

22175

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

SÜREKLİ MIKNATISLI DOĞRU AKIM LİNEER ADIM MOTORUNUN
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE SAYISAL DENETİMİ

T. G.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

Elk. ve Elkn. Müh. Sırrı Sunay GÜRLEYÜK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"Elektrik Yüksek Mühendisi"

Ünvanı Verilmesi için Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.01.1992

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 30.01.1992

Tezin Danışmanı : Prof.Dr.Sefa AKPINAR

Jüri Üyesi : Doç.Dr.Cemil GÜRÜNLÜ

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr.Rıfat YAZICI

Enstitü Müdürü : Doç.Dr.Temel SAVAŞKAN

OCAK - 1992

TRABZON

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Elektrik Mühendisliğinde özellikle son yıllarda geniş kullanım alanı bulan lineer elektrik motoru gerçekleştirilmiş, rotorunda sürekli mıknatıs kullanılmış, hareketinde adım motor ilkesinden yararlanılmış ve sayısal denetimi yapılmıştır.

Çalışmanın konuyla ilgili meslektaşlarıma yararlı olmasını diler, bu konuda çalışmamı öneren ve yönlendiren Hocam Sayın Doç. Dr. Sefa AKPINAR'a, tezin gerçekleşmesinde yardımlarını esirgemeyen Elkn. Müh. E.Sezai BAŞARA'ya Mak.Yük.Müh. H.Ali ERTAŞ'a, Elkn.Yük.Müh. Yavuz TÜRKAY'a, Zeki ÖRÜL'e, Orhan EVCİ'ye ve teknisyenimiz Yüksel SAĞTAŞ'a teşekkür ederim.

OCAK-1992

Sırrı Sunay GÜRLEYÜK

ÖZET

SUMMARY

SEMBOLLER

BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. SÜREKLİ MIKNATISLI TUBULAR ADIM MOTOR HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Tübular Motora Geçiş.....	2
2.2. Lineer Makinanın Döner Makinayla Karşılaştırılması.....	4
2.3. Sürekli Miknatıslar.....	4
2.3.1. Sürekli Miknatıslığın Oluşturulması...	4
2.3.2. Sürekli Miknatısın Tasarlanan Motorda Kullanılışı.....	6
2.4. Lineer Makinalarda Adım Hareketi.....	7
BÖLÜM 3. SÜREKLİ MIKNATISLI TUBULAR DOĞRU AKIM ADIM MOTORU.....	9
3.1. Motorun Yapısı.....	9
3.2. Motorun Çalışması.....	11
3.3. Magnetik ve Mekanik Büyüklüklerin Hesabı.....	16
BÖLÜM 4. KONTROL DEVRESİ VE SÜRÜCÜ DÜZENEK.....	18
4.1. Kontrol Devresi Tasarımı.....	18
4.2. Elektronik Devre Elemanları ile Kontrol	20

BÖLÜM 5. SÜRÜCÜ DEVRENİN SAYISAL DENETİMİ.....	29
5.1. Sayısal Denetleyiciler.....	29
5.2. EPROM' un programlanması.....	29
5.3. EPROM Çıkışlarının Bobinlerle Bağlantısı.....	31
5.4. Transistörlerin Tıkama Gecikmesinin Dengelenmesi.....	31
BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	35
KAYNAKLAR.....	36
EK - Gerçekleştirilen Motor ve Sürücü Devreye Ait Resimler.....	38
ÖZGEÇMİŞ.....	48

ÖZET

Uygulamada kullanılan değişik yapıda birçok elektrik makinası vardır. Bu makinalar ya belirli bir amaca uygun şekilde tasarlanır yada bazı mekanik sistemler sayesinde makina istenen bir amacı sağlar. Örneğin döner makinalarla öteleme hareketi bazı ara sistemler kullanarak sağlanır. Ama lineer makinanın bulunması ve uygulamada kullanılmasıyla verim kaybına neden olan bu ara sistemler çıkarılabilir.

Lineer makina döner makinanın radyal düzlem boyunca kesilip açılmasıyla elde edilir. Yine doğrusal hareket sağlayan diğer bir tasarım ise lineer hale getirilmiş makinanın hareket yönüne paralel eksen boyunca sarılıp silindirik hale getirilmesidir. Bu şekilde lineer makinadan " Tübülar Makina " adında yeni bir tür elde edilir.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen motor Tübülar yani tüpsel yapılı, rotoru sürekli mıknatıslı lineer hareketli doğru akım adım motorudur. Motor denetimi lojik devrelerle ve EPROM'un belleğine yerleştirilmiş bilginin çıkışa aktarılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Denetim açık çevrimli olarak tasarlanmıştır. Ayrıca son bölümde konuyla ilgili öneriler getirilmiştir. Ekte ise makinayla ilgili bazı fotoğraflar verilmiştir.

SUMMARY

In application, there are numerous type of electrical machines. These are either designed for a specific purpose or used to realize a specific purpose with additional mechanical systems. For instance, some mechanical systems are used to obtain a linear motion from rotating electrical machine. But, if this type of motion is produced by a linear electrical motor, the mechanical system can be discarded since it causes a decrease in efficiency.

Linear machine is basically obtained by cutting and unrolling the rotating machine in radial plane. Another linear motor which provides again a linear motion can be obtained by rerolling the linear machine just mentioned along the axis parallel to its movement direction and putting it in a cylindrical form. Thus a new type of linear machine named "Tubular Machine" is constructed.

In this study, a tubular type linear D.C. stepping motor with permanent magnet rotor has been designed and constructed. The motor control with open loop has been realized by the logic elements and the data registered in EPROM.

In the last chapter some suggestions are made for the future work. In the appendix, the photographs related to some parts of the machine are given.

SEMBOLLER

<u>Sembol</u>	<u>Birimi</u>	<u>Adı</u>
B	Tesla	Magnetik Akı Yoğunluğu
H	A/m	Magnetik Alan Şiddeti
μ	H/m	Geçirgenlik
h	m	Kalınlık
g	m	Hava Aralığı
V	Volt	Gerilim
I	Amper	Akım
L	Henry	İndüktans
R	Ohm	Direnç
C	Farad	Kapasite
t	sn	Zaman
k		Kaçak Katsayısı
F	Newton	Kuvvet
W	Spir	Sarım Sayısı
x	m/sn	Hız
x	m/sn ²	İvme
M	kg	Kütle
c		Sürtünme Katsayısı
l	m	Uzunluk

BÖLÜM 1

1.GİRİŞ

Doğrusal hareket gerektiren yerlerde döner makinalardan ara düzenekler kullanarak faydalanmak mümkün olmasına rağmen bu makinalardan doğrusal hareket, bazı yapısal değişikliklerle doğrudan doğruya elde edilebilir. Böyle yapısal bir değişiklik ilk defa 1841-1845 yılları arasında Wheatstone [1] tarafından klasik döner tip motor kavramı dışına çıkılarak aksenal bir grup elektrik motoru üzerinde yapıldı. Böylece ilk lineer motor gerçekleştirildi.

Lineer makina klasik döner tip bir makinanın primer kısmının radyal düzlem boyunca kesilip açılmasıyla elde edilir [2].

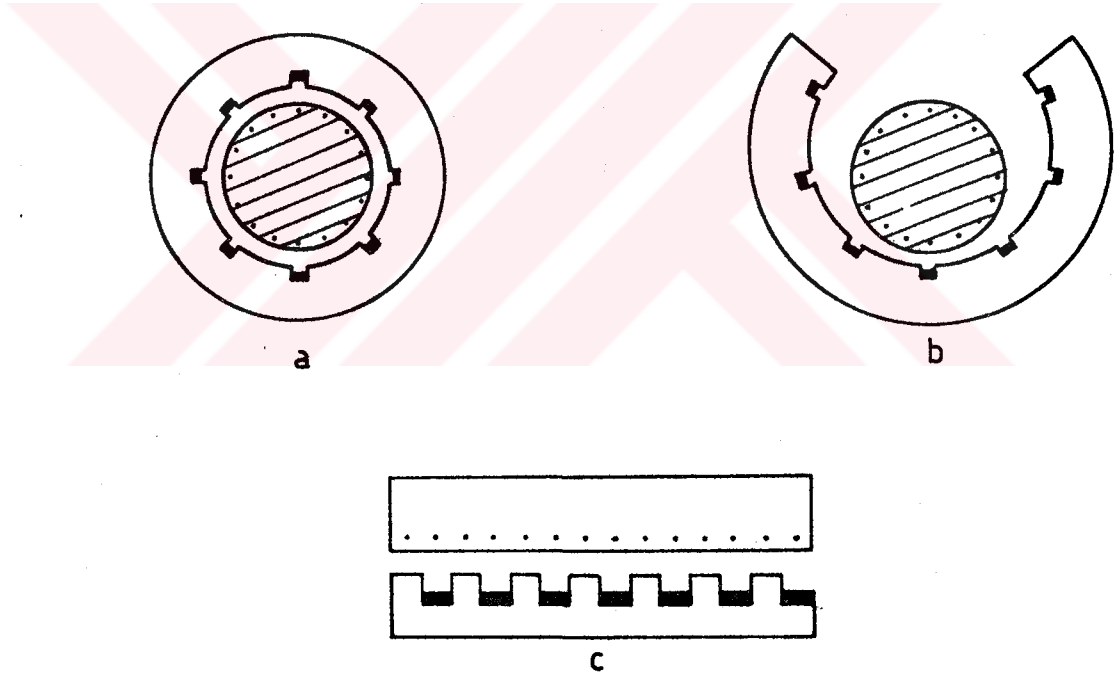
Döner tip makina üzerindeki ikinci yapısal değişiklik ise, lineer hale getirilmiş makinanın hareket yönüne paralel eksen boyunca yeniden yuvarlatılıp silindirik hale getirilmesidir. Bu uygulama lineer motorlarda "Tübular Motor" adında yeni bir grup oluşturur.

BÖLÜM 2

SÜREKLİ MIKNATISLI TÜBÜLAR ADIM MOTOR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1. Tübular Motora Geçiş

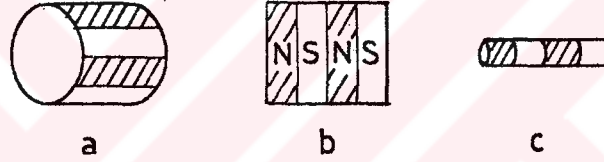
Lineer makina döner tip makinanın radyal düzlem boyunca kesilip açılmasıyla elde edilir. Şekil.2.1. bu kesip açma işlemini göstermektedir.



Şekil.2.1. Döner Tip Makinadan Lineer Makinaya Geçiş.

- a) Döner Tip Motor
- b) Radyal Düzlem Boyunca Kesilmiş Motor
- c) Lineer Hale Getirilmiş Motor

Lineer makinadan túbúlar makinaya geçiş ilk defa Forman [3] tarafından gerçekleştirildi. Túbúlar makinanın yapılışı lineer haldeki makinanın hareket eksenine paralel düzlem boyunca sarılmasıyla açıklanabilir. Şekil.2.2.'de döner makinadan túbúlar makinaya geçiş işlemi görölmektedir.



Şekil.2.2. Túbúlar Tip Makinanın Elde Edilmesi.

- a) Döner Tip Motor
- b) Lineer Hale Getirilmiş Motor
- c) Túbúlar Hale Getirilmiş Motor

Bu işlemler döner tip makinanın bütün türleri için yapılabilir. Böylece en az döner makina sayısı kadar lineer hareket yapan makina elde edilebilir. Bunlar içinde en yaygın olarak kullanılanı, sekonder kısmının ucuz, basit ve bakım gerektirmeyen lineer asenkron makinadır [4].

2.2. Lineer Makinanın Döner Makinayla karşılaştırılması

Lineer makinanın dönen makinalara göre üstünlükleri şöyle sıralanabilir [5],[6];

- a. Herhangi bir bağlantı mekanizması veya dişli sistemi olmadan doğrusal hareket üretebilir.
- b. Açık çevrimli çalışabilir.
- c. Konum hatası en az düzeydedir.
- d. Yapısal bakımdan basit ve sağlamdır.
- e. Adım motor türlerinde her adımda birçok defa duruş-kalkış yapılabilen, uzun süre çalışmalı peryotlarda bu duruma dayanacak sağlamlıktadır.
- f. Elektronik kontrol devresi basit ve ucuzdur.

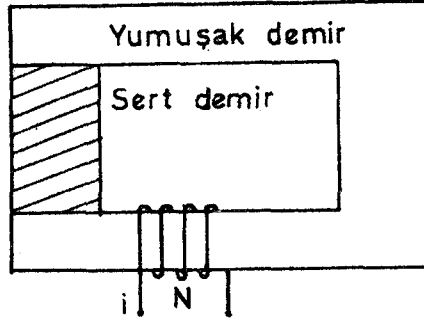
Bu üstünlüklerine rağmen istenmeyen olumsuz yönleride şöyle sıralanabilir;

- a. Verimleri düşüktür.
- b. Büyük rotor ataletlerinde konum kontrolü zordur.

