda bu tip programlanabilen entegrelerin kullanımını tetiklemiş özellikle motor sürücü devrelerinin tasarımında mikroşlemcilerin giderek artan bir kullanım sahasına sahip olmasını sağlamıştır. Aşağıda bu teknolojiye yararlanılarak ve PIC 16F84 kullanılarak tasarlanmış unipolar bir adım motoru sürücü devre örneği görülmektedir [1].



Şekil III.10 PIC kullanılarak tasarlanmış unipolar bir adım motoru sürme devresi

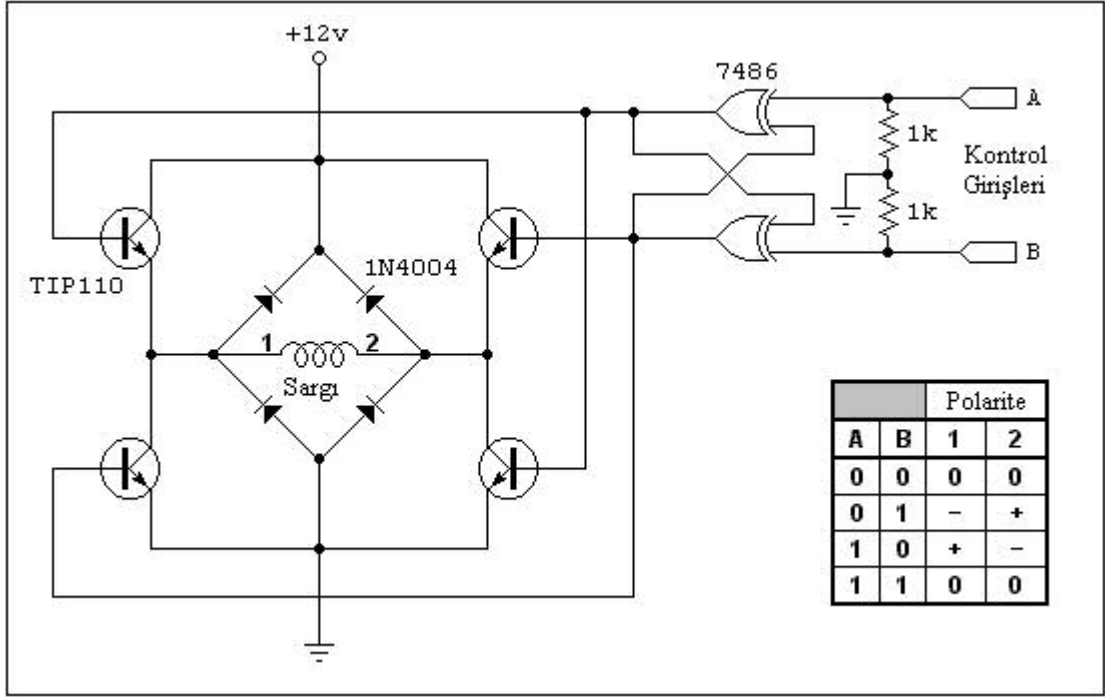
Tasarlanmış bu devrede seri porttan kontrol edilen ve programlanan PIC 16F84'ün (çevirici) ürettiği sinyaller yardımıyla tetiklenen ULN2003A (sürme entegresi) unipolar sarılmış adım motoru sargıları istenilen düzende (programdaki sıraya göre) enerjileyerek shaftın tam, yarım veya dalga mod adımlarda sürülmesini sağlamaktadır. Tasarlanan projede yukarıda gösterilen devrenin bir benzeri kullanılmıştır.

### **III.3.2. Bipolar Adım Motorları İçin Sürme ve Çevirici Devreler**

Bipolar adım motorlarını sürmek için unipolar adım motorlarına nazaran daha karmaşık sürücü devrelerine ihtiyaç vardır. Çalışma prensipleri unipolar motorlarına benzer değildir. Ayrık sargı adımı verdiğimiz sargı gruplarını barındırırlar ve sürme esnasında bu sargı gruplarının akım yönleri düzgün step eğrisi elde edebilmek için dalga, tam ve yarım adım sürüm tekniklerine göre yön değiştirilmelidir [50].

#### **III.3.2.1. H- Bridge Temel Sürme Devresi**

Temel olarak bipolar adım motorlarını sürmede H-Bridge adımı verdiğimiz devreler kullanılmaktadır [52]. Daha önceki bölümlerde açıklandığı üzere bipolar adım motorları 4 adet sargı ucuna sahiptir. Bu çift kutuplu sargıların ikişer gruplandığı ve her iki ucun bir sargı grubunu oluşturduğu anlamını taşımaktadır. Bahsedilen sürme tekniğinde temel olarak her sargı kendi H köprüsüne (H-Bridge) sahiptir ve basit olarak şekil III.15'te gösterildiği gibi şekillendirilebilir [50].

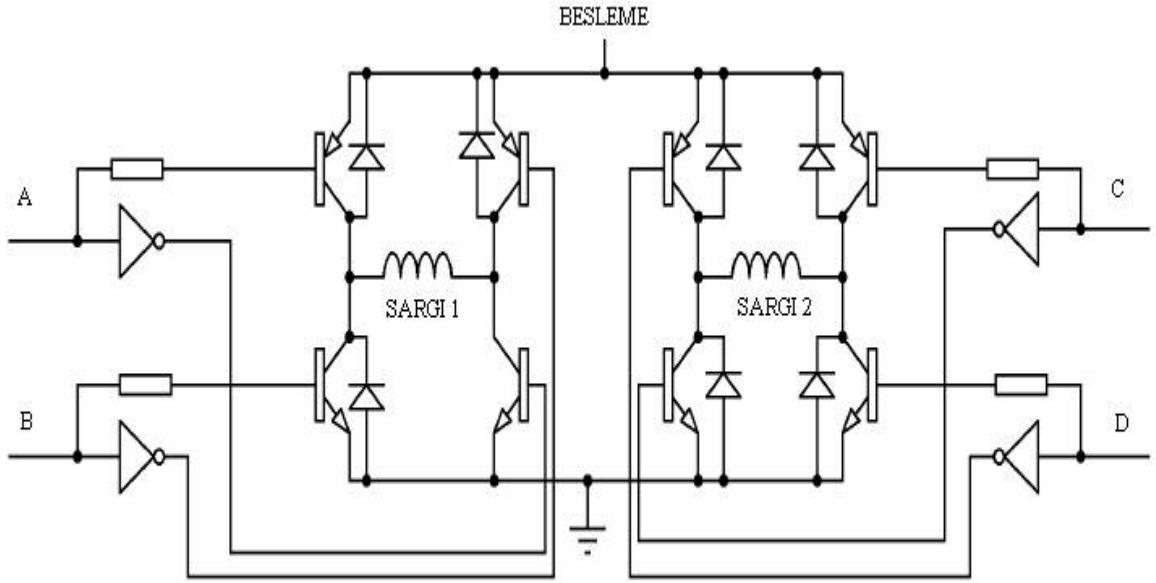


Şekil III.11 Sadece bir sargı grubu için H-Bridge temel sürme devresi

Bu tip devrelerde amaç istenilen sürme tekniğine göre (tam, dalga, yarım adım) akım yönünü değiştirmektir. Yukarıda sadece bir sargı grubu için verilen sürme devresinde çevirici devreden gelen sinyaller; kontrol girişlerini uyararak 1, 2 şeklinde verilen sargı uçlarındaki akım yönlerini sinyal tipine göre (0 veya 1) değiştirmekte ve bahsi geçen bipolar adım motoru için gerekli sürme modunu sağlamaktadır.

### III.3.2.2. Transistorlu H- Bridge Sürme Devresi

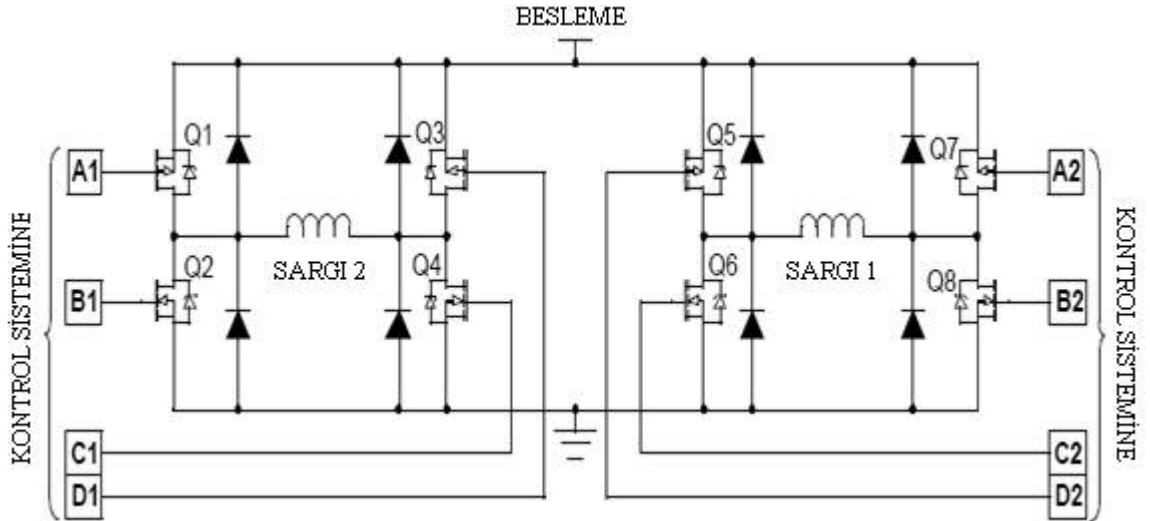
H-Bridge temel sürme devresinde görüldüğü gibi tetikleme elemanı olarak transistörler kullanılmaktadır. İki sargı grubu için transistörlerle tasarlanmış H-Bridge sürme devresi aşağıda gösterilmiştir. Bu devrede çevirici sistemden gönderilen lojik sinyaller A, B, C ve D ile gösterilen bipolar sargı uçlarını uyararak motor sargı (SARGI 1 ve SARGI 2) akım yönlerini değiştirmekte ve yine gönderilen lojik sinyaller sayesinde motorun tam, yarım ve dalga modunda çalışmasını sağlamaktadır.



Şekil III.12 Transistörlerle tasarlanmış bipolar sürme devresi

### III.3.2.1. Mosfetli H- Bridge Sürme Devresi

Motor kontrol veya sürücü devreleri tasarlanırken her zaman transistörler kullanılmamaktadır. Yarı-iletken teknolojisinin gelişmesi “MOSFET” adını verdiğimiz hızlı tetikleme elemanının tasarlanmasını hazırlamış ve bu entegre çipinin özellikle yüksek hız gerektiren sistemlerde kullanılmasını sağlamıştır. Aşağıda bu elemandan yararlanılarak tasarlanmış bipolar bir sürücü devresi görülmektedir [43].



Şekil III.13 Mosfetlerle tasarlanmış bipolar sürücü devresi

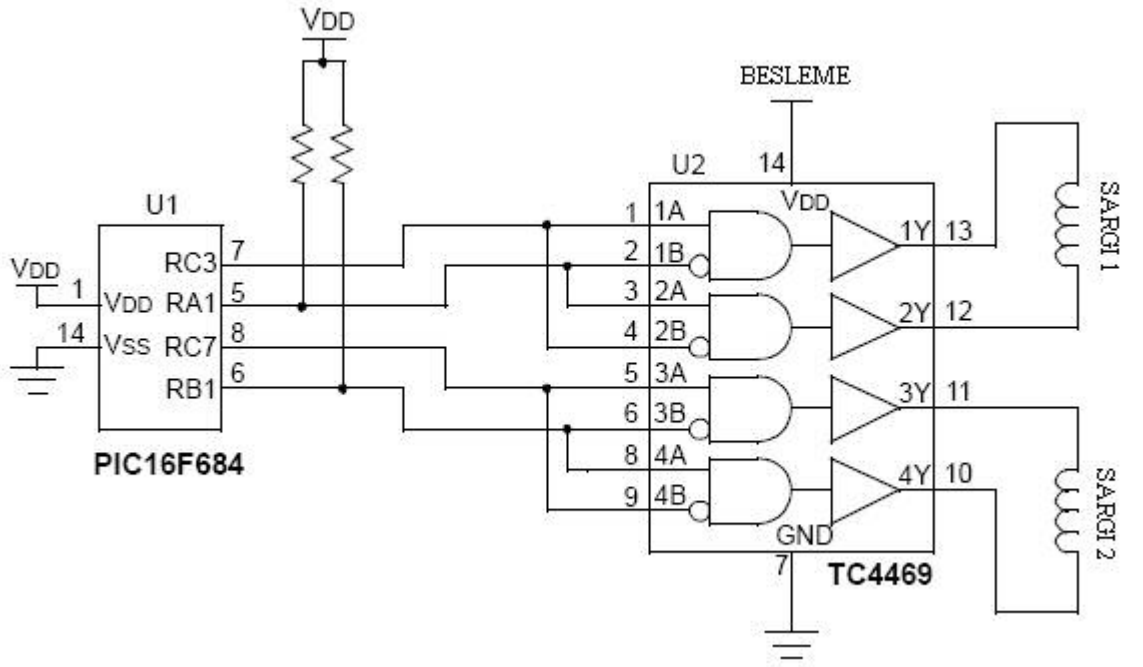
### III.3.2.4. Çevirici Devreler

Temel olarak unipolar adım motorları için kullanılan hemen hemen tüm çevirici (translator) devreler bipolar adım motorları için de kullanılabilir. Bu yüzden bu bölümde çevirici (translator) devreler üzerinde durulmayacaktır.

### III.3.2.5. Komple Sürücü Devreler

#### 5.a. Pic 16F684 ile Tasarlanmış Sürücü Devre

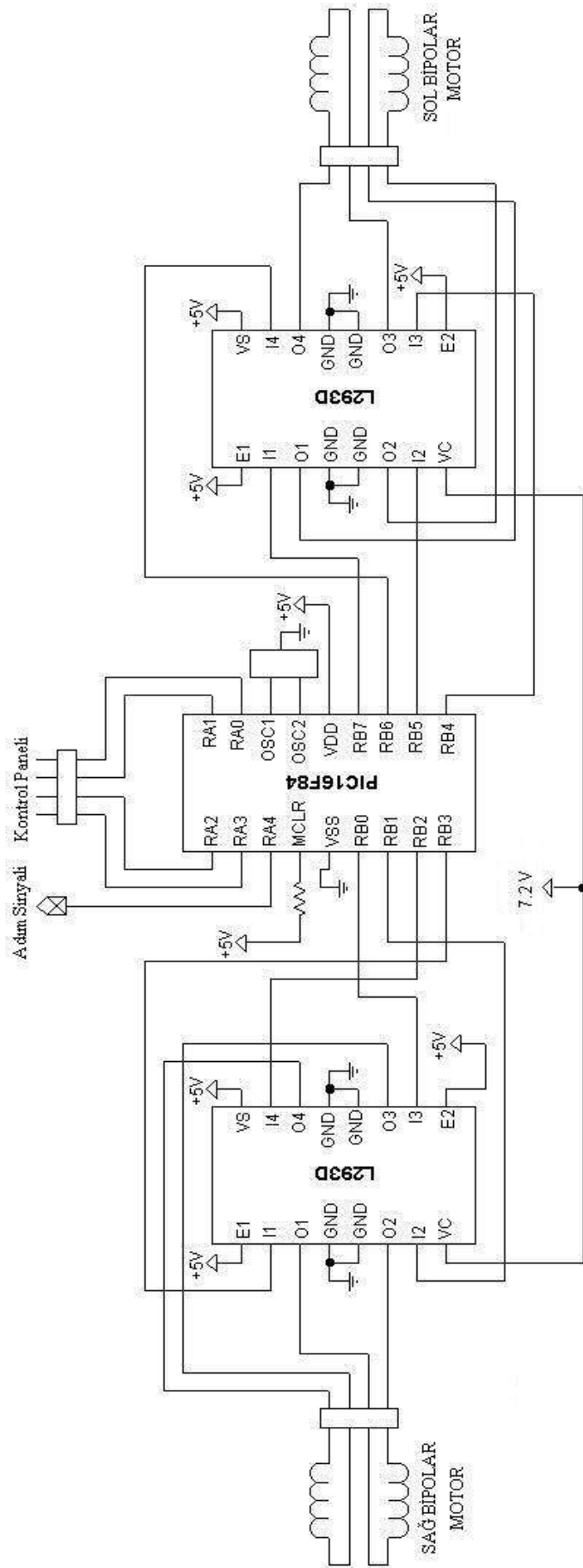
PIC tümleşik devre elemanının gelişmesi bu kontrol cihazının unipolar adım motorlarında olduğu gibi bipolar adım motorlarında da kullanılmasını sağlamıştır. Şekil III.14'te PIC 16F684 ile tasarlanmış komple bipolar bir sürücü devresi görülmektedir [41].



Şekil III.14 PIC 16F684 ve TC4469 kullanılarak tasarlanmış bipolar sürücü devre

#### 5.b. Çift Yönlü (Dual) Bipolar Sürücü Devresi

PIC mikrokontrolör (16F84) kullanılarak geliştirilmiş şekil III.14'teki devrede [53] L293D H-köprü sürücü entegreleriyle bipolar adım motorunun kontrolü amaçlanmıştır. Devre yardımıyla L239D entegrelerinin yerine ULN2003A kullanarak unipolar adım motorlarının kontrolünü gerçekleştirmekte mümkündür.



Şekil III.15 PIC mikroişlemci ile iki bipolar motorun kontrolü (Dual Sürücü)

Devrenin çalışması karmaşık görünmesine rağmen gayet basit olup sağdaki motorun çalışması için PIC'in RA1 ile RA0 bacaklarına ve soldaki motorun çalışması için ise RA2 ile RA3 bacaklarına "1-0" kontrol sinyallerini göndermek yeterlidir. Bu arada RA4 bacağına "clock" sinyali göndermeyi unutmamak gerekmektedir.

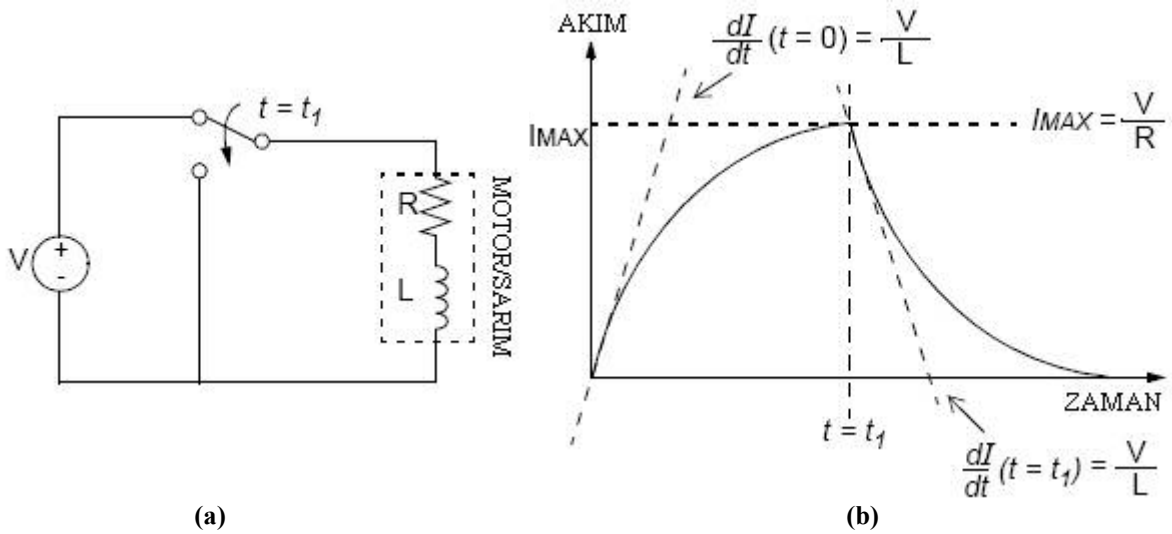
Unipolar ve bipolar adım motorları için kullanılan farklı çevirici ve sürücü sistemleri için ayrıntılı bilgi EK A [59]'da verilmiştir.

### III.3.3. Akım Sınırlandırması, Kıyıcı (Chopper) Devresi ve Kıyıcı Kontrolü

#### III.3.3.1. Akım Sınırlandırması (Current Limiting)

Adım motorları çoğunlukla normal çalışma gerilimlerinin üzerinde bir gerilim değeri ile çalışırlar [43]. Bu özellik veya durum küçük adım motorları için geçerli olmamasına rağmen yüksek döndürme momentine sahip motorlar için (motorun tam potansiyele ulaşması için) önemlidir. Motora uygulanan gerilimin artması motor sargılarında dolaşan akımın artmasına sebep olur. Sargılardaki akımın artışı ise motor için yüksek tork ve yüksek hız karakteristiği anlamı taşımaktadır.

Adım motorlarının yüksek gerilimde çalışmasının performansı nasıl etkilendiğini anlayabilmek için motor sargılarındaki akımın davranışının incelenmesi gerekmektedir. Adım motorundaki bir sarım ve akım-zaman ilişkisi aşağıdaki grafiklerde görüldüğü gibi karakterize edilebilir.



Şekil III.16 Akım sınırlandırmasına ait gösterimler: (a) Direnç-indüktans sarım modeli, (b) Sargı akımının zamana göre değişimi

### III.3.3.2. Kıyıcı (Chopper) Kontrolü

Kıyıcı kontrolüne yüksek potansiyel farka sahip bir gerilim kaynağı kullanıldığında adım motorunun sargılarında dolaşan akımı sınırlamak amacıyla başvurulmaktadır. Bu yöntem özellikle mikrokontrolör kullanılan devrelerde tercih edilmektedir. Çünkü mikrokontrolörler ekstra beslemeye gerek duyan elemanlardır. Kıyıcı kontrolü kullanmadaki asıl amaç; motor sargılarındaki akım  $I_{MAX}$  (maksimum akım) düzeyine geldiğinde gerilimi kesmektir. Bunun için nominal akım ve gerilim değerine eşit ortalama akım ve gerilim değerleri üretmek gerekmektedir. Bu değerler ise PWM (pulse width modulation-darbe genişlik modülasyonu) kullanılarak oluşturulabilir [41]. PWM dalga şeklinin iş zamanı (duty cycle) aşağıdaki eşitlik sayesinde hesaplanabilir;

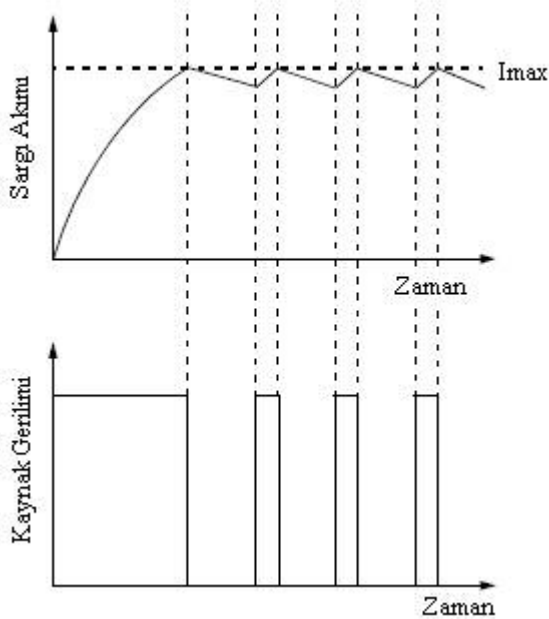
$$D = V_{NOMINAL} / V_{SUPPLY} \quad \text{III.1}$$

Burada;

$$V_{NOMINAL} = I_{MAX} / r$$

D= iş zamanı (duty cycle)

Verilen  $I_{MAX}$  değeri motora ait katalog değerlerinden elde edilmektedir. Uygulanan gerilim ve sargı akımının karşılaştırılmasının grafiksel olarak gösterimi aşağıda verilmiştir.

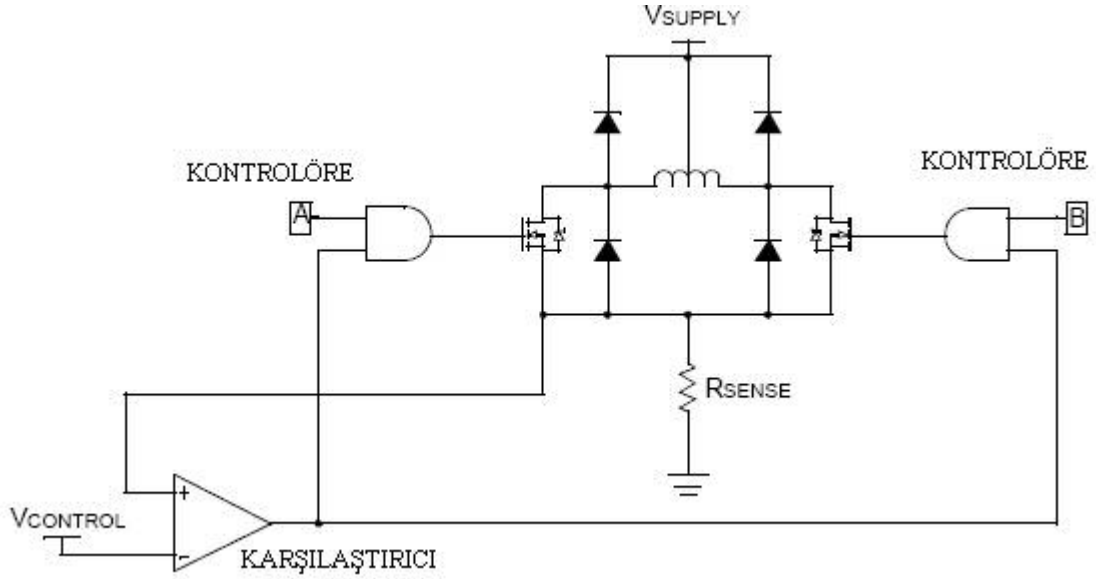


Şekil III.17 Kıyıcı kontrolü için akım ve kaynak gerilimi karşılaştırılması

Grafikte görüldüğü üzere sargı akımının maksimum olduğu durumlarda kıyıcı devre yardımıyla kaynak gerilimi kesilmektedir.

Sargı akımı tekrar nominal değerine ulaştığında kaynak gerilimi sisteme gerekli enerjiyi aktarabilmek için tekrar devreye girmekte ve sargı akımı maksimum olunca yine devreden çıkmaktadır.

Bu işlemi gerçekleştiren ve mikroişlemci kontrollü bipolar adım motoru sürücü devrelerinde kullanılan kıyıcı devre örneği aşağıda verilmiştir [41].



