

67817

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRODENETLEYİCİ DESTEKLİ ADIM MOTORU
SÜRÜCÜSÜ TASARIMI

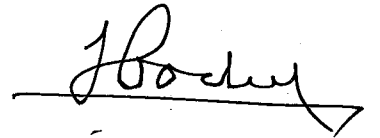
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Elk. Müh. Mehmet KAYNAR

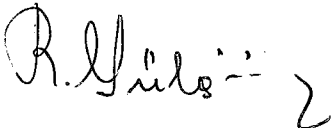
F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ


Tez Danışmanı :Prof. Remzi GÜLGÜN



Doç. Dr. Hacı BODUR

Prof. Remzi GÜLGÜN


İSTANBUL, 1997

Prof. Sefik SARIKAYA


İÇİNDEKİLER

SEMBOL LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. STEP MOTORLARIN TANIMI, TARİHÇESİ ve SINIFLANDIRILMALARI	1
1.1. Step Motorların Basit Karakteristikleri	1
1.2. Step Motorların Tarihçesi	3
1.3. 1960'lı Yıllardaki Gelişim	4
1.4. Yarı İletken Elemanlardaki Gelişmeler	6
1.5. Step Motorların Sınıflandırılması	7
1.5.a. Unipolar step motorlar	9
1.5.b. Bipolar step motorlar	9
1.5.1. VR Tip Step Motorlar	9
1.5.2. PM Tip Step Motorlar	12
1.6. Step Motorların Uygulamaları	14
1.6.1. Bilgisayar Arabirimleri	14
1.6.2. Sayısal Sistemler	16
2. ELEKTROMAGNETİK TEORİSİ VE STEP MOTORLARIN YAPILARI	17
2.1. VR, Tip Step Motorda Statik Moment Oluşumu	17
2.1.1. Sonsuz magnetik geçirgenlik durumu	17
2.1.2. Sabit magnetik geçirgenlik durumu	22
2.1.3. Magnetik doyuma ulaşma durumu	24
2.2. Diş yapısı, sayısı ve kutup düzeni	25
2.2.1. Diş yapısı	26
2.2.2. Faz, diş ve adım sayısı ilişkileri	28
3. STEP MOTORLAR İÇİN SÜRÜCÜ SİSTEM VE DEVRELERİ	30
3.1. Sürücü Sistemi	30
3.2. Lojik sıralayıcılar	31
3.2. 1.4-fazlı 2-fazlı iletimde olan bir step motorun lojik sıralayıcı devresi	31
3.3. Motor sürücü devreleri	34
3.3. 1. Sürücü devrelerinde karşılaşılan sorunlar	35
3.3. 2. Bastırıcı devreler	35
a. Diyot kullanımı	35
b. Diyot ve direnç kullanımı	36
c. Zener diyot ile bastırıcı devre	37
d. Kondansatörlü bastırıcı devreler	37
3.3.3. Akım kontrolü	39
a. Seri direnç	39
b. Çift taraflı kaynak kullanımı	40
3.4. İki veya dört fazlı bir step motor için sürücü devresi	41
4. ÖNERİ SİSTEMİN TANIMI ve ÖZELLİKLERİ	44
4.1. Sistemin Tanımı	44
4.2. Sürücü Devresi	46
4.2. 1. Motor akımının regüle edilmesi	49
4.2.2. Çıkış akımının ayarlanması	51
4.2.3. Anahtarlama frekansının belirlenmesi	52

4.2.4. Teknik özellikler	53
4.2.5. Termal Çalışma Şartları	55
4.2.6. Tam veya Yarım adım çalışma durumu	58
4.2.7. Sargıların bağlantıları	59
4.3. Kontrol ve μ D Katı	60
4.3. 1.Sistemin Yapısı	64
4.3. 2.Programın Ergonomisi	65
4.4. Sonuçlar	66

KAYNAKLAR

70

EKLER

EK A.Step Motor Sürücü Sistemi devre şemaları

EK B.PS5210 Modülü konfigürasyonunda kapasite ve direnç değerlerinin değişimleri

EK C.S.M.Sürücü sistemi yazılımı

ÖZGEÇMİŞ



Sembol Listesi

B	Magnetik akı(T)
B_g	Boşluktaki Magnetik akı(T)
d	Diş derinliği(m)
f	Kuvvet(N)
g	Hava boşluğu genişliği(m)
H	Magnetik alan(A/m)
i, I	Akım(A)
J	Yük momenti(kgm^2)
K_T	Moment sabiti($Nm/Arad.$)
L	Endüktans(H)
m	Faz sayısı
n	Sarım sayısı
N_r	Rotor diş sayısı
N_s	Stator diş sayısı
p	Kutup çifti sayısı
q	Faz başına diş sayısı
r, R	Direnç(Ω)
S	Bir devire karşı düşen devir sayısı($1/rad.$)
T	Moment
t	Zaman(sn)
v, V	Gerilim(V)
w	Diş genişliği
W_m	Magnetik enerji(J)
x	Kaplanan alan(m)
α	Zaman sabiti(s)
β	Zaman sabiti(s)
θ, Θ	Dönüş açısı(rad)
λ	Diş yolu(rad)
μ	Magnetik geçirgenlik(H/m)
ξ	Elektriksel olarak dönüş açısı(rad)
ρ	Moment açısı(rad)
τ	Moment (Nm)
ϕ, Φ	Magnetik akı(Tm^2)
ψ, Ψ	Kaçak akı(Tm^2)
ω, Ω	Açısal hız($1/rads$)
ω_n	Doğal frekans($1/s$)

Şekil Listesi

1.BÖLÜM	
Şekil 1.1.Step Motor Prensi Şeması[3,2,Fig.1.1.]	2
Şekil 1.2.Basit bir step motor kontrol düzeni[3,2,Fig.1.2.]	3
Şekil 1.3. MSVR tip step motorun rotor yapısı[3,6,Fig.1.6.]	4
Şekil 1.4. Tiratronlar tarafından sürülen VR tip step motorların bir düzeneği üç boyutlu olarak hareket ettirmesi[3,6,Fig.1.7.]	5
Şekil 1.5. VR Tip Step Motorların Yapısı[3,26,Fig.2.9.]	10
Şekil 1.6.1.nolu faz enerjilendiğinde denge noktası[3,26,Fig.2.10.]	10
Şekil 1.7.Rotorun dengede kalışı[3,27,Fig.2.11.]	11
Şekil 1.8. Step motorun bir adımlık hareketi[3,27,Fig.2.12.]	11
Şekil 1.9. Bir adım açısı 8.75° olan VR tip bir step motor[3,29,Fig.2.17.]	12
Şekil 1.10. Dört fazlı PM step motor yapısı[3,34,Fig.2.27.]	13
Şekil 1.11.Dört fazlı bir PM motor için basit sürme devresi[3,34,Fig.2.28.]	13
Şekil 1.12.Dört fazlı bir PM step motorda adım hareketi[3,35,Fig.2.29.]	13
2.BÖLÜM	
Şekil 2.1.Elektromagnetik alan içindeki demir parçası[3.68.Fig.3.1.]	17
Şekil 2.2.Step motor prensibinin açıklanabileceği basit bir model[3.68.Fig.3.2.]	18
Şekil 2.3.Kaplanmış alan[3.69.Fig.3.3.]	19
Şekil 2.4.Sistemin magnetik enerji ve koenerjilerinin dağılımı[3.73.Fig.3.5.]	25
Şekil 2.5.Rotorda ve statorda aynı sayıda diş bulunan yapı[3.84.Fig.3.14.]	26
Şekil 2.6.Rotorda ve statorda farklı sayıda diş bulunan yapı[3.85.Fig.3.15.]	26
Şekil 2.7.Bir hibrid motorun diş yapısı	
a.Rotor ve statorda farklı sayıda diş	
b.Rotorda ve statorda aynı sayıda diş[3.85.Fig.3.16.]	27
3.BÖLÜM	
Şekil 3.1.Sürücü sistemi blok diyagramı[3.121.Fig.5.1.]	30
Şekil 3.2. 4-Fazlı 2-Fazlı iletimde olan bir step motor lojik sıralayıcı devresi[3.124.Fig.5.2.]	33
Şekil 3.3.Dönüş yönünü belirleyici devre[3.124.Fig.5.3.]	33
Şekil 3.4.4-fazlı 2-fazlı iletimde olan bir step motor lojik sıralayıcısı[3.124.Fig.5.4.]	34
Şekil 3.5.Sıralayıcı ve sürücü devrelerinin tipik bağlantı şekilleri[3.131.Fig.5.14.]	34
Şekil 3.6.Bir fazın eşdeğer devresi[3.132.Fig.5.15.]	35
Şekil 3.7.Diyotlu bastırıcı devre[3.133.Fig.5.16.]	36
Şekil 3.8.Diyot ve seri bağlı direnç ile bastırıcı devre[3.133.Fig.5.17.]	36
Şekil 3.9.Zener diyotlu bastırıcı devre[3.133.Fig.5.18.]	37
Şekil 3.10.Kondansatörlü bastırıcı devreli 4 fazlı bir step motor sürücü devresi[3.135.Fig.5.21.]	37
Şekil 3.11. V_{CE} geriliminin kondansatöre göre değişimi[3.136.Fig.5.23.]	39
Şekil 3.12.Akımın hızlı artışını sağlamak için seri direnç kullanımı[3.137.Fig.5.24.]	39
Şekil 3.13.Çift taraflı kaynak etkisi yaratıp akımın hızlı artışını sağlamak için bir devre[3.137.Fig.5.25.]	40
Şekil 3.14.Bipolar ve sargıları paralel bağlı bir H köprü montajında step motor sürücüsü[3.139.Fig.5.28.]	41
Şekil 3.15.Bipolar sürme durumunda akım ve gerilim değişimleri[3.140.Fig.5.29.]	42

4.BÖLÜM	
Şekil 4.1.PS 5210 Sürücü Devresinin İç Yapısı[9,1-2,Fig.1.]	47
Şekil 4.2.PS 5210 üstten görünüşü[9,2-5,Fig.3.]	48
Şekil 4.3.Recirculating mode diagram[9,2-9]	50
Şekil 4.4.Non Recirculating mode diagram[9,2-10]	50
Şekil 4.5.PS5210 Zamanlama Diyagramları[9,Ap.A.3.]	54
Şekil 4.6.Tam adım çalışma durumunda bir step motorun adım hareketi[9,Ap.C.3.]	58
Şekil 4.7.Yarım adım çalışma durumunda anahtarlama sırası ve rotorun hareketi[9,Ap.C.3.]	59
Şekil 4.8.PIC16C74 Pin konfigürasyonu[5,2-339]	61
Şekil 4.9.PIC16C74 μ Denetleyicisinin Bellek Organizasyonu[5,2-407,Fig.4.1.]	62
Şekil 4.10.PIC16C74 Komut Kümesi[5,2-495,Fig.15.2.]	63



Tablo Listesi

3.BÖLÜM	
Tablo 3.1.Lojik kapıların ve JK-FF'ların doğruluk tabloları	32
4.BÖLÜM	
Tablo 4.1.PS5210 Pin Konfigürasyonu[9,2-6]	48
Tablo 4.2.PS5210 Teknik özellikleri[9,Ap.A.1.]	53
Tablo 4.3.PS5210 Parametre tanımları ve tipik değerleri[9,Ap.A.2.]	54
Tablo 4.4.Çalışma durumundaki güç kayıpları[9,Ap.B.3.]	56
Tablo 4.5.PWM çalışma durumundaki güç kayıpları[9,Ap.B.3.]	56
Tablo 4.6.Komütasyon moduna göre güç kayıpları[9,Ap.B.4.]	57
Tablo.4.7.Parametreler ve açıklamaları	65



ÖZET

Adım motorları, günümüzde elektrik, elektronik ve otomasyon mühendisliği alanında yapılan çalışmalarda yer alan tahrik ve pozisyon denetimi konularında en çok tercih edilen elektrik motoru türü olarak göze çarpmaktadır. Bu çalışmanın konusunda tekstil endüstrisinde kumaş baskı boyama prosesinde yer alan bir sistem oluşturmaktadır. Temel olarak bir otomasyon çalışmasıdır. Projede adım motoru kullanılması ve sözkonusu motorun ve sürücüsünün istenilen şartlar altında çalıştırılarak sistemin denetiminin sağlanması çalışmanın kabaca tarifi olabilir.

Çalışmada öncelikle adım motorlarının genel yapıları ve karakteristik özellikleri tariflendikten sonra elektromagnetik teori ve bu motorlarda moment oluşumu konuları incelenmiştir. Üçüncü bölümde adım motorlarının temel kontrol yöntem, prensip ve devre yapıları dördüncü bölümde ise öneri sistemin yapısı, elemanları ve çalışma şekli izah edilmiştir. Ekler kısmında sürücü elemanın harici elemanlarının seçimine yönelik kriterler, mikrodenetleyici yazılımı ve sistem ve devre şemaları görülmektedir.

Sonuçlar kısmında ise bu tür bir çalışma gerçekleştirilirken sadece mühendislik açısından değil aynı zamanda kültürel ve ekonomik açıdan gözönüne alınması gereken hususlara değinilmektedir. Son olarak alternatif bir yöntem bulunabileceği belirtilmektedir.

ABSTRACT

Stepping motors are widely used in the fields of electrical and automation engineering. Because of their wide variety and compatibility, most automation engineers prefer to use stepping motors in specific applications. Easy to drive without having any driver problem is the most common advantage of stepping motors. Basically this thesis deals with a definite system included in the fabric printing process. Roughly, in this thesis, description and advantages of using stepping motors in such an automation project are discussed.

In first chapter of the thesis general description, structure and characteristic features of stepping motors are described. In the second chapter, fields of electromagnetic theory related to expressing torque production in stepping motors are detailed explained. Fundamental principles of driving or controlling a stepping motor are discussed in the chapter three. Finally in the fourth chapter, the planned system is introduced and detailed explained. Principles of choosing external components of driver module, microcomputer software and system figures are given in appendix a,b,c.

In the final result part of the thesis, it is discussed that not only engineering and design problems but also social and economic sanctions should be taken into consideration in such applications.

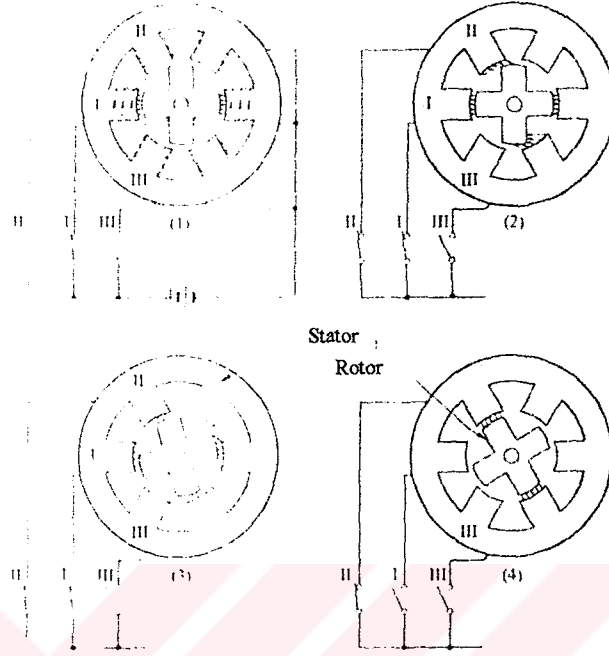
1.STEP MOTORLARIN TANIMI, TARİHÇESİ ve SINIFLANDIRILMALARI

Bir step motor adındanda anlaşılacağı üzere klasik elektrik motorlarından farklı olarak rotoru adım adım hareket edebilen karakteristik bakımdan asenkron elektrik motorlarından tamamen farklı, DC motorlar ile bazı yönlerden aynı özelliklere sahip, genel olarak kesin ve net pozisyon denetimi gereken uygulamalarda tercih edilen türde bir elektrik motorudur.Türkçe de *adım* motoru olarak bilinen *step* motorlar yabancı literatürde *stepper* veya *stepping* motorlar olarak da anılırlar.

Bu bölümde bu motorların öncelikle basitçe karakteristikleri ve çalışma prensiplerine ve tarihçelerine değinildikten sonra kontrolcu açısından güç elektroniği ve yarı iletken elemanlardaki o dönemin gelişmelerine ve ek olarak step motorların genel sınıflandırılmalarına değinilmiştir.Bu bölümün sonunda step motorların gerek günümüzde gerekse daha önceki popüler kullanım alanları belirtilmiştir.

1.1.Step Motorların Basit Karakteristikleri

Şekil 1.1.'de bir step motorun prensip yapısı görülmektedir.Bu tür step motorlar değişken relüktanslı motorlar olarak bilinirler.Bu tip bir motorun basitçe çalışması şu şekildedir.Şekildedede görüldüğü üzere bu motorun statorda altı rotorda dört kutbu bulunmaktadır ve sargıları şekildeki gibi bağlıdır.Her bir sargı birbirine seri bağlı iki ayrı sargı gurubundan oluşmaktadır ve I, II ve III şeklinde numaralandırılmış anahtarlar ile bir DC kaynak üzerinden anahtarlanmaktadır.Hava boşluğunda oluşan magnetik akı ise ok işaretleri ile gösterilmiştir.(1). Durumda I nolu anahtar üzerinden motorun yatayda duran iki sargısı enerjilenmektedir.Bu durum teknik olarak Denge Durumu olarak tanımlanır.I nolu anahtara ek olarak II nolu anahtarda kapatılırsa şekilde görüldüğü gibi saat yönünde bir moment oluşur ve rotor (3) nolu konuma ulaşır.

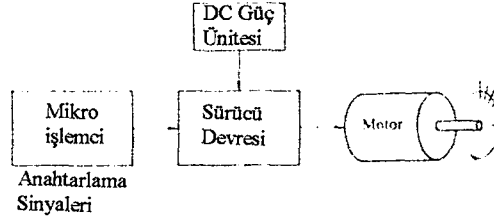


Şekil 1.1. Step Motor Prensi Şeması[3,2,Fig.1.1.]

Bu durumda bir anahtarlama olayı gerçekleşmiş ve rotor adım açısı olarak tariflenen bir değerde bir adımlık hareket yapmıştır. Bu anı takiben I nolu anahtar açılırsa rotor bir adımlık bir hareket daha gerçekleştirir. Böylece rotorun dönüşü anahtarlama sayısı ve kombinasyonları ile kontrol edilmiş olur. Eğer bu anahtarlama olayları belirli bir düzen içinde süreklilik kazanırsa rotor belli bir yönde düzgün hareket eder ve ortalama hızı anahtarlama periyoduna bağlıdır.

Son yıllarda step motorların sürülmesinde ve kontrolünde lojik devre elemanlarının desteğinde transistörler sıkça kullanılmışlardır. Fakat günümüzde mikroişlemci temelli ve iki veya daha fazla transistör veya diğer yarı iletken elemanı içeren entegre devreler ile gerçekleştirilen sistemler kullanılmaktadır. Şekil 1.2.'de bu tür bir sistem basitçe şekillendirilmiştir. Diğer elektrik motorları ile karşılaştırıldığında step motorların kontrol açısından bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- 1.Pozisyon ve hız kontrolü için geri besleme işaretine gerek yoktur,
- 2.Pozisyon hatası kümülatif değildir,
- 3.Step motorlar modern elektronik ekipman ile uyumludur.



Şekil 1.2.Basit bir step motor kontrol düzeni[3,2,Fig.1.2.]

1.2.Step Motorların Tarihçesi

JIEE bülteninin 1927 yılında basılan bir sayısında ‘*The Application of Electricity in Warships*’ başlıklı bir makale yer alıyordu.Bu makalede üç fazlı değişken relüktanslı bir step motorun İngiliz savaş gemilerindeki torpil tüpleri ve diğer silah düzeneklerinde doğrultunun uzaktan kumanda edilmesi için nasıl kullanıldıkları anlatılmaktaydı.Tamamen manuel olan bu sistemde motorun sargıları özel olarak geliştirilmiş el ile yönlendirilen - çevrilen- bir düzen ile DC kaynaktan anahtarlanmaktaydı.Söz konusu düzeneğin bir turu rotorun 90° ’lik hareketine karşılık gelirken adım açısı 15° oluyordu.

Bu makalede dikkat çekilen en önemli konu bu kadar basit bir sistemde dahi, adım hatalarını ortadan kaldırabilmek ve yüksek hızlarda çalışmayı gerektiren durumlarda sistemin cevap zamanını belirleyen zaman sabitini mümkün olduğu kadar küçük tutabilmenin zorluğu.Günümüzde dahi bu konular step motor uygulamalarında göz ardı edilemeyen noktalardır.

Daha sonraları 1920’li yıllarda yayımlanan *IEEE* bültenleri ve diğer teknik dergilerden yukarıda belirtilen türden düzeneklerin yine aynı amaçla Amerikan savaş donanımlarında kullanıldıkları görülmektedir.

Bu noktada 1919 ve 1920 yıllarında İngiltere’de step motorlar ile ilgili iki önemli gelişme yaşanmıştır.

1.Adım açısını küçültmek için diş yapısı¹ ;

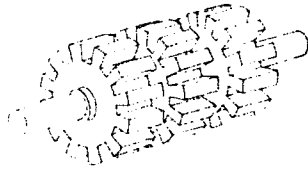
1919 yılında İskoçya'lı *C.L.WALKER* adlı bir mühendis step motorların daha küçük adım açısında hareket edebilmelerini sağlayan bir yapı geliştirdi.Bu yapıda statorda yer alan her bir kutup üzerinde belirli sayıda diş bulunmaktaydı.

2.Yüksek moment elde etmek için sandviç metodu² ;

1920 yılında *C.B.CHICKEN* ve *J.H.THAIN* adlı iki mühendis bir step motorun olabildiğince çok moment üretebilmesini kolaylaştıran bir yapı geliştirdiler.Bu yapıda yumuşak çelikten yapılan rotor ikiye ayrılmış ve herbiri birbirine ters elektromagnetik alan oluşturan stator sargıları arasına yerleştirilmişti.Bu sistem 1970'li yıllara kadar taki Fanuc Ltd. Adlı bir Japon firması tarafından kullanılana kadar ticari olamadı.

1.3.1960'lı Yıllardaki Gelişim

1960 'lı yıllarda hızla gelişen dijital kontrol çağı step motorların konvansiyonel kontrol tekniklerindeki değişmeye zorlamıştır.*Control Engineering* dergisinin 1957 Ocak baskısında '*The Power Stepping Motor -A New Actuator*' başlıklı bir makale yayımlandı.Bu yazı bir öğütme makinasında kullanılan üç adet step motorun kontrol prensibini anlatmaktaydı.Bu sistemde kullanılan step motorlar rotorların birden fazla üzerine dişler bulunan gruplar içeren değişken relüktanslı³ motorlardı.Bu motorların rotor yapıları Şekil 1.3.'de sistem düzeneği Şekil 1.4.'de gösterilmiştir.



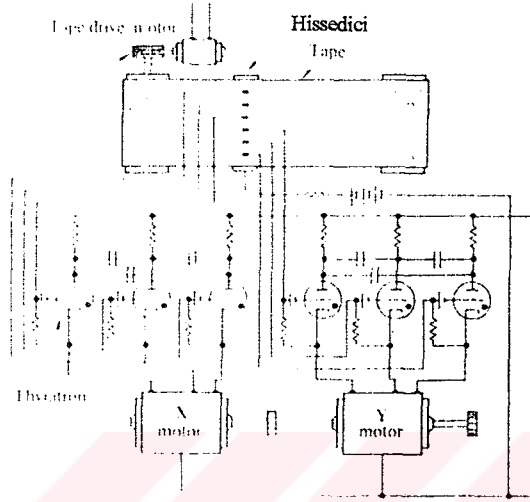
Şekil 1.3. MSVR tip step motorun rotor yapısı[3,6,Fig.1.6.]

¹ *Tooth Structure*

² *Sandwich Method*

³ *Multi Stack Variable Reluctance Step Motor*

Her üç motorun hareketleri el ile hazırlanmış delikli bir film üzerindeki kod ile sağlanmaktaydı. Bu kodlar fotoelektrik okuyucu kafa tarafından okunup tiratronlar için gerekli tetikleme sinyalleri sağlanıyordu. Bu sistemde sözkonusu üç motor bir masayı üç boyutlu ortamda önceden programlanmış bir düzende hareket ettiriyordu.