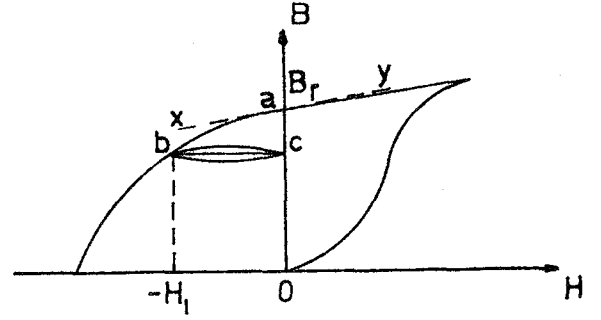
2.3. Sürekli Mıknatıslar

2.3.1. Sürekli Mıknatıslığın Oluşturulması

Şekil.2.3.'de mağnetik devre içerisine yerleştirilmiş henüz mıknatısıyet verilmemiş malzeme görülmektedir.



Şekil.2.3. Sürekli Mıknatıs İçin Mıknatıslama Devresi

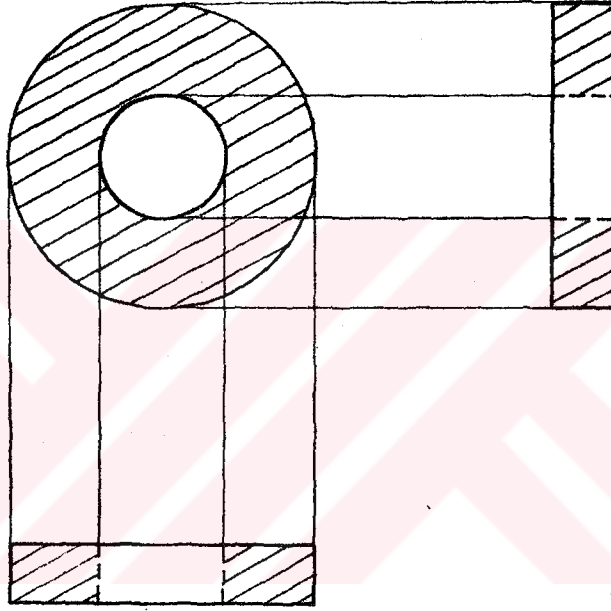


Şekil.2.4. Bir Sürekli Mıknatısın B-H Grafiği

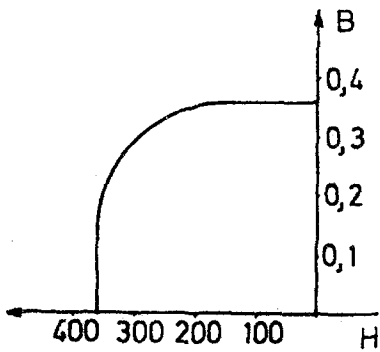
Şek.2.3.'deki devreye yeterli büyüklükte magnetomotor kuvvet uygulanıp, tekrar kaldırıldığında malzemedeki akı yoğunluğu Şek.2.4.'de a noktasındaki B_r artık değerinde kalacaktır. Bu durumda mıknatıs malzemesi mıknatısiyet kazanmış olur. Eğer H_1 genliğinde ters bir mağnetik alan şiddeti uygulandığında mıknatısın çalışma noktası b'ye kayar. H_1 kaldırıldığında ise c noktasındaki yeni artık mıknatısiyetinde kalır. H_1 yeniden uygulandığında tekrar b noktasına döner. Böylece B-H grafiği bcb iç (minor) halkayı oluşturur. Bu küçük halka oldukça dar olup pratik kullanımda bc bir doğru olarak kabul edilir. Bu doğru geri tepme doğrusu (Recoil line) olarak bilinir. Bu doğru a noktasından çizilen xay doğrusuna paraleldir ve eğimi "Geri Tepme Geçirgenliği" μ_{rec} olarak adlandırılır. Eğer ters magnetik alan şiddeti H_1 'i aşmayacak derecedeyse malzeme mıknatısiyetini koruyabilir. Ferrit mıknatıslarda μ_{rec} değeri $1.2\mu_0$ kadar düşük bir değerdedir [7].

2.3.2. Sürekli Mıknatısın Tasarlanan Motorda Kullanılışı

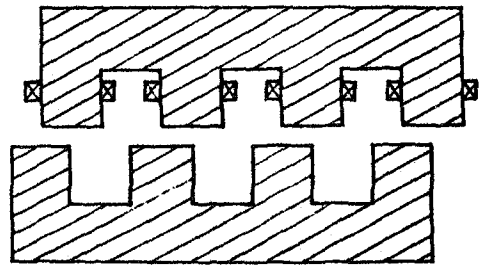
Şekil.2.5.'de tezde kullanılan mıknatıs malzemenin yapısı ve Şekil.2.6.'da bu malzemenin B-H grafiği görülmektedir. Şekil 2.7.'de ise sürekli mıknatıslı bir lineer motorun aksenal kesiti görülmektedir.



Şekil.2.5. Mıknatısın Üç Görünüşü



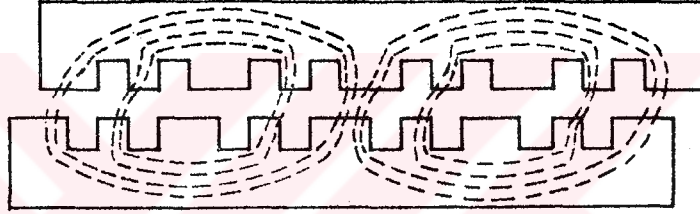
Şekil.2.6. Motorda Kullanılan Mıknatısın B-H Grafiği



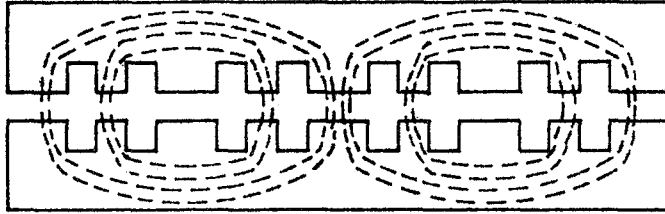
Şekil.2.7. Sürekli Mıknatıslı Lineer Motor Kesiti

2.4. Lineer Makinalarda Adım Hareketi

Şekil.2.8.a.'da görülen konumda pozisyonlanmış lineer motora akım verildiğinde magnetik alan hava aralığından geçerek yolunu tamamlayacak ve hava aralığını azaltıp yolunu kısaltmak için rotoru kendisine çekecek ve Şekil.2.8.'deki konuma getirecektir. Bu lineer motorlardaki adım hareketinin temelini oluşturur [8].



a



b

Şekil.2.8. Bir Lineer Makinadaki Alan Dağılımı

- a) Rotorun Hareketinden Önceki Alan Dağılımı
- b) Rotorun Hareketinden Sonraki Alan Dağılımı

Ayrıca bu motorun rotorunda sürekli mıknatıs kullanarak stator manyetik alanı desteklenir. Böylece hareket ettirici kuvvet ve konum dengesi artar [9].

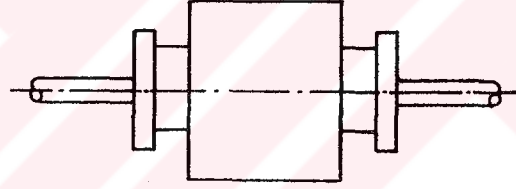
Giriş akım darbeleri sayısal kontrolla anahtarlanan güç transistörlerinden beslenir. Bu tip motorlar birkaç milimetrelilik harekette birkaç yüz newtonluk bir kuvvet oluşturabilmesiyle oldukça geniş uygulama alanı bulmuştur. Bu motorlardan kapalı çevrime gerek kalmadan güvenilir ve hassas bir şekilde hız ile ivme alınabilir. Ayrıca pozisyonlama ve kilitleme kuvvetinin yüksek olması da üstünlüklerinden birkaçıdır [7].

BÖLÜM 3

SÜREKLİ MIKNATISLI TÜBÜLAR DOĞRU AKIM ADIM MOTORU

3.1. Motorun Yapısı

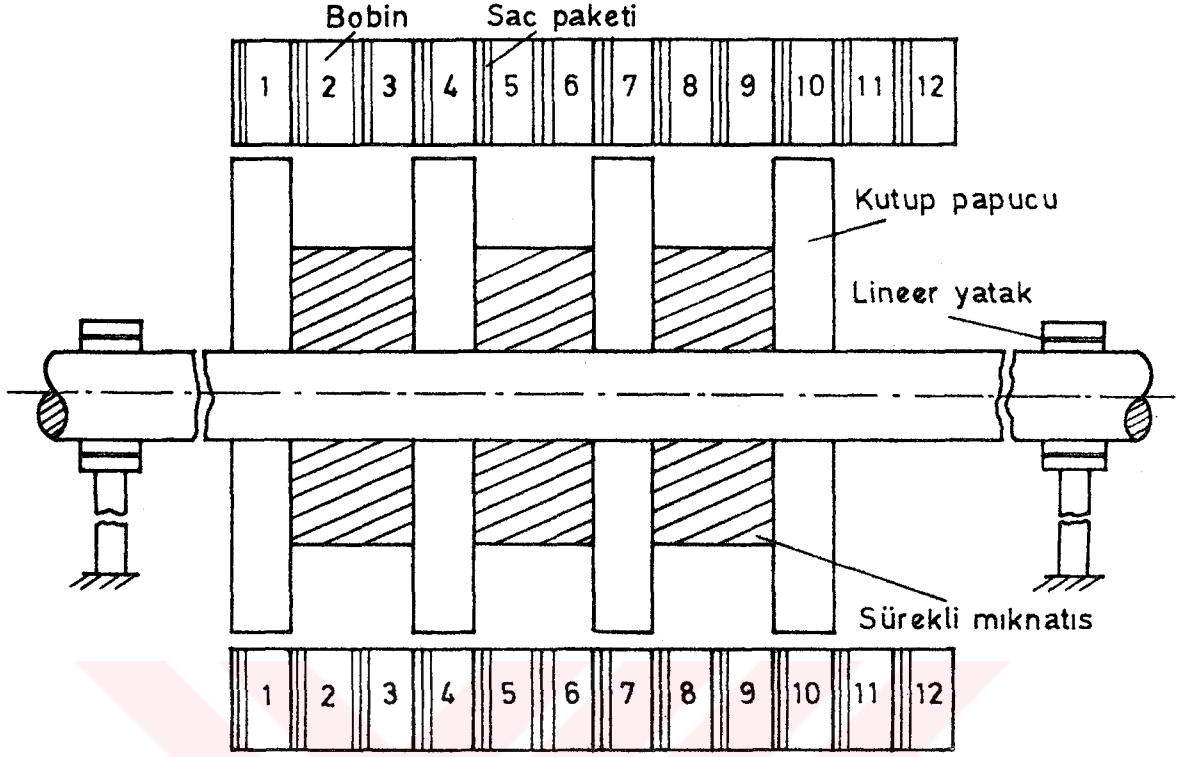
Dış görünümü Şekil.3.1.'de görülen bu motorun rotoru ferrit mıknatıslar, yumuşak demir kutup ayakları ve bunların monte edildiği çelik bir milden oluşmuştur.



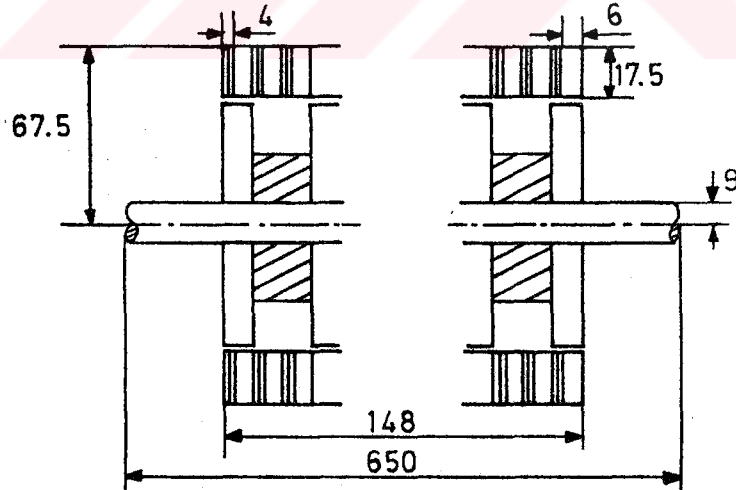
Şekil.3.1. Tübular Motorun Dış Görünüşü.

Motorun statoru ise dörder bobinli üç bobin grubundan ve her sargının arasına yerleştirilmiş sac paketlerden oluşmaktadır. Ayrıca bobinlerde statorun dış kısmına bakan yüzeylere manyetik alanın yolunu tamamlamak için sac kuşaklar konulmuştur.

Şekil.3.2.'de aksenal kesiti gösterilen bu motorun boyutları Şekil.3.3.'de verilmektedir.



Şekil.3.2. Motorun Aksenal Kesiti.

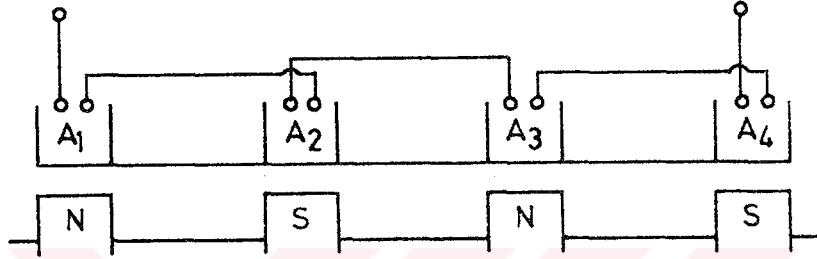


Şekil.3.3. Motorun Boyutları

Not: Ölçüler mm olarak verilmiştir.