Şekil III.18 Bipolar adım motorları için kıyıcı (chopper) devresi

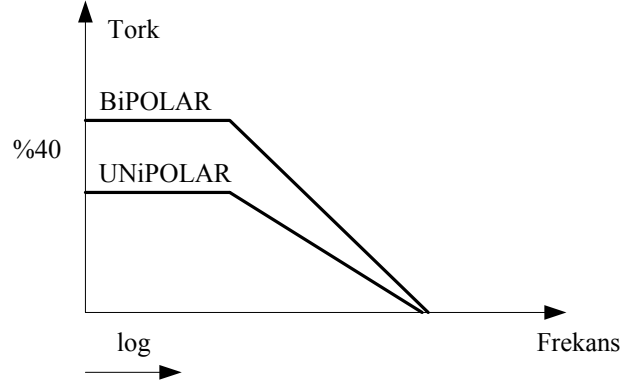
## III.4. ADIM MOTORLARININ PERFORMANS AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

### III.4.1. Tork Özellikleri (Unipolar-Bipolar)

Adım motorlarının torku (döndürme momenti) stator sargılarındaki manyetik alan yoğunluğu ile orantılıdır [42]. Bu yoğunluk değeri de sargı sayısının veya akımın artırılması ile artabilir.

Sargılarda herhangi bir sebepten dolayı akımın yükselmesi tehlike sebebi olup istenmeyen bir durumdur. Çünkü zamanla sargılar ısınarak sıcaklığın artmasına sebep olacaktır (sargılarda meydana gelen güç kaybı). Bu durum bipolar devrelerin unipolar devrelere göre üstünlüğü anlamını taşımaktadır. Çünkü bipolar sargı sistemi telin çift yönlü enerjilendirilmesinden dolayı sargının sadece yarı direncini gösterirler. Bu durum da sargı akımını hemen hemen  $\sqrt{2}$  kadar arttıracak ve döndürme momentinin %40 artmasına neden olacaktır.

Aşağıdaki grafik bu farkı tork-frekans eğrisi üzerinde (frekans logaritmik olarak değişiyor) açıkça göstermektedir.



Şekil III.19 Bipolar ve unipolar adım motorlarının tork özelliği açısından farkı

### III.4.2. Yarım ve Tam Adım Çalışma Durumları

Adım motorlarını yarım adımda kullanmanın yararları vardır. Bu faktörler 2 grupta toplanabilir. Basit anlamda  $3.6^\circ$ lik adım açısına sahip bir adım motoru bir tam turda yarım adım sürüldüğünde  $1.8^\circ$ lik bir hassasiyete sahip olur. Bu da bir tam dönüşte 200 adım demektir ve motorun adım hassasiyeti otomatik olarak artmıştır. Ayrıca yarım adımda sargılar arası atlama mesafesi azaldığı için tınlama (rezonans) olayı da tam adım sürmeye göre daha düzgün bir eğri biçimindedir. Fakat tam adım sürüş tekniğindeki bu dezavantaj özel rezonans devreleri (özellikle chopping sürme devreleri) ile giderilebilir [42].

Bunun yanında yarım adım sürüş tekniği tam adım sürmede olduğu gibi bir uyarma pozisyonuna sahip değildir. Yarım adım sürmede motor sargıları ikişer defa uyarılır. Bu durum sargıların ısınması anlamına gelmekte ve bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Farklı olarak yarım adım tork karakteristiğinde motor tam adımda elde ettiğimiz döndürme momenti değerinin yarısına sahiptir.

### III.5. SONUÇ

Bu bölümde endüstride sık kullanma alanına sahip ve projemizde kontrolü amaçlanan adım motorları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Adım motorlarının çalıştırılmaları (sürülmeleri), sürme teknikleri, bipolar ve unipolar adım motorları ve özellikleri ile bu motorların performans açısından karşılaştırılmaları yapılmıştır. Sonuç olarak unipolar adım motorlarının bipolara göre daha fazla kullanım alanı bulmalarına sebep olarak yapısal özellikleri ile sürülme kolaylıkları gösterilebilir.

# BÖLÜM IV

## HİBRİT ADIM MOTORLARI

### IV.1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi insanoğlunu günden güne farklı yapı ve donanımlarla uğraşmaya sevk etmiştir. Bu durum çok yüksek güçlü anahtarlama transistörlerin ve devrelerinin yapılabilme olanağı da beraberinde getirmiş bu gelişmeler sonrası adım motoru daha etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. 1930'lu yılların ardından adım motoru alanındaki gelişmeler; 1960'lı yıllarda sabit mıknatıslı ve değişken relüktans motorlarının düzgün bir yapı içersinde birleştirilerek yeni bir motor türünün ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Her bir dönüş için rotor adım sayısını yükseltmenin en genel ve uygun yolu rotor ve stator kutup sayılarını arttırmaktır [15]. Referans [34]'te Kuo her dönüş için adımlar ile rotor ve stator kutupları arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Stator ve rotor kutup sayılarının arttırılması ya da sabit mıknatıslı motorlar ile değişken relüktanslı motorların birleşimiyle yapılandırılmış adım motorları “*hibrit adım motorları (HSM)*” olarak adlandırılmaktadır.

Servo motorlarla sürekli olarak karşılaştırılmalarına rağmen HSM daha düzgün bir pozisyon ve hız doğruluğu sağlamaktadır. Sabit mıknatıslı veya değişken relüktanslı motorlarda ortaya çıkan olumsuzluklar hibritlerin düzgün tork karakteristikleri ve küçük adım açıları sayesinde giderilmiştir. Ayrıca hibrit adım motorların konstrüksiyonunda kullanılan AlNiCo (Alüminyum-Nikel-Kobalt) türü materyallerin ucuzluğu, düzgün manyetik ve sıcaklık karakteristikleri bu motorların diğer önemli özelliklerindedir [5]. Bu ve buna benzer birçok özellik üreticileri ve

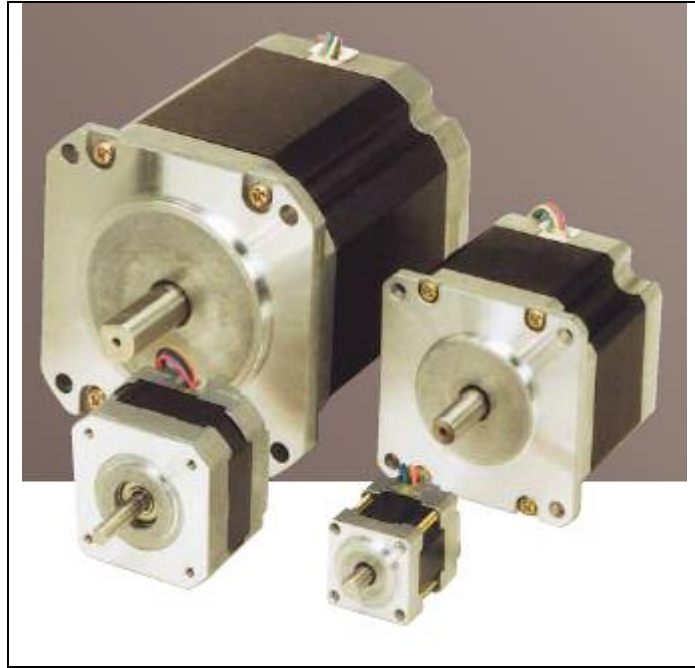
motor endüstrisini yakından ilgilendiren çoğu firmayı kısa zamanda hibrit tip motorlara yönlendirmiştir.

## IV.2. YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Hibrit adım motorları yapı bakımından değişik kategorilerde incelenebilir. Fakat burada stator ve rotor yapısı ile sarım şekilleri üzerinde durulacaktır.

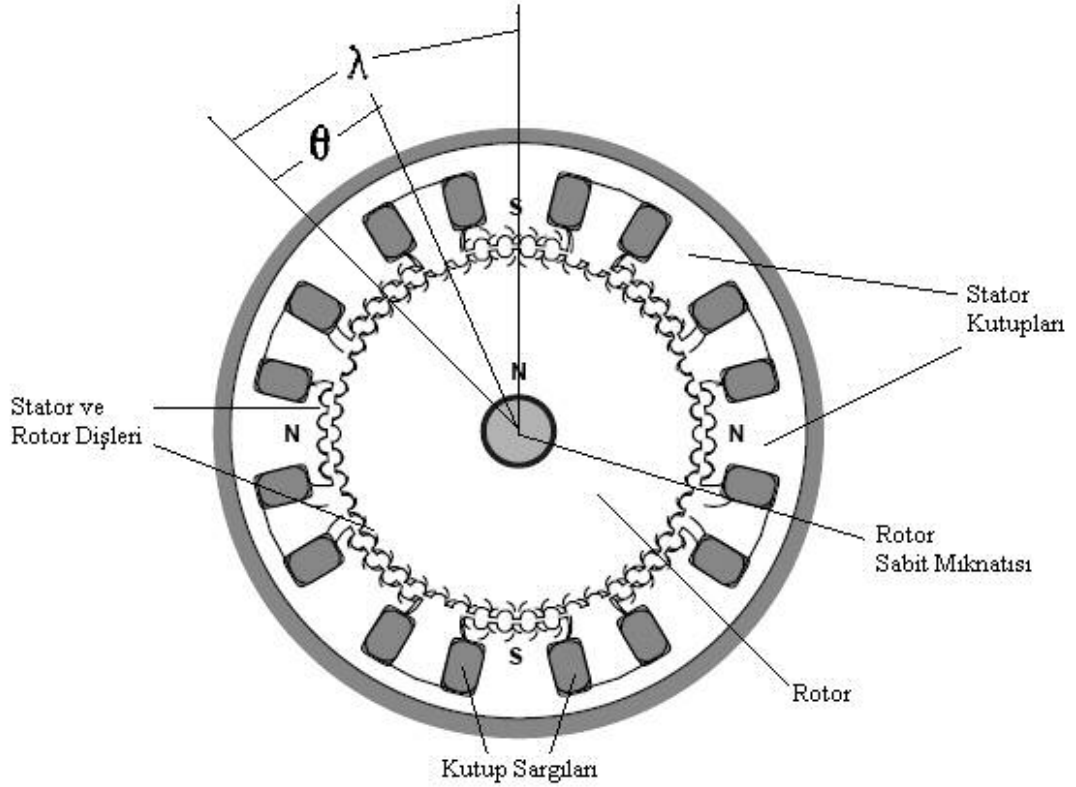
### IV.2.1. Genel Özellikleri

Hibrit adım motorları (HSM) ; sabit mıknatıslı (PM) ve değişken relüktanslı (VR) adım motorlarının birleştirilip geliştirilmesiyle ortaya çıkmış bir motor türüdür. HSM'ler kullanılacakları sistem ve yük özelliklerine bağlı olarak farklı yapılarda imal edilebilirler. Aşağıda farklı hibrit motor yapıları görülmektedir.



Şekil IV.1 Farklı hibrit adım motoru çeşitleri

Bu tip motorlar, aynı mil üzerine monte edilmiş birbirinin aynısı olan iki yumuşak demir endüviye sahiptir. Hibrit adım motorları yapısal olarak iki kısımdan oluşmaktadır [45, 46]. Aşağıda tipik bir hibrit adım motorunun kesitsel görünüşü verilmiştir [8].

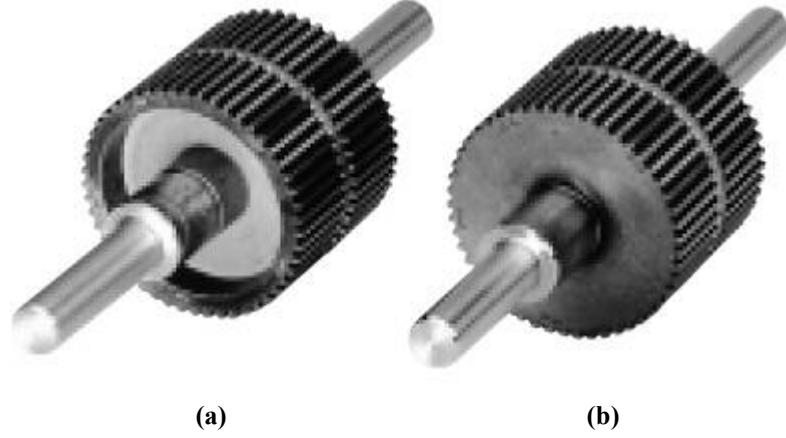


**Şekil IV.2. Hibrit adım motorlarında stator ve rotor yapıları**

Yukarıda 8 (4-fazlı) stator kutbuna (40 stator dişli) ve 50 rotor dişine sahip bir hibrit adım motorunun kesit görünüşü verilmiştir. Burada ifade edilen “ $\theta$ ” yarım adım modunda stator kutupları arasındaki toplam adım açısını, “ $\lambda$ ” ise tam adım modunda stator kutupları arasındaki toplam adım açısını vermektedir.

### **IV.2.2. Rotor Yapıları**

Hibrit adım motorlarında rotor sabit mıknatıslı olup çeşit dişli sayısında yapılmaktadır [3]. Diş yapıları VR adım motorlarında olduğu gibidir ve her dişli üzerinde çeşitli sayıda çıkıntılar bulunmaktadır. Bu çıkıntıların arası diskler yardımı ile yalıtılmıştır. Aşağıda farklı özelliklerdeki rotor yapıları görülmektedir.



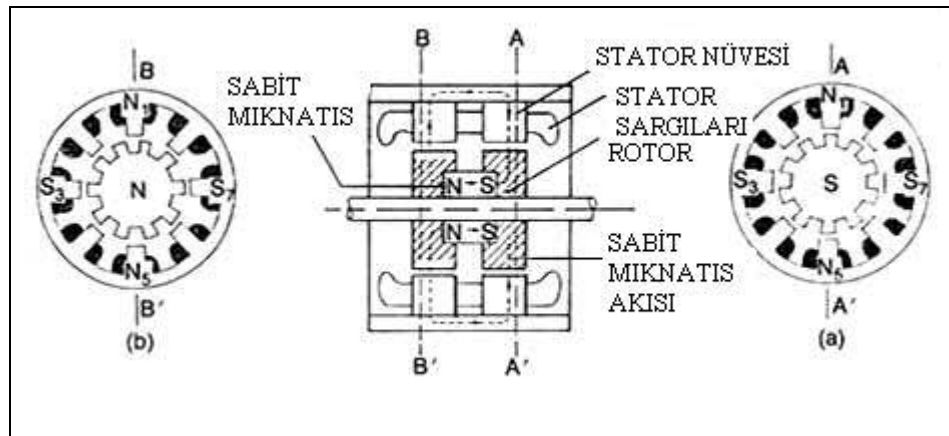
Şekil IV.3. Hibrit adım motorunun tasarımında kullanılan farklı rotor yapıları: (a) düşük ataletli rotor, (b) normal rotor

Yukarıda verilen düşük ataletli rotor yapısı POWERPACK firması tarafından geliştirilmiştir ve düşük ataletli yüksek hızlı sistemlerde tercih edilmektedir. Normal rotor yapısı ise maksimum tork eğrisi elde edebilmek için kullanılmaktadır [47].

### IV.2.3. Stator Yapıları

Hibrit adım motorlarında stator, çok parçalı değişken relüktans biçimindedir. Stator kutupları genel olarak 8 tanedir. Her kutup ise 2 ila 8 arasında değişen diş sayısına sahiptir. Stator kutupları üzerine sarılan sargılar farklı kutupların elde edilmesi mümkündür [3].

Şekil IV.4'te hibrit adım motor yapısında kullanılan stator ve rotorun açık görünüşü verilmiştir [49].



Şekil IV.4. Hibrit adım motorunun açık rotor ve stator yapısı

Hibrit adım motorlarının asıl kullanım amacı; adım açısını mümkün olduğu kadar küçük tutarak ( $0,9^\circ$  ve  $1,8^\circ$  gibi) daha hassas pozisyon kontrolleri sağlayabilmektedir. Bunun yanında rotorunda sabit mıknatıs kullanıldığı için PM adım motorlarına, değişken hava aralığı özellikleri ile VR adım motorlarına benzer özellik gösterirler ve bu iki tip adım motorunun geliştirilmiş bir yapısı olarak göz önünde bulundurulurlar. Bu tip motorlar özellikle bipolar sürücü devreleriyle sürüldüklerinde yüksek moment üretme yeteneğine sahiptirler.

#### **IV.2.4. Farklı Yapıların Motor Performansı Üzerindeki Etkisi**

Motor donanımlarının birleştirilme veya konstrüksiyon metotları; motorun çalışması, güvenilirliği ve çalışma ömrü üzerinde birçok etkiye sahiptir. Bir hibrit adım motorunun özellikle rotor performansı; yapıda kullanılan ince levhaların çeşit ve kalitesi, dişlerinin keskinliği ve manyetik materyaller gibi donanımlardan oldukça çok etkilenmektedir [61].

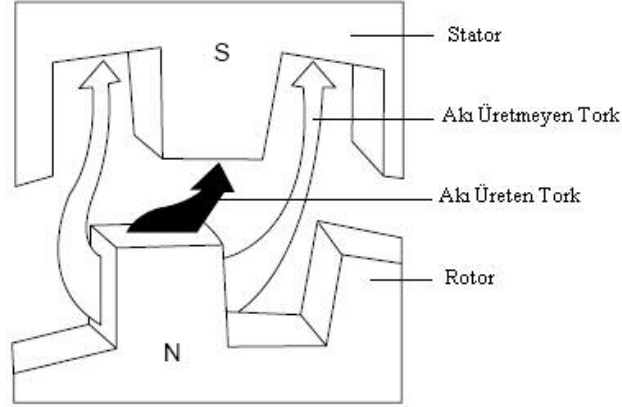
**Laminasyonlar (İnce Levhalar) :** Rotor yapımında kullanılan demet levhalar sayıları 80'e ulaşana dek imal edilebilirler. Bu laminasyonlar silikon çelikten imal edilmiştir ve sayılarının artımı rotor uzunluğunu arttıracığından üretilen moment değeri de buna bağlı olarak değişecektir. Ayrıca levhaları yalıtın tabakanın oldukça ince olması indükleme akımlarının azalmasına dolayısıyla güç kaybının azalmasına ve sonuçta daha iyi bir performans elde edilmesine neden olacaktır.

**Rotor Dişleri:** Rotor üzerinde bulunan dişler ile statordaki dişler tam olarak uyuşmalıdır. Yani karşı karşıya geldiklerinde aralarında genişlik bakımında bir fark bulunmamalıdır. Köşeleri ise maksimum çıkış torku elde edebilmek için oldukça keskin olmalıdır.

**Mıknatıslar:** Hibrit adım motorları için kullanılan her manyetik malzeme kalitesi, avantajı ve dezavantajına göre seçilmek zorundadır. Uygulama gereksinimleri hangi malzemenin hangi iş için kullanılabileceğini ortaya koyacaktır. AlNiCo mıknatısları sıcaklık değişimlerinde kararlı bir güç özelliği göstermektedir, fakat sökülüp tekrar yerine takılmaları söz konusu olunca demanyetize olabilirler. Buna alternatif olarak birçok hibrit adım motorunun konstrüksiyonunda neodim-demir-bor mıknatısı kullanılmaktadır. Bu mıknatıslar AlNiCo türü mıknatıslardan daha güçlüdür fakat geniş sıcaklık aralığında güç özellikleri değişme gösterebilir.

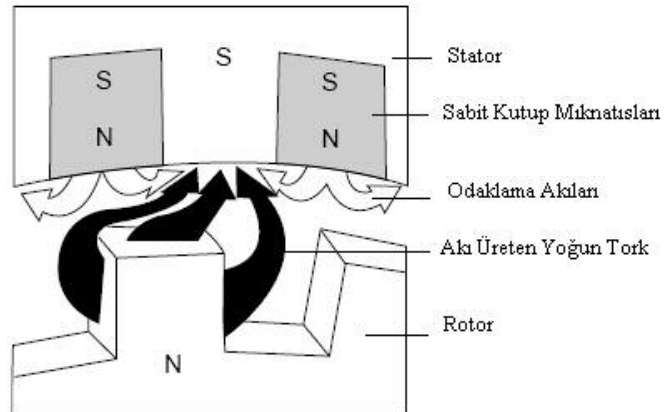
#### IV.2.5. Yapıya Bağlı Olarak Akı Yollarının Değişimi

Bazı durumlarda stator ve rotor yapılarının farklı biçimlerde yapılması; meydana gelen farklı akı yollarının ürettiği torku da etkilemektedir. Bu ilginç durum Sigmax Teknolojisi tarafından üretilmiş iki farklı bir stator yapısı üzerinde açıklanmaya çalışılacaktır.



Şekil IV.5 Standart Hibrit

Yukarıda verilen yapı; normal hibrit adım motor özelliklerine sahiptir. Normal çalışmada motorun ürettiği akılarda “sızıntı akısı” veya kaçak akı dediğimiz durumlar meydana gelmektedir. Fakat Sigmax Hibrit Teknolojisi [47] tarafından kutuplar arasında sabit mıknatıs kullanılmak suretiyle üretilen stator yapısı ile bu durum ortadan kaldırılmakta, sızıntı akıları minimum seviyeye indirilmekte, yoğunlaşmış bir akı yolu oluşturulmakta ve tork üretimi optimize edilmektedir (Şekil IV.6).



Şekil IV.6 Özel stator yapısı

### IV.3. ÇALIŞMA KARAKTERİSTİKLERİ

Bilindiği gibi daha önceki bölümlerde adım motor karakteristikleri üzerinde detaylı bir biçimde durulmuştu. O yüzden bu kısımda sadece hibrit adım motorlarını diğer adım motor türlerinden ayıran başlıca karakteristikler üzerinde durulacaktır.

#### IV.3.1. Açısal Pozisyon

Konvansiyonel elektrik motorları sürekli dönerler fakat adım motorları farklı açısal durumlarda veya adımlarda dönme yeteneklerine sahiptir [61]. Bir tek dönüş motorun diş sayısı, motor konstrüksiyonu, uygulanan kontrol tekniğine bağlı olarak çok özel adım sayılarında hareket ettiğini gösterir. Bu ölçüm adım açısı veya adım çözünürlüğü şeklinde tanımlanabilir. Hibrit adım motorları için özellikli hale gelmiş en genel adım çözünürlüğü  $1,8^\circ/\text{adım}$  veya  $200 \text{ adım/dönüş}$ 'tür.

- Devir başına adım olarak tanımlanan SPR (step per rotation) aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$SPR = \text{adım dizisi} / \text{rotor diş sayısı} \quad (IV.1)$$

$$SPR = \text{Devir başına adım}$$

$$\text{Adım dizisi} = \text{Hibrit adım motorunun faz sayısına göre uygulanan uyarım sayısı}$$

$$\text{Rotor diş sayısı} = \text{Hibrit adım motorunun rotorunda bulunan diş sayıları toplamı}$$

- Adım (step) açısı olarak tanımlanan SA (step angle) aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$SA = 360 / SPR \quad (IV.2)$$

$$SA = \text{Adım açısı}$$

$$SPR = \text{Devir başına adım}$$

#### IV.3.2. Tork ve Hız

Motor tasarımıyla ilgilenen veya uğraşan kuruluş ve kişiler tasarım yaparken en baştan çalışma torku, çekme torku, itme torku, maksimum hız ve kesim hızı gibi büyüklükleri göz önünde bulundururlar [61].

- Hibrit adım motorları için motor torku; rotor bir pozisyondan diğerine geçerken yarım yol almışken (bir steplik devrimin yarısı) minimum değerindedir. Bu minimum değer “çalışma torku” (running torque) olarak adlandırılır. Çalışma torku bazen de yüksek adımlı hızlarda “çekme torku” (pull-out torque) ifadesi altında incelenebilir.
- Bazı hibrit adım motoru kataloglarında “pull-in torque” adı verilen ikinci bir tork değerinden bahsedilmektedir. Bu tork değeri ise; motorun durağan bir yükü yenerek onu senkron hıza ulaştırabilecek maksimum sürtünme torku olarak ifade edilmektedir.
- Maksimum hız ifadesi mevcut tork değerinin “0” (sıfır)’a eşit olduğu hız değeri olarak tanımlanır. Motorun maksimum hızda uzun süre dönmesi yani tork değerinin sıfır olması zamanla rezonans problemlerini de beraberinde getirecektir.

Verilen ifadelere bağlı kalarak bir hibrit adım motorunun rotorunda meydana gelen dakika başına hız (rotation per minute) değerinin hesaplanmasında şu formül kullanılabilir [3]:

$$v = 60.f / SPR \quad (IV.3)$$

$v$  = Dakika başına devirdeki rotor hızı (r/min)

$f$  = Besleme sinyallerinin frekansı (Hz)

$SPR$  = Devir başına adım

Bu ifadeden farklı olarak saniye başına radyandaki rotor hızı şu şekilde ifade edilebilir:

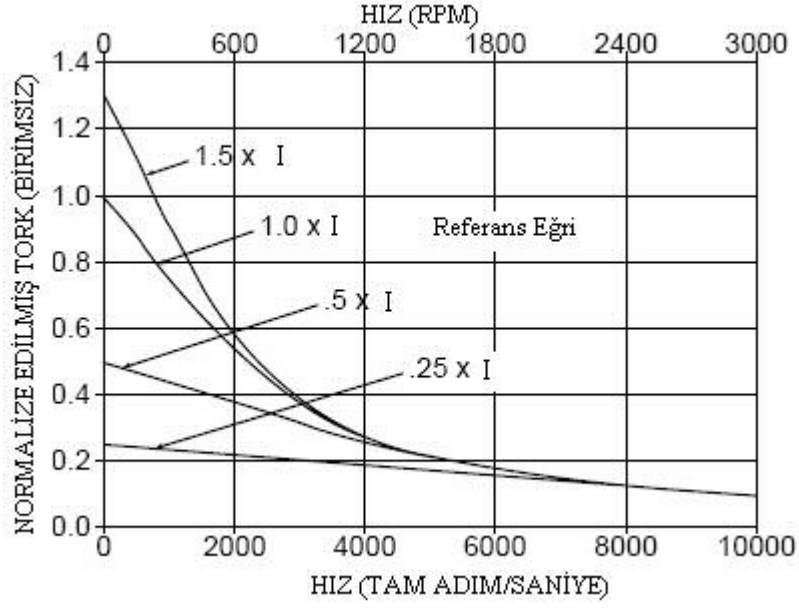
$$w = 2\pi (f / SPR) \quad (IV.4)$$

$w$  = Saniye başına radyandaki rotor hızı (rad/sn)

$f$  = Besleme sinyallerinin frekansı (Hz)

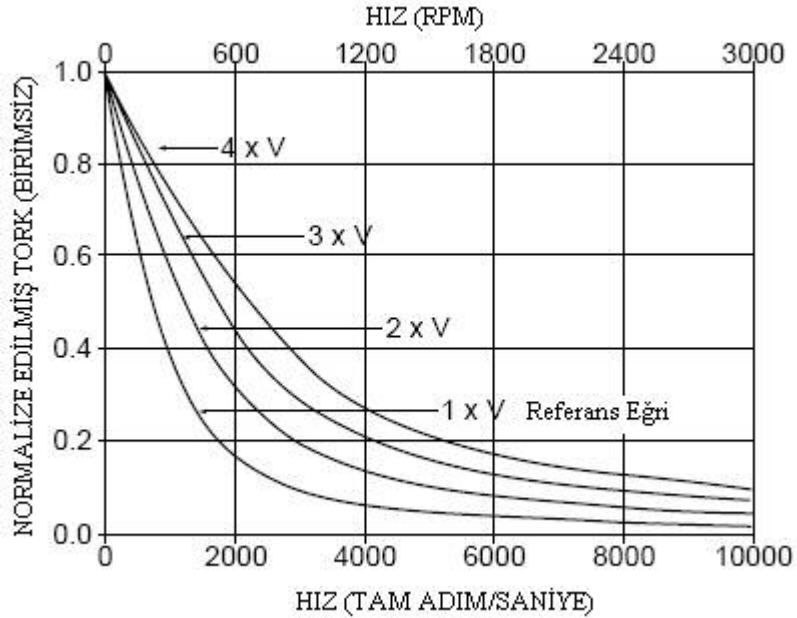
$SPR$  = Devir başına adım

Hibrit adım motorlarının hız-tork karakteristikleri akım ve gerilimin farklı değerler almasına göre değişik yollar izlemektedir [47].



