

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR KONTROLLU BİR DİŞ FIRÇASI HAREKET
MEKANİZMASININ TASARIMI

76314

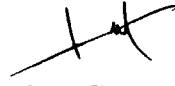
Erdal BEKİROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
(ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI)

26314

Temmuz 1998
ANKARA

Erdal BEKİROĞLU tarafından hazırlanan BİLGİSAYAR KONTROLLU BİR DİŞ FIRÇASI HAREKET MEKANİZMASININ TASARIMI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Yrd. Doç. Dr. Güngör BAL
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Gelin ELMAŞ

Üye : Doç. Dr. İsmail COŞKUN

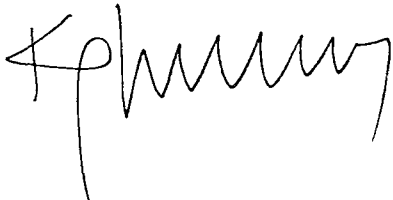
Yrd. Doç. Dr. Güngör BAL

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



TEZ YÖNETİMİ
DOKÜMANLARI
KURULUŞU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	v
1. GİRİŞ.....	1
2. ADIM MOTORLARI.....	4
2.1. Adım Motorlarının Sınıflandırılması	4
2.1.1. Değişken relüktanslı (DR) adım motoru	4
2.1.2. Sürekli mıknatıslı (SM) adım motoru	9
2.1.3. Karışık yapılı (Hybrid) adım motoru	10
2.1.3.1. Statorunda sabit mıknatıs bulunan Hybrid adım motoru	13
2.2. Adım Motorlarına ait Önemli Büyüklükler	13
2.2.1. Çözünürlük	13
2.2.2. Doğruluk.....	14
2.2.3. Tutma momenti.....	14
2.2.4. Tek adım tepkisi.....	16
2.2.5. Sürekli rejimde max. yük momenti eğrisi	18
2.2.6. Kalkışta max. yük momenti eğrisi	19
2.3. Adım Motorlarının Uyarımı	19
2.3.1. Tek-faz uyarımı.....	19

2.3.2.	İki-faz uyarımı	20
2.3.3.	Yarım adım uyarım	21
2.3.4.	Uyarım metodunun seçimi	21
3.	ADIM MOTORU SÜRÜCÜ SİSTEMLERİ	22
3.1.	Sürücü Devre Çeşitleri	22
3.1.1.	Seri dirençli sürücü devre.....	22
3.1.2.	İki seviye gerilimli sürücü devre.....	23
3.1.3.	Köprü sürücü	24
3.1.4.	Kıyıcı tip sürücü	25
3.2.	Sürücü Devre Problemleri	26
3.2.1.	Filtreler	27
3.2.1.1.	Diyot filtresi.....	27
3.2.1.2.	Diyot/direnç filtresi.....	27
3.2.1.3.	Zener diyot filtresi	28
3.2.1.4.	Kondansatör filtresi.....	29
3.3.	Adım Motorlarının Denetimi.....	30
3.3.1.	Açık döngü denetimi	30
3.3.2.	Kapalı döngü denetimi	33
4.	SİSTEMİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	35
4.1.	Mekanik Sistem.....	36
4.2.	Sürücü Sistemi	37
4.2.1.	TTL(Transistor transistor lojik).....	38
4.2.2.	Lojik sıralayıcı	40
4.2.3.	Sürücü devre	41

4.2.4. Sürücü devre elemanları.....	43
4.2.4.1. 7805 Gerilim regülatörü.....	43
4.2.4.2. 4N25 Opto izolatörü	44
4.2.4.3. Transistörler ve diyotlar	45
4.3. Bilgisayar Programı	45
4.3.1. Bilgisayar ortamından dış ortama bilgi aktarımı	46
4.3.2. Paralel porta gönderilen sinyaller	48
4.3.3. Yazılım programı	48
4.3.4. Bilgisayardan elde edilen sinyaller.....	51
4.4. Deneysel Sonuçlar	52
 5. SONUÇ VE ÖNERİLER	 57
 KAYNAKLAR.....	 58
ÖZGEÇMİŞ.....	60

BİLGİSAYAR KONTROLLU BİR DİŞ FIRÇASI HAREKET MEKANİZMASININ TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Erdal BEKİROĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 1998

ÖZET

Bu çalışmada, diş hekimliğinde kullanılmak üzere bir diş fırçası mekanizması geliştirilmiştir. Diş fırçalama mekanizması altıgen bir blok şeklinde tasarlanmış olup fırçalama mekanizmasının hareketleri için iki adet adım motoru kullanılmıştır. Her bir adım motoru için aynı özelliğe sahip sürme devresi tasarlanmıştır. Fırçalama işlemi için fırçalanacak diş numuneleri bir blok içerisinde uygun diş ortamı sağlanarak fırçalama ekseninin altına monte edilmiştir. Sistemin çalışması, kontrolü ve sistemin istendiğinde bazı parametreleri değiştirilerek çeşitli deneylere imkan vermesi için gerekli olan bilgisayar programı C programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Motorların çalışması için gerekli olan sinyallerin elde edilmesi bilgisayarın kendi işlemcisi ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen çıkışlar bilgisayarın paralel port adresine gönderilerek motorların kontrolü sağlanmıştır.

Bilim Kodu : 626.01.01

Anahtar Kelimeler : Adım Motorları, Diş Fırçalama Mekanizması,
Bilgisayarlı Kontrol.

Sayfa Adedi : 60

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Güngör BAL

COMPUTER CONTROLLED A TOOTHBRUSHING MECHANISM**(M.Sc. Thesis)****Erdal BEKİROĞLU****GAZI UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****July 1998****ABSTRACT**

In this study, a toothbrushing mechanism to be used in a dentist research laboratory has been designed and built up. The mechanism has been designed as a hexagonal block driven by two step motors. In order to provide more realistic conditions teeth specimens were located under the brushes. A personal computer is used to fully control the toothbrushing mechanism. The operation of the system, the setting of some parameters for different test conditions are performed by a software written in C Programming Language.

Science code : 626.01.01

Key words : Stepping motors, Toothbrushing mechanism,
Computer Control

Page number : 60

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Güngör BAL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanlarım sayın Yrd.Doç.Dr. İlhami ÇOLAK ve sayın Yrd.Doç.Dr. Güngör BAL' a, Öğr.Gör.Dr. İbrahim SEFA' ya, mekanik tasarımda yardımlarını esirgemeyen sayın Yrd.Doç. Dr. Ahmet ÖZDEMİR' e, Diş Hekimliği ile ilgili kısımlardaki yardımlarından dolayı sayın Doç.Dr. Sadullah ÜÇTAŞLI' ya ve manevi desteklerini gördüğüm tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Tek-faz uyartımın faz uyartım sıralaması.....	19
Çizelge 2.2. İki-faz uyartımın faz uyartım sıralaması.....	19
Çizelge 2.3. Yarım adım uyartımın faz uyartım sıralaması	20
Çizelge 4.1. İleri yön için faz sıralaması.....	42
Çizelge 4.2. Geri yön için faz sıralaması	42
Çizelge 4.3. Paralel port bacak bağlantıları.....	45



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. DR adım motoru	4
Şekil 2.2. Sargı enerjilendiğinde oluşan manyetik akı	5
Şekil 2.3. Faz1' in enerjisi kesilip Faz2' nin uyartıldığı durumda oluşan adım hareketi	6
Şekil 2.4. 5 parçalı DR adım motorunun kesit görünüşü	8
Şekil 2.5. 4-fazlı SM adım motoru	9
Şekil 2.6. Karışık yapılı adım motorunun yapısı	10
Şekil 2.7. Karışık yapılı adım motorundaki manyetik yollar	11
Şekil 2.8. Bir tutma momenti eğrisi	14
Şekil 2.9. Bir tek adım tepkisi eğrisi	15
Şekil 2.10. Sürekli rejimde ve kalkışta max. yük momenti/hız eğrileri	18
Şekil 3.1. Seri dirençli sürücü devre	21
Şekil 3.2. İki gerilim seviyeli sürücü devre	22
Şekil 3.3. Köprü tipi sürücü devre	23
Şekil 3.4. Kıyıcı tip sürücü	25
Şekil 3.5. Adım motoru sargısının eşdeğer devresi	25
Şekil 3.6. Filtre devreleri	27
Şekil 3.7. Çeşitli filtre devrelerinin karşılaştırılması	28
Şekil 3.8. 4-fazlı adım motoru için kondansatör filtresi	28
Şekil 3.9. Açık döngülü denetim	30
Şekil 3.10. Sabit adım oranlı açık döngü denetim	31
Şekil 3.11. Hız profili eğrisi	31
Şekil 3.12. Adım motorunun kapalı döngülü denetimi	32
Şekil 4.1. Dış fırçalama mekanizmasının blok diyagramı	35

Şekil 4.2. Adım motoru sürücü sisteminin blok diyagramı	36
Şekil 4.3. 4-fazlı adım motoru için lojik sıralayıcı	39
Şekil 4.4. Lojik sıralayıcının ürettiği sıralama	40
Şekil 4.5. 4-fazlı adım motoru sürücü devresi.....	41
Şekil 4.6. 7805 Gerilim regülatörü.....	42
Şekil 4.7. 4N25 Opto izolatörünün iç yapısı	44
Şekil 4.8. Paralel portun karşıdan görünüşü.....	46
Şekil 4.9. Paralel porta gönderilen sinyaller.....	47
Şekil 4.10. Yazılım programının akış diyagramı	49
Şekil 4.11. Bilgisayardan elde edilen sinyaller.....	51
Şekil 4.12. Gerçekleştirilen sistemin mekanik kısmının karşıdan görünüşü. 52	
Şekil 4.13. Gerçekleştirilen sistemin mekanik kısmının üstten görünüşü.....	52
Şekil 4.14. Bir adım motoruna ait sürücü devresi kartı.....	53
Şekil 4.15. Bir sargıdan geçen akımın dalga şekli	53
Şekil 4.16. Bir faza ait gerilim ve akım dalga şekilleri	54
Şekil 4.17. 1. ve 2. faz akımlarının dalga şekilleri.....	55
Şekil 4.18. 1. ve 3. faz akımlarının dalga şekilleri.....	55
Şekil 4.19. Güç kaynağından çekilen akımın şekli	56
Şekil 4.20. Bilgisayardan elde edilen clock sinyalleri	56

1. GİRİŞ

Açısal konumu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen motorlara adım motorları denir. Adından da anlaşılacağı gibi adım motorları belirli adımlarla hareket ederler. Bu adımlar, motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir. Herhangi bir uyarımda, motorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Adım açısı motorun yapısına bağlı olarak 90°, 45°, 18°, 7.5° , 1.8° veya daha değişik açılarda olabilir. Motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı kontrol edilebilir (Kenjo, 1984).

Adım motorlarının dönüş yönü uygulanan sinyallerin sırası değiştirilerek saat ibresi yönü (CW) veya saat ibresinin tersi yönünde (CCW) olabilir.

Adım motorlarının hangi yöne doğru döneceği, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerler mikroişlemci veya bilgisayar yardımı ile kontrol edilebilir. Sonuç olarak adım motorlarının hızı, dönüş yönü ve konumu her zaman bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı adım motorları çok hassas konum kontrolü istenen yerlerde çok kullanılırlar (Bal, 1997).

Adım motorlarının kullanıldıkları yerlere örnek olarak, endüstriyel kontrol teknolojisi içerisinde bulunan bazı sistemler, robot sistemleri, takım tezgahlarının ayarlama ve ölçmeleri verilebilir. Ayrıca, adım motorları konumlandırma sistemlerinde ve büro makinaları ile teknolojisi alanında da kullanma alanı bulmaktadır. Örnek olarak, bilgisayar yazıcılarının kafa hareketlerinin kontrolünde, yazıcıların kağıt sürmelerinde, çizicilerin ve kaydedicilerin kalem ve

kağıt beslemelerinde, fotokopi makinalarında, tarama ve pozlandırma işlemlerinde ve bilgisayarlarda disk ve disket sürücülerinde adım motorları kullanılmaktadır (Kenjo, 1984).

Adım motorlarının bu kadar çok kullanılma alanı bulmasının nedeni bu motorların bazı avantajlara sahip olmasıdır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Geri beslemeye ihtiyaç göstermezler. Açık döngülü olarak kontrol edilebilirler.
- Motorun hareketlerinde konum hatası yoktur.
- Sayısal olarak kontrol edilebildiklerinden bilgisayar veya mikroişlemci gibi elemanlarla kontrol edilebilirler.
- Mekanik yapısı basit olduğundan bakım gerektirmezler.
- Herhangi bir hasara yol açmadan defalarca çalıştırılabilirler.

Adım motorlarının bu avantajları yanında bazı dezavantajları vardır. Bunlar da şu şekilde sıralanabilir.

- Adım açıları sabit olduğundan hareketleri sürekli değil darbelidir.
- Sürtünme kaynaklı yükler, açık döngülü kontrolde konum hatası meydana getirirler.
- Elde edilebilecek güç ve moment sınırlıdır.

Adım motorları yapım şekillerine göre sınıflandırılırlar. Değişken relüktanslı adım motoru, sabit mıknatıslı adım motoru ve karışık yapılı adım motoru en çok bilinen adım motoru çeşitleridir.

Bu çalışmada adım motorlarının hassas olarak hareket etme ve sayısal olarak kontrol edilebilme özelliklerinden faydalanılarak mekanik hareketlerin sağlanması için iki adet karışık yapılı adım motoru kullanılarak “Bilgisayar kontrollu bir diş fırçası hareket mekanizması” geliştirilmiştir.



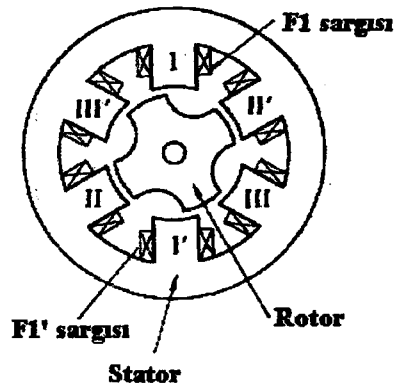
2. ADIM MOTORLARI

2.1. Adım Motorlarının Sınıflandırılması

Kullanımda olan birçok elektrik motorunda olduğu gibi adım motorları da makinanın yapısına ve çalışmasına göre sınıflandırılabilir.

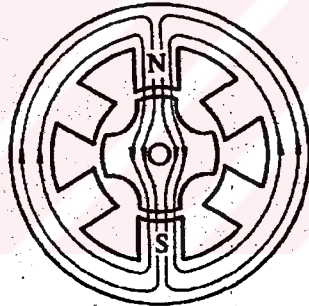
2.1.1. Değişken Relüktanslı (DR) Adım Motoru

Değişken relüktanslı adım motoru en temel adım motoru tipidir. Bu motorun temel prensiplerinin daha iyi anlaşılabilmesi için kesit görünüşü Şekil 2.1' de gösterilmiştir. Bu üç-fazlı motorun 6 adet stator kutbu vardır. Birbirine 180° açılı olan herhangi iki stator kutbu aynı faz altındadır. Bunun anlamı, karşılıklı kutupların üzerindeki sargıların seri veya paralel olması demektir (buradaki şekilde bağlantı seridir). Rotor 4 adet kutba sahiptir. Stator ve rotor nüveleri genellikle ince tabakalı silisli çelikten yapılırlar. Düşük manyetomotor kuvveti uygulansa bile, stator ve rotor malzemeleri yüksek geçirgenlikli ve içlerinden yüksek manyetik akı geçecek kapasitede olmalıdır.



Şekil 2.1. DR adım motoru

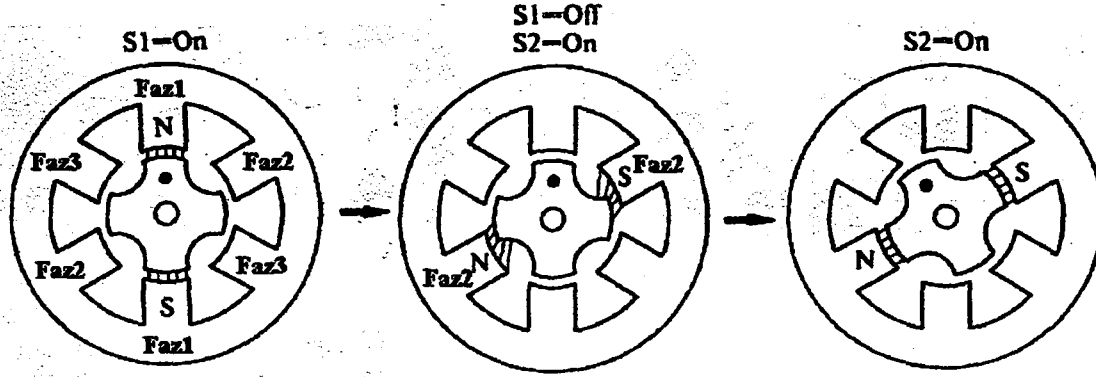
Bir fazdaki iki stator kutbu aynı yada farklı manyetik polaritededir. Buradaki örnekte 2 kutup ters polariteli olarak varsayılmaktadır. Şekil 2.1' de sargılar uyarıldığında I, II ve III kutupları N kutbu, I', II' ve III' kutupları ise S kutupludur. Herbir fazın iletim ve kesim (ON/OFF) modu kendi anahtarı ile kontrol edilir. F1 sargısına akım uygulanırsa veya başka bir deyişle F1 sargısı uyarılırsa, manyetik akı Şekil 2.2' deki gibi oluşacaktır. Daha sonra rotor kutup eksenini stator manyetik akısı ile aynı eksene konumlanacaktır. Rotor ve stator kutupları aynı eksende olduğunda manyetik relüktans minimumdur ve bu durum rotorun denge pozisyonunda kalmasını sağlar. Eğer rotor, miline uygulanan harici momentten dolayı denge pozisyonundan ayrılma eğilimi gösterirse, geri getirme momenti rotor dönüş yönünün tersi yönünde oluşur.