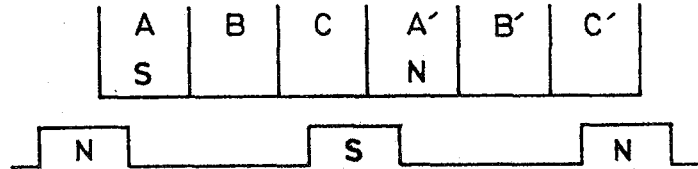
3.2. Motorun Çalışması

Şekil.3.4.'de motorun bir bobin grubuna ait bağlantı şekli görülmektedir. Bağlantıların her bir bobinde ters olması bu bobinlere karşı düşen rotor dişlerinin zıt kutupta olmasından kaynaklanmaktadır.



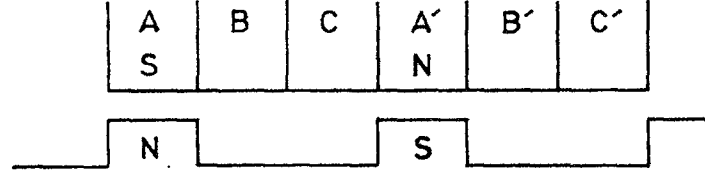
Şekil.3.4. Motorun A Bobin Grubu için Bağlantı Şekli.

Rotoru Şekil.3.5.'deki gibi konumlanmış motordan lineer adım hareketi almak için A bobin grubuna gerilim darbesi uygulanır.



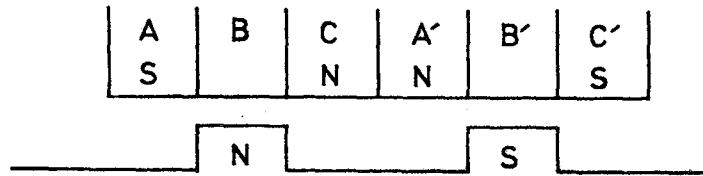
Şekil.3.5. A Bobin Grubuna Gerilim Darbesi Uygulanmış Motor.

Uygulanan gerilim darbesi sonucu rotor Şekil.3.6.'daki konuma gelir.



Şekil.3.6. Gerilim Darbesi Sonucu Rotorun Konumu.

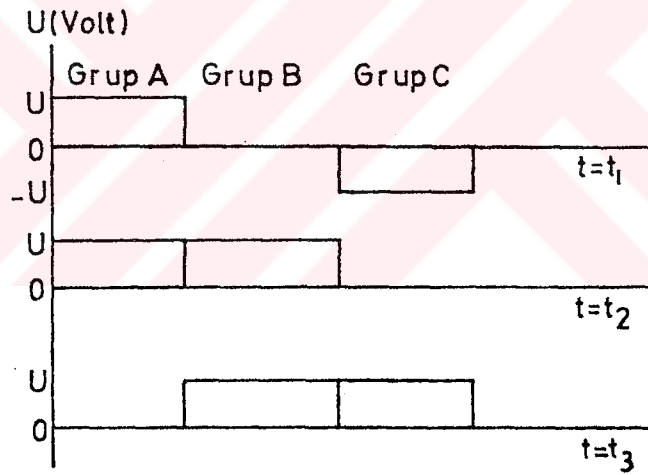
Bu çalışma bölgesinde ataletten dolayı rotor A bobin grubunun bulunduğu kutbun altında kilitlenemez ve kutup altından bir miktar kaçır. Bunu engellemek ve hareketi kutup altında frenlemek için C bobin grubuna A bobin grubuyla eşzamanlı fakat ters yönde bir magnetik alan oluşturacak şekilde gerilim darbesi uygulanır. Bu gerilim darbesi motorda frenleme etkisi yapar ve istenen mesafede adım hareketi sağlanır. Bu durum Şekil.3.7.'de görülmektedir.



Şekil.3.7. Ters Alanla Frenlenmiş Rotor.

Bir sonraki adım, B bobin grubuna hareket ettirici ve A bobin grubuna frenleyici gerilim darbesi uygulamakla elde edilir. Gerilim darbelerinin sırasını ayarlayarak ileri ve geri yönde hareket sağlanır. Ayrıca gerilim darbelerinin uygulanış sıklığı ayarlanarak hız kontroluda yapılabilir. Bu sayede istenen sayı, yön ve hızda hareket elde edilebilir.

Şekil.3.8. Üç çalışma bölgesi için motorun bobin gruplarına uygulanan gerilim darbelerini göstermektedir.



Şekil.3.8. Gerilim Darbelerinin Uygulanış Sırası.

Bobinlere uygulanan gerilim darbelerinin ve hareketin yönü Tablo.3.1.'de görülmektedir.

Tablo.3.1. Bobinlere Uygulanan Gerilim.

t	Yön	Bobin giriş			Bobin çıkış		
		A	B	C	A'	B'	C'
t ₁	→	+		-	-		+
t ₂	→	+	+		-	-	
t ₃	→		+	+		-	-
t ₄	→	-		+	+		-
t ₅	→	-	-		+	+	
t ₆	←	-		+	+		-
t ₇	←		+	+		-	-
t ₈	←	+	+		-	-	

Burada

A, B, C : Sargı girişi
A', B', C' : Sargı çıkışı
+, - : Hareket bobini
+, - : Frenleme bobini
→ : Hareket yönü
← : Hareket yönü
t_n : Zaman (n=1, 2, ..., 8)

Bobin gruplarına uygulanan gerilim sonucu rotorun hareketi şu şekilde olur.

t₁ anında sağa doğru 1 adım

t₂ anında sağa doğru 1 adım

t₃ anında sağa doğru 1 adım

t₄ anında sağa doğru 1 adım

t₅ anında sağa doğru 1 adım

t₆ anında sola doğru 1 adım

t₇ anında sola doğru 1 adım

t₈ anında sola doğru 1 adım

Tablo.3.2. Zaman ve Harekete Göre Bobinlerde Oluşan Kutuplar.

Bobin No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bobin bağlantısı	A ₁	B ₁	C ₁	A ₂ '	B ₂ '	C ₂ '	A ₃	B ₃	C ₃	A ₄ '	B ₄ '	C ₄ '
t=t ₁	N		S	S		N	N		S	S		N
t=t ₂	N	N		S	S		N	N		S	S	
t=t ₃		N	N		S	S		N	N		S	S
t=t ₄	S		N	N		S	S		N	N		S
t=t ₅	S	S		N	N		S	S		N	N	
t=t ₆	S		N	N		S	S		N	N		S
t=t ₇		N	N		S	S		N	N		S	S
t=t ₈	N	N		S	S		N	N		S	S	

3.3. Magnetik ve Mekanik Büyüklüklerin Hesabı

Mıknatıslama karakteristiği Şekil.2.6.'da gösterilen ferrit mıknatıs için magnetik alan şiddeti [5];

$$H_m = \frac{g_0 B_m}{\mu_0 k_\sigma h_m}$$

olup burada;

k_σ =Sürekli Mıknatısın Kaçak Katsayısı

h_m =Mıknatısın Kalınlığı, (mm)

g_0 =Magnetik Hava Aralığı, (mm)

B_m =Akı Yoğunluğu, (Tesla)

Motor tarafından oluşturulan kuvvet;

$$F_x = \pi D_{av} W B_m i = k_f i$$

olup burada;

D_{av} =Bobin Çapı, (mm)

W =Bobin Başına Sarım Sayısı

B_m =Akı Yoğunluğu, (Tesla)

i =Bobin Akımı, (Amper)

$$k_f = \pi D_{av} W B_m$$

Bu durumda bobin için gerilim denklemi;

$$V = R i + L (di/dt) + k_f x$$

olup burada;

R =Bobin Direnci, (ohm)

L =Bobin Endüktansı, (henry)

x =Hız, (m/sn)

Mekanik Hareket Denklemi ise;

$$M \ddot{x} = k_f i - F_d - C_d \dot{x}$$

olup ilgili büyüklükler;

M =Hareketli Kısımın Kütlesi, (Kg)

F_d =Yük Kuvveti

C_d =Sürtünme Katsayısı

\ddot{x} =ivme, (m/sn²)

Motor için seçilen büyüklükler;

$$l_m = l_s + l_c$$

$$l_s = 6 \text{ mm}$$

$$l_c = 12 \text{ mm}$$

$$l_m = 6 + 12 = 18 \text{ mm}$$

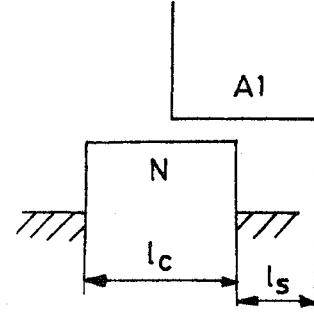
$$g_0 = 1 \text{ mm}$$

$$h_m = 15 \text{ mm}$$

$$t_a = 0.1 \text{ sn}$$

$$V = 150 \text{ Volt}$$

$$M = 4.4 \text{ Kg}$$



Şekil.3.9. Adım Ölçüleri

değerlerine göre kaçak katsayısı;

$$k_\sigma = 1 + \frac{g}{\pi \cdot D_{av} \cdot l_m} * 0.6 [2l_m + 2h_m] * \left(\frac{1.02h_m}{0.67h_m + g_0} + \frac{g_0}{2h_m} \right)$$

Buradan k_σ yaklaşık olarak;

$$k_\sigma = 1.001$$

çıkar. Bu durumda magnetik alan şiddeti;

$$H_m = \frac{l \cdot B_m}{15 \cdot 1.25 \cdot 10^{-6} \cdot 1.001} = 5.33 \cdot 10^4 \cdot B_m$$

olur. B-H Grafiğinden;

$$B = 0.36 \text{ Tesla} \quad \text{ve} \quad H_m = 19300 \text{ A/m}$$

elde ederiz. Bu durumda ortalama ivme;

$$x_{av} = \frac{2 \cdot l_s}{t_a^2} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{0.1^2} = 1.2 \text{ m/sn}^2$$

bulunur. Buna bağlı olarak ortalama kuvvet;

$$F_{xav} = M x_{av} = 5.28 \text{ N}$$

$$F_x = \pi \cdot D_{av} \cdot W \cdot B_m \cdot I \quad \text{formülünden};$$

$$5.28 = \pi \cdot 117 \cdot 10^{-3} \cdot 0.36 \cdot W \cdot I$$

$$W I = 39.9 \text{ At} \quad \text{elde edilir.}$$

Makina gerçekleştirildikten sonra dinamometre ile yapılan ölçüm sonucu kuvvet yaklaşık olarak;

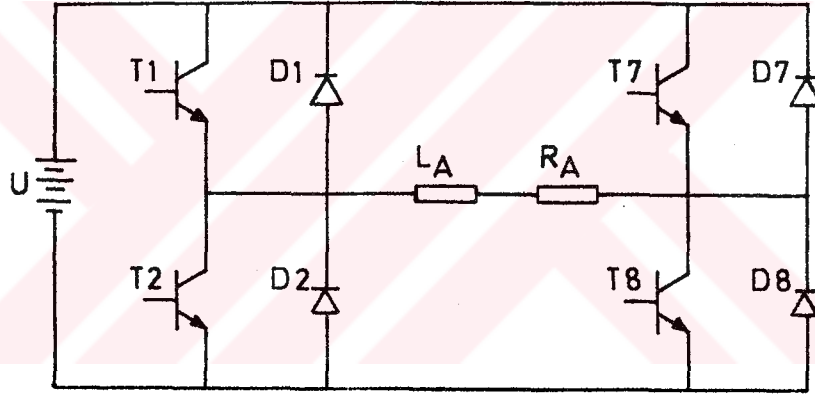
$$F_x = 5 \text{ N} \quad \text{bulundu.}$$

BÖLÜM 4

KONTROL DEVRESİ VE SÜRÜCÜ DÜZENEK

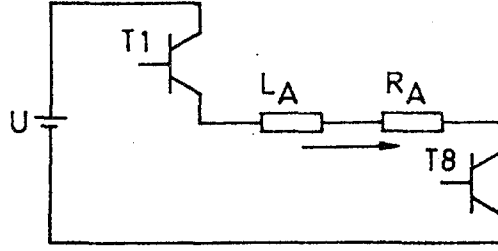
4.1. Kontrol Devresi Tasarımı

Devredeki her bobin grubunda kullanım amacına göre iki yönde akım geçecektir. Bu yüzden Şekil.4.1.'deki gibi köprü bağlantılı bir sürücü düzenek tasarlanmıştır.



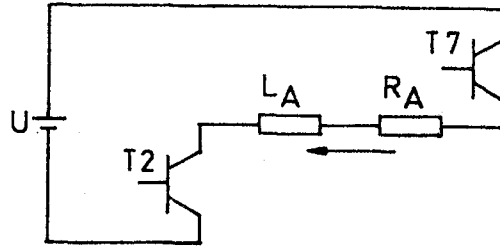
Şekil.4.1. A Bobin Grubu için Köprü Sürücü Devre

Bu devrede T_1 ve T_8 iletimde iken bobin üzerinden Şekil.4.2.a.'daki yönde bir akım geçer. Burada T_2 ve T_7 transistörleri tıkamadadır.