Şekil IV.7 Akıma bağlı hız-tork eğrisi

Akıma bağlı hız-tork eğrisi incelendiğinde akımın değiştirildiği durumlarda motorun hız-tork grafiğinde önemli derecede değişiklikler meydana gelmektedir. Örneğin akım 6 kat azaltıldığında, normalize edilmiş üretilen tork değeri; hız arttırılmasına rağmen hemen hemen sabit kalmıştır (Şekil IV.7).



Şekil IV.8 Gerilime bağlı hız-tork eğrisi

Farklı olarak gerilime bağılı hız-tork grafiğı incelendiğinde değışimin akıma bağılı tork-hız grafiğindeki gibi çok bariz olmadığı göze çarpmaktadır. Yani motor gerilim değışimlerine daha az tepki vermiştir. Adım motorları genel anlamda akısal veya akımsal değışimlere bağılı olarak yön ve pozisyon aldıklarından adım motorun akım değışimlerinde daha hassas tepki verdiği sonucuna varılabilir.

### **IV.3.3. Rezonans**

Adım motorları spesifik adım oranlarında “*rezonans*” olarak adlandırılan ve arzu edilmeyen bir tepki durumu oluştururlar. Bu durum ani tork kayıpları ve atlama adımları adını verdiğimiz durumları oluşturarak senkronizasyonun kaybolmasına neden olur.

Rezonans adım motorlarının hepsinin tasarım ve çalışma durumlarında var olan değışmez bir unsurdur. Rotor arzu edilen açısız yer değıştirmesini aştığında yüksek rotor eylemsizliğı dahilinde var olan düşük adım oranları ve kalkış torku dönme yaratır. Rezonans; tipik olarak 100–200 adım arasında, adım oranı rotor dönmesiyle çakıştığında yükselir. Bu durumda motor yük eylemsizliğı ve dönme etkilerini karşılayamadığı için atlama adımları ortaya çıkacak ve tork kaybı, senkronizasyon bozulması meydana gelecektir. Eylemsizlik yükü, adım oranı veya tork değışimlerinin herhangi birinde meydana gelen değışme rezonansı azaltacak veya elimine edecektir. Bu durumu ortadan kaldıracak en pratik ve basit yol; “*microstepping*” adı verilen küçük adımlama tekniğı kullanmaktır.

### **IV.3.4. Mikroadımlama (Microstepping)**

Mikroadımlama; yarım ve tam adımdan farklı olarak adım motorunun stator akısını problem oluşturmadan taşıma yoludur. Bu durum; daha az titreşim, ve 0 Hz'e kadar inebilen frekanslarda gürültüsüz adım alma meydana getirmektedir. Ayrıca küçük adım oranları oluşturarak daha iyi pozisyon kararlılıkları oluşturmaktadır.

Adım motoru kontrolünde kullanılan birçok mikroadımlama tekniğı mevcuttur. Bunlar 1/3, 1/32, 1/8 veya daha düşük modlardır. Teorik olarak tamsayılara karşılık gelmeyen fraksiyonlar (non-integer fractions) oluşturmak mümkün olmasına rağmen çoğı zaman bu durum pratik değildir. Adım motoru senkron bir elektrik makinesidir. Bu rotorun kararlı durma pozisyonunun stator akısı ile senkronize olduğu anlamını taşımaktadır. Rotor; stator akısı tarafından döndürüldüğü için yeni bir kararlı durma

pozisyonuna gelmiş olacaktır. Motor tarafından üretilen tork  $T$ , tutma torku  $T_H$ , stator akıları arasındaki uzaklık ( $f_s$ ) ve rotor pozisyonu ( $f_r$ ) ise;

$$T = T_H \cdot \sin(f_s - f_r) \quad (IV.5)$$

Verilen  $f_s$  ve  $f_r$  değerleri elektriksel açılarıdır. Elektriksel ve mekaniksel açıları arasında şöyle bir bağıntı bulunmaktadır.

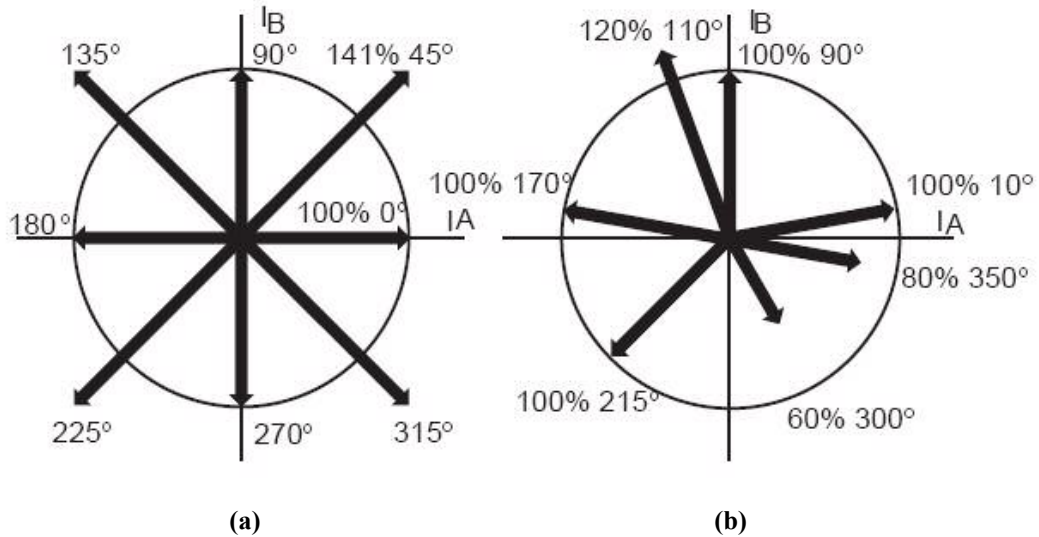
$$f_{el} = (n/4) \cdot f_{mec} \quad (IV.6)$$

$n$  = her dönüşteki tam adım sayısı

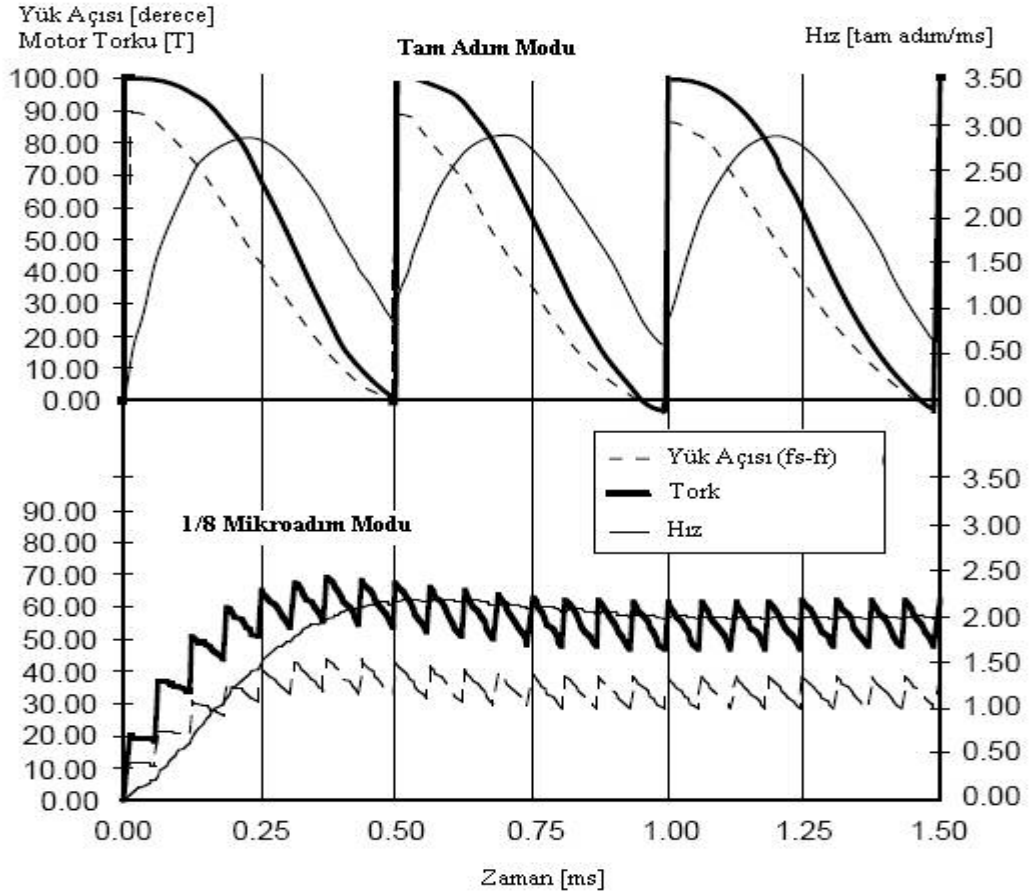
$f_{el}$  = elektriki açıları

$f_{mec}$  = mekaniki açıları

Tam ve yarım adım ile mikroadım durumları karşılaştırıldığında; belirlenen açısal pozisyonlarda her iki durumda üretilen akı miktarı ve yönleri arasında bariz farklar bulunmaktadır (Şekil IV.9)[44]. Farklı olarak tam ve yarım adım sürüşler ile mikroadım sürüşler arasında tork ve hız dalgaları veya osilasyonları arasında da önemli derecede farklar bulunmaktadır (Şekil IV.10). Belirlenen bu farklar motor performansı, karmaşıklık ve fiyat gibi nitelikleri doğrudan etkileyecektir.



Şekil IV.9 (a) Normal yarım ve adım durumlarında üretilen akı miktar ve yönleri, (b) Mikroadım durumunda akı yön ve miktarları



Şekil IV.10 Tam adım sürüş ile 1/8 mikroadımlama tekniğinin açısal pozisyon, tork ve hız değerleri açısından karşılaştırılması

#### IV.4. HAREKET KONTROL MEKANİZMALARI VE YÜK HESABI

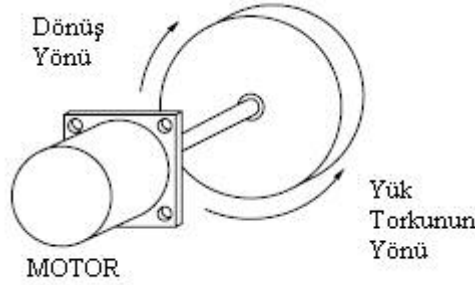
Hibrit adım motorları düzgün hız ve pozisyon karakteristikleri ile sabit mıknatıslı ve değişken relüktanslı motorlarda ortaya çıkan olumsuzlukları gidermeleri itibariyle zamanla birçok kullanım alanına sahip olmuşlardır. Bu tip özelliklerinden dolayı hibrit adım motorlarının kullanım alanları saymakla bitmez. Fakat temel olarak HSM'lerin kullandıkları hareket kontrol mekanizmalarını 4 başlık altında toplayabiliriz. Bunlar direkt sürüş (direct drive) mekanizmaları: pervane kontrolü; kayışlı sürüş (belt drive) mekanizmaları: kayışlı tezgâh kontrolleri; lineer hareket (linear drive) mekanizmaları: gelişmiş freze tezgâhları; tanjant hareket (tangential drive) mekanizmalarıdır [1, 39, 47].

## IV.4.1. Hareket Kontrol Mekanizmaları

Yukarıda da bahsedildiği gibi hibrit adım motorlarının kullanıldığı alanlar temel olarak 4 başlık altında incelenecektir. Bu kullanım alanları temel olarak adım motorunun sisteme bağlantı ve sürme şekline göre adlandırılmaktadır.

### IV.4.1.1. Direkt Sürüş Mekanizmaları

Hibrit adım motorlarının en çok kullanıldığı mekanizmalardan birisidir. Bu tip sistemlerde adım motoru mekanizmaya direkt bağlanır ve dairesel bir hareket sağlar. Yazıcılarda kullanılan hibrit adım motorları buna örnek olarak verilebilir.

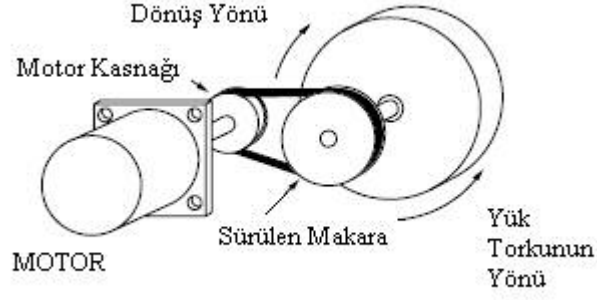


Şekil IV.11 Direkt sürüş (direct drive) mekanizmaları [39]

Herhangi bir dişli tertibatı veya kasnak tarzı yardımcı elemanlar kullanılmadığı için sürtünme, yük, dişli eylemsizliği gibi kayıplardan arınılmış olur. Mekanizma oluşturulurken dikkat edilmesi gereken esnek bir akuple (bağlantı) malzemesi kullanılması gerektirir.

### IV.4.1.2. Kayışlı Sürüş Mekanizmaları

Hibrit adım motorlarının diğer bir kullanım alanı da “belt drive” adını verdiğimiz sürme mekanizmalarıdır. Bu tip sistemlerde motor shaftı ile yük bir dişli tertibatı ile birbirine bağlanmıştır. Baskı makinelerinde kullanılan adım motorları buna güzel bir örnektir.

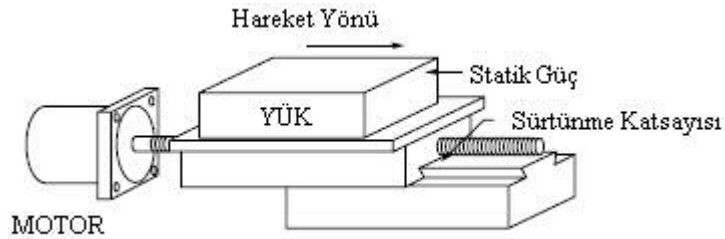


Şekil IV.12 Kayışlı sürüş mekanizmaları [39]

Bu tip mekanizmaların en büyük avantajları; kolay kontrol, yüksek verim ve geriye doğru yapılan ani hareketlerde sistemde herhangi bir olumsuzluğun meydana gelmemesidir. En çok kullanıldığı alanlar ile bant kontrolleri ve elektronik cihazlardır. Çalışmada kullanılan mekanizma bu tür bir mekanizma olduğu için motor şaft hareketi için gerekli tork, darbe frekansı, hız vb. gibi hesaplamalar bu sisteme göre yapılacaktır.

#### IV.4.1.3. Lineer (Doğrusal) Hareket Mekanizmaları

Hibrit adım motorları her zaman dairesel hareket üreten mekanizmalarda tercih edilmezler. Aşağıda gösterilen ve özellikle fabrika ortamlarında kullanılan X-Y tablaları bu sisteme güzel bir örnektir.

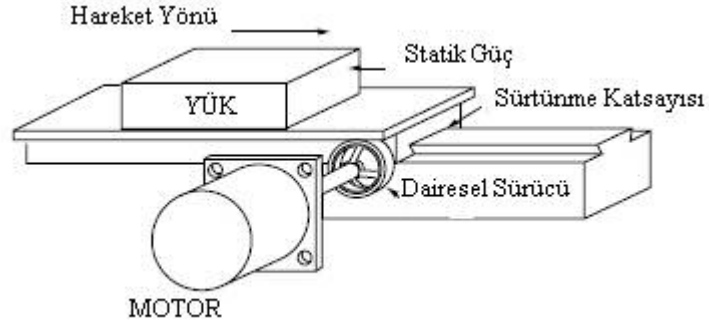


Şekil IV.13 Lineer hareket mekanizması [39]

#### IV.4.1.4. Tanjant Hareket Mekanizmaları

Daha açık bir ifade ile doğrusal-açısal hareket mekanizmalarını tarif eden sistemdir. Hibrit adım motorları; dairesel veya doğrusal hareketten farklı olarak örneğin yokuş tırmanan bir sistemi veya aşağıdaki örnekte de görüldüğü gibi direkt bağlantı ile lineer sürüşün karışımından meydana gelmiş bir sistemi kontrol ediyor

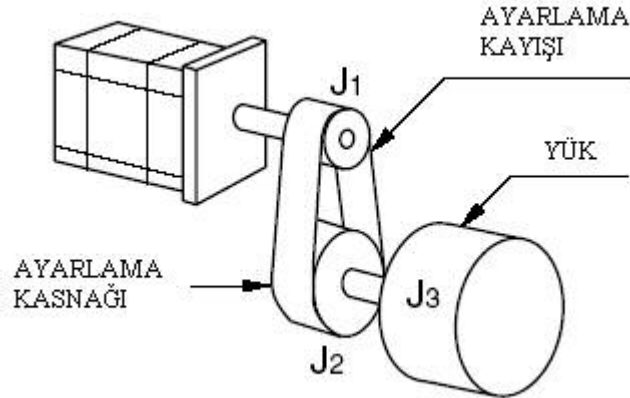
olabilirler. Özellikle yüksek hızlı teyp ve yazıcılar ile kritik pozisyon kontrol sistemlerinde tercih edilmektedirler.



Şekil IV.14 Tanjant hareket mekanizması [39]

#### IV.4.2. Yük Hesabı

Tez çalışmasında kullanılan yük kayışlı bir sistem ile kontrol edildiğinden hesaplamalar bu tip bir mekanizma için yapılacaktır. Motorun ilk hareketi için gerekli olan tork değerinin hesabı, darbe frekansı, hız ve birim yer değiştirme gibi büyüklüklerin hesabına yer verilecektir. Aşağıda hesabı yapılacak mekanizmanın gösterimi verilmiştir.



Şekil IV.15 Çalışma hesapları yapılacak sistem [1]

##### IV.4.2.1. Kasnak Çapı ve Çözünürlük

Hibrit adım motorunun kullanıldığı yukarıda bahsedilen sistemde çözünürlük yani birim yer değiştirme ve kasnak çapı aşağıdaki ifadelerle hesaplanmaktadır:

$$\ell = \frac{\pi.D}{360} \cdot \frac{\theta_s}{i} \text{ (cm/step)} \quad (\text{IV.7})$$

$$D = \frac{360.\ell.i}{\pi.\theta_s} \text{ (cm)} \quad (\text{IV.8})$$

Burada;

$\ell$  = çözünürlük veya birim adım (cm/step)

$D$  = çıkış katı kasmağının çapı (cm)

$\theta_s$  = adım açısı (step/derece)

$i$  = küçültme diş oranıdır.

#### IV.4.2.2. Hız ve Darbe Frekansı

Hız ve darbe frekansı hesaplamaları aşağıdaki gibi yapılmaktadır:

$$v = \frac{\pi.D}{360} \cdot \frac{\theta_s}{i} \text{ (cm/step)} \quad (\text{IV.9})$$

$$W_M = \frac{v}{2.\pi.r} \text{ (rpm)} \quad (\text{IV.10})$$

$$f = \frac{360.i.v}{\pi.D.\theta_s} \text{ (pps)} \quad (\text{IV.11})$$

Burada;

$v$  = yük hızı (cm/step)

$W_M$  = açısal hız (rpm)

$D$  = çıkış katı kasmağının çapı (cm)

$\theta_s$  = adım açısı (step/derece)

$i$  = küçültme diş oranı

$f$  = darbe frekansı (pps-pulse per second)'dir.

#### IV.4.2.3. Eylemsizlik Momenti ve Yük Torqu

Motorun taşıyabileceği yükün hesabında en önemli yeri mutlak tork ve motor toplam eylemsizlik momentinin hesabı tutmaktadır. Buna göre;

$$J_L = J_1 + \frac{J_2 + J_3}{i^2} \text{ (kg.cm}^2\text{)} \quad (\text{IV.12})$$

Burada;

$J_L$ = sistemin toplam eylemsizlik momenti

$J_1$ = motor kasnağının eylemsizliği

$J_2$ = yük kasnağının eylemsizliği

$J_3$ = yük eylemsizliği

$$F = [F_A + W \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha)] \cdot 9.8 \text{ (Newton)} \quad (\text{IV.13})$$

Burada;

$F$  = yüke etkiyen kuvvet (Newton)

$F_A$ = tepki kuvveti (Newton)

$\alpha$ = eğim (derece)

$\mu$ = yüzeyin sürtünme katsayısı

$W$ = yük ağırlığı (Newton)

$$T_L = \left( \frac{F \cdot D}{2\eta i} \right) \cdot 10.2 \text{ (N.m)} \quad (\text{IV.14})$$

Burada;

$T_L$ = yük torku (N.m)

$F$ = yüke etkiyen kuvvet (N)

$D$ = çıkış katı kasnağının çapı (cm)

$\eta$ = verim (0,85-0,95 arasında)

$i$ = küçültme diş oranıdır.

Farklı olarak motorun hızlanması için gerekli olan kalkış torkunun hesabı aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$T_a = \left[ \frac{(J_0 + J_L)}{g} \cdot \frac{\pi \cdot \theta_s \cdot f^2}{180 \cdot n} \right] \cdot 10.2 \text{ (N.m)} \quad (\text{IV.15})$$

Burada;

$T_a$ = kalkınma torku (N.m)

$J_\theta$ = rotorun eylemsizlik momenti ( $\text{kg/cm}^2$ )

$J_L$ = toplam eylemsizlik momenti ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\theta_s$ = adım açısı (derece)

$f$ = darbe frekansı (Hz)

$n = 3.6^\circ / \theta_s$

$g$ = yerçekimi ivmesi ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ )'dir.

Tüm bu verilere göre motorun hareketi için gerekli olan torku aşağıdaki eşitliğe göre hesaplayabiliriz:

$$T_M = T_L + T_a \quad (\text{N})$$

$T_M$ = toplam gerekli tork (N)

$T_L$ = yük torku (N)

$T_a$ = kalkınma veya hızlandırma torku (N)'dir.

## IV.5. SONUÇ

Bu bölümde endüstride önemli ölçüde bir kullanım alanına sahip ve çalışmamızın temelini oluşturan hibrit adım motorları hakkında bilgiler verilmiştir.

Hibrit adım motorlarının yapısal özellikleri, çalışma karakteristikleri, özellikle bu tip motorlarda tercih edilen mikroadımlama tekniği ve kullanım alanları içerisinde buldukları yapısal hareket kontrol mekanizmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Bu verilen bilgilerden farklı olarak hibrit adım motorlarının manyetik devre özellikleri, matematiksel gösterimleri, kararlılıkları hakkında daha fazla bilgiyi referans [1]'den elde etmek mümkündür.

# BÖLÜM V

## PARALEL VE SERİ ASENKRON İLETİŞİM

### V.1. GİRİŞ

Kontrol tekniğinin son yıllarda büyük bir gelişme göstermesiyle bilgisayar teknolojisi sayesinde elde edilen elektriksel sinyaller ile birçok mekanizmayı denetlemek mümkün hale gelmiştir. Bu durum haberleşme tekniklerinin gelişmesini de beraberinde getirmiştir. Bu sayede bilgisayar arabirimleri olan seri ve paralel portların kullanım alanları da artmış ve tanımlanan sistemler için farklı kontrol ve yazılım teknikleri geliştirilmiştir. Bu bölümde bilgisayar ile kontrol edilen mekanizma arasında haberleşme veya iletişimi sağlayan paralel ve seri port arabirimleri hakkında detaylı bilgi verilecektir.

Seri port iletişimde; kullanılan veri formatlar ve protokoller incelenecektir. Seri iletişim içersinde yer alan RS-232 ve RS-485 standartlarından RS-232'deki asenkron bilgi formatı ile veri gönderme ve veri alma konuları üzerinde durulacaktır.

Aynı şekilde paralel port iletişimde ise port konektörünün bölümleri ile bölümlerin işlevleri üzerinde durulacak ve kontrol edilmek istenen sistemde yazılımların nasıl yapıldığı ve işlendiği konularına da değinilecektir.

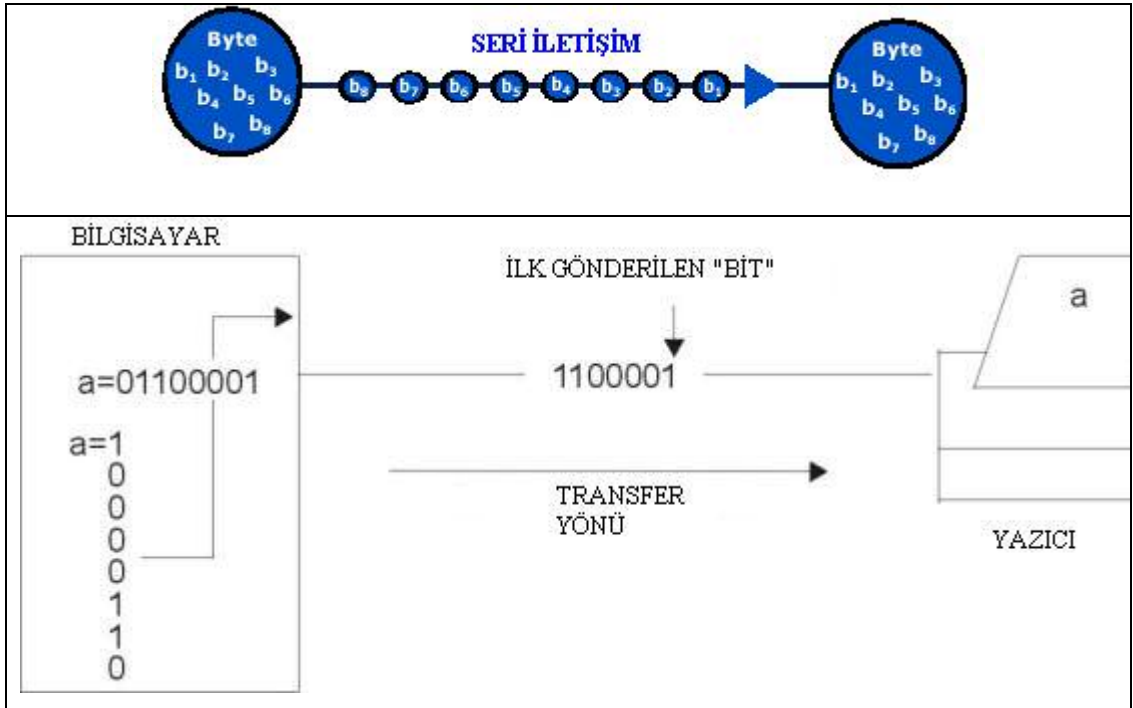
Her iki iletişim sisteminde Visual Basic 6.0 programlama dili kullanılmış olup bu konuyla ilgili ayrıca bilgi verilecektir.