Şekil 2.2. Sargı enerjilendiğinde oluşan manyetik akı

Değişken relüktanslı motor manyetik relüktansın minimum olması prensibine göre çalışır. Şekil 2.3' te bu motorda adım hareketinin nasıl meydana geldiği gösterilmiştir. F1' in kesime ve F2' nin iletime geçtiği durumda ne olacağına bakılacak olursa, motor relüktansının anahtarlama yapıldıktan hemen sonra aniden yükseldiği görülecektir. Şekil 2.3' ten açıkça görüldüğü gibi, rotor minimum

relüktanstan dolayı saat ibresinin tersi yönünde (CCW) 30° hareket edecektir. Herbir anahtarlamadan sonra oluşan bu hareket bir adım şeklindedir.



Şekil 2.3. Faz1' in uyarıtımı kesilip Faz2 uyarıldığı durumda oluşan adım hareketi.

Burada değişken relüktanslı motorun bazı temel özellikleri kısaca incelenecektir.

a) *Hava aralığı mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır.*

Rotorun küçük hacminden yüksek moment oluşturmak ve konumlandırmada yüksek doğruluk elde etmek için stator ve rotor kutupları arasındaki hava aralığı mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Aynı manyetomotor kuvvet seviyesi için küçük hava aralıklı motor, büyük hava aralıklı motora göre daha fazla manyetik akı ve dolayısıyla daha yüksek moment üretecektir. Ayrıca, rotora dışarıdan bir moment uygulandığında küçük hava aralıklı motorun denge pozisyonundan ayrılması daha küçük olur. Modern motorlarda hava aralığı 30-100 μm arasındadır.

b) *Daha küçük adım açıları için*

Adım motorlarının en büyük özelliklerinden biriside küçük adım açılarını gerçekleştirmenin mümkün olmasıdır. Şekil 2.1' deki yapı kullanılarak açıklanan

30° lik adım açısına sahip motor küçük adım açılı değildir. Bunun yerine 12 stator ve 8 adet rotor kutbuna sahip motor kullanılırsa adım açısı 15° olur.

Adım açısı θ_s , faz sayısı m , rotor kutup sayısı N_r ve adım sayısı S arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$S = 360/\theta_s = m.N_r \dots\dots\dots (2.1)$$

Bu formülden anlaşıldığı gibi stator kutup sayısının adım açısının belirlenmesinde doğrudan bir etkisi yoktur.

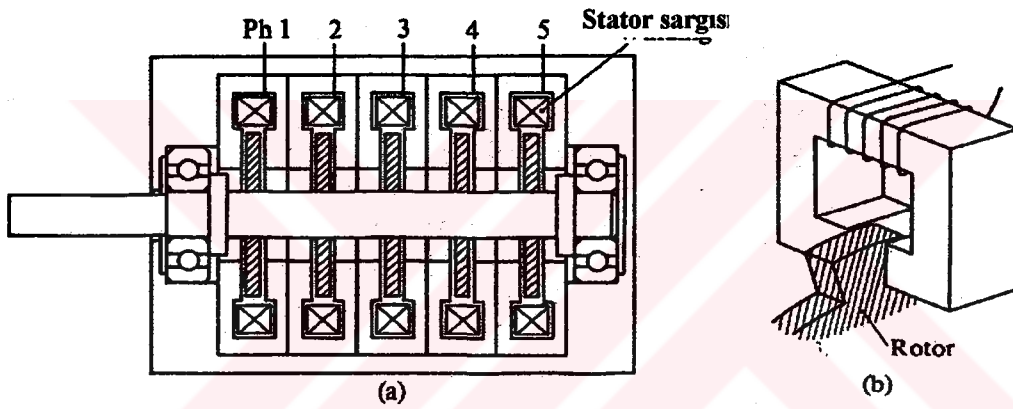
Adım açısı θ_s ' yi azaltmak için rotor kutup sayısı N_r artırılmalıdır. Yukarıdaki denklemde belirtilmemesine rağmen stator kutup sayısı rotor kutup sayısına bağlı olarak artırılmalıdır. Üzerine sargıların yerleştirildiği kısımlara genellikle kutup adı verilir. Bir kutup iki veya daha fazla stator dişine sahip olup, bir kutbun altındaki bütün dişler herhangi bir anda aynı manyetik polariteye sahiptir.

c) Çok parçalı ve tek parçalı tipler

Yukarıda açıklanan DR adım motorlarının hepsi tek parçalı (gövdeli) motor tipleridir. Bu tip motorun göze çarpan özelliği, 3-faz veya 4-fazın tek gövde içerisinde tanzim edilmesidir. DR adım motorunun bir diğer tipi, çok parçalı tiptir. Bu modelde her parça bir faza karşılık gelmekte olup, stator ve rotor aynı diş aralıklarına sahiptir. Şimdi üçüncü fazın uyartımlı ve stator ile rotor dişlerinin bu faz altında sıralandığı duruma bakılırsa, bu anda diğer fazların (parçalar) ikisinin de dişleri 1/3 diş aralığı ile kaydırılır. İkinci ve üçüncü gövdelerdeki dişlerin kayma yönleri birbirine göre zıttır. Eğer uyartım birinci fazdan ikinci faza

verilirse rotor saat ibresi yönünde (CW) hareket eder. Fakat uyarım ikinci faza verilirse rotor saat ibresinin tersi yönünde (CCW) bir adım açısı ile hareket eder.

Şekil 2.4.a' da sayısal kontrollü makinalarda kullanılan 5 parçalı bir adım motorunun ekseni görülmektedir. Şekil 2.4.b' de ise bu makinanın prensibi görülmektedir. Rotor dişleri eşit diş aralığına sahip stator dişleri arasına yerleştirilmiştir. Bu yapı rotorun birim hacminden büyük moment üretmesini ve makinanın veriminin yüksek olmasını sağlar.



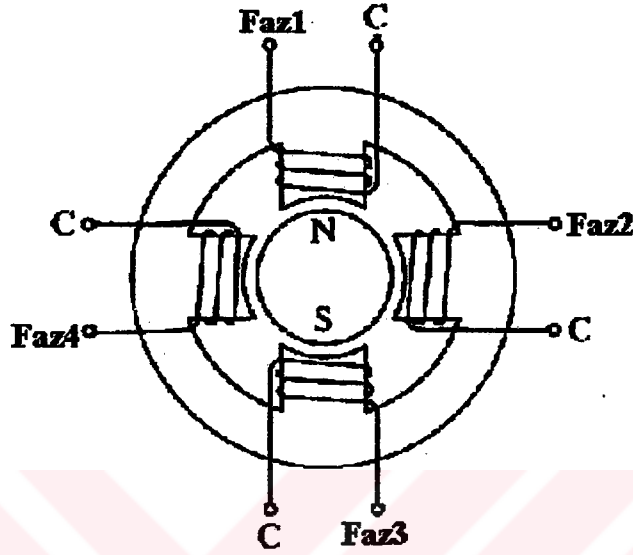
Şekil 2.4. 5 parçalı DR adım motorunun kesit görünüşü

Burada gösterilen çok parçalı motorda selenoid bobinler kullanıldığından, manyetik akının dağılımı heteropolar (karışık kutuplu) alan şeklinde olur.

2.1.2. Sürekli Mıknatıslı (SM) Adım Motorları

Rotorunda sabit mıknatıs kullanılan adım motoruna sürekli mıknatıslı adım motoru adı verilir. 4-fazlı bir SM adım motorunun bir örneği şekil 2.5'te

gösterilmiştir. Silindirik sabit mıknatıs rotor gibi çalışır, etrafında ise herbiri üzerine sargılar sarılı olan 4 adet kutbun bulunduğu stator vardır.



Şekil 2.5. 4-fazlı SM adım motoru

Burada C ile adlandırılan terminal, herbir fazın birer uçlarının birleştirilerek güç kaynağının pozitif ucuna bağlandığı ortak uçtur. Eğer fazlar Faz1, Faz2, Faz3, Faz4 sırasıyla uyartılırsa; rotor saat ibresi yönünde (CW) hareket edecektir. Bu motorda, adım açısının 90° olduğu açıkça görülmektedir (Humphries and Sheets, 1993).

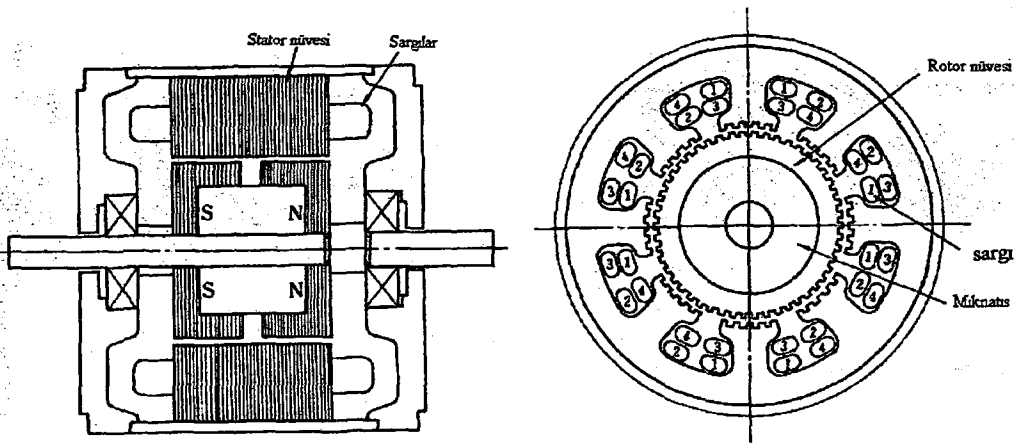
SM adım motorunda adım açısını azaltmak için, manyetik kutup sayısı ile birlikte stator kutup sayısı artırılmalıdır. Fakat her ikisinde bir sınırı vardır. Buna alternatif olarak küçük adım açılarına sahip karışık yapıdaki SM adım motorları kullanılmaktadır.

SM adım motorunun bir özelliği de uyarımın kesilmesi halinde bile rotorun sabit konumda durmasıdır. Bu durum “tutma mekanizması” olarak bilinir ve önceden kararlaştırılan pozisyonlar “tutma pozisyonu” gibi olur. Genellikle tutma pozisyonu tek-faz uyarımlı ikenki denge pozisyonu ile uyumludur. SM adım motoru kullanımının 2 dezavantajı vardır.

1. Mıknatıs pahalıdır.
2. Maksimum akı yoğunluğu mıknatısın kalıcı mıknatıslığı ile sınırlıdır.

2.1.3. Karışık Yapılı (Hybrid) Adım Motoru

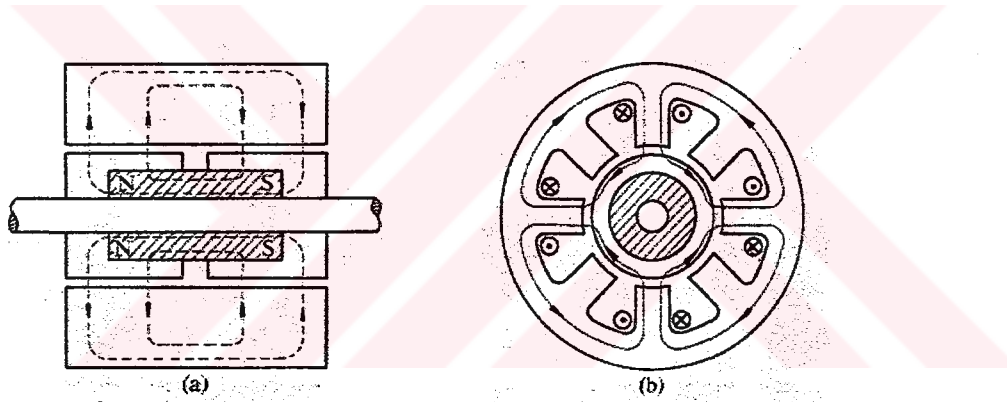
Rotorunda sabit mıknatıs bulunan bir diğer adım motoru da karışık yapılı adım motorudur. Hybrid kelimesi motorun sabit mıknatıslı ve değişken relüktanslı motorların prensiplerinin birleşmesinden dolayı verilmiştir. Günümüzde çok geniş bir kullanım alanına sahip olan Hybrid adım motorunun yapısı Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6. Karışık yapılı adım motorunun yapısı

Statorun nüve yapısı değişken relüktanslı adım motorunun aynısı veya çok benzeridir. Fakat sargıların bağlantısı değişken relüktanslı motorunkinden farklıdır. Değişken relüktanslı adım motorunda bir kutupta bir fazın iki sargısından sadece bir tanesi sarılmış iken, 4 fazlı karışık yapılı adım motorunda iki farklı fazın sargıları aynı kutupta sarılmıştır. Bundan dolayı bir kutup sadece bir fazın altında değildir.

Karışık yapılı adım motorunun bir diğer önemli özelliği de rotorunun yapısıdır. Silindirik şekilli demir nüveye sahip rotorun ürettiği tek yönlü (unipolar) alan Şekil 2.7(a) da gösterildiği gibidir.



Şekil 2.7. Karışık yapılı adım motorundaki manyetik yollar

- a) Rotor mıknatısının ürettiği tek kutuplu alandan dolayı oluşan akı
- b) Stator akımlarının oluşturduğu heteropolar akı dağılımı

Her bir kutup yumuşak çelikten yapılmış düzgün dişlerle kaplıdır. Rotorun iki bölümündeki dişler birbirleriyle yarım diş aralığı kayma olacak şekilde sıralanmıştır. Bazı motorlarda rotor dişleri birbirleriyle düzgün sıra ile sıralanmıştır. Fakat bu motorlarda stator nüvesindeki dişler birbirleriyle kayma olacak şekilde sıralanmıştır. Diş kısımları normal olarak silisli çelik sac paketinden yapılır, fakat sıkıştırılmış çelik veya katı çelikte aynı şekilde kullanılır.

Karışık yapılı adım motorlarında moment, diş yapılarındaki hava aralıklarının manyetik alanlarının etkileşimi ile oluşturulur. Bu tip motorlarda sürekli mıknatıs, sürücü kuvveti oluşturmak için önemli rol oynamaktadır. Fakat karışık yapılı adım motorundaki rotor ve stator dişlerinin küçük adım açıları elde etmek için dizayn edildiği bilinmelidir (Jenkins and Howe, 1990).

En çok kullanılan karışık yapılı adım motoru 4-fazlı 1.8° adım açılı ve 200 adımlı adım motorudur. Bu tip motor birçok üretici tarafından üretilmektedir. Burada ayrıca 2° ve 5° lik adım motorları vardır. Alman üretici Gerhard Berger GmbH (Heine, 1977; Kuo, 1979) 5 fazlı adım motorları üretmiştir.

Momenti artırmak amacıyla karışık yapılı adım motorları çok gövdeli olarak çalıştırılırlar.

2.2. Adım Motorlarına Ait önemli Büyüklükler

2.2.1. Çözünürlük

Çözünürlük; bir devirdeki adım sayısı veya dönen motorlar için adım açısı (derece), lineer motorlar için ise adım uzunluğu (mm) olarak tanımlanır.

Bu sabit değer, üretim sırasında tesbit edilen bir büyüklüktür. Bir adım motorunun adım büyüklüğü, çeşitli kontrol düzenleri ile değiştirilebilir. Yarım adım çalışmada adım büyüklüğü normal değerinin (çözünürlüğünün) yarısına indirilir.