Şekil 4.2.a. T₁ ve T₈ iletimde

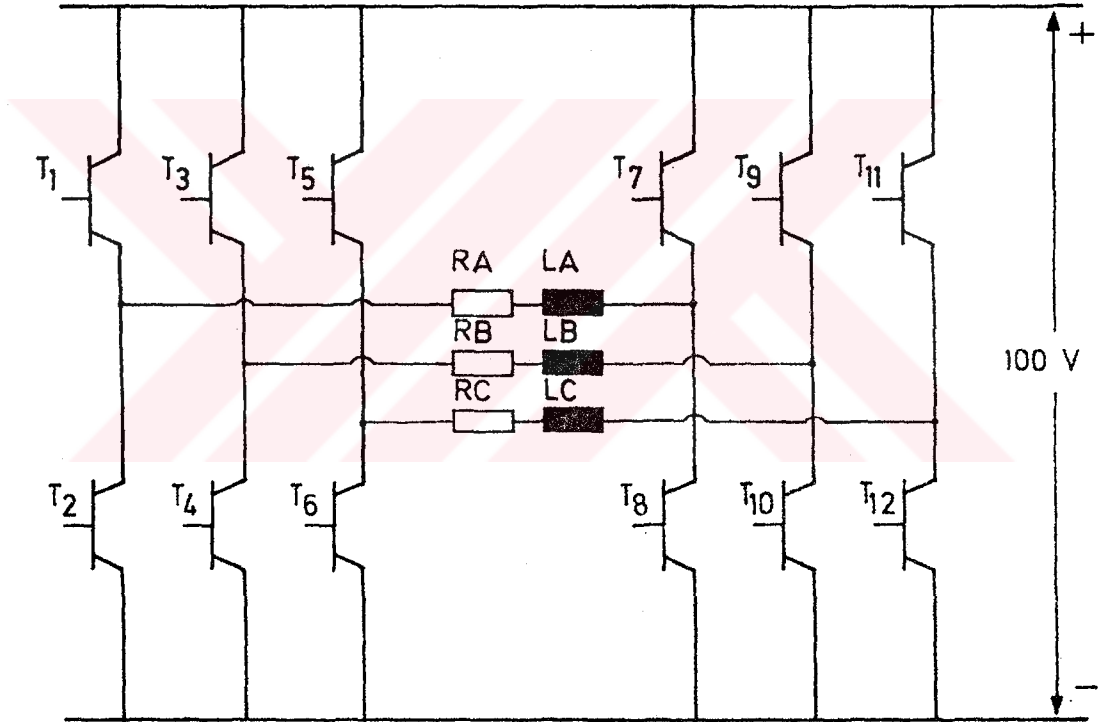
Şekil 4.2.b.'de ise T₁ ve T₈ tıkamada iken T₂ ve T₇ transistörleri iletimdedir. Bu durumda devreden geçen akım yön değiştirmiştir. T₁ ve T₈ transistörleri tıkamaya geçtiğinde D₁ ve D₈ diyotları devreden geçen akım sıfıra düşünceye kadar boşaltma diyotu olarak çalışırlar. Eğer bu diyotlar olmasa akım yükselecek ve bobinde $L(di/dt)$ gibi büyük bir gerilim oluşacaktır. Bu gerilim tıkamada bulunan T₁ ve T₈ transistörlerinin kollektör ve emitörlerinden geçerek transistörlere zarar verecektir. Kullanılan bu diyotlar sayesinde akım transistörlere zarar vermeden yoluna devam edecektir [10].



Şekil.4.2.b. T₂ ve T₇ iletimde

4.2. Elektronik Devre Elemanları ile Kontrol

Şekil.4.3.'de her bobin grubundan iki yönde akım geçirecek şekilde köprü bağlanmış oniki transistörlü sürücü devre görülmektedir. Bu transistörlerin çapraz çiftler halinde çalıştırılmasıyla bobin gruplarından geçen akımlar kontrol edilir.



Şekil.4.3. Bobin Gruplarından Geçen Akımın Kontrolü

Tablo.4.1.'de zamana göre iletimde olan transistörler görülmektedir.

Tablo.4.1. Zamana Göre iletimdeki Transistörler.

t(sn)	iletimdeki transistörler			
t1	T1	T8	T6	T11
t2	T1	T8	T3	T10
t3	T5	T12	T3	T10
t4	T5	T12	T2	T7
t5	T4	T9	T2	T7
t6	T5	T12	T2	T7
t7	T5	T12	T3	T10
t8	T1	T8	T3	T10

Tablo.4.2.'de ise iletimdeki transistörlerin zamana göre durumları ikilik (binary) kodda gösterilmiştir. Tablodaki 0'lar gerilim olmayan durumlar, 1'ler ise gerilim darbesi olan durumlardır.

Tablo.4.2. ikilik kodda iletimdeki Transistörler.

t	T12	T11	T10	T9	T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1
t1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
t2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
t3	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
t4	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
t5	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
t6	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
t7	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
t8	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1

Şekil.4.1.'deki devrede T₁ ile T₈, T₂ ile T₇, T₃ ile T₁₀, T₄ ile T₉, T₅ ile T₁₂ ve T₆ ile T₁₁ birbirleriyle eşzamanlı kullanıldıklarından bu ikili grupların bazıları aynı anda enerjilenmekte ve aynı anda enerjisiz bırakılmaktadır. Bu beraber çalışan transistör çiftlerini tek transistör olarak düşünürsek tasarım biraz daha basit bir hal alır. Bu durum Tablo.4.3.'de görülmektedir. Burada transistör çiftleri TR sembolleri ile ifade edilmiştir.

Tablo.4.3. iletimdeki Transistörler.

iletimdeki transistörler		
TR1	T1	T8
TR2	T2	T7
TR3	T3	T10
TR4	T4	T9
TR5	T5	T12
TR6	T6	T11

İkilik kodda tasarımın son hali Tablo.4.4.'de görülmektedir.

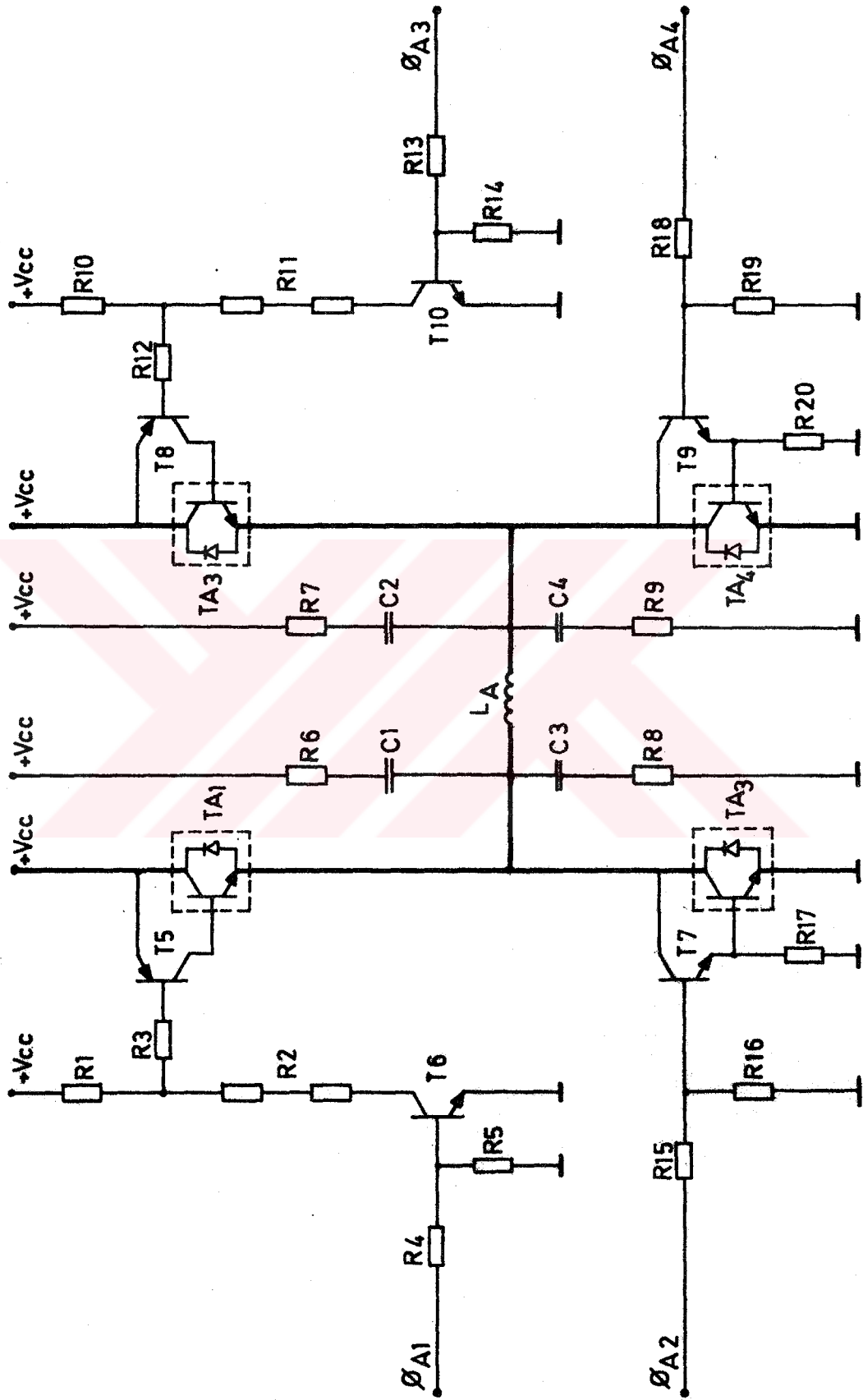
Tablo.4.4. İkilik kodda iletimdeki Transistör Çiftleri

t	TR6	TR5	TR4	TR3	TR2	TR1
t1	1	0	0	0	0	1
t2	0	0	0	1	0	1
t3	0	1	0	1	0	0
t4	0	1	0	0	1	0
t5	0	0	1	0	1	0
t6	0	1	0	0	1	0
t7	0	1	0	1	0	0
t8	0	0	0	1	0	1

Bu tablodaki ikilik kodda gösterilmiş değerler Bölüm.5.'de görüleceği gibi onaltılık (hexadecimal) kodda eproma kaydedilecek ve transistörlerin iletim durumlarını kontrol edecektir. Onaltılık koddaki bu değerler Tablo.4.5.'de görülmektedir.

Tablo.4.5. Onaltılık Kodda iletimdeki Transistörler

t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8
21	5	14	12	A	12	14	5



Sekil.4.4. A Bobin Grubuna Ait Kontrol Devresi

Şekil.4.4.' deki devrede kullanılan transistörlere ait hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

	I_{cmax} [A]	VCE [V]	hFE
BU 806	8	200	100
2SA 1111	1	150	65/330
BD 410	1	325	30/240

$$V_{cc} \Big|_{max} = 150 \text{ V}$$

$$I_L \Big|_{max} = 3 \text{ A (max. yük akımı)}$$

$$I_c \Big|_{T5} = I_B \Big|_{T1} = (I_L/h_{FE}) \Big|_{T1} = 3/100 = 30 \text{ mA}$$

$$I_B \Big|_{T5} = I_c/h_{FE} \Big|_{T5} = 30/65 = 0.46 \text{ mA}$$

$$I_c \Big|_{T6} = I_B \Big|_{T5} * 10 \text{ olarak alalım.}$$

$$I_c \Big|_{T6} = V_{cc}/(R1+R2) = 150/(2.7*10^3+44*10^3) = 3.2 \text{ mA}$$

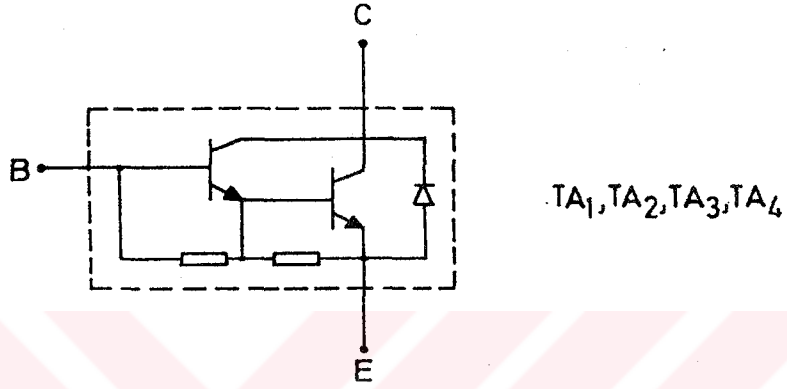
$$I_c \Big|_{T2} = 3 \text{ A}$$

$$I_B \Big|_{T2} = I_L/h_{FE} = 3/100 = 30 \text{ mA}$$

$$I_E \Big|_{T7} = I_B \Big|_{T2} = 30 \text{ mA}$$

$$I_B \Big|_{T7} = I_E/h_{FE} = 30/30 = 1 \text{ mA}$$

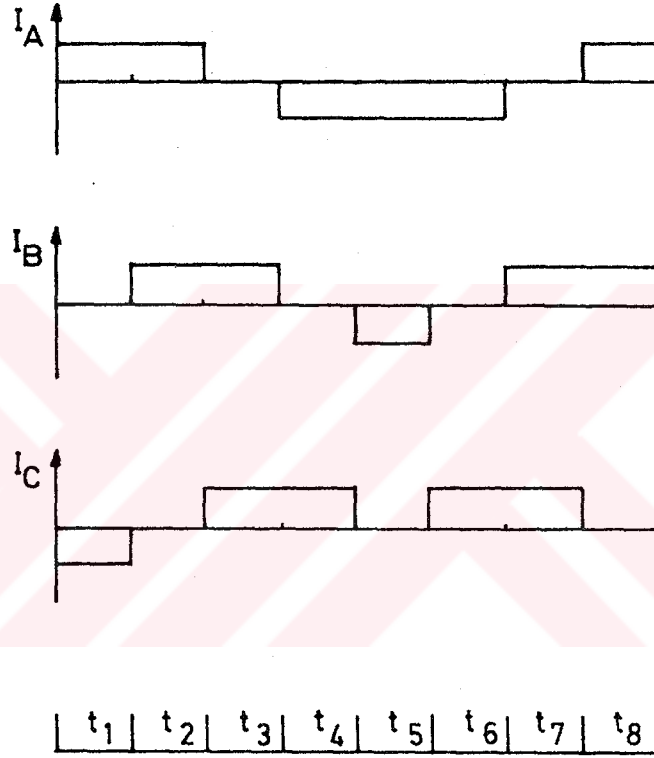
Aşağıdaki Şekil.4.5. bobin gruplarını süren BU 806 transistörlerinin iç yapısını göstermektedir.