## V.2. SERİ ASENKRON İLETİŞİM

### V.2.1 Seri İletişim Genel

Seri senkron veya asenkron olarak gönderilen verinin alınmasını veya iletilmesini gerçekleştiren cihazlar arasında bu tür haberleşmenin sağlanabilmesi için geliştirilen bir standarda “*seri iletişim standardı*” adı verilmektedir. Seri link adını verdiğimiz iletişim protokolü; verici veya sürücü (kullanılan sistemde bilgisayar) belirli bir anda “1” bit olmak üzere bilgileri sırayla yollar. Bağlantıda her bir yön için ayrı bir hat olabileceği gibi ortak kullanılan bir hat da olabilir [7]. Özellikle üçten fazla bağlantının bulunduğu ve “ağ” adını alan sistemlerde çoğunlukla verici ve alıcılar aynı hattan iletişim sağlarlar. Üzerinde çalışılan sistemde seri veri akışı çift yönlü yöneme göre yapılmaktadır fakat veri akışının sadece tek yönü kullanılmıştır.

Seri iletişim linkinde; veri akışının kontrolü için gerekli sinyallerden biri saat (clock) sinyali veya zamanlama referansıdır. Bu sinyallerin basit olarak gönderiliş biçimi ve sırası aşağıda şematik olarak verilmiştir [62].



Şekil V.1 Seri iletişimin basit olarak karakterize edilişi

Yukarıda verilen şekilde de görüldüğü gibi seri iletişimde veriler sırayla birer “bit” olarak arka arkaya gönderilmektedir. Burada önemli olan sadece seri iletişimin

gerçekleştirileceği programı yazıp bilgilerin gönderilme sırasını belirlemektir. Belirlenen kriterlerden sonra seri port üzerinden düzenlenen lojik değerler tek bir kablo aracılığı ile peşi sıra iletilir.

Normalde paralel port ile iletişime göre hem programlaması hem de kullanımı zor olan seri portun avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz [13]:

- Seri kablolar, paralel kablolarla göre daha uzun olur. Seri port, lojik değerleri -3 V ile +25 V arasında iletebilir. Paralel portta ise “0” 0 V ile “1” ise 5 V ile iletilir. Dolayısı ile seri port 50 V maksimum değişim aralığına sahiptir. Paralel portta ise bu aralık 5 V’tur. Bu nedenle kabloda oluşan kayıp seri portlarda paralel portlardaki gibi önemli değildir.
- Seri iletişimde, paralel porta göre çok daha az iletken kullanılır. Cihaz ile bilgisayar arasındaki 3 telli kablo seri iletişim için yeterlidir. 3 telli bir kablo 25 telli bir kabloya göre daha ucuz olacaktır.
- Seri haberleşmeyi kullanan kızılötesi cihazlar, veriyi ancak seri olarak iletebilirler. Böyle bir haberleşmenin paralel olması imkânsızdır.

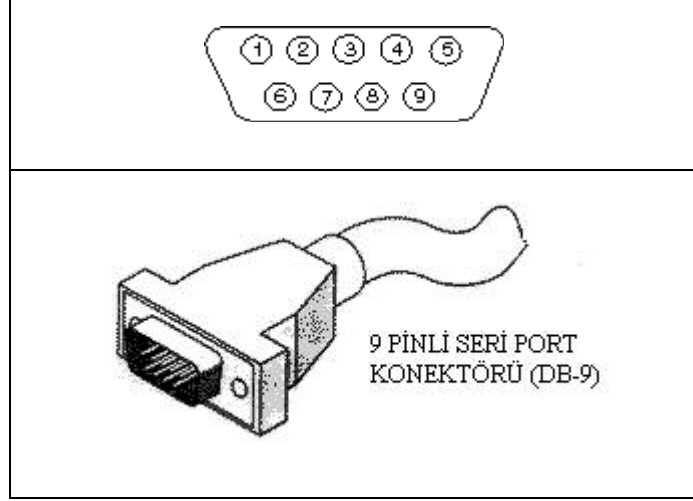
## **V.2.2 Seri Port Konektörü (RS–232) ve Özellikleri**

RS–232 standardı en çok bahsedilen ve veri haberleşme cihazlarının uyumluluğunu sağlamak amacıyla Electronic Industries Association (EIA) tarafından ortaya çıkarılmış standarttır. İlk olarak 1962 yılında ortaya çıkmıştır ve onun üçüncü versiyonu 1969 yılında RS-232C olarak adlandırılmıştır. RS–232 C ile kullanılan en yaygın konektör tipi DB25'dir. Fakat modern bilgisayarlarda 25 uca gerek kalmadığı için IBM DB–9 (9 uçlu) seri port konektörünü geliştirmiştir.

IBM'in standartları belirlemede bir üstünlüğü olduğundan dolayı o zamanlarda bazı üretici firmalar tarafından 9 pinli konektörler desteklenmiştir. Böylece DB–25 ve DB–9 olmak üzere iki çeşit konektör kullanılmaya başlanmıştır. IBM tarafından kullanılan DB–9 konektör çeşidi, RS–449 olarak belirtilen RS-232'den farklı bir standartta belirtilmiştir. RS–449 diye bilinen standartta ayrıca 37 pinli bir konektör çeşidi daha belirtilmiştir. RS–232 seri portu genellikle COM 1, COM 2, RS–232 veya seri olarak belirlenmiştir. Eğer port isimli olarak belirlenmemişse, bağlantı için kullanılacak olan doğru portun bulunması önem kazanır. Birçok bilgisayarın arkasında DB–9 tipi 9 uçlu konektörler kullanıldığından seri iletişimde bu

konektörün önemini ve uçları ile bu uçların (çıkışlar) anlamlarını bilmek yararlı olacaktır [20].

Aşağıda 9 pinli seri port konektörünün şematik ve açık gösterimi verilmiştir.



Şekil V.2 Seri port konektörü ve pin uçları

Yukarıda şematik gösterimi verilen seri port konektörünün pin numaralarının açıklaması aşağıda verilmiştir:

Tablo V.1 Seri port pinleri ve anlamları

D-Tipi-25 Pin No.	D-Tipi-9 Pin No.	İşlev Adı	Açık Adı
Pin 2	Pin 3	TD	Bilgi Gönder
Pin 3	Pin 2	RD	Bilgi Al
Pin 4	Pin 7	RTS	Gönderme Önerisi
Pin 5	Pin 8	CTS	Gönderme Silimi
Pin 6	Pin 6	DSR	Bilgi Ayarı Hazır
Pin 7	Pin 5	SG	Sinyal Toprağı
Pin 8	Pin 1	DCD	Bilgi Taşıma Dedeksiyonu
Pin 20	Pin 4	DTR	Bilgi Giriş Hazır
Pin 22	Pin 9	RI	Halka İndikatörü

Daha geniş bir ifade ile yukarıda pin numaraları verilen ve kısa açıklaması yapılan uçların fonksiyonlarını da şu şekilde açıklayabiliriz:

**Tablo V.2 Seri port pinlerinin fonksiyonel olarak açıklaması**

<b>İşlev Adı</b>	<b>Açık Adı</b>	<b>Fonksiyon</b>
TD	Bilgi Gönder	Seri Bilgi Çıkışı(TXD)
RD	Bilgi Al	Seri Bilgi Girişi(RXD)
CTS	Gönderme Önerisi	Bu hat Modemin bilgiyi değiştirmeye hazır olduğunu belirtir.
DCD	Bilgi Taşıma Dedeksiyonu	Modem telefon hattının diğer ucunda bir taşıma olduğu algılanırsa bu hat aktif hale gelir.
DSR	Bilgi Ayarı Hazır	Bu hat UART'a modemin bir bağlantıyı tespit ettiğini iletir.
DTR	Bilgi Giriş Hazır	Bu hat DSR'nin tersidir. Modeme UART'ın bağlantıyı sağladığını söyler.
RTS	Gönderme Önerisi	Bu hat modeme UART'ın bilgiyi değiştirmeye hazır olduğunu belirtir.
RI	Halka İndikatörü	Modem PSTN'den bir ring sinyali aldığı anda aktif hale gelir.

Asenkron seri iletişimde normal koşullarda herhangi bir donanımın veya arabirimin kontrolü yapılıyor ise kullanılacak temel uçlar seri bilgi gönderme ucu olan TD (transfer data) ve seri bilgi alma ucu olan RD (receiving data) uçlarıdır. Diğer uçlar genel anlamda bilgi verme veya bilgi algılama ile ilgili olan uçlardır.

### **V.2.3 Asenkron Deyimi**

Bilindiği gibi seri iletişimde bilgiler seri olarak bir sıraya dizilmiş şekilde “bit” adını verdiğimiz bilgi kutucukları sayesinde gönderilir. Asenkron deyimine ise Şekil V.3'te belirtildiği gibi gönderilmesi gereken bilginin bir “start” bir de “stop” bitleri arasına sıkıştırılmış şekilde gönderildiğini belirtmek için kullanılan bir ifadedir.



**Şekil V.3 Asenkron veri aktarımının temel gösterimi**

Bilginin gönderilmeye hazır olduğu durumda sisteme pozitif bir gerilim (“0” binary sayısı) yüklendiğinde bilinmelidir ki bir bilgi akışı başlayacaktır. Bu sinyal “start bit” sinyalidir ve her zaman binary “0” sayısı ile ifade edilir. Son olarak

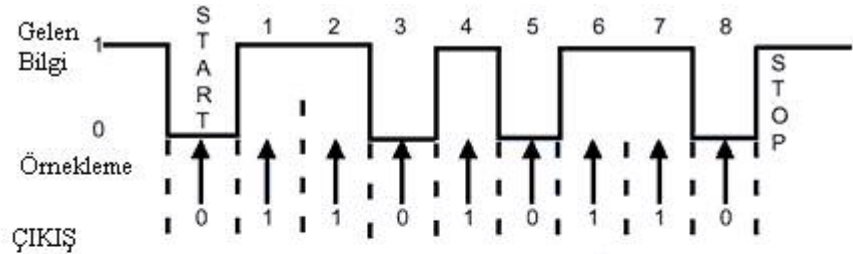
gönderilen 8 bitten sonra binary “1” sayısı görülürse bu da “stop bit” sinyali anlamına gelip bilgi akışının durduğunun işaretçisidir.

Verilen ifadelerle göre asenkron veri iletimini şu iki madde altında inceleyebiliriz:

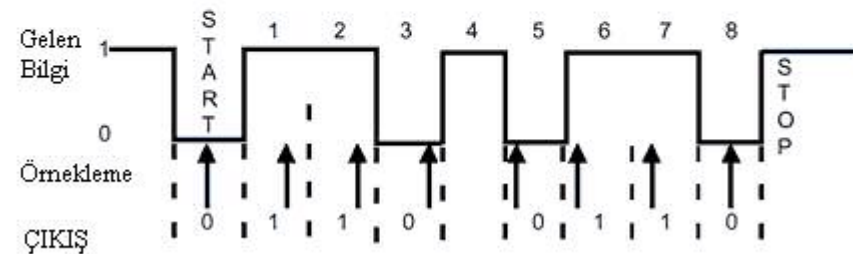
- Bilginin başında ve sonunda mutlaka start ve stop bitleri kullanılmalıdır.
- Her karakter arasında “gap” veya “space” adını verdiğimiz boşluklar bulunmalıdır ki gönderilen bilgilerde yığılmalar meydana gelmesin.

Bu kurallara uyulup uygun programlama yapıldığında seri asenkron veri iletimi gerçekleştirilmiş olur.

Yukarıda verilen basit gösterimde asenkron iletişimin bir start ve bir stop bitinden meydana gelmesinin amacı; iletilen her baytta (byte) veya 8 bitte saatleri eşlemektir. Çünkü seri asenkron iletişim bağlantısında saat hattı bulunmaz ve her uç kendi sinyalini sunmakta ve uçların belirli bir saat frekans değerinde anlaşmaları gerekmektedir. Aşağıdaki şekilde [62] ise ideal ve bozulmuş asenkron iletişim bilgi gönderim eğrileri verilmiştir:



a) İdeal asenkron iletişim



b) Bozuk asenkron iletişim

Şekil V.4 İdeal ve bozulmuş asenkron iletişim örnekleri

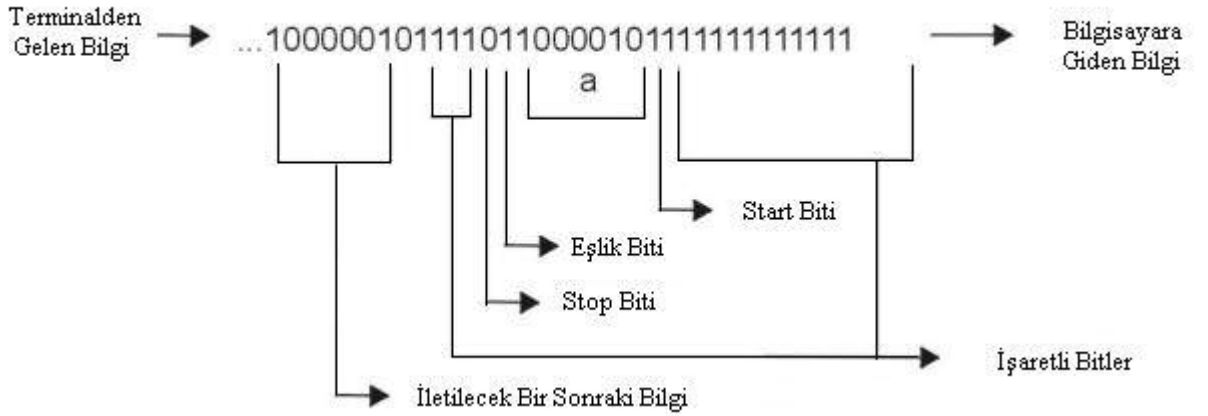
Yukarıda verilen şekildeki “a” örneklemesinde ideal asenkron iletişim tipi verilmiş olup gelen bilginin işlenmesinde rol alan “bit” değerlerinde herhangi bir bozukluk görülmemektedir. Bu durum da cihaz veya cihazlar arasında veri akışında

herhangi bir problem olmadığına göstergesidir. Fakat “b” örnekleme incelendiği vakit seri bağlı cihazdan gelen bilginin 4. bitinden sonra kaymalar meydana gelmiş ve bilginin işlenmesi doğal olarak bozulmuştur. Bu durum seri iletişimde istenmeyen bir durum olup cihazlar veya seri bağlı donanımlar arasındaki bilgi alış-verişinde hatalara sebebiyet verebilir.

## V.2.4 Seri Port ile Veri Aktarımı ve UART Tümdevresi

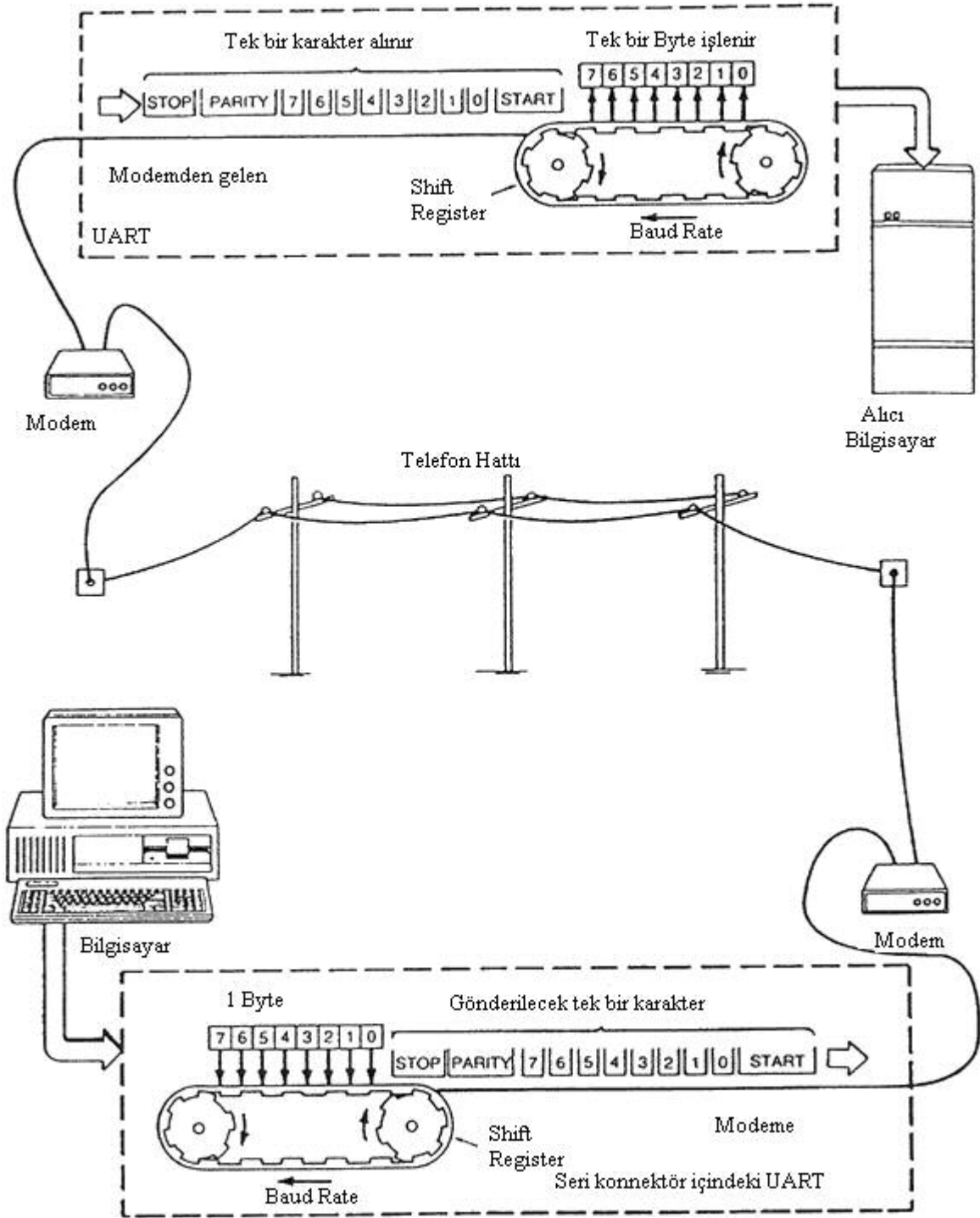
Seri haberleşmede gönderici kısmında 8 bitlik veri paralelden seriye çevrilir. Daha sonra tek bir hattın karşısına gönderilir. Bu noktada UART tümdevresi adını verdiğimiz donanım seri ve paralel veriyi birbirine çevirmeye yarar [13]. Veri telefon hattı ile iletilecekse bu lojik değerler ses sinyaline çevrilir. Ses sinyallerine çevirmede modülör adını verdiğimiz donanımlar kullanılır. Ses sinyali karşısına ulaştığında demodülör ile tekrar lojik değerlere dönüştürülür. Tüm bu işlemler bilgisayarımızda bulunan Modem (modulator/demodulator) ile gerçekleştirilir.

Aşağıda seri iletişimde veri aktarımı ile ilgili olarak ifade edilen işaretli, start, stop, eşlik bitlerine örnekler verilmiştir:



Şekil V.5 Seri bilgi akışında ifade edilen bit çeşitleri ve seri sıra içerisindeki yerleri

Verilen tüm bu bilgiler ışığında seri asenkron iletişim için tasarlanan komple bir sistemin gösterimi şu şekilde olmaktadır (Modem ile iletişim):



Şekil V.6 Seri asenkron iletişim sistem modeli [62]

## V.2.5 Seri Port Yazılımı

Bilgisayarlara yönelik birçok programlama dilinde seri portlarda yazım veya okuma ve yapılandırmaya ilişkin kurulu fonksiyonlar bulunmaktadır [6]. Kısaca API adını verdiğimiz uygulama programlama arayüzünü kullanan tüm programlama dilinde seri portun yazılımını yapmak mümkündür. Visual Basic 6.0 adını verdiğimiz

ve projede kullanılan programlama dili de bu fonksiyonu kullanmakta ve seri portun yazılımına olanak sağlamaktadır. Bu kısımda kısaca Visual Basic 6.0'da (VB) yer alan seri port iletişim protokolü "MsComm" üzerinde durulacaktır. Daha fazla bilgi için bkz. referans [6, 9].

VB 6.0'da seri port iletişim protokolü aşağıda gösterildiği gibi telefon simgesi ile ifade edilmektedir. Standart exe bir VB projesi açıldığında ekranın sol tarafında bulunur ve iletişimi gerçekleştirilecek form üzerine kolaylıkla yerleştirilebilir.



Şekil V.7 MsComm seri iletişim protokolünün VB gösterimi

Visual Basic ile programlamada her türlü değişken tanımlanıp seri iletişim protokolü hazır hale getirildikten sonra basit olarak herhangi bir komut butonuna bağlı olarak yukarıda gösterilen seri port iletişim kontrolörünü aktif hale getirip veri gönderimi sağlamak istiyorsa aşağıda verilen komut satırını yazmak zorunludur:

1. *MSComm1.CommPort = 2*
2. *MSComm1.Settings = "56000,N,8,1"*
3. *MSComm1.PortOpen = True*
4. *MsComm1.Output = "Text string"*
5. *Buffer\$ = Buffer\$ & MSComm1.Input*

Yukarıda verilen programlama satırlarında; 1. komut kullanacağımız seri port numarasını, 2. komut UART parametre ayarlarını, 3. komut portun açıklanan işlemlerden sonra aktif hale getirilmesi gerektiğini, 4. satır bilgi gönderme ve 5. satır bilgi okuma durumlarını ifade etmektedir. Tüm bu işlemler gerçekleştirildikten sonra seri port bilgi göndermeye açık ve hazır konumdadır.

Temel olarak seri iletişim protokolü olan MsComm'un kullanımında (MSComm1.settings bölümünde verilen sayı ve kısaltmalar) aşağıda açıklaması verilen ayarlar olarak ifade edilen seri iletişim parametrelerin kullanımına dikkat edilmesi gerekmektedir:

- **Baud Rate (Saniyedeki Bit Sayısı):** Seri iletişim sinyallerinin her saniyede değişim zamanı olarak adlandırılır. Burada bahsedilen değişim

durumu; bir gerilim seviyesi, frekans veya frekans faz açısı olarak nitelendirilebilir. Sinyal her bir “data bit”i için bir defa değişim gösteriyor ise, bu değişim 1 baud’a eşittir. Örneğin; 300 baud’luk bir modem saniyede durumunu 300 defa değiştiriyor demektir [66].

- **Parite (Eşlik):** Parite biti; start ve stop bitlerinden farklı olarak, iletilen data karakterinin doğru olarak alıcı donanım tarafından alındığını belirtmek için seri iletişimde kullanılan opsiyonel bir parametredir. Seri portun ayarlar bölümünde “*none, even, odd*” vb. gibi değerler olarak sistemde bilgi akışını sağlar.
- **Dur Bitleri:** Seri iletişim durumunda belirtilmesi gereken diğer bir parametredir. Bu parametrenin seçimi ile “stop bit”inin değeri belirlenmiş olup gerekli veri biti tanımlanıp gönderildikten veya alındıktan sonra program bu bit değerini gördüğü zaman kesime gidecektir. İletişim protokolünde 1, 1.5 ve 2 değerlerini alır.
- **Veri Biti:** Gönderilecek veya alınacak bilgi bitini tanımlayan bir ifadedir. Veri akışı gerçekleştiikten, daha açık bir ifade ile veri bitlerinin akışı tamamlandıktan sonra stop bitinin dedekte edilmesiyle program kesime gidecektir. Seri iletişim protokolünde 4’den 8’e kadar değerler almaktadır.
- **Akış Kontrolü:** Seri iletişimde kullanılan bir iletişim metodudur. “*Donanım, Xon/Xoff ve Yok*” alt seçimlerini içerir. Yazıcı veya modem gibi seri donanımlar; bilgiyi bağlandıkları bilgisayarlar kadar hızlı ve etkili işleyemezler. O yüzden iletimin gerçekleştirildiği bilgisayarlar üzerinde zaman zaman bilgi akışında sınırlamalar yapmak gerekmektedir. Bu kontrol yazılım ile yapılacak ise “*Xon/Xoff*” seçeneği işaretlenmelidir. Bilgisayar ile yapılacak ise “*Yok*” seçeneğinin seçilmesi yeterlidir. “*Donanım*” seçeneğinin işaretlenmesi ile bu ayarın başka bir seri bağlı donanım tarafından yapılacağı vurgulanmaktadır.

Aşağıda bilgisayar üzerinden bu ayarların yapılabileceğini gösteren seri iletişim protokolü bulunmaktadır.

Saniyedeki bit sayısı: 9600  
Veri bitleri: 8  
Eşlik: Yok  
Dur bitleri: 1  
Akış denetimi: Yok

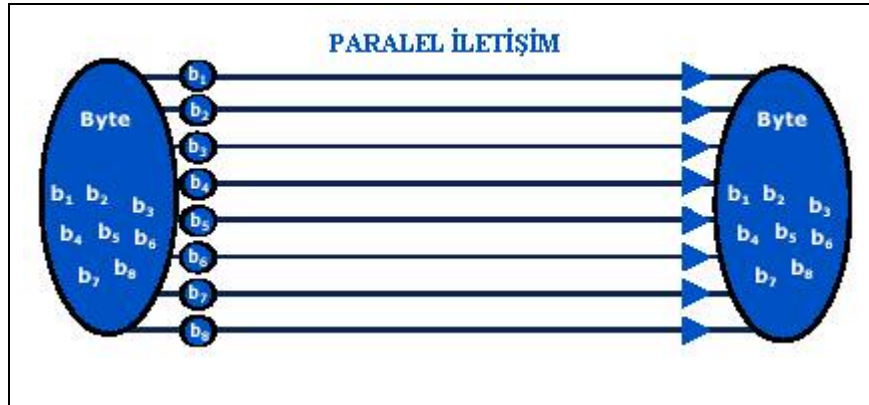
Şekil V.8 Bilgisayar üzerinden seri port ayarlarının yapılması

Dikkat edilirse; bu ayarların bilgisayar üzerinden otomatik olarak yapılması istendiğinde akış denetiminin “Yok” olarak işaretlenmesi gerekmektedir.