2.2.2. Doğruluk

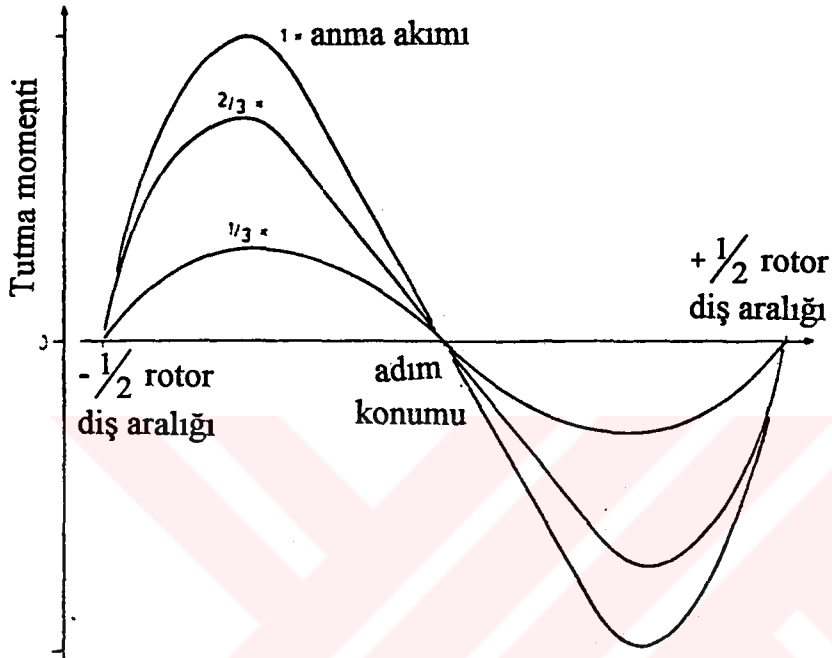
Bir adım motorunun adım konumu, tasarım ve üretim sırasında biraraya getirilen birçok parçanın boyutları ile belirlenir. Bu parçaların boyutlarındaki toleranslar ve dahili sürtünmeler adımların nominal denge konumlarında da toleranslara neden olurlar. Bu durum adım motoru doğruluğu olarak isimlendirilir ve belli bir konumdaki maksimum açısal hatanın nominal tek adım değerinin yüzdesi olarak ifade edilmiş halidir. Örneğin 24 adım/ devir'lik bir motorda maksimum ± 0.25 derecelik hata, $\% \pm 1.67$ lik adım açısı hatasına karşılık düşer. Bu hata kümülatif değildir, yani hata her yeni adımla artmaz. Bütün yük şartlarında oluşur ve sistematiktir. Klasik adım motorlarında bu hata $\% \pm 1$ ile $\% \pm 5$ arasında değişmektedir. Sürtünme momenti veya kuvveti nedeniyle oluşan konum hataları bu doğrulukla ilgisi olmayan, daha az veya çok olabilen rastgele hatalardır. Ancak her iki tip hata toplanarak sistemin toplam hatası elde edilir (Acarnley, 1992).

2.2.3 Tutma momenti

Tutma momenti, bir adım motorunun en temel moment karakteristiğidir. Tutma momenti eğrisi, motorun ürettiği tutma momentinin rotor konumuna bağlı olarak değişimini veren eğridir. Şekil 2.8'de bir tutma momenti eğrisi örneği görülmektedir.

Eğrinin merkezi motorun bir fazının uyartılmış olduğu durumda rotorun kararlı adım konumuna karşılık düşer. Bu eğri, rotor adım pozisyonundan uzaklaştırılırsa, motorda endüklenecek olan ve rotoru sıfır momentli adım pozisyonuna geri

getirmeye çalışan momentin (tutma momenti) yönünü ve miktarını verir (O'Kelly,1991).



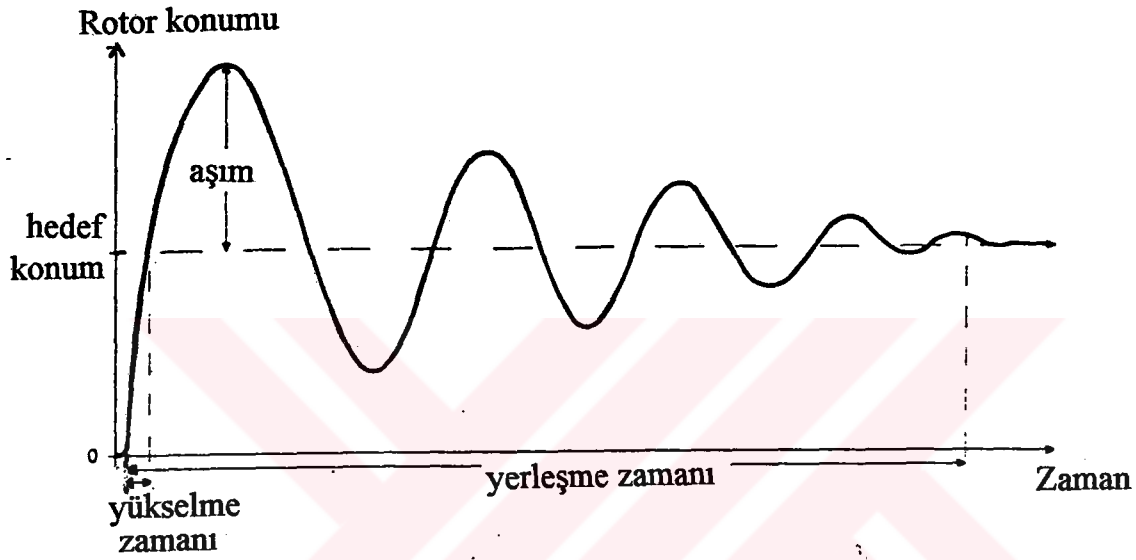
Şekil 2.8. Bir tutma momenti eğrisi

Tutma momenti eğrisi, motorun tüm rotor konumları ve statik uyarma koşullarındaki ani momentini tam olarak tanımlamak için gereklidir. Diğer moment karakterisitikleri (statik ve dinamik) bu eğri baz alınarak elde edilebilir.

2.2.4. Tek adım tepkisi

Motor fazlarından biri uyarılmış durumdaysa motor kararlı bir adım konumundadır. Bu fazın uyarıtımı kesilip yeni bir faz uyarılırsa motor bir adım

atacaktır. Rotor konumunun zamana göre bu değişimi tek adım tepkisi olarak tanımlanır. Tek adım tepkisi, motorun adım hareketinin hızını, tepkinin aşım ve salınım miktarını, adım açısının hassaslığını veren önemli bir karakteristiktir. Şekil 2.9’ da tipik bir tek adım tepkisi eğrisi görülmektedir.



Şekil 2.9. Bir tek adım tepkisi eğrisi

Şekil 2.8’ deki tutma momenti eğrisi bu tepkideki aşım ve osilasyonunun sebebini açıklamaktadır. Yeni bir faz uyartıldığında, rotor ve stator kutupları arasında oluşan moment rotoru yeni kararlı durumuna doğru çekecektir. Bu moment rotor adım konumuna gelinceye kadar devam edecek, rotor bu konumu geçip aşım yapınca da ters yönde bir moment olarak rotora etki edecektir. Rotor adım konumundan tekrar geriye geçince, bu moment yine pozitif yönde rotora etki edecek ve bu hareket rotorun kinetik enerjisinin tümü kaybolana kadar devam edecektir.

Bu tepkiye ait önemli bir büyüklük olan yükselme zamanı motorun istenen adım konumuna ulaştığı ilk andır. Rotor bu noktaya ulaştığında hızı maksimum değerinde olacağından sistem hedefi aşacaktır. Bu ilk aşımın genliği, adım büyüklüğünün yüzdesi olarak ifade edilir ve yüzde aşım olarak tanımlanır.

Yüksek hız gerektiren uygulamalarda büyük aşım ve salınımlı tepki bir dezavantajdır. Örneğin bir yazıcıda her bir karakterin basımından önce motorun istenen konuma yerleşmesini beklemek sistemin yavaşlamasına neden olacaktır. Tek adımın önemli olmadığı, arka arkaya birkaç adımın atılmasının gerektiği hızlı sistemlerde ise motorun denge konumuna gelmesini beklemeden adım atılabilir. Ancak adımlama hızı, denge konumu civarındaki rotor osilasyonunun doğal frekansına eşit ise, uyartım sinyali-adım hareketi sekronizasyonu bozulacak ve rotor istenenden birkaç adım daha fazla atacaktır. Bu davranışının nedeni, ikinci adım darbesi geldiğinde rotor hızının maksimum değerinde olması ve salınım genliğinin yarım dış genişliğinden büyük olmasıdır.

Adım motorlarından maksimum performans elde edebilmek için tek adım tepkisindeki aşım ve salınımların azaltılması ve yerleşme zamanının kısaltılması gerekmektedir. Bu nedenle tek adım tepkisinin iyileştirilmesi adım motorlarının kontrolunda çok büyük öneme sahiptir.

2.2.5. Sürekli rejimde maksimum yük moment eğrisi

Bir adım motoru bir mekanik yükün konumunu birkaç adımlık bir hareketin sonunda değiştirmek için kullanılacaksa; motorun hızlanma, yavaşlama veya sabit hızda dönme durumlarında ne kadar moment üreteceğinin bilinmesi gerekir.

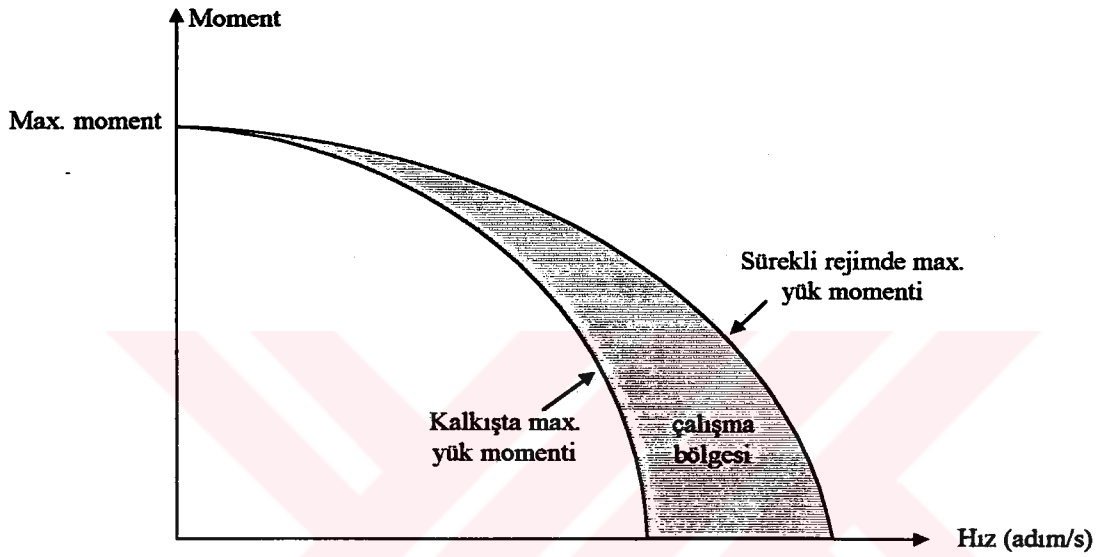
Sürekli rejimde maksimum yük momenti/ hız eğrisi herhangi bir sabit dönüş hızında, rotor hareketinin giriş darbe dizisiyle olan senkronizasyonunu bozmadan ve rotorun durmasına neden olmadan sürekli halde motor miline uygulanabilecek maksimum yük momentini verir. Bu moment aynı zamanda, sözkonusu hızda motorda meydana gelecek maksimum moment anlamına da gelmektedir. Bu eğri oluşturulurken eğrinin herbir noktası için motor ilgili hıza ulaşana kadar boşta hızlandırılır. Daha sonra motora uygulanan yük momenti artırılarak motorun durmasına veya giriş darbe dizisiyle olan uyumunun bozulmasına neden olmayan en yüksek yük momenti saptanır. Bu momente, o hız için, sürekli rejimde maksimum yük momenti (pull-out torque) denir. Belli bir yük momenti için motorun durmasına veya giriş darbe dizisiyle olan uyumunun bozulmasına neden olmadan çalışabilecek en yüksek hız da maksimum sürekli rejim hızı (pull-out rate) olarak adlandırılır.

Klasik motorlarda bu eğriye karşılık gelebilecek bir karakteristik yoktur. Maksimum yük momenti eğrisi çalışma noktalarını göstermediği gibi bir transfer fonksiyonu eğrisi de değildir. Sadece, çalışma bölgesini sınırlar. Bu eğrinin sınırladığı bölge içinde herhangi bir noktada motor giriş darbe dizilerini kaybetmeden ve durma tehlikesi olmadan ilgili hız ve yük momenti ile çalışır. Sınırların dışına çıkıldığında bu durum değişebilir.

2.2.6. Kalkışta maksimum yük momenti eğrisi

Özellikle açık döngülü sistemlerde duran bir sistemi istenen konuma getirebilmek için motora uygulanan uyarım darbelerinin motor tarafından hiç kaçırılmadan takip edilmesini sağlamak çok önemlidir. Fakat, uygulanan uyarım

sinyallerin sıklığı, motorun miline bağlı yükü sıfır hızından itibaren kaldırıp hızlandırmasına izin vermeyebilir. Bu yüzden adım motorları için, kalkışta maksimum yük momenti eğrileri tanımlanır. Şekil 2.10' da sürekli rejimde maksimum yük momenti ve kalkışta maksimum yük momenti eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Sürekli rejimde ve kalkışta max. yük momenti/hız eğrileri

2.3. Adım Motorlarının Uyartımı

2.3.1. Tek-faz uyartımı

Motor sargılarının sadece birinin uyartıldığı uyartım cinsine tek-faz uyartımı adı verilir. Çizelge 2.1'de 4-fazlı adım motoru için tek-faz uyartım sırasındaki fazların durumu görülmektedir. Bu uyartım metodunda rotor her bir uyartım sinyali için tam adımlık bir hareket yapmaktadır. Uyartım dönüş yönüne bağlı olarak sıra ile

yapılır. Burada fazların uyartım sırası saat ibresi yönündeki (CW) dönüş için F1, F2, F3, F4, saat ibresinin tersi yönü (CCW) için F4, F3, F2, F1 şeklindedir.

2.3.2. İki-faz uyartımı

Motor sargılarının ikisinin sıra ile aynı anda uyartıldığı uyartım cinsine iki-faz uyartımı adı verilir. Çizelge 2.2' de 4-fazlı adım motoru için iki-faz uyartım sırasındaki fazların durumu görülmektedir. Burada iki faz aynı anda uyartıldığından stator ve rotor kutupları arasındaki ilişki bir-faz uyartımlıya göre farklıdır. İki faz uyartımlıda rotorun geçici durum tepkisi tek-faz uyartımlıya göre daha hızlıdır. Fakat burada güç kaynağından çekilen güç iki katına çıkmaktadır.

Çizelge 2.1. Tek-faz uyartımın faz uyartım sıralaması

Adım	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Faz 1	x				x				x
Faz 2		x				x			
Faz 3			x				x		
Faz 4				x				x	

Çizelge 2.2. İki-faz uyartımın faz uyartım sıralaması

Adım	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Faz 1	x	x			x	x			x
Faz 2		x	x			x	x		
Faz 3			x	x			x	x	
Faz 4	x			x	x			x	x

2.3.3. Yarım adım uyartımı

Bu uyartım yönteminde tek-faz uyartımı ile iki-faz uyartımı ardarda uygulanır. Burada rotor herbir uyartım sinyali için yarım adımlık bir hareket yapmaktadır.

Çizelge 2.3' te fazların uyartım sırası görülmektedir. Bu uyartım metodunda adım açısı yarıya düştüğünden adım sayısı iki katına çıkmaktadır.

Çizelge 2.3. Yarım adım (karma) uyartımın faz uyartım sıralaması

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Faz 1	x	x						x	x
Faz 2		x	x	x					
Faz 3				x	x	x			
Faz 4						x	x	x	

2.3.4. Uyartım metodunun seçimi

Adım sayısının fazla olması ve dolayısı ile adım açısının küçük olması istenen yerlerde yarım adım uyartımı tercih edilir. Sistemin tepkisinin hızlı olması istenen yerlerde iki-faz uyartımı kullanılmalıdır. Fakat bu durumda enerji tüketimi iki katına çıkacaktır. Dolayısı ile enerji tüketiminin az olması istenen yerlerde tam adım modunu gerçekleştirmek için tek-faz uyartımı kullanılmalıdır (Kenjo, 1984).