Şekil.4.5. BU 806' nin iç Yapısı.

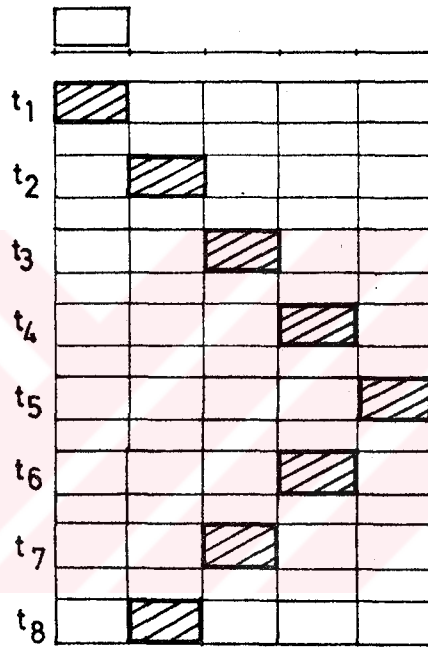
R1=	R10=	R3=	R12=	2.7K
R2=	R11=	2*22K	=	44K
R4=	R13=	R15=	R18=	3K
R5=	R14=	R16=	R19=	10K
R17=	R20=			0.15K
R6=	R7=	R8=	R9=	0.22K
C1=	C2=	C3=	C4=	0.22 μ F
T1=	T2=	T3=	T4=	BU 806
T5=	T8=			2SA 1111
T6=	T7=	T9=	T10 =	BD 410
Vcc=				+100...+150V DC

Şekil.4.6.'da gerilim darbelerinin A, B, C bobin gruplarında zamana göre uygulanışı gösterilmiştir.



Şekil.4.6. Bobin Gruplarına Uygulanan Gerilim Darbeleri

Şekil.4.7.'de statorun bir dişine rasgele yerleştirilmiş rotorun zamana göre hareketi ve pozisyonu görülmektedir. Bu hareket ve pozisyonlar daha önceden eproma kaydedilmiş davranışlardır.



Şekil.4.7. Zamana Göre Rotor Konumları

BÖLÜM 5

SÜRÜCÜ DEVRENİN SAYISAL DENETİMİ

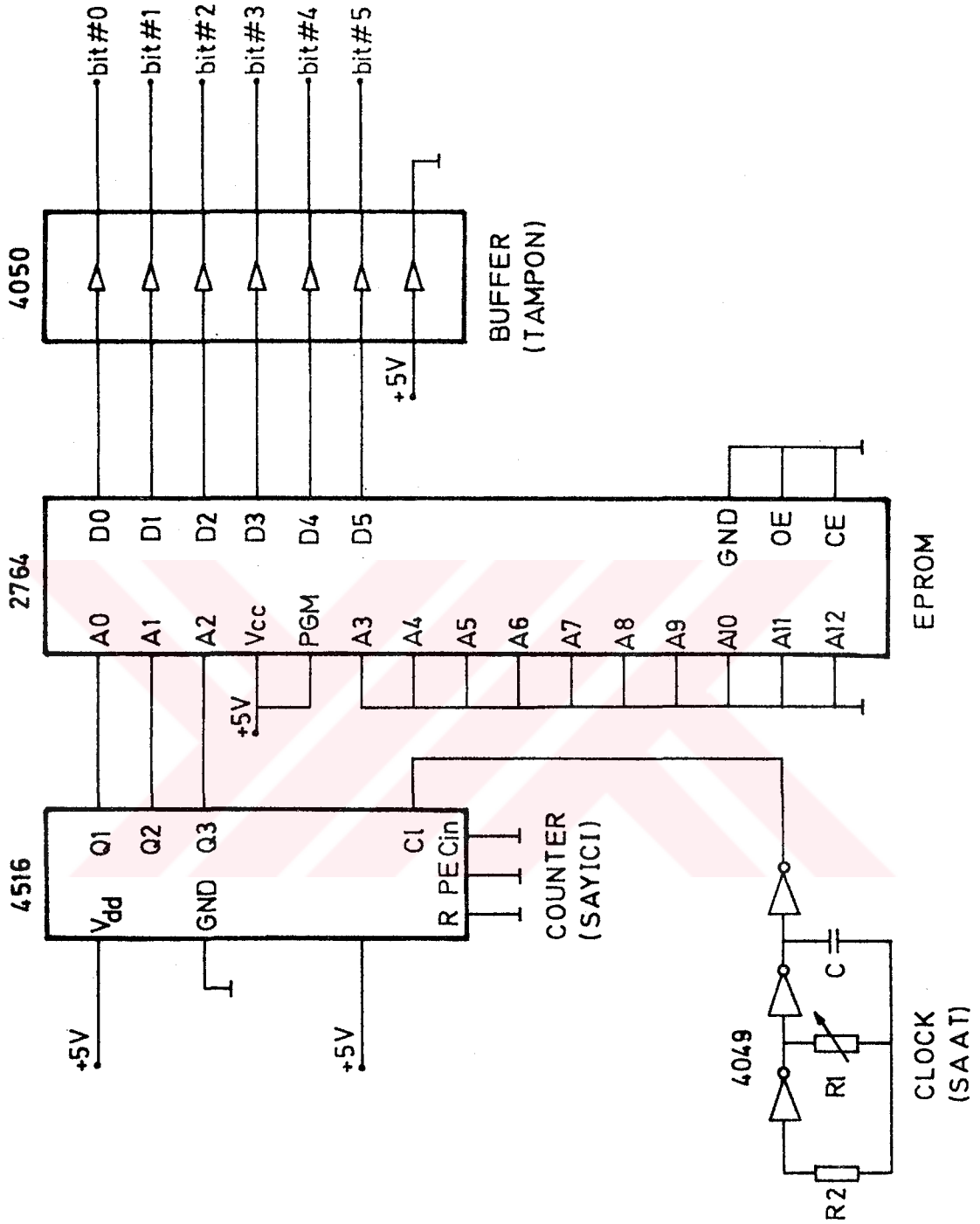
5.1. Sayısal Denetleyiciler

Analog denetleyiciler düzgün ve hızlı cevap verme üstünlüğüne sahip olmalarına rağmen yerlerini sayısal denetleyicilere bırakmaktadır [11]. Bunun sebebi sayısal denetleyicilerde doğrusal olmayan fonksiyonların kolayca programlanabilmeleri ve denetimde yapılacak değişikliklerin donanımdan ziyade programdan yapılabilme üstünlüğündendir.

Bu tez çalışmasında üç fazlı oniki transistörlü bir devrenin kontrolü sayısal denetleyicilerle yapılmaktadır. Denetim donanımı özel bir sistem olarak seçilmemiştir. Bu yüzden istenilen hareketlerin programlanması basit bir şekilde EPROM üzerinde yapılabilecek durumdadır.

5.2. EPROM'un Programlanması

Şekil.5.1.'deki devrede saatten alınan darbeler sayıcı sayesinde ikili sistemde sayılır. Sayıcının çıkışı üç bit halinde belleğin üç adres girişi olarak kullanılır. Bu üç bitlik adresle belleğin $2^3=8$ byte'lik bölgesi taranarak daha önceden bu bölgeye yazılmış bilgiler çıkışa aktarılır. Devredeki tampon, girişle çıkışı yalıtım ve EPROM'u korumak içindir.



Şekil.5.1. EPROM ile Sürücü Düzeneğin Kontrolü

5.3. EPROM Çıkışlarının Bobinlerle Bağlantısı

A bobin grubu için bit#0 ve bit#1
 B bobin grubu için bit#2 ve bit#3
 C bobin grubu için bit#4 ve bit#5 kullanıldı,
 bit#6 ve bit#7 kullanılmadı.

Bit çıkışlarının ikilik kodda durumları aşağıda gösterilmiştir.

0	1
---	---

 Bobinden ileri yönde akım geçiyor.

1	0
---	---

 Bobinden ters yönde akım geçiyor.

0	0
---	---

 Bobinden akım geçmiyor.

1	1
---	---

 Yasak durum.

Bit çıkışlarının bobinlerle ilişkisi şu şekildedir;

bit#1	bit#0
-------	-------

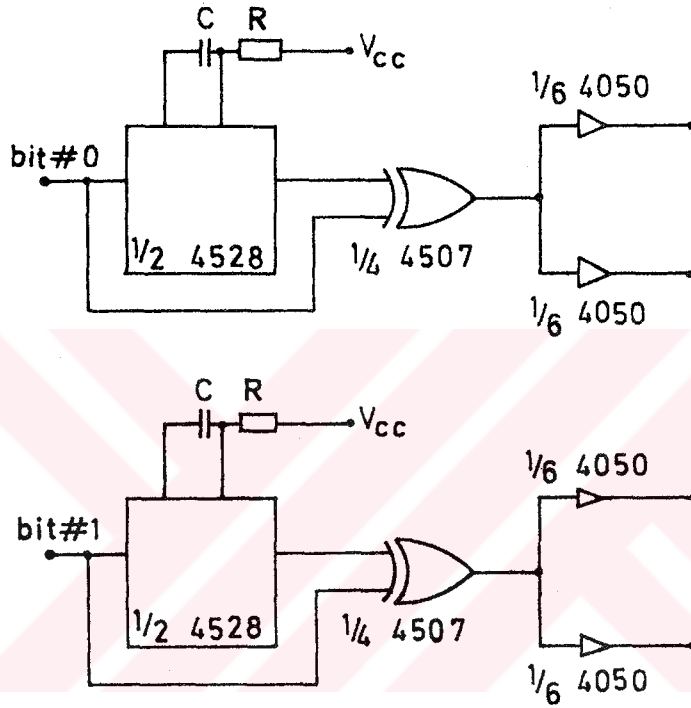
bit#3	bit#2
-------	-------

bit#5	bit#4
-------	-------

5.4. Transistörlerin Tıkama Gecikmesinin Dengelenmesi

Şekil.5.2. ön sürücü devresinde kullanılan Monostabl Multivibratör bobin gruplarını süren transistörlerin tıkamaya geçme gecikmesini dengelemek içindir.

Herbir bobin grubu için transistörlü köprü devresinin çapraz kolundaki iki transistör beraber, diğer çapraz koldaki iki transistörde beraber çalışmaktadır.

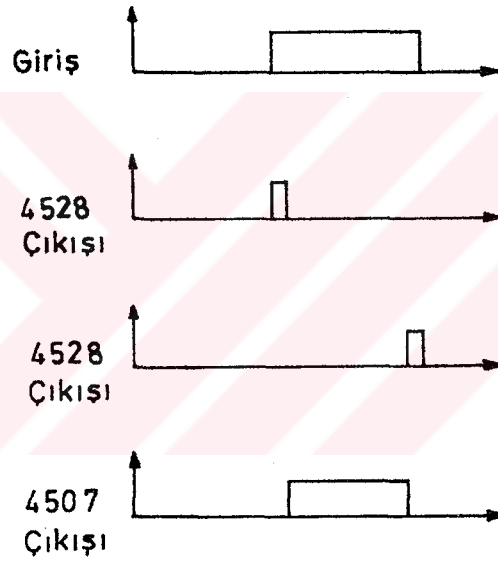


Şekil.5.2. Ön Sürücü Devre

Motorun çalışması sırasında bobin gruplarını süren transistör çiftlerinden birisi tıkamaya geçirilirken diğer çiftin ilettime geçirilmesi gerekmektedir. Bu durumlarda transistörlerdeki gecikmeden dolayı dört transistörün hepsi iletimde olacak, transistörler ve bobinler yanacaktır.