## V.3. PARALEL İLETİŞİM

### V.3.1 Paralel İletişim Genel

Paralel port bilgisayarın en kolay programlanabilen portudur [13]. 25 çıkış ucuna (pin) sahip olup 5 volt ile çalışmaktadır. Paralel port üzerinden aynı anda 8 bitlik veri aktarımı sağlanmaktadır. porttan veri çıkışı için 2-9 pinleri arasındaki pinler kullanılır ve bu pinler “DATA Pinleri” veya “DATA Portu” adını almaktadır. Aşağıda verilen şekilde paralel portun temel çalışma şeması tanımlanmıştır.




Şekil V.9 Paralel portun basit olarak karakterize edilişi

Bilgisayar mikroişlemci teknolojisi üzerine kurulu olduğu için verileri “1” veya “0” lojik değerlerine göre işler. Normal koşullarda yani paralel port çalışmadığı sürece DATA pinleri üzerinde “0” lojik değeri vardır. Fakat herhangi bir program yardımı veya bilgisayarın normal çalışma düzeninden faydalanılarak bu değerler “1”

lojik değerine dönüştürülebilir. Bir DATA pininin lojik “1” değerine sahip olması demek o pinin 5 voltluk gerilim almış olması anlamına gelmektedir. Bu gerilim değeri belki çok büyük veya güçlü devreleri çalıştırmak için yeterli değildir fakat en azında transistör, tristor gibi elemanları tetikleyecek güce sahiptir. Aşağıda verilen tabloda ise bilgisayarın paralel portunun (yazıcı portu-LPT1) pin çıkışları gösterilmiştir.

**Tablo V.3 Paralel port (LPT yazıcı portu) pinleri ve işlevleri**

					
Pin Numarası (D-Tipi 25)	Pin Numarası (Centronics)	SPP Sinyali	Yön Giriş/Çıkış	Yazmaç (Register)	Donanım Dönüştürme
1	1	Strobe	Giriş/Çıkış	Control	Evet
2	2	Data 0	Çıkış	Data	
3	3	Data 1	Çıkış	Data	
4	4	Data 2	Çıkış	Data	
5	5	Data 3	Çıkış	Data	
6	6	Data 4	Çıkış	Data	
7	7	Data 5	Çıkış	Data	
8	8	Data 6	Çıkış	Data	
9	9	Data 7	Çıkış	Data	
10	10	Bilgi	Giriş	Status	
11	11	Meşgul	Giriş	Status	Evet
12	12	Kâğıt Bitti	Giriş	Status	
13	13	Seç	Giriş	Status	
14	14	Hat Besleme	Giriş/Çıkış	Control	Evet
15	32	Hata	Giriş	Status	
16	31	Başlat	Giriş/Çıkış	Control	
17	36	Yazıcı Seç	Giriş/Çıkış	Control	Evet
18 – 25	19–30	Toprak	Toprak		

Paralel port üzerinde yukarıda da görüldüğü gibi DATA portundan başka, STATUS ve CONTROL portları da bulunmaktadır. Hangi pinlerin hangi porta ait olduğu yine yukarıda verilen tabloda ifade edilmektedir. Tablo incelendiğinde seri porttakinden farklı olarak 8 tane toprak hattının var olduğu göze çarpmaktadır.

Birkaç portun veya tüm portların kullanıldığı düşünülduğünde her devre akımının aynı yolu takip ederek geri dönmesi istenmediğinden ve çok sayıdaki toprak hattının toprak dönüşlerinin genel empedansını düşürmesi söz konusu olduğundan hassas uygulamalar için 8 ayrı pinle topraklamayı tercih etmek doğru olacaktır.

### V.3.1 Paralel Port Adresleri

Paralel Port genel olarak kullanılan 3 adet temel adrese sahiptir. Bu adresler aşağıdaki tabloda listelenmiştir. 3BCh temel adresi; ilk olarak video kartlar üzerinde paralel portlar için kullanılmıştır. Bu adres; daha sonra paralel port video kartlardan kaldırıldıktan sonra, belirli bir süre kullanılmamıştır. Şimdi ise; konfigürasyonları BIOS ile değiştirilebilecek şekilde anakartlar üzerine entegre biçimde konmuş paralel portlara seçenek olarak yeniden ortaya çıkmıştır.

LPT1 normal olarak 378h adresini, LPT2 ise 278h adresini kullanmaktadır. 378h & 278h adresleri daima genel olarak paralel portlar için kullanılmıştır. “h” durumu adresin hexadecimal düzende olduğunu göstermektedir. Bu adresler makineden makineye de değişebilir özellikler taşımaktadır.

**Tablo V.4 Paralel port adresleri**

Adres	Açıklamalar
3BCh - 3BFh	Video kartları üzerine yerleştirilmiş paralel portlar için kullanılmıştır. ECP adreslerini desteklemez.
378h - 37Fh	LPT 1 için genel adres
278h - 27Fh	LPT 2 için genel adres

Bilgisayar ilk açıldığında, BIOS (Temel Giriş/Çıkış Sistemi) bilgisayarın port numaralarını belirleyip onlara LPT1, LPT2 ve LPT3 aygıt etiketlerini vermektedir. BIOS ilk olarak 3BCh adresine bakmakta, burada bir paralel port bulundu ise buna LPT1 ismini vermektedir. Daha sonra 378h yerleşimini araştırmakta ve burada paralel kart bulundu ise ona da sıradaki port adres numarasını vermektedir.

**Tablo V.5 - LPT BIOS Data Alanında LPT Adresleri**

<b>Start Adresi</b>	<b>Fonksiyon</b>
0000:0408	LPT1'in temel adresi
0000:040A	LPT2'nin temel adresi
0000:040C	LPT3'ün temel adresi
0000:040E	LPT4'ün temel adresi

Yukarıda verilen adres numaralarına göre;

- DATA portu 0378,
- STATUS portu 0378+1, yani 0379,
- CONTROL portu ise 0378+2, yani 037A olmaktadır [13].

### **V.3.1 DATA Portu ile Programlama**

DATA portunun adresi bilindiğine göre adres pinlerinin yardımı ile (SPP sinyallerine göre) veri akışı sağlanabilmektedir. Bilgisayarın paralel portu ve projemizde kullandığımız VB 6.0 yardımı ile herhangi bir dış donanımı kontrol edebilecek programlamalar yapılabilmektedir. Paralel port bilgileri gönderilirken dikkat edilmesi gereken; sistem çıkışlarının 10'luk düzende yazılıp yazılım dilinde bunların 2'lik sayı düzeyinde bellekten okunacağından önceden bilinmesidir. Bu yolla gönderilen bilgiler ışığında paralel port çıkışlarına bağlı örneğin LED'ler sırayla, karışık düzende veya istenilen herhangi bir duruma uygun olabilecek şekilde kontrol edilebilirler.

Aşağıda VB 6.0'da yazılmış basit bir paralel port programının içeriği verilmiştir:

*“Option1.Value = False*

*k = 300*

*sett = 0*

*adim = 0*

*adres = &h378*

*portout = 8*

*Out adres, portout”*

Verilen programlamada; paralel port pinlerinin numaraları 10'luk düzende “*portout*” olarak tanımlanmış olup çıkışın istenilen zamanda gönderilmesi gereken yerde “*Out*” yani çıkış komutu kullanılmıştır. “*Out*” komutunda sonra, port adresi (0378, 0379, 037A) ve enerjilenmesi yani 5 volt yüklenmesi gereken pin numarası mutlaka belirtilmelidir. Bu kurallara dikkat edilerek yukarıda verilen komut satırı gönderilirse; “8” olarak gönderilen onluk düzen rakamı sistem tarafından “00010000” olarak algılanacak 3. DATA pini aktif hale gelecektir, çünkü  $8=2^3$ 'tür. Bu sebepten dolayı DATA portunun hangi pinlerini aktif hale getirmek istiyor ise 2'lik yani binary düzende bu pinin karşılığını bilmemiz gerekmektedir.

## V.4 SONUÇ

Bu bölümde bilgisayar ile kontrol edilen mekanizma (projemizde hibrit adım motoru) arasında haberleşme veya iletişimi sağlayan paralel ve seri port arabirimleri hakkında bilgiler verilmiştir. Seri port iletişimde; kullanılan veri formatları ile protokoller incelenmiş, seri iletişim içersinde yer alan RS-232 ve RS-485 standartlarından RS-232'deki asenkron bilgi formatı ile veri gönderme ve veri alma konuları üzerinde durulmuştur. Aynı şekilde paralel port iletişimde ise port konektörünün bölümleri ile bölümlerin işlevleri üzerinde durulmuş, kontrol edilmek istenen sistemde yazılımların nasıl yapıldığı ve işlendiği konularına da değinilmiştir.

# **BÖLÜM VI**

## **TEZ ÇALIŞMALARI**

### **VI.1.GİRİŞ**

Bu bölümde tasarlanan sistemin donanım ve yazılım özellikleri ile sistemin işleyiş fonksiyonlarının görevlerinden bahsedilmiştir.

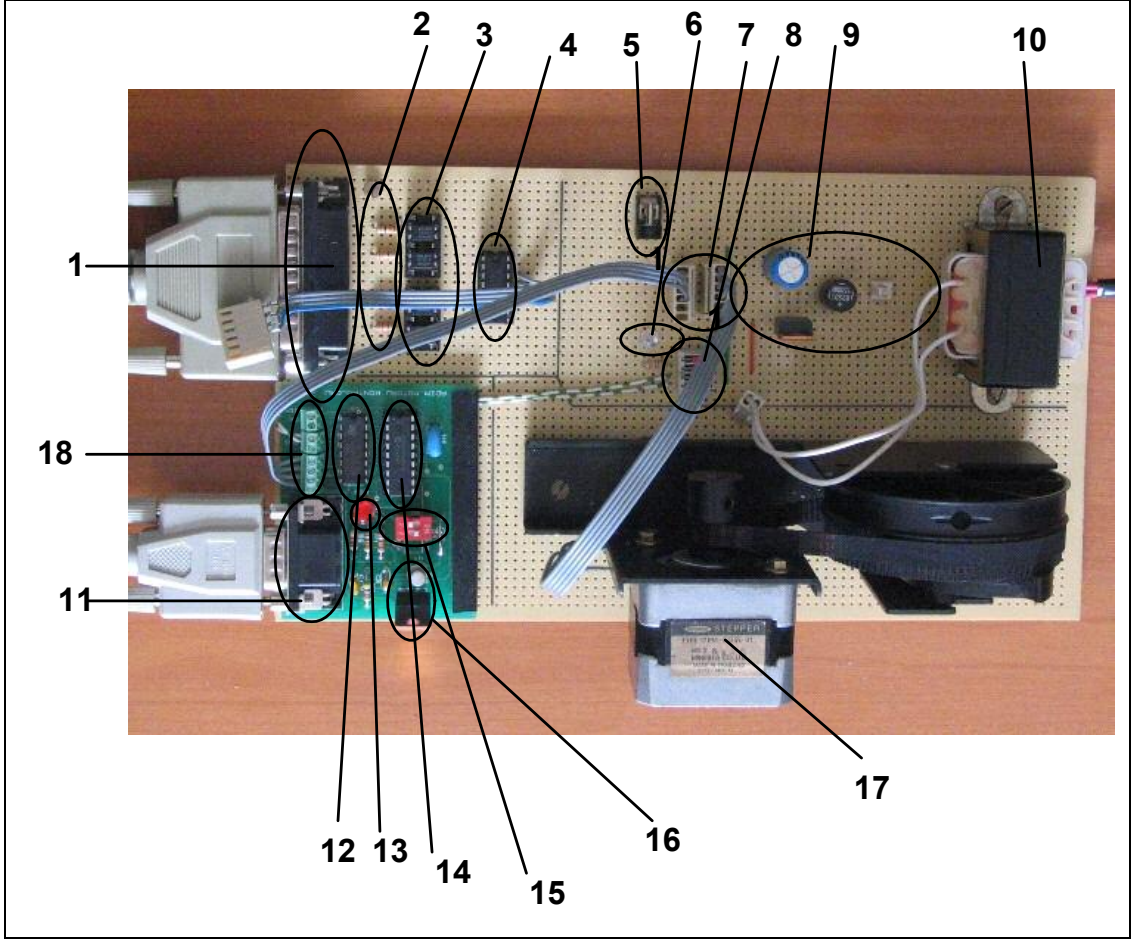
Seri ve paralel portlardan kontrolü amaçlanan sistemin donanım özellikleri dahilinde; her iki işletim grubunun özellikleri farklı farklı ele alınarak kullanılan tümleşik elemanlar veya eleman grupları ile bu grupların sistem içersinde üstlendiği görevlerden bahsedilmiştir. Tasarımın görsel ve fonksiyonel olarak işleyişini en iyi şekilde ortaya koyabilmek için iki farklı sistemin akış diyagramından faydalanılmıştır.

Aynı şekilde yazılım özellikleri dahilinde sistemin işleyişini en iyi şekilde kavrayabilmek için program üzerindeki her formun, her grafiğin ve her komut butonunun görevlerinden ayrı ayrı bahsedilmiştir.

### **VI.2. TASARLANAN SİSTEMİN DONANIM ÖZELLİKLERİ**

Tasarlanan bu kontrol sistemlerinin özelliklerinden bahsetmeden önce sistemin genel görünümü hakkında bilgi vermek yararlı olacaktır.

Aşağıda seri ve paralel port kontrollü sistemin üstten görünüşü verilmiştir:



Şekil VI.1 Tasarlanan sistemin üstten görünüşü

Yukarıda görünüşü verilen sistemin çalışma şekli ve özelliklerinden bahsetmeden devre üzerinde bulunan ve numaralandırılmış ana parçaları şu şekilde tanımlayabiliriz:

- 1. Paralel Port Arabirimi:** Lojik bilgilerin devreye aktarıldığı ve programlama ile konfigüre edilen 25 pinli konektör birimidir.
- 2. Dirençler:** Optokuplör devresinden önce kullanılan ve optokuplörün çalışma akımını sınırlayan dirençlerdir. Değerleri 330  $\Omega$ 'dur.
- 3. Optokuplörler:** Her hangi bir olası durum için sistemin güvenliğini sağlama amacıyla yerleştirilmiş led-fototransistör ikilisinden meydana gelmiş yalıtım elemanlarıdır. Her faz uyarımı için farklı optokuplör kullanıldığından sayıları 4 adettir.
- 4. Sürücü Entegre:** ULN2003A isimli tetikleme işlemi yapan entegre arabirimidir. Bu tip sürme devrelerinde ULN2003A gibi entegrelerden

farklı olarak transistör, tristör, mosfet gibi tetikleme elemanları da tercih edilebilir.

5. **Güç Kaynağı (1):** Sistemde iki farklı besleme tipi kullanılmıştır. 5 ile adlandırılmış bu kaynak adaptör beslemesini tanımlamaktadır.
6. **Sinyal Lambası:** Paralel port çalışma durumunda yanan şeffaf leddir.
7. **Soketler:** Seri ve paralel port çalışmalarda kullanılabilecek motor ile sürücü sistemler arası bağlantıyı sağlayan soketlerdir.
8. **Sviçler (1):** Seri ve paralel port sürücü sistemlere enerji sağlamak için kullanacağımız anahtarlardır. Her sistem için faz-nötr farklı olmak üzere toplam 4 adet sviç bulunmaktadır.
9. **Güç Kaynağı (2):** Köprü diyot, kondansatör ve 7812 regülâtöründen meydana gelen +12 V üreten güç kaynağıdır.
10. **Trafo:** 220/12 V transformatör.
11. **Seri Port Arabirimi:** Bilgilerin UART tüm devresi yardımıyla sisteme aktarıldığı ve 9 pinli konektördür.
12. **Sürücü Entegre:** Paralel port kontrollü sistemde kullanılan ULN2003A entegresinin eşdeğeridir.
13. **Sinyal Lambası:** Bilgisayar üzerinden PIC mikrokontrolünün programlanması sırasında sinyal lambası olarak yanan leddir.
14. **Sürücü Yönlendirici Sistem:** Bilgisayardan aldığı “seri bilgileri” hafızasında saklayarak istediğimiz anda ULN2003A entegresinin tetiklenmesini sağlayan PIC16F84 mikroişlemcisidir.
15. **Sviçler (2):** PIC mikrokontrolörün programlanması esnasında ikisinin de “ON” durumunda; motorun sürülmesi esnasında üstteki svicin “OFF”, alttaki svicin “ON” durumunda olması gereken sviç grubudur.
16. **Besleme:** Sisteme +5 V’luk gerilim sağlayan 7805 regülâtörüdür.
17. **Motor:** Astrosyn tarafından üretilmiş, +12 V ile çalışan, 1,8°lik adım derecesine sahip unipolar hibrit adım motorudur.
18. **Bağlantı Uçları:** Hibrit adım motorunun seri porttan çalışma durumunda bağlandığı ve sürücü devrenin beslemesinin gerçekleştirildiği (+12 V) uçlardır. Motor bağlantı uçları bilinmiyor ise bulmanın yolu şöyledir:

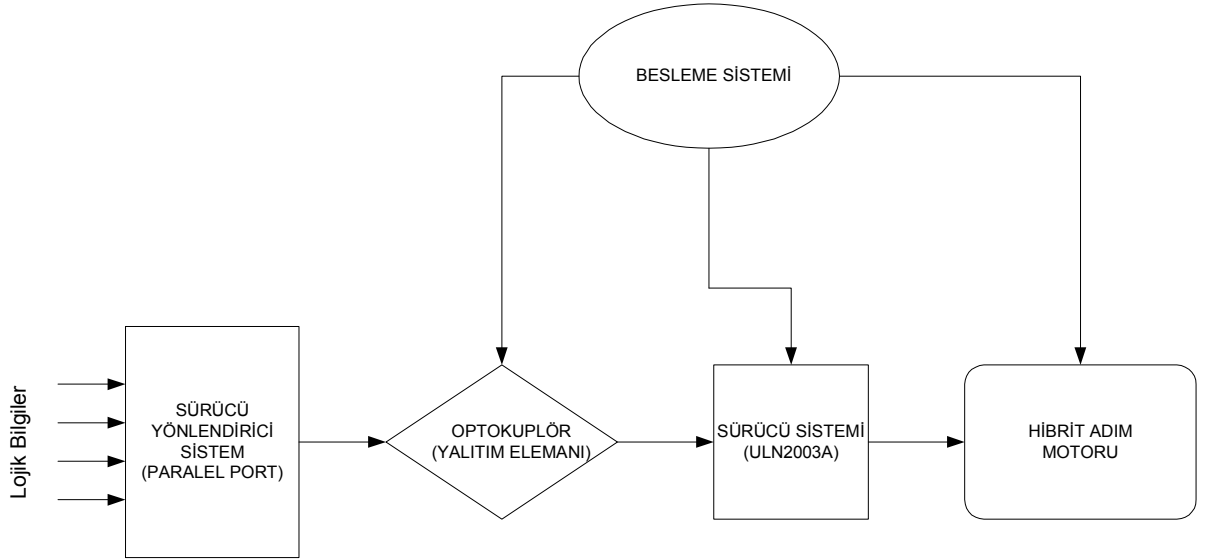
Motorun 4 bacağı kontrolöre gelişi güzel bağlanarak sistemin çalışması denir. Eğer motor dönmüyorsa sağdaki iki bacağın yeri değiştirilerek tekrar



Yukarıda verilen genel blok diyagramı ise şekil VI.2’de konfigüre edilmiş devreyi göstermektedir. Birinci kısım; kontrolün seri porttan yapıldığı sistemdir. Bu sürücü sistemi referans [1]’de kullanılan sürücü sistemi ile benzer özellikler göstermekte olup ana kontrol elemanı olarak PIC 16F84 mikroişlemcisi ve ULN 2003A tipi sürücü entegresi kullanılmıştır. İkinci kısım ise paralel port kontrollü sürücü sistem şemasını vermektedir.

### VI.2.1. Paralel Port Kontrollü Sistemin Donanım Özellikleri

Paralel port kontrollü devrenin çalışma özelliklerinden bahsetmeden önce sistemi aşağıda gösterimi verilen akış diyagramı üzerinde analiz etmek yararlı olacaktır.



Şekil VI.3 Paralel port kontrollü sistemin akış diyagramı

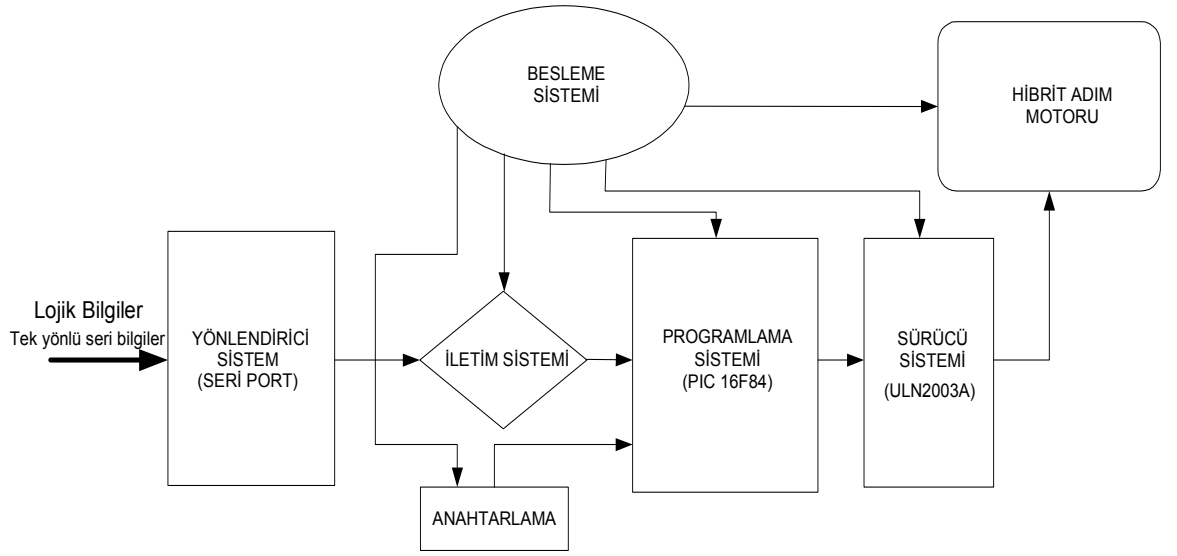
#### **Akış Diyagramı ve Devrenin Çalışması:**

Her şeyden önce devrenin çalışabilmesi için besleme sistemi aktif durumda olmalıdır. Şekil VI.1’de “5” (adaptör besleme) veya “9” (regülatör besleme) seçenekleri kullanılarak bu işlem gerçekleştirilebilir. Paralel port kontrollü devrenin beslemesi şekil VI.1’de “7” ile gösterilen sviçler sayesinde aktif hale getirildikten sonra akış diyagramının ilerleyebilmesi için ilk önce PC üzerinden paralel port konektörüne lojik bilgilerin gönderilmesi gerekmektedir. Bu bilgiler yazılım özellikleri içerisinde “Hibrit Adım Motorlarının Devir ve Yön Denetimi-2” adlı form sayesinde elde edilmektedir. Böylece paralel port konektöründe hazır olan lojik

bilgiler TLP-521 optokuplör donanım sistemini (bu sistem herhangi bir sebepten dolayı ortaya çıkabilecek olumsuzluklardan paralel port konektörünün etkilenmemesi için tasarlanmıştır) uyararak ULN2003A tipi sürücü entegrenin aktif hale gelmesini sağlar. PC sayesinde elde edilen lojik bilgiler sonuçta işlenerek HSM'nin istenilen yön, açılma pozisyon ve hızda çalışmasını sağlayacaktır.

## VI.2.2. Seri Port Kontrollü Sistemin Donanım Özellikleri

Aşağıda seri port kontrollü sistemin akış diyagramı verilmiştir:



Şekil VI.4 Seri port kontrollü sistemin akış diyagramı

### Akış Diyagramı ve Devrenin Çalışması:

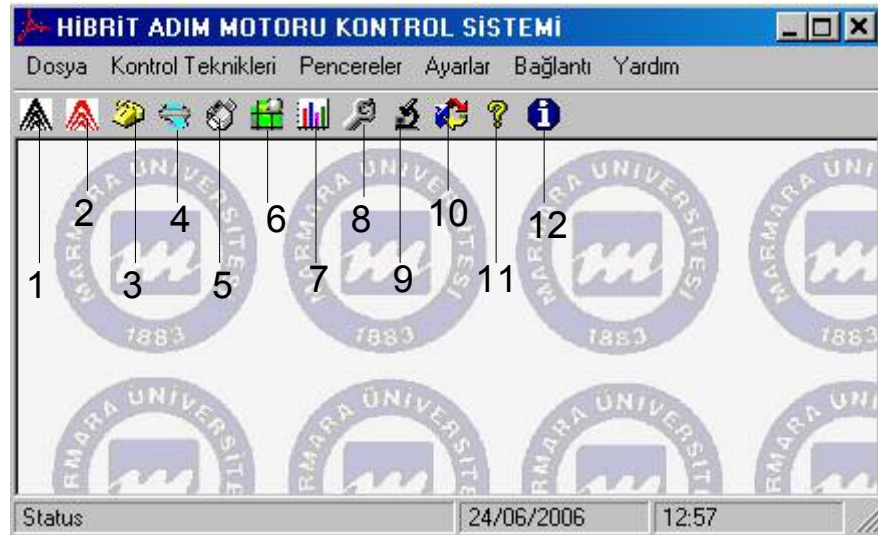
Şekil VI.1'de gösterilen şemada "5" ya da "9" besleme sistemleriyle "8" nolu anahtarlama elemanı kullanılarak enerji tedariki yapıldıktan sonra yazılım kısmında açıklanan "Hibrit Adım Motorlarının Devir ve Yön Denetimi-1" adlı form kullanılarak sistemin çalışması şu şekilde açıklanabilir:

- Yine şekil VI.1'de "15" no ile gösterilen S1 svicin yukarda olduğu kontrol edilir. (S2 önemli değil).
- Yazılım içersinde istenilen komutlar girildikten sonra "YÜKLE" tuşuna basılarak seri bilgilerin akış diyagramı üzerinde gösterilen iletim sistemi sayesinde RS232 arabirim kablosu aracılığıyla mikroişlemci içersine gönderimi sağlanır.