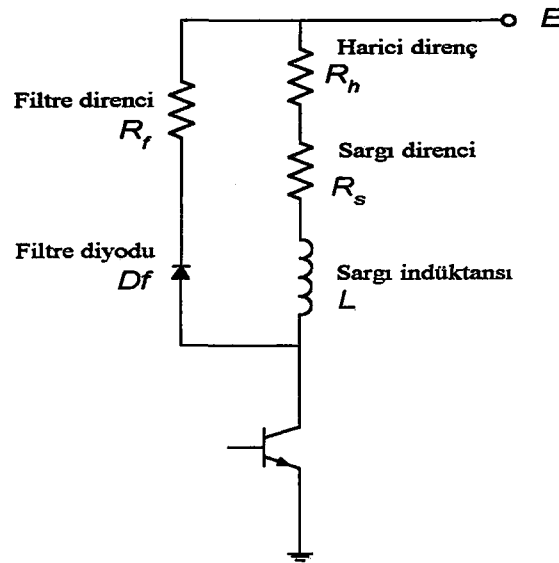
3. ADIM MOTORU SÜRÜCÜ SİSTEMLERİ

Transistör iletime geçip bir fazı uyardığı zaman güç kaynağı, sargı endüktansının etkisini yenmek zorundadır. Çünkü bu durumda sargı endüktansı akımın artmasına karşı koymaktadır. Anahtarlama frekansı artarken saykılın oluşma süresi uzun olur ve bunun sonucu olarak azalmış moment ve düşük tepki oluşur. Bu zamanı kısaltmanın ve moment karakteristiklerini yüksek hızlarda geliştirmenin pek çok metodu vardır. Burada bunlardan bazıları ana hatları ile açıklanacaktır.

3.1. Sürücü Devre Çeşitleri

3.1.1. Seri dirençli sürücü

Şekil 3.1' de gösterilen bu metod sargıya harici bir seri direnç bağlanarak gerçekleştirilir.



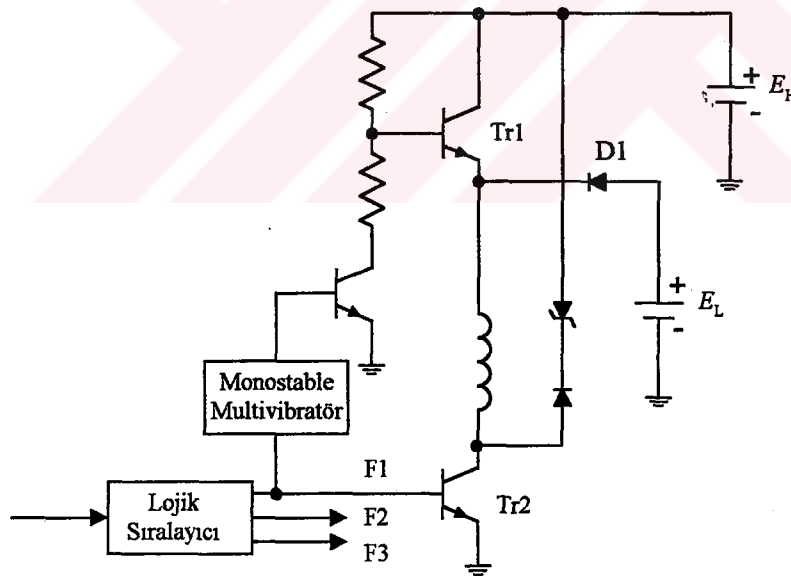
Şekil 3.1. Seri dirençli sürücü devresi

Devrenin L/R olan zaman sabitesi $L/(R_h+R_s)$ olarak azaltılır. Kararlı durum şartlarında sürücünün anma akımının sargılardan geçmesi için güç kaynağının E potansiyeli artırılır.

Seri direnç metodu çok basit olmasına rağmen, direnç üzerinde fazla güç kaybı oluşması bu sistem için bir dezavantajdır.

3.1.2. İki seviye gerilimli sürücü devre

Sürücünün güç kayıplarını azaltmak ve sürücünün performansını artırmak için iki gerilimli sürücü kullanılır. Sürücünün bir faz şeması Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



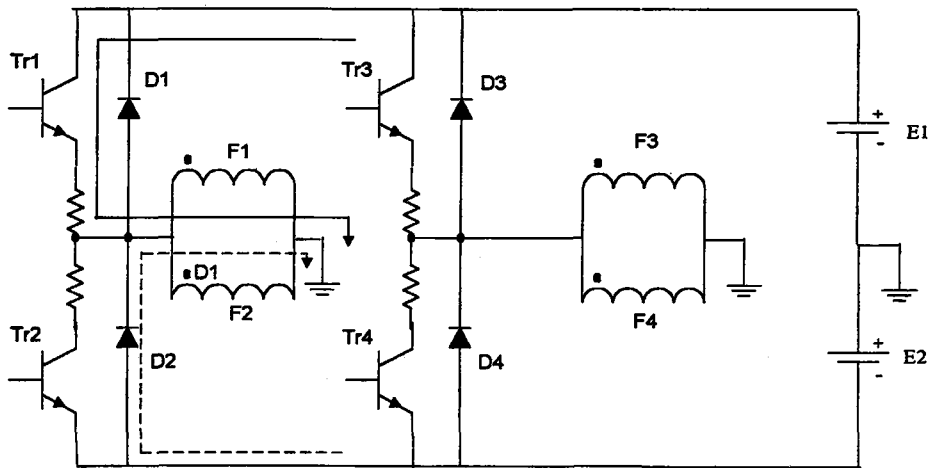
Şekil 3.2. İki gerilim seviyeli sürücü

Sıralayıcı tarafından adım-komut sinyali verildiğinde yüksek seviyeli gerilim faz sargısını enerjilendirecektir. Bu sinyal Tr1 ve Tr2 transistörlerinin ikisini de ilettime geçirecek ve daha yüksek olan E_H gerilimi sargıya uygulanacaktır.

Bu anda düşük gerilim kaynağı E_L , D1 diyotu vasıtası ile yüksek gerilim kaynağı E_H tan izole edilmiştir. E_H yüksek geriliminden dolayı akımın yükselmesi hızlı olur. Zaman sabitesi monostable multivibratör tarafından seçilir. Sargı akımı anma akımını az bir değerle aştığında, Tr1 transistörü kesime gider ve yüksek gerilim kaynağı devreden çıkar. Sargı akımı diyot üzerinden düşük gerilim kaynağı tarafından sağlanmaya başlar.

3.1.3. Köprü Sürücü

Her bir sargının sadece sınırlı zaman aralıklarında uyartılması yerine, bütün sargılar etkin momentin oluşumundaki gibi bir yolla daima uyartılırsa, motor verimi daha yüksek olur. Bu durum özellikle küçük motorlar için geçerlidir. 4-fazlı karışık yapılı motorun sürülmesinde 4 sargı sürekli uyartıldığından, bipolar sürücü bu motorlar için en iyi sürücüdür. Akımın sargıdan tek yönde geçtiği unipolar sürücü ile karşılaştırıldığında, momentte %20-%35 civarında iyileşme olmaktadır. Burada, motorun bipolar sürücüsü için iki adet güç kaynağı kullanılan temel köprü devresi gösterilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Köprü tipi sürücü devre

3.1.4. Kıyıcı tip sürücü

Kıyıcı veya darbe genişlik modülatörü ile yapılan sürücü devre oldukça düşük kayıplı ve yüksek hızlıdır. Bu tür bir devre Şekil 3.4' de gösterilmiştir. Adım motorunun akımı küçük değerli bir dirençle örneklenir. Ölçülen akım değeri istenen akım değerine ulaşana kadar artar. Eğer istenen akım değeri ile ölçülen akım değeri eşit ise motor sargılarındaki gerilim Şekil 3.4 (c) de görüldüğü gibi kare dalga şeklindedir. Ölçülen akım değeri istenen akım değerinden daha küçük ise işlemsel yükseltecin çıkışı eksi değerlidir. Buda Tr2 transistörünü kesime sokar. Bu durumda Tr1 iletimdedir ve akım istenen değere gelene kadar artar. Akım istenen değeri aşınca işlemsel yükselteç çıkışı artı olacak ve Tr1 transistörü kesime gidecektir.

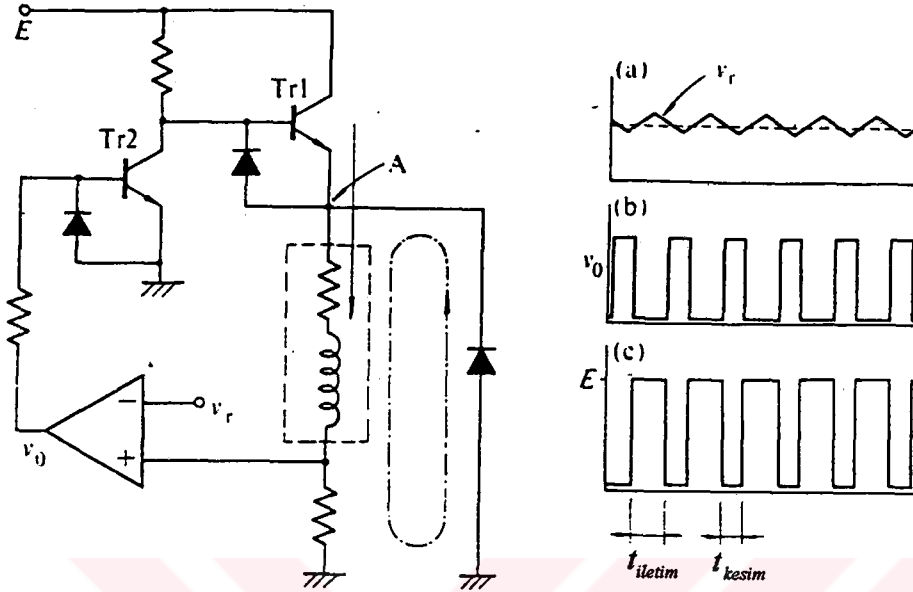
Bu devrede D1 diyotu, Tr1 kesime gittiği anda motor sarımları üzerinde bulunan akımı boşaltma görevi yapar.

Eğer anahtarlama frekansı 1-30 kHz arasında tutulursa, yük akımındaki AC bileşen oranı çok küçük olur. Motor sargılarına uygulanan gerilim;

$$E_y = E \times \text{zaman oranı} = E \times \frac{t_{iletim}}{t_{iletim} + t_{kesim}} \dots\dots\dots (3.1)$$

eşitliği ile sağlanır.

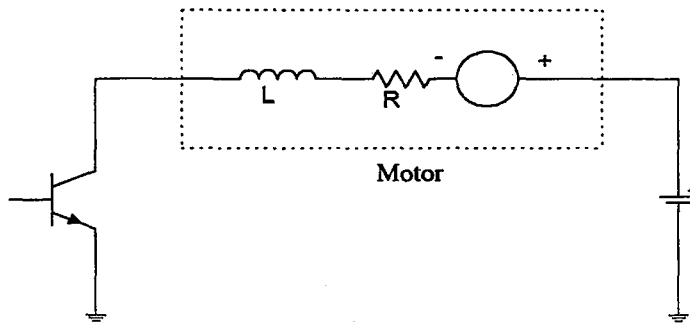
Kıyıcı tip sürücüler, düşük güç kayıpları, istenen akım değerine ayarlanabilmeleri ve tek besleme gerilimi gerektirmeleri nedeniyle tercih edilirler.



Şekil 3.4. Kırıyıcı tip sürücü

3.2. Sürücü Devrelerin Problemleri

Adım motoru sargısının endüktif olduğu ve seri bağlı bir sargı ile bir dirençten meydana geldiği bilinmektedir. Ayrıca, motor döndüğünde sargıda zıt emk oluşur. Sargının eşdeğer devresi Şekil 3.5' teki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.5. Adım motoru sargısının eşdeğer devresi

Güç sürücüsünün tasarımında; adım motorunun en kötü durum şartları, güç transistörleri ve kaynak gerilimleri ile bu devrelerin çeşitli davranışları gözönünde bulundurulmalıdır. Motor parametreleri imalat toleranslarından ve çalışma şartlarından dolayı değişmektedir. Adım motorları en küçük boyuttan en yüksek güç üretecek şekilde tasarlandığından gövde sıcaklığı 100°C ye kadar yükselebilir. Bu yüzden sargı direnç değerleri normal değerlerinden %20 ile %25 daha fazla olabilir.

3.2.1.Filtreler

Şekil 3.5' teki transistör kesime gittiğinde $L(di/dt)$ den dolayı yüksek gerilim oluşur ve bu gerilim transistörü bozabilir. Bu atlama gerilimini filtre etmek ve transistörü korumak için birçok metod vardır. Bunlar aşağıda gösterilmiştir.

3.2.1.1. Diyot filtresi

Eğer diyot Şekil 3.6(a)' daki polaritede sargıya paralel bağlanırsa, transistör kesime gittiğinde bir sirkülasyon akımı dolaşacak ve bu akım zamanla sönecektir. Bu devrede, kesim esnasında oluşan akımda büyük bir değişim yoktur ve kollektör potansiyeli, kaynak potansiyeli E ile diyotun potansiyelinin toplamı kadardır. Bu metod çok basittir. Fakat sirkülasyon akımının dikkate değer zaman aralıklarında sürmesi ve tutma momenti oluşturması bu sistemin dezavantajıdır.

3.2.1.2. Diyot/direnç filtresi

Direncin diyota seri olarak bağlandığı Şekil 3.6(b)' deki devrede sirkülasyon akımının sönümü daha hızlı olur.

Bu devrede kesim esnasında kollektöre uygulanan V_{CE} gerilimi;

$$V_{CE} = E + IR_f + V_{DF} \dots\dots\dots(3.2)$$

olur. Burada ;

E = Kaynak gerilimi

I = Kesimden hemen önceki akım

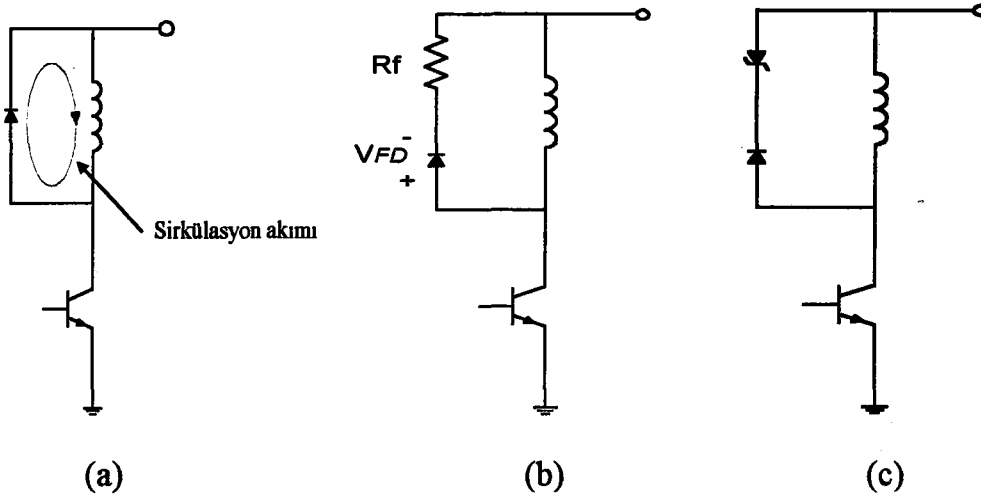
R_f = Filtre direnci

V_{DF} = Diyotun gerilimidir.

R_f direncinin daha büyük olması akımın sönümünü hızlandırır. Fakat yüksek kollektör potansiyeli oluşturur. Bu yüzden, hızlı sönüm için daha yüksek gerilim değeri gereklidir.

3.2.1.3. Zener diyot filtresi

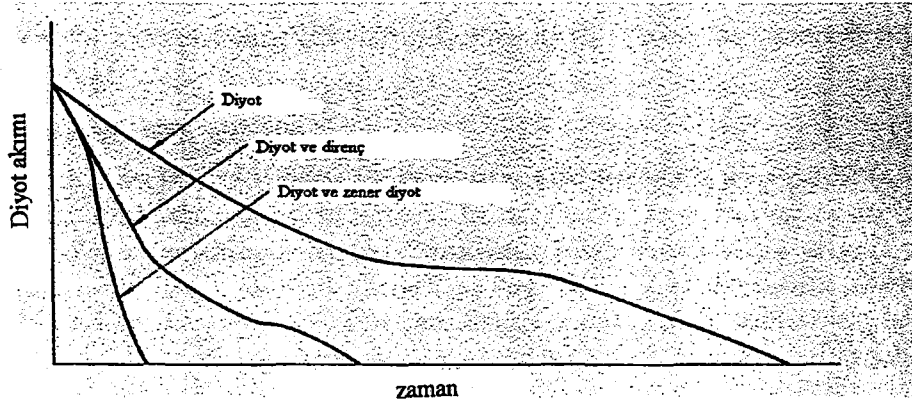
Zener diyotlar Şekil 3.6(c)' de görüldüğü gibi ana diyota seri bağlanılarak kullanılırlar.



Şekil 3.6. Filtre devreleri

a) Diyot filtresi b) Diyot/direnç filtresi c) Zener diyot filtresi

Bundan önce açıklanan iki sistemle karşılaştırıldığında bu sistemde kesimden sonraki akımın sönümü daha hızlı olur (Şekil 3.7).