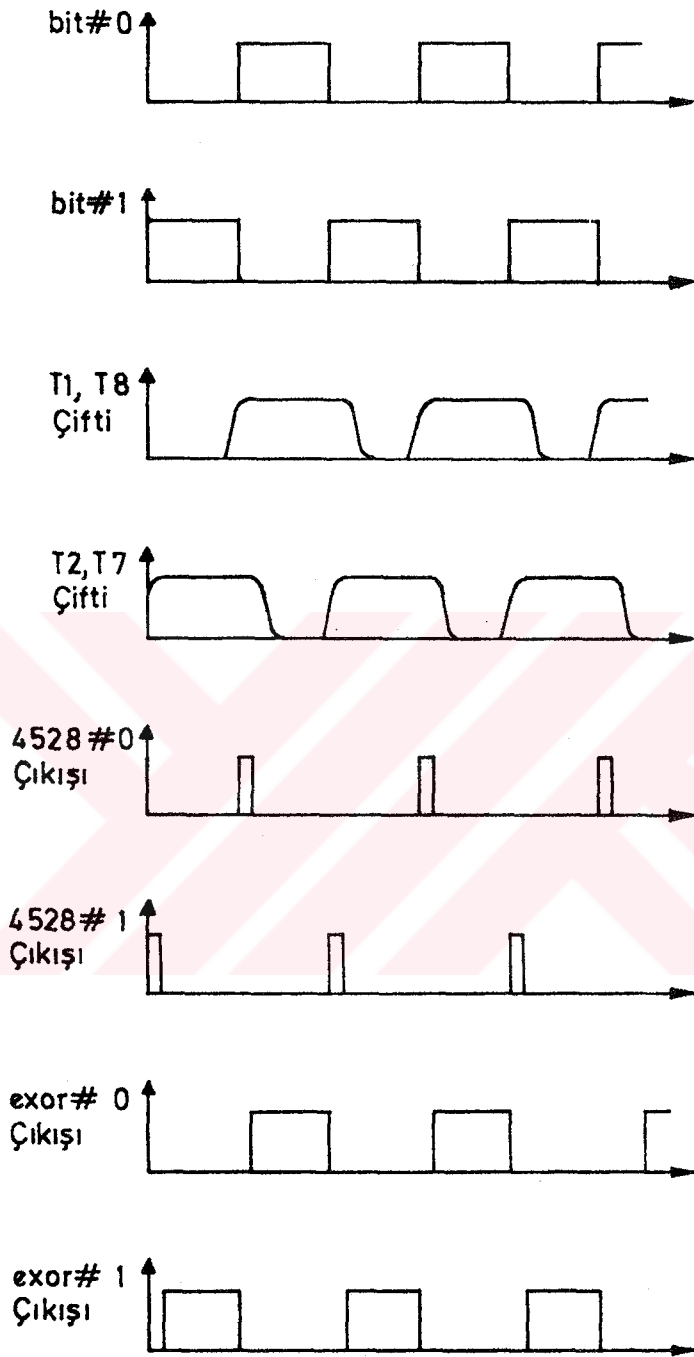
Bu durumu ortadan kaldırmak için Şekil.5.2.'deki Monostabl Multivibratör ve Exclusive-OR'dan oluşan devre tasarlanmıştır. Bu devre EPROM'dan gelen darbelerle transistörlerin iletme geçmesi arasında kısa bir gecikme oluşturarak her bobin grubundaki dört transistörün iletimde kalmasını engeller.

Gecikmenin giderilmesi Şekil.5.3.'de görülmektedir.



Şekil.5.3. İletim Gecikmesinin Giderilmesi

Şekil.5.4.'de A bobin grubu için transistörlerin gecikmesi ve gecikmelerin giderilmesinden sonraki durum görülmektedir.



Şekil.5.4. A Bobin Grubundaki Gecikmenin Giderilmesi

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tezde gerçekleştirilen ve açık çevrim sayısal kontrolü yapılan bu motor daha sonra yapılacak araştırmalara basamak olarak tasarlanmıştır. Tasarımında birtakım kabuller yapıldığından ve ayrıca ölçüler hassas olmadığından verimi düşüktür. Makina kapalı çevrimle denetlenirse pozisyon kontrolü daha hassas olacaktır. Üzerinde yapılacak araştırmalar ve değişikliklerle verim yükseltilip, maliyet masrafları azaltılabilir.

Robotik mühendisliğinde ve otomasyonda kullanılan bu motor üzerinde gelecek çalışmalarda dinamik davranış, alan dağılımı üzerine incelemeler yapılabilir. Ayrıca bu makinayı bir tahrik kaynağı olarak kullanan başka sistemeler de geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

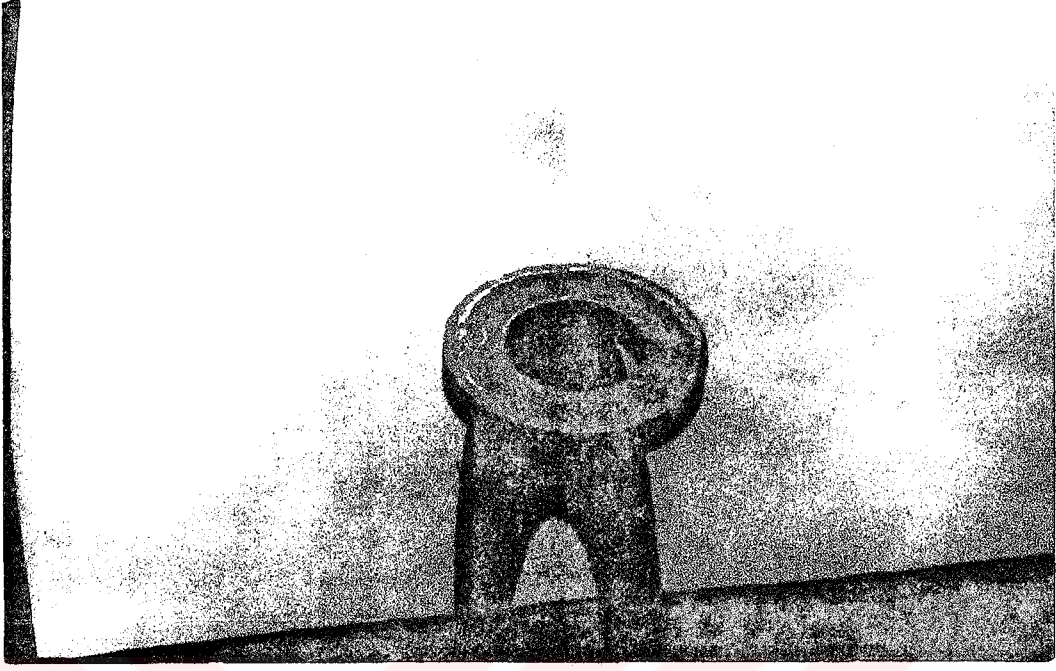
1. Bowers, B., The Eccentric Electromagnetic Engine - a Chapter From the Very Early History of Electric Motors, Electronic Power, Vol.18, July 1972, 269-272
2. Kenjo, T., Stepping Motors and Their Microprocessor Controls, Clarendon Press, Oxford, 1984
3. Forman, J., U.K. Patent 626 719, 1949
4. Laithwaite, E.R. and Nasar, S.A., Linear Motion Electrical Machines, Proc. IEEE, Vol.16, 1970, 531-539
5. Nasar, S.A. and Boldea, I., Linear Motion Electric Motors: Theory, Design and Practical Applications, Prentice-Hall, New Jersey, 1987
6. Nasar, S.A. and Boldea, I., Linear Motion Electric Machines, John Wiley & Sons, New York, 1976
7. Sen, P.C., Principles of Electric Machines and Power Electronics, John Wiley & Sons, Singapore, 1989
8. Green, G.W. and Paul, R.J.A., Performance of D.C. Linear Machines Based on Assessment of Flux Distribution, Proc. IEE, Vol.118, 1971, 1413-1420
9. Laithwaite, E.R., Linear Electric Motors, Mills & Boon Limited, London, 1971
10. Kenjo, T. and Nagamori, S., Permanent Magnet and Brushless D.C. Motors, Clarendon Press, Oxford, 1985

11. Akpınar, S. ve Aşmer, H., Tahrik Sistemlerinde Kullanılan Serbest Uyarımlı Bir D.A. Motorunun Mikroişlemci Temelli Denetimi, Tübitak 2.Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Eylül 1986, 601-614
12. Laithwaite, E.R., Magnetic Equivalent Circuits for Electrical Machines, Proc. IEE, Vol.114 (11), 1967, 1805-1817
13. Hindmarsh, J., Electrical Machines and Their Applications, Pergamon Press, Second Edition, 1985
14. Slemon, G.R. and Straugen, A., Electric Machines, Addison-Wesley, Ontario, 1980
15. McLean, G.W., Review of Recent Progress in Linear Motors, Proc. IEE, Vol.135/6, 1988, 380-416
16. Laithwaite, E.R., Linear Electric Machines- A Personal View, Proc. IEEE, Vol.63/2, 1975, 250-290