- Bu arada şekil VI.1’de “13” ile numaralandırılmış led 1 sn için yanıp sönecektir. Bu durum komutların mikroişlemciye tamamen ulaştığının sinyalcisidir.
- Kontrolörü programladıktan sonra şimdi otomatik olarak EEPROM bellekten çalıştırabiliriz.
- HSM kontrolöre bağlanarak “15” nolu sviçlerden S1 aşağı, S2 yukarı doğru alınır.
- Kontrolöre güç kaynağını takınca motor arzu edildiği gibi çalışmaya başlayacaktır. Tekrarlamak için güç kaynağını kapatıp yeniden açmamız gerekmektedir.

### VI.3. TASARLANAN SİSTEMİN YAZILIM ÖZELLİKLERİ

Microsoft Visuak Basic 6.0 programlama dili ile geliştirilmiş ve hem seri hem de paralel portlardan kontrol olanağı sağlayan “HİBRİT ADIM MOTOR KONTROL SİSTEMİ” paneli ilk çalıştırıldığında aşağıdaki form görünür (Şekil VI.5).




Şekil VI.5 Ana kontrol panelin görünümü

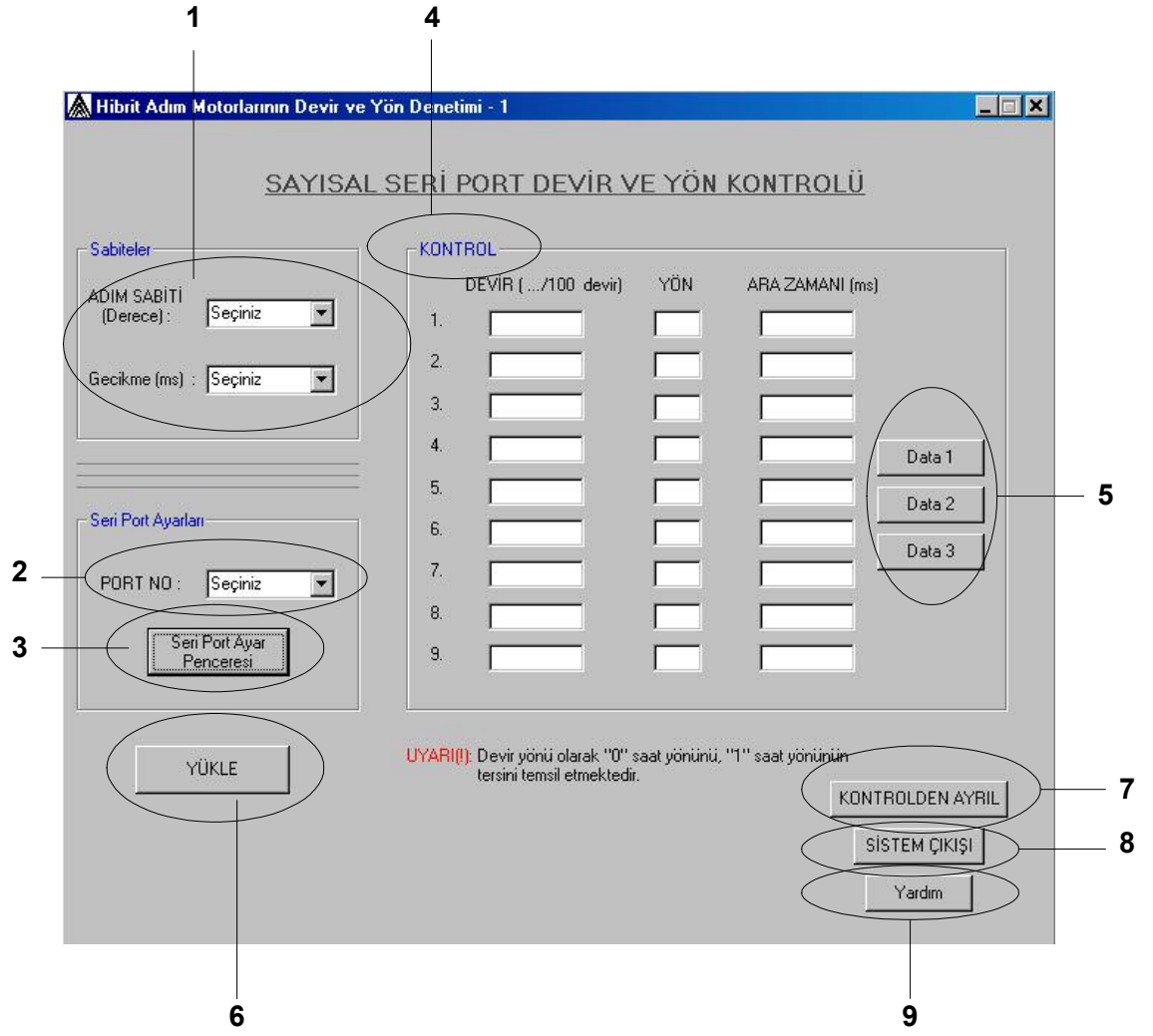
HSM’ler için geliştirilen kontrol sisteminde Windows program düzenine uygun şekilde yerleşim yapılmıştır. Kısaca araç çubuğu üzerinde bulunan komut satırları altında hangi dizinlerin bulunduğu ve bu dizinler yardımıyla hangi özelliklerin kullanılabileceğini şu şekilde açıklayabiliriz:

- “*Dosya*” kısmında tablo yazdırma, grafik yazdırma ve çıkış alt seçenekleri bulunmaktadır. Bu alt komutlar kullanılarak sistemde istenilen işlem gerçekleştirilebilir.
- “*Kontrol Teknikleri*” alt komut kısmında amaçlanan iki alt kontrol tekniğine giriş tanımlanmıştır. F1 ve F2 kısayol tuşları kullanılarak bu işlemler kolayca gerçekleştirilebilir.
- “*Pencereler*” komut satrında ise programda yer alan tüm aktif pencereler görüntülenebilir. Program; pencerelerin istenirse yatay veya dikey şekilde, uygun komutlar kullanılarak sıralanmasına olanak sağlamaktadır.
- “*Ayarlar*” menüsü; seri port kontrollü sistem için gerekli olan seri port ayarlarına olanak sağlanmaktadır. Bu kısma seri port kontrollü sistem içersinden de geçiş mümkündür.
- “*Bağlantı*” menüsünde program tasarlanıp yazılırken yararlanılan web sitelerine hızlı erişim sağlanmaktadır.
- “*Yardım*” menüsü ise program yapımcısı, versiyonu ve programın yapımında yararlanılan tüm kaynaklar hakkında bilgi ile tez çalışmasının tamamını içeren ve program kullanırken ortaya çıkan olumsuzlukları gidermek için yararlanılabilecek yardım yazılımını içermektedir.

Ana kontrol paneli üzerinde 1’den 12’ye kadar sıralanmış sayıların ifade ettiği kısayol komutlarına tıkladığı zaman aşağıda açıklaması verilen formlara ulaşmak mümkündür.

### **VI.3.1. Seri Port Kontrollü Sistemin Yazılım Özellikleri**

“1” nolu “” ikonuna tıkladığı vakit şekil VI.6’da verilen “Sayısal Seri Port Kontrol” paneline ulaşmak mümkündür.

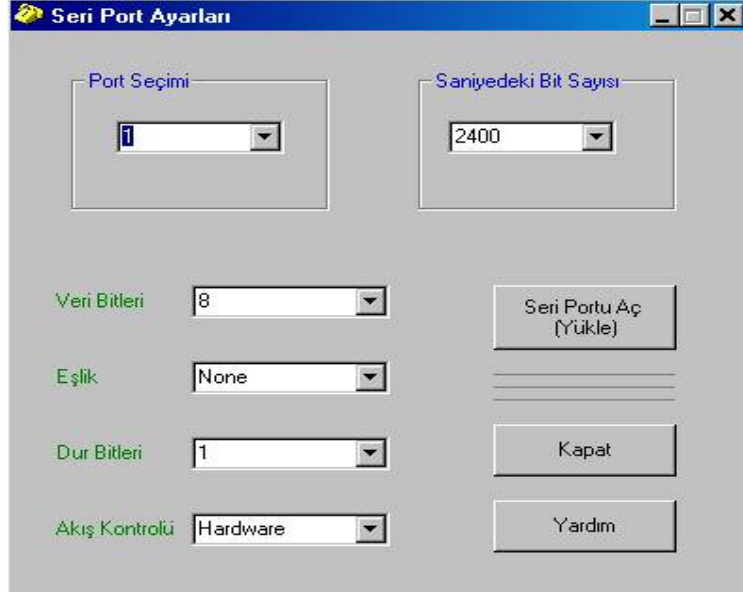


Şekil VI.6 Seri port kontrollü sistemin denetim arayüzü

Tasarlanan sistem içerisinde işleyişin en iyi şekilde kavranabilmesi için form üzerinde bulunan komut butonları, seçim kutucuklar vs. gibi özellikler numaralandırılmıştır. Bu numaralandırma sırasına bağlı kalarak sistemin işleyişini şu şekilde açıklayabiliriz:

- 1. Sabiteler:** Hibrit adım motoru ile ilgili temel tanımlamaları içeren kısımdır. Adım sabiti seçilirken “combobox” kutucuğunun yanında bulunan ok tuşuna basılarak adım motorunun her darbeye alacağı yol “derece” cinsinden belirlenmiş olur (1,8; 2; 18; 90 gibi...). Aynı şekilde adımlar arası gecikme milisaniye cinsinden belirlenirken kullanılan seçim kutucuğudur. 1’den 5’e kadar gecikmeler otomatik olarak tanımlanmış olup istenilen büyüklüğün seçimi bu özellik sayesinde gerçekleştirilebilir.

2. **Port Seçimi:** Bilindiği gibi seri port ile iletişim sağlanırken COMPORT olarak tanımlanan iletişim birimi yazılım içerisinde tanımlanmalıdır. COM1, COM2, COM3... gibi tanımlanan port numaraları için 1, 2, 3 gibi sayıları “combobox” sayesinde seçmek mümkündür.
3. **Seri Port Ayar Penceresi:** Bu komut butonuna tıklandığı zaman aşağıdaki form görüntülenir.



Şekil VI.7 Seri port ayar penceresi

Bu ayar penceresi kullanılarak bilgisayarımızda bulunan seri port konfigüre edilebilir. Port seçimi kısmında 2. kısımda bahsedilen seri portun numarası belirlenebilir. “Saniyedeki Bit Sayısı” kısmında seri iletişim protokolü sayesinde gönderilen bilgilerin saniyedeki hızı (baud rate) belirlenebilir. Aynı şekilde pencere sayesinde veri bitlerinin sayısını, eşlik durumunu, dur bitini, akış kontrolünün tipini ayarlamak mümkündür. Tüm bu seçimler yapıldıktan sonra “Yükle” komut butonu kullanılarak ayarların sisteme aktarımı sağlanmaktadır.

4. **KONTROL:** Kontrol kısmında ise motorun 9 dönemden oluşan çalışma zamanları belirtilmiş ve yan tarafta bulunan data komutları sayesinde motorun 1., 2., .....10. çalışma zamanlarında ne kadar adım alacakları, yönünün ne olacağı ve her çalışma dönemi arasındaki milisaniye cinsinden gecikmelerinin girilmesine olanak sağlanmıştır. İstenilen değerler girildikten sonra seri donanım içerisinde yer alan mikroişlemci programlanmaya hazır hale getirilmiş demektir.

5. **Data Kutucukları:** Yukarıda da açıklandığı gibi kontrol kısmında verilen devir, yön ve ara zamanı birim değerlerinin hazır olarak bulunduğu komut kısmıdır. Komut butonuna tıklandığında değerler otomatik olarak “kontrol” kısmına aktarılacaktır. İstenirse değerler manuel olarak ta değiştirilebilir.
6. **“YÜKLE” Komut Butonu:** Yukarıda bahsedilen işlemler gerçekleştirildikten sonra sistemimiz artık programlamaya hazır hale gelmiştir. Yükle Komutuna basıldığı zaman verilen sayısal bilgiler RS232 sayesinde seri olarak mikro işlemcinin belleğine yollanır ve motoru sürmek üzere aynı yerde saklanır. Bu arada yükleme işleminin gerçekleşip gerçekleşmediğini anlayabilmek için “YÜKLE” komutuna basıldığı anda seri port kontrol devresi üzerinde bulunan ve şekil VI.1’de “13” ile numaralandırılmış ledin 1 sn için yanıp yanmadığını kontrol etmek yeterlidir.
7. **Kontrolden Ayrıl:** Bu komut butonuna tıklandığı vakit seri port yazılımı içersinde “*MsComm1.PortOpen=False*” yapılarak yani port değeri pasif hale getirilerek sistemden çıkış sağlanır.
8. **SİSTEM ÇIKIŞI:** Bu komut butonu sayesinde formdan çıkış sağlanır. Komut tıklandığı zaman Şekil VI.8’de gösterilen bilgi penceresi görüntülenir:

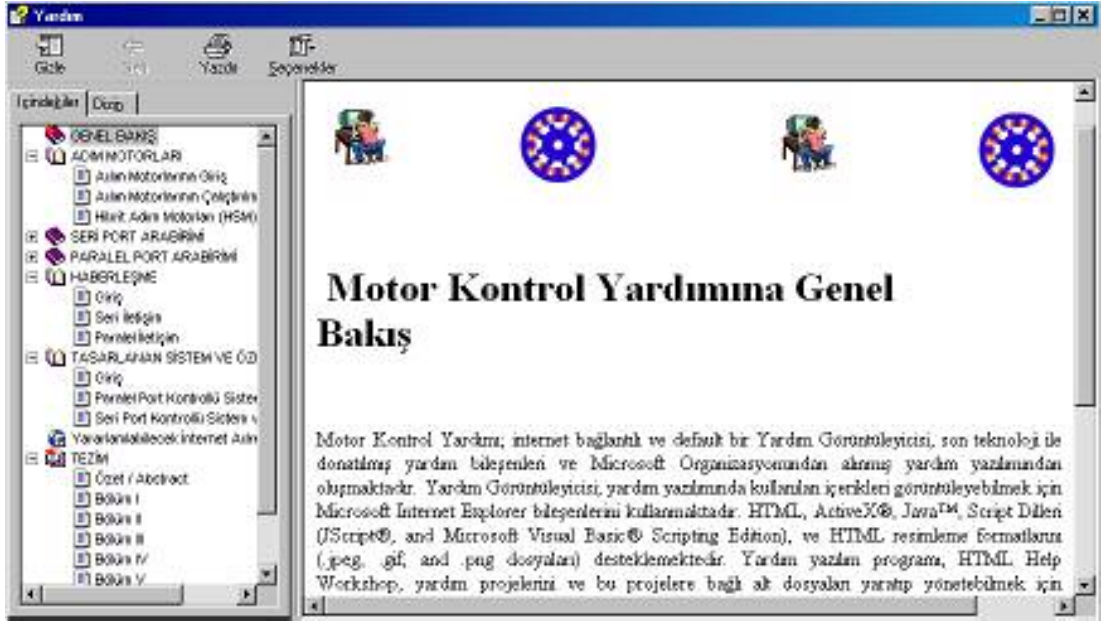


Şekil VI.8 Çıkış bilgi penceresi

“Evet” komutu tıklanırsa sistem çıkış sağlanır, “Hayır” tıklanırsa formun görüntülenmesine devam edilir.


9. **Yardım:** Bu komut butonu sayesinde tasarlanan ve uygulanmasına olanak sağlanan özetlenen sistemler haricinde HTML Help Workshop paket yazılımı ile program kullanımında herhangi bir noksanlığa meyil vermeyecek bir yardım menüsü hazırlanmıştır. Yardım menüsü ile programın kullanım kolaylığı mümkün en üst seviyeye çıkartılmaya çalışılmıştır. Aşağıda verilen şekilde görüldüğü gibi yardım yazılımında genel olarak motor kontrolünde önemli bir yere sahip ve seri ve paralel portların kullanımı ile ilgili bilgiler verilmiştir. Motor kontrol yardımına genel bakış menüsünde programın hangi

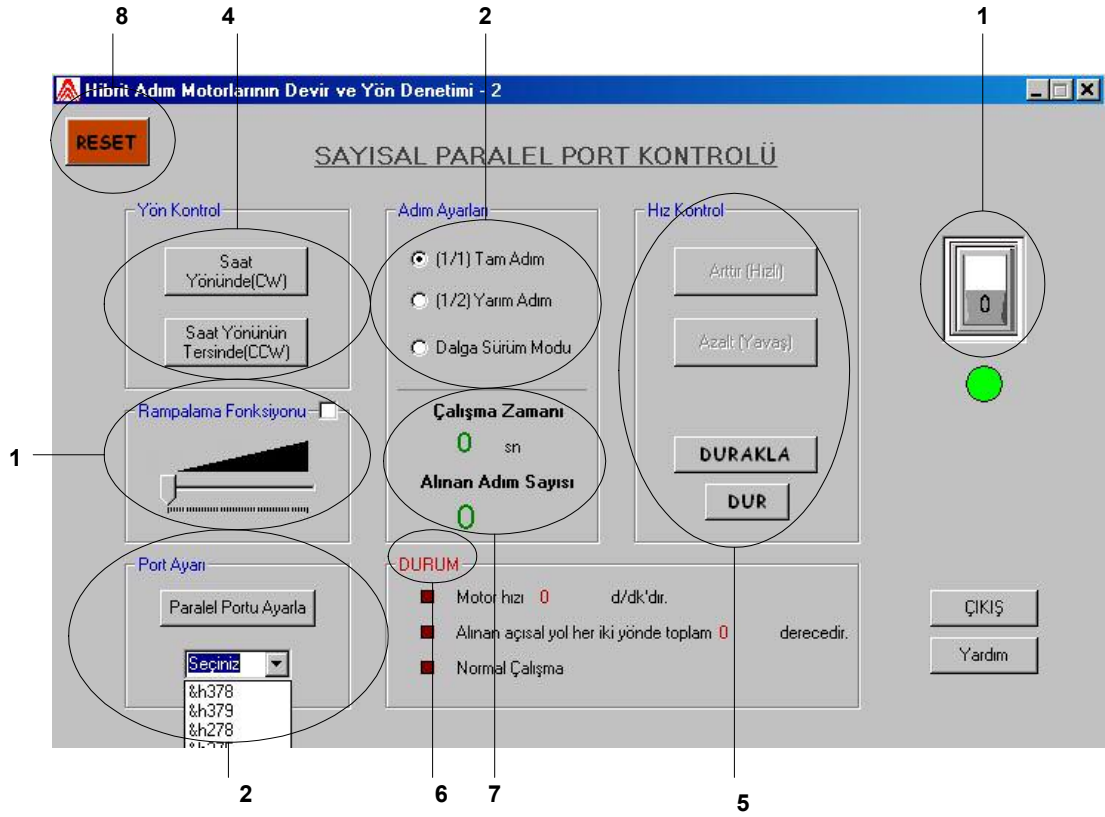
script (betik) dillerinde kullanılabileceği ve hangi formatları desteklediği açıklanmıştır.



Şekil VI.9 Motor kontrol yardımı HTML yazılım görünümü

### VI.3.2. Paralel Port Kontrollü Sistemin Yazılım Özellikleri

Şekil VI.5'te verilen “2” nolu “” ikonuna tıkladığında bölüm 5'te açıklanan paralel port özelliklerinden faydalanılarak Visual Basic 6.0 yazılım programı kullanılarak geliştirilmiş arayüz kontrol paneli olan “Sayısal Paralel Port Kontrol”a erişim sağlanmaktadır. Aşağıda kontrol panelinin görünümü verilmiştir:



Şekil VI.10 Paralel port kontrollü sistem programlama ve denetim arayüzü

Yukarıda kontrol arayüzü verilen sistem 5 adet alana ayrılmış ve numaralandırılmıştır. Programlama veya kontrol algoritması belirlenirken dikkat edilecek sıra ile özellikleri aşağıda verilmiştir:

1. **ON/OFF:** Sistemin çalışmaya hazır hale gelebilmesi için bazı kontrolörlerin aktif hale getirilmesi gerekmektedir. Bu işi Şekil VI.10'da "1" ile verilen ON/OFF komut butonu üstlenmektedir. Yani kısaca sisteme enerji vermek için ON butonuna tıklayıp altında bulunan yeşil renkli ledin yanmasını görmemiz gerekmektedir.
2. **Port Ayarı:** Bu kısımda bölüm 5'te açıklanan paralel portun ayarı yapılmaktadır. Port ayarı yapıldıktan sonra "paralel portu ayarla" komut butonuna mutlaka basılmalıdır. Basılmadığını varsaydığımızda sistem aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi "*Lütfen PARALEL Port adresini girip "Ayarla"ya tıklayınız. Örnek:&h378*" şeklinde bir uyarı mesajı verecektir. Komut butonuna tıkladıktan sonra artık paralel portumuz ayarlanmış ve kullanılmak üzere hazır durumda demektir.



Şekil VI.11 Paralel port ayar uyarı penceresi

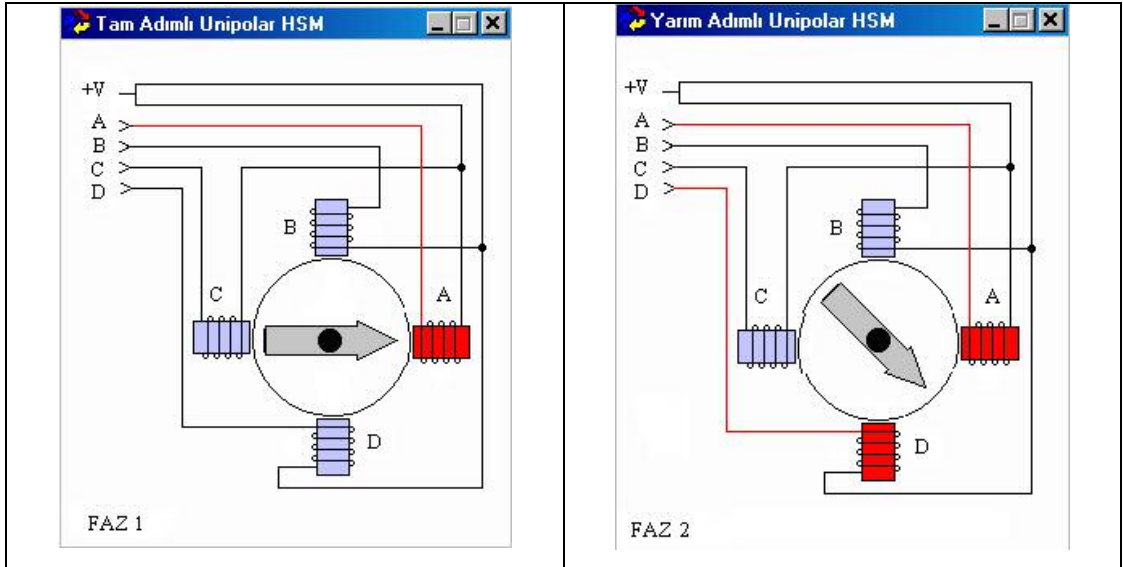
3. **Adım Ayarları:** Bu kısım; kontrolü yapılacak HSM'nin yarım, dalga sürüm veya tam adım çalışma durumunun belirlenme basamağıdır. Bu bölümde seçim yapılırken sadece etiketlerin sağ tarafında bulunan seçim (option) butonlarına tıklamak yeterlidir. Bu bölümde ayrıca çalışma zamanına bağlı görsel olarak motorun aldığı adım sayısını görmek yeterlidir.
4. **Yön Kontrol:** Adım ayarı yapılan HSM'nin saat yönü (CW) veya saat yönünün tersinde (CCW) dönüşü için gerekli ayarın yapıldığı ve sisteme "motoru çalıştır veya sür" emrinin verildiği komut butonlarının bulunduğu kısımdır. Bu butona tıklandıktan sonra artık motorumuz çalışır ve verilen komutları uygular durumdadır.
5. **Hız Kontrol:** Motorun çalışır durumdayken hız kontrolünün yapıldığı kısımdır. Motorun hızını bir mod (bu mod değeri program içerisinde 5 ms olarak tanımlanmıştır) arttırmak için "*Arttır (Hızlı)*" komut butonuna, azaltmak için ise "*Azalt (Yavaş)*" komut butonuna bir defa tıklamak yeterlidir. Motorun hızı sürekli arttırıldığında belli bir andan sonra motor maksimum hız değerini de aşma noktasına gelecektir. Kontrol programı içerisinde bu durum da kontrol altına alınmış ve belli andan sonra sistem Şekil VI.12'de gösterildiği gibi "*Motorun hız sınırını aşmak üzeresiniz! Hızı azaltınız!*" şeklinde bir uyarı mesajı vermektedir. Bu komut sistemi "rampalama fonksiyonu" aktif durumda iken kullanılamamaktadır.



Şekil VI.12 Sistemin hız uyarı penceresi

6. **DURUM:** Görsel olarak motorun d/dk cinsinden hızını, derece cinsinden aldığı toplam açısal yolu ve motorun çalışma durumunu gösteren kısımdır. “Normal Çalışma” motorun normal seyrinde gittiğini, “Motor ortalama hızda ilerlemektedir” ibaresi motor hızının arttırıldığını ve ortalama hıza ulaştığını ve “Motor maksimum hıza ulaşmak üzeredir” ifadesi ise motorun maksimum hıza ulaşmak üzere olduğunu vurgulamak için gelen uyarı mesajlarıdır.
7. **Numaratörler:** Motorun gerçek çalışma zamanının (sn olarak) ve aldığı adım sayısının görsel olarak takip edildiği kısımdır.
8. **RESET:** Çalışma veya duraklama esnasında sistem ayarlarının sıfırlanmasını sağlayan komut butonudur.


Açıklanan sistem ayarları ve komut butonlarında farklı olarak paralel port sistemine “sür” emrini veren “Yön Kontrol” kısmı aktif hale geldiğinde motorun hızı, adım durumu (tam, yarım ve dalga sürüm modu) ve dönüş yönüne göre çalışan animasyon otomatik olarak ekrana gelmektedir (Şekil VI.13).