Şekil 1.4. Tiratronlar tarafından sürülen VR tip step motorların bir düzeneği üç boyutlu olarak hareket ettirmesi[3,6,Fig.1.7.]

1960 ve 74 yılları arasında bir NC¹ motoru sürmek için çok yüksek bir moment ve çıkış gücü gerektiğinden klasik bir step motor ile bir yağ basınç düzeneği bir araya getirilerek elektrohidrolik step motorlar geliştirildi ve bunlar Japon'lar tarafından sıkça kullanıldı. Yine bu tarihlerde değişken relüktanslı motorların yanısıra rotorları kalıcı mıknatıslar kullanılarak gerçekleştirilen step motorlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür motorlar PM (*Permanent Magnet*) Step Motorları olarak adlandırılırlar. Bu tür motorlarda stator klasik step motorlarda olduğu gibi kutuplar ihtiva ederken rotoru normal bir senkron makina gibi silindirik ve kalıcı mıknatıstan yapılmıştır.

1960 'ların başından sonra bilgisayar üreticilerinin step motorları terminal belirleyici olarak kullanmak istemeleri ile daha güvenilir ve yüksek hızlara haiz step motorların üretimi gereği ortaya çıktı. Bu sıralarda bir çok IBM ürününde step motorların kullanımının gündeme gelmesiyle yeni tip daha belirgin ve bir okadarda spesifik amaçlara

¹ *Numericaly Controlled*

hizmet edebilecek tür motorların tasarımına başlandı ve tüm bunların kontrol düzenekleri tasarlanırken artık tamamen elektronik elemanlar desteğinde henüz yeni gelişmekte olan yarı iletken anahtarlama elemanları dikkate alınmaktaydı.

1970'li yıllarda meydana gelen çok hızlı gelişmeyle beraber step motorların dizayn ve kontrol kurallarında bariz değişiklikler ve üstün yenilikler oldu. Bu yıllarda üretilen dört fazlı 1.8° adım açılı, dört fazlı hibrid motorlar 2° , 2.5° ve 5° adım açılı, permanent magnet motorlar 7.5° adım açılı, üç ve dört fazlı değişken relüktanslı motorlar step motor dünyasında meydana gelen kayda değer değişimi kısaca özetlemeye yeterli olacak bilgilerdir. Bu yılların sonlarına doğru step motorlar başta kesin pozisyon kontrolü gerektiren uygulamalarda olmak üzere bir çok endüstriyel uygulamada kullanılmaya başlamıştı.

1.4. Yarı İletken Elemanlardaki Gelişmeler

Diğer sahalarda olduğu gibi step motorlarla ilgili teknolojik gelişmelerde transistörlerin ve diğer yarı iletken elemanların gelişimi gözardı edilemez. 1948 yılında *Bell Telephone* laboratuvarı tarafından nokta temaslı transistörler üretildi. Daha sonra 1950'li yıllarda jonksiyon transistörlerinin bulunmasıyla yarı iletken elemanların gelişimi çok hızlandı ve 1957 yılında *General Electric* firması SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) adını verdiği bir tristör ürettiğini açıkladı. [3,12]

Step motorlar ilk kullanıldıklarında kontrol devrelerinde basit kontaklar ve tamamen manuel olan mekanik düzenekler kullanılmaktaydı. Daha sonraları vakum tüpleri ve gaz tüpleri kullanılmaya başlandı. Daha sonraları ise tüm bu elemanlar katı hal elemanlar ve yarı iletkenlere yerlerini bıraktılar. Katı hal elemanlar kullanımı çok kolaylaştırırsa dahi elektronik kontrol devreleri medeniyle sürme düzenekleri halen çok pahalıydı. 1960'larda umutların çok altında çok az sayıda step motor kullanıldı. 1964 yılında MOS transistörler ortaya çıktı. Bir sonraki yıl ise entegre devreler tanındı. Daha sonraları ise orta ve yüksek seviyeli entegrasyona sahip entegre devreler ile step motorların kontrol devreleri oldukça küçülmüştü. İşte bu nedenlerden dolayı 1970'li

yıllarda step motorların kullanımında büyük bir artış oldu.Yarı iletken teknolojisinin çok hızlı gelişimiyle 1971 yılında INTEL firması 4 bitlik bir işlemci geliştirdiğini açıkladı.Hemen ardından 1972'de MOTOROLA firması aynı tip 8 bitlik işlemcisini tanıttı ve step motorların ve diğer endüstriyel elektronik sistemlerin denetim kuralları tamamen değişim gösterdi.

Bu bölümde kısaca step motorların yapıları ve tarihçeleri üzerinde durulmuştur.Anlaşılacağı üzere step motorlar dijital kontrol sistemlerinde ve özellikle pozisyon kontrolunun gerekli olduğu yerlerde kullanımı kaçınılmaz olan üstün bir elektrik motorudur.

1.5.Step Motorların Sınıflandırılması

Endüstride bir çok tip elektrik motoru kullanılmaktadır.Step motorlarda yapıları ve çalışma biçimleri bakımından sınıflandırılabilirler.Genel olarak step motorlar yapıları bakımından Değişken Relüktanslı (Variable Reluctance) ve Sabit Mıknatıslı Rotor'lu (Permanent Magnet Rotor) step motorlar olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir.Ayrıca genelde bu iki motorun bazı özelliklerini bünyesinde bulunduran fakat kontrol ve kontrolcü açısından sabit mıknatıslı rotorlu bir step motor olarak değerlendirilen üçüncü bir tip daha mevcuttur ve bu gruba giren motorlar Hibrid step motorlar olarak adlandırılırlar.Bir step motorun yapısını veya türünü belirtirken aslında motora enerji uygulanmadığı sırada rotorun davranışıda tariflenmektedir.Bir başka deyişle Sabit mıknatıstan ibaret bir rotora sahip motorların statorlarına enerji uygulanmadığı sırada rotorları hareket ettirilemez veya motorun verebileceği nominal moment ile sabit kalırlar.Öte yandan değişken relüktanslı bir step motorun rotorun aynı şartlar altında serbestçe hareket etme eğilimindedir.Değişken relüktanslı step motorlar genellikle üç fazlı olup her biri bir fazın ucu ve diğeri bu fazların ortak dönüşleri olmak üzere motordan dışarı alınan dört uç taşırlar.Sabit mıknatıslı motorların yapıları biraz daha farklıdır.

Her iki tür step motorlarda oldukça geniş aralıkta değişen adım açlarına - yüksek resolüsyona - sahiptirler.Her bir adım açısı yaklaşık 90° olan step motorlar olduğu gibi

bir adım açısı 1.8° olan motorlarda mevcuttur ve sabit mıknatıslı motorlar daha küçük aralıklı adım açlarına sahip olmaları nedeniyle çoğu zaman daha hassas uygulamalarda tercih edilirler. Motorların hareketi basitçe dinamik açıdan incelendiğinde bir step motor her bir adımda aslında mekanik olarak bir denge noktasındadır. Motora bir adımlık hareket sağlamak üzere uygun kombinasyonda sargıları enerjilendirilirse motor kendi ve yük ataletinin toplamı olan bir moment ile bir adımlık hareket gerçekleştirir ve yeni bir denge noktasına ulaşır. Bir başka deyişle önceki denge noktası T iken yeni denge noktası $T + \text{adım açısı}$ olacak şekilde ötelenmiş olur. Burada önemli olan nokta motor boşa iken veya yük ataletinde ani bir düşüş meydana geldiğinde rotor yeni denge noktasın civarında osilasyona girer. Pratikte bu osilasyon özellikle sistem rezonans frekansına yakın bölgelerde - yüksek hızlarda çalışma durumunda - step motorun adım kaçırmaya veya stabil olamayan ve kontrol dışı hareket etmesine neden olur.

Bir başka açıdan bakıldığında bir step motorun herhangi bir uygulamada bir adımlık hareketini tamamlamak üzere iken maksimum moment değerini aşmasına izin verilmez. Çünkü motor katetmesi gereken T derecelik mesafeyi aldıktan sonra bu aşırı moment motorun kontrol dışı hareket etmesine neden olur. Bu nedenle bir step motor hiçbir zaman maksimum momentinin %70'nden fazlasını vermeye zorlanmaz. İdeal olarak pratik maksimum moment değeri motoru denge noktasından nominal adım açısının yarısı kadar hareket ettirecek miktardır. Yaklaşık olarak %70 değeri ise motorun moment karakteristiğinin tam sinüs olması durumunda geçerlidir.

Ayrıca bir step motor kullanırken veya böyle bir sistem tasarlanırken dikkat edilmesi gereken önemli bir noktada motor sargılarının endüktansdır. Çünkü temel olarak motor sargılarındaki akımın artma ve azalma hızları direk olarak sargıların endüktansları ile ilişkilidir. Ek olarak sargıların endüktif değerinin denge noktasında maksimum olduğu, denge noktasından ulaştığı sırada azalmaya başladığı dikkate alınmalı özellikle sürücü devresi tasarımı yapılırken bu ayrıntı gözardı edilmemelidir.

Step motorlar temelde iki genelde üç tip olurlar fakat sargılarının yapıları veya bağlantı şekilleri nedeniyle başka alt gruplarada ayrılabilirler.Bu bakımdan bir step motor Unipolar veya Bipolar olarakda adlandırılabilir.

1.5.a.Unipolar step motorlar; iki ana sargıdan ibarettirler ve motordan dışarı altı uç çıkar.Bu uçların dördü her iki sargıya aittir.Diğer iki uç ise bu sargıların orta noktalarından dışarı alınmışlardır.Orta noktadan alınan bu uçlar genellikle bir akım sınırlayıcı üzerinden DC kaynağın pozitif tarafına bağlanırlar.Bu tip motorlarda bir sargının iki parçası aynı anda enerjilendirilmez.[6]

1.5.b.Bipolar step motorlar ise; yine iki ana sargıdan ibarettirler fakat bunlarda motordan dışarı sadece faz sargılarının uçları dışarı alınır.Bu tür motorları denetlemek için unipolar motorlara göre daha gelişmiş kontrol algoritmaları geliştirmek dolayısıyla daha üstün sürücü devre sistemleri tasarlamak gerekir.[6]

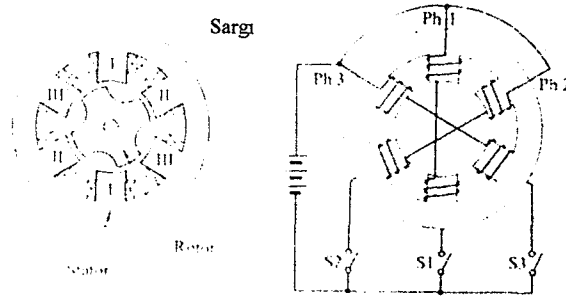
Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir noktada bazı tip sabit mıknatıslı motorlar dört sargı taşırlar bunlar kendi aralarında ikişerli gurplanır ve bu sargılar seri bağlanırsa bu motorları nominal momentleri ile sürmek için daha yüksek gerilim altında çalıştırmak gerekir.Öte yandan bu sargılar paralel bağlanırsa daha düşük bir gerilim altında motordan nominal momentini almak mümkün olur.

Bu genel tanımlardan sonra literatürde en çok bilinen ve kullanılan step motor türleri ve yapıları ayrıntılı olarak şu şekildedir.

1.5.1.VR Tip Step Motorlar

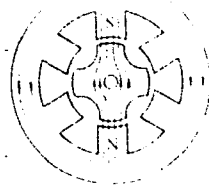
Değişken relüktanslı (Variable Reluctance) step motorlar -kısaca VR tip- en basit tipteki step motorlardır.Bu tür bir motorun kesit yapısı şekil 1.5.'de görülmektedir.Bu motor statorunda altı diş bulunan üç fazlı bir step motordur.Birbirlerine 180 °'lik açılarla (karşılıklı) duran kutuplar aynı faza ait sargılardır ve bu sargılar birbirlerine seri veya paralel bağlanabilirler.Verilen şekilde bu sargılar seri bağlıdır.Rotorunda dört adet diş

bulunan bu motorun hem statoru hemde rotoru kaplamalı silikon çelikten imaldir. Bu tür motorlarda hem stator hemde rotor yapılarının permeabilitesi (elektromagnetik geçirgenlik), fazla miktarda magnetik akı geçişini sağlayabilmek için çok yüksek olmalıdır.



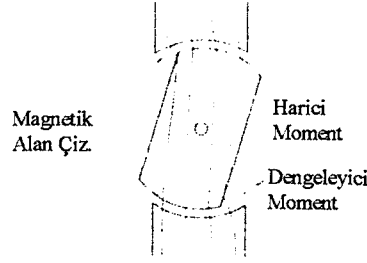
Şekil 1.5. VR Tip Step Motorların Yapısı[3,26,Fig.2.9.]

Şekil 1.5.'de I,II ve III nolu sargılar enerjilendiklerinde N kutbunu I',II' ve III' sargıları ise S kutbunu teşkil ederler. Her bir sargı şekildedeki gösterildiği gibi bir DC kaynaktan S1,S2 ve S3 switchleri ile anahtarlanırlar. 1. nolu faza bir gerilim uygulandığında bir başka deyişle 1. Nolu faz enerjilendiğinde, şekil 1.6.'de gösterildiği gibi bir magnetik akı meydana gelir.



Şekil 1.6.1.nolu faz enerjilendiğinde denge noktası[3,26,Fig.2.10.]

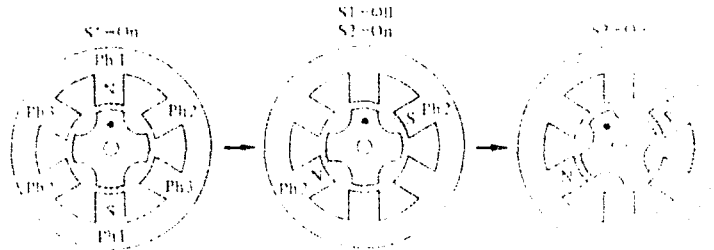
Bu durumda rotor yine şekil 1.6.'de görüldüğü gibi I ve I' sargılarına yönlenecektir. Rotor bu duruma geldiğinde magnetik zorlanma azalmış ve bir denge meydana gelmiştir. Eğer rotor yük tarafından üretilebilecek bir momentin etkisiyle dönmeye zorlanırsa şekil 1.7.'de görüldüğü gibi rotoru bulunduğu konumda tutmaya çalışacak bir ters moment oluşacaktır.



Şekil 1.7. Rotorun dengede kalışı[3,27, Fig.2.11.]

Bu örnekte sözkonusu dış etki rotoru saat yönünde döndürmeye çalışmaktadır. Bu durum rotor ve statorun uç kısımlarında magnetik alan çizgilerinin kıvrılmasına neden olur. *MAXELL* stress yasası olarak bilinen yasa gereğince magnetik alan çizgileri, elastik cisimler gibi mümkün olduğu kadar düz ve kısa olmaya çalışacaklardır. Bu da rotorun dengede durmasını sağlayacak dış etkiye ters yönde bir tepki oluşmasına neden olur. Aynı şekilde anlaşılacağı üzere rotor herhangi bir faz sargıları arasında dengede değilken magnetik zorlanma çok fazladır.

1.nolu fazın enerjisi kesilip 2. Nolu faz enerjilendirilirse DC kaynak tarafından görülen motor thevenin direnci artacak şekil 1.8.'dede görüleceği üzere rotor 30°'lik saatin ters yönünde bir hareket yaparak bu artışı azaltmaya çalışacaktır. İki anahtarlama arasındaki bu hareket motorun bir adımı olarak tariflenir. VR tip step motorların tipik yapısal özellikleri şu şekilde sıralanabilir.



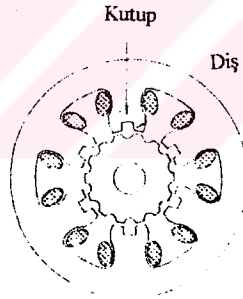
Şekil 1.8. Step motorun bir adımlık hareketi[3,27, Fig.2.12.]

a. Hava boşluğu mümkün olduğu kadar dar olmalı; stator ve rotor dişleri arasındaki mesafe hem küçük bir motordan en büyük momenti elde edebilmek için hemde çok yüksek bir pozisyon doğruluğu sağlamak için olabildiğince küçük olmalıdır.

b.Küçük adım açıları sağlamak. Step motorların en önemli özelliği çok küçük adım açılarında oldukça yüksek doğrulukta bir noktadan diğerine hareket edebilmeleridir.Fakat az önce incelenen step motorda adım açısı 30° 'dir ve bu değer küçük olarak nitelendirilmez.VR tip step motorlarda adım açısını arttırmak ve motorun daha hassas olmasını sağlamak amacıyla stator ve rotor diş sayısı arttırılır.Şekil 1.9.'daki gibi bir VR tip step motorun bir adım açısının değeri (θ_s), faz sayısı (m), rotor diş sayısı (N_r) ve adım sayısına (S) bağlı olarak;

$$S = 360 / \theta_s = mN_r \quad (1.1.)$$

şeklinde ifade edilebilir.

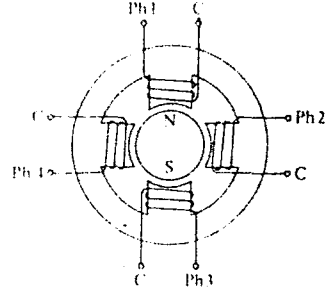


Şekil 1.9. Bir adım açısı 8.75° olan VR tip bir step motor[3,29,Fig.2.17.]

Adım açısını (θ_s) mümkün olduğu kadar küçültmek için rotor diş sayısı (N_r) arttırılır.Aynı şekilde yukarıdaki ifadeden adım açısını küçültmek için stator faz sayısını veya stator diş sayısında arttırmak gerekir.

1.5.2.PM Tip Step Motorlar

Rotoru sabit kalıcı mıknatıstan imal edilmiş olan motorlara PM step motorlar adı verilir.Dört fazlı basit bir sabit mıknatıslı step motorun kesit yapısı şekil 1.10.'da verilmiştir.



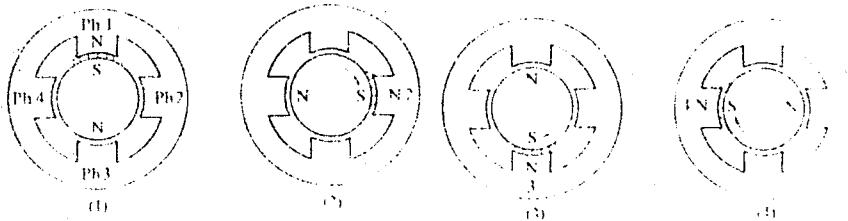
Şekil 1.10. Dört fazlı PM step motor yapısı[3,34,Fig.2.27.]

Silindirik formdaki sabit mıknatis motorun rotorunu oluştururken statorda bulunan dört diş üzerindeki stator sargıları motorun fazlarını oluşturur. Bu tür motorların kontrol prensipleri basitçe şekil 1.11.'de görüldüğü gibidir.



Şekil 1.11. Dört fazlı bir PM motor için basit sürme devresi[3,34,Fig.2.28.]

Şekilde görüldüğü üzere C ile işaretlenmiş olan kısım motorun bütün fazlarının motoru besleyen DC kaynağa olan ortak uçlarıdır. Eğer motorun fazları 1,2,3 ve 4 sırasında enerjilendirilecek olursa motor şekil 1.12.'de gösterildiği gibi bir adım açısı 90° olmak üzere saat dönüş yönünde bir hareket yapar.



Şekil 1.12. Dört fazlı bir PM step motorda adım hareketi[3,35,Fig.2.29.]

Eğer motorun statorundaki diş sayısı (faz sayısı) arttırılacak olursa mesela iki katına çıkarılırsa motorun bir adım açısı 45° olacaktır.Bu durumda PM tip bir step motorda adım açısını azaltmak için magnetik kutupları başka bir deyişle statordaki diş sayısını arttırmak gerektiği söylenebilir.Fakat bu şekilde statordaki diş sayısını arttırmanın bir sınırı vardır.Bu nedenle rotoru sabit mıknatıslı fakat çok küçük adım açlarına sahip olabilen VR tip motor gibi kontrol edilebilen türde step motorlar geliştirilmiştir.Bu motorlar Hibrid Tip Step Motorlar olarak bilinirler.

PM tip step motorların bir özelliği olarak eğer anahtarlama sırasında bir hata meydana gelir ve durursa motor sabit bir durumda kalır.Fakat PM tip motorların iki önemli dezavantajları vardır.1.Kalıcı mıknatıs oldukça pahalıdır.2.Rotorun geçirebileceği maksimum magnetik akı rotorun kendi kalıcı magnetizmasından dolayı sınırlıdır.Son olarak PM tip step motorların çok fazla bir moment üretemedikleri bilinmektedir.

Step motorları sınıflandırırken genel olarak bu iki temel grup üzerinde durulabilir.Bu iki temel yapıdaki motorun üstün yanlarını aynı yapıda taşıyan bir tip step motorda Hibrid Motor olarak bilinen türdür.Hibrid motorun rotoru kalıcı mıknatıstır.Statorunda faz sargıları yer alır ve VR tip step motorlar gibi kontrol edilirler.Daha genel olarak kontrolcu açısından hibrid motor bir VR tip motor olarak değerlendirilir.Bunun dışında yine temelde iki basit yapıdan hareketle hibrid motorun değişik versiyonları endüstride çok çeşitli özel amaçlar için kullanılmaktadır.

1.6.Step Motorların Uygulamaları

Bu bölümde step motorların hem günümüzde hemde günümüzden önceki zamanlarda en sık tercih edilen kullanım alanlarının en önemlilerine değinilecektir.

1.6.1.Bilgisayar Arabirimleri

Bilgisayar endüstrisi hiç kuşkusuz step motorların alternatifsiz tek kullanım sahasıdır.Hemen hemen bütün bilgisayar arabirim sistemlerinde başta yazıcılar, sabit disk sürücüler ve floppy disk sürücüler olmak üzere step motorlar kullanılır.

Seri yazıcılar her defasında bir karakter basabilen bir başka deyişle basılacak karakterleri bilgisayar veya kelime işlem sisteminden bir öncekini bastıktan sonra tek tek ve sıra ile alan yazıcı türleridir. Bu tip yazıcılarda basılacak karakter sayısı sınırlı olup bu karakterler set halinde *baskı papatyası*¹ adı verilen bir düzenek üzerinde bulunur. Karakterin kağıdın üzerinde basılacak konumunu belirleyen bir step motorun yanısıra birde hangi karakter yazılacaksa onu çekicinin önüne getirmekle sorumlu bir başka step motor bulunur bu tip yazıcılarda. Bu tür sistemler step motorlar genellikle saniyede 30 karakter basacak şekilde bir hızda çalıştırılırlar ve bu nedenle açık çevrim ile kontrol edilirler. Yüksek baskı hızları gereken yerlerde konumun bozulmaması için DC servo motorlar kapalı çevrim prensiplerine göre kontrol edilerek kullanılırlar. Yine yüksek hızlarda kapalı çevrim prensipleri ile kontrol edilen step motorlarda kullanılmışlardır.

Step motorların lineer olanları geliştirildikten sonra bu tip uygulamalarda daha çok kullanılmışlardır. Bu sistemlerde yazıcı kafa lineer yapıya sahip step motor vasıtası ile basılacak karakterin konumunu tespit ederken basılacak karakter yine bir başka step motor tarafından tam olarak çekicinin önüne getirilir:

Floppy disk sürücülerini bütün bilgisayarlar için vazgeçilmez bir veri depolama ünitesidir. Aynı zamanda nümerik sistemlerde de aynı amaçla kullanılmaktadırlar. Fiziksel olarak bir veya her iki taraflarında magnetik malzeme ile kaplanmış plastik film veya türevi malzemedeki yapılmış cisimlerdir. Kullanıldıkları sistemin bu üniteye erişim hızına bağlı olarak 300 veya 360 rpm devir sayısında maksimum hızlara sahiptirler. Diski bulunduğu yerde yatay düzlemde sözkonusu devir sayısı ile hareket ettiren düzenek bir DC servo motor ile kontrol edilebilecekken okuyucu kafanın oldukça küçük bir alanda MB² larca veriye (bunların adreslerine) ulaşabilmesi için bir step motor tarafından hareket ettirilmesi kaçınılmazdır.

¹ *Daisy Chain*

² *MegaByte*

1.6.2.Sayısal Sistemler

Bu alandaki temel uygulamaları arasında x-y indeks tabloları, dokuma makinaları, otomatik çizim cihazları, otomatik torna ve matkap tezgahları ve müzik cihazları sayılabilir.

Günümüz endüstriyel şartlarında makina mühendisliği için vazgeçilmez üretim hassasiyeti ve güvenilirliği sağlayan CNC torna tezgahlarından bir düzlem üzerinde cisimlerin belli şartlar altında belli konumlara yerleştirilme işini yapan düzeneklere kadar step motorların kullanımından vazgeçilemez.

Daha geniş anlamda bakıldığında step motorların klasik uygulamaları arasında faks cihazları, yarı otomatik board üretim cihazları, uzay çalışmalarındaki kullanım alanları, mekanik dijital/analog dönüştürücü sistemleri sayılabilir.

2.ELEKTROMAGNETİK TEORİSİ VE STEP MOTORLARIN YAPILARI

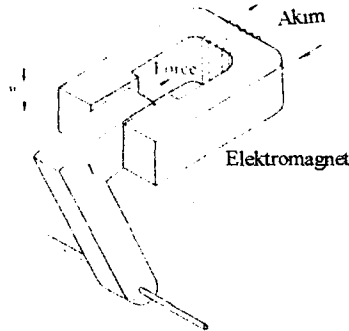
Önceki bölümlerde bir step motorun tipik yapısı ve bu motorlarda moment oluşumu bahsi kabaca ortaya konmuştur.Bu bölümde ise daha ayrıntılı ve teorik olarak bir step motorda moment oluşumu ve devamında yapı problemleri incelenecektir.Fakat moment oluşumunu ve step motorda hareket prensibini açıklamak üzere elektromagnetik teori incelenecektir.

2.1.VR Tip Step Motorda Statik Moment Oluşumu

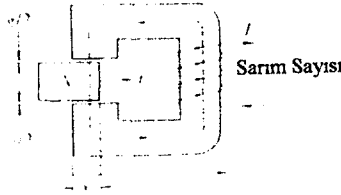
Bir elektrik motorunda oluşan momenti izah etmek üzere bir çok yöntem vardır.Daha önceki bölümde basitçe deyinen yöntem Maxwell[10.175-3.66.] teorisidir.Aslında basitçe alan teorisi olan bu yöntem step motorların devre parametrelerin nedeniyle her zaman uygun olan bir yöntem değildir.Bu bölümde magnetik enerji ve koenerji prensibine dayanan yöntem incelenecektir.Öncelikle ideal olarak rotor ve statorun sonsuz magnetik geçirgenliğe sahip oldukları düşünölmüş adım adım rotor ve statorun magnetik doyuma ulaşmaları durumu dikkate alınmıştır.

2.1.1.Sonsuz magnetik geçirgenlik durumu;

Şekil 2.1.'de görölen düzenek tarafından üretilen magnetik alan nedeniyle hareket eğiliminde olan demir parçasının davranışını açıklamak üzere şekil 2.2.'deki model kullanılabilir.



Şekil 2.1.Elektromagnetik alan içindeki demir parçası[3.68.Fig.3.1.]



Şekil 2.2.Step motor prensibinin açıklanabileceği basit bir model[3.68.Fig.3.2.]

Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi n sarımlı bobinden geçen I akımı magnetik akıyı meydana getirirken, demir parçasını x yönünde hareket ettirecek bir f kuvvetinin varlığından söz edilebilir. Buarada söz konusu demir parçası bir step motorun rotor dişi, n sarımlı bobinin üzerinde bulunduğu yapı ise statoru olarak düşünülebilir. Öncelikle hava boşluğunda meydana gelen magnetik akıyı tariflemek gerekirse *Ampere* yasasının bilinmesi gerekir.

Ampere Teoremi; Birimi metre başına Ampere olan \mathbf{H} vektörü ile birimi tesla olan \mathbf{B} vektörü arasında ;

$$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H} \quad (2.1.)$$

bağıntısı bulunduğu bilinmektedir. Ampere teoremi \mathbf{H} vektörü ile ilgilidir. Ampere'in deneylere dayanarak elde ettiği teoremin ifadesi aşağıdaki gibidir:

H vektörünün kapalı bir eğri boyunca hesaplanan eğrisel integrali integrasyon yolunun çevrelediği toplam akıma eşittir. [10.69.]

Yukarıdaki ifadenin matematiksel notasyonu Şekil 2.2.'deki devre için yapılacak olursa ;

$$\int \mathbf{H}d\mathbf{l} = nI \quad (2.2.)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu eşitliğin sol tarafı ;

$$\int H dl = H_g \left(\frac{g}{2} \right) + H_g \left(\frac{g}{2} \right) + H_i = H_g g + H_i l \quad (2.3.)$$

yukarıdaki gibi yazılabilir. Burada H_g : boşluklardaki magnetik alan yoğunluğu H_i : sarımın üzerinde bulunduğu metalin içindeki magnetik alan yoğunluğu l : devredeki toplam magnetik yol olarak yer almaktadır.

Eğer malzemenin magnetik geçirgenliği çok yüksek olursa 2.1. bağıntısından hareketle malzemenin içindeki magnetik alan yoğunluğunun (H_i) sıfır olacağı söylenebilir. Bu durumda 2.3. bağıntısından;

$$H_g = nI/g \quad (2.4.)$$

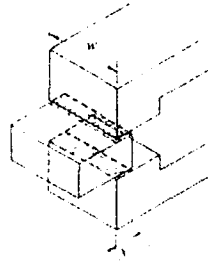
yazılabilir. Hava boşluğundaki akı yoğunluğu ise;

$$B_g = \mu_0 nI/g \quad (2.5.)$$

olarak tariflenebilir. Şekil 2.3.'de görülen düzende demir parçasının magnetik alana dik olarak giren kısmının genişliğinin w ve magnetik alan içindeki kısmının x olduğunu düşünerek magnetik alan tarafından kapsanmış kısmın alanının wx olduğunu söyleyebiliriz. 3.4. bağıntısı bu alan ile çarpılırsa;

$$\Phi = wx\mu_0 nI / g \quad (2.6.)$$

magnetik akı miktarı bulunur.



Şekil 2.3. Kaplanmış alan [3.69.Fig.3.3.]

Bu arada bir bobindeki sargı sayısı ile bu sargılardan geçen kuvvet çizgilerinin sayısının çarpımı;

$$\psi = n\Phi = w\mu_0 n^2 I / g \quad (2.7.)$$

şeklinde verilebilir. Bu ifadeye dayanarak Δt süresince Δx kadar bir hareket olduğunu düşünürsek akı bağlantısındaki artış aşağıdaki gibi olur.

$$\Delta\psi = \frac{w\mu_0 n^2 I}{g} \Delta x \quad (2.8.)$$

Bununla birlikte Δx kadarlık hareket sonucu endüklenen e.m.k.'nin değeride aşağıdaki gibidir.

$$e = - \Delta\psi / \Delta t = - w\mu_0 n^2 I \Delta x / g \Delta t \quad (2.9.)$$

Yukarıdaki ifadede - işareti endüklenen gerilimin akıma ters yönlü olduğunu göstermektedir. Söz konusu I akımı bir kaynak tarafından sağlandığından Δt süresince bu kaynağın yapmış olduğu iş;

$$\Delta P_i = I |e| \Delta t = (w\mu_0 n^2 I^2 / g) \Delta x \quad (2.10.)$$

şeklinde ifade edilebilir. Yukarıdaki bağıntılarda bobinin direnci hesaplamaları kolaylaştırmak için çok küçük olduğu düşünülmüştür.

Kaynak tarafından yapılan işin bir kısmı mekanik harekete dönüşmekte, bir kısmı ise hava boşluğunda magnetik alan enerjisi olarak harcanmaktadır. Bu kaybolan enerjideki artış miktarı;

$$\begin{aligned}\Delta W_m &= \frac{1}{2} \mathbf{B}_g^2 / \mu_0 \times (\text{hava boşluğundaki artış}) \\ &= \mathbf{B}_g^2 g w \Delta x / 2\mu_0\end{aligned}\quad (2.11.)$$

2.11. bağıntısından hareketle ΔP_1 gücünün yarısının mekanik enerjiye dönüştüğünü yarısında hava boşluğunda magnetik enerji şeklinde açığa çıktığını söyleyebiliriz. Mekanik olarak yapılan iş;

$$f \Delta x = \mathbf{B}_g^2 g w \Delta x / 2\mu_0 \quad (2.12.)$$

şeklinde ifade edilebilir ve her iki taraftaki Δx 'ler sadeleştirilirse;

$$f = \mathbf{B}_g^2 g w / 2\mu_0 \quad (2.13.)$$

bağıntısı elde edilir ve \mathbf{B}_g 'nin değeri (2.5.) yerine yazılırsa;

$$f = w \mu_0 n^2 I^2 / 2g \quad (2.14.)$$

elde edilebilir. Diğer taraftan hava boşluğundaki magnetik enerji;

$$W_m = \mathbf{B}_g^2 g w \Delta x / 2\mu_0 \quad (2.15.)$$

şeklinde yazılabilir. 2.13. ve 2.15. bağıntıları karşılaştırılırsa;

$$f = dW_m / dx \quad (2.16.)$$

eşitliği elde edilir. Bu durumda en önemli nokta bütün bu ifadelerde ve temel olarak demir parçasının yer değiştirmesi sırasında I akımının sabit kaldığının varsayılmış olmasıdır. Bu yüzden 2.16. eşitliği;

$$f = (\partial W_m / \partial x)_{I=\text{Sabit}} \quad (2.17.)$$

şeklinde yazılmalıdır. Bu bağıntı bobin direncinin sıfır olmadığı bir başka deyişle genel durum için geçerlidir. Diğer taraftan magnetik akınında sabit kaldığı varsayılarak bir başka bağıntıda elde edilebilir fakat 2.17. bağıntısı step motorların incelenmesinde kullanmak için daha uygundur.

2.1.2. Sabit magnetik geçirgenlik durumu;

Yukarıda bahsedilen ve stator yapısının sonsuz magnetik geçirgenliği olduğu durumda magnetik alan sadece hava boşluğunda meydana gelir ve bu tür bir olayın yukarıda yapıldığı gibi matematiksel incelemesi oldukça basittir. Diğer taraftan statoru oluşturan malzemenin sabit bir magnetik geçirgenliğe sahip olması durumunda ise magnetik alan sadece hava boşluğunda değil stator da ortaya çıkar. Bu gibi durumları elektromagnetik teori ile incelemek kolay değildir. Bu nedenle bu bölümde rotora hareket sağlayan kuvvetin ifadesi devre parametrelerine bağlı olarak ve statoru oluşturan malzemenin magnetik geçirgenliğinin magnetik alanın bir fonksiyonu olmadığı gözönüne alınarak verilecektir.

Şekil 2.3.'de verilen modelde akı bağıntısı bobin endüktansı cinsinden;

$$\psi = LI \quad (2.18)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu durumda sistemdeki magnetik enerji;

$$W_m = \frac{1}{2} LI^2 \quad (2.19)$$

bağıntısıyla verilir ve bu durumda demir parçası Δt süresi boyunca Δx kadar hareket ederse bobin endüktansında (L) ΔL kadarlık bir artış olduğu söylenebilir. Aynı şekilde bobinde endüklenen e.m.k.;

$$e = - \Delta\psi / \Delta t = - \Delta(LI) / \Delta t \quad (2.20.)$$

Eğer güç kaynağı bir akım kaynağı ise metal parçanın hareketi sırasında I akımını sabit olarak sağlıyorsa yukarıdaki eşitlik;

$$e = - I \Delta L / \Delta t \quad (2.21.)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu durumda kaynak tarafındaki gerilim endüklenen e.m.k.'ya eşit fakat ters yönlü olduğundan kaynak tarafından yapılan iş;

$$\Delta P_i = I |e| \Delta t = I^2 \Delta L \quad (2.22.)$$

şeklinde yazılabilir. Diğer taraftan magnetik enerji miktarındaki artış ise;

$$\Delta W_m = \frac{1}{2} I^2 \Delta L \quad (2.23.)$$

Aynı şekilde 2.22. ve 2.23. bağıntıları karşılaştırılırsa kaynak tarafından yapılan işin yarısının magnetik enerjiye dönüştüğü görülür. Diğer yarı bölüm ise mekanik enerjiye dönüşmektedir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\Delta P_0 = f \Delta x = \frac{1}{2} I^2 \Delta L \quad (2.24.)$$

ve bu eşitlikten kuvvet bağıntısı aşağıdaki gibi bulunur.

$$f = \frac{1}{2} I^2 \Delta L / \Delta x \quad (2.25.)$$

Yukarıdaki hesaplamalarda bobin direncinin sıfır olduğu ve kaynağın bir akım kaynağı olduğu düşünülmüştür. Fakat son olarak bulunan 2.25. bağıntısı genel durumlara uyarlanabilir. Bu durumda demir parçası üzerinde etkili olan kuvvet bobin endüktansını arttıracak yönde olacaktır. [3.72.]

2.1.3.Magnetik doyuma ulaşma durumu;

Bütün step motorların karakteristik olarak statorlarının magnetik doyuma ulaşma durumları sözkonusudur.Eğer bir step motor lineer B/H karakteristik bölgesinde çalışmak üzere tasarlandıysa bu motorun üretebileceği birim moment çok küçük olacağından söz konusu bu motor pratik uygulamalarda kullanılmayacak kadar büyük bir yapıya sahip olacaktır.Bu nedenle magnetik doyumu göz önüne almayan hiçbir teori pratik değildir.Statordaki magnetik doyumuda dikkate alan bir moment teorisi şu şekilde verilmiştir.(*Stepping Motors and Their Microprocessor Control, T.Kenjo p.p.72,74*)

Şekil 2.3.'de verilen modeli temel alarak enerji dönüşümü incelenirse ki faz akımının oluşturduğu magnetik alanın yarattığı f kuvvetinin etkisiyle rotor x_0 'dan $x_0 + \Delta x$ konumuna hareket etmektedir , magnetik akının (ψ) x ve I akımına bağlı olduğu söylenebilir ve $\psi(x,i)$ şeklinde ifade edilir.Eğer hareket sırasında I akımının sabit kaldığı düşünülürse güç kaynağı tarafından Δt yapılan ΔP_i işi;

$$\Delta P_i = I v \Delta t = I \Delta \psi / \Delta t = I \Delta \psi \quad (2.26.)$$

yukarıdaki gibi verilebilir.Diğer taraftan Δt süresi boyunca rotor tarafında yapılan mekanik iş;

$$\Delta P_0 = f \Delta x \quad (2.27.)$$

şeklinde olur. Δx kadarlık bir hareket sonucu sistemin mekanik enerjisindeki artış miktarı;

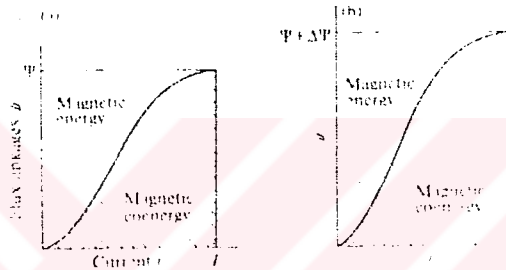
$$\Delta W_m = \int_0^{\psi + \Delta \psi} i d\psi(x_0 + \Delta x, i) - \int_0^{\psi} i d\psi(x_0, i) \quad (2.28.)$$

şeklinde ifade edilebilir.Bu eşitlikte i akımı sıfırdan I değerine kadar değişen bir değişken olarak dikkate alınmaktadır.Yukarıdaki ifade incelenecek olursa ilk terimin rotorun $x = x_0 + \Delta x$ konumunda iken sahip olduğu magnetik enerji ve ikince terim ise rotorun x_0

konumunda iken sahip olduğu bir başka deyişle başlangıç magnetik enersidir.3.28. bağıntısındaki her iki teriminde integral değerleri hesaplanacak olursa sistemin magnetik enerjisi;

$$\Delta W_m = I\Delta\psi - \Delta \int_0^I \psi(x,i)di \quad (2.29.)$$

şeklinde bulunur ve sistemin rotorun her iki konumundaki magnetik enerji ve koenerjileri şekil 2.4. olduğu gibi gösterilebilir.



Şekil 2.4.Sistemin magnetik enerji ve koenerjilerinin dağılımı[3.73.Fig.3.5.]

2.26.bağıntısında verildiği gibi yukarıdaki ifadenin ilk terimi güç kaynağı tarafından yapılan iş miktarıdır.Buradan hareketle yukarıdaki ifade basitleştirilebilir ve statoru n sarımdan ibaret bir step motor için moment ifadesi sonuç olarak şu şekilde verilebilir.[3.74.]

$$T = \frac{\partial}{\partial \theta} \sum_{i=1}^n \int_0^{I_i} \psi(\theta, i_i) di_i \quad (2.30)$$

2.2.Diş yapısı, sayısı ve kutup düzeni

Step motorların konvansiyonel motorlardan çok farklı bir yapı arzettikleri hemen görülmektedir.Bir step motorun moment üretebilmesi en önemli karakteristik yapısı dişlerine bağlıdır.Diğer tüm dönen veya lineer hareket eden motorlarda moment üretimi için diş yapısı gerekli değildir.Fakat yine de bu tip motorlarda uygulanan diş yapısının

amacı stator ve rotor arasındaki hava boşluğunu en aza indirmektir. Step motorlarda ise moment üretimi için hem rotor da hemde statorda diş bulunması temel olarak gereklidir. Bu bölümde step motorlardaki diş yapısı, sayısı ve bunların ilişkileri incelenecektir. [3.83.]

2.2.1. Diş yapısı

Değişik tipteki step motorların diş yapıları üç temel grupta toplanabilir. Birinci grup şekil 2.5.'de görüldüğü üzere stator ve rotor da eşit sayıda diş bulundurur. Bu tip yapı çok kütleli step motorlarda bulunan yapıdır.



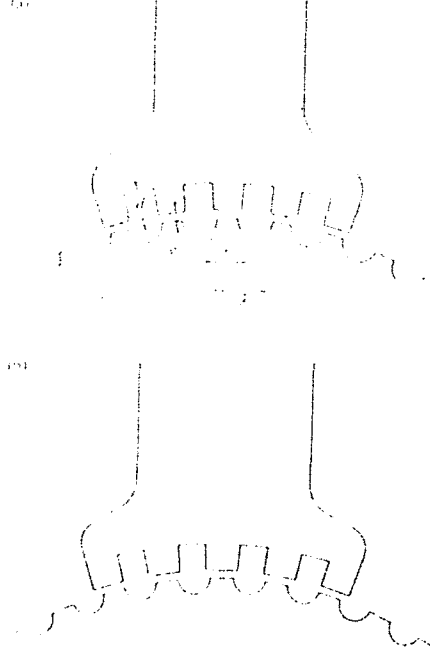
Şekil 2.5. Rotor ve stator da aynı sayıda diş bulunan yapı [3.84. Fig. 3.14.]

Bu yapıda bütün dişler aynı anda enerjilendirilir ve enerjileri kesilir. İkinci tip yapı ise şekil 2.6.'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.6. Rotor ve stator da farklı sayıda diş bulunan yapı [3.85. Fig. 3.15.]

Bu tip yapılar genellikle tek kütleli VR tip ve büyük adım açılı step motorlarda kullanılan türlerdir. Ve bu tür makinalarda dişler aynı anda enerjilendirilmezler. Son olarak üçüncü tip diş yapısı şekil 2.7.'de verildiği gibidir. Bu yapıda stator dişleri stator kutupları altında gruplandırılmışken rotor dişleri homojen bir şekilde dağıtılmıştır. Bu tip yapı tek kütleli VR tip ve küçük adım açılı step motorlarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte hibrid tip step motorlarda rotor ve stator diş sayısında çok küçük bir fark vardır. Mesela stator 50 diş varken rotor 48 diş bulunur.



Şekil 2.7.Bir hibrid motorun diş yapısı a.Rotor ve statorda farklı sayıda diş
b.Rotorda ve statorda aynı sayıda diş[3.85.Fig.3.16.]

Bir step motorun dizaynı sırasında diş/slot oranı karar verilmesi gereken en karakteristik unsurdur.Çünkü bu faktör bir step motorun statik moment karakteristekleri ile yakından ilgilidir.Aynı zamanda diş/slot oranı bir step motorun dinamik karakteristeklerindeki belirleyici bir rol oynar çünkü bu oran her bir fazın endüktansını belirleyen bir unsurdur.

Step motorların çok değişik yapı gruplarına sahip olmalarına rağmen VR tip step motorlarda moment üretimi şekil 2.5.'da gösterilne basit magnetik yapıya dayandırılabilir.Harris *et al.*¹ bu tür diş yapısına sahip motorlarda doyuma girmeyide göz önüne alarak statik moment oluşumunu açıklayan bir teori ortaya koymuşlardır.Bu çalışmaya göre mümkün olan en büyük moment en küçük adım açısında ortaya çıkabilir.Ve optimum diş-genişlik/diş-sayısı oranı (t/λ) teorik olarak 0.42 dir.Yine bu teoriye göre pratik uygulamalarda bu oran 0.38 ile 0.48 arasında değişmektedir.

¹ Harris M.R.Hughes A. and Lawrenson P.J. (1975) "Statik Torque Production in saturated doubly-salient machines" *Proc.IEE* 122,(10),1127-7

Modern VR tip ve hibrid step motorlar aşağıda belirtilen genel karakteristiklere sahiptirler.

1. t/λ oranı 0.5 civarındadır.
2. statordaki slot derinliği d yaklaşık olarak diş genişliğinin yarısı kadardır.
3. rotor için t/λ oranı 0.38 ile 0.45 arasındadır.
4. rotor için slot yapısı yarı daireseldir stator içinse dikdörtgen veya yarı daireseldir.
5. Hava boşluğunun genişliği g mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Ve bu mesafe 0.02 ve 0.05 arasında olmalıdır. [3.86.]

2.2.2. Faz, diş ve adım sayısı ilişkileri

m fazlı rotorunda N_r adet diş bulunan bir motor için bir hareketteki adım sayısı şu genel ifade ile verilir.

$$S = mN_r \quad (2.31.)$$

Bu bağıntı bir veya iki fazın devrede olduğu uygulamalarda doğrudur fakat yarı-adım sürme durumunda bu ifade aşağıdaki gibi olmalıdır.

$$S = 2mN_r \quad (2.32.)$$

m fazlı bir step motorda herhangi bir fazdan anahtarlama başladığını düşünelim. Anahtarlama sıralamasının bir turu tamamlandığında yine ilk enerjilenen faza sıra geldiğinde motor m adımlık bir hareket yapmış ve rotor bir diş genişliği kadar bir yol katetmiştir. Motora bir adım genişliğinde hareket kazandırılabilmesi için m adet darbeye ihtiyaç varsa motorun bir devrini tamamlaması için mN_r adet darbeye gerek vardır. Şekil 2.7.'de verilene türde rotor ve statorun farklı sayıda dişe sahip oldukları durumda yukarıdakine benzer türde bir eşitlik şu şekilde verilebilir.

$$q = |N_r - N_s| \quad (2.33.)$$

Bu bağıntıda N_r : rotor diş sayısı

N_s : stator diş sayısı

$$q = N_s / m \quad (2.34.)$$

faz başına stator diş sayısı ifade edilebilir. 2.31 ve 2.34. bağıntılarından m değerini elemine edersek

$$S = N_r N_s / q \quad (2.35.)$$

veya

$$S = N_r N_s / (N_r - N_s) \quad (2.36.)$$

bulunabilir. Daha genel olarak 2.33, 34, 36 bağıntılarından hareketle

$$S = m(m+1)q \quad N_r > N_s \quad (2.37.)$$

$$S = m(m-1)q \quad N_r < N_s \quad (2.38.)$$

Bu tür motorlar için en geniş adım açısının 30 derece olduğunu şu şekilde görebiliriz. q 'nun alabileceği en küçük değer bir rotoru hareket ettirmek için en azından iki kutup gerekeceğinden 2 olabilir. En küçük mümkün m değeri ise 3 tür. Bu durumda 2.38. eşitliğinden

$$S = 3 \times 2 \times 2 = 12$$

ve adım açısı

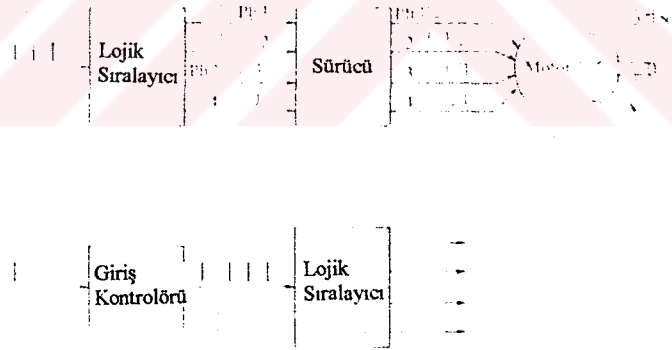
$$\theta = 360/S = 360/12 = 30^\circ \text{ olarak bulunur. [3.87.]}$$

3.STEP MOTORLAR İÇİN SÜRÜCÜ SİSTEM VE DEVRELERİ

Step motorların uygulamalarında karşılaşılan en önemli problemlerden birisi hiç kuşkusuz bu tür motorları belirli şartlar altında sürmektir.Bu bölümde step motorların sürülmesi için geliştirilmiş çeşitli sürme sistemleri ve genel anlamda sürücü devre prensiplerine deyinilecektir.Bu bölümde yer alan bütün devre ve sistemlerde denetimi yapılan step motorların sistemden herhangi bir geri besleme işareti almadıkları bir başka deyişle açık çevrim kontrol yapıldığı göz önünde tutulmaktadır.Pratik uygulamalarda hareketin veya pozisyon denetiminin bir step motor tarafından sağlandığı düzenlerde herhangi bir geri besleme işaretine gerek olmadan diğer bir deyişle motorun hareketini sağlıklı bir şekilde yaptığını öngörerek kontrol algoritması geliştirmek çok büyük bir hataya sebep olmayacaktır.