EKLER

Gerçekleştirilen Motor ve Sürücü Devreye Ait Resimler

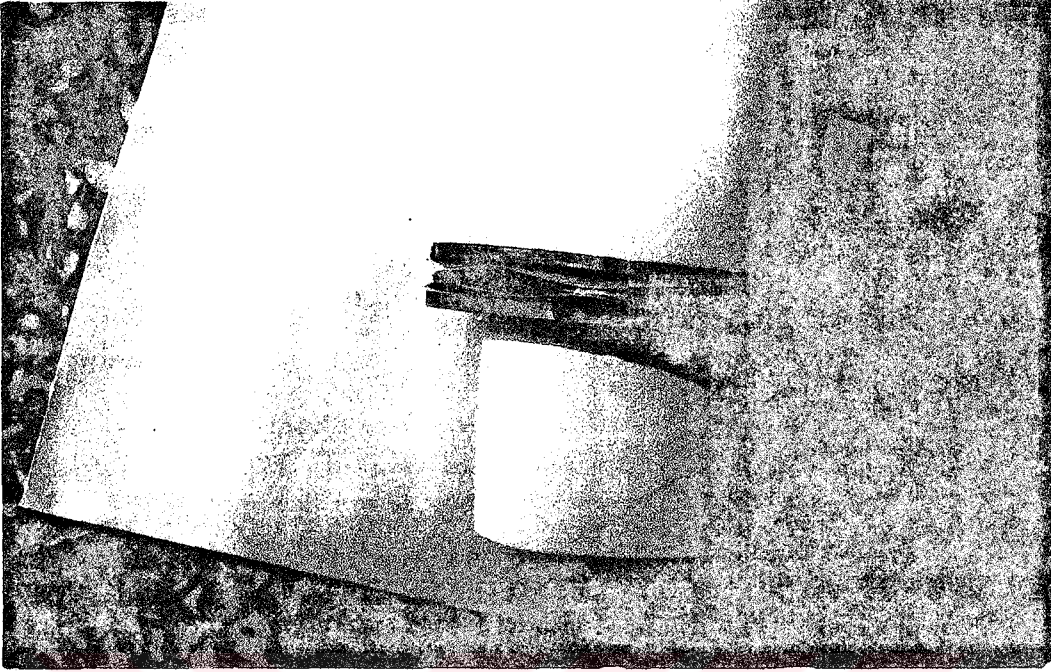




Resim.1. Rotorda Kullanılan Sürekli Mıknatıs



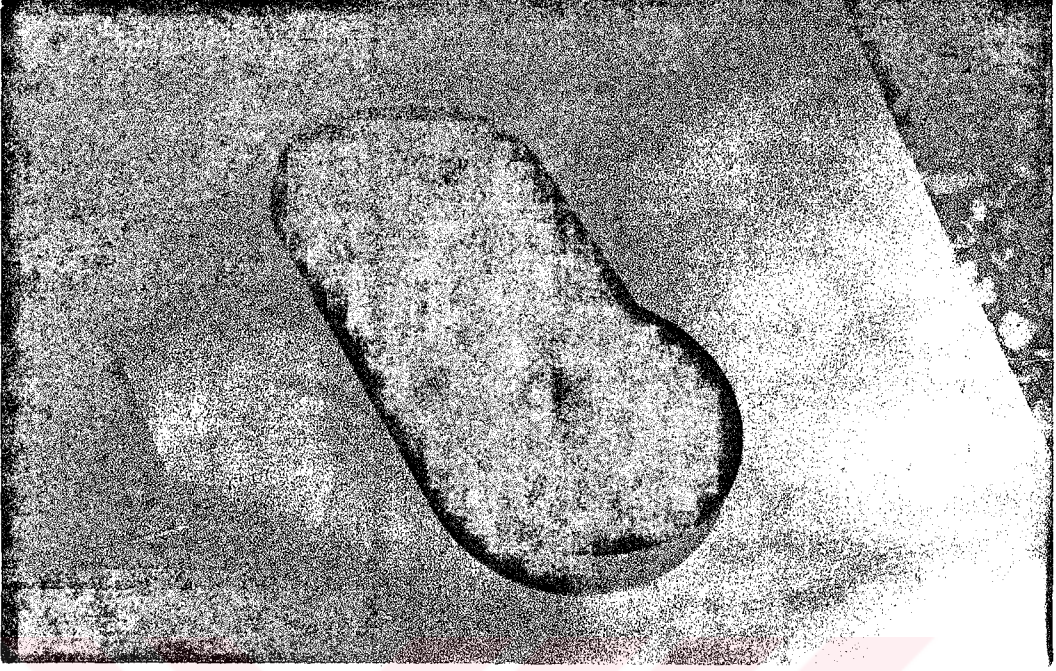
Resim.2. Bobin



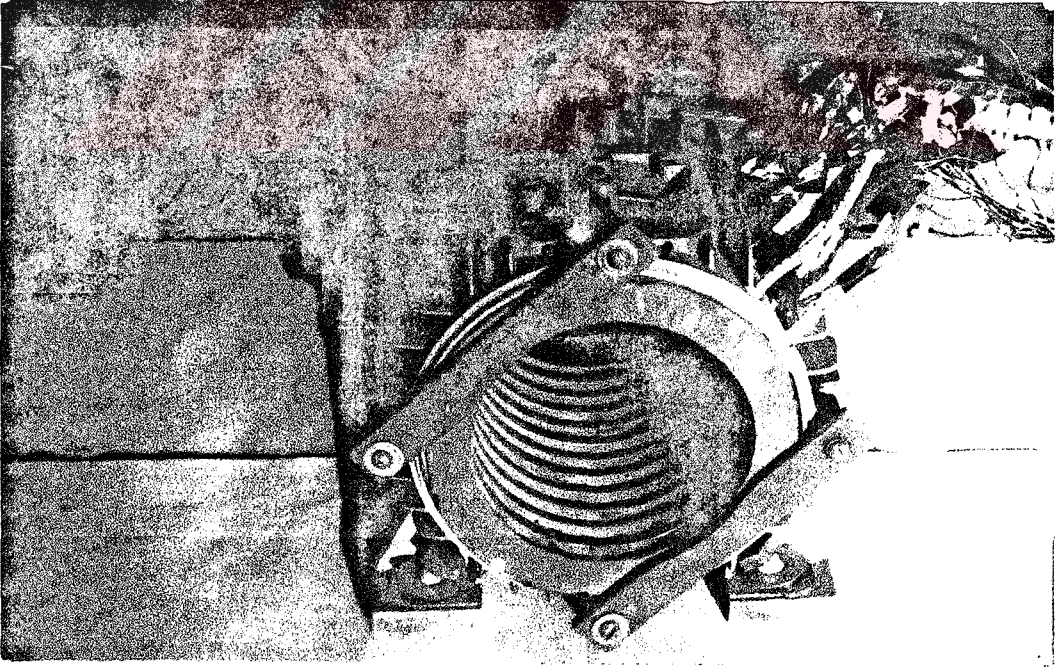
Resim.3. Stator Sac Paketler ve Bobin



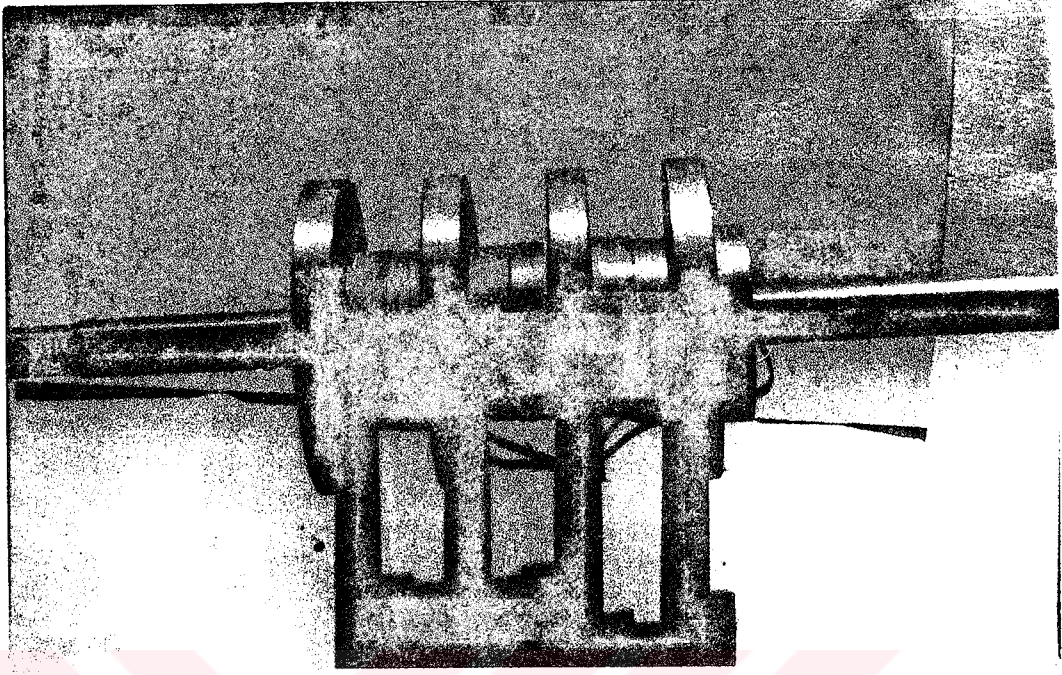
Resim.4. Stator Sacları ve Bobin



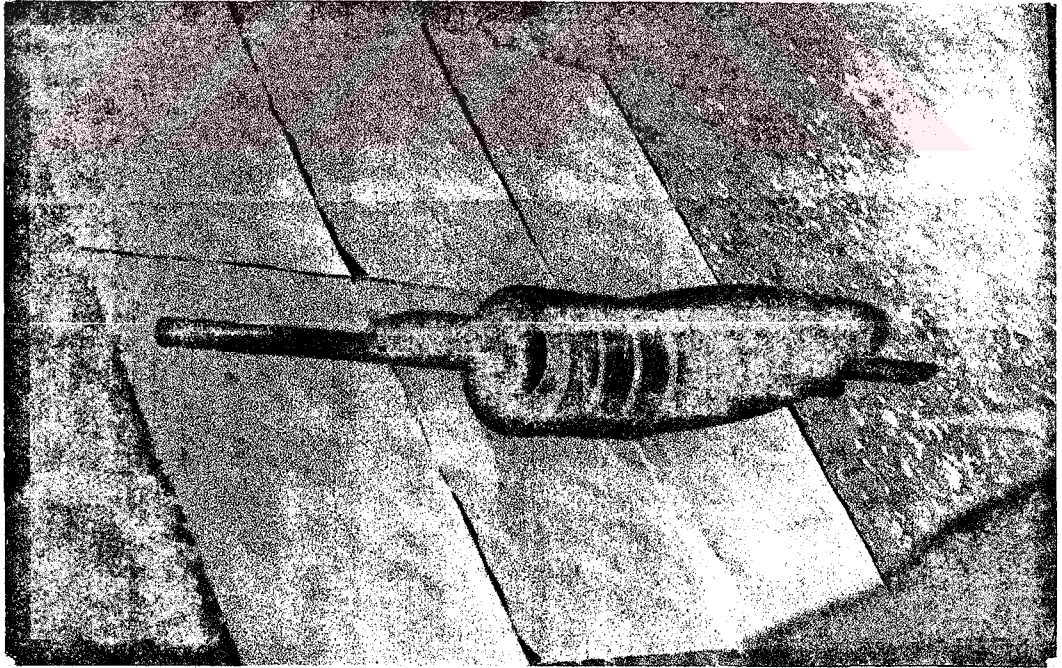
Resim.5. Rotor Kutup Ayağı



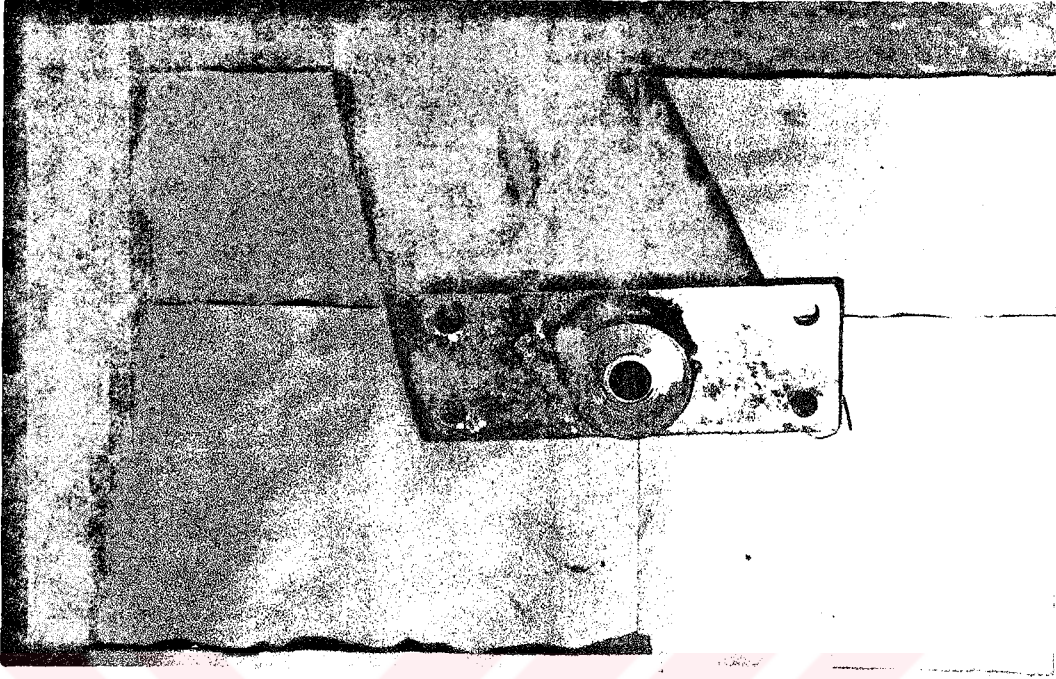
Resim.6. Stator (Sac Paketler ve Bobinlerle Birlikte)



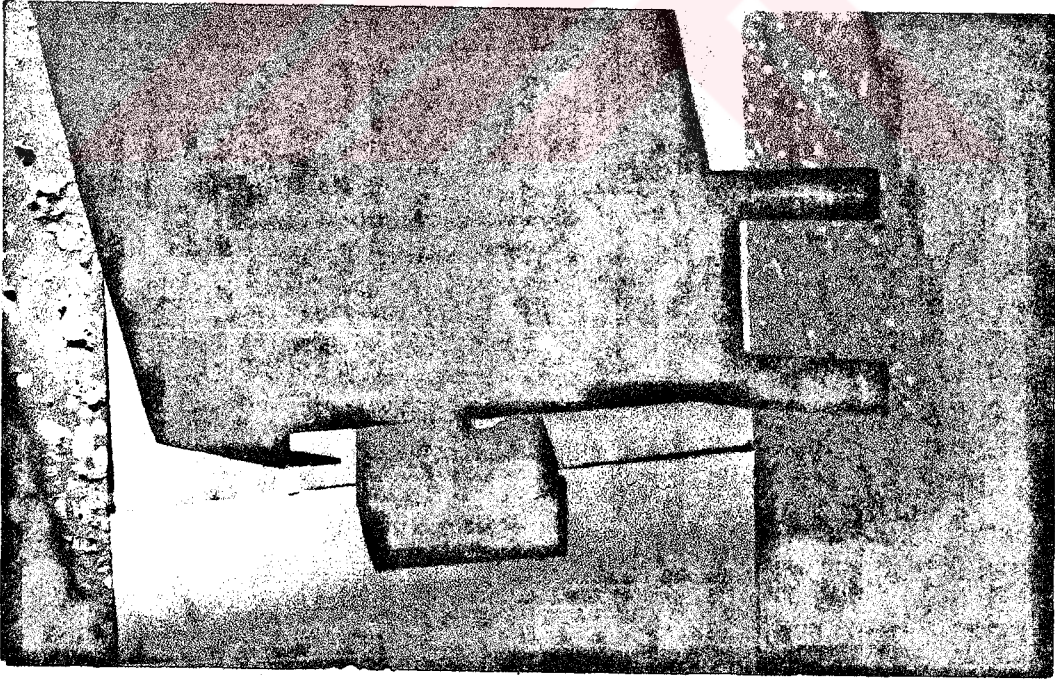
Resim.7. Rotor (Kutup Ayakları ve Mıknatıslarla Beraber)



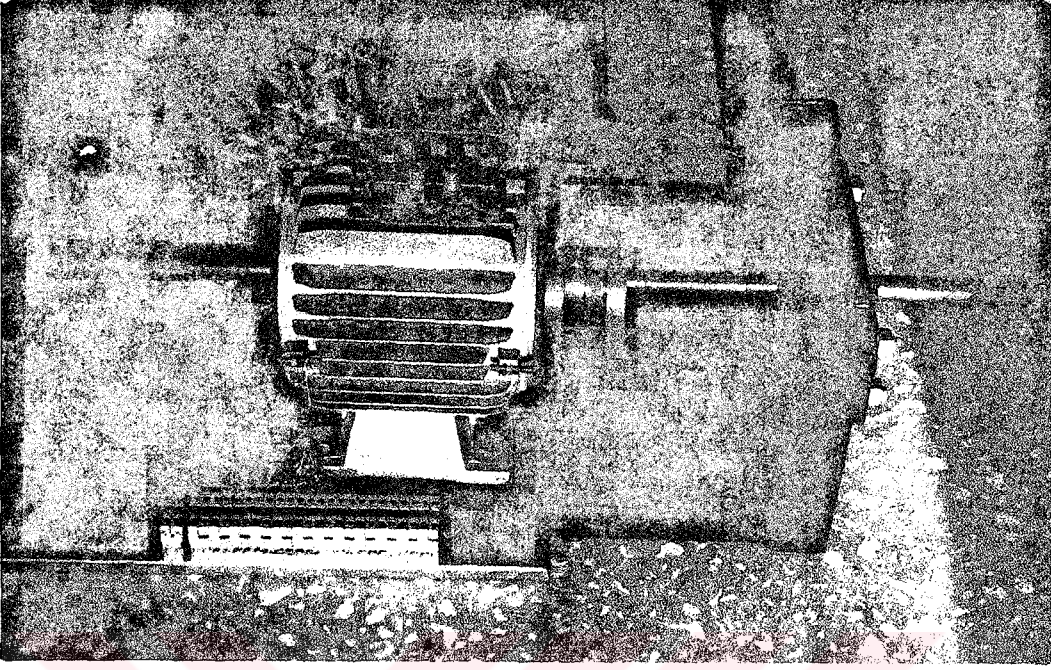
Resim.8. Değişik Açıdan Çekilmiş Rotor



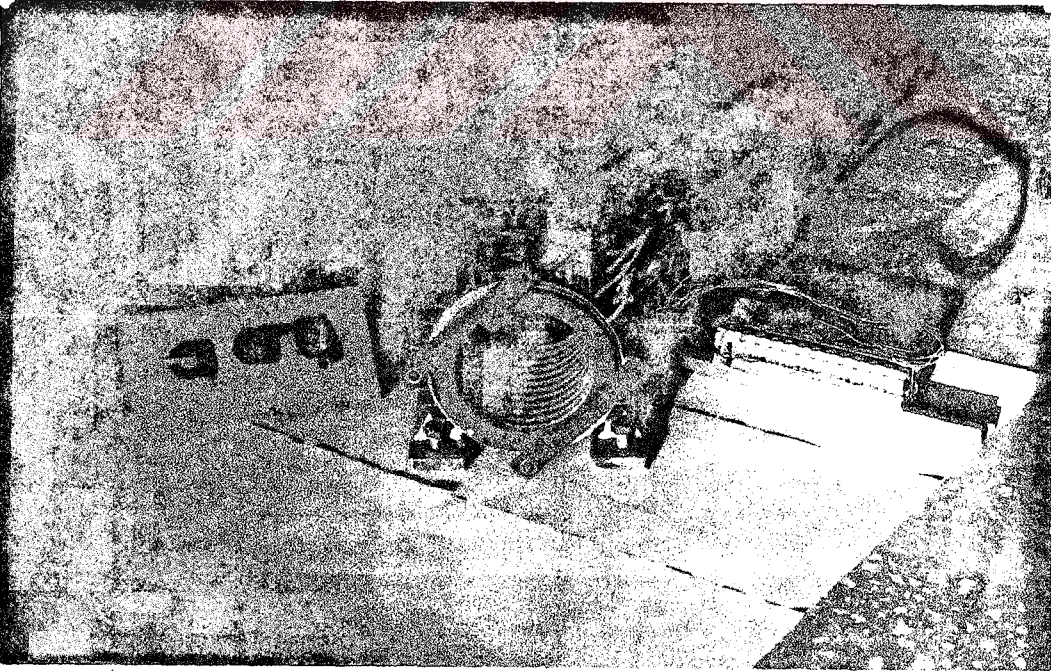
Resim.9. Burçlu Lineer Yatak



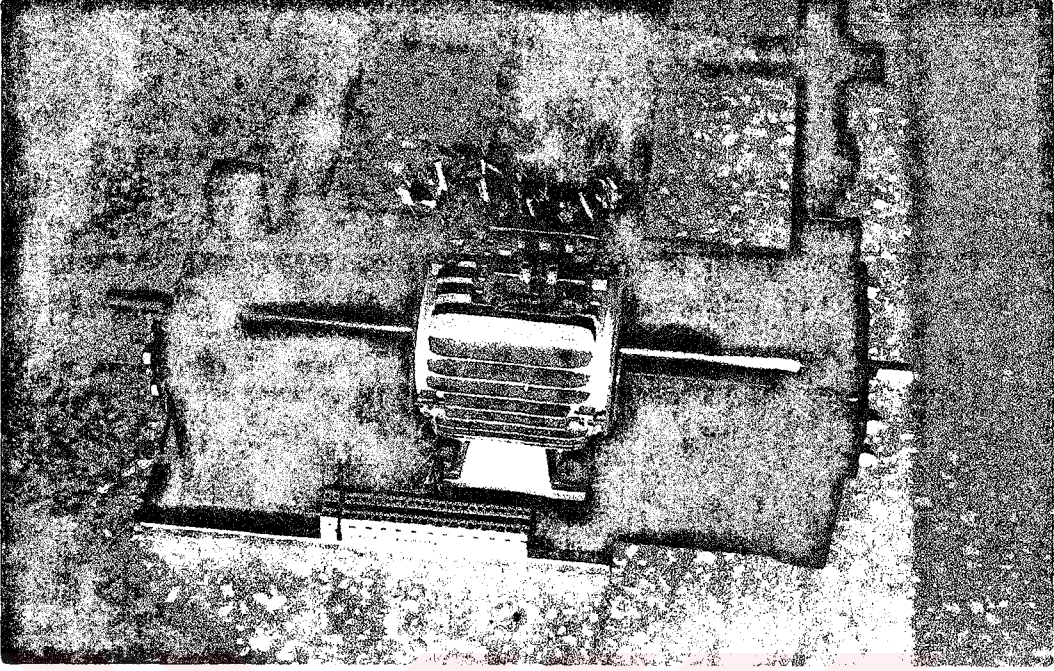
Resim.10. Burçlu Yatak ve Motor Kaidesi



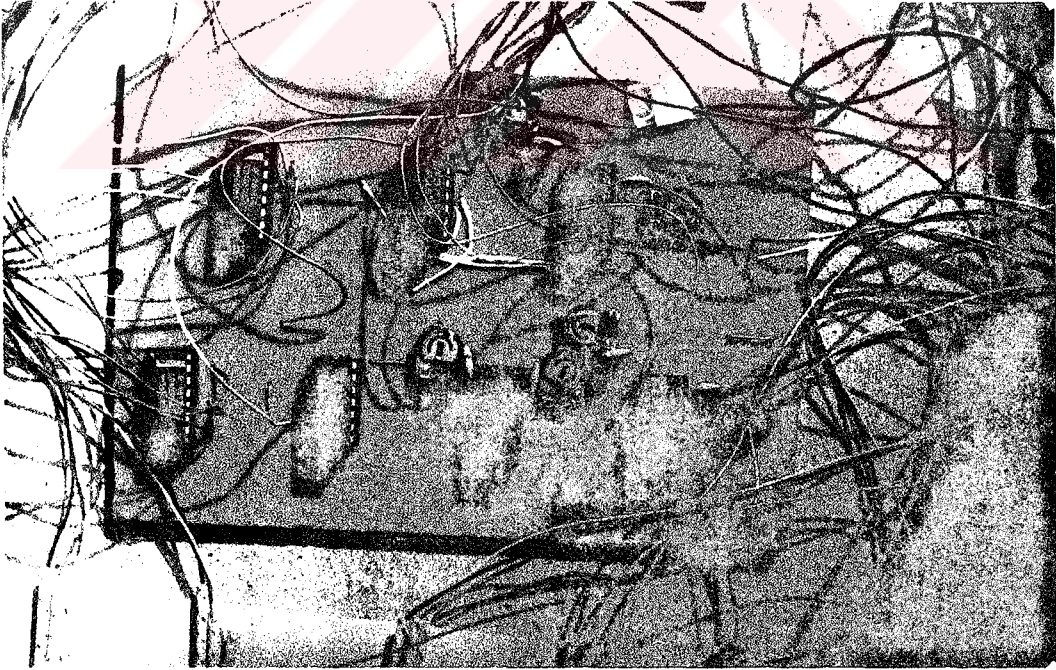
Resim.11. Montajı Tamamlanmış Haldeki Motor



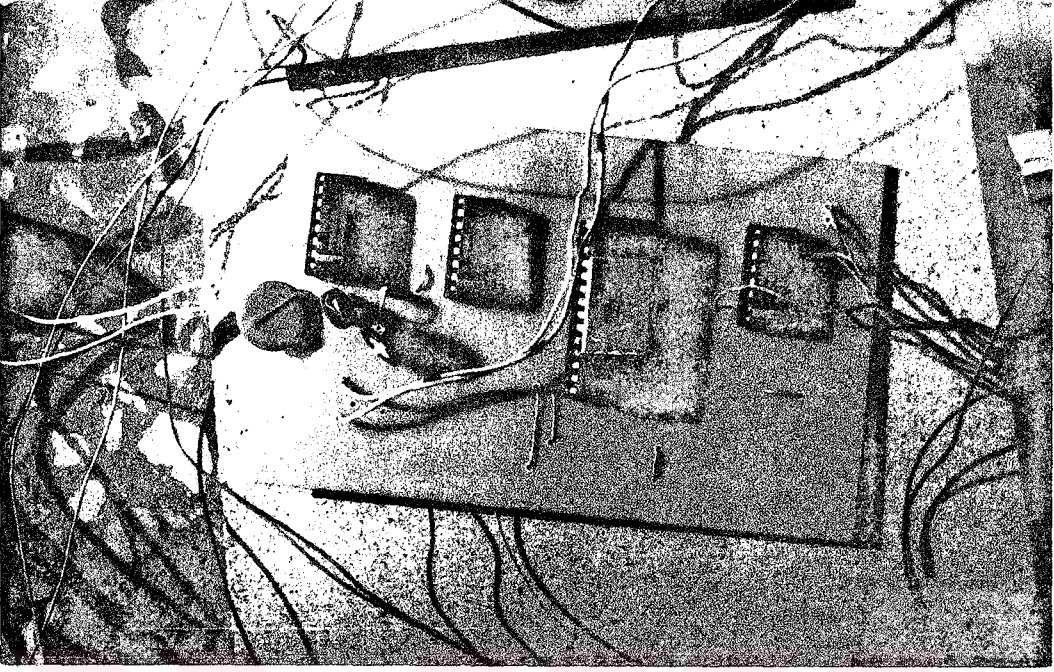
Resim.12. Motor ve Kontrol Anahtarları



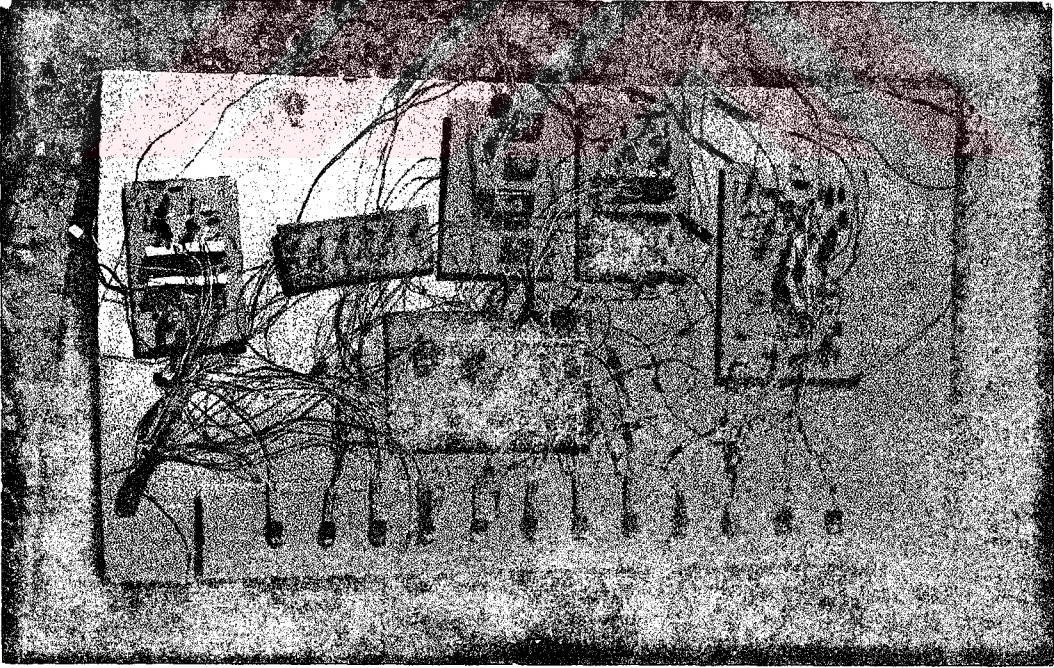
Resim.13. Montajı Tamamlanmış Durumda Motor



Resim.14. Monostabl Multivibratör ve Exclusive-OR



Resim.15. Ön Sürücü Devre



Resim.16. Tamamlanmış Kontrol Devresi



Resim.17. Tamamlanmış Durumda Motor

ÖZGEÇMİŞ

Yazar 1.5.1966'da Sivas'ta doğdu. Lise eğitimini Sivas Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümünde 1983 yılında tamamladı. Aynı yıl İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümüne girdi ve 1987-1988 güz yarıyılında mezun oldu. Mayıs 1988'de Cumhuriyet Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak girdi. Halen bu göreve devam etmekte olup, İngilizce bilmektedir.

Sırrı Sunay GÜRLEYÜK

P. O.
Yükseköğretim Kurulu
Doküman Merkezi