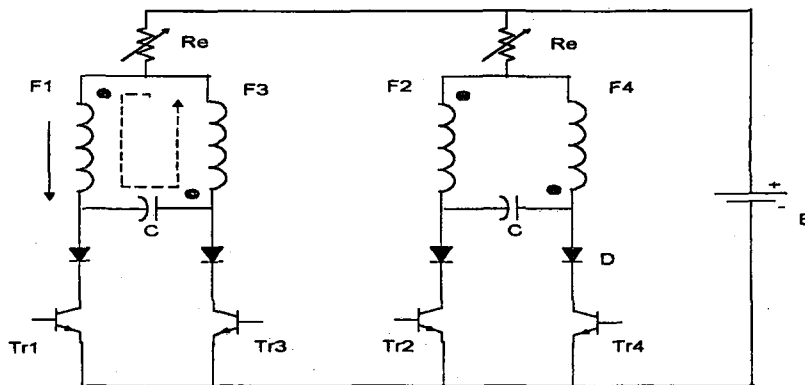


Şekil 3.7. Çeşitli filtre devrelerinin etkilerinin karşılaştırılması

Buna ek olarak bu metotta kollektöre uygulanan ve kaynak gerilimi ile zener diyot geriliminin toplamı olan gerilimin akımdan bağımsız olması maximum kollektör akımını sınırlı yapar.

3.2.1.4. Kondansatör filtresi

Bu sistem genellikle bifilar (iki sargılı) sarılmış motorlarda kullanılır. Açıklamalar Şekil 3.8 'deki 4-fazlı motor devresi için verilmiştir.



Şekil 3.8. 4-fazlı adım motoru için kondansatör filtresi

Kondansatörlerden biri Faz1 ve Faz3, diğeri de Faz2 ve Faz4 arasına konulmuştur. Transistör kesime gittiğinde transistörü korumak için kondansatör kendisine bağlı olan diyot yoluyla sargıdaki sönümlü akımı emer. Tr1 transistörünün kesime gittiğinden hemen sonraki durumu 1-fazlı modda inceleyelim. Tr2 veya Tr4 iletimde, Tr3 ise halen kesim durumundadır. Faz1 ve Faz3 sargıları bifilar olarak şekillendirildiğinden, geçici akım şekilde gösterildiği gibi noktalı kapalı devreden dolaşacaktır. Geçici sirkülasyon akımı sıfır olduğunda, Tr3 transistörü çalışıyorsa ve kondansatörde depo edilen yük maximum ise, pozitif akım Faz1 sargısından kolayca akabilir. Bu rezonans mekanizması sayesinde, bu sistemde akım daha etkili bir şekilde kullanılır. Bu durum iki-fazlı mod için de geçerlidir. Kondansatörlü filtre, adım oranını dar bölgelerde sınırlayan devreler için elverişlidir.

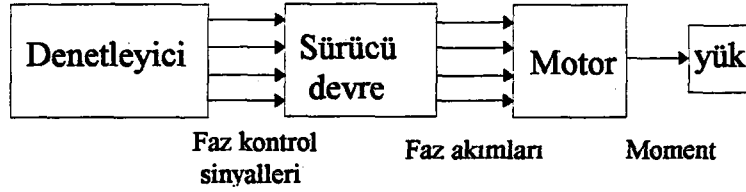
3.3. Adım Motorlarının Denetimi

3.3.1. Açık döngü denetimi

Herhangi bir devrenin tasarımında adım motorunun tipi ve sürücü devrenin seçimi adım motorunun hızını ve konum hatasını belirleyen iki temel unsurdur.

Şekil 3.9' da açık döngü denetim için blok diyagramı görülmektedir. Sayısal kontrol sinyalleri denetleyici tarafından üretilir ve sürücü devre tarafından yükseltilip adım motorunun sargılarına uygulanır. Eğer denetleyici olarak mikroişlemci veya bilgisayar kullanılırsa bu elemanların getirdiği esnekliklerden dolayı aynı denetleyici ile farklı adım motorları kontrol edilebilir. Kontrol edilecek adım motorları 3, 4 veya daha farklı faz sayısına sahip olabilir. Ayrıca kullanılacak uyartım metodu için tek-fazlı, iki-fazlı veya yarım adım uyartımlarından herhangi biri seçilebilir. Bu uyartım metotlarından

hangisinin kullanılacağı daha önce de açıklandığı gibi motorun kullanılacağı sisteme bağlıdır.

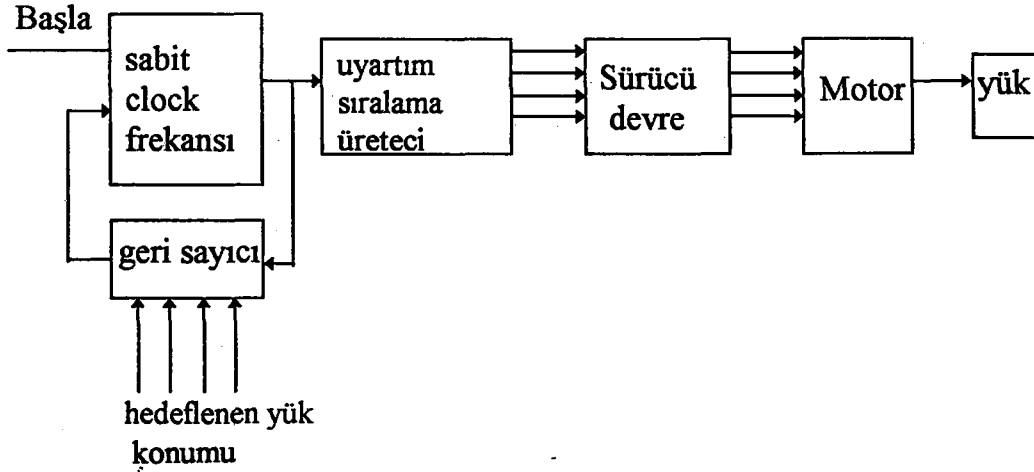


Şekil 3.9. Açık döngülü denetim

Denetleyici tasarlanırken motorun cinsi ve yükün durumu gözönünde bulundurulmalıdır. Bu sırada meydana gelen sınırlamalar kalıcı veya geçici durum sınırlamaları olabilir.

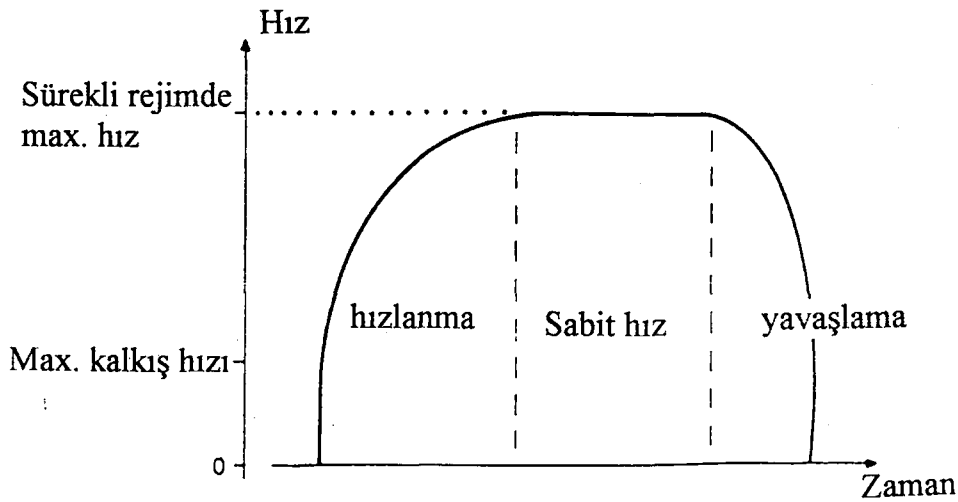
Açık döngülü denetimde motorun konumu bilinmediğinden dolayı motorun gönderilen bütün adım komutlarını yerine getirdiği varsayılmaktadır. Eğer uyartım hızı çok yüksek ise, motor adım komutlarından bir kısmını yerine getiremeyebilir. Bu durumda kalıcı bir hata meydana gelir. Bu tür hataların meydana gelmemesi için motor yükünün en büyük olduğu durum göz önüne alınarak hata yapılmayan en yüksek hız belirlenip, bu hızın üzerindeki hızlarda uyartım yapılmamalıdır.

Şekil 3.10' da açık döngülü denetimin bir diğer blok şekli görülmektedir. Burada motora, hedef konuma ulaşınca kadar adım komutu gelir. Sıralayıcı, faz sıralama sinyallerini değişmez sıklıkta saat sinyali şeklinde üretir. Saat sinyali BAŞLA komutu ile başlar, DUR komutu ile durur. İstenilen konum geri sayıcıya yüklenir. Uyartım sıralama devresine giden her sinyal geri sayıcıya da gönderilerek atılan adım sayısının bir azalmasını sağlar.



Şekil 3.10. Sabit adım oranlı açık döngü denetim

Motor hedefe ulaştığında geri sayıcı sıfırlanarak dur sinyali üretir. Değişmez sıklıklı clock sinyali çok hızlı adım komutu gönderirse motor ilk kalkınma anında yüksek hıza ulaşamayacağından adım hareketini kaybeder. Bu kaybın olmayacağı en büyük sıklığa Başlama Hızı adı verilir. Aynı şekilde yavaşlama sırasında bulunan sıklığa da Yavaşlama Hızı adı verilir. Adım motorunun bu hızları takip edebilmesi için saat sinyalinin sıklığı bu iki hızdan düşük olanına göre ayarlanır. Durdurma, başlatma ve yavaşlama hızlarına adım motorunun Hız Profili adı verilir. Şekil 3.11' de örnek bir Hız Profili eğrisi gösterilmiştir.

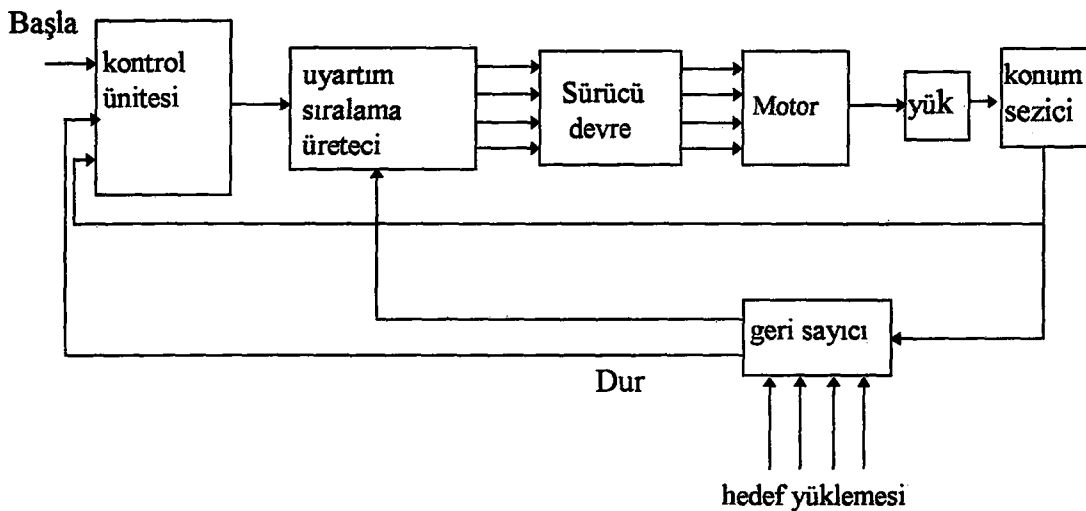


Şekil 3.11. Hız profili eğrisi

Adım motorunun Başlatma Oranı en büyük hızdan daha düşüktür. Bunun için adım motorunun birkaç adımda hız kazanması daha uygundur. Aynı şekilde yüksek hızdan düşük hıza geçişte de kademeli yavaşlama daha iyidir.

3.3.2. Kapalı Döngü Denetim

Kapalı döngü sistemlerde ani rotor konumu sezilerek denetim birimine iletilir. Her adım komutu için bir önceki komutun gerçekleştirildiği adım bilgisi alınarak uygulanır. Bu nedenle motor ile denetleyici arasında herhangi bir adım kaybı olmaz. Kapalı döngü denetime bir örnek Şekil 3.12' de gösterilmiştir. İlk olarak geri sayıcıya hedef konum yüklenir. Daha sonra başla komutu verilerek adım komutlarının sıralayıcıya uygulanması sağlanır. Adım komutlarına bağlı olarak motor adım hareketi yapmaya başlar. İlk adım tamamlanınca, konum sezici geri sayıcıyı ve denetim birimlerini uyarır ve geri sayıcı değeri bir azalır. Eğer bu denetim açık döngülü yapılırsa, geri sayıcı adım komutlarının sayısını yine saklar fakat komutun uygulanıp uygulanmadığı bilinmez.



Şekil 3.12. Adım motorunun kapalı döngülü denetimi

Konum sezici, denetim birimine yeni adım komutu üretimi için sinyal gönderir. Ağır yükler için adım komutları arası sürenin daha büyük olması nedeniyle adım komutlarının ard arda gelmesi istenmez. Yüke göre hız ayarlaması yapılır ve motor hedef konuma gelene kadar bu olaylar tekrarlanır. Adım motoru hedef konuma gelince denetim birimi dur komutu ile uyarılarak yeni adım komutu üretilmesi engellenir (Acamley and Gibbons, 1982).

Kapalı döngü sistemi, adım motorunu yük durumunu da göz önüne alarak uyarım sürelerini ayarlar ve en uygun hız profilinde çalıştırır.

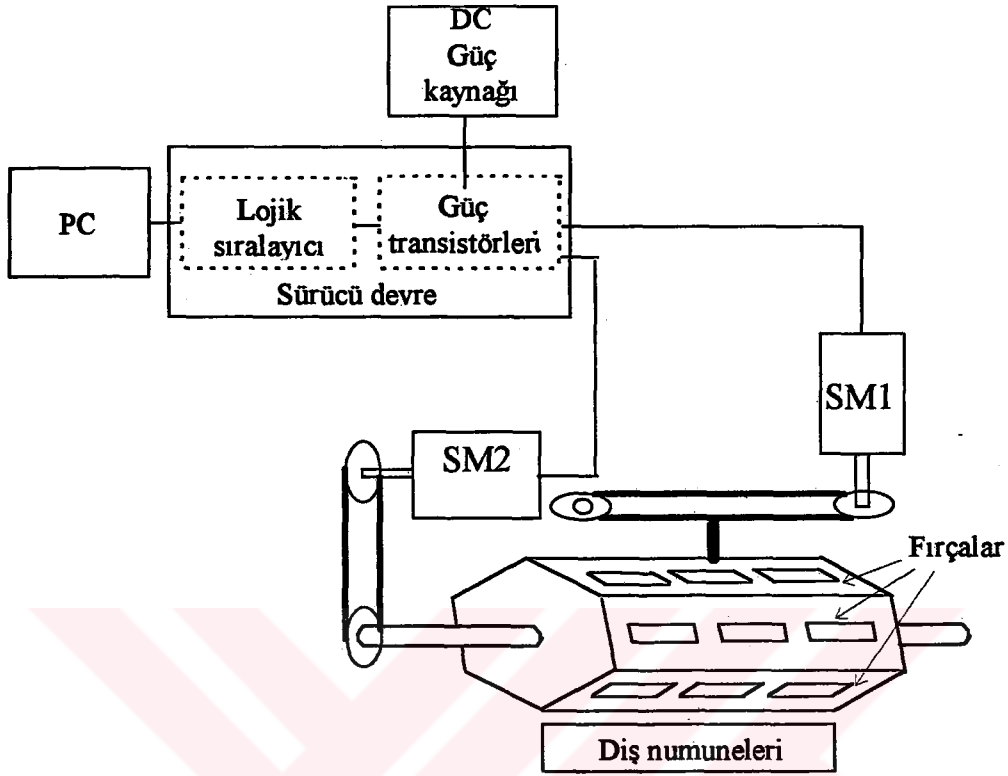
Adım motorunun kapalı döngü ile denetlenmesi sırasında aşağıdaki sorunlarla karşılaşılır;

- a) Konum sezilmesinde optik sezici kullanıldığından sistem oldukça pahalıdır.
- b) Adım motoruna adım komutu gönderilmesi ile adım komutunun uygulanması arasında bir zaman farkı bulunur. Motorun hızına ve yük durumuna bağlı olarak değişen bu farka Anahtarlama Açısı denir.
- c) Yavaşlama için gerekli adım sayısı yüke göre değişir. Eğer yük koşulları ağır ise yavaşlama için gerekli adım sayısı daha fazla olacaktır (Acamley, 1992).

4. SİSTEMİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu çalışmanın amacı, insan elinin diş fırçası ile diş yüzeyine uyguladığı hareketlerin bir bilgisayar yardımı ile yapılmasıdır. Bu hareketler çok hassas olarak çalışma yeteneğine sahip adım motorları yardımı ile yerine getirilmiştir (Aker and Sorenson, 1980). Adım motorları açısal olarak hareket ettikleri için hareket aralığı, sargılara gönderilen sinyal sayısı kadar olur. Böylece adım açısına ve gönderilen sinyal sayısına bağlı olarak çok küçük yerlerde istenilen hareketler elde edilmiş olur. Adım motorlarının uygun olarak çalışması için sargılara gönderilecek sinyallerin de uygun bir şekilde üretilmesi gerekir. Çünkü motor gelen sinyale göre istenilen yönde istenilen adım açısı kadar hareket eder. Dönüş yönü, yön girişinin lojik durumu tarafından belirlenir. Lojik-1 saat ibresi yönü, lojik-0 ise saat ibresinin tersi yönüdür. Lojik sıralayıcının bazı uygulamaları tek yönlü olup, yön sinyal terminali yoktur. Eğer hareket bir artırılırsa, bir adım meydana getirilir (Morse,1982). Fakat artış iki veya daha fazla adımla oluşturulursa, lojik sıralayıcıdan önce diğer bir katta üretilen sinyallerin uygun bir şekilde yönlendirilmesi gerekir. Bu çalışmada gerekli fonksiyonlar bilgisayarın kendi işlemcisi kullanılarak sağlanmıştır.

Gerçekleştirilen sistemin blok diyagramı Şekil 4.1' de gösterilmiştir. Adım motorları, üzerine fırçaların yerleştirildiği mekanik sistemi hareket ettirmektedir. Her bir adım motoru için bir sürme devresi tasarlanmıştır. Sürücü devre kendisine gerekli olan enerjiyi güç kaynağından almaktadır. Bilgisayar ise adım motorlarının istenen yön, adım ve hızda hareket etmesi için gerekli olan sinyalleri üreterek motorların kontrolünü sağlamaktadır.



Şekil 4.1. Dış fırçalama mekanizmasının blok diyagramı

4.1. Mekanik Sistem

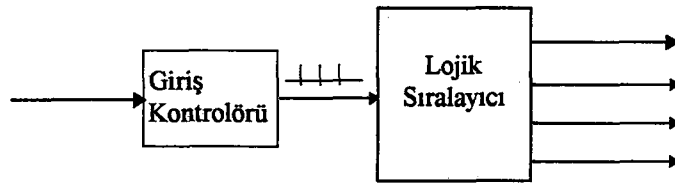
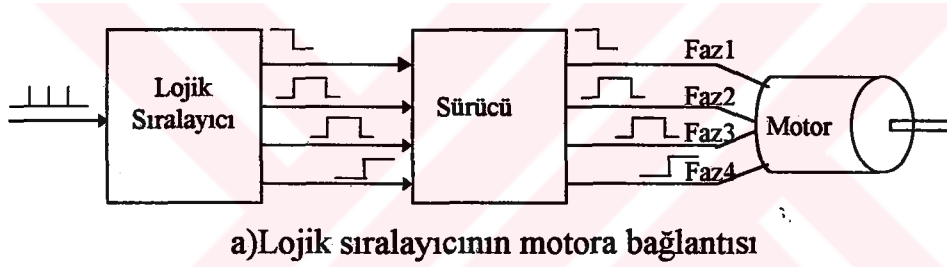
Gerçekleştirilen sistemin mekanik kısmında fırçaların konumlandırılması için altıgen şeklinde bir blok kullanılmış ve altı adet yüzey elde edilmiştir. Her bir yüzeye üç adet diş fırçası yerleştirilmiştir.

Fırçalama işlemi için fırçalanacak diş numuneleri bir blok içerisinde uygun diş ortamı sağlanarak fırçalama ekseninin altına monte edilmiştir. Diş numuneleri her yüzeyde üç adet fırça ile fırçalanmakta olup toplam 18 adet fırça kullanılmıştır. Bir yüzey fırçalama işlemini istenen sayıda yaptıktan sonra ilerlemekte, diğer yüzey fırçalama işlemi için fırçalama düzlemine gelmektedir. Normal diş fırçası hareketlerini elde edebilmek için mekanik

sistem adım motorları yardımı ile, X-Y düzleminde 4 yönde (yukarı-aşağı, sağa-sola) hareket ettirilmektedir. X düzlemindeki hareketleri SM1 adım motoru, Y düzlemindeki hareketleri de SM2 adım motoru gerçekleştirmektedir. SM2 aynı zamanda yüzey değiştirme işlemini de yapmaktadır.

4.2. Sürücü Sistemi

Buradaki sistemde adım motorları için geliştirilen sürücü devrenin blok diyagramı Şekil 4.2' deki gibidir. Bu çalışmada kullanılan adım motorları 4- fazlıdır. Şekil 4.2.a' da motorun lojik sıralayıcısı, Şekil 4.2.b' de ise giriş kontrolörü gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Adım motoru sürücü sisteminin blok diyagramı

Blok diyagramdaki bölümler genellikle TTL veya CMOS entegrelerden oluşturulur.

4.2.1. TTL (Transistor Transistor Lojik)

TTL entegre devreler Diyot-transistör mantığına(DTL) göre çalışan entegrelerin gelişmiş şeklidir. DTL entegrelerindeki giriş diyotunun yerini çok emiterli bir giriş transistörü almıştır. Günümüzde en çok kullanılan dijital entegre gurubudur.TTL ile ilgili önemli bazı bilgiler şunlardır.

TTL gurubu entegreler 74xx ve 54xx' lü sayılarla kodlanır. Daha çok kullanılan 74xx serisi entegrelerdir. 54xx serisi askeri amaçlıdır. 74xx serisi 0 °C ile 70 °C arasında çalışan TTL entegre guruplarını gösterir. 54xx serisi ise -55 °C ile +125 °C arasında çalışan TTL entegre guruplarını gösterir. Bir TTL entegrenin hangi alt guruptan olduğunu 74 veya 54 sayılarından sonra gelen harfler belirtir.

74xx ve 54xx sayılarıyla kodlanıpta TTL alt guruplarına dahil edilmeyen entegrelerde vardır. 74C00, 74HC00, 74HCT00 gibi. Bunlar National firması tarafından üretilmiş olan CMOS entegrelerdir. Bu entegreler daha geniş gerilim aralıklarında çalıştığından bu çalışmada 74HC serisi entegreler kullanılmıştır. Bu entegrelerin kodlarına göre çalışma gerilimleri değişmektedir. Bu değerler aşağıda gösterilmiştir.

<u>Entegre kodu</u>	<u>Çalışma gerilimi</u>
74C(54C)	3-15 V
74HC(54HC)	2-6 V
74HCT(54HCT)	5 V $\pm$ %25

Lojik kapıların giriş işaretlerine göre sürekli işaret değiştirmesi besleme kaynağından çekilen akımı da değiştirmektedir. Bu durum kapı devresinin her konum değiştirmesinde bir akım darbesine sebep olur. Bu akım darbeleri gürültü oluşturacağından devrenin çalışmasına etkileyecektir (Bayram, 1990).

Bu etkileri ortadan kaldırmak için değeri $0.01\mu\text{F}$ ile $0.1\mu\text{F}$ arası olan kaliteli disk kondansatörler kullanılır. Bu çalışmada her entegrenin besleme ucu ile şasesi arasına 100nF değerinde kondansatörler kullanılmıştır.

TTL entegreler için giriş gerilimi; 0 girişi için 0.8 V tan küçük, 1 girişi için 2V tan büyük olmalıdır.

Aynı entegreler için çıkış gerilimi; 0 çıkışı için en fazla 0.4V , 1 çıkışı için en az 2.4 volt tur.

Bir TTL lojik kapı çıkışına aynı cinsten en fazla 10 adet lojik kapı girişi bağlanabilir. TTL alt gurubundan bir lojik kapı diğer bir alt guruptaki lojik kapıyla yüklenebilir (Halkias, 1983).

Eğer bir kapıda kullanılmayan giriş varsa bu girişte belirlenmemiş bir lojik seviye vardır. Gürültü etkileri nedeniyle bu giriş lojik 1 veya lojik 0 durumundadır. Bu belirsiz durum istenmeyen olaylara sebep olabilir. Bu nedenle kullanılmayan kapı uçları kullanılan diğer girişlerine veya şaseye bağlanmalıdır.

Eğer bir giriş sürekli 0 seviyesinde tutulmak isteniyorsa en kısa yoldan şaseye bağlanmalıdır. 1 seviyesinde tutulmak isteniyorsa $1\text{ K}\Omega$ luk direnç üzerinden $+V_c$ ye veya çıkışı sürekli 1 seviyesinde kalan başka bir kapının çıkışına

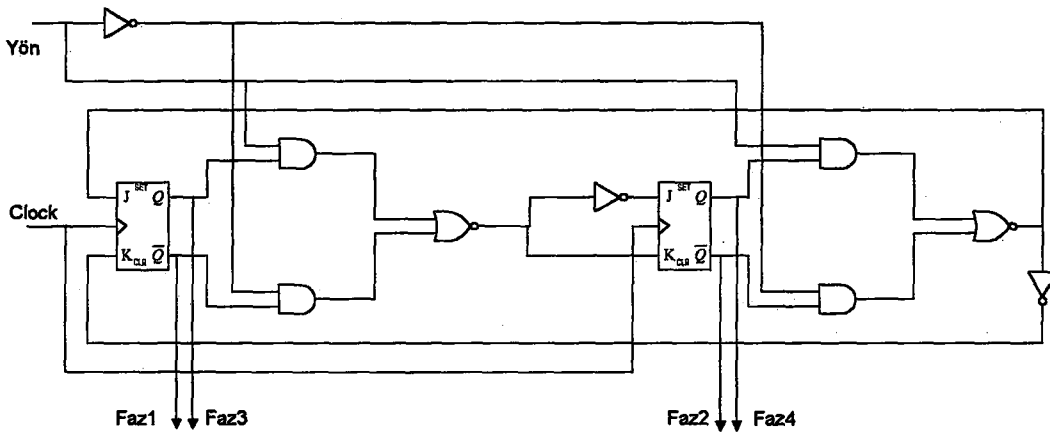
bağlanmalıdır. Bu çalışmada kullanılmayan girişler çıkışı sürekli 1 seviyesinde olan diğer girişlere bağlanmıştır.

Bir entegrede kullanılmayan kapı varsa güç kaybını azaltmak için bu kapının çıkışını 1 seviyesinde tutmak gerekir (Bayram, 1990).

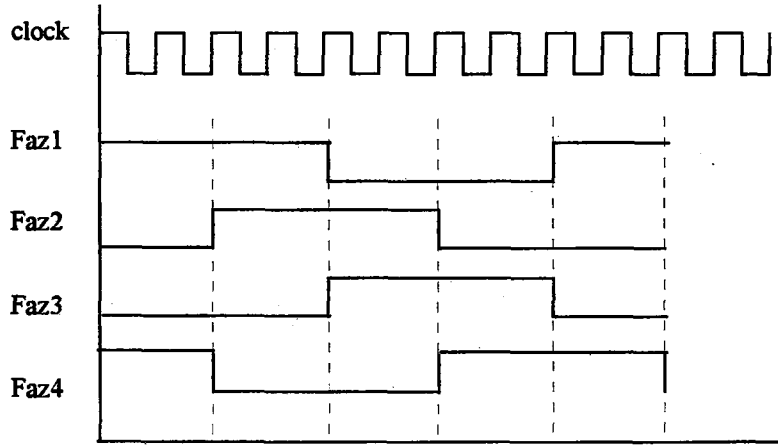
4.2.2. Lojik Sıralayıcı

Bu sistemde lojik sıralayıcı giriş kontrolöründen aldığı sinyali faz sayısına uygun sıralayarak motorun dönmesini sağlar. Sıralayıcı genellikle shift-register, NAND (ve değil), NOR(veya değil), NOT(değil) gibi lojik kapılardan oluşturulur. Özel amaçlı sıralayıcı için, J-K flip flop entegreleri ve lojik kapıların uygun kombinasyonları uygulanabilir.

J-K flip-flop ve çeşitli lojik kapılar kullanılarak elde edilen sıralama devresi Şekil 4.3’de ve bu devrenin ürettiği sinyaller Şekil 4.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 4-fazlı adım motoru için lojik sıralayıcı



Şekil 4.4. Lojik sıralayıcının ürettiği sıralama

4.2.3. Sürücü devre

Bir adım motorunu sürmek için tasarlanan sürücü devre Şekil 4.5' te gösterilmiştir.

Kullanılan adım motorları 4-fazlı karışık yapılı (Hybrid) adım motorları olup tam-adım ve her adımda iki faz uyarımlı olacak şekilde sürülmektedir. Sargıların uyarımı için her faza darlington çifti ve koruma diyotu içeren güç transistörleri kullanılmıştır. Motorların çalışması için gerekli olan enerji DA güç kaynağından sağlanmaktadır. Normalde 4-fazlı motorun sürülmesi ve fazların sırayla enerjilenmesi için mikroişlemci yada bilgisayardan 4-bitlik sinyal elde etmek gerekmektedir. Bu çalışmada ise fazların sıralanması lojik sıralayıcı kullanılarak sağlanmıştır. Böylece her bir motor için 4-bitlik çıkış yerine 2-bitlik bilgi yeterli olmaktadır. Lojik sıralayıcının sıralama yapması için bir clock sinyaline bir de yön sinyaline gerek olduğundan bu çalışmada toplam 4-bitlik bilgi elde edilmiştir. Bilgisayarın yön sinyali çıkışı 1 seviyesinde ise motor ileri, 0 seviyesinde ise geri yönde dönmektedir.

Lojik sıralayıcının fazları sıralaması ileri yön için Çizelge 4.1 'de, geri yön için ise Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. İleri yön için faz sıralaması (CW)

Adım	1	2	3	4	5
Faz1	1	0	0	1	1
Faz2	1	1	0	0	1
Faz3	0	1	1	0	0
Faz4	0	0	1	1	0

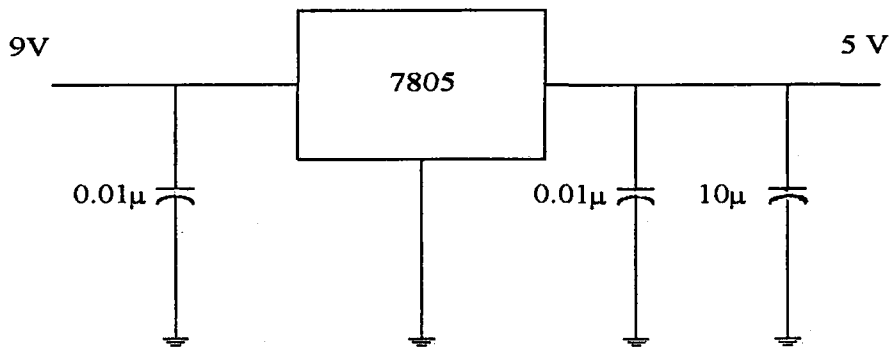
Çizelge 4.2. Geri yön için faz sıralaması (CCW)

Adım	1	2	3	4	5
Faz1	0	0	1	1	0
Faz2	0	1	1	0	0
Faz3	1	1	0	0	1
Faz4	1	0	0	1	1

4.2.4. Sürücü devre elemanları

4.2.4.1. 7805 gerilim regülatörü

Tasarlanan sürücü devrelerinin güç kaynağı gerilimi 9 voltur. Fakat kullanılan entegreler için 5 voltluk gerilim gerekmektedir. Bu gerilimi elde etmek için sürekli 5 voltluk çıkışa sahip olan 7805 entegresi kullanılmıştır. Bu entegrenin bağlantısı devresi Şekil 4.6' da verilmiştir. Giriş ve çıkışa konulan kondansatörler gerilimi filtre etmek amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 4.6. 7805 Gerilim regülatörü

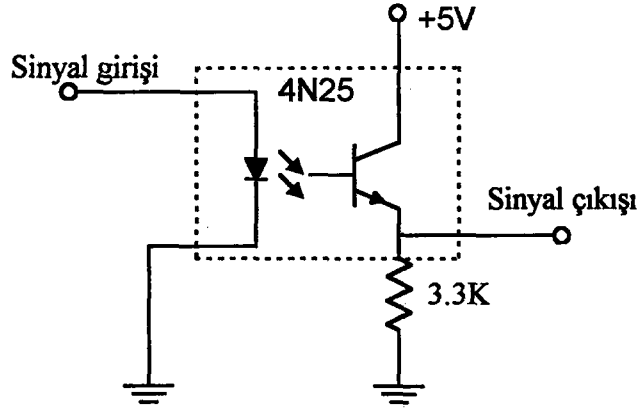
4.2.4.2. 4N25 Opto izolatörü

Bilgisayar ile motor kontrol işlemi yapılırken sürücü katında, motorlarda veya beslemede meydana gelebilecek herhangi bir arızadan bilgisayarın zarar görmemesi için tampon devreye ihtiyaç duyulmaktadır. Opto izolatörlerin çalışması verici alıcı esasına dayanır. Opto izolatörün iç yapısında bulunan led bir verici olarak foto transistör ise alıcı olarak kullanılır. Alıcı olarak kullanılan elemanların duyarlılığı, verici olarak çalışan elemanların emisyon spektrumunun içerisinde kalmalıdır (Çetin, 1987).