3.1.Sürücü Sistemi

Bir step motorun hareketini kontrol için gerekli bir sistemin en basit şeması aşağıdaki gibi verilebilir.



Şekil 3.1.Sürücü sistemi blok diyagramı[3.121.Fig.5.1.]

Yukarıda görülen blok diyagramda bir step motor bu motoru sürece ve genellikle motorun faz sayısına göre gerekli sayıda yarı-iletken elemandan oluşan bir sürücü devresi, bu devredeki yarı iletken elemanların iletimde kalma aralıklarını belirleyecek darbeleri sağlayan lojik sıralayıcı devresi altta ise lojik sıralayıcı devresine yön ve adım işaret bilgilerini sağlayan bir süpervisor 'ın varlığından sözedebiliriz.Bu tür düzeneklerde süpervisor devresi her zaman belirli bir görevi yapmak üzere

programlanmış veya geliştirilmiş bir lojik devre olabileceği gibi aynı tarzda görevi değişik şartlar altında icra etmek üzere kullanıcı tarafından programlanabilecek bir mikroişlemci destekli bir sistemde olabilir.

Bu tür bir sistemde mikroişlemci gereken yerde ve sayıda adım bilgisi üretir ve yine gereken yön bilgisi dahilinde bunları lojik sıralayıcıya iletir. Lojik sıralayıcı dönüş yönünü ve sürücü devresinde yer alan yarı iletken elemanların iletme girme ve çıkma karakteristiklerini de gözönüne alarak ilgili motor sargısını enerjilendirmek üzere gerekli çıkış kombinasyonunu yaratır. Ve sürücü devresinde bulunan yarı iletken elemanlar gerekli zamanda anahtarlanarak rotorun hareketi sağlanır.

3.2. Lojik sıralayıcılar

Lojik sıralayıcı devresi adındanda anlaşılacağı üzere verilen adım bilgisi dahilinde motorun anahtarlanacak faz sırasını tayin eden bir düzendir. Bir lojik sıralayıcı devresi genel olarak bir shift register (kayırmalı saklayıcı) ve lojik kapılardan ibarettir (NAND, AND, OR).

Bir step motor sürücü sisteminde lojik sıralayıcı devresi tasarlanırken sürülecek motorun özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir çünkü motorun fazlarının amaca hizmet edecek şekilde enerjilendirilmesi bir zorunluluktur. Eğer kullanılan motor 4-fazlı 2-fazı iletimde olan bir motor ise bunun lojik sıralayıcısının fonksiyonu farklı, eğer motor 3-fazlı 1-fazı iletimde olan bir step motor ise bunun lojik sıralayıcısının fonksiyonu farklı olacaktır. Bu bölümde lojik sıralayıcı devresine örnek olarak sadece 4-fazlı 2-fazı işletimde olan bir motorun lojik sıralayıcısı verilecektir.

3.2.1. 4-fazlı 2-fazı iletimde olan bir step motorun lojik sıralayıcı devresi

Basit bir sıralayıcı devresi daha öncede belirtildiği gibi basitçe JK-FF lar ile lojik kapılardan ibarettir. Bu durumda JK-FF'ların ve diğer AND, NAND ve OR türü gibi lojik kapıların doğruluk tablolarının bilinmesi gerekir. Tablo 3.1.'de AND, NAND, OR, NOR, NOT lojik kapıları ile JK-FF'ların doğruluk tabloları verilmiştir.

Tablo 3.1. Lojik kapıların ve JK-FF'ların doğruluk tabloları

Lojik kapı	Giriş A(J)	Giriş B(K)	Çıkış C(Q)
AND	1	1	1
	1	0	0
	0	1	0
	0	0	0
NAND	1	1	0
	1	0	1
	0	1	1
	0	0	1
OR	1	1	1
	1	0	1
	0	1	1
	0	0	0
NOR	1	1	0
	1	0	0
	0	1	0
	0	0	1
NOT	1	x	0
	0	x	1
JK	1	1	Q toggle
	1	0	1 0
	0	1	0 1
	0	0	Q evrik toggle

Yukarıda örneği verilecek sıralayıcı devresinde sıralayıcı çıkışları ve bunların motor fazlarına dağılımı aşağıdaki gibidir.

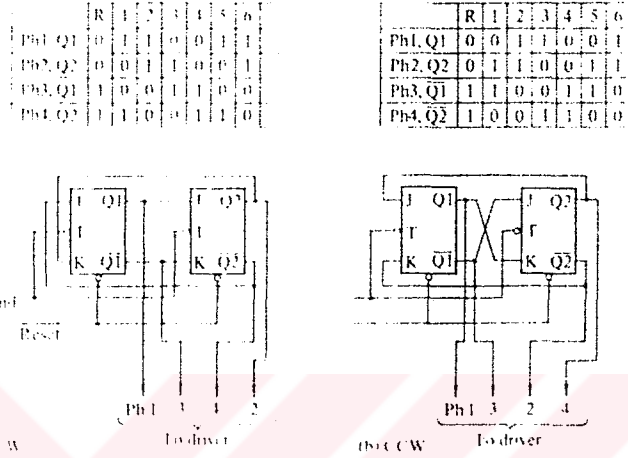
Q1 Faz1

Q1 Faz2

Q2 Faz3

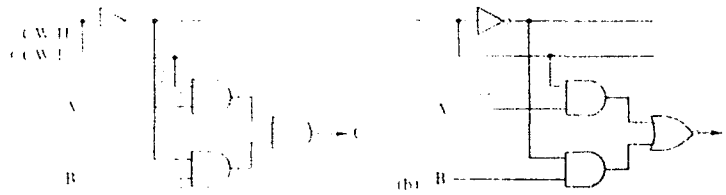
Q2 Faz4

Yukarıda verilen tabloda Q1, H seviyede iken 1 nolu faz enerjilenecek, Q1, L seviyede ikense 2 nolu faz enerjilenecek Q1 kesilecektir. Yine sözü edilen 4-fazlı 2-fazlı iletimde olan bir step motorun lojik sıralayıcısı aşağıdaki gibi verilebilir.



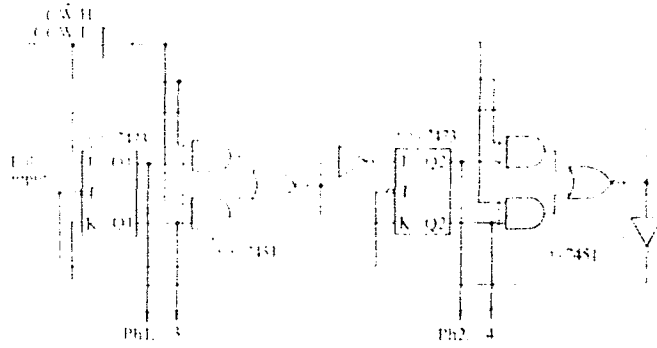
Şekil 3.2. 4-Fazlı 2-Fazlı iletimde olan bir step motor lojik sıralayıcı devresi[3.124.Fig.5.2.]

Yukarıdaki şekilde hem devre şeması hemde her bir adım bilgisine karşılık düşen lojik sıralam sonuçları görülmektedir.Şekil 3.2.a.'daki düzen ile motor saat yönünde hareket ederken b.'deki devre motora saatin ters yönünde hareket kazandırır. Her iki yönde hareketi sağlamak amacıyla iki devre geliştirmek yerine sadece şekil 3.3.'de verilen eklemeyi yapmak yeterlidir. Görüldüğü gibi CCW ve CW şeklinde yön bilgiside sisteme eklenmiş olur. Bu durumda CW bilgisi H konumda iken motor saat yönünde L konumda iken saatin ters yönünde hareket edecektir.



Şekil 3.3. Dönüş yönünü belirleyici devre[3.124.Fig.5.3.]

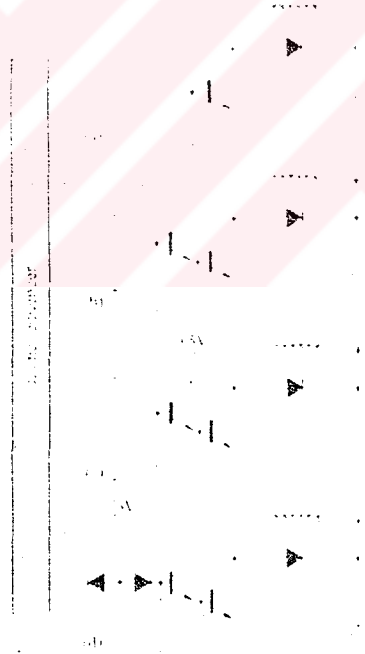
Yukarıdaki devrede eklendiğinde 4-fazlı 2-fazlı iletimde olan bir step motoru sürmeye yönelik lojiksıralayıcı devresi şekil 3.4.'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.4.4-fazlı 2-fazlı iletimde olan bir step motor lojik sıralayıcısı[3.124.Fig.5.4.]

3.3.Motor sürücü devreleri

Step motor kontrol düzeneğinde motora gerekli zamanlarda bir adımlık hareket sağlayan sargı anahtarlama kombinasyonları bir başka deyişle mojik sıralayıcı devresinin çıkışları motor sürücü katının giriş işaretleri olur.Bu bağlamda en basit bağlantı şekli şekil 3.5.a ve b 'de gösterildiği gibi yapılabilir.



Şekil 3.5.Sıralayıcı ve sürücü devrelerinin tipik bağlantı şekilleri[3.131.Fig.5.14.]

Fakat bu durumda lojiksıralayıcı devresinin çıkış sinyalleri sürücü devresindeki güç transistörlerini sürmek için yeterli değilse şekil 3.5.c ve d 'de görüldüğü gibi lojik sıralayıcının çıkış akımını kuvvetlendirmek için darlington bağlantı prensibi kullanılabilir.Burada lojik sıralayıcı öndeki transistörü sürer ve bu transistörün kollektör

akımı ilede alttaki transistör daha yüksek bir kollektör akımı sağlayacak şekilde sürülmüş olur.

3.3.1.Sürücü devrelerinde karşılaşılan sorunlar

Genel olarak bakıldığında (elektriksel olarak) bir step motorun sargısı aslında küçükte olsa bir direnç ile seri bağlanmış yüksek değerli bir endüktans bir başka deyişle bir RL yükünden ibarettir.Buna ek olarak birde her bir fazda oluşan ters elektromotor kuvveti de dikkate alındığında bir step motorun bir fazına ait eşdeğer devre şekil 3.6.'da görüldüğü gibi verilebilir.



Şekil 3.6.Bir fazın eşdeğer devresi[3.132.Fig.5.15.]

Bu durumda bir sürücü devresi tasarlanırken mutlaka bu tür devrelerin davranışları çok iyi bilinmeli ve step motorun transistörler ve güç kaynağı açısından en kötü şartları dikkate alınmalıdır.Ek olarak step motorların karakteristik yapıları imalat toleransları nedeniyle ve işletme sıcaklıklarıyla da değişebileceği dikkate alınmalıdır.Step motorların çalışma sıcaklıkları en kötü şartlarda 100 °C olacak şekilde düşünülmelidir.Ve bu durumda sargı dirençlerinininde %20 - 25 oranında artabileceği gözardı edilmemelidir.

3.3.2.Bastırıcı devreler

Şekil 3.6.'da verilen eşdeğer devrede transistör iletimden çıktığı sırada sargı endüktansında $L(di/dt)$ etkisi nedeniyle aşırı gerilim meydana gelir ve bu gerilim transistöre zarar verebilir.Bu durumu önlemek için çeşitli yöntemler mevcuttur.

a.Diyot kullanımı;

Eğer şekil 3.7.'de gösterildiği gibi sargıya paralel bir diyot konursa transistör iletimden çıktıktan sonra oluşan gerilimin etkisiyle akacak olan sirkülasyon akımı devresini bu diyot üzerinden tamamlar.Bu durumda transistör açısından yük akımında

çok büyük bir değişiklik olmaz ve transistörün kollektör emetör gerilimi V_{CE} yükü besleyen gerilime ek olarak diyotun iletim yönündeki gerilim düşümünün toplamı olacaktır.



Şekil 3.7.Diyotlu bastırıcı devre[3.133.Fig.5.16.]

Bu tür bir devre oldukça kolaydır fakat sirkülasyon akımının belirli bir süre akması motorda bir frenleme etkisi yarattığından çok fazla tercih edilmez.

b.Diyot ve direnç kullanımı;

Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi şekil 3.7.'deki devreye ek olarak diyoda seri bir direnç bağlanırsa sirkülasyon akımının kısa sürede sönmesi sağlanabilir.



Şekil 3.8.Diyot ve seri bağlı direnç ile bastırıcı devre[3.133.Fig.5.17.]

Bu durumda transistör ileitmeden çıkarken kollektör-emetör gerilimi V_{CE} ;

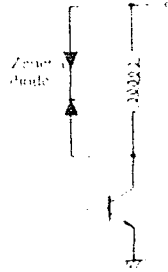
$$V_{CE} = E + IR_s + V_{DE} \quad (3.1.)$$

olur.Yukarıdaki ifadede E ; kaynak gerilimi, I ; transistör kesime girmeden önceki yük akımı, R_s bastırıcı direncinin değeri ve V_{DE} ; diyodun geçirme yönündeki gerilim düşümü olur.3.1. ifadesinden de kolayca görüleceği üzere R_s direnci ne kadar büyük olursa sirkülasyon akımı o kadar çabuk azalır fakat bu durumda transistörün kollektör-emetör

gerilimi artar. Bununla birlikte sirkülasyon akımının çabuk azalması için yeterli bir gerilim olmalıdır.

c. Zener diyot ile bastırıcı devre;

Şekil 3.9.'da gösterildiği gibi zener diyotlar sıradan diyotlara seri olarak bağlanırlar. Daha önceki iki durumla karşılaştırıldığında bu devrede sirkülasyon akımı çok daha hızlı sönecektir.

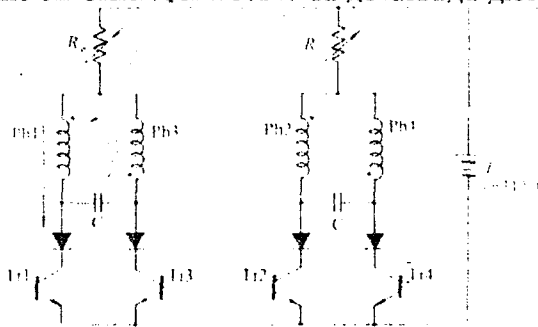


Şekil 3.9. Zener diyotlu bastırıcı devre [3.133. Fig. 5.18.]

Bu devrede ise transistörün kolektörü ile emetörü arasına uygulanan gerilim zener diyot ve kaynak gerilimlerinin - akımdan bağımsız olarak - toplamıdır. Bu durumda V_{CE} geriliminin hesaplanması daha kolay olacaktır.

d. Kondansatörlü bastırıcı devreler;

Bu tür bastırıcı devreler genellikle sargıları birbirlerine göre ters akım geçen türde sargılarda - bifilar - daha sıkça kullanılır. Bu tipte bastırıcı devre düzeneği ihtiva eden motor sürücü devrelerine bir örnek şekil 3.10.'da görüldüğü gibi verilebilir.



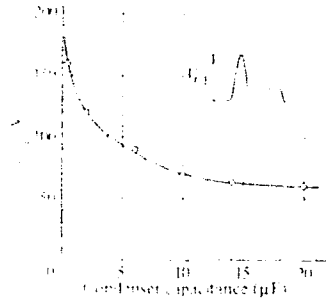
Şekil 3.10. Kondansatörlü bastırıcı devreli 4 fazlı bir step motor sürücü devresi [3.135. Fig. 5.21.]

Dört fazlı bir step motor sürücüsü olan bu devredende görüleceği üzere Ph1, Ph3 ve Ph2, Ph4 şeklinde numaralandırılmış ve gruplandırılmış motor srgıları arasına değeri C

olan bir kondansatör konulmuştur. Bu kondansatörün devredeki görevi iki şekilde incelenebilir. İlk olarak herhangi bir transistör iletimden çıktığında kendisine seri bağlı olan diyodun anodu ile irtibatlanmış C kondansatörü akımı kesilen ilgili sargının azalma eğiliminde olan akımını absorbe eder. Bir başka deyişle Tr2 veya Tr4 'den herhangi biri iletimde iken (Tr3 kesimde) Tr1 iletimden çıktıktan hemen sonra Ph1 ve Ph3 bifilar yapıda sargılar olduklarından sirkülasyon akımı şekilde gösterildiği yönde akmaya başlar. C kapasitesinin şarjı maksimum aynı anda sirkülasyon akımı sıfır olduğu sırada Tr3 iletime sokulursa C kapasitesi Ph1-Ph3-D-Tr3 üzerinden lölaylıkla deşarj olur. Bu bilindiği gibi seri LC devresi klasik davranışdır ve bu rezonans mekanizması sayesinde akımlar verimli bir şekilde kullanılır. Bu özellik aynı zamanda iki faz iletimde olduğu durumlardada geçerlidir. Bu devreler daha çok step motorların adımlama oranları dar bir alanda olduğu zaman kullanılırlar.

Kondansatörlü bastırıcı devre kullanmanın ikinci avantajı ise bu tür devrelerin step motorlarda yük momentinde ani değişiklikler meydana geldiğinde motorun kontrol dışı davranabildiği durumlardır. Bilindiği gibi rotor bu durumlarda bir osilasyona girmekte ve çoğu zaman bu olay adım hatasına veya kontrol dışı davranışa neden olmaktadır. Eğer bir motorun kalıcı mıknatısiyetten dolayı bir osilasyona girmesi sözkonusu ise bu durumda sargılarda değişken bir ters e.m.k. oluşur ve akım için uygun bir yol bulunmuyorsa veya yüksek değerli bir direnç sargıya seri bağlanmadıysa bu e.m.k. nedeniyle herhangi bir akım akışı meydana gelmez. Fakat şekil 3.10.'daki devrede iki sargı arasına konan kapasite bu ters e.m.k. nedeniyle akmak isteyecek akımı absorbe edip osilasyonun sona ermesine neden olur. Bu bakımdan bu tür devrelerin kullanımı önemlidir.

Bununla birlikte bu kapasitenin değeri ne kadar büyük olursa yüksek hızlarda akım daha çabuk söneceğinden daha yüksek momentler elde edilebilir. Son olarak şekil 3.11.'de görüldüğü gibi seçilecek kondansatörün değeri arttıkça transistörün iletimden çıkma durumunda maruz kalacağı en büyük V_{CE} gerilimi azalacaktır.



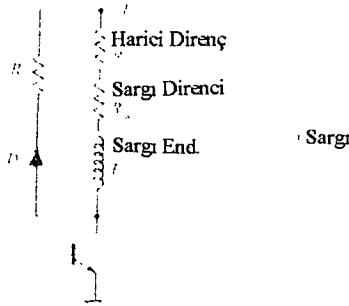
Şekil 3.11. V_{CE} geriliminin kondansatöre göre değişimi[3.136.Fig.5.23.]

3.3.3. Akım kontrolü

Herhangi bir motor sürücü devresinde bir transistör bir sargıyı enerjilendirmek üzere iletme girdiğinde güç kaynağı ,motorun sargısı endüktansı nedeniyle akıma karşı koyacağından , motorun istenilen akım değerinde sürebilmek için sargı endüktansının karşı etkisini yenecek yapıda ve güçte olmalıdır. Anahtarlama frekansı arttığında bu yükselme zamanı büyük önem kazanacağından motor sürücü devreleri tasarlanırken mutlaka dikkate alınması gereken bir unsurdur. Aksi takdirde düşük çalışma momenti veya uzun cevap zamanı gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Bunun için ilk anahtarlama sırasında akımın hızlı artışı sağlamak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu bölümde kısaca bu metodlara değinilecektir.

a. Seri direnç;

Yukarıda bahsedilen sorunun üstesinden gelmek için yapılabilecek en basit ve ucuz şey motor sargılarına şekil 3.12.'de gösterildiği gibi seri direnç bağlamaktır.



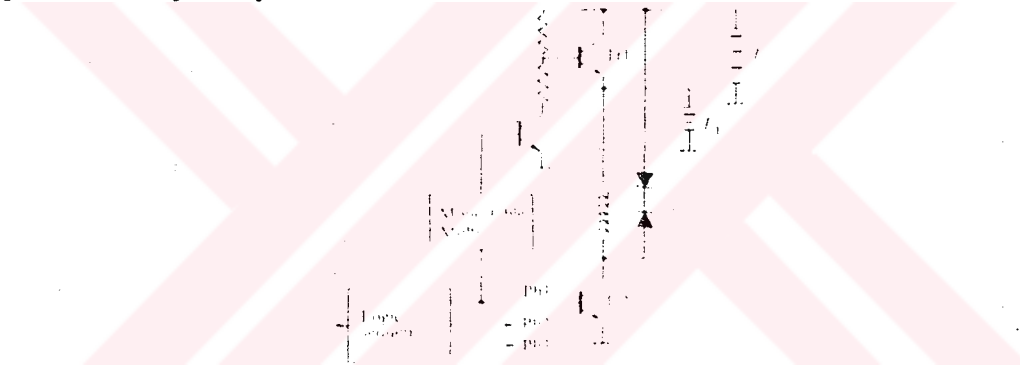
Şekil 3.12. Akımın hızlı artışı sağlamak için seri direnç kullanımı[3.137.Fig.5.24.]

Bu durumda DC güç kaynağı , motoru istenilen akımla sürebilecek büyüklükte seçilir. Teorik olarak bakıldığında seri direncin etkisi motor sargısının zaman sabitinin

L/R_w değerinden $L/(R_w + R_s)$ değerine artırılması şeklinde özetlenebilir. Eğer bir step motorun bir sargısının direnci 1.5Ω ve istenilen akım oranı 4 A ise bunu sağlamak için 24 V'luk DC kaynağa ihtiyaç vardır. Eğer herbir faza akımın hızlı artışı sağlamak için 4.5Ω eklenecek olursa bu durumda seri direnç üzerinde harcanacak olan güç miktarı $4 \cdot 4.5^2 = 72$ W olacaktır ki bu oldukça yüksek bir güç kaybıdır ve bu yöntemin en büyük dezavantajıdır. Son olarak bu güç kaybı iki fazın iletimde olması durumunda ikiye katlanacaktır.

b. Çift taraflı kaynak kullanımı;

Motor sürücü devresinde harcanan güç miktarını azaltmak ve motorun ve sürücü devresinin verimini arttırmak için şekil 3.13.'de görüldüğü türde çift taraflı kaynak prensibine dayanan yöntem kullanılır.



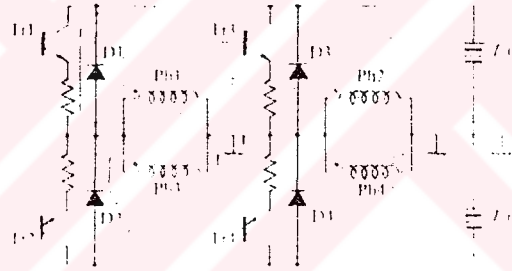
Şekil 3.13. Çift taraflı kaynak etkisi yaratıp akımın hızlı artışı sağlamak için bir devre [3.137.Fig.5.25.]

Şekilde görülen lojik sıralayıcı devresine bir adım bilgisi ulaştığında bu devrenin ilgili çıkışı aktif olarak ilgili sargıyı enerjilendiren transistörü iletime sokacaktır. Şekilde görüldüğü gibi bu işaret elde edildiğinde Tr1 ve Tr2 transistörlerinin her ikisinde iletime girecektir. Bu durumda motor sargısına daha büyük olan E_H gerilimi uygulanacaktır. D diyodu tıkama yönünde kutupolarak küçük değerli gerilim kaynağını (E_L) büyüğünden koruyacaktır. Böylece sargı akımı büyük gerilim kaynağının etkisiyle daha hızlı yükselecektir. Bu arada monostable çalışan salınım devresinin zamanlaması sargı akımı istenilen akım değerini biraz aştığı sırada Tr1 transistörünü iletimden çıkaracak şekilde ayarlanmalıdır. Tr1 transistörü iletimden çıktıktan sonra D diyodu geçirme yönünde kutuplanır ve motor sargısı E_L kaynağından beslenmeye devam eder.

3.4. İki veya dört fazlı bir step motor için sürücü devresi

Step motorlarda birden fazla fazın aynı anda enerjilendirilmesi yüksek moment elde açısından oldukça önemlidir. Bu durum genellikle küçük motorlar için gereklidir. Bir başka açıdan dört fazlı hibrid yapıya sahip motorların sürülmesinde en çok tercih edilen yöntem bu motorların bipolar bağlantı ile sürülmeleridir. Diğer türde yani unipolar bağlantı ile sürülme durumuna göre motordan alınabilecek moment değerinin %25-30 civarında arttırılması mümkündür.

Step motorların sürülmesinde kullanılan iki temel köprü montajı vardır. Bu montajlarda dört adet yarı iletken eleman motor sargılarını enerjilendirmek üzere belirli bir kombinasyonda anahtarlanırlar ve bu yarı iletken elemanlar yapı olarak H köprü montajında inverter devresinde olduğu gibi bağlanırlar. Bu bölümde iki ayrı -çift taraflı- kaynaktan beslenen ve prensip şeması şekil 3.14.'de verilen devre incelenecektir.



Şekil 3.14. Bipolar ve sargıları paralel bağlı bir H köprü montajında step motor sürücüsü[3.139.Fig.5.28.]

Yukarıda görülen devrenin özellikleri ve temel prensipleri aşağıda verilmiştir.

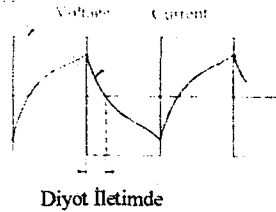
a. Eğer motor statorunda birbirine karşılıklı bağlı 4 adet sargıdan oluşuyorsa ,bu durumda motordan dışarıya sekiz adet uç çıkıyordur, fazların biribiri aralarındaki bağlantılar şekilde görüldüğü gibi yapılırlar. Sargılardan sürekli değişken bir akım akar ve temel olarak 1 ve 3 nolu fazlar hep aynı polariteye sahiptirler. Bu durumda motor iki fazlı olarak değerlendirilir.

b. Önemli bir ayrıntı olarak şekildende görüleceği üzere birbirine bir anlamda seri bağlı transistör çiftlerinin mutlak surette aynı anda iletimde olmaları gerekir yani

herhangi biri ilettime girdiğinde diğeri henüz iletimden çıkmayacak olursa ortaya çıkabilecek ciddi sorunları önlemek amacıyla bu durum engellenmelidir. Bu durumda bir transistörün ,iletimden tamamen çıktıktan sonra diğerrinin güvenli bir şekilde ilettime girebilmesini sağlamak üzere bir gecikme yaratmak gerekir. Alternatif olarak böyle bir gecikme yaratmak yerine bu durumun zararlı etkilerini azaltmak için seri dirençler bağlanabilir.

c. Şekil 3.14.'de görüldüğü üzere her bir yarı iletken elemana paralel bağlı bulunan diyotların amacı bu transistörler iletimden çıktıktan sonra oluşacak ters ve yüksek değerli gerilimi bastırmak içindir. Eğer Tr1 transistörü iletimde ise Ph1 ve Ph3 sargılarından geçecek akımın yönü şekilde gösterildiği gibi olacaktır. Tr1 kesime gittikten hemen sonra T2 ilettime gireceğinden bu sırada sözkonusu akım henüz yön değiştirmemiş olacaktır ve E(2) kaynağında etkisiyle D2 diyodu üzerinden şekilde kesikli çizgilerle gösterildiği gibi akmaya devam edecektir. Bu durumda bu faz sargılarının kaynak tarafına enerji verdikleri veya E(2) kaynağının şarj olduğu söylenebilir. Enerji bakımından incelendiğinde motor sargılarındaki magnetik enerji kaynak tarafına transfer edilir. Bu yüzden unipolar bağlantı durumunda bu magnetik enerji diyotlar harici dirençler ve zener diyolar üzerinde harcandığından bu durum bipolar bağlantının bir avantajı olarak değerlendirilebilir.

d. Unipolar bağlantı durumunda iletimden çıkma sırasında sargı akımının etkilerini azaltmak için bazı bastırıcı devreler kullanılır. Öte yandan bipolar bağlantıda ise akımı ters çevirmek için sargıya ters bir gerilim uygulanır. Sargılar üzerindeki gerilimler ve bu sargılardan geçen akımların ilişkisi şekil 3.15.'de görülebilir. Burada görüldüğü gibi akımın dalga şekli motorda oluşan ters e.m.k. nında etkisiyle biraz daha konkav bir eksponansiyel değişimdir.



Şekil 3.15. Bipolar sürme durumunda akım ve gerilim değişimleri [3.140.Fig.5.29.]

Genel olarak Şekil 3.14.'de olduğu gibi iki ayrı -ĉift taraflı- kaynak yerine H köprü montajındaki bu sürücü devre tek bir kaynaktan beslenir. Bu durumda ilk uyarım akımının sağlanması için seri direnĉ bağlanır. Diyotların görevleri ve bağlantı Şekilleri diğer devre ile tamamen aynı olup ek olarak alt sırada bulunan transistörlerde ,önceki devreden farklı olarak, üst sıradakiler ile aynı yani PNP yapıdadır.



4.ÖNERİ SİSTEMİN TANIMI ve ÖZELLİKLERİ

Önceki üç bölümde bir step motorun yapısı, sınıflandırılması ve uygulamanı verilmiştir.Bu bölümde ise bu çalışmanın temelini teşkil eden belirgin uygulama projesi ayrıntılarıyla anlatılmaktadır.Bu proje klasik bir otomasyon çalışması olarak ele alınıp incelenebilir fakat buna geçilmeden önceki sistemde kullanılan yöntemde tamamen manuel bir yapı arz etmediğinden bu çalışma bir tür güncelleme olarak değerlendirilebilir.

4.1.Sistemin Tanımı

Sözkonusu sürücü devrenin kullanıldığı proje tekstil endüstrisinde PVC, elyaf ve benzeri özellikli kumaşların üzerine düzlem baskı adı verilen yöntem kullanılarak desen konulması işini yapan makinalarda gerçekleştirilmektedir.

Adı geçen makinalarda kumaş makinanın bir ucundan gerdirilerek girer ve kumaşın üzerine prosés gereği gerekli müdahaleler yapılır.Bu aşamadan sonra desenin özellikleri gözönüne alınarak iki veya çoğu zaman daha çok kademede farklı renkteki desenler kumaşın üzerine aktarılır ve kurutma işlemine geçilir.

Projenin uygulama alanı çoğu zaman farklı renklerdeki desenlerin kumaş üzerine aktarıldığı kademelerdeki düzeneklerdedir.Bu düzeneklerde desenin genişliğine bağlı olarak , belli aralıkta, kumaş üzerine gerekli ısıya ve akışkanlığa sahip boyanın belirli bir hızda veya debide yayılması gerekmektedir.Bunun için boyayı taşıyan kabın kumaş üzerinde makina boyunca hareketini sağlayacak bir sistem gereksiniminden hareket sözkonusu çalışma yapılmıştır.

Sistemin iki temel parametresi mevcuttur.İlk parametre desen genişliğidir.Buda kabın hareket aralığını belirler.İkinci parametre ise üretim hızından hareketle belirlenen makina hızına paralel olarak hareket aralığındaki devinim hızıdır.İlk parametreler bir başka deyişle hareket aralığının sağ ve sol limitleri ve devinim hızı parametre olarak programlanabilir olması planlanmıştır.Kullanıcı sistem kontrol kartı üzerindeki dört tuşu

kullanarak öncelikle sol ardından sağ limiti milimetre cinsinden belittikten sonra ek olarak devinim hızında girer ve sisteme start verir.

Sistemin uygulama spektrumuna bakıldığında çok küçük bir sistem gibi görünmektedir fakat bu tür düzlem baskı prensibi ile yapılan desen baskı işlemlerinde boyanın uygun ısıda ve akışkanlıkta -incelikte- olması kadar gerek boya tasarrufu gerekse zamandan kazanmak için bu tür bir sistemin kullanılmasının büyük avantajları vardır. Başlangıçta ekonomik etkenlerden hareketle kullanıcı tarafından belirlenen bu gereksinimde projenin uygulamada tekniğe katacağı özellikler arasında sistem devinim hızının istenildiği gibi geniş bir aralıkta değiştirilebilir olması sayesinde boyanın incelik veya akışkanlık gibi parametrelerinin proses üzerindeki etkisi azaltılmaktadır. Daha etkili ve kesin olarak daha net ve kararlı bir çalışma gerçekleştirilmektedir.

Projeye denetim açısından bakıldığında sistem çok karmaşık hesaplar ve kontrol algoritmaları gerektirmediğinden Microchip firmasının ürettiği son kuşak mikrodenetleyici ailesinin en son üyelerinden geliştirilmiş *-embedded-* PIC16C74¹ kullanılmıştır. Sistemi meydana getiren donanım modüllerinde klasik bir otokontrol sisteminde olması gerekenlerden farklı değildir. Bu bağlamda temel olarak geniş bir aralıkta kararlı bir gerilim imkanı sunan bir güç kaynağı, bir sürücü modül ara birimi ve son olarak kontrol ve programlama işlemlerinin yapılacağı *-Man Machine Interface-* arabirim katı bulunmaktadır. Sistemde bulunan yukarıdaki elemanlar hem donanım açısından hemde mikrodenetleyicinin yazılımı bu bölümde tanımlanmaktadır. Yazılım ve geliştirilen algoritma açısından bakıldığında sistem daha öncede bahsedildiği gibi karmaşık hesaplar ve karar algoritmaları ihtiva etmediğinden dolayı hata teşhis ve tedbiri için hiç bir özellik geliştirilmemiş hatta düşünülmemiştir. Tabiki kullanılan modüllerin ve arabirim devrelerinin güvenilirliklerinin yüksek olması da olumlu bir etkidir. Son olarak bu sistemin bir proses boyunca hep aynı işlemi yapacağı ve aynı zamanda ortalama bir prosesin 48 ile 72 saat arasında sürdüğü göz önüne alınırsa cihazın kalıcı olarak programlanması düşünülmemiştir.

¹ PIC16C74 Programmable Interface Circuit Microchip 16CXX ailesinden

Operatörle sistemin iletişimini mümkün olduğu kadar kolaylaştırmak için programlama prosedürü çok kısa basit tutulmuştur. Bu nedenle sadece dört yapısal tuşla basit bir kullanıcı arabirim tasarlanmış ve programla prosedürü geliştirilmiştir. Sistem kurulduktan sonra çalışır durumda tutma açısından bakıldığında düzenin etkileneceği parametre sayısını mümkün olan en aza indirecek bir ergonomi tasarlanmaktadır. Fakat temel olarak sistemin etkileneceği en önemli parametre ortam ısı ve çoğu zaman nem olduğundan dikkatlice tasarlanmış bir koruyucu ile bu sorun aşılabacaktır. Bunun dışında motorun hareket edeceği ray üzerinde monte edildiği ve ölçülü hareketi için temel teşkil eden dişli rayın temizliği ve gerekli bakımı tasarımcıyı bağlayan bir konu değildir.

Kurulum maliyeti açısından projeye yaklaşıldığında sistemin salt maliyeti dışında son kullanıcıya olan kurulum ve işletme maliyetini arttırıcı bir parametre bulunmamaktadır. Bunun en önemli nedeni geliştirilen algoritmanın karmaşık olmayışı, modül ve diğer devrelerin kolay temin edilebilir oluşu ve projenin gerek tasarım gerekse prototip denemelerinde çok fazla zaman gerektirmemesi sayılabilir. Ek olarak sistemin önceden varolan kurulu düzeneği temel alınarak bir çok yenilik bunların üzerine tasarlandığından salt kurulum maliyetinde önemli bir azalma meydana gelmektedir. Kablolama ve diğer işçilik masraflarında sözkonusu dahi olmayacağından ve sistem tam olarak devreye alındıktan sonra elde edilecek verim artışı dikkate alındığında maliyet açısından hiç bir unsur önem kazanmamaktadır.

4.2. Sürücü Devresi

Sözkonusu sistemdeki step motoru sürmek için yine bu motoru üreten firmanın spesifik uygulamalarda bu veya aynı aileden olan step motorları sürmek için geliştirdiği PS5210 kodlu bir sürücü modül kullanılmıştır. Prensipteki şeması EK A 'da verilen [EK A, Şekil A.1.] sistemde mikro denetleyici katından gelen adım ve yön bilgileri 2531 eşdeğeri bir optocoupler üzerinden izole edilerek sürücü modüle ulaştırılmıştır. Bu bölümde PS5210 modülünün genel ve teknik özellikleri ile bu projedeki spesifik kullanımına ilişkin açıklamalar yapılmaktadır.

Pasific Scientific 5210 step motor sürücü ünitesi adım ve yön bilgilerini göz önüne alarak iki fazlı bipolar bir step motoru sürmek amacıyla kullanılan iç yapısı şekil 4.1.'de gösterilen bir elektronik birimdir. Bu ünitenin çıkış akımı 1-3 A arasında ayarlanırken en fazla 44 Vdc gerilim altında çalışabilmektedir. Standart özellikleri arasında;

Kısa devre koruması

Motor akımının yüksek frekansta kıyılarak kontrol edilmesi

Aşırı sıcaklık koruması

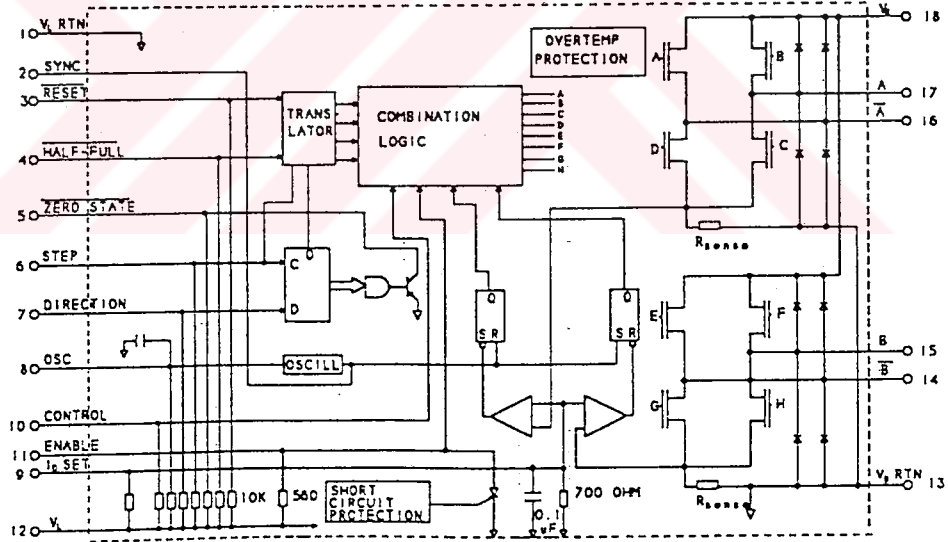
Tam/yarım adım çalışabilme özelliği

TTL/CMOS uyumlu girişler

Ayarlanabilir motor akımı

PCB ye monte edilebilme

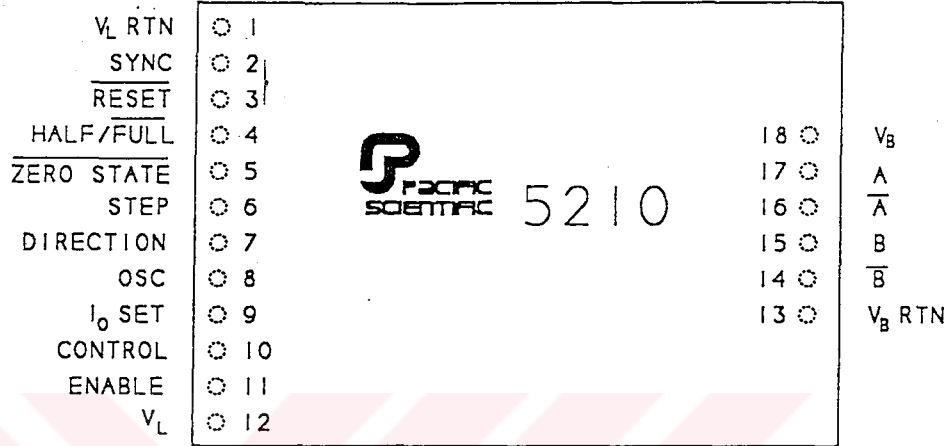
sayılabilir.



Şekil 4.1. PS 5210 Sürücü Devresinin İç Yapısı [9,1-2, Fig.1.]

PS5210 ünitesinin en önemli avantajlarından biriside çok fazla harici eleman gerektirmiyor oluşudur. Sürülecek step motor, bir mikrodenetleyici veya adım sağlayıcı devre dışında sadece şekil smd1'de görüldüğü üzere 4700 μ F 50V'luk bir kapasiteye ihtiyaç duymaktadır. Bu kapasitenin dayabileceği ani akım değeri 3 A eff. veya daha yüksek olmalıdır. PS5210 modülünün en önemli avantajlarından biriside PCB ye monte

edilebilmesidir. Buna göre pinlerin birbirine olan mesafelerini gösteren ve cihazın genel ölçülerini veren şekil aşağıda görülmektedir. Bunun dışında ünitenin ortam sıcaklığı fazla olan bir yerde çalışması sözkonusu olursa opsiyonel olarak soğutucu kullanılması mümkündür. PS5210 modülünün 18 pini bunların isimleri ve fonksiyonları aşağıdaki tabloda açıklanmıştır.



Şekil 4.2. PS 5210 üstten görünüşü [9,2-5, Fig 3.]

Tablo 4.1. PS5210 Pin Konfigürasyonu [9,2-6]

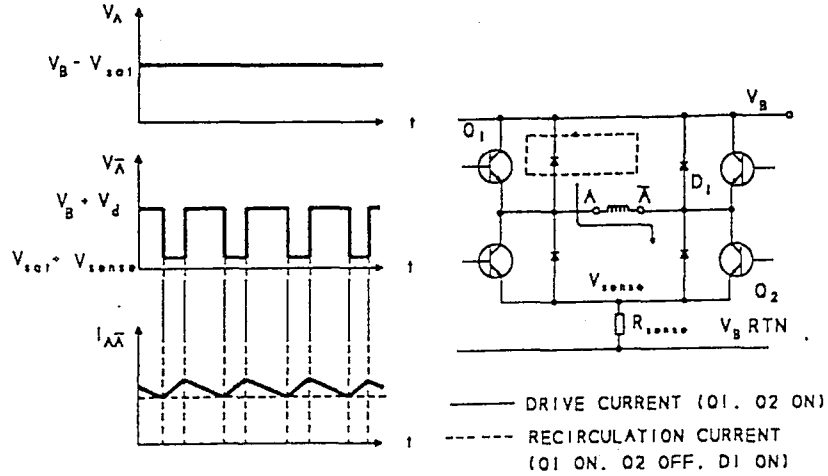
Pin	Tanım	Fonksiyon
1	V _L RTN	Lojik 5V besleme geriliminin dönüşü
2	SYNC	Modül kıyıcı osilatörünün çıkışı , çok eksenli uygulamalarda birden fazla motor sürücüsü birbiri ile senkron hale getirilmelidir.
3	RESET	Bu pin üniteye asenkron bir reset sinyali üretir. Bu pinin lojik 0 seviyesine çekilmesi ünitenin sıfır durumuna dönmesine sağlar.
4	HALF/ FULL	Bu pin tam veya yarım adım çalışma modunu belirler. Bu pinin lojik 1 seviyesinde olması veya herhangi bir yere bağlanmamış olması modülün yarım adım modunda çalışacağını gösterir. Tam adım modunda çalışma için bu pinin lojik 0 seviyesinde tutulması gerekir.
5	ZERO STATE	Bu çıkış ucu modülün sıfır konumunda bulunduğunu gösterir.
6	STEP	Bu pine gelecek bir sinyal motorun bir adımlık hareket yapmasını sağlar. Bir adımlık hareket bu sinyalin yükselen kenarı hissedilince gerçekleşir.
7	DIRECTIO N	Bu pin kullanılarak motorun döneceği yön belirlenir. Bu pinin lojik 1 seviyesinde olması veya herhangi bir yere bağlanmamış olması motorun saat yönünde döneceğini gösterir. Eğer saatin ters yönünde dönüş hareketi isteniyorsa bu pin lojik 0 seviyesine çekilmelidir.
8	OSC	Modülün kıyıcı frekansı nominal olarak 17 kHz 'e ayarlıdır. Bu kıyıcı frekansı bu pin ile V _L arasına bir direnç bağlanarak arttırılabilir. Aynı şekilde bu pin ile V _L RTN arasına bir kapasite bağlanarakta düşürülebilir.
9	I ₀ SET	Modül çıkış akımı her bir faz için 2A'e set edilmiştir. Faz akımı bu pin ile V _L RTN arasına bir direnç bağlanarak arttırılabilir. V _L ile bu pin arasına bir direnç bağlanırsa faz akımı düşecektir.

Pin	Tanım	Fonksiyon
10	CONTROL	Bu giriş ucu modülün anahtarlama modunu belirler.Bu pinin lojik 0 seviyesinde olması motoru hızlı düşüş moduna sokacaktır.Bu pinin lojik 1 seviyesinde olması ise motorun yavaş düşüş modunda çalışmasını sağlar.
11	ENABLE	Bu giriş ucu lojik 1 seviyesindeyken veya herhangi bir yere bağlanmamışken modül çalışmaya hazır durumdadır.Modülü devre dışı bırakmak için bu pinin lojik 0 seviyesine çekilmesi gerekir.
12	V_L	5V lojik seviye gerilimi bu pine uygulanır.
13	V_{BRTN}	Bara geriliminin dönüşü
14	B	Motor fazı
15	B	Motor fazı
16	A	Motor fazı
17	A	Motor fazı
18	V_B	Bara gerilimi

4.2.1.Motor akımının regüle edilmesi

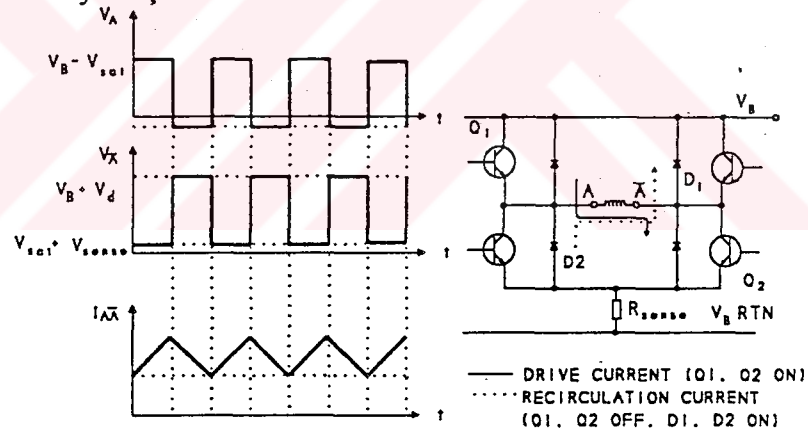
Motor faz akımları tam köprü montajındaki MOSFET'lerin anahtarlama yapıları.Darbe genişlik modülasyonu ile yapılan anahtarlama motor akımının daha etkili ve kesin bir şekilde kontrol edilmesini sağlar.Bu durumda oldukça iyi moment-hız karakteristikleri elde edilir.

Modül üzerindeki CONTROL girişi lojik 1 seviyesinde tutularak modülün içindeki yarı iletken elemanlara paralel bağlı ters akım diyotlarının kullanımı sağlanmış olur.Şekil 4.3.'de bu tür çalışmada faz akım ve geriliminin değişimi görülmektedir.Motor faz akımı anahtarlama somrasında artma eğilimine girer fakat bu akım I_0 değerine ulaşınca R_{sense} direnci tarafından algılanır ve daha fazla yükselmesine izin verilmez.Bu durumda Q2 transistörü iletime girer ve faz akımının Q1 ve D1 üzerinden dönmesini sağlar.Faz akımı bu durumda düşmeye başlar ve motorun bu fazındaki gerilim diyot üzerinde düşen gerilim ve Q1'in doyumunda üzerine aşabileceği gerilim miktarının toplamıdır.Bir sonraki darbeye ise Q2 tek başına iletime girer ve motor faz akımı tekrar yükselmeye başlar.



Şekil 4.3. Recirculating mode diagram[9,2-9]

CONTROL pininin lojik 0 seviyesinde tutulmasıyla motor faz akımının diyotlar üzerinden dolaşması engellenir. Bu modda çalışma diğeri ile hemen hemen aynıdır fakat akım R_{sense} direnci tarafından hissedildikten sonra Q1 ve Q2 transistörleri beraber iletimden çıkarılırlar. Bu durumda motor faz akımı D1 ve D2 üzerinden şekil 4.4.'de gösterildiği gibi akmaya başlar.



Şekil 4.4. Non Recirculating mode diagram[9,2-10]

Bir çok uygulamada geri dönüşüm modunda çalışma tercih edilir. Bu durumda hem motorun hemde sürücü devresinin güç kayıpları azaltılır. Bu modda çalışma mümkün olduğunca tercih edilmelidir. Bazı uygulamalar için ise geri dönüşüm olmayan modda çalışma gerekli olabilir. Bu çalışma modu daha yüksek motor ve sürücü devre kayıplarına neden olsa dahi, sürücü devresinin motordan geri gelen EMF 'e karşı daha duyarsız hale getirecektir. Bu durum bazı kararlılık problemlerini ortadan kaldırmaktadır. Fakat step motorların kalıcı olan problemlerinden dolayı orta hızlarda motorun kararlılık sorunlarını

ve motor akımının parametrik osilasyonundan kaynaklanabilecek problemleri ortadan kaldırmak için bu çalışma modu tercih edilebilir.

4.2.2.Çıkış akımının ayarlanması

Modülün çıkış akım değeri I_0 SET değerine direnç eklenerek değiştirilebilir. I_0 SET girişi bağlanmamışken motor akımı 2A ile sınırlandırılmıştır. I_0 SET (Pin9) ile V_L RTN (Pin1) arasına bir direnç bağlanırsa motor faz akımı 2A'ın altına çekilebilir. Belirlenmek istenen akım değerini sağlayacak direnç değerini aşağıda verilen ifade ile hesaplamak mümkündür.

$$R = 1 / (0.59 (V_L/I_0) - 1.47) \quad 4.1.$$

Yukarıdaki ifadede I_0 :İstenilen motor akımı
 V_L :Lojik besleme gerilimi
 R :Akımı belirleyen direnç, $k\Omega$
şeklinde tanımlanır.

Eğer I_0 SET (Pin9) ile V_L (Pin12) arasına bir direnç bağlanacak olursa motor faz akımı 2 A'in üzerine çıkarılabilir. Bunun için gerekli olan direnç değeri ise aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir. Bu ifadede I_0 :İstenilen akım değeri

V_L :Lojik besleme gerilimi
 R :Akımı belirleyen direnç

şekindedir.

$$R = [10(V_L/I_0)] - 1.7 / [2.44 - (V_L/I_0)] \quad 4.2.$$

Sözkonusu sistemde motor yaklaşık ortalama 2.5A akım altında çalıştırılmaktadır. Bu değerdeki akım motorun sistemi tahrik edebilecek momenti sağlayabildiği ideal akım değerlerinden birisidir. Ek olarak projede sürücü modül için

opsiyonel harici soğutucu kullanmak tercih edilmediğinden motorun bu akım seviyesinde ek soğutucuya ihtiyaç duymadan çalışabilmesi bir avantaj olarak ortaya çıkmaktadır.

Buna göre yukarıda verilen 4.2. bağıntısından hareketle 2.5 A akım için modülün 2-9 nolu pinleri arasına bağlanması gereken direnç değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$R = [10(V_L/I_0)]^{-1.7} / [2.44-(V_L/I_0)]$$

$$R = [10(5/2.5)]^{-1.7} / [2.44-(5/2.5)]$$

$$R \cong 15k\Omega$$

Hesaplanan bu direnç değerinden hareketle ,aslında 15k 'a yakın bir direnç çıkmaktadır fakat en yakın standart direnç değeri 15 k olduğundan buna karşılık gelen akım değeri ise yine 4.2. bağıntısından hareketle

$$I_0 = 2.48 \text{ A}$$

olarak bulunur.

Not:Mümkün olan minimum motor akımı 1 A maksimum ise 3A'dir.

4.2.3. Anahtarlama frekansının belirlenmesi

Anahtarlama veya kıyıcı frekansı nominal olarak 17 kHz'e ayarlanmıştır.Bu frekans değeri OSC girişine bir harici eleman bağlanarak değiştirilebilir.Anahtarlama frekansını azaltmak için OSC(Pin8) ile V_{LRTN} (Pin1) arasına bir kapasite bağlanmalıdır.Anahtarlama frekansını azaltmak için gerekli kapasite değeri aşağıdaki ifadeyle bulunabilir.

$$C = (80,515 / f_c) - 4700$$

4.3.

Bu ifadede f_c :İstenilen frekans değeri,kHz

C :Bu frekansı sağlayacak kapasite,pF

olarak görülmektedir.

4.3.bağıntısından hareketle anahtarlama frekansı hesaplanabilir.

$$C = (80,515 / f_c) - 4700$$

$$100nF = 100e3 = (80,515 / f_c) - 4700$$

$$f_c = 1.3 \text{ kHz}$$

Aynı şekilde anahtarlama frekansını arttırmak için OSC(Pin8) ve V_L(Pin12) arasına bir direnç bağlanmalıdır.Bu direncin değeri ise 4.4. bağıntısıyla bulunabilir.

$$R = 18 / [(f_c / 17) - 1]$$

4.4.

Bu ifadedede R aranan direncin değeri f_c istenilen çalışma frekansı olarak görülmektedir.R direnci için minimum değer 18 kΩ 'dur ve bu direnç değerinde anahtarlama frekansı iki katına (34kHz) çıkacaktır.

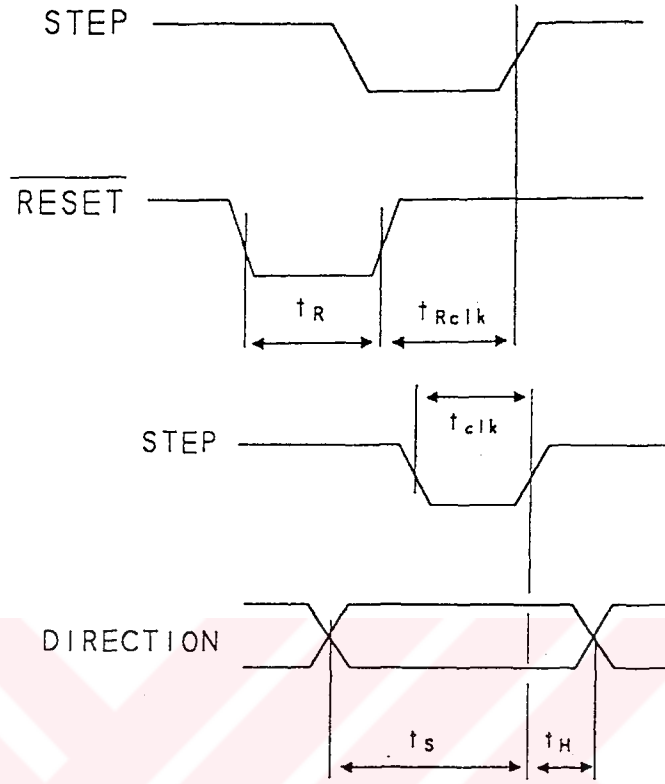
4.2.4.Teknik özellikler

PS5210 step motor sürücü ünitesinin genel teknik özellikleri şu şekilde sıralanabilir.

Tablo 4.2.PS5210 Teknik özellikleri[9,Ap.A.1.]

Giriş gücü	12-40Vdc, 5V lojik besleme
Faz başına çıkış akımı	2.5A max.Ayarlanabilir.
Çıkış gerilimi	12-40 Vdc
Giriş formatı	TTL/CMOS uyumlu
Max.Giriş darbe oranı	tam adım 20.000 darbe/sn. yarım adım 20.000 darbe/sn.
Minimum darbe genişliği	500 ns
PWM kıyıcı frekansı	17 kHz

PS5210 ünitesinin anahtarlama zamanlama diyagramları şekil 4.5.'de verilmiştir.



Şekil 4.5.PS5210 Zamanlama Diyagramları[9,Ap.A.3.]

Tablo 4.3.PS5210 Parametre tanımları ve tipik değerleri[9,Ap.A.2.]

Parametre	Tanım	Test	Min.	Typ.	Max.	Birim
V_B	Bara ger.	Pin 18	12		40	V
V_L	Lojik ger.	Pin12	4.75	5	5.25	V
I_L	Lojik akım	Pin12		60		mA
V_i	Giriş ger.	Pin 3,4,6,7, 10	2.0	2.0	V_L	V
I_i	Giriş akımı	Pin 3,4,6,7, 10			-0.6 10	mA μ A
V_{en}	Enable giriş g.	Pin 11	2.0	2.0	V_L	V
I_{en}	Enable giriş a.	Pin 11			-10 10	mA μ A
$R_{DS(ON)}$	ON direnci	14,15, 16,17		0.3	0.45	Ω
$V_{DS(ON)}$	Doyumger .1A	14,15, 16,17		0.3 0.9	0.45 1.35	V V
f_c	Kıyıcı frek.			17		kHz

Parametre	Tanım	Test	Min.	Typ.	Max.	Birim
V_D	Diyot ger.	Pin 14,15, 16,17			1	V
t_{clk}	Adım darbe genişliği	Pin 6	0.5			μs
t_s	set up süresi		1.0			μs
t_b	tutma süresi		1.0			μs
t_R	reset süresi		1.0			μs
t_{Rclk}	resetten dönüş süresi		1.0			μs

4.2.5. Termal Çalışma Şartları

Pasific Scientific firmasının 5210 model step motor sürücüsü 2A akım ,35 Vdc bara gerilimi ve doğal şartlar altında ve ek soğutucu olmaması durumunda çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.Eğer bu parametrelerden herhangi biri öngörülen değerlerden yüksek olursa harici bir soğutucu kullanılması zorunlu olabilir.

Bu sürücü ünitesinin güç kaybı çıkış akımının, DC bara geriliminin, Duty Cycle 'ın, komütasyon modunun ve PWM modunun bir fonksiyonudur.Buna göre aşağıdaki parametreler ve tanımları dikkate alınarak güç kaybı ifade edilebilir.

V_B :Bara gerilimi

V_L :Lojik besleme gerilimi

I_o :Çıkış akımı

T_A :Sıcaklık

R_M :Motor direnci

Kom.Modu:Tam, yarım adım veya dalga sürümü

PWM Modu:Çevrimli veya çevrimsiz mod

Modülün güç kayıpları iki bölümde incelenebilir.

- 1.Durgun durumdaki ve
- 2.Çalışma durumdaki güç kayıpları

a.Durgun durumdaki güç kayıpları

Bu durumdaki güç kayıpları çıkış akımından tamamen bağımsızdır.Bu kayıplar lojik kontrol devresinin kayıpları ve sızıntı akımlardan kaynaklanan kayıpların toplamıdır.Aşağıdaki ifade modülün durgun durumdaki güç kayıplarını hesaplamak için verilebilir.

$$P_Q = V_L I_L + V_B I_B \quad (4.5.)$$

I_L ve I_B akımları tablo 4.3.'de verildiği gibidir.

b.Çalışma durumdaki güç kayıpları

Çalışma durumdaki güç kayıpları modülün çalıştığı PWM frekansına ve bu işaretin duty cycle'ına bağlıdır.Aşağıdaki ifadeler bu kayıpları hesaplamak için kullanılabilir.

Tablo 4.4.Çalışma durumdaki güç kayıpları[9,Ap.B.3.]

Çalışma Modu	Formül
Çevrimli Mod	$D.C. = (R_M I_o) / V_B$
Çevrimsiz Mod	$D.C. = 0.5((R_M I_o) / V_B) + 1$

c.PWM çalışma modunda güç kayıpları

Bu çalışma durumunda oluşacak güç kayıpları aynı zamanda seçilen PWM modunada bağlıdır.Bu ifadeler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.5.PWM çalışma durumunkai güç kayıpları[9,Ap.B.3.]

Çalışma Modu	Formül
Geri çevrimli	$P_o = 1.1(2(D.C.)R_{DS} I_o^2 + V_{D} I_o)(1-D.C.)) + 0.3(D.C.) I_o^2$
Geri çevrimsiz	$P_o = 1.1(2(D.C.)R_{DS} I_o^2 + 2V_{D} I_o)(1-D.C.)) + 0.3 I_o^2$

d.Komütasyon moduna göre güç kayıplarının belirlenmesi

Modülün toplam güç kaybı seçilen komütasyon modunada bağlıdır.Aşağıdaki tabloda bu çalışma durumunkai güç kayıp ifadeleri verilmiştir.

Tablo 4.6.Komütasyon moduna göre güç kayıpları[9,Ap.B.4.]

Çalışma Modu	Formül
Tam veya Yarım Adım	$P_M = P_Q + 2P_o$
Dalge Sürümü	$P_M = P_Q + P_o$

Yukarıda verilen ifadelere dayanarak öneri sürücü devresinin çalışma şartları ve diğer parametrelerine göre ortalama ve yaklaşık güç kayıpları aşağıda hesaplanmıştır.

Parametreler; $V_B=24V$

$I_L=60 \text{ mA}$

$V_L=5V$

$I_B=15 \text{ mA}$

$I_o=2 \text{ A}$

$R_{DS}=0.45\Omega$

$R_M=4\Omega$

$V_D=1 \text{ V}$

$T_A=50 \text{ }^\circ\text{C}$

PWM mod geri çevrimli;

$$P_Q = V_L I_L + V_B I_B = 5 * 0.6 + 24 * 0.015 = 0.83 \text{ W}$$

$$D.C. = (R_M I_o) / V_B = 4 * 2 / 24 = 0.29$$

$$P_o = 1.1(2(D.C.)R_{DS}I_o^2 + V_D I_o(1-D.C.)) + 0.3(D.C.)I_o^2 = 6.48 \text{ W}$$

Tam veya yarım adım çalışma durumuna göre;

$$P_M = P_Q + 2P_o = 13.79 \text{ W}$$

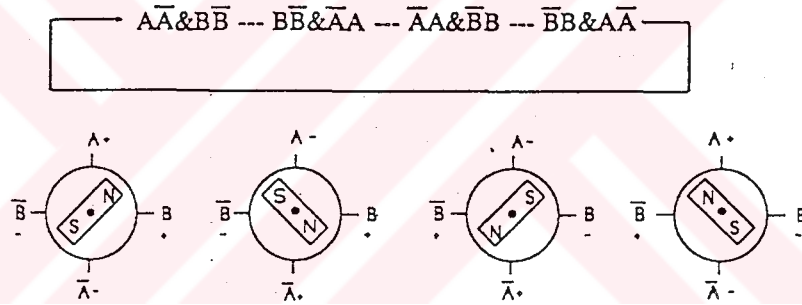
$$T_A = T_C - P_M R_{CAS} = 85 - 13.79 * 1.88 = 59.1 \text{ }^\circ\text{C}$$

şeklinde bulunur.

4.2.6. Tam veya Yarım adım çalışma durumu

a. Tam adım çalışma durumu;

Eğer step motorun bu tür bir hareket yapması isteniyorsa şekil 4.6.'da görüldüğü üzere motorun her iki fazıda bütün çevrimlerde enerjilendirilmektedir. Yine şekil 4.6.'da saat yönünde dönmekte olan bir motor için rotorun açısal hareketleri çizimle tariflenmiştir. Yarım adım çalışma durumunda motor yapısı itibariyle yapabileceği nominal en küçük açının yarısı kadar bir adım açısıyla hareket eder. Veya bir anahtarlama çevrimi tamamlandığında motor nominal adım açısının yarısı kadarlık bir hareket gerçekleştirir. Bir step motorun bu tür bir özelliğe sahip olması tabiki yapısından kaynaklanan ve motorun karakteristiklerinden sayılacağı gibi, sözkonusu motorun kontrolünü yapan devre ve özellikle sürücü devreni motorun, bazı uygulamalarda, bu avantajı dikkate alınarak planlanması gerekebilir.



Şekil 4.6. Tam adım çalışma durumunda bir step motorun adım hareketi [9, Ap.C.3.]

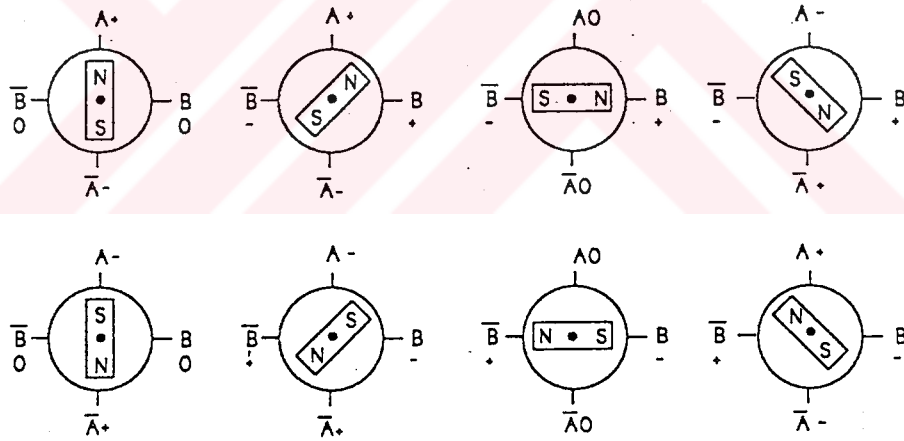
Yukarıda tanıtımı yapılan türde bir sürücü devre ile yönlendirilen bir step motoru bu tür modda çalıştırmak oldukça kolaydır. Tablo 4.1.'de verilen ve PS5210 modülünün pin konfigürasyonunu açıklayan tablodanda takip edileceği üzere modülün 4 nolu pini (Half/Full) lojik 1 veya 0 seviyesinde tutularak tam veya yarım adım çalışma durumu tariflenebilir. Sözkonusu pin lojik 0 seviyesinde tutulursa motor yarım adım tam tersi durumda ise tam adım yapacak şekilde çalışır.

Bu özellik genellikle hassas pozisyon denetimi yapılan veya ölçüm tartım türü işlerde step motorun net ve kararlı hareket edebilmesi için kullanılır. Bu tür uygulamalarda proses gereği step motorun hedeflenen bir konuma yaklaşıldığında veya bir geri besleme

doğrultusunda, hızında değişiklik yapılır.Hedeflenen konuma yaklaştıkça step motorun adım açısı düşürülerek motorun daha hassas pozisyon tayin etmesi veya hedeflene bir değere ulaşılrkende aynı şekilde hatasız bir ölçüm gerçekleştirmek için gerekli olabilir.Tabiki bu durumda, sürücü devresi tasarlanıyorsa bu ayrıntıya dikkat edilmeli veya değişik ürünler içinden seçim yapılacaksa bu durum bir avantaj ve şart olarak aranmalıdır.

b.Yarım adım çalışma durumu;

Bu durumda çalışma durumunda ise motor şekil 4.7.'de gösterildiği gibi önce bir fazı daha sonra iki fazı sırayla enerjilendirilerek sürülür.Bu durumda adım açısı yarıya bölünür.Fakat motorun üretmiş olduğu moment düzensizleşir.İki fazın enerjilendirildiği durumda motorun üretebileceği maksimum moment tek faz enerjilendirildiği sırada üretebileceğinden 1.4 kat daha fazladır.Yine şekil 4.7.'de rotorun bu tür çalışma durumunda anahtarlama sırasına karşılık düşen hareketleri görülmektedir.



Şekil 4.7.Yarım adım çalışma durumunda anahtarlama sırası ve rotorun hareketi[9,Ap.C.3.]

Bu tür çalışma modülün 4 nolu pini lojik 1 seviyesine çekildiğinde veya boşa bırakıldığında sağlanabilir.Yarım adım çalışma durumunda adım açısı tam adım çalışma durumundakinin fiziksel olarak yarısıdır.

4.2.7.Sargıların bağlantıları

a.Seri bağlantı;

Bir faza ait iki yarım sargı seri bağlanırsa faz akımı her iki faz üzerinden devresini tamamlar.Prensip olarak eğer motorun bu iki yarım sargısida tamamen aynı karakteristiklere sahipse bu durum motorun verebileceği momentte bir artışa sebep olur.Pratik olarak bu artış miktarı kullanılan magnetik malzemenin lineer olmamasından dolayı %100 değildir.

Motor faz sargılarından geçecek akım sargılarda ne kadar fazla dolaşırsa dolanma sayısının karesiyle orantılı olarak ekstra bir moment üretilebilir demektir.Fakat bu moment hız arttıkça normalden daha hızlı düşecektir.Bu durumda sargıları seri bağlamanın düşük hızlarda ve yüksek moment gerektiren uygulamalarda tercih edildiği söylemek yanlış olmaz.

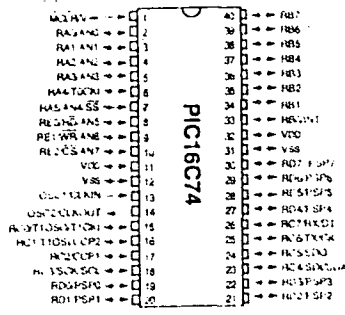
b.Paralel bağlantı;

Bir faza ait iki yarım sargı paralel bağlanırsa faz akımı her iki faz üzerinden devresini tamamlayacağından, yarıya bölünmüş olur.Bu durumda yukarıda bahsedilen dönüş sayısı değişmezken aynı zamanda sargı endüktanslarıda sabit kalır.Belli bir sürme akımında her bir fazın iki yerine tek bir faz sargısı içirme durumundaki ile aynı olacaktır.

Bu tür bağlantı şeklinin en önemli avantajı motorun kayıplarının %40 oranında azaltılabilmesi ve aynı zamanda momentte belli bir oranda artış kaydedilebilmesidir.

4.3.Kontrol ve μ D Katı

Projenin tanıtımı bölümündede deyinildiği üzere sistemin kontrolunu sağlamak amacıyla Microchip firmasının üretmiş olduğu bazı genel özellikleri aşağıda verilen programlanabilir arayüzey elemanlarından PIC16C74 kullanılmaktadır.Pin konfigürasyonunu aşağıda şekil 4.8.'de verilmiştir.



Şekil 4.8.PIC16C74 Pin konfigürasyonu[5,2-339]

Bu mikrodenetleyici sadece 35 komuttan ibaret olan komut kümesi ile RISC¹ yapısında bir denetleyicidir.RISC temelli işlemcilerin ortak ve temel özelliği olarak az sayıda komut bulunduğundan bu tür işlemciler veya denetleyiciler kullanılarak gerçekleştirilen kontrollarda algoritmanın esnekliği ve orijinalligi büyük önem taşımaktadır.En önemli ve klasik olarak çok kısa cycle süresi ile ön plana çıkan bir denetleyici PIC16C74.Çevrim süresi 20 MHz'lik bir kristal ile 200 ns olmaktadır.PIC16C74 mikrodenetleyicisinin bazı temel özellikleri aşağıda verilmiştir.

CPU özellikleri

4K Program belleği EPROM

192 Genel amaçlı saklayıcılar (Her biri 8 bit ve SRAM)

Harici ve dahili interruptları

45 özel amaçlı donanım saklayıcıları

8 katmanlı donanım yapısı

Direkt, endirekt ve dolaylı adresleme imkanı

Genel özellikler

33 I/O pini programlanabilir

3 adet zamanlayıcı ve bunların değişik modlarda kullanım imkanı

8 kanallı bir ADC 16µs çevrim süresi

¹ RISC Reduced Instruction Set Computer , bir tür bilgisayar ve tümleşik entegre tasarım ve üretim biçimi CISC yapının tersine komut kümelerinde çok az sayıda komut bulundurmaları en önemli avantajlardır.

Paralel Slave Port özellikleri

Seri haberleşme arabirimi

Özel mikrodenetleyici üstünlükleri

Power On Reset enerjilenmiş haldeyken dahili interrupt vasıtasıyla reset özelliği

Çalışmaya başladığı koşmaya başlayan timer sayesinde çalışma süresini belirleme imkanı

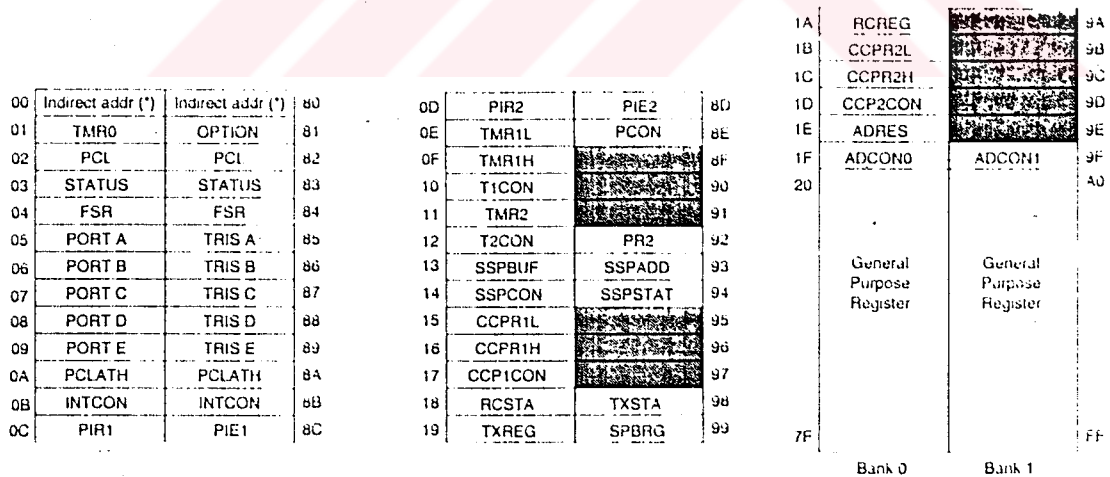
WDT¹ imkanı ile denetleyicinin dağıtmasını engelleme imkanı

EPROM fuse ile kodun korunması

Uyku modu

CMOS teknolojisinin bütün üstünlükleri

PIC16C74 mikrodenetleyicisi bellek organizasyonu açısından şekil 4.9.'da verilen yapıya sahiptir. Denetleyicinin 13 bitlik PC²'i 8K'lık bir bellek bölgesini adresleyecek genişliktedir. Bu bellek bölgesinin sadece yarısı 4K'lık kısmı fiziksel olarak geliştirilmiştir. FFFh'dan daha büyük bir adrese ulaşılmak istendiğinde PC, kodun başladığı adresten ileri doğru sayarak sözkonusu adrese varır. Denetleyicinin reset vektörü 0000h ve interrupt vektörü ise 0004h adreslerindedir.



Şekil 4.9. PIC16C74 µDenetleyicisinin Bellek Organizasyonu [5,2-407, Fig.4.1.]

¹ WDT Watch Dog Timer, mikroişlemci veya denetleyicinin gerek dış etkilerden gerekse algoritma nedeniyle kod bulunmayan RAM bölgelerine dallanıp orada kilitlenmesini engellemek amacıyla geliştirilmiş bir algoritmanın zamanlama elemanı

² PC Program Counter, İşlemcinin herhangi bir kodu koştururken bellekte bulunduğu adresin saklandığı özel saklayıcı

Aşağıda verilen yazılımın daha iyi açıklanıp anlaşılabilmesi açısından denetleyicinin komut kümesi şekil 4.10. da verilmiştir.

Mnemonic, Operands	Description	Cycles	14-Bit Opcode		Status Affected	Notes
			msb	lsb		
BYTE-ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS						
ADDWF	f, d Add W and f	1	00	0111 dfff ffff	C, DC, Z	1, 2
ANDWF	f, d AND W and f	1	00	0101 dfff ffff	Z	1, 2
CLRF	f Clear f	1	00	0001 1fff ffff	Z	2
CLRWF	- Clear W	1	00	0001 0xxx xxxx	Z	
COMF	f, d Complement f	1	00	1001 dfff ffff	Z	1, 2
DECWF	f, d Decrement f	1	00	0011 dfff ffff	Z	1, 2
DECFSZ	f, d Decrement f, Skip if 0	1 (2)	00	1011 dfff ffff		1, 2, 3
INCF	f, d Increment f	1	00	1010 dfff ffff	Z	1, 2
INCFSZ	f, d Increment f, Skip if 0	1 (2)	00	1111 dfff ffff		1, 2, 3
IORWF	f, d Inclusive OR W and f	1	00	0100 dfff ffff	Z	1, 2
MOVF	f, d Move f	1	00	1000 dfff ffff	Z	1, 2
MOVWF	f Move W to f	1	00	0000 1fff ffff		
NOP	- No Operation	1	00	0000 0xxx 0000		
RLF	f, d Rotate left f through carry	1	00	1101 dfff ffff	C	1, 2
RRF	f, d Rotate right f through carry	1	00	1100 dfff ffff	C	1, 2
SUBWF	f, d Subtract W from f	1	00	0010 dfff ffff	C, DC, Z	1, 2
SWAPF	f, d Swap halves f	1	00	1110 dfff ffff		1, 2
XORWF	f, d Exclusive OR W and f	1	00	0110 dfff ffff	Z	1, 2
BIT-ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS						
BCF	f, b Bit Clear f	1	01	00bb bfff ffff		1, 2
BSF	f, b Bit Set f	1	01	01bb bfff ffff		1, 2
BTFSZ	f, b Bit Test f, Skip if Clear	1 (2)	01	10bb bfff ffff		3
BTFSZ	f, b Bit Test f, Skip if Set	1 (2)	01	11bb bfff ffff		3
LITERAL AND CONTROL OPERATIONS						
ADDLW	k Add literal to W	1	11	111x kkkk kkkk	C, DC, Z	
ANDLW	k AND literal to W	1	11	1001 kkkk kkkk	Z	
CALL	k Call subroutine	2	10	0kkk kkkk kkkk		
CLRWDT	- Clear watchdog timer	1	00	0000 0110 0100	TO, PD	
GOTO	k Go to address	2	10	1kkk kkkk kkkk		
IORLW	k Inclusive OR literal to W	1	11	1000 kkkk kkkk	Z	
MOVLW	k Move literal to W	1	11	00xx kkkk kkkk		
RETFIE	- Return from interrupt	2	00	0000 0000 1001		
RETLW	k Return with literal in W	2	11	01xx kkkk kkkk		
RETURN	- Return from subroutine	2	00	0000 0000 1000		
SLEEP	- Go into standby mode	1	00	0000 0110 0011	TO, PD	
SUBLW	k Subtract W from literal	1	11	110x kkkk kkkk	C, DC, Z	
XORLW	k Excl. OR literal to W	1	11	1010 kkkk kkkk	Z	

Şekil 4.10.PIC16C74 Komut Kümesi[5,2-495,Fig.15.2.]

Şekil 4.10.'da verilen tablo ile ilgili bazı açıklamalar yapmak gerekebilir.Eğer bir pin input olarak tanımlanmış ve harici bir kaynak tarafından sıfıra çekilmişse herhangi bir I/O saklayıcısı pin üzerinden kendisinin fonksiyonu olarak tanımlanmışsa kendi o anki değeri göz önüne alınarak işlemler yapılır.Eğer Program counter 'a bir atama yapıldıysa veya herhangi bir koşul sağlandıysa bu PC 'yi ilgilendiren komut iki çevrim sürer ikinci çevrim NOP şeklindedir.

PIC16C74 mikrodenetleyicisi ile ilgili olarak daha ayrıntılı bilgi [5] nolu kaynaktan edinilebilir.

4.3.1.Sistemin Yapısı

Kontrol katında kullanıcı ile iletişimi sağlamak amacıyla 4 digitten oluşan 7-segment ortak anodlu display 'ler kullanılmıştır.Bunların sürücüleri 74LS47 ler ve 8 bit üzerinden 4 digiti ikişer ikişer ayrı çıkarabilmek için düşünülen algoritma gereğinde 2 adet 8 bitlik latch (74HC573) kullanılmaktadır.Mikroişlemci denetimli sistemlerde karşılaşılan ve mutlak surette çözüm bulunması gereken sorunların başında power off durumunda işlemciyi besleyen gerilimin aniden (çok kısa sürede) sıfıra düşmesi'dir.Bu durumda ortalama olarak bu süre 50-500ms arasındadır.Bu nedenle power off başladıktan sonra hemde oldukça uzun bir süre daha işlemci koşturmayı çalışacak ve kodun gereklerini yerine getirecektir.Bu durum hem sistem dinamiği hemde işlemcinin varsa kontrolü altında bulundurduğu RAM, EPROM gibi harici elemanlar açısından oldukça risklidir.Söz konusu durumun giderilebilmesi için işlemci veya denetleyicinin reset girişi power off durumunda hemen sıfıra çekilir.PIC16C74 içinde bu amaçla 1. Nolu pin kullanılmaktadır.Bu pin MCLR/RESET (Master Clear/Reset) olarak tariflenmiştir.Kontrol katı üzerinde bulunan 7705 entegresi ve harici elemanları denetleyicinin 1.nolu pinini power off durumunda sıfıra çekmekle görevlidir.Böylece yukarıda bahsedilen problem halledilmiş olur.7705 ile harici elemanlarının ve bunun çıkışı ile PIC 'in irtibatlanması EK A. 'da verilen şemalarda belirtilmiştir.

Söz konusu çalışmanın yazılımı (asm kodu) EK C. 'de verilmiştir.Bu kod QB editöründe yazılmış ve en son Mart '97 'de derlenmiştir.

Kodun açıklamasına gelince, en yukarıda yani reset vektörüne atama yapılmadan önce kullanılan değişkenler tanımlanmaktadır.Öncelik denetleyici tarafından tanımlı ve kullanılan değişkenlerdedir.Daha sonra kullanıcı tarafından tanımlanan değişkenler yer alır.Reset vektörüne ve interrupt vektörünede atama yapıldıktan sonra program başlar.İlk bölüm başlangıç atamalarını ve tanımlamalarını kapsar.Bu bölümde portların

kullanımı varsa timer, interrupt ADC kullanımı burada beyan edilir ve koşullandırılır. Bundan sonra tamamen kullanıcı tarafından geliştirilen algoritmanın kodlanması başlar. PIC16C74 için kod yazılırken belirgin bir yazım kuralı yoktur. Fakat rutin isimler ana kod satırlarından daha geride olmalıdır ve kod END kelimesi ile sonlandırılmalıdır. Eğer geri kalan yazılımda gerekli syntax kurallarına uyulduysa kod simüle edilmeye veya çalıştırılmaya hazırdır. Bundan sonra ortaya çıkabilecek (çoğunlukla algoritmadan kaynaklanan) mantık hatalarının giderilmesine *debugging* denir ve bu işlemden gerçekleştirildikten sonra kod ve tasarlanan devre kullanıma hazırdır.

4.3.2. Programın Ergonomisi

Power On durumunda göstergede $\langle \text{C000} \rangle$ görülür. Aşağı yukarı tuşları ile sol limit değeri girilir. C işareti sol limiti simgeler. Giriş 'e basıldıktan sonra Prg tuşu ile sağ limit veya hız işareti seçilir. D işareti sağ limiti simgeler. Sağ limit değeride girildikten sonra hız için bir ilk atama yapılır. U işareti hızı simgeler. Girilecek parametreler ve açıklamaları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo.4.7. Parametreler ve açıklamaları

Simge	Dig	Açıklama
C	4	Sol limit Parametresi 4 hane 16 dan küçük olamaz
D	4	Sağ limit parametresi 4 hane 2000 den büyük olamaz
U	3	Hız parametresi 3 hane 30 dan küçük 255 den büyük olamaz

Yukarıda verilen tüm değerler sağ ve sol limitler için milimetre cinsindedir. Hız parametresinin ise birimi yoktur. Sırasıyla sol, sağ limitler ile hız parametresi girildikten sonra enter tuşuna bir kez daha basılırsa sistem sol başa doğru hareketine başlar. Sol başa ulaşıncaya ki burada emniyet amaçlı bir switch bulunmaktadır pole pozisyonu için tam ters istikamette sol limite doğru bir hareket başlar. Sol limite erişildikten sonra ise sistem tekrar durur. Bu durumda tekrar kullanıcı tarafından enter tuşuna basılması beklenir. Enter tuşuna basıldıktan sonra sistem çalışmaya başlar ve bir daha enter tuşuna basılıncaya kadar verilen sınır değerler arasında gidip gelme işini yapmaya devam eder. Sürekli

çalışma durumunda aşağı ve yukarı ok tuşlarına basılarak hareket hızı ayarlanabilir. Her bir dönüş gerçekleştikten sonra yeni hız değeri göstergede görünecektir.

4.4. Sonuçlar

Sistemlerin denetimi bilimler arası bir konudur ve tüm mühendislik alanlarını ilgilendirir. Bu nedenle denetim sistemleri farklı üretimler yapan değişik türde işlemlerde çalışan veya çalışacak olan makina, elektrik, elektronik, bilgisayar v.b. bir çok mühendisi yakından ilgilendirmektedir. Denetim organları donanımlarında kullanılan teknikler ve bunların tasarımı daha çok doğrudan doğruya elektrik, elektronik ve makina mühendislerini bağlar. Çok yönlü otomatik denetim konusu en ümit verici alanlardan birisi olarak sayılmakta ve sınırsız büyüyen bir potansiyel olarak karşımıza çıkmaktadır. Denetim döğüsü içinde bilgisayarların kullanımı bu konuyu daha da geniş kapsamlı hale getirmiştir.

Denetim sistemleri kısaca enerji malzeme ve diğer kaynakların akışını düzenleyen aygıtlar olarak tariflenirler. Bunların düzenlenmesi, karmaşıklığı ve görünüşü kullanım amaçları ve işlevlerine göre değişir. Denetim sistemleri denetlenen niceliklerin değerlerini sabit tutar ve bu değerlerin önceden belirlenmiş biçimde akışını sağlar. Sistemi oluşturan işlemler elektrikli veya mekanik kumanda donanımlarıyla akışkın basıncıyla yada bu benzeri araçların bileşik etkisiyle gerçekleştirilir. Denetim devresinin herhangi bir bölgesinde bilgisayarlardan yararlanıldığında tüm denetim organları donanımını elektrikle çalıştırmak daha uygun olmakta ve karma sistemlerde aygın olarak kullanılmaktadır.

Bir otomatik kontrol sisteminin yapısı ve özelliklerine yukarıdaki paragrafta deyindikten sonra günümüze ulaşana kadar otomasyon amaçlı uygulamalarda kullanılan veya en çok tercih edilen metodlara deyinmek uygun olacaktır. Bu bağlamda otomatik kontrol veya kumanda çalışmalarının milattan önceki devirlere kadar dayandığı bilinmektedir. Bu tarihlerden hareketle 19. y.y.'a gelindiğinde kullanılan yöntemler ve bunları ortaya çıkaran yaklaşımların çok değiştiği gözlenmektedir. Bir denetim sistemine

ilişkin ilk çözümler 19. yüzyılda *Watt* regülatörünün bir diferansiyel denklem modelini geliştiren iskoçyalı fizikçi *James Clerk Maxwell* gerçekleştirdi. Bu çalışmanın ardından birçok başka bilimadamlarında katkısıyla denetim kuramı geliştirildi. İlerleyen dönemlerde uzun mesafe telefon kuvvetlendiricilerindeki elektriksel geri beslemeli düzeneklerde büyük gelişme meydana geldi. Bir başka gelişmede az güçlerle büyük güçlerin denetlenmesini sağlayan elektroservo mekanizmaların gelişmesiyle ortaya çıktı. 1940 ve 50'lerde klasik denetim kuramının özünü teşkil eden frekans cevabı ve kök- yer eğrisi gibi yöntemler gelişmelerini tamamlamış olup doğrusal geri beslemeli sistemlerin tasarımında ve kararlılık çözümlerinde yaygın olarak kullanılmışlardır. 1950'lerin sonlarına doğru denetim sistemlerinin tasarımında sayısal bilgisayarlar kullanılmaya ve kendileride bir denetim organı olarak uygulanmaya başlandı. Bu sistemlerde geri beslemenin belirli bir sürecin birden çok noktasından başlatılabileceği ve gerekli ayarların bir kaç noktadan yapılabileceği düşüncesi ortaya atıldı. Modern denetim kuramı durum-uzayı yaklaşımına dayanır ve 1960'larda yapılan tüm kuramsal gelişmelerde bu yaklaşım kullanılmıştır. 1970'lerin başında durum-uzayı yaklaşımına dayanan modern denetim kuramının frekans cevabı ve Laplace dönüşümüne dayanan klasik denetim kuramının tamamen yerini alamayacağı gerçeğine varıldı. Bu açıdan bugün çağdaş bir denetim mühendisi her iki yaklaşımın bilgilerine sahip olmak zorundadır. Son yıllarda denetim sistemlerinde kullanılan donanım açısından ilk önce büyük ölçekli makineler daha sonra minibilgisayarlar ve nihayet mikroişlemciler olarak sayısal bilgisayarlardan çok yararlandığı gözlenmektedir. 1980 ve 90 sonrası ise hızla gelişen ve hemen hemen her alanda her şart altında her türlü büyüklüğü ölçmek üzere geliştirilen özel ve genel amaçlı ölçüm ve denetim cihazlarının gelişimi ve bunların çok ekonomik olarak elde edilebilmesi tüm klasik denetim yöntemlerini veya metodlarını temelde gerekli kılarken uyulması gereken kuralları azaltması önemlidir.

Günümüzde bir denetim mühendisi tasarımı gerçekleştirecek sistemin herhangi bir büyüklüğünü ölçmek için ekstra çaba sarfetmek veya sistem geliştirmek zorunda değildir. Teknolojik gelişmeler nedeniyle bugün her türlü büyüklüğü istenilen standart birimler cinsinden ölçen cihazların varoluşu ve bunların tasarlanan sistemler ile kolay

adapte edilebilmesi tasarım mühendisi için avantajlardır.Fakat bu noktada önemli olan güncel olmak teknolojiyi yakından takip etmek ve literatür taramaktır.Gelecekte çok daha spesifik ve karmaşık sistemlerin kontrolünü gerektiren uygulamalarda kullanılması kaçınılmaz olan mikroişlemci kavramı aşılması gereken bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sistem tasarımı ve uygulamasını içeren her türlü projede, sistemin kullanıcı veya kullanıcılara tanıtımı ve uygulama biçimleri ,projenin tasarımında aktif görev almış, mühendislerin sorumluluğu olarak karşımıza çıkmaktadır.Bu bakımdan projenin tasarımı aşamasında düşünülen her kolaylığı, kısa yolu, avantajları anlatan, sistemi tarifleyen, özelliklerini açıklayan brifing hazırlanması ve sunulması oldukça önemlidir.

Herhangi genel amaçlı bir otomasyon projesinde, mühendislik açısından yapılamayacak uygulama yoktur.Fakat bu durum proje mühendislerinin istedikleri gibi hareket edebilecekleri anlamına gelmez.Genel anlamda müşterinin istekleri doğrultusunda alınmış kararları dahi uygularken yine müşterinin kullanmakta olduğu işgücünün kapasitesi ve işletmenin ekonomi politikası ilgisiz gibi görülmekte oldukça önemlidir.Yukarıda açıklandığı üzere bu tezin konusunu oluşturan sözkonusu çalışmanın tasarım ve uygulamadan prototip denemelerine kadar hemen her konuda yukarıdaki kısıtlayıcı etkilere rastlanmıştır.Bu bağlamda projenin çok alternatifli olması - rutin ve son derece spesifik amaçlı oluşu nedeniyle- düşünülemez.Fakat kullanılmakta olan yüzeysel elemanlar ve kullanıcı arabirim devresinin tasarımı ve ergonomisi konusunda kullanıcı yetenekleri ve bilgisi gözönüne alınarak alternatifler sunulabilir.Ek olarak yüzeysel arabirim devresi için geliştirilmiş yazılımda kullanılan algoritmanında farklı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmesi mümkündür.Öte yandan sistemin tahriki için kullanımı uygun görülen step motorun yerini alabilecek başka türlü bir motor (lineer motor) düşünülmesi muhtemeldir.Bu durumda sistemin tasarım ilke ve algoritmaları tamamen değişecektir.

Yukarıda belirtilen tüm yöntem ve düşünceler ile kullanılması muhtemel diğer alternatifler daha projenin ilk gündeme alındığı tarihten itibaren düşünülmüş fakat sistemin hem maliyet hemde kullanılabilirlik ve verimlilik açısından, geliştirilmiş prototipinin en uygun versiyon olduğu sonucuna varılmıştır.



Kaynaklar

Muhammad H. RASHID ,1993,"POWER ELECTRONICS Circuits,Devices and Applications",Prentice Hall Int.Ed.:p.p.477,493

B.K.BOSE ,1986,"POWER ELECTRONICS AND AC DRIVES",Prentice Hall,Englewood Cliffs:p.p.361,396

Takashi KENJO,1983,"STEPPING MOTORS AND THEIR MICROPROCESSOR CONTROL",Cambridge Pub.:p.p.1,87

Dennis O'KELLY ,1991,"PERFORMANCE AND CONTROL OF ELECTRIC MACHINES",McGRAW-HILL Book,:p.p.285,309

MicrochipCorp.,1994,"EMBEDED APPLICATIONS HANDBOOK",Microchip,p.p: 5.120,5.130

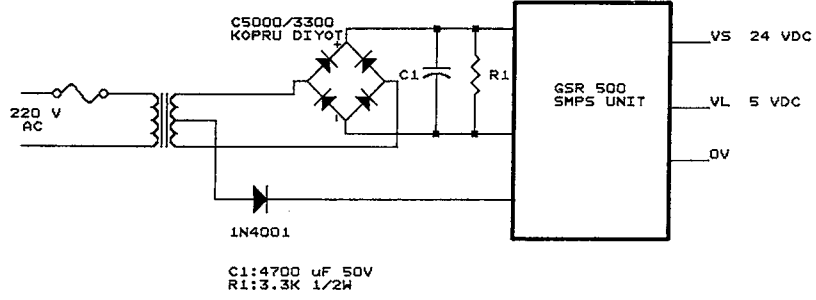
Douglas W.Jones, "Stepping Motor Types And Physics",Internet Adres;
<http://dvt07.fagmed.uit.no/faq/step/types.html>

Douglas W.Jones, "Stepping Motor Control Software",Internet Adres;
<http://dvt07.fagmed.uit.no/faq/step/software.html>

Douglas W.Jones, "A Worked Stepping Motor Example",Internet Adres;
<http://dvt07.fagmed.uit.no/faq/step/circuits.html>

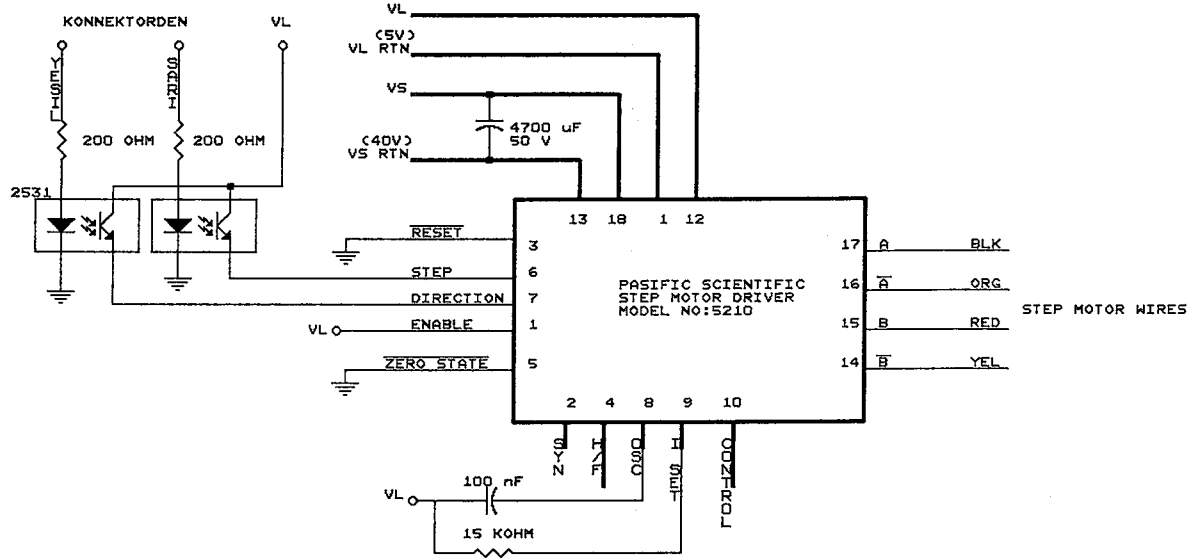
Pasific Scientific 5210 Driver Instruction Manual, PS Motor & Control Div. , RevB
Part No:903-521000-01

Prof. Y. Müh. Adnan ERGENELİ, 1988 , "ELEKTROMAGNETİK ALAN TEORİSİ II Kitap ", p.p.69,71



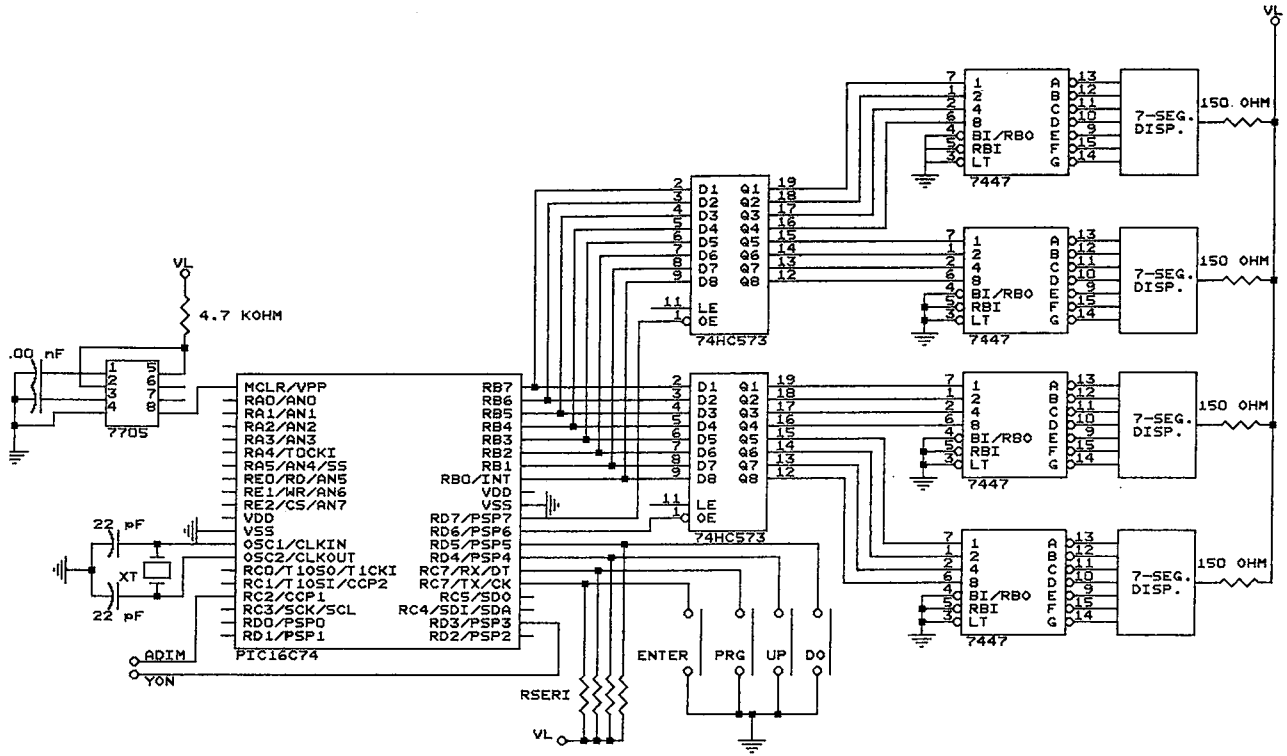
ELK.MUH.MEHMET KAYNAR		
YTU FBE 9413002		
Title	POWER SUPPLY UNIT	
Size	Document Number	REV
A	002	A01
Date:	May 10, 1997	Sheet 1 of 1

EK A. Sürücü sistemi devre şemaları
Şekil Ek A.1.Sürücü sistemi besleme devresi



ELK.MUH.MEHMET KAYNAR	
YTU FBE 9413002	
Title	
STEPPER MOTOR DRIVER UNIT	
Size	Document Number
A	001
Date:	April 8, 1997 Sheet 1 of
REV	MO1

Şekil Ek A.2.Sürücü modülü ve bağlantıları

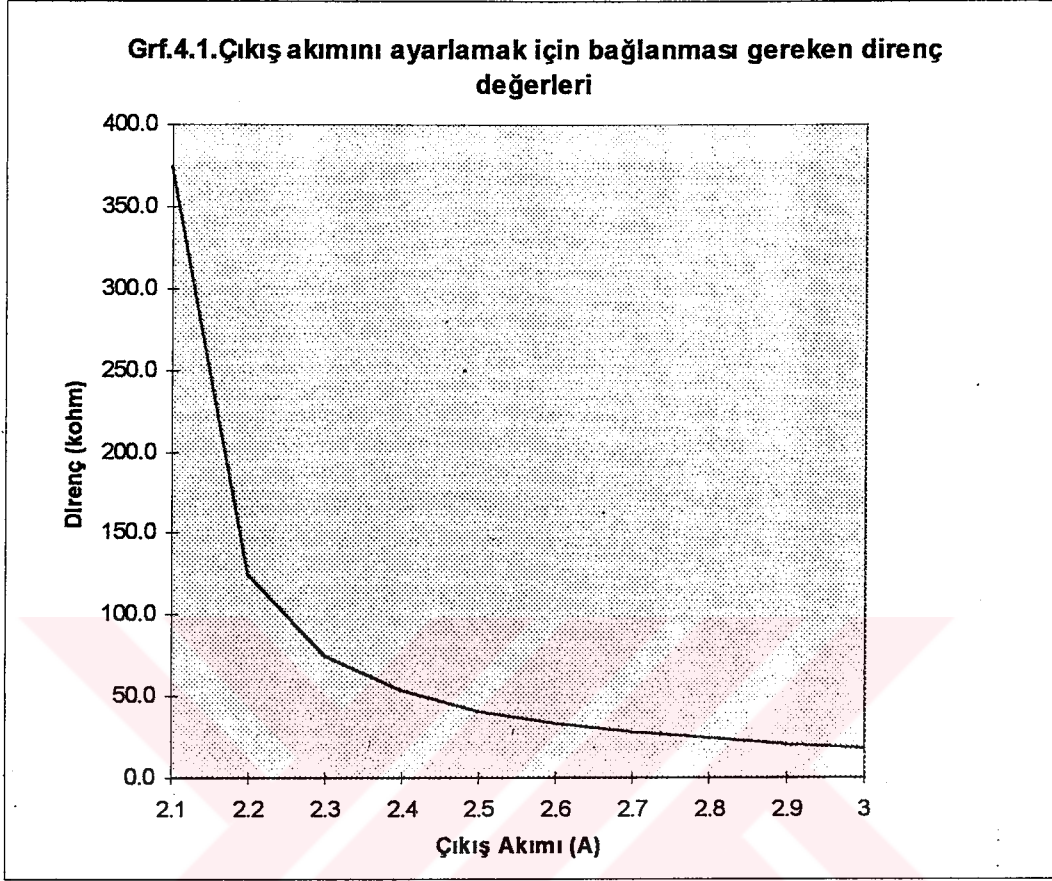


NOT:MCLR/VPP (MASTER/CLEAR RESET)
 PINI İLE VDD PINLERİ 5VDC
 VSS PINLERİNDE İSE 0VDC VARDIR.
 RSERI:4.7 KOHM
 XT:4.000 kHz

ELK.MUH.MEHMET KAYNAR	
YTU FBE 9413002	
Title	STEP MOTOR DRIVER CONTROL UNIT
Size Document Number	REV
A	003 A01
Date:	April 13, 1997 Sheet 1 of 1

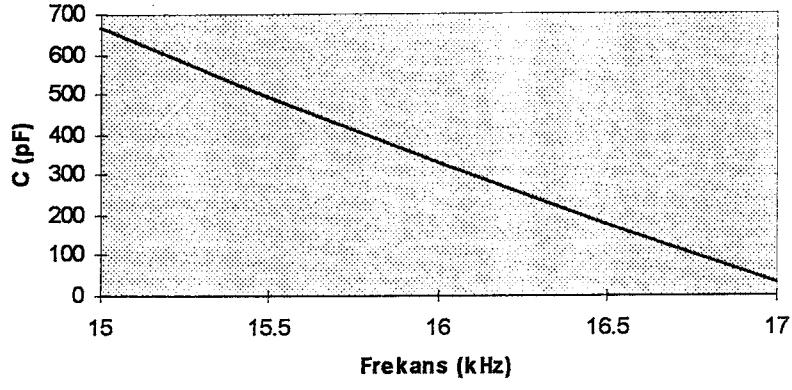
Şekil Ek A.3.Mikrodenetleyici katı

EK B. PS5210 Modülünde Çıkış akımının Ayarlanması ve Kıyıcı Anahtarlama Frekansının Belirlenmesinde Komponent seçimine ait değişimler

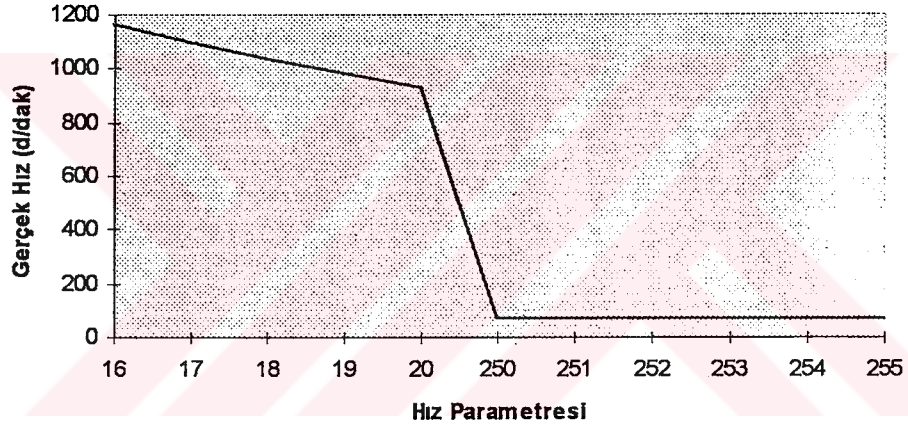


1.nolu grafik çıkış akımının 2 ile 3 A arasında olduğu hallerde geçerlidir. Aksi durumlarda yani 2 A'den daha az çıkış akımı istenirse bağlanması gereken direncin bu akım şiddetine göre değişimi Grf 4.2.'de verilmiştir. Grf.4.2.'de 2 A için bağlanması gereken direnç değeri 200kohm olacaktır.

Grf.4.3.Kıyıcı frekansının C kapasitesine göre değişimi



Grf.4.4.Gerçek Hızın Hız Parametresine göre değişimi



EK C.Öneri sistemin PIC16C74 yazılımı

Aşağıda PIC16C74 programlanabilir kontrolörü için bu çalışmanın algoritmasını oluşturan ASM listesi verilmiştir.Önemli bölümlerin açıklamaları komut satırlarının veya rutinlerin ilk satırlarında belirtilmiştir.

```
list p=16c74                ;smds software
                             ;main routine listing Feb.'97 by m.kaynar,e.e.

pc      equ    0x02          ;program counter
status  equ    0x03          ;status register
portb   equ    0x06
portc   equ    0x07
portd   equ    0x08

intcon  equ    0x0b          ;interrupt control register
pir1    equ    0x0c          ;peripheral int. register
pie1    equ    0x8c          ;peripheral int. enable register

tmr2    equ    0x11          ;timer2
t2con   equ    0x12          ;timer2 control register
pr2     equ    0x92          ;timer2 period register
ccp1l   equ    0x15          ;compare capture pulse 1 reg._lo
ccp1h   equ    0x16          ;compare capture pulse 1 reg._hi
ccp1con equ    0x17          ;compare capture pulse 1 control reg.

count   equ    0x20          ;user defined registers
temp    equ    0x21
carpilan equ    0x22
carpan  equ    0x23
son_hi  equ    0x24
son_lo  equ    0x25
H_byte  equ    0x26
L_byte  equ    0x27
R1      equ    0x28
R2      equ    0x29
fsr     equ    0x30

veri_lo equ    0x32
veri_hi equ    0x33
pr      equ    0x34
count2  equ    0x35
count3  equ    0x36
count4  equ    0x37

left_lim_lo equ    0x38
left_lim_hi equ    0x39
rigt_lim_lo equ    0x3a
rigt_lim_hi equ    0x3b
speed     equ    0x3c
fre_say_lo equ    0x3d
fre_say_hi equ    0x3e
```

```

count5      equ  0x3f
yon         equ  0x40

          org  0x00          ;reset vector
          goto tanim

          org  0x04          ;interrupt vector
          goto loc_check

tanim      org  0x10

          bsf  status,5      ;bank 1

          movlw b'00110000'
          movwf portd        ;portd initialize
          clrf portb

          movlw b'11000000'  ;portc initialize
          movwf portc

          movlw 0xff
          movwf pr2          ;pwm period set
          bsf  pie1,1        ;timer2 overflow interrupt enable
          bsf  pie1,0

          bcf  status,5      ;bank 0

          bcf  portd,6
          bcf  portd,7

          bsf  intcon,6      ;peripheral interrupt enable

          clrf fre_say_lo
          clrf fre_say_hi
          movlw 0x04
          movwf count5

          movlw b'00001100'
          movwf ccp1con

          movlw 0x0a          ;duty cycle set
          movwf ccp1l

          clrf ccp1h

          clrf tmr2

          bsf  t2con,1        ;timer2 prescale==16

atama      bsf  intcon,7      ;global interrupt enabled

          bsf  portd,2        ;driver unit reset

```

```
bsf portd,3      ;clockwise motor rotation
bsf portc,4      ;driver unit enabled
bsf portc,5      ;non zero_state position
```

```
bcf portd,6
bcf portd,7
```

```
movlw 0x00
movwf veri_hi
movlw 0x0f
movwf veri_lo
```

basadon

```
bcf t2con,2
```

```
movlw 0xf9
movwf pr          ;pwm period register
                  ;initial assigment
```

```
clrf R2
```

```
call ch_pr
```

get_data

```
btfs portc,6      ;key enter
call assing_check
```

```
btfs portd,4      ;key up
call up_say
```

```
btfs portd,5      ;key down
call do_say
```

```
btfs portc,7      ;key prg
call ch_pr
```

```
goto get_data
```

up_say

```
incf veri_lo,1
btfs status,2
incf veri_hi
movlw 0xb8
subwf veri_lo,0   ;lo_byte tasma kontrol
btfs status,2
call lo_bytetasti
```

```
call B2_BCD
call goster
```

```
call bekle
return
```

lo_bytetasti

```
movlw 0x0b
subwf veri_hi,0
btfsc status,0
call up_sayreset           ;hi_byte tastý
return
```

up_sayreset

```
movlw 0x0f
movwf veri_lo
movlw 0x00
movwf veri_hi
return
```

do_say

```
decf veri_lo,1
btfsc status,2
decf veri_hi
movlw 0x0f
subwf veri_lo,0
btfsc status,2           ;lo_byte tasma check
call lo_bytetasti2

call B2_BCD
call goster

call bekle
return
```

lo_bytetasti2

```
movlw 0x00
subwf veri_hi,0
btfsc status,2
call do_sayreset        ;lo_byte tastý
return
```

do_sayreset

```
movlw 0x0b
movwf veri_hi
movlw 0xb8
movwf veri_lo
return
```

ch_pr


```
bcf status,2
incf pr,1
movlw 0xfd
subwf pr,0
btfsc status,2
goto basadon
```

```
movf pr,0
movwf R1
movlw 0x0f
andwf R1,1
swapf R1,1
call goster
```

```
call bekle
return
```

assing_check

```
movlw 0xfa
subwf pr,0
btfsc status,2
call assign_1
```

```
movlw 0xfb
subwf pr,0
btfsc status,2
call assign_2
```

```
movlw 0xfc
subwf pr,0
btfsc status,2
call assign_3
```

```
call bekle
```

```
btfss portc,6
call start
```

```
return
```

assign_1 ;left_lim_assign

```
movf veri_lo,0
movwf left_lim_lo
movf veri_hi,0
movwf left_lim_hi
```

```
return
```

assign_2 ;right_lim_assign

```
movf veri_lo,0
```

```

    movwf rigt_lim_lo
    movf  veri_hi,0
    movwf rigt_lim_hi

    return

assign_3                ;initial speed assignment

    movf  veri_lo,0
    movwf speed

    return

start

    bsf   portd,3        ;rotation left
    bsf   t2con,2        ;pwm start

left_lim_ch              ;left_end_check

    btfss portd,4
    call  start_reset
    goto  left_lim_ch

start_reset

    bcf   t2con,2        ;pwm suspend
    clrf  fre_say_lo
    clrf  fre_say_hi

    bsf   status,5       ;bank 1
    movf  speed,0
    movwf pr2            ;speed assignment
    bcf   status,5       ;bank 0

    bcf   portd,3        ;rotation right
    bsf   t2con,2        ;pwm start

pol_pos_ch

    movf  left_lim_lo,0
    subwf fre_say_lo,0
    btfsc status,2       ;pol_pos_check lo_byte overflow
    call  pp_ch_hi

    goto  pol_pos_ch

pp_ch_hi

    movf  left_lim_hi,0
    subwf fre_say_hi,0
    btfsc status,2       ;pol_pos_check hi_byte overflow
    goto  pol_pos

```

```

return
pol_pos
    bcf  t2con,2          ;pwm suspend

    btfsc portc,6        ;wait for start
    goto pol_pos

    call bekle

    bcf  portd,3         ;rotation right
    bsf  t2con,2         ;pwm start

    movlw 0xb0           ;display rotation direction
    movwf yon
    addwf R1,1
    call goster

```

rig_lim_ch

```

    movf  rigt_lim_lo,0
    subwf fre_say_lo,0
    btfsc status,2       ;right_lim_check lo_byte overflow
    call  rig_lim_ch2

    btfss portc,6
    goto  basadon

    goto  rig_lim_ch

```

rig_lim_ch2

```

    movf  rigt_lim_hi,0
    subwf fre_say_hi,0
    btfsc status,2       ;right_lim_check hi_byte overflow
    goto  ch_dir

    return

```

ch_dir

```

    movf  speed,0        ;change direction
    movwf veri_lo
    call  B2_BCD

    movlw 0xb0           ;direction display
    addwf R1,1
    call  goster

    bcf  t2con,2         ;pwm suspend
    bsf  portd,3         ;rotation changed
    nop
    bsf  t2con,2         ;pwm start

```

lef_lim_ch

```
movf left_lim_lo,0
subwf fre_say_lo,0
btfsc status,2 ;left_lim_check hi_byte overflow
call lef_lim_ch2
```

```
btfs portc,6
goto basadon
```

```
goto lef_lim_ch
```

lef_lim_ch2

```
movf left_lim_hi,0
subwf fre_say_hi,0
btfsc status,2 ;left_lim_check hi_byte overflow
goto ch_dir2
```

```
return
```

ch_dir2

```
movf speed,0 ;change direction
movwf veri_lo
call B2_BCD
```

```
movlw 0xa0
addwf R1,1
call goster
```

```
bcf t2con,2 ;pwm suspend
bcf portd,3 ;direction changed
```

```
nop
bsf t2con,2 ;pwm start
```

```
goto rig_lim_ch
```

loc_check ;interrupt routine

```
bcf pir1,1 ;interrupt accepted ok!
```

```
btfs portd,4 ;online speed adjustment add listing
call spd_adj_up
```

```
btfs portd,5
call spd_adj_do
```

```
decfsz count5 ;5 steps 1mm
retfie
```

```
btfs portd,3
call attir
```

```
    btfsc portd,3
    call azalt

    bsf intcon,7           ;peripheral int. enabled

    movlw 0x04
    movwf count5

    retfie
```

attir

```
    incf fre_say_lo,1
    btfsc status,2
    incf fre_say_hi,1
    return
```

azalt

```
    decf fre_say_lo,1
    btfsc status,2
    decf fre_say_hi,1

    return
```

spd_adj_up ;online speed adj_up

```
    incf speed,1

    movlw 0x1e
    btfsc status,2
    movwf speed

    movf speed,0

    bsf status,5
    movwf pr2
    bcf status,5

    call bekle

    return
```

spd_adj_do ;online speed adj_down

```
    decf speed,1

    movlw 0x1e
    subwf speed,0
    movlw 0xff
    btfsc status,2
    movwf speed
```

```
movf speed,0
```

```
bsf status,5
```

```
movwf pr2
```

```
bcf status,5
```

```
call bekle
```

```
return
```

```
B2_BCD bcf status,0 ;Binary to BCD conversion listing
```

```
movlw .16
```

```
movwf count
```

```
clrf R1
```

```
clrf R2
```

```
movf veri_lo,0
```

```
movwf L_byte
```

```
movf veri_hi,0
```

```
movwf H_byte
```

```
loop16 rlf L_byte
```

```
rlf H_byte
```

```
rlf R2
```

```
rlf R1
```

```
decfsz count
```

```
goto adjDEC
```

```
return
```

```
adjDEC
```

```
movf R2,0
```

```
movwf fsr
```

```
call adjBCD
```

```
movf fsr,0
```

```
movwf R2
```

```
movf R1,0
```

```
movwf fsr
```

```
call adjBCD
```

```
movf fsr,0
```

```
movwf R1
```

```
goto loop16
```

```
adjBCD
```

```
movlw 0x03
```

```
addwf fsr,0
```

```
movwf temp
```

```
btfsc temp,3
```

```
movwf fsr
```

```
movlw 0x30
```

```
addwf fsr,0
```

```
movwf temp
```

```

    btfsc temp,7
    movwf fsr
    return
goster                               ;Display routine listing
    swapf R1,1

    movf R1,0
    movwf portb

    bsf portd,6
    nop
    nop
    bcf portd,6

    swapf R2,1

    movf R2,0
    movwf portb

    bsf portd,7
    nop
    nop
    bcf portd,7

    return
bekle                               ;key wait
    movlw 0xff
    movwf count2
    movlw 0xff
    movwf count3
    movlw 0x01
    movwf count4

bekle_2
    decfsz count2
    goto bekle_2
    decfsz count3
    goto bekle_2
    decfsz count4
    goto bekle_2
    return

END

```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 10 Haziran 1973
Doğum Yeri İstanbul
İlk Öğrenim KazımKarabekir İlköğretim okulu 1980-1985
Orta Öğrenim Bahçelievler Lisesi 1985-1990
Lisans Öğrenimi Yıldız Teknik Üni., Elek. Elctrn. Fak., Elk. Müh. Böl. 1990-1994
Yüksek Lisans Y.T.Ü, Yab. Diller Fak. İngilizce Böl. Yük. Lisans Haz. Prg.
1994-1995
Y.T.Ü, Fen Bil. Ens. Elk. Müh. Böl. 1995-1997

Sh. 35
Ek 2.ii
PMM nasıl kurulsunlar?