Şekil VI.13 Tam ve yarım adimli animasyonlar


### VI.3.3. Diğer Yazılım Özellikleri

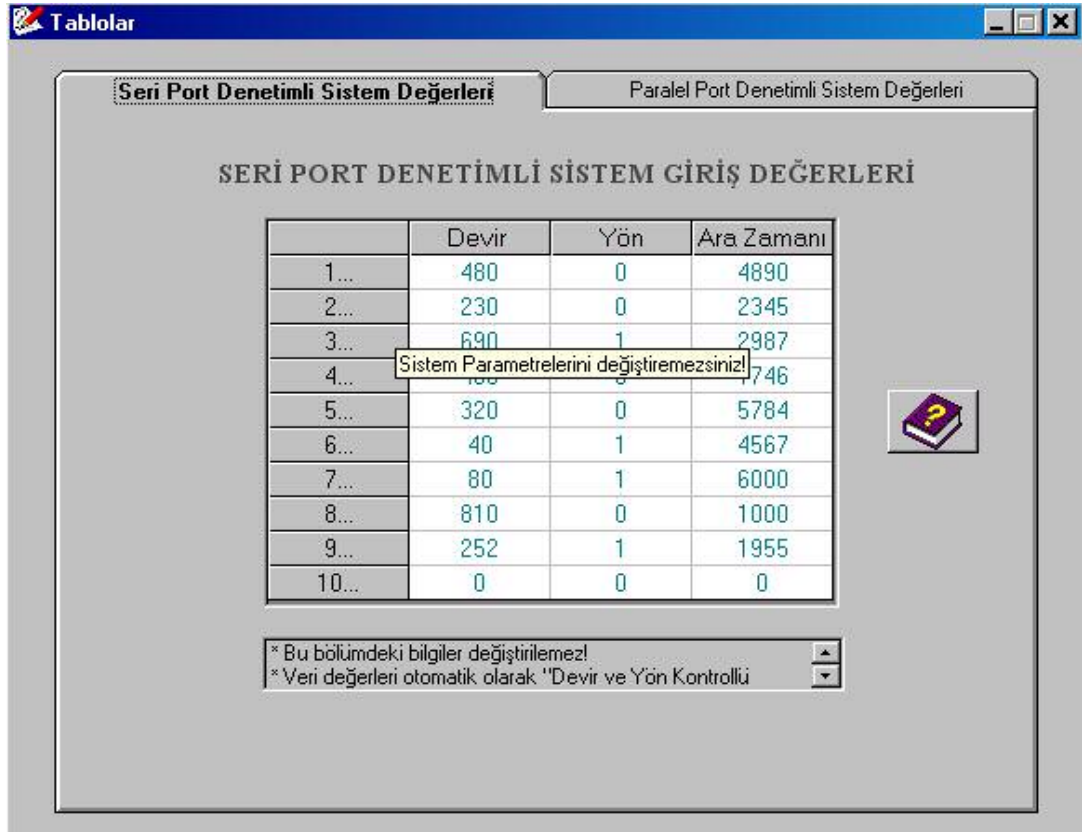
Paralel ve seri port kontrollü sistemlerin yazılım özelliklerinden farklı olarak HSM kontrol sisteminde farklı yazılımlara da yer verilmiştir.

- Şekil VI.5'te “3” nolu  ikonuna tıklandığında kısa yoldan şekil VI.7'de verilen seri port ayar penceresine ulaşmak mümkündür.

- Aynı şekil üzerinde “4” nolu  komut butonu tıklandığı vakit otomatik olarak tablolar penceresinin “pdf writer” yardımı ile çıktısı alınabilir. Benzer olarak  ikonu tıklanırsa grafikler penceresinin çıktısına ulaşılabilir.

### VI.3.3.1. Tablolar Menüsü ve Özellikleri

Şekil VI.5’te verilen  ikonu tıklanırsa hem seri hem de paralel port kontrolü için tasarlanmış sistemin çalışma anında elde edilen verileri farklı bir veri tabanı içerisinde tabloya alınmakta ve bu verilerin grafiklerinin çizilmesine olanak sağlanmaktadır.



	Devir	Yön	Ara Zamanı
1...	480	0	4890
2...	230	0	2345
3...	690	1	2987
4...	180	0	746
5...	320	0	5784
6...	40	1	4567
7...	80	1	6000
8...	810	0	1000
9...	252	1	1955
10...	0	0	0

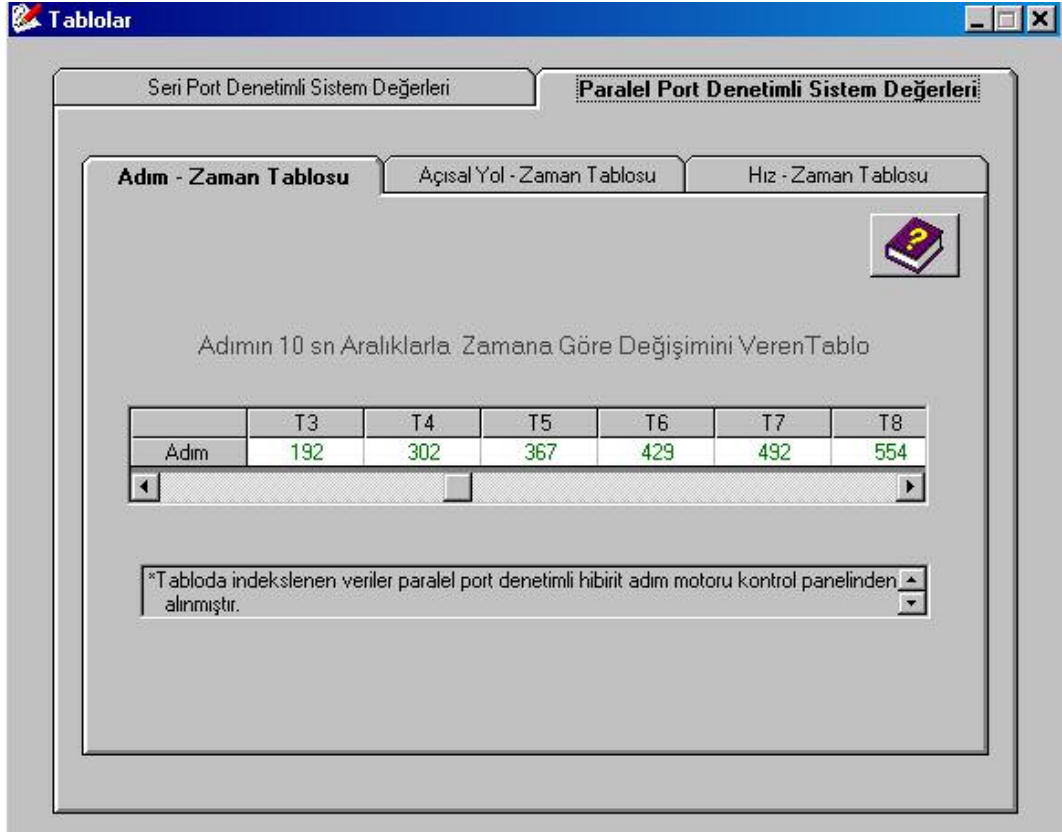
\* Bu bölümdeki bilgiler değiştirilemez!  
\* Veri değerleri otomatik olarak "Devir ve Yön Kontrollü"

Şekil VI.14 Seri port denetimli sistemin tablo değerleri


Yukarıda gösterildiği gibi tasarlanan tablo sayfasında iki ana bölüm bulunmaktadır.

Şekil VI.14’te; seri port denetimli sistem için belirlenen devir, yön ve ara zamanı parametrelerinin değişim tablosu görülmektedir.


Aşağıda görüldüğü gibi paralel port denetimli sistem değerleri kısmında ise sistemin paralel porttan sürülmesi durumunda zamana bağlı olarak elde edilen adım, açılmal yol ve hız değerleri kayda alınmış ve grafiklerinin çizilmesi sağlanmıştır. Aşağıda verilen formda adım-zaman tablosu gösterilmiş olup benzer olarak açılmal yol-zaman ve hız-zaman veri tablolarından bahsetmek mümkündür.



Şekil VI.15 Paralel port denetimli sistemin tablo değerleri

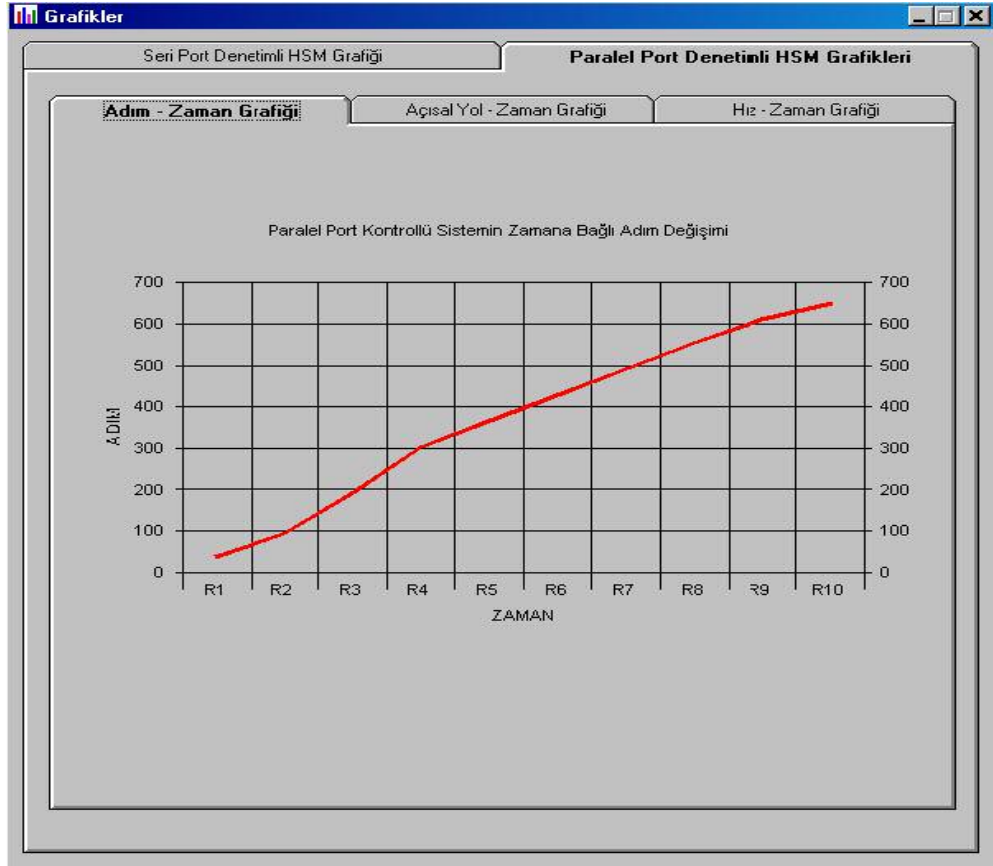
Hem seri hem de paralel port denetimli sistem tablo değerleri formunda verilen görünümün sağ üst köşesinde bulunan “” kısayol komut butonu sistemin; şekil VI.9’da bahsedilen HTML Help Workshop programı ile tasarlanmış yardım yazılımına doğrudan erişimini sağlamaktadır.

### VI.3.3.2. Grafikler Menüsü ve Özellikleri

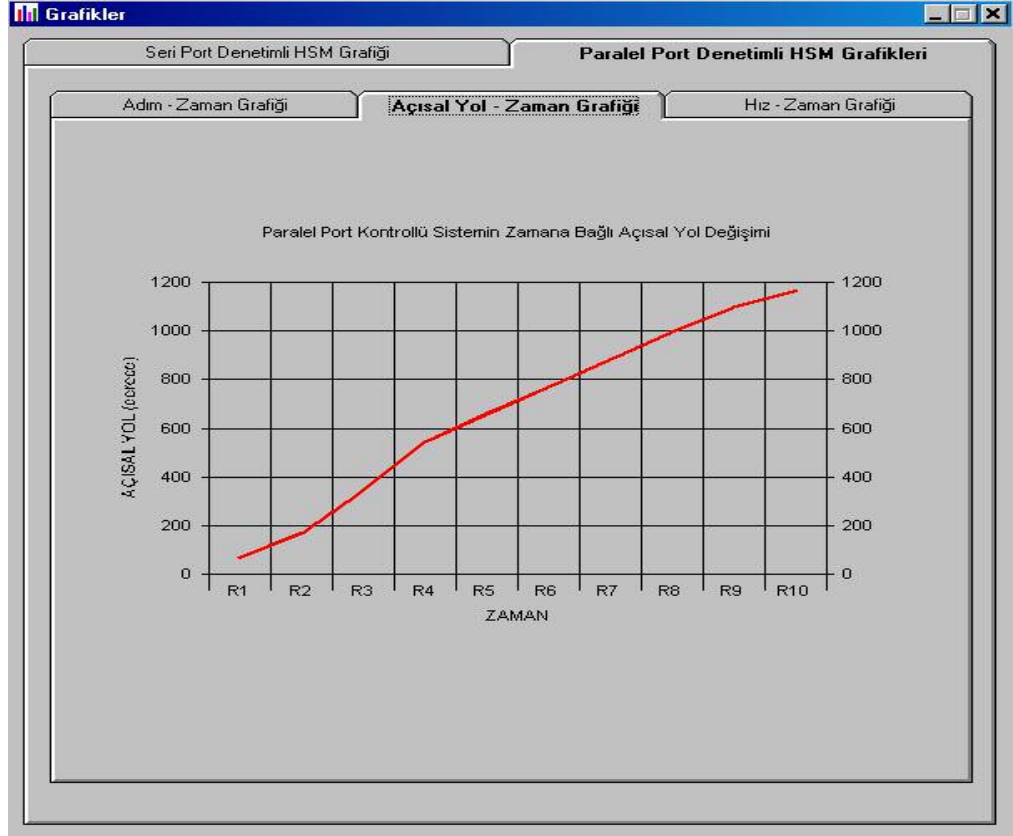
Tasarlanan sistem tablolar kısmında elde edilen verilerin işlenerek grafik haline getirilmesine olanak sağlamaktadır. Grafikler menüsüne şekil VI.5’te gösterilen “” ikonuna tıklanarak doğrudan erişim sağlanabilir. Paralel port kontrollü sistem

için gerçek çalışma zamanına bağlı olarak her 10 sn'de bir tabloya işlenen veriler otomatik olarak grafikte yine gerçek zamana bağlı olarak çizilmektedir. Grafik çizimi yapılırken motorun çalışma durumu ile ilgili bilgi almak için 10 dönemlik çalışma periyodunun yeterli olacağı düşünülmüş ve çizimler programa 100 sn'lik çalışma dönemi için yaptırılmıştır. Motorun çalışma sayısı (her 10 sn için) arttıkça grafiğin büyüklüğü otomatik olarak değişmektedir.

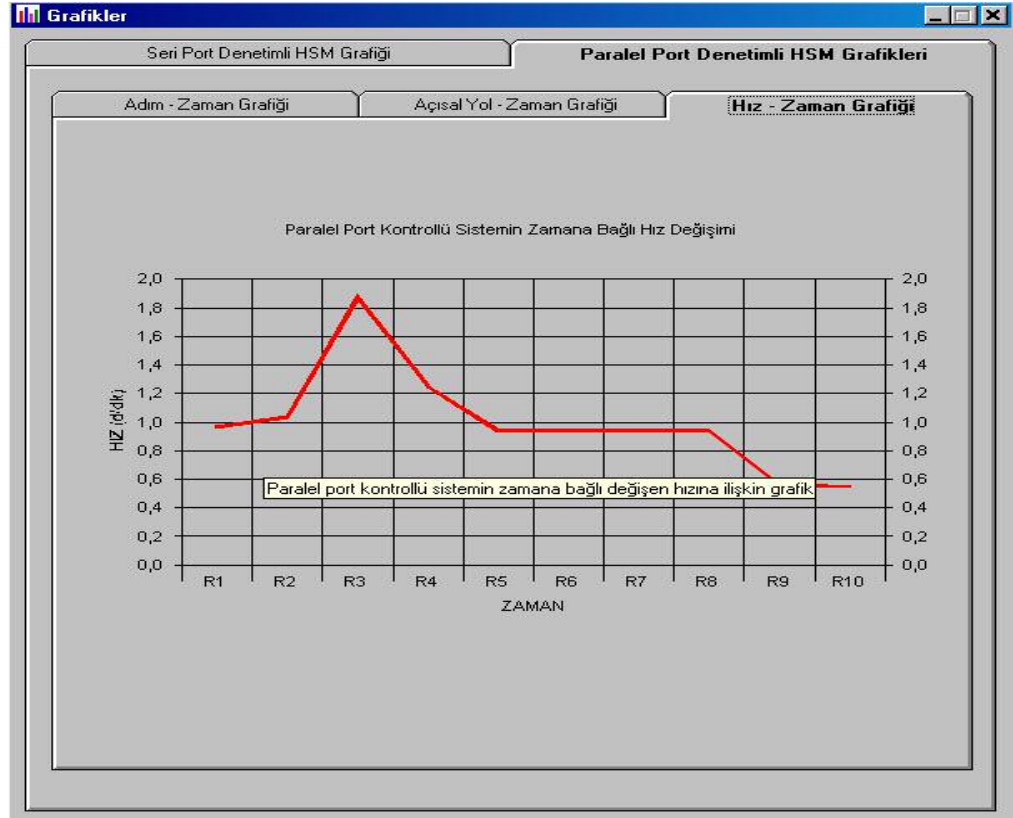
Tablo verilerinin işlenmesinde olduğu gibi grafik çizimi yapılırken paralel port kontrollü sistemin gerçek zamana bağlı olarak adım, derece cinsinden alınan toplama açısal yol ve devir/dakika olarak hız grafikleri çizilmektedir. Aşağıda tarif edilen bu özelliklerin form içerisinde sırasıyla grafiksel gösterimleri verilmiştir.



Şekil VI.16 Paralel port kontrollü sisteminin adım-zaman grafiği

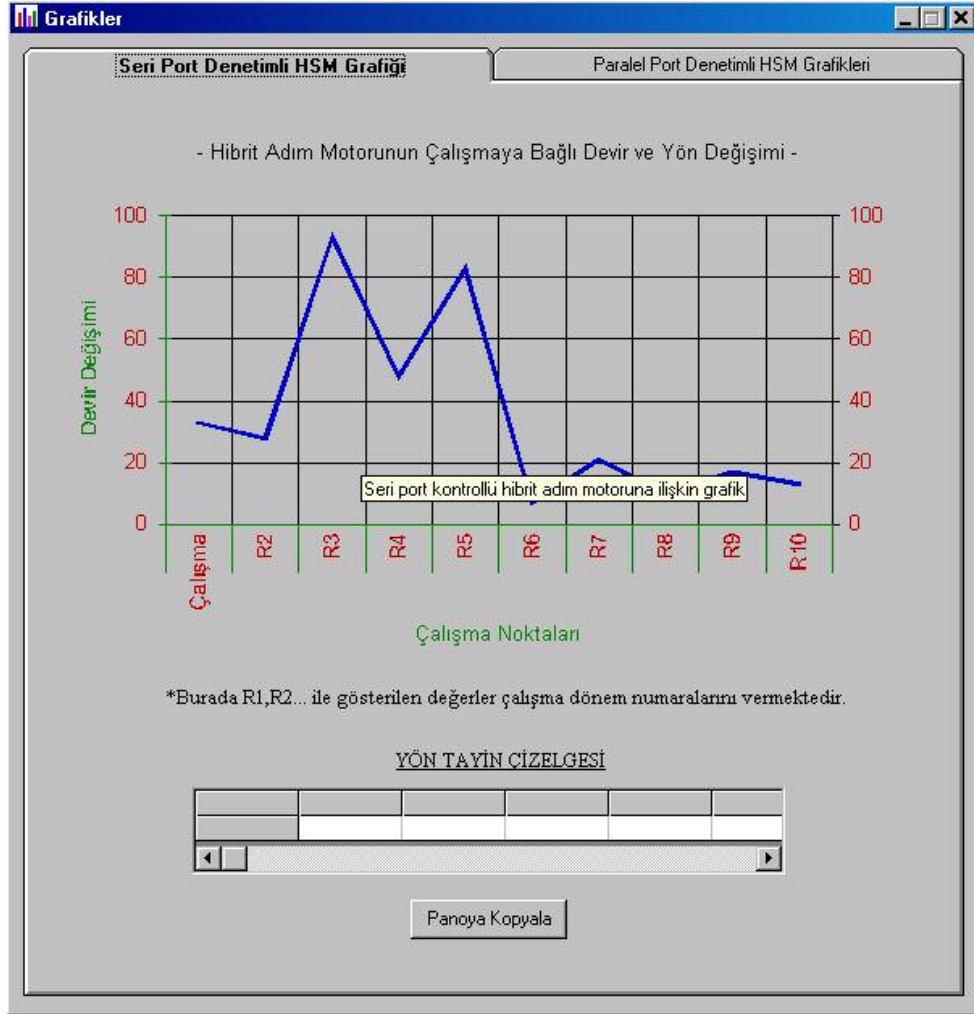


Şekil VI.17 Paralel port kontrollü sisteminin açısal yol-zaman grafiği




Şekil VI.18 Paralel port kontrollü sisteminin hız-zaman grafiği

Aşağıda verilen grafik şeklinde ise paralel port kontrollü sistemde olduğu gibi açık döngü ile kontrol edilen seri port kontrollü sistem bilgilerinin grafiğini elde etmek mümkündür. Elde edilen grafik ile motorun çalışma dönemlerine ait adım sayıları ve çalışma dönemlerinde motorun hangi yönde döndüğü ile ilgili verilerin değişimi hakkında bilgi sahibi olunabilir.



Şekil VI.19 Seri port kontrollü sisteminin çalışmaya bağlı devir ve yön değişim grafiği

### VI.3.3.3. Motor ve Program Bilgileri

Farklı olarak yine şekil VI.5'te gösterilen ve “” ikonu ile ifade edilen komut butonuna tıkladığı zaman projede kullanılan HSM ile ilgili olarak elektriksel, mekanik ve sınıflandırma özelliklerine erişim sağlanabilir (Şekil VI.20).



Şekil VI.20 HSM özellik formu

Programla ilgili olarak ayrıca program yapımcısı, program versiyonu, adı vb. gibi özellikleri içeren bilgi formu mevcuttur.



Şekil VI.21 Program özeti formu

Formda gösterilen “Sistem Bilgisi..” komut butonu tıklanırsa bilgisayarın hangi modda (normal, güvenli kip gibi...) çalıştığı ile ilgili bilgi alınabilir.

## VI.4. SONUÇ

Bu bölümde tasarlanan proje hakkında genel bilgiler verilmiş, motorun sürülmesinde kullanılan sürücü devre ve tasarımı hakkında da kısa bilgilere değinilmiştir. Elde edilen veriler ve karşılaştırmalar sonucu tasarlanan ve uygulaması gerçekleştirilmiş HSM projesinin bilgisayar üzerinden denetimli sistemlerin gelişmesine faydalı olabildiği kanısına varılmıştır.

Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda kapalı döngü kontrol sisteminin kullanımı ile hata oranları minimum seviyeye düşürülerek daha düzgün hız, tork ve performans eğrileri elde edilebilir.

## **BÖLÜM VII**

### **YAPILAN ÇALIŞMANIN EĞİTİME KATKISI**

Yapılan çalışma kapsamında endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan hibrit adım motorlarının farklı denetim özellikleri üzerinde durulmuştur. HSM'nin kontrolü için iki farklı denetim algoritması oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Motorun kontrolünde özel sürücü devreleri ve bilgisayar üzerinden özel yazılımlar aracılığıyla farklı denetim mekanizmalarının geliştirilmesi amaçlanmış ve ortaya konulmuştur.

Bölüm VI'da üzerinde durulan seri ve paralel port kontrollü sistemlerde kullanılan formların açıklamaları ile tasarımın özelliği dikkate alındığı vakit projenin yüksek öğrenim kurumlarının elektrik, elektronik ve bilgisayar bölümlerinde (meslek yüksek okullarının elektrik, elektronik ve bilgisayar programları ; teknik eğitim fakültelerinin elektrik, elektronik ve bilgisayar eğitimi bölümleri ile mühendislik fakültelerinin elektrik, elektrik-elektronik ve elektronik mühendisliği bölümleri) rahatlıkla kullanılabileceği söylenebilir. Bölümlerin bilgisayar üzerinden yazılım ve kontrol derslerinin uygulama kısımlarında; öğrencinin konu içerisinde yazılımı ve donanımı en iyi şekilde kavrayabilmesi geliştirilmiş seri ve paralel port kontrollü sistemlerin faydalı olacağı düşünülmüştür.

Bu bilgiler ışığında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü'ndeki dersler ve içerikleri araştırılmış ve yapılan çalışmanın hangi dersler çerçevesinde kullanılabileceği aktarılmaya çalışılmıştır.

Ortaya çıkarılan dersler ve içerikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo VII. Tasarımın kullanılabileceği dersler ve içerikleri**

DERS	KODU	İÇERİĞİ
<b>BİLGİSAYAR EĞİTİMİ</b>	<b>ELC 173</b>	Bilgisayara giriş , Bilgisayar sistemi nedir , bilgisayar sisteminin elemanları , bilgisayarların sınıflandırılması , bilgisayar donanımı , Merkez İşlem Birimi (MİB) , mikroişlemciler. Bellek türleri ; ROM , PROM , EPROM , RAM , Cache bellek , yardımcı bellek aygıtları , hard disk. Ana kartlar , paralel ve seri portlar , Giriş-Çıkış aygıtları. Bilgisayar işletim sistemleri , veri haberleşmesi , yerel ağ bağlantıları ve networklar. Sistem yazılımı : İşletim sistemi , DOS ve WINDOWS programlama dilleri , yardımcı programlar. Uygulama yazılımları , tekli çalışma ( single tasking ) , çoklu çalışma ( multitasking ) , kelime işlemciler ve masa üstü yayıncılık , hesap tablosu programları , Multimedia.
<b>BİLGİSAYAR PROGRAMLAMA</b>	<b>ELC 279</b>	Yüksek düzeyli dillerin genel başlık altında incelenmesi, BASIC programlama diline giriş , komutların bilgisayara aktarım yöntemleri, karakterler, değişkenler, aritmetik işlemler, kontrol komutları ve sayaç kavramı , matematik fonksiyonlar, döngüler , ekran düzenleme komutları, akış diyagramı, alt program kavramı, dosyalar. Laboratuvar Uygulaması : Temel BASIC komutları, satır nosu kavramı , REM , PRINT, CLS komutları ile kısa örnekler. Sayaç ve FOR-NEXT ile örnekler. Mantıksal ve matematiksel komutlar IF-THEN-ELSE , AND-OR , TAB ve LOCATE ile ekran düzenleme, GOSUB-RETURN ile alt programlar , dosya örnekleri.
<b>LOJİK DEVRELER</b>	<b>ELC 378</b>	Analog ve sayısal işaret tanımları , iki olasılıklı mantık , iki tabanlı sayı sistemi , iki tabanlı kodlama düzenleri , hexadesimal ,BCD sayı sistemleri , ASCII kodu , Boole cebri , lojik kapı tanımları , AND , OR , NAND , NOR , EXOR , EXNOR tanımları , doğruluk tablosu , lojik ifadelerin oluşturulması , sadeleştirme yöntemleri , Karnaugh haritası , AND-OR ile gerçekleştirme , OR-AND ile gerçekleştirme , ardışıl lojik devre tanımı , multivibratörler ,

		flip-flop devreleri , JK flip-flop , D flip-flop çalışma tablosu anlatımı , flip-flop ile oluşturulan sayıcı düzenleri , ripple counter , senkron sayıcı , binary counter , ondalık sayıcı ve tüm devre örnekleri , shift register tanımı ve örnekleri. Endüstriyel uygulamalar , timer , sayıcı , decoder düzenleri.
<b>PROGRAMLANABİLİR DENETLEYİCİLER</b>	<b>ELC 477</b>	Programlanabilir denetleyici kavramı ve tanımı, cihazların genel yapıları, giriş ve çıkış özellikleri, Boole cebri fonksiyonlarının programlanabilir denetleyici içinde komut olarak kullanımı, grafik yöntemle programlama, zamanlayıcı, sayıcı ve shift register olanaklarının kullanımı, örnek programlar ile otomatik kumanda devrelerinin programlanabilir denetleyici ile gerçekleştirilmesi, sistemin dış çevre ile haberleştirilmesi, PC ile haberleşme ve monitör olanakları, analog-sayısal ve sayısal-analog çevirici birimlerinin kullanımı, ileri aritmetik işlemler ve hesap yöntemleri.
<b>MİKRO İŞLEMCİLER</b>	<b>ELC 472</b>	Lojik devreler dersinin devamı olarak, RAM , ROM kavramları ve tüm devre örnekleri, bellek organizasyonu, aritmetik devreler, ALU kavramı ve yardımcı registerlar, mikro işlemci mimarisi, örnek olarak 6803 mikrobilgisayar sisteminin incelenmesi, adres yolu ve veri yolu kavramları, çevre birimleri tanımları, OP CODE tanımları ve makine dili program oluşturulması, sistemin dış çevre ile haberleşmesi, RS-232 düzeni, paralel haberleşme, CENTRONİC ara birimi, ekran sürücü birimi ve ekran türleri.
<b>OTOMATİK KONTROL II</b>	<b>ELC 474</b>	Sürekli rejim hataları, 2. dereceden sistemlerin zaman düzlemi kriterleri, karanlık analizi, Routh-Hurwitz kriteri, PID kontrolör, On-Off kontrolör, PID katsayılarının Ziegler-Nichols kuralları ile bulunması, lineer kontrol sistemlerinin frekans cevabı, Bode diyagramı, Polar ( Nyquist ) diyagram, faz payı-kazanç payı, kompanzasyon teknikleri, Lead-Lag kompanzasyonu. Uygulama : Konum kontrolü, sıcaklık kontrolü, basınç kontrolü, seviye kontrolü, hız kontrolü ve diğer endüstriyel kontrol sistemleri ile ilgili uygulamalar.

# BÖLÜM VIII

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Hibrit Adım Motorları (HSM); çoğunlukla kapalı bir döngüye gerek kalmadan sadece açık döngü kontrol sistemi ile kolay kontrolleri, düşük hız ve yüksek kalkınma tork karakteristikleri ile maliyetlerinin düşük olması başta servo motorlar olmak üzere özellikle robotik uygulamalarda birçok motor türüne göre birçok avantaja sahiptir. Gelişen teknoloji ile birlikte bu tarz motorların kontrol algoritmaları da farklı boyutlara taşınmıştır.

Çalışmamızda endüstride bu denli geniş kullanım alanına sahip olan hibrit adım motorlarının farklı denetim özellikleri üzerinde durulmuştur. HSM'nin kontrolü için iki farklı denetim algoritması oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Motorun kontrolünde özel sürücü devreleri ve bilgisayar üzerinden özel yazılımlar aracılığıyla farklı denetim mekanizmalarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Buna bağlı kalarak çalışmada geliştirilmesi amaçlanan bu kontrol mekanizması; diğer tüm kontrol sistemlerine benzer olarak *“bilgisayar-sürücü devresi-kontrol edilen mekanizma”* üçgeninin bir türevi durumundadır.

Geliştirilen ilk sistemde HSM'nin paralel port üzerinden kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bu kontrol sistemi için Visual Basic 6.0 paket programı yardımıyla bir denetim arayüzü geliştirilmiştir. Geliştirilen arayüz sayesinde fazlarının sırasıyla uyarılması sonucunda yol alan HSM'lerin istenilen açı, hız veya açısal yollarda kontrolü gerçekleştirilmiştir. Farklı olarak geliştirilen arayüzün kontrol sistemine kattığı aynı anda görsel olarak motorun hız, açısal yol ve aldığı adım sayıları gözlemlenebilirliğidir. Ayrıca elde edilen bu değerlerin gerçek zamana bağlı olarak grafiklerinin çizilebildiği bir program geliştirilmiştir. Program içerisinde zamana bağlı olarak değerler bir tablo içersine alınmış ve tablo değerleri yine gerçek zaman dahilinde grafiksel değerlere dönüştürülmüştür.

Geliştirilen ikinci sistemde ise motorun seri port üzerinden kontrolü amaçlanmıştır. Seri port kontrolünde farklı olarak motor önceden programlanabilir özelliklere sahiptir. Devir sayısı, yön ve ara zamanların girilmesi ile motorun zamana bağlı olarak çalışması gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde paralel port kontrolünde olduğu gibi motorun girilen değerlerinin grafikleri elde edilmiştir.

Böylece I. Bölümde verilmiş olana amaçlara ulaşılmıştır. Elde edilen veriler ve karşılaştırmalar sonucu tasarlanan ve uygulaması gerçekleştirilmiş HSM projesinin bilgisayar üzerinden denetimli sistemlerin gelişmesine faydalı olabildiği kanısına varılmıştır.

Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda kapalı döngü kontrol sisteminin kullanımı ile hata oranları minimum seviyeye düşürülerek daha düzgün hız, tork ve performans eğrileri elde edilebilir.

# KAYNAKLAR

## Kitaplar

- [1] İbrahim, D.: “PIC Adım Motor Kontrolü”, Bileşim Yayınları 208, ISBN 975 271 102 2, İstanbul, Türkiye,(**2004**) 9-11.
- [2] Bal, G.: “Özel Elektrik Makinaları”, Seçkin Yayıncılık, ISBN 975 347 728 7, Sıhhiye, Ankara, Türkiye, (**2004**) 99-123.
- [3] Altunsaçlı, A.: “Elektrik Motorları ve Sürücüleri”, Color Ofset, İskenderun, Türkiye,(**2003**) 200-246.
- [4] Altunsaçlı, A.: “Elektrik Makineleri-3”, Color Ofset, İskenderun, Türkiye, (**2003**) 16-62.
- [5] İbrahim, D.: “PIC ve PC İletişim Projeleri”, Bileşim Yayınları 33, ISBN 975 6410 35 3, İstanbul, Türkiye, (**2004**).
- [6] Gerçek, C.: “Her Yönüyle Seri Port”, Bileşim Yayıncılık, ISBN 975 6897 07 4, İstanbul, Türkiye, (**2000**).
- [7] Axelson, J.: “Serial Port Complete: Programming & Circuits for RS-232 & RS-485 Links & Networks”, Lakeview Research, ISBN 0 9650819 2 3, Madison, United States, (**2001**) 9-11.
- [8] Kenjo, J.; Sugawara A.: “Stepping Motors and Their Microprocessor Controls”, Oxford University Press, United Kingdom, (**1995**).
- [9] Karagülle, İ.; Pala, Z.: “Microsoft Visual basic 6.0”, Türkmen Kitabevi, 2. Baskı, ISBN 975 6812 07 9, Beyazıt, İstanbul, Türkiye, (**2001**).
- [10] Sandin, P.: “Robot Mechanism and Mechanical Drives Illustrated”, McGraw-Hill Professional Publishing, Blacklick, OH, United States (**2003**) 21-40.
- [11] McComb, G.: “The Robot Builders’ Bonanza Book”, *Tab Electronics, Library of Congress Cataloging*, McGraw-Hill Professional Publishing, Hightstown, New Jersey, United States,(**2001**) 279-295.

- [12] Axelson, J.: “Parallel Port Complete: Programming, Interfacing, & Using the PC's Parallel Printer Port”, Lakeview Research, Madison, United States, (2001)
- [13] Tuğay, G.: “Herkes İçin Elektronik Hobi”, Alfa Yayınları, 4. Baskı, Cağaloğlu, İstanbul, Türkiye (2004)

## **Tezler**

- [14] Kang, S.G.: “Analysis on Dynamic Characteristics of Hybrid Stepping Motor and Control of Its Power Converter”, *PhD Thesis*, University of California, Berkeley, USA, (2004).
- [15] Kartchner, M.W.: “Microprocessor-based Step Motor Controller”, *Msc Thesis*, California State University, Long Beach, USA, (1989).
- [16] Brown, R. H.: “Robust Optimal Control of Step Motors By Lead Angle Selection (Incremental Motion)”, *PhD Thesis*, University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, United States, (1986).
- [17] White, G. A.: “Control of Dynamic Performance in Step Motor Systems”, *PhD Thesis*, University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, United States, (1983).
- [18] Moshe, N.: “Optimal Performance in a Step Motor Controlled Robot”, *PhD Thesis*, University of California, Berkeley, United States, (1983).
- [19] Allsup, T. A.: “Generation of Step Motor Ramp Tables For a Two Axis System”, *Msc Thesis*, The University of Texas, Arlington, United States, (1990).
- [20] Akgün, E; Uygun, D.: “PLC ile Bilgisayarın Haberleşmesi”, *Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, (2004).
- [21] Göktaş, H.H.: “Mikroişlemci ile adım motoru denetimi”, *Yüksek Lisans*, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, (1990).
- [22] Usta, A.T.: “Hibrit adım motorunun modellenmesi ve simülasyonu”, *Yüksek Lisans*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, (1991).
- [23] Türkay, Y.: “Mikroişlemciler yardımı ile step motor kontrolü”, *Yüksek Lisans*, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, (1991).
- [24] Dağdelen, U.: “Bulanık mantık ile adım motor kontrolü”, *Yüksek Lisans*, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, (1996).

- [25] Taştan, L.: “Bilgisayar yardımı ile step motorun hareket kontrolü ”, *Yüksek Lisans*, İstanbul Teknik Üniversitesi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, (1997).
- [26] Kaya, İ.: “Mekanik sistemlerin step motorlarla denetimi”, *Yüksek Lisans*, Sakarya Üniversitesi, Adapazarı, Türkiye, (1997).
- [27] Taşçı(Ayvaz), E.: “Adım motorları kullanılarak bilgisayar destekli anten kontrol ünitesi tasarımı”, *Yüksek Lisans*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, (1998).
- [28] Çetişli, B.: “Adım motorlarının bilgisayar ile kontrolü”, *Yüksek Lisans*, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, (1998).
- [29] Görgün, H.: “Step motor kullanılarak plotter uygulamasının gerçekleştirilmesi”, *Yüksek Lisans*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, (1998).
- [30] Kıvrak, S.: “PIC serisi mikrodenetleyiciler kullanarak bilgisayar ile çift adım motoru kontrolü”, *Yüksek Lisans*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, (2000).

## **Makaleler**

- [31] Acarnley, P.P.: “Stepping Motors: a guide to modern theory and practice”, *IEE Control Eng, 3rd edition* (1992).
- [32] Sugawara A.; Kenjo T.: “Stepping Motors and Their Microprocessor Controls”, *Oxford University Press*, (1996)
- [33] Chen, D.; Paden, B.: “Adaptive Linearization of Hybrid Step Motors: Stability Analysis”, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Volume 38, June (1993) 874-887.
- [34] Kuo, B.C.: “Step Motors and Control Systems”, *IL: SRL Publishing*, Champaign (1979).
- [35] Jenkins, M.K.; Howe, D.; Birch, T.S.: “An Improved Design Procedure for Hybrid Stepper Motors”, *IEEE Transactions on Magnetics*, University of Sheffield, Sheffield, England, 26(5), September (1990) 2535-2537.
- [36] Tozune, K.; Sakamoto, M.; Iida, M.; Horli, T.: “Characteristics of a Hybrid Type 3-Phase Stepping Motor”, *Electrical Engineering in Japan*, Volume 123(3) (1990) 743-750.
- [37] Chai, H.D.: “Electromechanical Motion Devices”, Prentice Hall (1998).

- [38] Lieu, D.: “Design of Basic ElectroMechanical Devices”, *Lecture Notes*, Lecture ME288.

## **Kataloglar**

- [39] QuinTep: “5 Phase Step Motor and Driver”, *MotroCompo, Tamagawa Seiki Co.,Ltd.*, Catalogue No: T12-1596N2 (1989).
- [40] Datasheet: “Linear and Interface Circuit Applications”, *Texas Instruments, Inc.*, Dallas, United States, Volume 3 (1987).
- [41] Datasheet: “Bimos II Unipolar Stepper-Motor Translator/Driver”, *Allegro MicroSystems, Inc.*, Worcester, Massachusetts, United States.
- [42] Sax, H.: “Stepper Motor Driving ”, *Sgs Thomson Microelectronics, Application Note* (1995).
- [43] Jones, D.W.: “Stepping Motor Fundamentals”, *Microchip Technology Inc.*, AN907, University of Iowa, United States (2004).
- [44] JRC: “Microstepping”, *New Japan Radio Co. Ltd.*, Japan.
- [45] Engineering Reference: “Stepper Motors”, *Motor Technologies*, Parker Motion and Control A4-A11.
- [46] Final Report: “Stepping Motor Tutorial”, *Electrical Machinery*, (2004).
- [47] Datasheet: “Hybrid Step Motors”, *Pacific Scientific*, High Performance Motors and Drives, Rockford, Illinois, United States (2002).

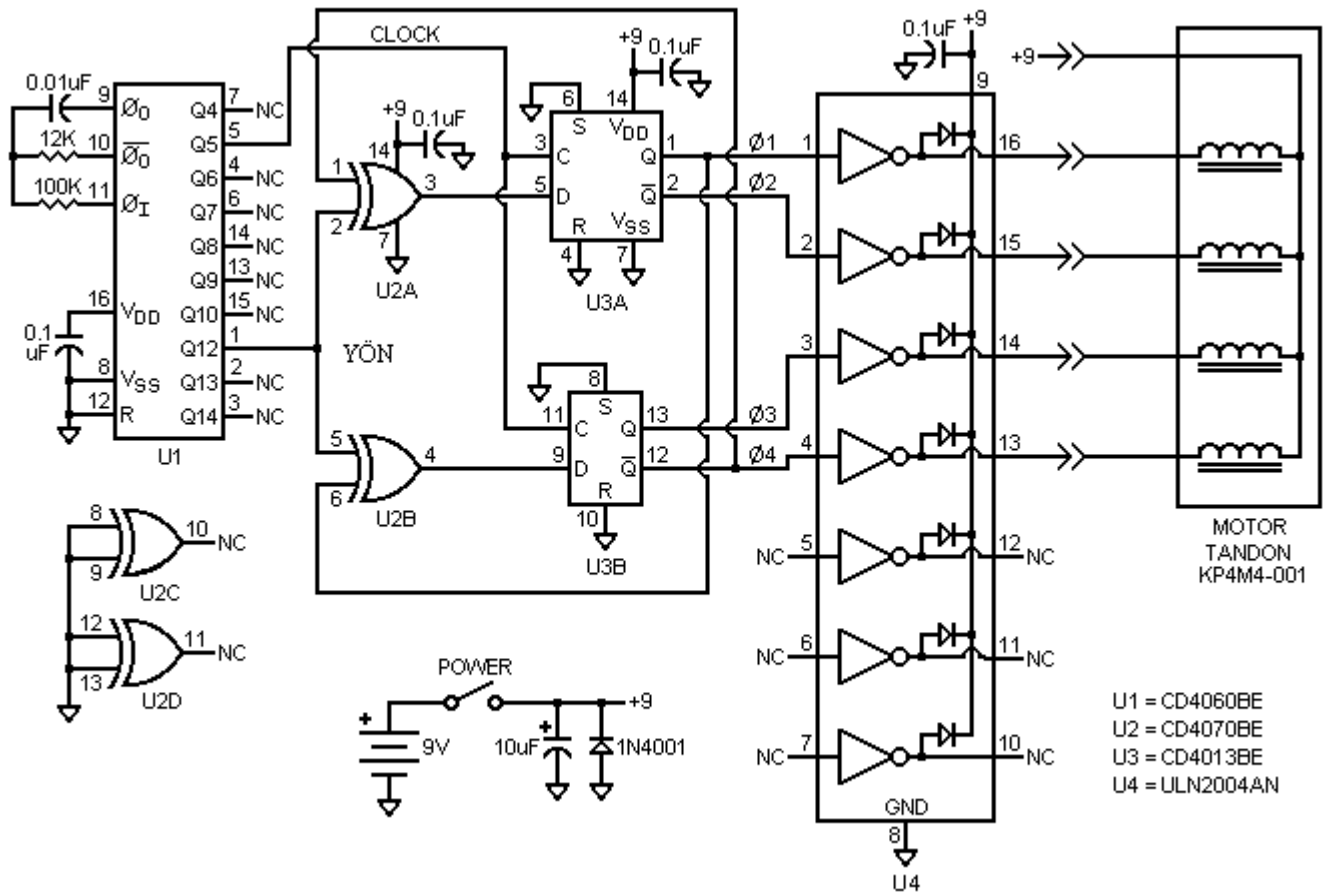
## **Elektronik Yayınlar**

- [48] [www.euclidres.com](http://www.euclidres.com) (Erişim tarihi: Ocak 2005)
- [49] [www.sdp-si.com/D220/HTML/D220T158.htm](http://www.sdp-si.com/D220/HTML/D220T158.htm) (Erişim Tarihi: Aralık 2005)
- [50] [www.eio.com/jasstep.htm#intro](http://www.eio.com/jasstep.htm#intro) (Erişim tarihi: Ekim 2005)
- [51] [www.cs.uiowa.edu/~jones/step/circuits.html#intro](http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/circuits.html#intro) (Erişim tarihi: Ocak 2006)
- [52] [www.cs.uiowa.edu/~jones/step/current.html](http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/current.html) (Erişim tarihi: Ocak 2006)
- [53] [www.seattlerobotics.org](http://www.seattlerobotics.org) (Erişim tarihi: Kasım 2005)
- [54] [www.muhendislik.net](http://www.muhendislik.net) (Erişim tarihi: Ocak 2006)
- [55] [www.library.solarbotics.net](http://www.library.solarbotics.net) (Erişim tarihi: Şubat 2006)
- [56] [www.doc.ic.ac.uk](http://www.doc.ic.ac.uk) (Erişim tarihi: Şubat 2006)
- [57] [www.antrak.org.tr](http://www.antrak.org.tr) (Erişim tarihi: Aralık 2005)

- [58] [www.endtas.com](http://www.endtas.com) (Erişim tarihi: Şubat 2006)
- [59] [www.home.att.net](http://www.home.att.net) ( Erişim tarihi: Şubat 2006)
- [60] [www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com) (Erişim tarihi: Eylöl 2005 )
- [61] [www.machinedesign.com](http://www.machinedesign.com) (Erişim tarihi: Mart 2006 )
- [62] [www.quatech.com](http://www.quatech.com) (Erişim tarihi: Ocak 2006 )
- [63] [www.courses.ece.uiuc.edu](http://www.courses.ece.uiuc.edu) (Erişim tarihi: Mart 2006 )
- [64] [www.8052.com](http://www.8052.com) (Erişim tarihi: Mart 2006 )
- [65] [www.taltech.com](http://www.taltech.com) (Erişim tarihi: Aralık 2005 )
- [66] [www.publib16.boulder.ibm.com](http://www.publib16.boulder.ibm.com) (Erişim tarihi: Mart 2006 )

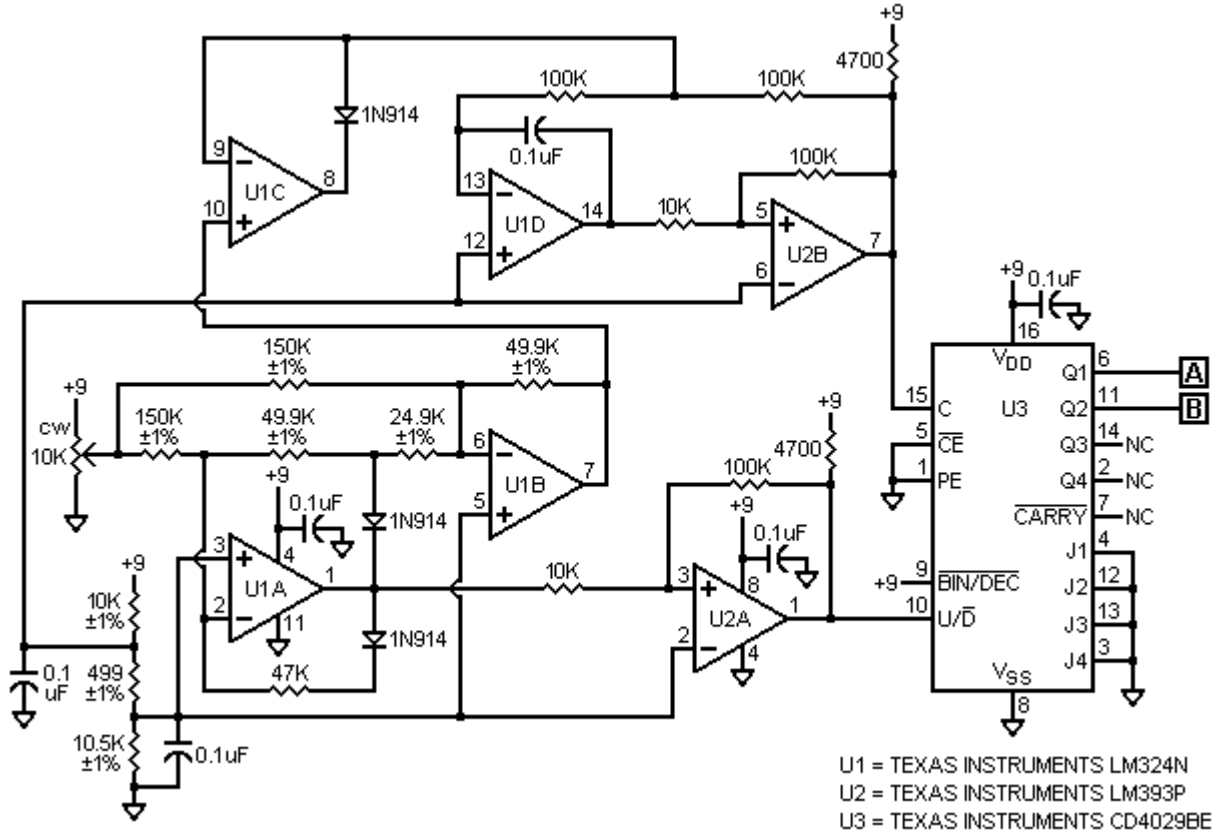
# EK-A

## KOMPLEKS SÜRÜCÜ DEVRELERİ

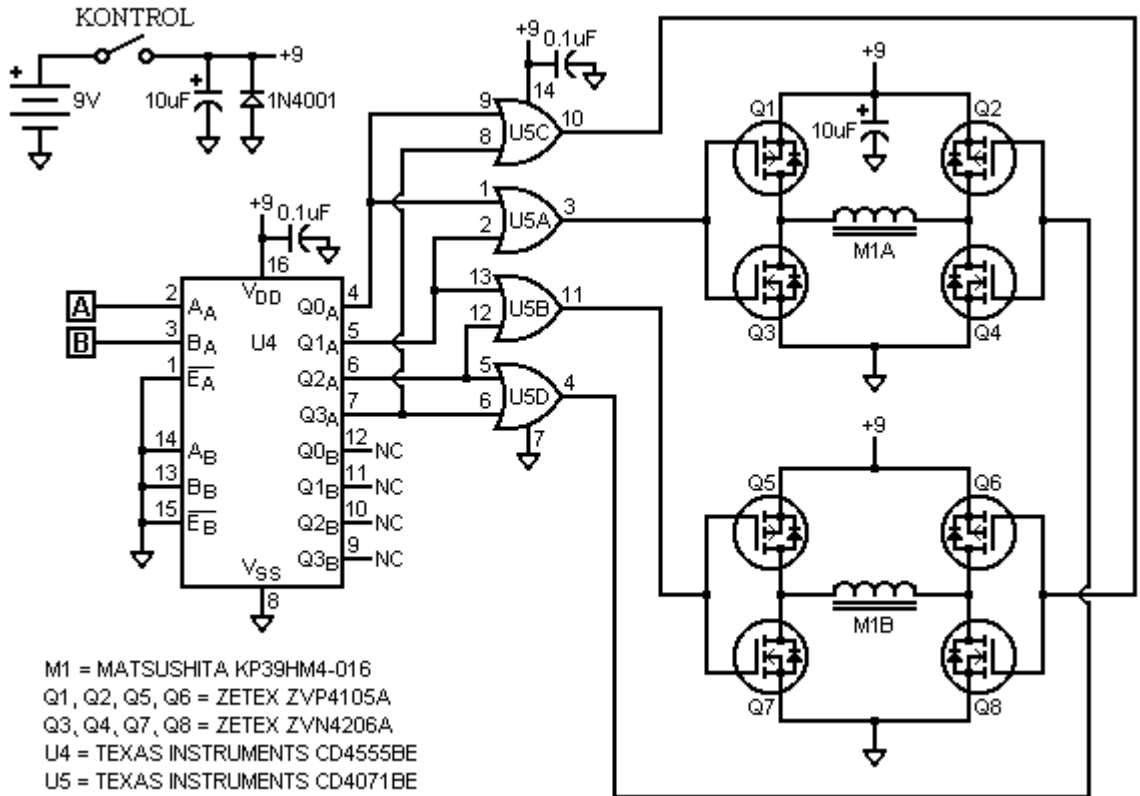


Şekil A.1 Kompleks unipolar sürücü devresi[59]

Şekilde verilen gelişmiş unipolar motor sürücü devresinde CD4060BE yönlendirici entegresi ile ULN2004AN sürme entegresi kullanılmaktadır. CD4060BE entegresine uygulanan clock sinyalleri sayesinde “YÖN” durumunun belirlenmesi ile motor unipolar olarak sağ ve sol yönlerde dönmektedir.



Şekil A.2 Bipolar sürücü yönlendirici sistem [59]



Şekil A.3 Bipolar sürücü sistemi[59]

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Muğla ili, Köyceğiz ilçesinde dünyaya geldi. 2000 yılında Milas Anadolu Teknik Lisesi Elektrik Bölümü(İngilizce)'nü ve 2004 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü'nü dereceyle bitirdi. 2005 yılından bu yana Cumhuriyet Üniversitesi Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu Elektrik Programı'nda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. 2004 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde başladığı yüksek lisans programına devam etmektedir.

**Durmuş UYGUN**