Kontrol devrelerinde genellikle kontrol katı ile güç katının birbirinden yalıtılması gereklidir. Bu yalıtma işleminde en çok opto izolatörler kullanılır. Kuplaj ve topraklama sorunu olmaksızın iki ayrı devrenin bir arada çalıştırılması opto izolatörlerle sağlanmaktadır.

Opto izolatör bir led ve buna bağlı olarak çalışan foto transistörden oluşmuştur. Led üzerinden bir akım geçtiğinde led ışık verir ve bu ışığın etkisiyle foto transistör iletime geçer. İletim ışık etkisiyle gerçekleştirildiği için herhangi bir arıza durumunda devreler arasında herhangi bir elektriki bağlantı olmaz. Böylece güç devresinde oluşacak bozulmalardan bilgisayar etkilenmeyecektir.

Bu çalışmada 4N25 opto izolatörü kullanılmıştır. Kullanılan 4N25 opto izolatörünün iç yapısı Şekil 4.7' de gösterildiği gibidir. Girişine sinyal uygulandığında fototransistör iletime geçerek girişteki sinyali çıkışa aktarmaktadır. Bu çalışmada bilgisayardan elde edilen hem clock hem de yön sinyalleri güç devresine opto izolatörden geçirilerek uygulanmıştır.



Şekil 4.7. 4N25 opto izolatörünün iç yapısı

4.2.4.3. Transistörler ve diyotlar

Burada kullanılan BDX53 tipi transistörler darlington bağlı transistörler ve bypass diyotu içermektedir.

Sargının enerjisi kesildiğinde sargıdaki akımın transistöre zarar vermemesi için sargılara ters paralel 1N4001 diyotları kullanılmıştır. Sargının akımı kesildiğinde akım diyot üzerinden dolaşarak transistöre zarar vermemektedir.

4.3. Bilgisayar Programı

Sistemin çalışması, kontrolü ve istendiğinde sistemin bazı parametreleri değiştirilerek çeşitli deneylere imkan vermesi için gerekli olan bilgisayar programı C programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir.

4.3.1. Bilgisayar ortamından dış ortama bilgi aktarımı

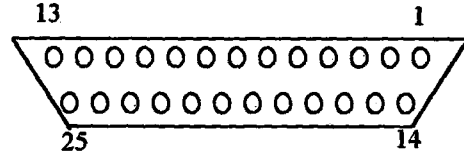
Sistemde acil bir çıkış birimi ihtiyacı doğması halinde yapılması gereken, bir yazılım ile paralel portu kullanmaktır. Paralel port kişisel bilgisayarlarda (PC) standart olarak bulunduğundan, ek bir donanım gerektirmeden dış ortama bilgi aktarımı kolayca yapılabilir. Bunun için özellikle bilinmesi gereken paralel portun bacak bağlantılarıdır. Çizelge 4.3' de paralel portun bacak bağlantıları verilmiştir.

Çizelgeye bakıldığında koyu renkli bacak numaraları çıkış uçlarıdır. Portun 2-9 numaralı bacakları bilgilerin aktarılacağı uçlardır. Geriye kalan bir şase ucu temin edilerek bağlantının tamamlanmasıdır. Bu çalışmada bilgi için 2, 3, 4, ve 5 nolu uçlar, şase olarak ta 18 nolu uç kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. Paralel port bacak bağlantıları

Bacak	Sinyal	Bacak	Sinyal
1	strobe	10	bilgi
2	D0	11	meşgul
3	D1	12	kağıt yok
4	D2	13	select in
5	D3	14	otomatik besleme
6	D4	15	hata
7	D5	16	başlangıç
8	D6	17	select-out
9	D7	18-25	şase

PC' lerde en çok kullanılan 25 bacaklı paralel portun görünüşü Şekil 4.8' de gösterilmiştir. Buradaki veri uçları kullanılarak ilgili devre sürülebilir (80486 Mainboard User's Guide).



Şekil 4.8. Paralel portun karşıdan görünüşü

Son olarak çıkış yapabilmek için gereken yazılım programı ve portun adresi gereklidir. Port adresi bilgisayar açılırken ekrana gelmektedir. Paralel portun adresi 0×378 dir. Bu çalışmada kullanılan C programlama dilinde paralel porta bilgi göndermek için kullanılan komut Outport ve Outportb komutlarıdır. Outportb komutu bir byte, outport komutu ise bir word büyüklüğünde bilginin çıkışa aktarılmasını sağlar (Lafare, 1988).

Kullanılan outportb komutunun dizilimi şu şekildedir.

outportb(adres değeri, yazılacak bilgi);

Bu çalışmada elde edilen bilgiler paralel porta aktarılmıştır.

Paralel porta bilgi aktarmak için;

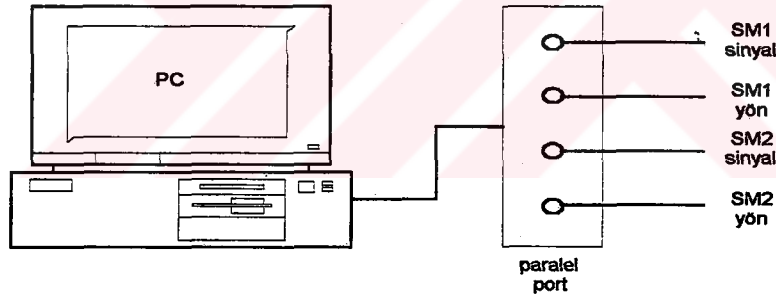
outportb(0×378 , sinyal)

fonksiyonu kullanılmıştır. Sinyal tanımlaması içinde iki motorun clock ve yön sinyallerinin bilgisi mevcuttur.

Gönderilen bilgiler paralel portun bacaklarında lojik 1 veya 0 değerlerinin gözlenmesine neden olacaktır. Burada (0) 0V, (1) ise 5V anlamına gelmektedir. Daha sonra elde edilen bu gerilimlerle, istenilen herhangi bir elektronik devre güç anahtarları kullanılarak rahatça sürülebilir.

4.3.2. Paralel porta gönderilen sinyaller

Motorların çalışması için gerekli olan sinyallerin elde edilmesi bilgisayarın kendi işlemcisi ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen çıkışlar bilgisayarın paralel port adresine (0x378) gönderilerek motorun kontrolu sağlanmıştır. Bilgisayarın paralel portuna her motor için bir clock sinyali, bir de yön sinyali gerektiğinden iki motor için toplam 4 bitlik bilgi gönderilmiştir. Gönderilen bilgiler Şekil 4.9' da görülmektedir.



Şekil 4.9. Bilgisayardan elde edilen sinyaller

4.3.3. Yazılım programı

Bu çalışmada adım motorlarının hızını kontrol etmek için gerekli olan frekans değiştirme işlemleri için C programlama dilinin zaman fonksiyonları kullanılmıştır.

Kullanılan motorun adım açısı $\theta_s = 1.8^\circ$ olduğundan bir devirlik hareket için motor sargılarına adım sayısı S kadar sinyal göndermek gerekir.

$$S = 360 / 1.8 = 200 \dots\dots\dots (4.1)$$

Buradan devir sayısının ifadesi

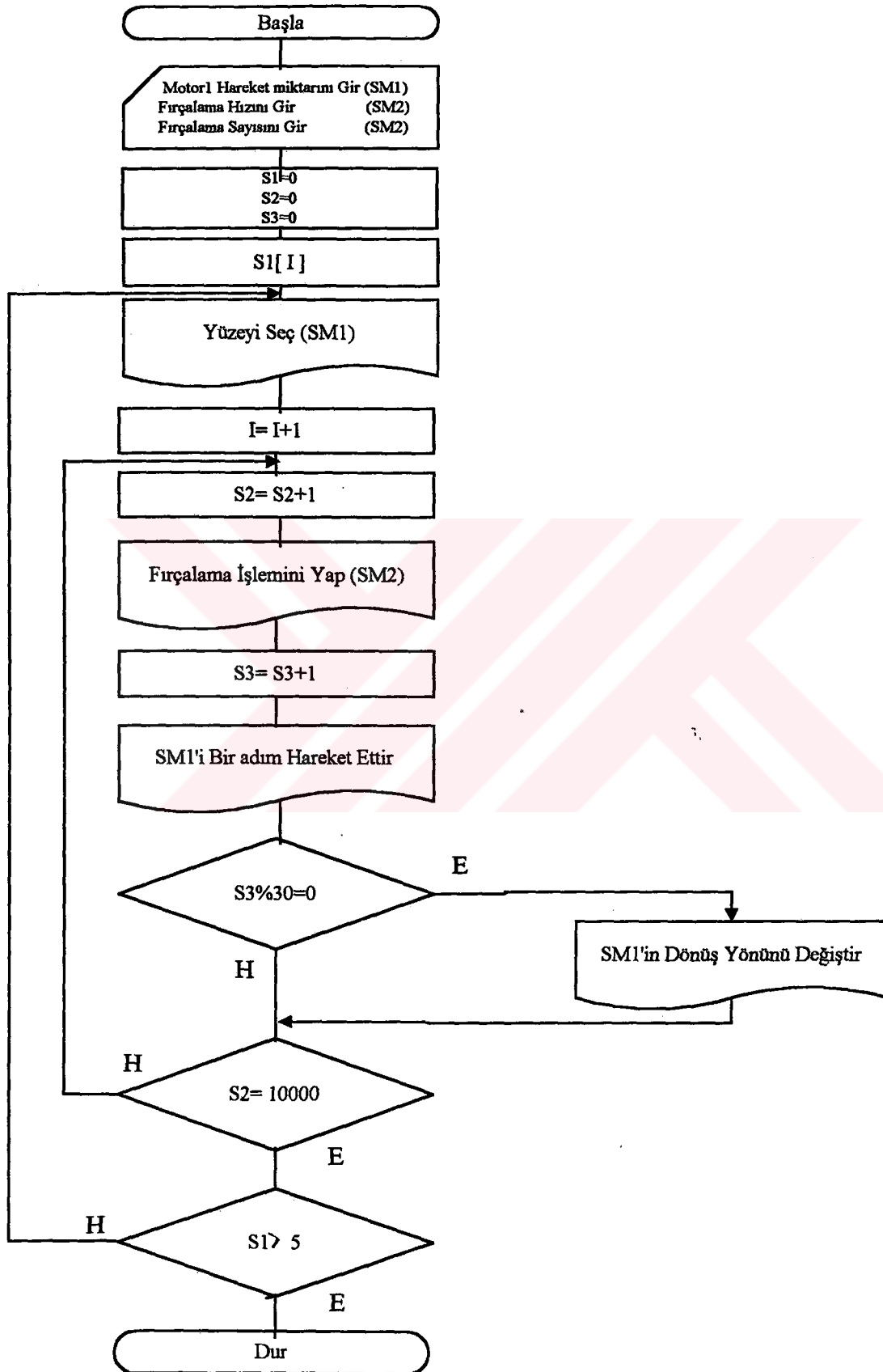
$$n = 60 \times f / S \dots\dots\dots (4.2)$$

olduğundan motorun hızı frekans değiştirilerek ayarlanabilir. Frekans ise bilgisayardan elde edilen saat sinyalinin periyodu ayarlanarak kontrol edilir.

Kullanılan fonksiyonun prototipi aşağıdaki gibidir.

```
int main(void)
{
clock_t start,end;
start=clock();
delay(1000);
end=clock();
printf ( "The time was: " "%f\n, (end-start)/CLK_TCK);
return
}
```

Hazırlanan yazılım programının akış diyagramı da Şekil 4.10' da gösterilmiştir



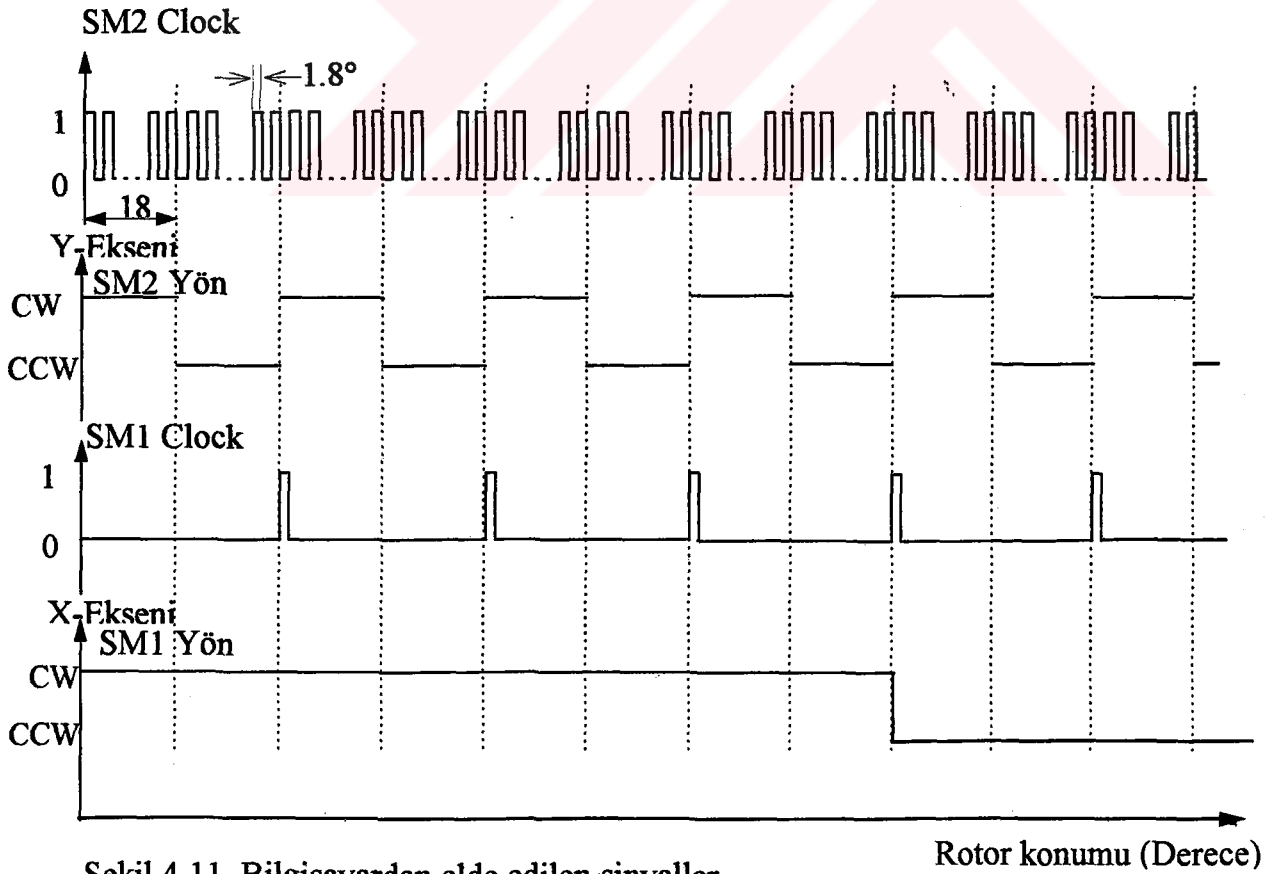
Şekil 4.10. Yazılım programının akış diyagramı

SM2, bilgisayar ile kontrol edilerek mekanizmanın hem Y düzlemindeki aşağı-yukarı hareketi, hem de yüzey değiştirme hareketi yerine getirilir. SM2 motoru mekanizmayı 18° lik açılarla aşağı-yukarı hareket ettirirken, programdaki iç içe döngüden dolayı SM2 motorunun her hareketi için SM1 bir adım hareketi yapmaktadır. Böylece dış yüzeyine uygulanacak hareket homojen ve kontrollü bir şekilde sağlanmış olur. Ayrıca SM1' in de X eksenindeki ileri-geri hareketi kendi yön sinyali yardımı ile elde edilmektedir. Sistem bu hareketi düzenli bir şekilde yapmakta ve her motor kendi ekseninde hareketlerini devam ettirmektedir. Programda mevcut olan bir yüzeyin fırçalama sayısına (bu çalışmada her yüzeyin fırçalama sayısı 10000 olarak seçilmiştir) ulaşıldığında SM2 motoru 18° yerine 60° hareket ederek başka bir yüzeyin fırçalama eksenine gelmesini sağlamaktadır. Burada 60° hareket etmesi 360° lik bir dönüşün altıgenin kenar sayısına bölümü sonucudur. Bütün yüzeylerin fırçalama işlemi sırayla yapıldıktan sonra sistem program tarafından durdurulmaktadır.

4.3.4. Bilgisayardan elde edilen sinyaller

Sistemin kontrolü için yukarıdaki akış diyagramına göre yazılım programı geliştirilmiş ve motorların istenilen hareketleri yapabilmesini sağlamak amacıyla her motor için bir yön bir de clock sinyali elde edilmiştir. Elde edilen sinyallerin birbirlerine ve zamana göre durumları Şekil 4.11' de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi SM2 motorunun 18° lik ileri-geri hareketi yapabilmesi için elde edilen clock sinyali ikiye bölünmüştür. Böylece SM2 motoru ileri yönde istenen hareketi yaptıktan sonra, geri yönde aynı miktardaki hareketi yapmaktadır. SM2 motorunun ileri hareketi için bu motorun yön sinyali 1 değeri, geri yöndeki hareketleri içinde 0 değeri gönderilmektedir. Bu hareketler sırasında SM1 motoru için sinyal gönderilmediğinden motor

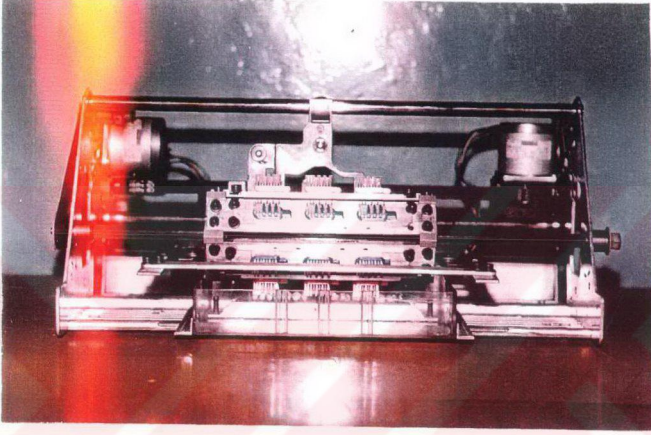
denge konumundadır. SM2 motoru bir ileri-geri hareketi tamamladığında SM1 motoru için bir adımlık sinyal elde edilerek motorun X ekseninde adım atması sağlanmaktadır. Bu anda SM1 motorunun yön sinyali için 1 değeri üretildiğinden motor bu hareketleri ileri yönde yapmaktadır. Bu hareketler düzenli bir şekilde devam edip SM1 motorunun istenilen hareket mesafesine ulaşıldığında SM1 motorunun yön sinyali için 0 sinyali üretilerek motorun X eksenindeki adım hareketlerini geri yönde yapması sağlanmaktadır. Bu sinyaller bir yüzeyin fırçalama sayısına ulaşıncaya kadar yukarıda anlatıldığı şekilde tekrarlanarak üretilmektedir. Bir yüzeyin fırçalama sayısına ulaşıldığında SM2 motorunun yüzey değiştirme işlemi yapması için clock sinyali üretilmektedir. Yüzey değiştirme işlemi sürekli olarak aynı yönde yapılacağından SM2 motorunun bu hareketi için yön sinyaline ileri yön sinyali yani 1 bilgisi gönderilmektedir.



Şekil 4.11. Bilgisayardan elde edilen sinyaller

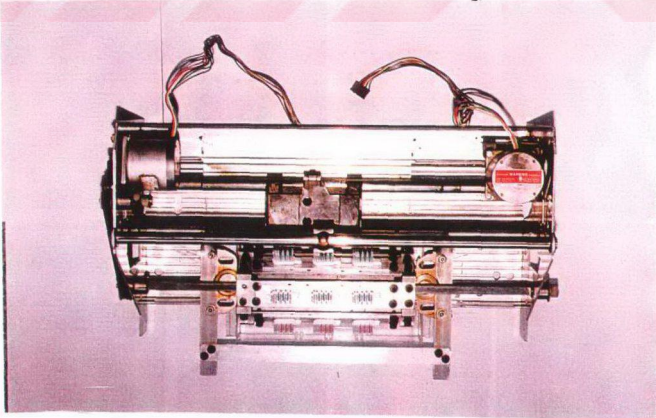
4.4. Deneysel Sonuçlar

Şekil 4.12' de gerçekleştirilen sistemin mekanik kısmının karşıdan görünüşü
Şekil 4.13' te de üstten görünüşü gösterilmiştir.



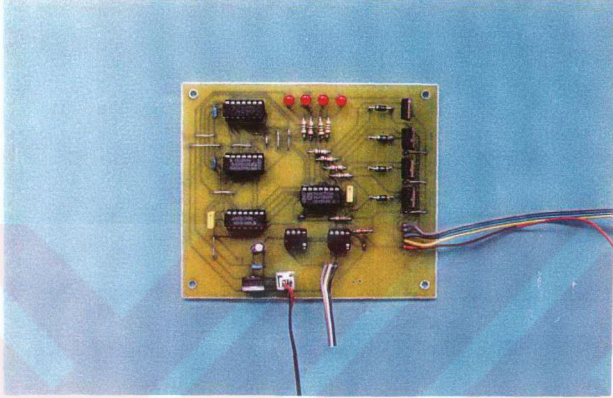
T.C. YÜKSEK
OKULU
DOKÜMAN MERKEZİ

Şekil 4.12. Gerçekleştirilen sistemin mekanik kısmının karşıdan görünüşü



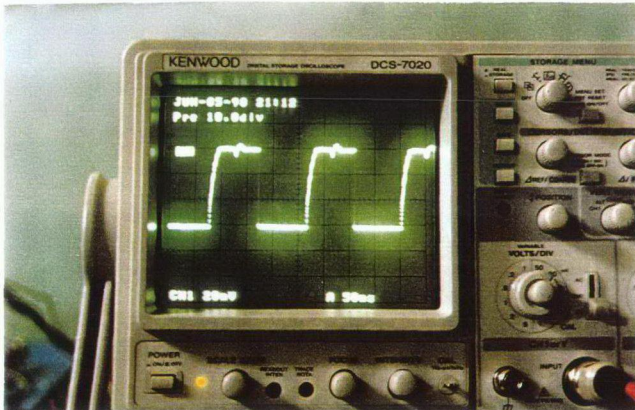
Şekil 4.13. Gerçekleştirilen sistemin mekanik kısmının üstten görünüşü

Mekanik kısmın üzerinde bulunan adım motorları için aynı özelliklere sahip iki adet sürücü devresi kartı hazırlanmıştır. Şekil 4.14' te bir adım motoruna ait sürücü devresi kartı verilmiştir.



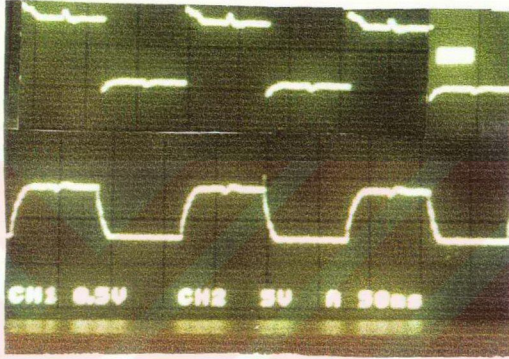
Şekil 4.14. Bir adım motoruna ait sürücü devresi kartı

Şekilde görülen sürücü devre ile ilgili aşağıdaki deneysel sonuçlar elde edilmiştir; Şekil 4.15' te adım motorunun bir fazından geçen akımın dalga şekli görülmektedir. -



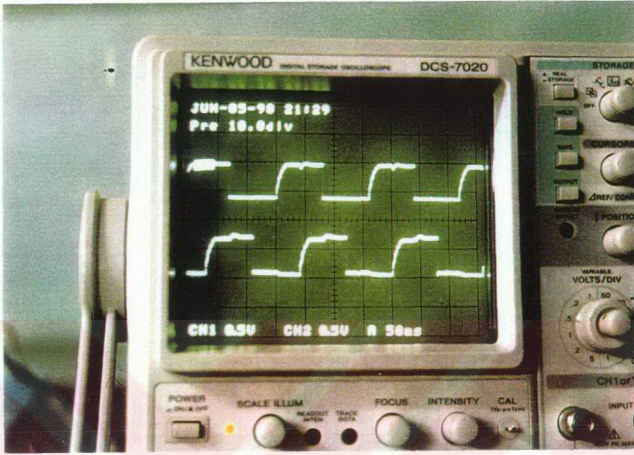
Şekil 4.15. Bir sargıdan geçen akımın dalga şekli

Bir faza ait gerilim ve akım dalga şekilleri de Şekil 4.16' da görüldüğü gibidir. Sargının anahtarı iletimde iken, sargı üzerinde güç kaynağının gerilimi vardır. Bu anda sargıdan akım geçmektedir. Sargının anahtarı kesime götürülürse sargı üzerinde gerilim olmadığından akım sıfıra düşmektedir.

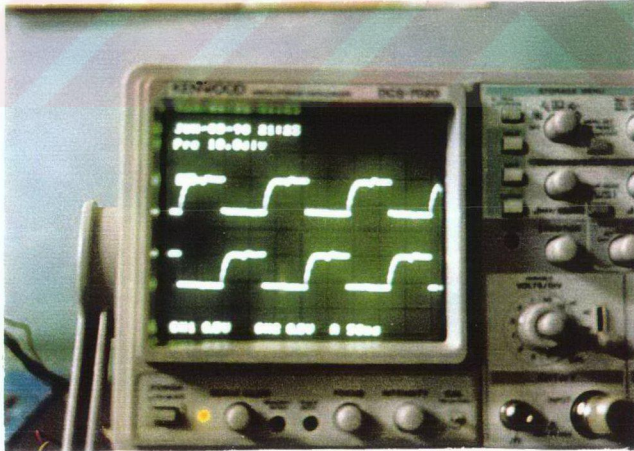


Şekil 4.16. Bir faza ait gerilim ve akım dalga şekilleri (1A/div)

Sürücü devre iki-faz ırtırtımlı olarak tasarlanmıştır. Şekil 4.17' de 1. ve 2. fazların akım dalga şekilleri Şekil 4.18' de de 1. ve 3. fazların akım dalga şekilleri gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi her adımda iki adet sargı iletimdedir.

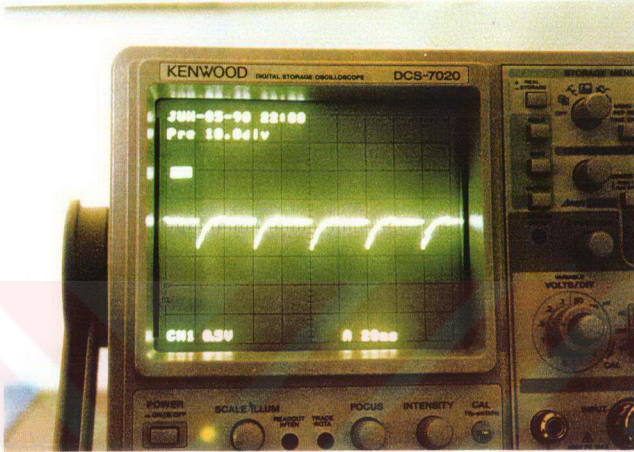


Şekil 4.17. 1.ve 2. faz akımlarının daga şekilleri (1A/div)



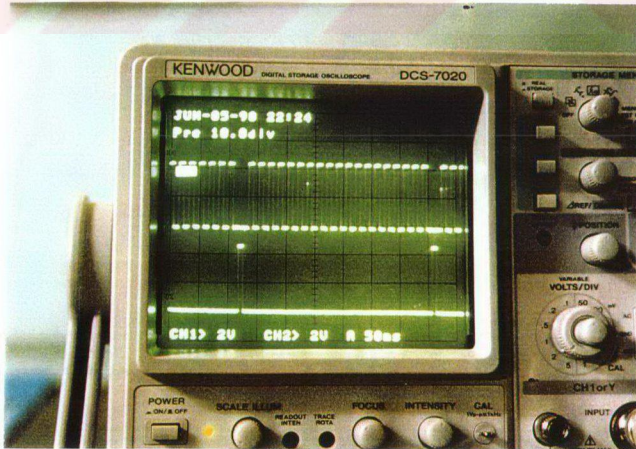
Şekil 4.18. 1.ve 3. faz akımlarının daga şekilleri (1A/div)

Şekil 4.19' da ise güç kaynağından çekilen akımın şekli görülmektedir. Güç kaynağından çekilen akım iki faz akımının toplamı kadardır.



Şekil 4.19. Güç kaynağından çekilen akımın şekli (1A/div)

Sistemi kontrol etmek için bilgisayardan elde edilen clock sinyallerinin birbirlerine göre durumları Şekil 4.20' de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.20. Bilgisayardan elde edilen clock sinyalleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tasarlanan sistem diş hekimliğinde bazı deneylere imkan verecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Sistem tasarımında kullanılan adım motorları için genel amaçlı sürme devresi tasarlanmıştır. Bu sürme devreleri değişik amaçlar için kullanılabilecek esnekliktedir. Adım motorlarının çalışması için gerekli olan sıralama işlemi, elektronik donanım kullanılarak sağlanmıştır. Böylece bilgisayar yada mikroişlemcili kontrollarda kullanılacak port sayısı azaltılmış ve yazılımda kolaylık elde edilmiştir.

Geliştirilen yazılım programı ile iki adet adım motoru mekanik sistemi istenilen şekilde hareket ettirmiş ve sisteme başlama komutunun verilmesi ile sistemin çalışmaya başlaması sağlanmıştır. Sistemin çalışması, istenen hareketler tamamlandığında program tarafından durdurulmaktadır. Ayrıca kullanılan altıgen blok sayesinde sadece bir yüzeyin fırçalama işlemi yapması yerine altı adet yüzeyin sırayla fırçalama işlemi yapması sağlanmıştır.

Bu sistem yardımı ile diş hekimliğinde aşağıdaki deneylerin yapılması ve bulguların tesbiti gerçekleştirilebilecektir.

- Diş fırçalarının kullanım sayısı, fırçaların diş yüzeylerine yapmış olduğu etki dikkate alınarak hesaplanabilecektir.
- Diş yüzeylerinin aşınma miktarı profilometre kullanılarak ölçülebilecektir.
- Değişik tipte fırçalar kullanılarak bu fırça tiplerinin dişlere etkisi incelenecektir.
- Renk değiştirme özelliğine sahip fırçaların kullanımı ile bu fırçaların ömrü tesbit edilebilecektir.
- Diş numuneleri değiştirilerek değişik materyallerin kullanımının etkileri incelenerek yeni diş protezleri geliştirilebilecektir.

KAYNAKLAR

- Acamley P.P., 1992, Stepping Motors: A guide to modern theory and practice, England.
- Acamley, P.P. and P. Gibbons, B.A., 1982, Closed loop control of stepping motors: prediction and realisation of optimum switching angle, **IEE Proc.** Vol. 129.
- Aker, D.A., Aker, J.R. and Sorenson, S.E., 1980, Toothbrush abrasion of color-corrective porcelain stains applied to porcelain-fused-to-metal restorations, **The Journal of Prosthetic Dentistry**.
- Bal, G., 1997, Özel Elektrik Makinaları, Ankara
- Bayram, H., 1990, Dijital Elektronik, Önder Matbaa.
- Çetin, K., 1989, Endüstriyel Elektronik ve Uygulama devreleri.
- Goddijn, B.H.A., 1978, Effect of the number of pole pairs and permanent magnet excitation on the performance of a hybrid stepping motor, **Incremental Motion Control Systems Society**, Illinois.
- Halkias, M., 1983, Electronics Devices and Circuits, **McGraw-Hill Series**.
- Harrington, E., Jones, P.A., Fisher, S.E. and Wilson, H.E., 1982, Toothbrush-dentifrice abrasion, **British Dental Journal**.
- Heine, G., 1977, Control method of 5-phase PM stepping motors, Department of Electrical Engineering, University of Illinois.
- Humphries, James T., 1988, Motors and Controls, USA,
- Humphries, J. T. and Sheets L.P., 1993, Industrial Electronics, **Delmar Publ.**, USA.
- Kenjo, T., 1984, Stepping motors and Their Microprocessor Controls, **Calerendon Press**, Oxford.
- Koçer, A., 1996, Test cevap kağıdını değerlendirebilen sistemin model olarak tasarlanması ve gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Kuo, B.C., 1979, Step Motors and Control Systems, **SRL Pub. Company**, Illinois.

Lafore, R.,1988, The Waite Group's Turbo C Programming for the PC, **Howard W. Sams&Company**, Indiana.

O'Kelly, D., 1991, Performance and control of Electrical Machines, **McGraw-Hill Company**.

USTA, A.T., 1991, Hybrid adım motorunun modellenmesi ve simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Üçtaşlı, S., 1991, Some mechanical properties of resin based dental materials, PhD Thesis, The Dental School University of Birmingham, England.

80486 Mainboard User's Guide, 1992.

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Batman' ın Hasankeyf ilçesinde doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Hasankeyf' te Lise Öğrenimini Batman Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümünde bitirdi. 1990 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümüne girdi. Haziran 1994' te bu okuldan mezun oldu. Eylül 1994' te Milli Eğitim Bakanlığı tarafından Şanlıurfa iline Elektrik Bölümü öğretmeni olarak atandı. Eylül 1995' te Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans' a başladı. Haziran 1996' da Gazi Üniversitesi Elektrik Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı fakültede Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır