

176614

**PROTOTİP BASKI DEVRE ÜRETİMİ İÇİN BİLGİSAYAR
KONTROLLÜ BİR SİSTEM TASARIMI**

BESTAMİ RECEP ERGÜN

**Mersin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Ana Bilim Dalı**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

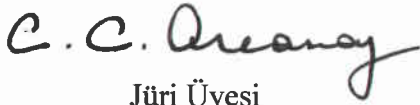
**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. HÜSEYİN CANBOLAT**

**MERSİN
Ocak-2005**

Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.



Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin CANBOLAT



Jüri Üyesi
Prof. Dr. C. Cengiz ARCASOY



Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin MUTLU

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun 22./03./2005...tarih ve 2005.10...../.....150..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mahir TURHAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ÖZ

Tasarımı yapılan elektronik devrelerin üretim öncesi test işlemlerini tamamlamak amacıyla; sanayi kuruluşlarında, elektronik eğitimi veren kurumlarda ve küçük işletmelerde baskı devre yapmak için prototip baskı devre üretim sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işlem için geleneksel olarak kullanılan serigrafi ve pozitif-20 metodları fazla zaman almaktadır ve masraflıdır. Bu çalışmada; bilgisayar ortamında tasarımı yapılan baskı devrenin bir yazılım ve elektromekanik sistem yardımıyla bakırlı plakete hızlı ve ekonomik şekilde aktarılması amaçlanmıştır. Bunun için, BESTPCB adını verdiğimiz bir yazılım ve üç eksenli bir elektromekanik sistem hazırlandı.

BESTPCB programı HPGL formatında kaydedilmiş PCB şemasını işleyerek ham PCB kartı üzerinde kazınacak kısımların koordinatlarını belirler. Bu koordinatlara uygun biçimde üretilmiş kontrol komutlarını paralel port vasıtasıyla elektromekanik sisteme iletir. Komutları alan kontrol devresi, motorları uygun şekilde sürerek iletim yollarının PCB üzerine kazınmasını sağlar.

Anahtar Kelimeler: Baskı devre, grafik dili, kenar belirleme, kazıma, elektromekanik sistem

ABSTRACT

PCB prototype production systems are used in small businesses, electronics industry and educational institutions to test the designed circuit. Traditional prototype production methods are serigraphy and photo-etching (positive-20). These methods are expensive and time-consuming. In this study, a computer controlled electromechanical system is designed to transfer the conduction paths on a raw PCB economically. A PCB path diagram is prepared in HPGL format. BESTPCB software takes the path diagram in HPGL format and analyses the diagram. The software determines the paths and generates commands to control the electromechanical system. The commands are sent to the control circuit via parallel port of a personal computer. The electromechanical system chips the copper on raw PCB.

Keywords: Printed circuit board, graphic language, edge detection, chipping, electromechanical system

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında emeği geen tez danıőmanım Yrd. Do. Dr. Hüseyin CANBOLAT'a teőekkürü bir bor bilirim.

AutoCAD izimlerinde değerli yardımlarını esirgemeyen Alper Őahin'e; ayrıca bu tezin hazırlanmasında maddi ve manevi desteğini, en zor vakitlerimde anlayıő ve güler yüzlerini esirgemeyen aileme, tüm dostlarıma ve amirlerime teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. GELENEKSEL BASKI DEVRE ÇIKARMA YÖNTEMLERİ	
HAKKINDA GENEL BİLGİ	3
2.1.1. Serigrafi Yöntemi.....	3
2.1.1.1. Foto emülsiyonlar.....	3
2.1.1.2. Şablon hazırlama ve boya baskı işlemleri.....	4
2.1.2. Pozitif-20 Metodu.....	5
3. MATERYAL ve METOD	7
3.1. ADIM MOTORLARI	7
3.1.1. Adım Motorların Sınıflandırılması.....	9
3.1.1.1. Sabit mıknatıslı adım motorları.....	9
3.1.1.2. Değişken relüktanslı adım motorları.....	10
3.1.1.3. Doğrusal adım motorları.....	11
3.1.1.4. Melez tip adım motorları.....	12
3.1.1.5. Çift kutuplu adım motorları.....	13
3.1.1.6. Tek kutuplu adım motorları.....	15
3.1.1.7. Evrensel tip adım motorları.....	17
3.1.2. Adım Motorlarına Ait Önemli Karakteristikler.....	18
3.1.2.1. Çözünürlük.....	18
3.1.2.2. Doğruluk.....	19
3.1.2.3. Tutma momenti.....	19
3.1.2.4. Tek adım tepkisi.....	20
3.1.2.5. Sürekli rejimde maksimum yük momenti.....	22
3.1.2.6. Kalkışta maksimum yük momenti eğrisi.....	23

3.1.3. Adım Motoru Parametreleri	24
3.1.4. Adım motorlarının sürülmesi	25
3.2. 2-D HPGL KOMUTLARI	28
3.3. SİSTEMİN YAPISI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	29
3.3.1. Sistemin Genel Yapısı	29
3.3.2. Yazılım	30
3.3.3. Kontrol Devresi	34
3.3.3.1. Standart paralel portun yapısı.....	34
3.3.3.2. Paralel portun sistem içinde kullanılışı	36
3.3.3.3. Kontrol devresinin tasarımı ve oluşturulması	38
3.3.4. Elektromekanik Sistemin Yapısı.....	39
3.3.5. Sistem Parametrelerinin Hesaplanması.....	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	48
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	53
EKLER.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>SAYFA</u>
Çizelge 3.1. Çift kutuplu adım motoru için tam adım kontrol tablosu	14
Çizelge 3.2. Çift kutuplu adım motoru için yarım adım kontrol tablosu	15
Çizelge 3.3. Tek kutuplu adım motoru için tam adım tablosu	16
Çizelge 3.4. Tek kutuplu adım motoru için güçlendirilmiş tam adım tablosu.....	17
Çizelge 3.5. Tek kutuplu adım motoru için yarım adım tablosu.....	17
Çizelge 3.6. Kontrol devresi için tam adım tablosu	34
Çizelge 3.7. Kontrol devresi için yarım adım tablosu.....	34
Çizelge 3.8. Paralel porta erişmek için kullanılan genel adresler	35
Çizelge 3.9. Paralel portta yer alan uçlar ve işlevleri.....	36
Çizelge 3.10. Sistem için seçilen uçlar ve görevleri	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>SAYFA</u>
Şekil 2.1. Serigrafi metodunda boya baskı işleminin uygulanması	5
Şekil 2.2. Pozitif-20 metodunun uygulanması	6
Şekil 3.1. Adım motorunun kesit görüntüsü	8
Şekil 3.2. Sabit mıknatıslı adım motorlarının rotor yapısı	10
Şekil 3.3. Tutma momenti ve uyarma momentlerinin aynı ekseninde gösterimi....	10
Şekil 3.4. Değişken relüktanslı adım motorunun prensip yapısı.....	11
Şekil 3.5. Doğrusal adım motorunun prensip yapısı	11
Şekil 3.6. Melez tip adım motorunun prensip yapısı.....	12
Şekil 3.7. Melez tip adım motorunun görüntüsü.....	12
Şekil 3.8. Çift kutuplu adım motorunun şematik sembolü.....	14
Şekil 3.9. Çift kutuplu adım motoru test devresi	14
Şekil 3.10. Çift kutuplu adım motoru için transistörlü sürücü devresi prensip şeması.....	15
Şekil 3.11. Tek kutuplu adım motorunun şematik sembolü.....	16
Şekil 3.12. 6 uçlu, tek kutuplu bir adım motorunun transistörlü sürücü devresi prensip şeması.....	16
Şekil 3.13. Evrensel tip adım motorunun şematik sembolü.....	18
Şekil 3.14. İki fazlı sabit mıknatıslı adım motorunda tutma momentinin rotor pozisyonuna göre değişimi	20
Şekil 3.15. Tek adım cevap karakteristiği	21
Şekil 3.16. Sürekli rejimde maksimum yük momenti / hız eğrisi	23
Şekil 3.17. Kalkışta maksimum yük momenti eğrisi	24
Şekil 3.18. Adım motorlarının sürülmesine ait blok şema.....	26
Şekil 3.19. Çift kutuplu adım motorlarını sürmek için örnek güç devresi şeması .	27
Şekil 3.20. Tek kutuplu adım motorlarını sürmek için örnek güç devresi şeması .	28
Şekil 3.21. Tasarlanan sistemin bolok yapısı	30
Şekil 3.22. BESTPCB yazılımında kenar belirleme işlemi.....	32
Şekil 3.23. BESTPCB yazılımında yol belirleme işlemi	32
Şekil 3.24. BESTPCB yazılımında başlangıç pozisyonu ayarları menüsü	33

Şekil 3.25. BESTPCB yazılımında hız ayarları menüsü.....	33
Şekil 3.26. Paralel portun yapısı	35
Şekil 3.27. Paralel portun sisteme özel yapılandırılması	37
Şekil 3.28. Kontrol devresi.....	38
Şekil 3.29. Kontrol devresi için hazırlanan baskı devre şeması.....	39
Şekil 3.30. İmal edilen kontrol devresi resmi	39
Şekil 3.31. Çeşitli CNC tezgah düzeneklerinin yapısı	40
Şekil 3.32. Hazırlanan elektromekanik sistemin yapısı	41
Şekil 3.33. Hazırlanan elektromekanik sistemin resmi	41
Şekil 3.34. Sistemde üretilen örnek baskı devre resimleri	42
Şekil 3.35. X ve Y eksenlerinde yeralan yüklere etki eden kuvvetler.	42
Şekil 3.36. Motor miline etki eden kuvvetler.....	42
Şekil 3.37. Z ekseninde yeralan kolu hareket ettiren kuvvet	44
Şekil 3.38. Freze çapı ve kesme derinliği	45
Şekil 3.39. Frezeleme genişliği ve diş başına ilerleme	45

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

D	: Freze çapı	(mm)
z_n	: Freze gövdesindeki toplam kesici kenar sayısı	
f_z	: Diş başına ilerleme	(mm/dev)
n	: Frezenin devir sayısı	(dev/dak)
V_f	: Tabla ilerleme hızı	(mm/dak)
V_c	: Frezenin kesme hızı	(m/dak)
f_n	: Tablanın devir başına ilerleme mesafesi	(mm/dev)
Q	: Birim zamanda kaldırılan talaş hacmi	(mm ³ /dak)
K	: Kesme katsayısı	
a_p	: Talaş derinliği	(mm)
a_e	: Frezenin işleme genişliği	(mm)
P_c	: Net kesme gücü	(Kw)
m	: Kütle	(kg)
g	: Yerçekimi ivmesi	(m/s ²)
μ	: Sürtünme katsayısı	
τ	: Moment	(Nm)
r	: Yarıçap	(m)
F	: Kuvvet	(N)
f_s	: Sürtünme kuvveti	(N)
ε	: Mutlak hata	
ε_t	: Bağlı hata	
yg	: Gerçek değer	
yy	: Yaklaşık değer	

1. GİRİŞ

İlk defa 1936 yılında Avusturya'lı mühendis Paul Eisler tarafından kullanılmış olan baskı devre yöntemi, II. Dünya savaşı sırasında Amerikalılar tarafından daha sağlam radyolar üretmek için kullanılmıştır. 1950'den beri yaygın olarak kullanılan bu teknoloji gelişerek günümüzde çok katlı baskı devrelerin üretimi noktasına gelmiştir [1,2].

Elektronik devrelerin üretimi öncesi test işlemlerinin yapılabilmesi için prototiplerinin oluşturulması gerekmektedir; bu amaçla kullanılan en yaygın yöntem "breadboard" üzerine elemanların yerleştirilerek devrenin denenmesidir. Bu yöntem ancak alçak frekansta çalışan ve düşük güç tüketimi olan basit devrelerin denenmesi için uygundur. Ayrıca elemanlar lehimlenmeden yuvalara yerleştirildiği için temassızlık durumunda testi yapılan devredeki sorunların tespiti güçleşmektedir.

Devrelerin daha sağlıklı koşullarda testi için baskı devresinin çıkarılması ve elemanların lehimlenerek denenmesi gerekmektedir. Bu noktada ihtiyaç duyulan prototip baskı devrenin, geleneksel serigrafı veya pozitif-20 yöntemleriyle elde edilmesi hem zahmetli hem de masraflı olmaktadır [3]. Ayrıca hatası tesbit edilen devreler için kısa sürede yeni bir baskı devre çıkarmak ihtiyacı, aynı zorlu sürecin tekrarı anlamına gelmektedir. Sözü edilen yöntemlerin her ikisinde de çeşitli kimyasallar kullanıldığından insan ve çevre sağlığı açısından sakıncalar içermektedir.

Prototip baskı devre üretimindeki bu sorunları ortadan kaldırmak için bilgisayar kontrollü yeni bir sistem tasarımı yapılmıştır . Bu çalışmada amaçlanan; baskı devre şeklinin bilgisayar ortamından doğrudan plakete aktarılmasını mümkün kılacak bir sistem geliştirmektir. Çalışma sırasında elde edilen bulguların, bu amaçla geliştirilecek endüstriyel uygulamalara ve mekanik sistemlerin bilgisayarla kontrol edildiği farklı sistemlerin tasarımına da ışık tutacağı düşünülmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Günümüzde adım motorları, elektrik, elektronik ve kontrol mühendisliği alanlarında yapılan çalışmalarda yer alan tahrik ve pozisyon denetimi konularında en çok tercih edilen elektrik motoru türü olarak göze çarpmaktadır.

Adım motorunun kullanıldığı açık çevrim kontrol sistemleriyle, kabul edilebilir hassasiyette ve ekonomik çözümler üretilebilmesi nedeniyle yeni sistem tasarımlarında daha etkili ve verimli çalıştırılabilmesi yönünde araştırmalar yapılmaktadır [4,5,6,7,8].

Adım motorlarının üretim koşullarında belirlenen sabit adım açıları, “mikro adımlama” (micro stepping) yöntemiyle aşılmıştır. Bu yöntem hibrid (melez) tip adım motorlarında uygulanmaktadır. Bugün üretilen en düşük adım açısına sahip hibrid motorların çözünürlüğü, 0.72° yani bir tam devri 500 adım olabilmektedir. Aynı motor için geliştirilen mikro adımlama yöntemiyle çözünürlük 0.0036° yani bir tam devirde 100000 adım kadar olabilmektedir. Ancak bu yöntem çözünürlüğü arttırsa da motorun üretebildiği maksimum momentin önemli ölçüde düşmesine neden olmaktadır [4]; dolayısıyla hassas konumlandırma ihtiyacına karşı düşük momentle çalışabilecek yazıcı ve çizici gibi sistemlerde kullanılabilir.

Tasarlanan sistemde, hassas konumlandırma ihtiyacı ile birlikte yüksek momente gereksinim duyulduğundan ve mikro adımlama yöntemi ile sürülen motorlar için yüksek maliyetli özel kontrol devresi gerektiğinden dolayı [5], bu çalışmada mikro adımlama yöntemi kullanılmamıştır.

Adım motorlarının mikroişlemci yada bilgisayarla kontrolü konusunda bir çok araştırma ve pratik çalışma yapılmıştır. Tek bir adım motorunun tahrik elemanı olarak kullanıldığı mekanik sistemin incelenmesi [4], bilgisayar kontrollü endüstriyel konum kontrol sisteminin oluşturulması [6], ya da adım motoru kullanılarak plotter uygulamasının gerçekleştirilmesi [7], bu çalışmalar arasındadır.

2.1. GELENEKSEL BASKI DEVRE ÇIKARMA YÖNTEMLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

Bakırlı plaket üzerine yolların çizimi değişik yöntemlerle yapılmaktadır. Bunların başında serigrafi yöntemi ve pozitif-20 yöntemi yer almaktadır.

2.1.1. Serigrafi Yöntemi

Serigrafi yönteminde baskı işleminin gerçekleştirilmesi, çerçeveye gerilen elek (ipek kumaş) üzerine yapılacak bazı işlemlerle yüzeyde boya geçiren ve geçirmeyen alanların oluşturulması ile mümkündür. Bu aşamaya “şablon” ya da “kalıp hazırlama” aşaması denir [3].

2.1.1.1. Foto emülsiyonlar

Serigrafinin yaygınlaşması ile birlikte gereken tüm ürünler (tezgahlar, baskı aparatları, kurutma düzenekleri, çerçeveler, boyalar ve çeşitli emülsiyonlar) ticari amaçlarla üretilmeye başlanmıştır. Şablon çıkarmak için kullanılan hazır foto emülsiyonların bazıları; Serisan firmasının ürettiği Serisol, Serifot, Masterfilm, Onsan ve Artservis firmasının ürettiği AlkoseTT'tir [3].

Hazır emülsiyonların içerikleri, kullanılacağı alana göre çok çeşitlilik göstermekle birlikte örnek bir emülsiyon içeriği:

85 gr Jelatin, 15 gr Gliserin, 30 gr Boraks, 40 gr Arapzımkı, 340 gr Çiriş, 15 gr Ammonia (nişadır), bir miktar menekşe rengi boya (renklendirme için) 1200 cl su içinde kaynatılarak elde edilir [3].

Tüm foto emülsiyonlar için mutlaka gerekli olan hassaslandırıcı içeriği:

40 gr Potasyum Bikromat, Amonyum Bikromat, Diazo veya Dikromat maddelerinden biri 100 cl damıtık su içinde eritilerek elde edilir [3].

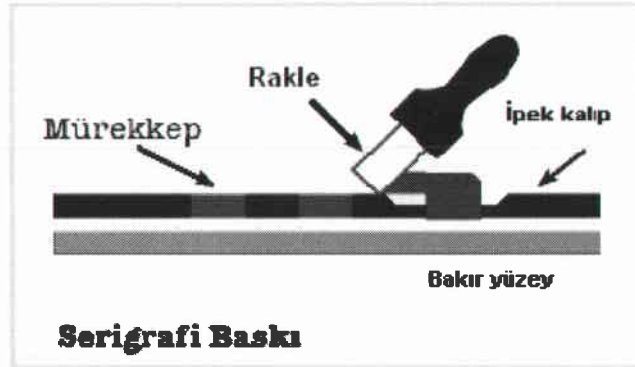
2.1.1.2 Şablon hazırlama ve boya baskı işlemleri

Şablon hazırlamak için gerekli işlem adımları [3]:

- i. Baskıda kullanılacak olan eleğin yüzeyini kaplayacak kadar emülsiyon küçük bir plastik kaba alınır.
- ii. Bu emülsiyona onda bir oranda hassaslandırıcı katılır ve tahta, cam ya da plastik bir çubukla iyice karıştırılarak birkaç dakika dinlendirilir. Özellikle belirtilmemişse foto emülsiyonlar 3-4 saat içinde kullanılmalıdır. Daha fazla bekleyen emülsiyonların fotografik özelliği kaybolur.
- iii. Hazırlanmış olan emülsiyon yeterince temizlenen, yağsız, boyasız, kuru yüzeyli ve yaklaşık 60-70 derece eğimle tutulan eleğin dış yüzeyinin en üst kenarı boyunca dökülür.
- iv. Tercihen düzgün yüzeyli bir küçük plastik cetvelle, dökülen emülsiyon tüm yüzeye sıyırılır. Akıntılara fırsat vermemek için cetvel elek yüzeyine 70 derece eğimli tutulmalıdır. Emülsiyonun bir kez sürülmesi yeterli olmakla birlikte gerektiğinde birinci emülsiyonun kurumamasından sonra işlem tekrarlanabilir.
- v. Az ışıklı bir ortamda oyalanmadan emülsiyonlanan elek ışık almayacak nemsiz, tozsuz temiz bir ortamda kurumaya bırakılır. İstenirse fön ve klima gibi ısı vericilerle 30 dereceden fazla ısı vermemek şartı ile kurutulabilir.
- vi. Eleğin kurumasının tam olup olmadığı kontrol edilir. Kuruma emülsiyonun renginin matlaşmasından ve eleğin çerçeve kenarlarına el sürüldüğünde çıkardığı sestten anlaşılır. Tam kuruma sağlanınca pozlama işlemine geçilir.
- vii. Pozlama, eleğe alınması ve basılması istenen resmin veya şeklin ışık yardımı ile eleğe aktarılmasıdır. Poz süresi, emülsiyonun cinsi, elek numarası, lamba cinsi ve lambanın uzaklığı pozlamayı etkileyen faktörlerdir.
- viii. Gerektiği şekilde pozlanan elek basınçlı olmayan şebeke suyu ile önce her tarafı ıslatılarak sonra da içten ve dıştan su tutularak 4 dakika kadar yıkanır. Yıkama sırasında elek yüzeyine elle, fırça veya başka bir madde ile müdahale yapılmamalıdır.

- ix. İstenen açılma sağlanınca elek tozsuz, temiz bir yerde eğimli ya da yatay tutularak kurumaya bırakılır. İstenirse birkaç dakika bekletildikten sonra ılık hava veren kurutucularla kurutulur.
- x. Gereken yerler rötuşlanır, elek kenarları yalıtılır ve baskı için hazır duruma getirilir.

Bu işlemden sonra boya baskı işlemleriyle yollar asitten etkilenmeyecek bir şekilde plaket üzerine aktarılır (Şekil 2.1) ve gerekmeyen bakır yüzeyi aşındırmak için $FeCl_3$ veya HCl banyosuna konulur. Bir müddet sonra asitten etkilenmeyen boya sayesinde iletken yollar plaket üzerinde kalırken, gereksiz bakır yüzey aşınmaktadır. Plaketin bekleme süresi asit çözeltisinin seyreltik ya da derişik olmasına göre değişmektedir, süreyi kısaltmak için çözelti içine perhidrol konulabilir. Asit banyosundan çıkarılan plaket su ile durulanıp kurutulur. Plaket üzerindeki lehim yapılacak noktalar delinerek kullanıma hazır hale getirilir.

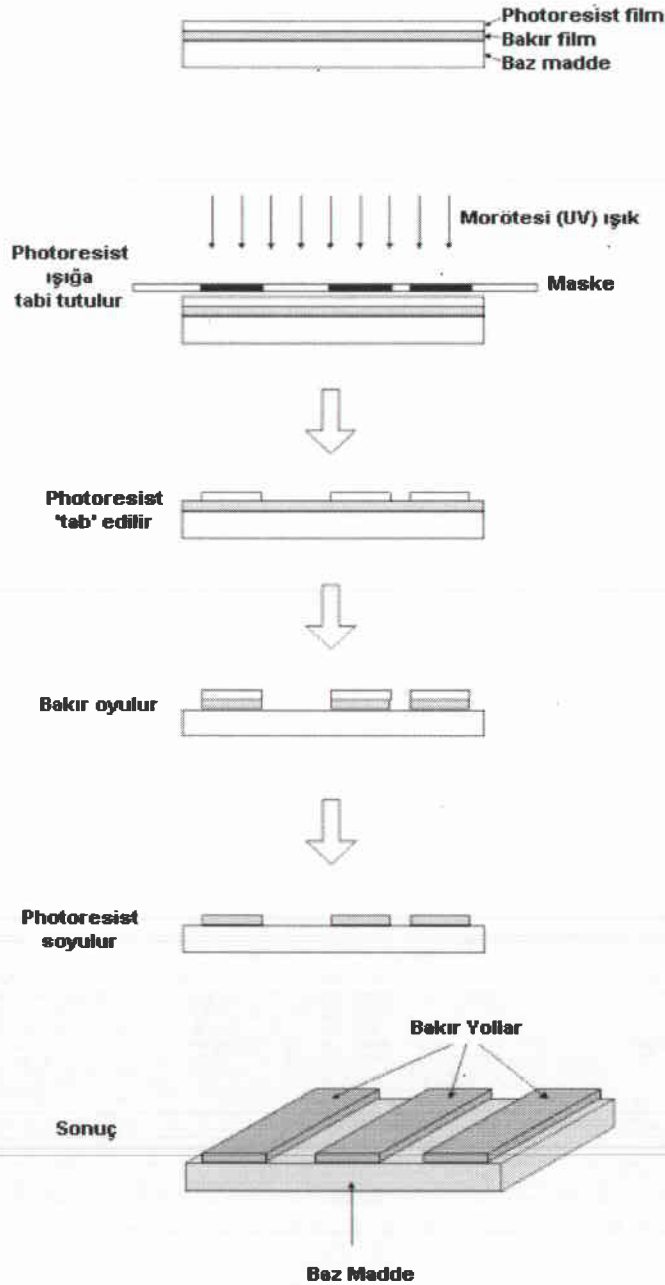


Şekil 2.1. Serigrafi metodunda boya baskı işleminin uygulanması

2.1.2. Pozitif-20 Metodu

Bu yöntemde kullanılan ışığa duyarlı malzeme basınçlı kutu içinde piyasadan pozitif-20 adıyla temin edilebilmektedir. Yeterince aydınlatılmış loş bir ortamda yüzeyi temizlenmiş bakırlı plaket üzerine yaklaşık 20 cm mesafeden pozitif-20 püskürtülür, plaket yüzeyinde oluşacak ışığa duyarlı kimyasal tabakanın homojen olmasına özen gösterilmelidir; yüzeyde oluşan tabaka kurutulduktan sonra aydinger veya asetata aktarılan baskı devre şekli ile pozlandırma işlemi uygulanır.

Pozlandırılmış plaket NaOH banyosundan geçirilerek ışık alan bölgelerin çözünmesi sağlanır, bu aşamada pozitif-20 maddesi plaket yüzeyinde sadece iletim yollarında kalır. $FeCl_3$ veya HCl asit banyosuna konulan plaket üzerindeki istenmeyen bakırlı alanlar çözünerek gerekli iletken yollar elde edilir, bu işlemler Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Son olarak gereken noktalar delinerek baskı devre kullanıma hazır hale getirilir.



Şekil 2.2. Pozitif-20 metodunun uygulanması

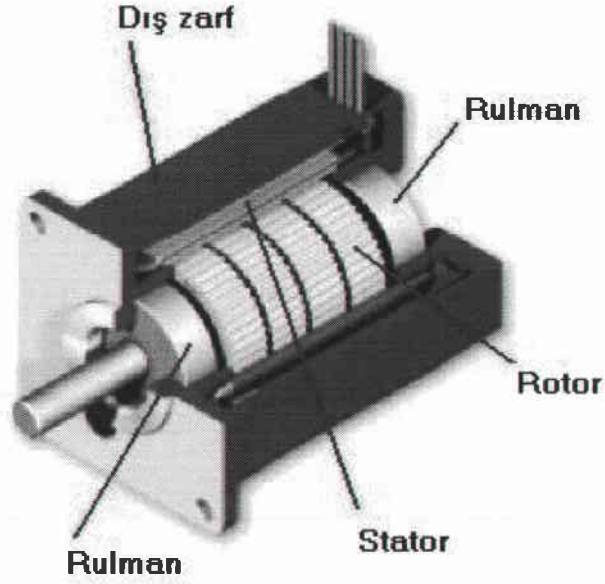
3. MATERYAL ve METOT

3.1. ADIM MOTORLARI

Adım motorları, girişlerine uygulanan darbe dizilerine karşılık adım adım dönme hareketi yapabilen elektromanyetik elemanlardır. Çalışma prensiplerine göre rotorun n adımlık bir dönme hareketi yapabilmesi için faz sargılarının n defa uyarılması gerekir. Girişe uygulanan her darbe için rotor, belirli derecelerde (0.9° , 1.8° , 3.6° , 7.5° , 15° , 30° , 45° , 90°) senkron olarak döner. Bu yüzden, artımsal konumları elde etmek için kullanılırlar. Bu motorlar dijital sistemlerle son derece uyumludur. Adım motorlarının sağladığı en önemli avantaj, konum ya da hız kontrol sistemlerinde hassas bir açık çevrim kontrolünü mümkün kılmasıdır [5,6,8]. Fiyatlarının düşük olması, kapalı sistem kontrol devresi gerektiren DC motorlara göre daha basit ve ucuza maledilebilen kontrol devreleri nedeniyle endüstride kullanımı çok yaygınlaşmıştır.

Günümüzde; yazıcılarda (printer), çizicilerde (plotter), disket ve sabitdisk sürücülerinde, sayısal kontrol sistemlerinde, CNC tezgahlarda ve daha birçok sistemde adım motorları kullanılmaktadır.

Adım motoru dinamik açıdan incelendiğinde, her bir adımında mekanik olarak bir denge noktasında olduğu görülmektedir [7]. Motor, hareketinde kendisinin ve yükün atalet momentlerinin toplamı olan bir momentle hareketi gerçekleştirir ve yeni bir denge noktasına ulaşır. Başka bir deyişle “a” denge noktasından “a + adım açısı” olan yeni bir denge noktasına gelmiş olur. Motor bu hareketi sırasında boşta ise veya yük ataletinde bir azalma meydana gelirse rotor yeni denge noktası civarında osilasyona girer. Bu olay yüksek hızlarda adım kaçırmaya veya kontrol dışı hareket etmesine neden olur. Bir adım motoru kesiti Şekil 3.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Adım motorunun kesit görüntüsü

Adım motorlarının avantajları [4,7]:

- Açık çevrim çalıştırılabilirler.
- Her yeni adımla artan konum hatası yoktur.
- Dijital giriş işaretlerine cevap verirler, bu nedenle mikroişlemcilerle kontrol için idealdirler.
- Mekanik olarak basittirler, fırçasız oldukları için bakım gerektirmezler. Yağlanma, kirlenme problemleri yoktur.
- Adım motorlu kontrol sistemleri için dizayn yöntemi son derece basit ve ucuzdur.

Adım motorlarının dezavantajları [4]:

- Adım açıları sabittir, dönme hareketi sürekli değil artımsaldır.
- Yüksek eylemsizlikli yüklerde yetenekleri sınırlıdır.
- Elde edilebilecek çıkış gücü ve momenti sınırlıdır.
- Yüksek hızlarda verimleri düşüktür.

3.1.1. Adım Motorların Sınıflandırılması

Adım motorları, yapıları ve bağlantı şekillerine göre iki ayrı kategoride incelenebilir.

Yapılarına göre adım motoru çeşitleri:

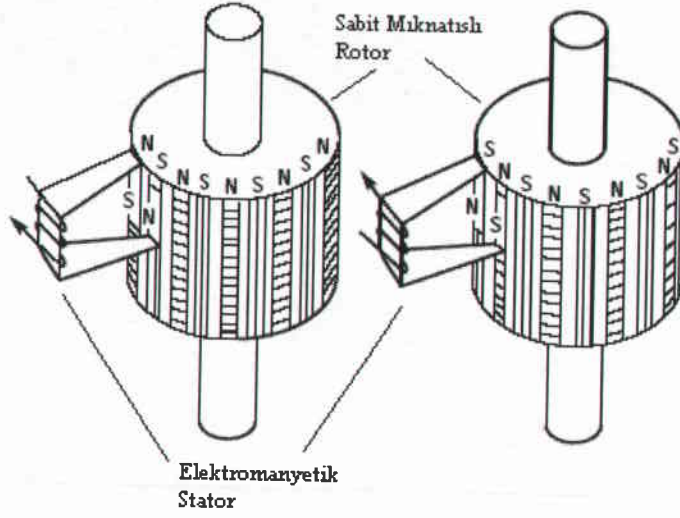
- Sabit mıknatıslı adım motorları PM (Permanent magnet stepper)
- Değişken relüktanslı adım motorları VR (Variable reluctance stepper)
- Doğrusal adım motorları (Linear stepper)
- Melez tip adım motorları (Hybrid stepper)

Bağlantı şekillerine göre adım motoru çeşitleri:

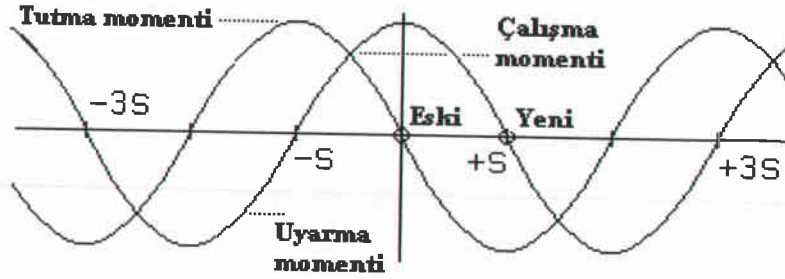
- Çift kutuplu adım motorları (Bipolar)
- Tek kutuplu adım motorları (Unipolar)
- Evrensel tip adım motorları (Universal)

3.1.1.1. Sabit mıknatıslı adım motorları

Adından da anlaşıldığı gibi bu tip adım motorunun rotoruna yerleştirilmiş sabit mıknatıs yeralır (Şekil 3.2.). Stator yapıları ise genellikle şekillendirilmiş nüve saclarından imal edilirler. Stator üzerine dağıtılmış, elektrik izoleli sargılar yeralır. Sargıların hiç birinden uyarma akımı geçmediği halde rotor en yakın stator kutbu ile hizalı halde bulunur. Stator sargılarından akım geçirilmesiyle; rotorda varolan manyetik kuvvetle, statorda oluşan manyetik kuvvetin etkileşimi sonucu motorun bir adım atması sağlanır. Statordan geçen akımın etkisiyle motorun adım atmasını sağlayan momente “uyarma momenti” adı verilir. Tutma momenti ve uyarma momenti aynı ekseninde Şekil 3.3.’te gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Sabit mıknatıslı adım motorlarının rotor yapısı

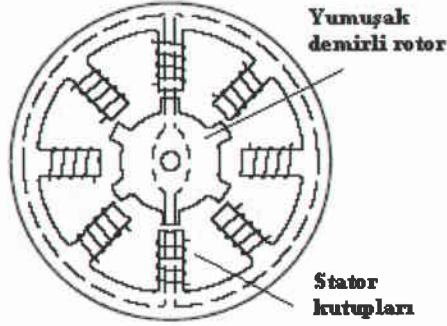


Şekil 3.3. Tutma momenti ve uyarma momentlerinin aynı ekseninde gösterimi

3.1.1.2. Değişken relüktanslı adım motorları

Bu tip motorların rotorlarında sabit mıknatıs yerine mıknatıslanabilen yumuşak demir kullanılır (Şekil 3.4.). Stator ise aynı sabit mıknatıslı adım motorlarında olduğu gibi elektro-mıknatıslardan oluşur. Sargılardan akım geçmediği zaman rotor boşta, dışardan rotora uygulanacak herhangi bir kuvvet serbest olarak dönmesine neden olur; çünkü rotor sabit manyetik özelliğe sahip değildir [4,7]. Fazlardan herhangi biri uyarıldığında statorda oluşan manyetik alan rotorun endüklenmiş bir mıknatıs olmasına neden olacaktır. Rotor ve statordaki bağımsız

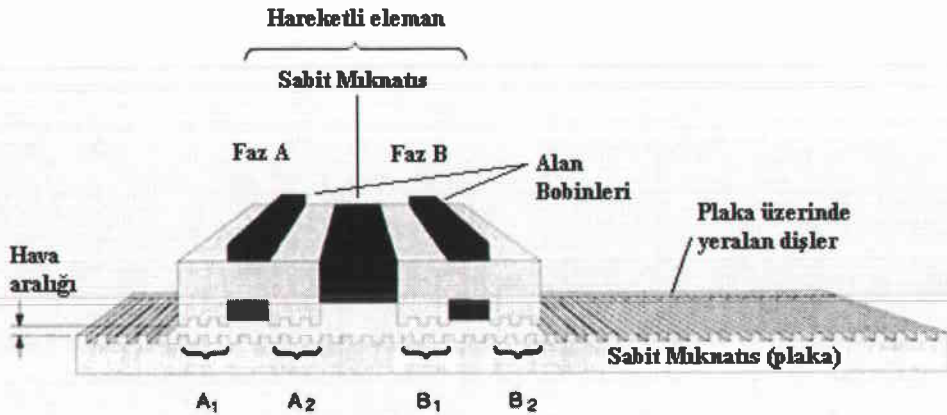
manyetik alanlar karşılıklı olarak birbirini etkileyerek rotorun minimum relüktansın olduğu yeni bir pozisyona taşınmasını sağlayacaktır [4,7].



Şekil 3.4. Değişken relüktanslı adım motorunun prensip yapısı

3.1.1.3. Doğrusal adım motorları

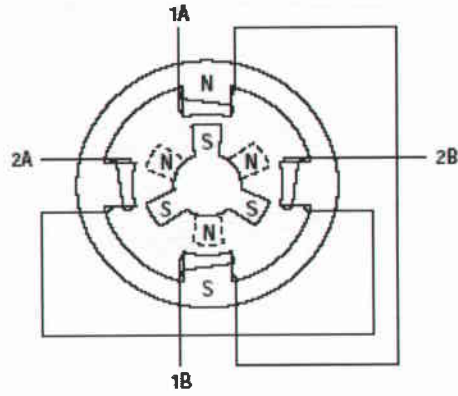
Doğrusal adım motorları; basit olarak, bilinen adım motorunun açılarak doğrusal bir hat üzerinde çalışan şeklidir. Hareket eden eleman (Forcer) sabit bir doğrusal hat üzerinde dolaşır. Sabit mıknatıs olan plaka pasif olmasına rağmen yapısı nedeniyle normal adım motorlarındaki rotora karşılık düşer. Şekil 3.5.'te görüldüğü gibi bobinler hareketli eleman üzerindedir. Hareketli eleman, herbiri üzerinde üç diş olan dört kutup parçasına sahiptir. Sargılardan geçen akımla bir diş mesafesi ilerlenir. Bu tip motorlar, küçük kütleli yüklerin doğrusal olarak yüksek hızda hareket etmeleri gereken uygulamalarda kullanılırlar [4,7].



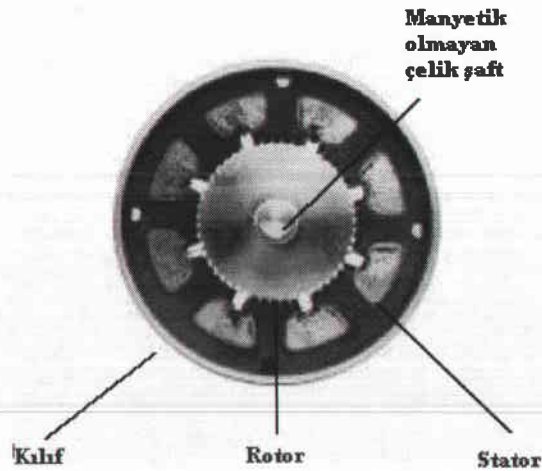
Şekil 3.5. Doğrusal adım motorunun prensip yapısı

3.1.1.4. Melez tip adım motorları

Endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan adım motoru çeşididir. Sabit mıknatıslı adım motoru ve değişken relüktanslı adım motorlarının üstün özelliklerini yapısında barındırdığı için “hybrid” yani melez olarak isimlendirilirler. Prensipteki yapısı Şekil 3.6.’da gösterilmiştir. Sabit mıknatıslı adım motorlarına benzer şekilde rotoru sabit mıknatıstan oluşur, ancak manyetik relüktansı minimuma indirmek ve karakteristik özellikleri iyileştirmek için “diş” olarak isimlendirilen çıkıntılara sahiptir (Şekil 3.7.). Statorunda ise çok kutuplu sargılar yer alır [5,6,7].



Şekil 3.6. Melez tip adım motorunun prensip yapısı



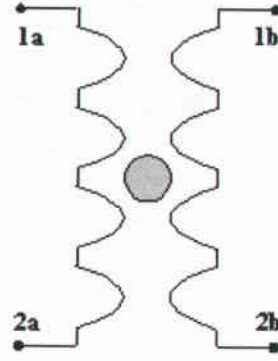
Şekil 3.7. Melez tip adım motorunun görüntüsü

3.1.1.5. Çift kutuplu adım motorları

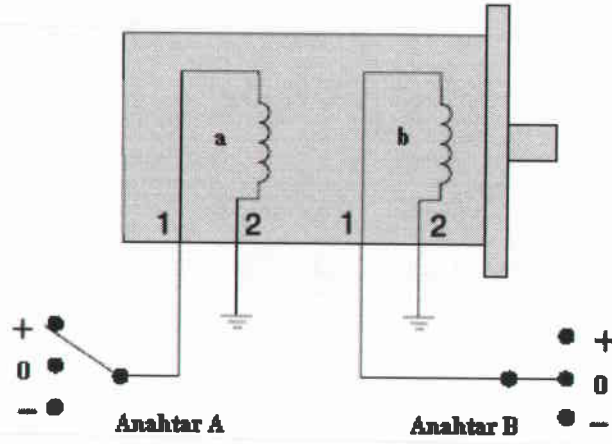
Farklı fiziksel yapıları dışında, adım motorları bağlantı şekillerine (faz sayılarına) göre de sınıflandırılırlar [8]. Farklı faz sayısına sahip adım motorlarının uyartım düzenleri ve elektriksel bağlantıları birbirinden farklıdır. İki fazlı adım motorları, çift kutuplu “bipolar” olarak isimlendirilir. Şekil 3.8’de çift kutuplu adım motorunun şematik sembolü gösterilmiştir. Bu tip adım motorlarının çalışmasını incelemek için gerekli test devresi Şekil 3.9.’da verilmiştir. Çizelge 3.1.’de görülen tam adım (full step) tablosunu elde etmek için;

- 1a ucuna + gerilim uygulanarak “a” bobininden akım geçmesi sağlanır, bu işlem motorun adım açısı kadar dönmesini sağlayacaktır, bu esnada “b” bobininden akım geçmesi istenmediğinden 1b ucu boş bırakılmıştır.
- 1a ucu boşa alınıp 1b ucuna + gerilim uygulanarak “b” bobininden akım geçmesi sağlanır.
- 1b ucu boşa alınıp 1a ucuna – gerilim uygulanarak “a” bobininden ters yönde akım geçmesi sağlanır. Akımın ters yönlü olmasına karşın motorun hareketi önceki adımlarla aynı yönde olacaktır.
- 1a ucu boşa alınıp 1b ucuna – gerilim uygulanarak “b” bobininden ters yönde akım geçmesi sağlanır.

Saat yönündeki bu hareketin sürekliliğini sağlamak için işlemler baştan tekrar edilmelidir; 5. adım 1. adımla aynıdır. Eğer motor saatin tersi yönünde döndürülmek istenirse, işlemler sondan başa doğru yürütülmelidir. Daha hassas konumlandırma ihtiyacı durumunda yarım adım kontrol tablosu kullanılır (Çizelge 3.2.). Adım motorlarının mekanik anahtarlar kullanılarak sürülmesi pratikte çok zor olduğundan, elektronik anahtarlar kullanılması gerekmektedir. Transistör kullanılan sürücü devrenin prensip şeması Şekil 3.10.’da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Çift kutuplu adım motorunun şematik sembolü



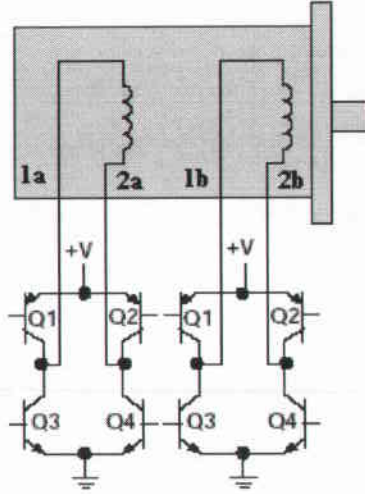
Şekil 3.9. Çift kutuplu adım motoru test devresi

Çizelge 3.1. Çift kutuplu adım motoru için tam adım kontrol tablosu

Adım	1a	1b
1	+	0
2	0	+
3	0	-
4	-	0
5	+	0
6	0	+
7	0	-
8	-	0

Çizelge 3.2. Çift kutuplu adım motoru için yarım adım kontrol tablosu

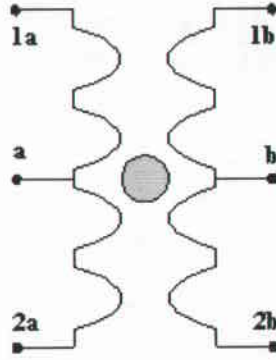
Adım	1a	1b
1	+	+
2	+	0
3	+	-
4	0	-
5	-	-
6	-	0
7	-	+
8	0	+
9	+	+



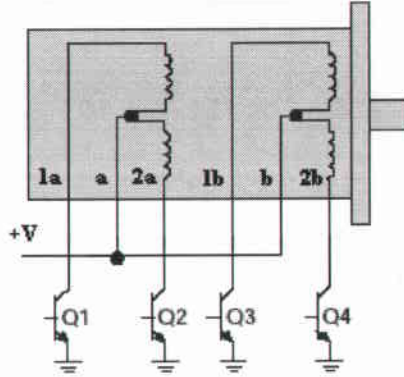
Şekil 3.10. Çift kutuplu adım motoru için transistörlü sürücü devresi prensip şeması

3.1.1.6. Tek kutuplu adım motorları

Şematik sembolü Şekil 3.11.'de verilen, dört faza sahip bu tip adım motorlarının kullanımı çok yaygındır. 5 veya 6 bağlantı uçları vardır. Şekil 3.12.'de 6 uçlu, tek kutuplu bir adım motorunun transistörlü sürücü devresi prensip şeması yer almaktadır. Her bir faz, Çizelge 3.3.'teki tam adım tablosunda gösterilen sırayla uyarıldığında saat yönünde dönme hareketi sağlanır. Daha yüksek tork ihtiyacını karşılamak için gerekli güçlendirilmiş tam adım tablosu Çizelge 3.4.'te [5], daha hassas konumlandırma ihtiyacı için gerekli yarım adım tablosu da Çizelge 3.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Tek kutuplu adım motorunun şematik sembolü



Şekil 3.12. 6 uçlu, tek kutuplu bir adım motorunun transistörlü sürücü devresi prensip şeması

Çizelge 3.3. Tek kutuplu adım motoru için tam adım tablosu

Adım	1a	1b	2a	2b
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1
5	1	0	0	0
6	0	1	0	0
7	0	0	1	0
8	0	0	0	1

Çizelge 3.4. Tek kutuplu adım motoru için güçlendirilmiş tam adım tablosu

Adım	1a	1b	2a	2b
1	1	0	0	1
2	1	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	1
5	1	0	0	1
6	1	1	0	0
7	0	1	1	0
8	0	0	1	1

Çizelge 3.5. Tek kutuplu adım motoru için yarım adım tablosu

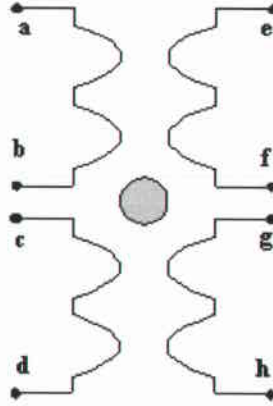
Adım	1a	1b	2a	2b
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1
9	1	0	0	0
10	1	1	0	0
11	0	1	0	0
12	0	1	1	0
13	0	0	1	0
14	0	0	1	1
15	0	0	0	1
16	1	0	0	1

3.1.1.7. Evrensel tip adım motorları

Bu tip motorlar, şematik sembolünün yer aldığı Şekil 3.13.'te görüldüğü gibi 8 bağlantı ucuna sahiptir; hem çift kutuplu hem de tek kutuplu olarak çalıştırılabilirler [7]. Çift kutuplu kullanım için b-c uçları ve f-g uçları ayrı ayrı birleştirilerek a-d ve e-h dan oluşan iki faz elde edilir. Bu şekilde bağlantısı tamamlanan motor, çift

kutuplu adım motorları için geçerli olan sürücü devrelerle ve adım kontrol tablolarıyla kontrol edilirler.

Tek kutuplu motor olarak kullanabilmek için ise; b-c uçları ve f-g uçlarının birleştirilmesi ile a-bc, d-bc, e-fg ve h-fg den oluşan dört faz elde edilir. Bu durumda tek kutuplu adım motorları için geçerli olan sürücü devrelerle ve adım kontrol tablolarıyla kontrol edilirler.



Şekil 3.13. Evrensel tip adım motorunun şematik sembolü

3.1.2. Adım Motorlarına Ait Önemli Karakteristikler

Adım motorlarına ait bazı davranış karakteristiklerini ve terminolojiyi incelemek yararlı olacaktır. Çünkü; adım motorları için kullanılan büyüklükler ve bunların ifadesinde kullanılan terimler klasik motorlara ait büyüklük ve terimlerden farklıdır.

3.1.2.1. Çözünürlük

Çözünürlük, bir devirdeki adım sayısı veya dönen motorlar için adım açısı (derece) olarak tanımlanır. Bu, üretim sırasında tesbit edilen bir büyüklüktür. Adım açısı derece olarak (3.1.) eşitliğinde gösterildiği şekilde hesaplanır [4,6,7].

$$\text{Adım açısı} = 360 / (\text{rotor diş sayısı} * \text{stator diş sayısı}) \quad (3.1.)$$

Bir adım motorunun adım büyüklüğü, çeşitli kontrol düzenleri ile değiştirilebilir. Yarım adım çalışmada adım büyüklüğü nominal değerinin (çözünürlüğünün) yarısına indirilir. Bu yöntem sırasıyla tek faz, iki faz, tek faz uyarımlarla uygulanabilir. Bir diğer yöntem ise bir faz uyarılmış durumdayken diğer fazlardan geçecek akımların seviyelerinin kontrol edilmesiyle adım büyüklüğünün çeşitli değerlerde tutulmasıdır, bu işlem “microstepping” yöntemi olarak isimlendirilir [7].

3.1.2.2. Doğruluk

Bir adım motorunun adım konumları, tasarım ve üretim sırasında bir araya getirilen bir çok parçanın boyutlarıyla belirlenir. Bu parçaların boyutlarındaki toleranslar ve dahili sürtünmeler adımların nominal denge konumlarında da toleranslara neden olurlar. Bu, adım motorunun doğruluğu olarak isimlendirilir ve belli bir konumdaki maksimum açısal hatanın nominal tek adım değerinin yüzdesi olarak ifade edilmiş halidir. Örneğin, 24 adımlık bir motorda maksimum ± 0.25 derecelik hata, $\pm \%1.67$ 'lik adım açısı hatasına karşılık düşer. Bu hata kümülatif değildir yani her yeni adımla artmaz. Bütün yük koşullarında oluşur ve sistematiktir. Klasik adım motorlarında $\pm \%1$ ile $\pm \%5$ arasında değişmektedir [4]. 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 hatası elde edilir.

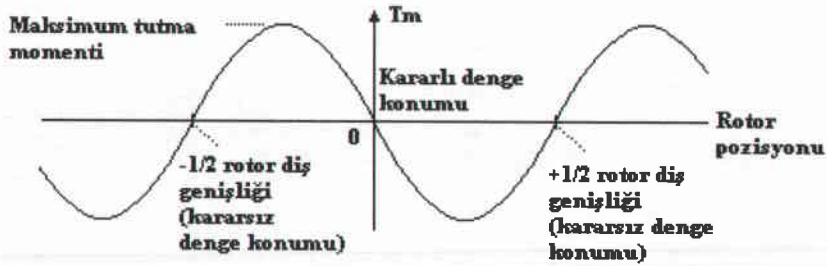
3.1.2.3. Tutma momenti

Tutma momenti, bir adım motorunun en temel moment karakteristiğidir. Tutma momenti eğrisi, motorun ürettiği tutma momentinin rotor konumuna bağlı değişimini veren eğridir. Şekil 3.14.'te örnek bir tutma momenti eğrisi verilmiştir. Eğrinin orijini, motorun bir fazının uyarılmış olduğu durumda rotorun kararlı adım konumuna karşılık düşer. Bu eğri, rotor adım pozisyonundan uzaklaştırılırsa motorda indüklenen; rotoru sıfır momentli adım pozisyonuna geri getirmeye çalışan momentin (tutma momenti) yönünü ve miktarını verir.

Tutma momenti eğrisi, motorun tüm rotor pozisyonları ve statik uyarma koşullarındaki ani momentini tam olarak tanımlamak için gereklidir. Tüm diğer moment karakteristikleri (statik veya dinamik) bu tutma momenti eğrisi baz alınarak elde edilebilir.

Statik moment-rotor pozisyonu karakteristiği, bir rotor diş genişliği periyoduyla tekrarlanır. Rotorun diş genişliği kadar yer değiştirmesi demek, stator ve rotor dişlerinin tekrar karşı karşıya gelmesi demektir. Yarım diş genişliği dönme konumunda rotor dişleri, stator dişlerinin tam ortasında kalacağından kararsız denge durumu oluşur. Bu nedenle rotor ancak yarım diş genişliğinden az yer değiştirmişse gerçek adım pozisyonuna geri dönebilir. Daha büyük yer değiştirmelerde rotor ve stator dişleri istenen adım pozisyonundan bir veya birkaç rotor diş genişliği uzaklıktaki kararlı denge konumunda karşılıklı gelebilirler. Tutma momenti eğrisinin genliği uyarma akımıyla yakından ilgilidir.

Bir motorun tüm fazlarına ait tutma momenti eğrileri birbirine göre faz farkları olan eğriler şeklinde aynı eksen takımında gösterilirse, belli bir anda motor momentini artırmak için iki veya daha çok sayıda fazın birlikte uyarılması gerekir.[7]



Şekil 3.14. İki fazlı sabit mıknatıslı adım motorunda tutma momentinin rotor pozisyonuna göre değişimi

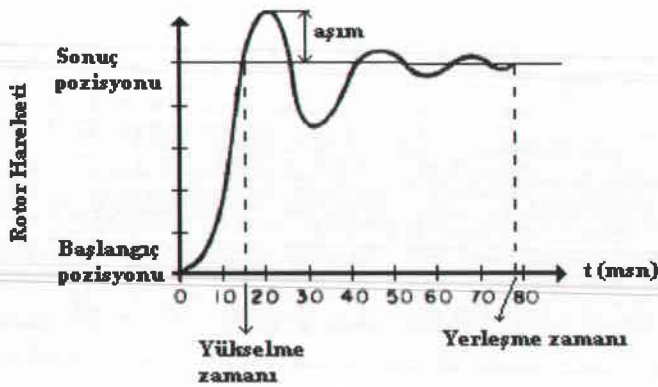
3.1.2.4. Tek adım tepkisi

Motor fazlarından biri uyarılmış durumda ise motor kararlı bir adım konumundadır. Bu fazdaki uyarım kaldırılıp bir diğer 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 [4,7,9]. Şekil 3.15.'te tipik bir tek adım tepkisi görölmektedir.

Tutma momenti eğrisi bu cevaptaki aşım ve osilasyonun sebebini açıklamaktadır. Yeni bir faz uyarıldığında, rotor ve stator dişleri arasında oluşan moment, rotoru yeni kararlı duruma doğru çekecektir. Bu moment rotor adım konumuna gelene 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 cevaba ait önemli bir büyüklük olan yükselme zamanı, motorun istenen adım konumuna ilk ulaştığı andır. Rotor bu noktaya ilk ulaştığında hızı maksimum değerinde olacağından sistem hedefi aşacaktır. Bu ilk aşımın genliği adım büyüklüğünün yüzdesi olarak ifade edilir ve yüzde aşımı olarak tanımlanır. Adım motorlarında bu değer genellikle %80-90 mertebelere çıkar. Yerleşme süresi ise sistem osilasyonunun hedefin $\pm\%5$ 'ine girdiği an olarak tanımlanır ve birkaç yüz milisaniye sürebilir. Hız gerektiren uygulamalarda büyük aşım ve salınımlı cevap bir dezavantajdır.

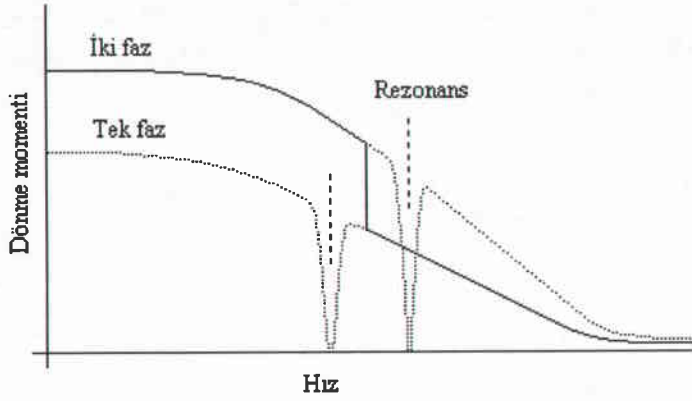


3.1.2.5. Sürekli rejimde maksimum yük momenti

Sürekli rejimde maksimum yük momenti / hız eğrisi (Şekil 3.16.), herhangi bir sabit dönüş hızında, rotor hareketinin giriş darbe dizisiyle olan senkronunu bozmadan ve rotorun durmasına neden olmadan, sürekli halde motor miline uygulanabilecek maksimum yük momentini verir. Bu moment aynı zamanda, söz konusu motorda indüklenebilecek maksimum moment anlamına da gelir. Bu eğri oluşturulurken, eğrinin her bir noktası için motor ilgili hıza ulaşınca kadar boşta hızlandırılır. Daha sonra motora uygulanan yük momenti gitgide artırılarak, motorun durmasına ya da giriş darbe dizisiyle olan senkronizasyonunun bozulmasına neden olmayan en yüksek yük momenti saptanır. Bu momente, o hız için sürekli rejimde maksimum yük momenti (pull-out torque) denir; en yüksek hız da, maksimum sürekli rejim hızı (pull-out rate) olarak isimlendirilir.

Klasik motorlarda bu eğriye karşılık gelebilecek bir karakteristik yoktur. Maksimum yük momenti eğrisi, çalışma noktalarını göstermez, 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 riski olmadan ilgili hız ve yük momenti ile çalışır.

Bu eğrideki iki derin çukur tüm adım motor sistemlerinde görülen mekanik rezonansın etkileridir. İkinci adım darbesi geldiğinde rotor, birinci adıma ait kararlı konumunu geçmiş ve pozitif hıza sahip ise yeni darbenin gelişi senkronizasyonun kaybolmasına neden olur. Rotorun alacağı konum önceden kestirilemez. Rotor yerleştiği böyle bir konumdan sonra tekrar harekete geçmek için yeni konuma ait uyarma darbesini bekler. Bu durum, motorun bir süre durmasına ve dolayısıyla momentin düşmesine sebep olur [4,6,7].

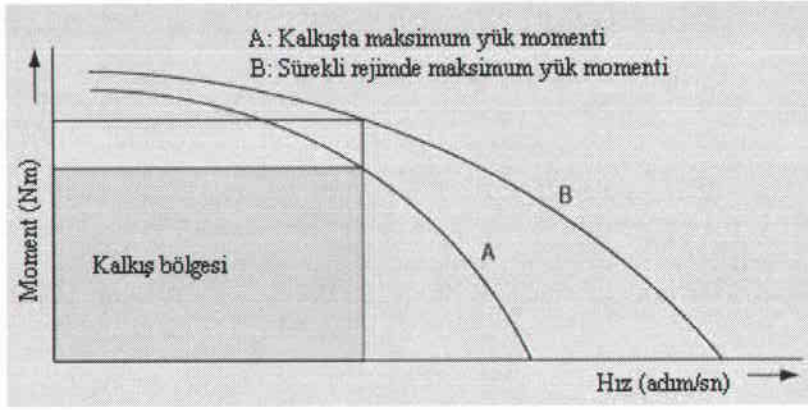


Şekil 3.16. Sürekli rejimde maksimum yük momenti / hız eğrisi

3.1.2.6. Kalkışta maksimum yük momenti eğrisi

Özellikle açık çevrim çalışmada duran bir sistemi istenen pozisyona getirebilmek için; motora uygulanan uyarma darbelerinin motor tarafından hiç kaçırmadan takip edilmesini sağlamak çok önemlidir. Ancak, uyarma darbelerinin sıklığı, motorun miline bağlı yükü sıfır hızından itibaren kaldırıp hızlandırmasına izin vermeyebilir. Bu yüzden adım motorları için kalkışta maksimum yük momenti eğrileri (Pull-in torque) tanımlanır.

Şekil 3.17.'de tipik bir adım motoru için sürekli rejimde maksimum yük momenti ve kalkışta yük momenti eğrileri birlikte görülmektedir. Kalkışta maksimum yük momenti değerleri de tutma momenti eğrilerinden elde edilebilmektedirler. Bu moment değerleri motorun sürülme şekline son derece bağlıdır. Akımın hızlı yükseldiği sistemlerde tutma momenti de hızla artacağından ve adım konumuna erken yerleşeceğinden tüm sistemin hızlandırılabilmesi mümkündür [6,7].



Şekil 3.17. Kalkışta maksimum yük momenti eğrisi

3.1.3. Adım Motoru Parametreleri

Adım motorunun parametreleri dendiğinde de motorun; çalışma gerilimi, frekansı, devir sayısı, kutup ve faz sayıları, hız-moment ilişkileri ve buna benzer özelliklerini belirten değerler akla gelir. Bu değerler çoğu kez motorun yapımçı firması tarafından ürün kataloğunda verilir. Bazı önemli parametreler:

- Rotor ataleti: Rotorun durgunluk halinden hareketli hale geçişi sırasında karşılaşılan dirençtir. Doğrudan doğruya motorun ebadı ve yapısında kullanılan malzemenin ağırlığıyla ilgilidir. $N \cdot m^2$ birimleri ile ifade edilir. Sabit mıknatıslı adım motorlarının rotor ataleti genel olarak değişken relüktanslı motorların ataletinden daha yüksektir.
- Adım açısı: Atılan bir adımla rotor milinin kaç derece döndüğünü belirleyen parametredir. Motorun yapısına bağlı olarak 0.9° 'den 90° 'ye kadar farklı değerlerde olabilir. Stator ve rotorda yer alan diş sayılarının artırılması adım açısının küçülmesine sebep olur.
- Tutma momenti: Fazlardan birinin enerjilenmesi ile rotor hareket ederek enerjilenen kutbun altına gelir ve burada durur. Başka bir komut verilmediği sürece bu kutbun altında fren yapılmışçasına sabit kalır. Bu anki motor torku hareket halindeki torktan daha yüksektir. Ayrıca; rotorun kutup sargılarının önüne geçmesiyle sargılarda başka bir alan oluşur, bu alandan dolayı rotor tutulmak istenir.

Bu şekilde oluşan tutma kuvveti “detent torque” olarak isimlendirilir, bu tork tutma torkunun 1/10’u kadardır [4].

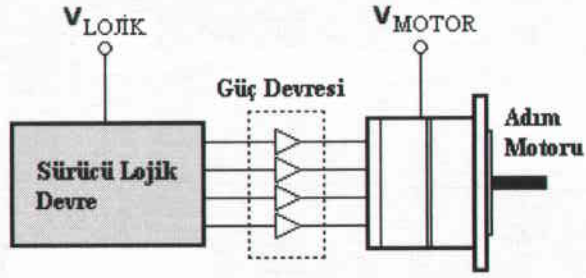
- İvme: Hızın zamana oranla değişimidir. Sabit bir akım uygulandığında rotor ivmelenir. Düşük eylemsizlik veya yüksek akım hızın yükselmesine sebep olur.
- Ölçülü durdurma akımı: Motorun, maksimum yavaşlatılmış veya durdurulmuş şartlar altında aşırı ısınmaksızın dayanabildiği izin verilebilir sürekli akımdır.

3.1.4. Adım motorlarının sürülmesi

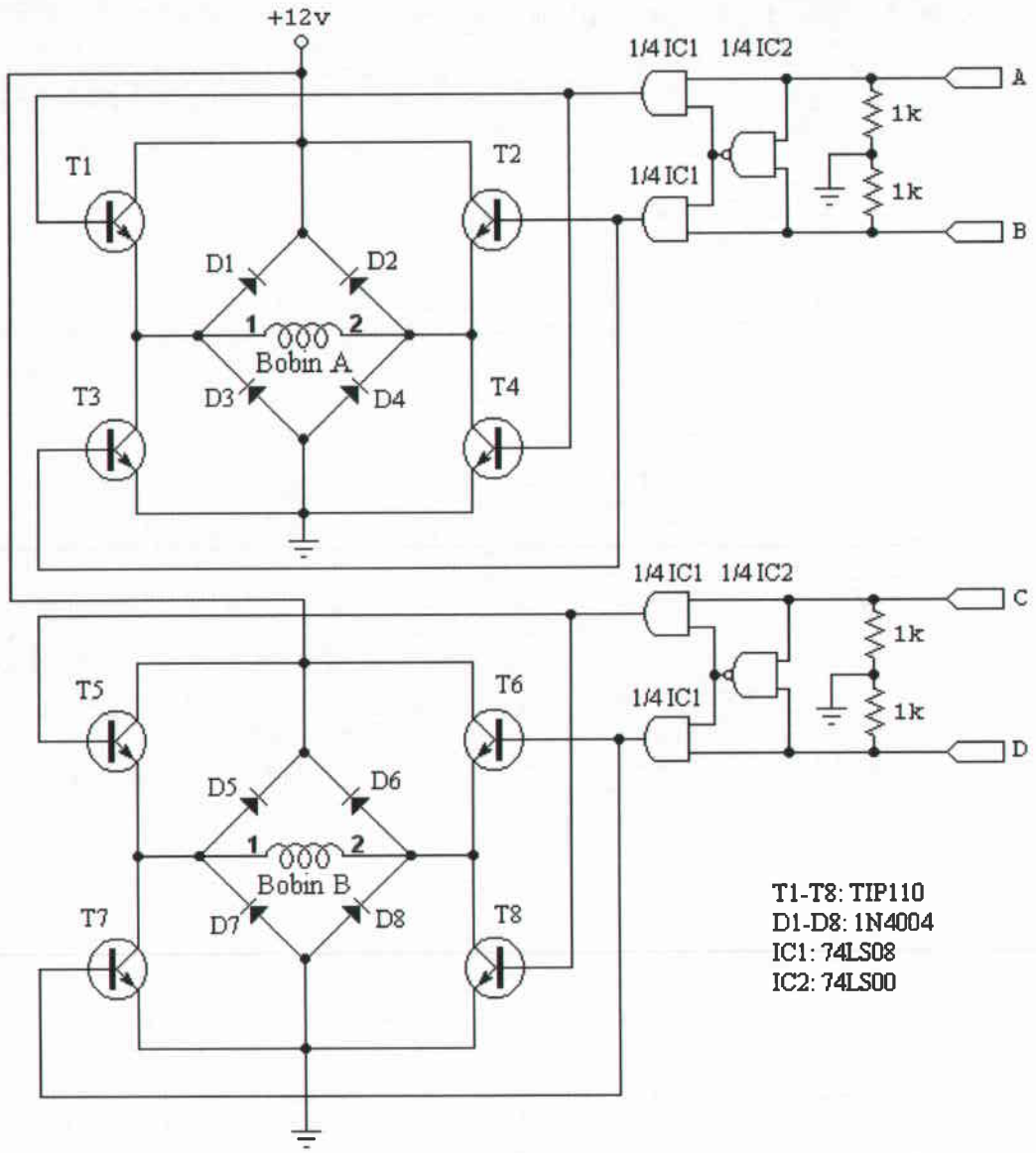
Sürücü, lojik kontrol sisteminden gelen alçak seviyeli sinyallere göre adım motoruna elektriksel güç uygulanan ünitedir. Şekil 3.18.’de adım motorlarının sürülmesine ait blok şema gösterilmiştir [6]. Lojik sürücü bölümü “translator” olarak isimlendirilir ve sürülecek adım motorunun özelliklerine uygun adım tablosuna göre gerekli lojik bilgiyi üretir. Çift kutuplu ve tek kutuplu adım motorlarının adım tabloları farklı olduğu için gerekli anahtarlama devreleri (güç devresi) de farklılık gösterir.

Şekil 3.19.’da çift kutuplu adım motorlarını sürmek için gerekli örnek bir güç devresi şeması gösterilmiştir. Sürücü devrelerde kullanılan transistörler anahtar olarak çalışacak şekilde polarlandırılırlar. Bu devrede, A bobinini sürmek için kullanılan T1-T4 ve T2-T3 transistör çiftleri eşlenik çalışırlar; böylece bobinden istenen yönde akım geçirmek mümkün olacaktır. T1-T3 ya da T2-T4 transistör çiftlerinin aynı anda ilettime geçmesi, kaynağın kısa devre yapmasına neden olacağından istenmeyen bir durumdur. Girişte yer alan lojik devre, istenmeyen böyle bir girişi engellemek için konulmuştur. A bobini süren bu yapı B bobini için de aynı şekilde oluşturulmuştur. Devrede yer alan transistörlere paralel olarak bağlanan diyotların her biri; bobinin öz indüksiyon özelliğinden dolayı ilgili transistör üzerinden geçebilecek ters yönlü akımın, kendi üzerinden geçmesini sağlayarak transistörü korur. Bu amaçla kullanılan diyotlar, “by-pass” diyodu olarak isimlendirilir.

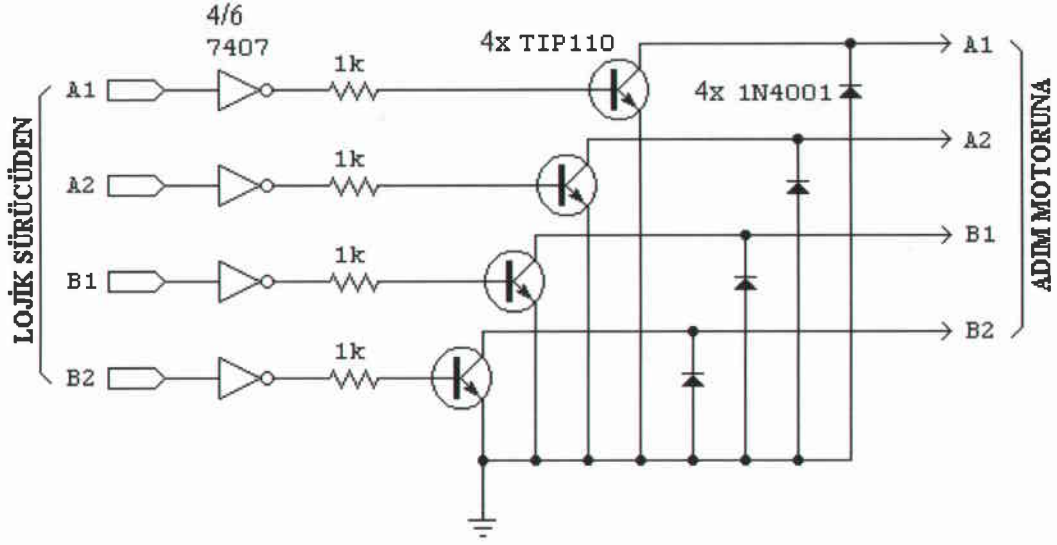
Şekil 3.20.'de Tek kutuplu adım motorlarını sürmek için gerekli örnek bir güç devresi şeması yer almaktadır. Bu tip devreler, çift kutuplu adım motorlarını süren devrelerden daha basit yapıdadırlar, çünkü her bobinden tek yönde akım geçirmek söz konusudur. Girişler uygun adım tablolarına göre uyarılarak adım motorunun istenen yönde dönmesi sağlanır.



Şekil 3.18. Adım motorlarının sürülmesine ait blok şema



Şekil 3.19. Çift kutuplu adım motorlarını sürmek için örnek güç devresi şeması



Şekil 3.20. Tek kutuplu adım motorlarını sürmek için örnek güç devresi şeması

3.2. 2-D HPGL KOMUTLARI

HPGL (Hewlett Packard Graphic Language), Hewlett Packard firması tarafından geliştirilen, çizici (plotter) sistemleri için 2-D ve kesici (cutter) sistemleri için 3-D komutlar içeren vektör grafik dilidir[10]. Örnek bir HPGL dosyasının içeriği Ek-1’de sunulmuştur.

Bu çalışmada kullanılan temel 2-D HPGL komutları:

- IN: İşleme başlama komutudur, tüm HPGL dosyalarının başında yer alır. Bu komutun bulunmaması durumunda plotter’a gönderilen diğer komutlar işletilmez.
- PA[X,Y][,X,Y]...]: Gerçek koordinat sisteminin kullanılacağını bildiren komuttur. Bu komuttan sonra tanımlanan X ve Y koordinatlarının cihazın başlangıç noktasını referans alması sağlanır. PD veya PU komutlarından önce kullanılır.
- PR[X,Y][,X,Y]...]: Göreceli koordinat sisteminin kullanılacağını bildiren komuttur. Bu komuttan sonra tanımlanan X ve Y koordinatlarının en son bulunan noktayı referans alması sağlanır. PD veya PU komutlarından önce kullanılır.
- PD[X,Y][,X,Y]...]: Aktif olan kalemin çizerek tanımlanan koordinatlara taşınmasını sağlar. Daha önceden tanımlanan komutun PA olması durumunda

gerçek koordinat sistemine göre; PR olması durumunda ise göreceli koordinat sistemine göre enson bulunulan noktadan belirtilen noktaya kadar çizgi çizer.

- PU[X,Y][,X,Y]...]: Aktif olan kalemin çizmeden tanımlanan koordinatlara taşınmasını sağlar. Daha önceden tanımlanan komutun PA olması durumunda gerçek koordinat sistemine göre; PR olması durumunda ise göreceli koordinat sistemine göre en son bulunulan noktadan belirtilen noktaya kalemi taşır.
- SP[0, 1, 2, ...]: Kalem seçimini yapan komuttur. Komut işletildiğinde kullanılmakta olan kalem bırakılıp tanımlanan sayıya karşılık gelen kalem aktif yapılır.

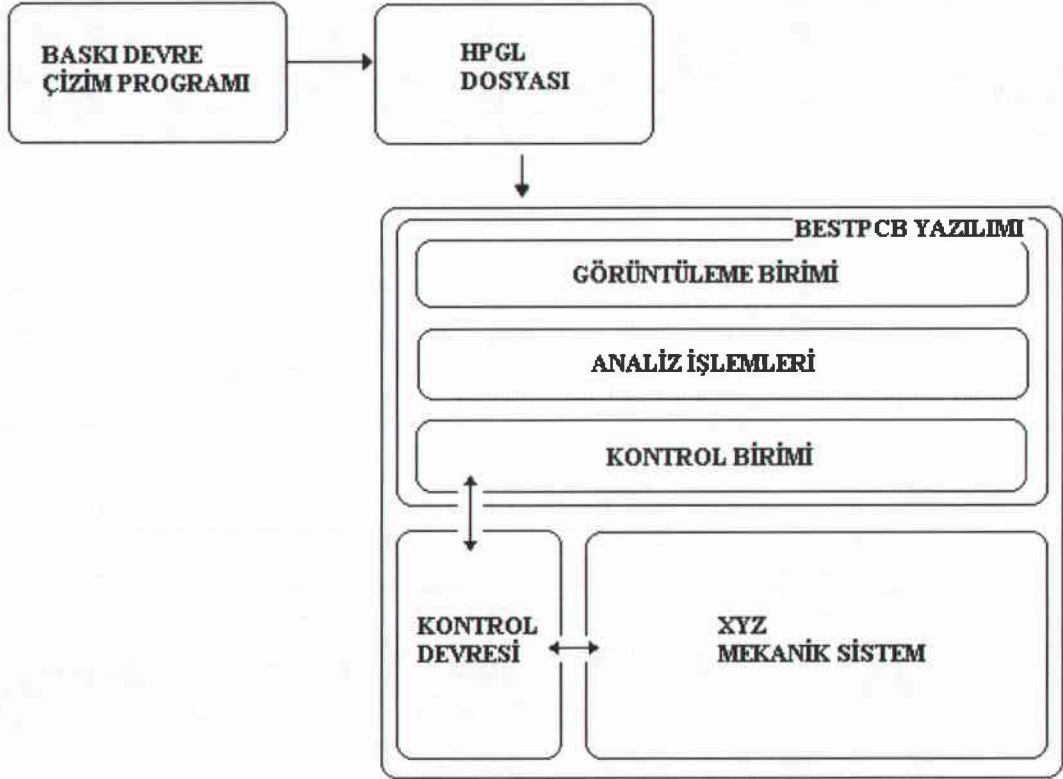
3.3. SİSTEMİN YAPISI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Sistem üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar; yazılım, kontrol devresi ve üç eksenli elektromekanik düzenektir.

3.3.1. Sistemin Genel Yapısı

Tasarlanan sistemin blok yapısı Şekil 3.21.'de görülmektedir. Herhangi bir PCB (Printed Circuit Board) tasarım programında (OrCAD, BoardMaker, ProLite, UltiBoard, vb.) oluşturulan baskı devre çizimi HPGL dosyası olarak kaydedilmektedir [10].

HPGL formatında kayıt fonksiyonu bulunmayan yazılımlarda ise; çalışma 7470A modeli gibi HP ürünü olan bir plotter'a yazdırılırken, yazdırma penceresinde yer alan "dosya olarak kaydet" seçeneği aktif yapılarak istenen dosya elde edilebilir. BESTPCB yazılımına kaynak olarak verilen bu dosya işlenerek, kontrol kartı yardımıyla elektromekanik sisteme aktarılmaktadır.



Şekil 3.21. Tasarlanan sistemin blok yapısı

3.3.2. Yazılım

Bu sistem için, “Borland Delphi 4” ortamında geliştirilen yazılıma “BESTPCB” adı verilmiştir. Bu yazılım; Win95, Win98, Win98SE, WinME Win2000, WinNT ve WinXP işletim sistemlerinde işlevsel olarak çalıştırılabilmektedir. Delphi programlama dili; portlara erişmek için hazır bir bileşen içermediğinden, delphi içinde assembly kodları kullanılarak paralel port erişimi gerçekleştirilmiştir [11], NT tabanlı Windows işletim sistemleri için “inout32.dll” dinamik kütüphane fonksiyonları kullanılmıştır. Geliştirilen BESTPCB yazılımının, görüntüleme ve analiz işlemlerini yapan bölümüne ait kaynak kodları EK-2’de sunulmuştur.

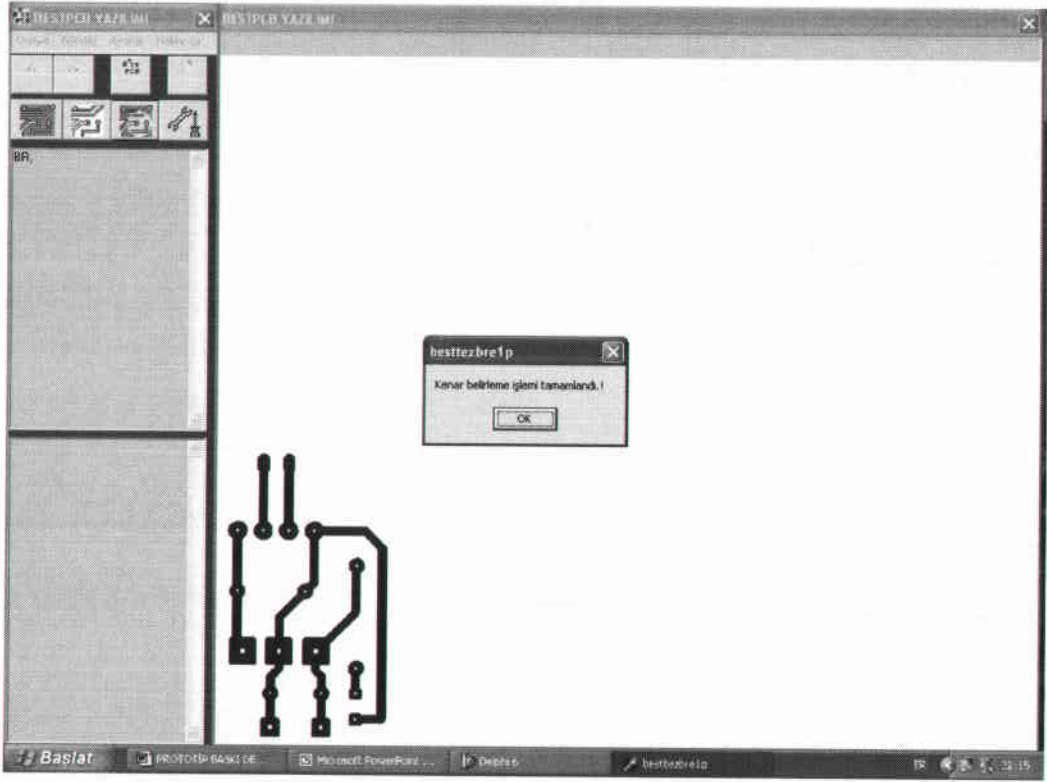
BESTPCB yazılımı kaynak olarak aldığı HPGL dosyasını karakter karakter okumaktadır; okunan herbir karakter önceki ile birleştirilerek geçerli bir 2-D HPGL komutu olup olmadığı araştırılır. Bu aşamada tanımlı olmayan yapılar atılır. Geçerli

olan komut dizilimine rastlandığında değişkene aktarılır; ardından gelen diğer komut veya koordinat verileri de elde edilerek ilgili değişkenlere aktarılır. Elde edilen komuta uygun, taşıma veya çizme işlemleri yerine getirilir. Daha sonra diğer komut veya komutlar aranarak aynı süreç dosya sonuna kadar sürdürülür. Dosya sonuna geldiğinde görüntüleme işlemi de tamamlanmış olur.

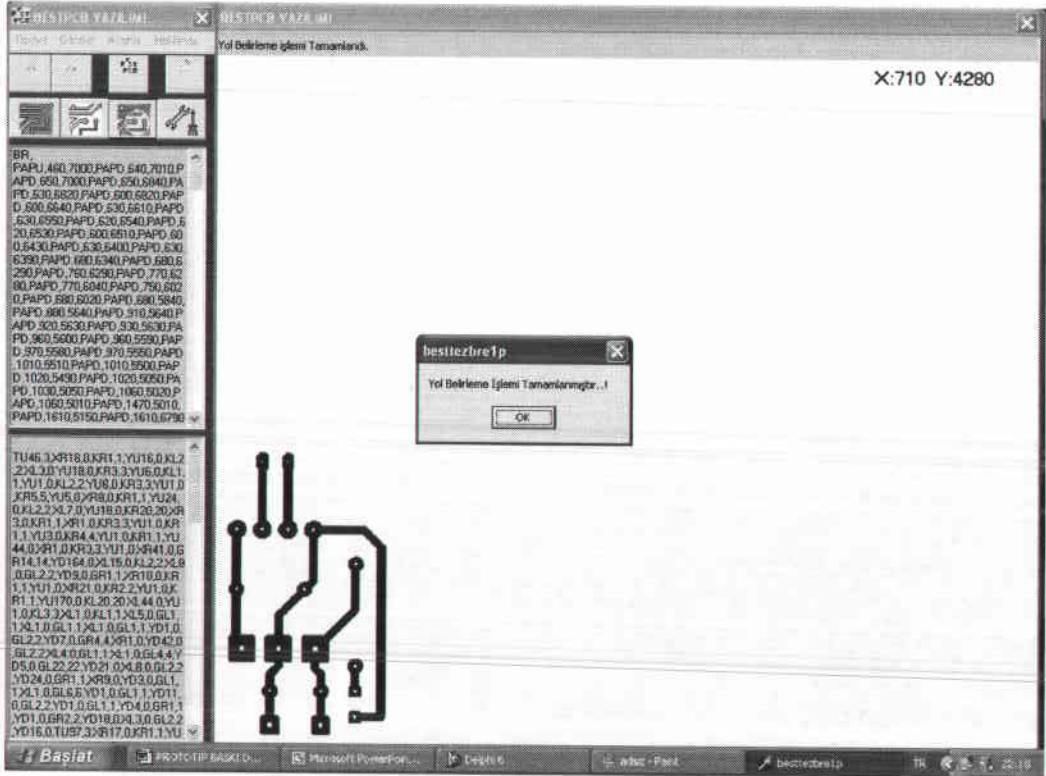
Bu aşamada, çizilen şekil üzerinde kenar belirleme (edge detect) işlemi görüntüleme alanı piksel piksel taranarak yapılır ve tüm kenarlar kırmızı renkle belirtilir (Şekil 3.22.). Daha sonra mevcut kenarların ilişkisi incelenerek yol belirleme (route detect) işlemi gerçekleştirilir (Şekil 3.23.).

Son olarak; elde edilen yol koordinat bilgilerine göre, Çizelge 3.6. ve Çizelge 3.7. 'de belirtilen tam adım ve yarım adım tabloları kullanılarak kontrol kartına aktarılır. Tablolarda yeralan kodlar, herbir adım için paralel porta gönderilecek 8 bit'lik veriyi içermektedir ve hexadecimal olarak gösterilmiştir. örnek: 00011010 ⇒ 0x1A.

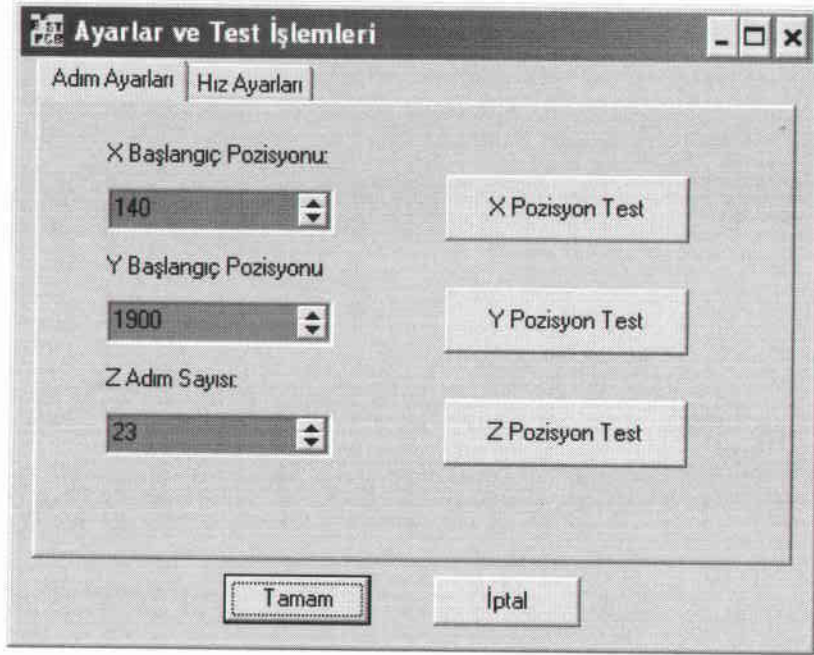
Sistem çalıştırıldığı zaman ilk iş olarak X-SW ve Y-SW anahtarları yardımıyla mekanik sistemi referans noktalarına taşımakta, Şekil 3.24. 'te görülen adım ayarları menüsünde yeralan değerlere göre de başlangıç pozisyonuna getirmektedir. Şekil 3.25. 'te görülen hız ayarları menüsü kullanılarak motorların ilerleme hızları ayarlanabilmektedir. Daha sonra elde edilen analiz bilgilerine göre X,Y,Z motorları sürülerek istenen noktaya taşıma ve istenen noktalar arasını kazıma işlemini gerçekleştirmektedir.



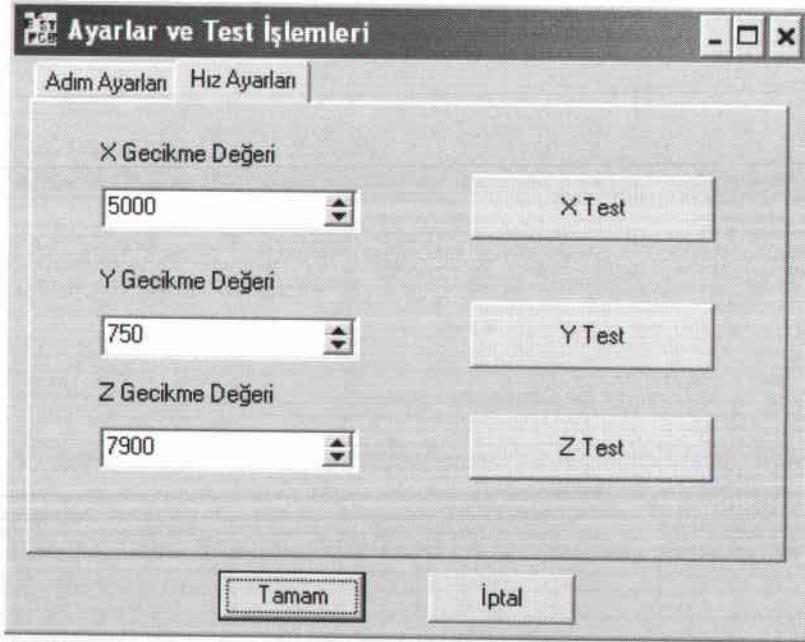
Şekil 3.22. BESTPCB yazılımında kenar belirleme işlemi.



Şekil 3.23. BESTPCB yazılımında yol belirleme işlemi.



Şekil 3.24. BESTPCB yazılımında başlangıç pozisyonu ayarları menüsü.



Şekil 3.25. BESTPCB yazılımında hız ayarları menüsü.

Çizelge 3.6. Kontrol devresi için tam adım tablosu

X		Y		Z
Taşıma	Kazıma	Taşıma	Kazıma	
0x09	0x0d	0x0a	0x0e	0x0a
0x11	0x15	0x12	0x16	0x09
0x21	0x25	0x22	0x26	0x0f
0x41	0x45	0x42	0x46	0x03

Çizelge 3.7. Kontrol devresi için yarım adım tablosu

X		Y		Z
Taşıma	Kazıma	Taşıma	Kazıma	
0x09	0x0d	0x0a	0x0e	0x0a
0x19	0x1d	0x1a	0x1e	0x08
0x11	0x15	0x12	0x16	0x09
0x31	0x35	0x32	0x36	0x0d
0x21	0x25	0x22	0x26	0x0f
0x61	0x65	0x62	0x66	0x07
0x41	0x45	0x42	0x46	0x03
0x49	0x4d	0x4a	0x4e	0x02

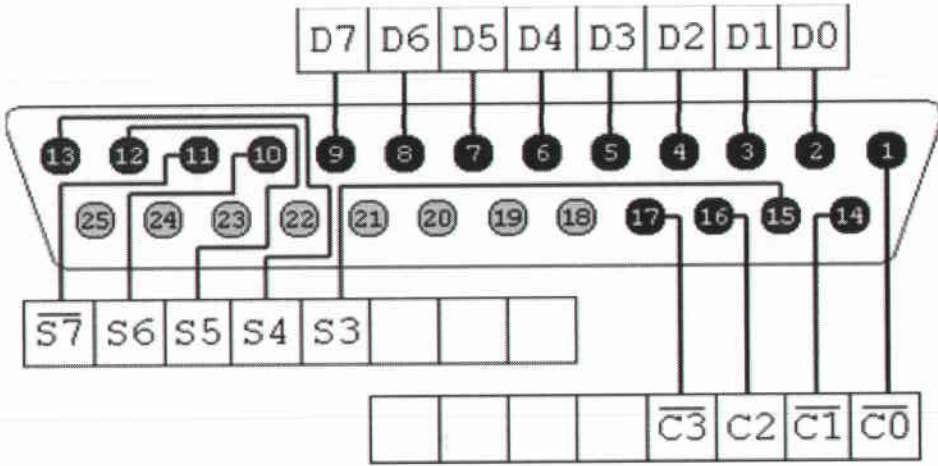
3.3.3. Kontrol Devresi

3.3.3.1. Standart paralel portun yapısı

Paralel port, bilgisayar sistemlerinin yazıcı veya çizici gibi çevre birimleriyle haberleşebilmesi için geliştirilmiştir. Bilgisayar üzerinde 25 uçlu dişi konnektör olarak yer alır. Paralel port kendi içinde 3 alt porttan oluşur [12]. Bunlar; veri portu (data port), kontrol portu (control port) ve durum portu (status port) dur. Çizelge 3.8.'de bilgisayar sistemlerinde bu portlara erişmek için kullanılan genel adresler yer almaktadır. Şekil 3.26.'da yapısı görülen paralel portta yer alan uçların, yazıcılarla haberleşmek için üstlendikleri işlevler Çizelge 3.9'da verilmiştir [8,12]. Görüldüğü gibi paralel portta çıkış amaçlı kullanılacak toplam 12 uç mevcuttur; bunun 8 tanesi veri portunda, 4 tanesi ise kontrol portunda yer almaktadır. Durum portunda ise giriş amaçlı kullanılacak 5 uç bulunmaktadır.

Çizelge 3.8. Paralel porta erişmek için kullanılan genel adresler.

Port Adı	Ondalık Adres	Onaltılık Adres	Açıklama
Veri Portu	888	0x378	Taban adres
Durum Portu	889	0x379	Taban adres +1
Kontrol Portu	890	0x37A	Taban adres +2



Şekil 3.26. Paralel portun yapısı

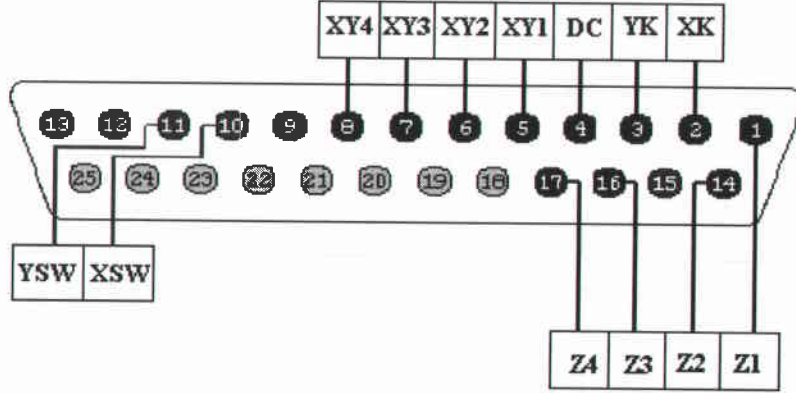
Çizelge 3.9. Paralel portta yer alan uçlar ve işlevleri

Pin no	Name	Address	Data direction
2	Data line 0	Basic Address , Bit 0	Out
3	Data line 1	Basic Address , Bit 1	Out
4	Data line 2	Basic Address , Bit 2	Out
5	Data line 3	Basic Address , Bit 3	Out
6	Data line 4	Basic Address , Bit 4	Out
7	Data line 5	Basic Address , Bit 5	Out
8	Data line 6	Basic Address , Bit 6	Out
9	Data line 7	Basic Address , Bit 7	Out
15	Error	Basic Address +1 , Bit 3	In
13	Select	Basic Address +1 , Bit 4	In
12	PE	Basic Address +1 , Bit 5	In
10	Ack	Basic Address +1 , Bit 6	In
11	Busy	Basic Address +1 , Bit 7	In, Inverted
1	Strobe	Basic Address +2 , Bit 0	In / Out , Inverted
14	Auto Feed	Basic Address +2 , Bit 1	In / Out , Inverted
16	Init	Basic Address +2 , Bit 2	In / Out
17	SLCT IN	Basic Address +2 , Bit 3	In / Out , Inverted
18-25	GND		

3.3.3.2. Paralel portun sistem içinde kullanılışı

Veri potunda yer alan çıkış uçlarının 7 tanesi X , Y adım motorlarını ve DC motoru kontrol edecek şekilde kullanılmıştır. Kontrol portundaki çıkış uçlarının 4'ü Z adım motorunun X ve Y adım motorlarından bağımsız kontrol edilebilmesi için

kullanılmıştır. Durum portunda yer alan 2 giriş ucu ise X ve Y düzlemlerinin başlangıç noktalarının algılanması amacıyla kullanılmıştır. Şekil 3.27.'de bu amaçla yapılandırılan paralel portun yapısı; Çizelge 3.10'da ise seçilen uçların işlevleri gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Paralel portun sisteme özel yapılandırılması.

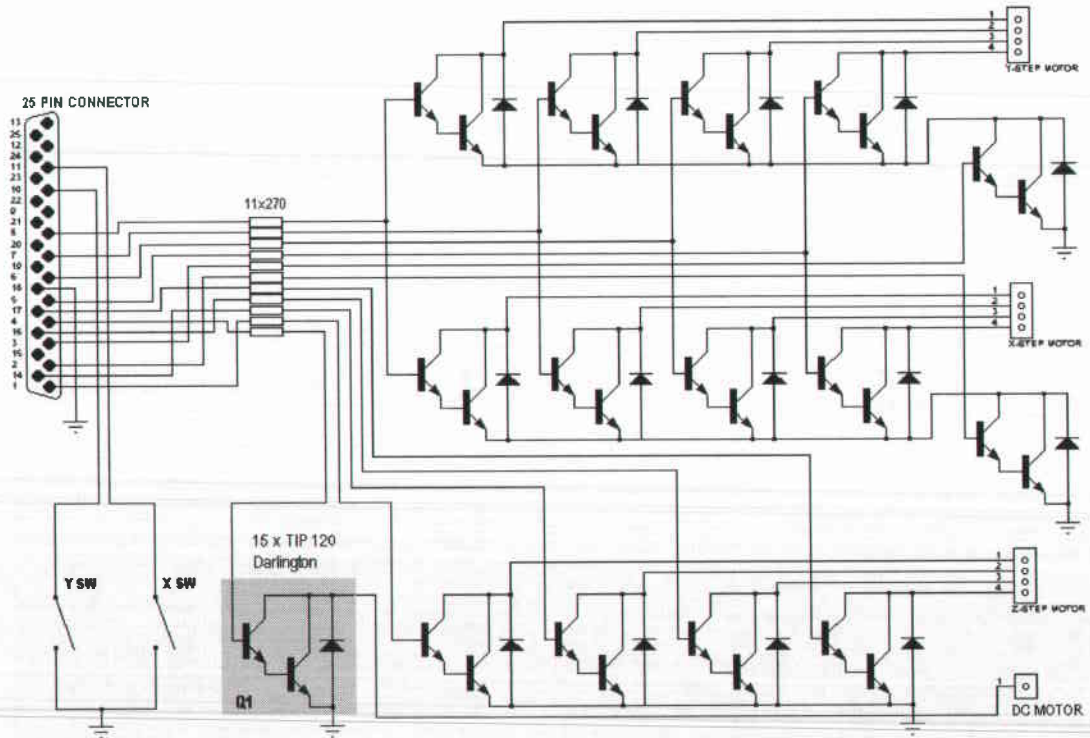
Çizelge 3.10. Sistem için seçilen uçlar ve görevleri

UÇ NO	ADI	ADRES	İŞLEV
2	XK	0x378	X adım motorunu aktif yapan uç
3	YK	0x378	Y adım motorunu aktif yapan uç
4	DC	0x378	DC motoru aktif/pasif yapan uç
5	XY1	0x378	X ve Y adım motorlarını süren ortak uçlar
6	XY2	0x378	
7	XY3	0x378	
8	XY4	0x378	
1	Z1	0x379	Z adım motorunu süren uçlar
14	Z2	0x379	
16	Z3	0x379	
17	Z4	0x379	
10	XSW	0x37A	X anahtarından bilgi alan uç
11	YSW	0x37A	Y anahtarından bilgi alan uç

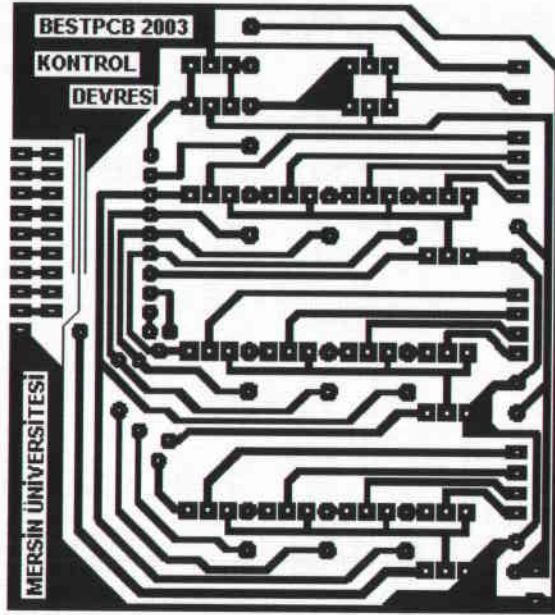
3.3.3.3. Kontrol devresinin tasarımı ve oluşturulması

Tasarımı yapılan kontrol devresi Şekil 3.28.'de gösterilmiştir. Kontrol devresi Çizelge 3.6. ve Çizelge 3.7.'de yer alan hexadecimal kontrol kodları kullanılarak; sabit mıknatıslı, tek kutuplu üç adet adım motorunu ve bir adet dc motoru sürececek şekilde tasarlanmıştır. Kontrol devresi için Şekil 3.29.'da görülen baskı devre şeması hazırlanmış ve geleneksel yöntemlerle imal edilmiştir (Şekil 3.30.).

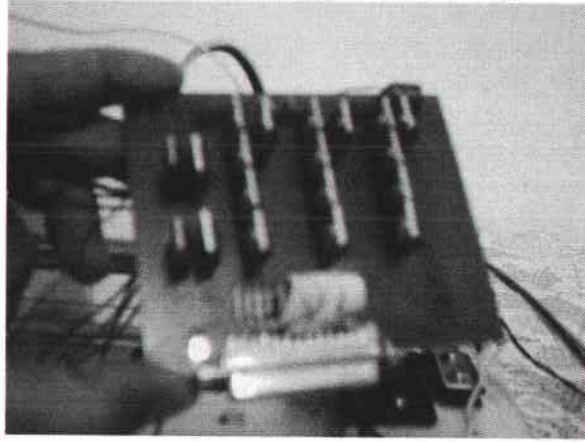
Devrede anahtarlama elemanı olarak; 5 A.'lik nominal, 8 A.'lik ani akımları anahtarlayabilen içten diyotlu TIP120 Darlington transistörleri kullanılmıştır. Bu transistöre ait katalog değerleri EK-3'te sunulmuştur. Kontrol devresinin sürdüğü adım motorlarından; Z ekseninde kullanılan "55SPM25" modelinin katalog verileri EK-4'te, Y ekseninde kullanılan "PM55L-048" modelinki ise EK-5'te sunulmuştur.



Şekil 3.28. Kontrol devresi



Şekil 3.29. Kontrol devresi için hazırlanan baskı devre şeması.



Şekil 3.30. İmal edilen kontrol devresi resmi

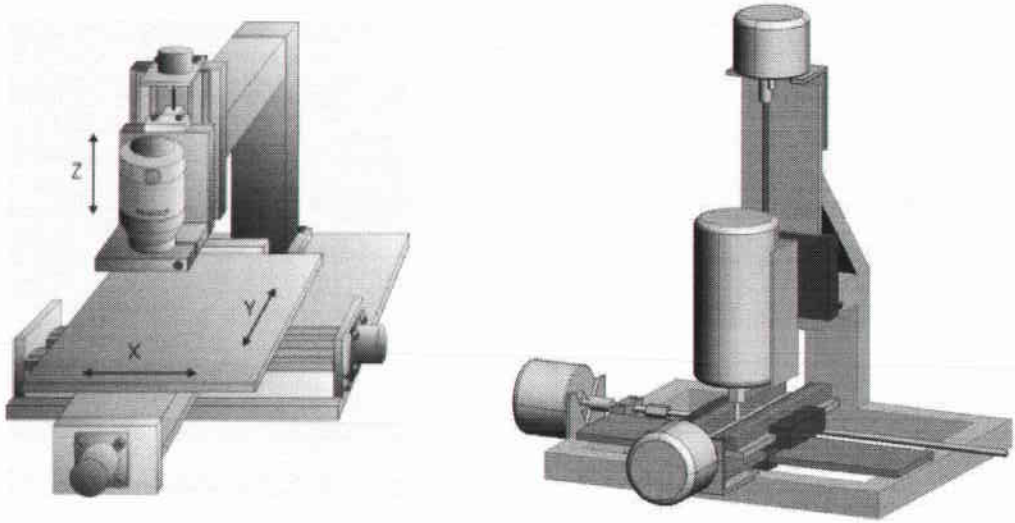
3.3.4. Elektromekanik Sistemin Yapısı

Çeşitli amaçlarla kullanılabilen CNC tezgahlarının yapılarının nasıl olabileceğine ilişkin örnek düzenekler, Şekil 3.31.'de gösterilmiştir [13,14].

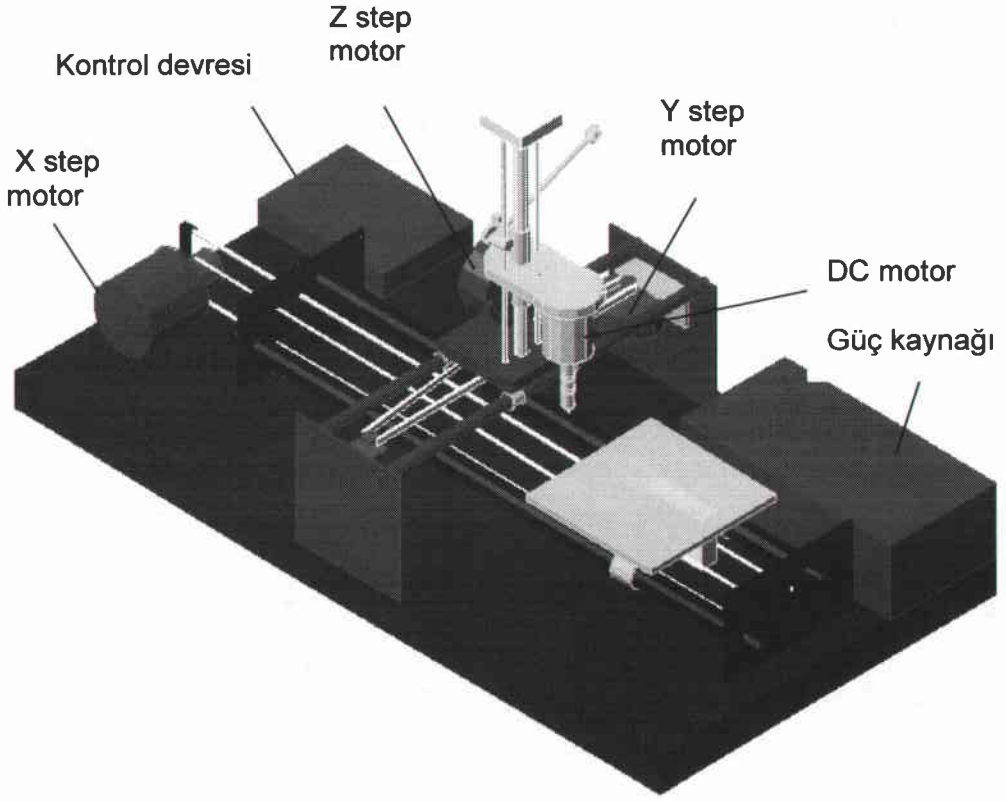
Bu çalışmada; bakırlı plaket yüzeyinin kazınarak, istenen baskı devrenin elde edilebilmesi için hazırlanan elektromekanik sistem Şekil 3.32.'de gösterilmiştir. Sistemin oluşturulduğu platform üzerinde; kontrol devresi, anahtarlama tip bir güç

kaynağı (Switch Mode Power Supply), üç adet adım motoru, bir DC motor, eksen milleri, X eksen platformu ve Y eksenini taşıyıcı platform yer almaktadır. Bu bileşenler Ek-6'da sunulmuştur.

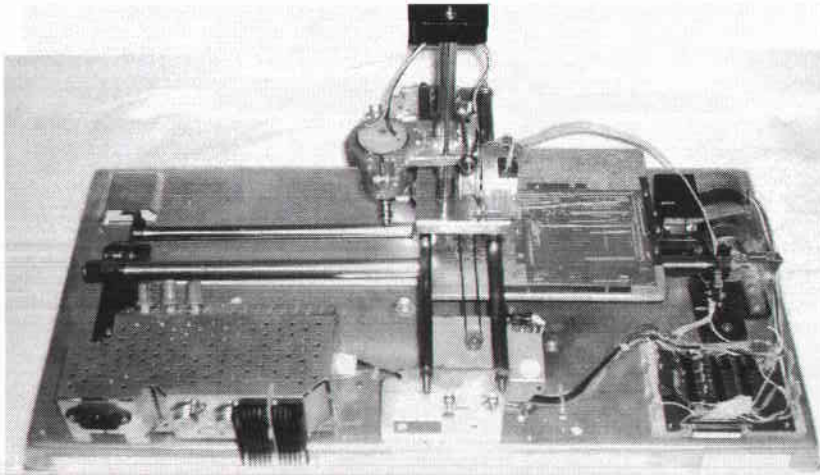
Şekil 3.33.'te resmi görülen mekanik sistem; bu çalışmada ortaya konulan baskı devre çıkarma yönteminin, pratik olarak uygulanabilirliğini göstermek amacıyla deneysel olarak hazırlanmıştır. Sistemin yapımında özel ekipmanlar yerine eldeki mevcut imkanlar kullanılmıştır. Tasarımı yapılan sistemle üretilmiş örnek baskı devre resimleri Şekil 3.34.'te gösterilmiştir.



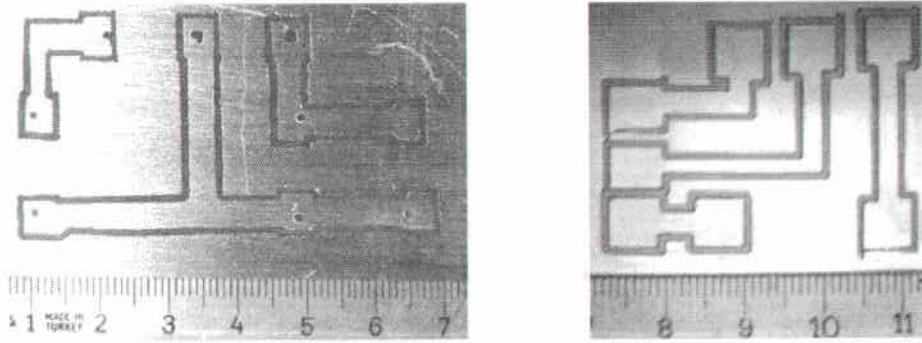
Şekil 3.31. Çeşitli CNC tezgah düzeneklerinin yapısı



Şekil 3.32. Hazırlanan elektromekanik sistemin yapısı



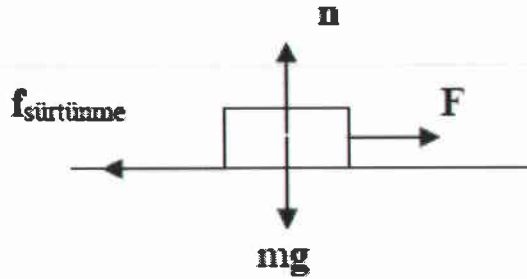
Şekil 3.33. Hazırlanan elektromekanik sistemin resmi



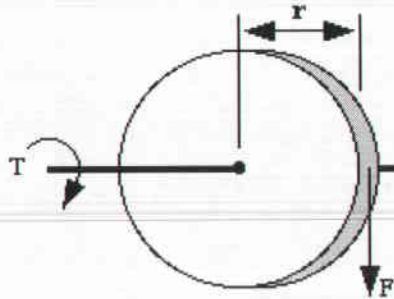
Şekil 3.34. Sistemde üretilen örnek baskı devre resimleri

3.3.5. Sistem Parametrelerinin Hesaplanması

Sistemin X ve Y eksenlerinde yeralan yüklere etki eden kuvvetler Şekil 3.35.'te gösterilmiştir. Yüklerin hareket edebilmesi için adım motorlarının yenmesi gereken sürtünme kuvvetleri ve aynı tork değerlerine sahip adım motorlarının uyguladıkları kuvvetler (Şekil 3.36.), ayrı ayrı hesaplanmıştır [15].



Şekil 3.35. X ve Y eksenlerinde yeralan yüklere etki eden kuvvetler.



Şekil 3.36. Motor miline etki eden kuvvetler.

- X ekseni için:

$$m = 2,11 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\mu = 0,2$$

$$\tau = 0,25 \text{ Nm}$$

$$r = 0,007 \text{ m}$$

$$n = m \times g \quad (3.2.)$$

$$f_s = \mu \times n \quad (3.3.)$$

$f_s = 0,2 \times 2,11 \times 9,81 = 4,13 \text{ N}$ olarak sürtünme kuvveti bulunur.

$$\tau = F \times r \quad (3.4.)$$

X adım motorunun yükü hareket ettirmek için uyguladığı kuvveti bulmak için Formül 3.4'te değerleri yerine koyarsak;

$$0,25 = F \times 0,007 \Rightarrow F = \frac{0,25}{0,007} = 35,71 \text{ N} \text{ bulunur.}$$

- Y ekseni için:

$$m = 0,75 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\mu = 0,2$$

$$\tau = 0,25 \text{ Nm}$$

$$r = 0,014 \text{ m}$$

Formül 3.2. ve 3.3.'te değerleri yerine koyarsak;

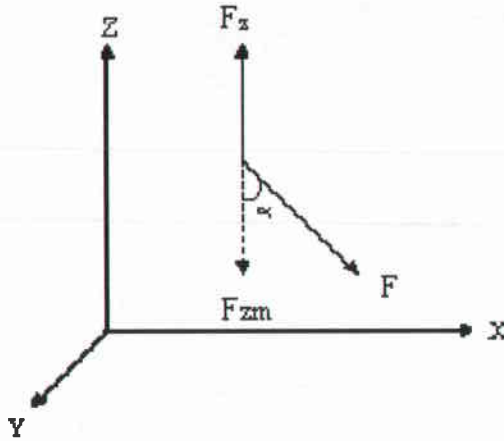
$f_s = 0,2 \times 0,75 \times 9,81 = 1,47N$ olarak sürtünme kuvveti bulunur.

Formül 3.4.'ten, Y adım motorunun yükü hareket ettirmek için uyguladığı kuvvet ise;

$$0,25 = F \times 0,014 \Rightarrow F = \frac{0,25}{0,014} = 17,85N \text{ bulunur.}$$

- Z ekseni için:

Z ekseninde yeralan kolu hareket ettiren F_{zm} kuvveti Şekil 3.37.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.37. Z ekseninde yeralan kolu hareket ettiren kuvvet

$$F_z = 6,86N$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\tau = 0,15Nm$$

$$r = 0,009m$$

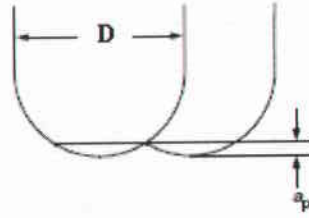
Formül 3.4.'te değerleri yerine koyarsak Z adım motorunun uyguladığı kuvvet;

$$0,15 = F \times 0,009 \Rightarrow F = \frac{0,15}{0,009} = 16,66N$$

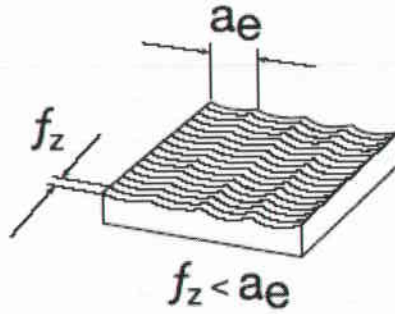
Motorun Z ekseninde uyguladığı kuvvet ise;

$$F_{zm} = F \times \cos \alpha \Rightarrow F_{zm} = 16,66 \times \cos 45 = 11,78N \text{ olarak bulunur.}$$

- Sistem parametrelerine bağlı olarak yapılan frezeleme işlemine ait hesaplar[16,17].



Şekil 3.38. Freze çapı ve kesme derinliği.



Şekil 3.39. Frezeleme genişliği ve diş başına ilerleme.

$$D = 1mm$$

$$n = 8000 \text{ dev/dak}$$

$$a_p = 0,5mm$$

$$a_e = 1mm$$

$$V_f = 600 \text{ mm/dak}$$

$$z_n = 2$$

$$K = 6,1$$

- Kesme hızı:

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \quad (3.5.)$$

$$V_c = \frac{3,14 \times 1 \times 8000}{1000} = 25,12 \text{ m/dak}$$

- Talaş hacmi:

$$Q = a_p \times a_e \times V_f \quad (3.6.)$$

$$Q = 0,5 \times 1 \times 600 = 300 \text{ mm}^3/\text{dak}$$

- Tabla ilerlemesi:

$$f_n = \frac{V_f}{n} \quad (3.7.)$$

$$f_n = \frac{600}{8000} = 0,075 \text{ mm/dev}$$

- Diş başına ilerleme:

$$f_z = \frac{V_f}{n \times z_n} \quad (3.8.)$$

$$f_z = \frac{600}{8000 \times 2} = 0,0375 \text{ mm/dev}$$

- Net kesme gücü:

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times V_f \times K}{100000} \quad (3.9.)$$

$$P_c = \frac{0,5 \times 1 \times 600 \times 6,1}{100000} = 0,0183 \text{ kW} = 18,3 \text{ W}$$

- Mutlak hata:

$$\varepsilon = |yg - yy|$$

$$\varepsilon = |32 - 33| = 1$$

- Bağıl hata:

$$\varepsilon_t = \frac{\varepsilon}{yg}$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{32} = 0,031$$

$\varepsilon_t \times 100 = 3,1\%$ olarak hesaplanır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tasarlanan mekanik sistemde; üzerinde işlem yapılacak bakırlı plaket, X ekseninde yer alan iki mil üzerinde hareket edebilen bir platforma yerleştirilmiştir. Denemelerimizde; bu platformun kazıma sırasında yaklaşık 0,5mm esnediği ve kazıma derinliğinin değişmesine, dolayısıyla da ürün kalitesinin düşmesine sebep olduğu görülmüştür.

Bu sorunu gidermek için bakırlı plaketin hareketli eksenden alınarak sabit zemine yerleştirilmesi ve X eksen mekanizmasının yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Kazıma kalitesini artırmak için; adım başına katedilen mesafenin düşürülmesini (çözünürlüğün artırılmasını) sağlayacak dişli mekanizmaların kullanılması gerekmektedir. Tasarlanan sistemin çözünürlüğü; X eksen için 0,08mm, Y eksen için 0,106mm'dir.

Çalışmalarımızda kazıma ucu olarak 0.8mm ve 1mm'lik matkap uçları kullanılması kazıma kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Daha iyi sonuçlar alabilmek için, kaliteli ve işin özelliğine uygun freze uçlarının kullanılması gerekmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada gerçekleştirilen sistem, bilgisayarda hazırlanmış baskı devreyi doğrudan plakete üzerine aktararak uzun süre ve çok emek gerektiren baskı devre prototipi üretiminin otomatik olarak, kısa sürede ve daha ekonomik şekilde yapılabilmesini sağlayacaktır. Sistemin bireyler ve küçük-orta ölçekli sanayi için düşük maliyetli olması amaçlandığından kolay bulunabilecek elemanlar kullanılmıştır. Mevcut tasarım istenen kaliteyi yakalayamamakla birlikte daha çok maddi kaynak harcanarak geliştirilecek modellerin gerekli kaliteye ulaşacağını söyleyebiliriz. Şu an ki tasarım tamamı ile kişisel imkanlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu sistem; plakete haricinde fazladan malzemeye (kimyasallar, ipek, aydinger, asit gibi) gerek duymaması nedeniyle ekonomik, ayrıca kimyasalların kullanılmaması nedeniyle de insan ve çevre sağlığı açısından son derece yararlı olacaktır.

Sistem, bütünüyle taşınabilir özelliğiyle ofis, işyeri ve endüstriyel ortamlarda pratik kullanım imkanı yaratacak ekonomik bir çözüm sunmaktadır.

Sistemin iyileştirilmesi ve uygulama alanının genişletilmesi için öneriler:

- Mekanik yapının mutlaka işin özelliğine uygun konstrüksiyona sahip olacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.
- Sisteme özel baskı devre çizim programı hazırlanarak daha etkili ve fonksiyonel kullanımı sağlanabilir.
- Sistemde kazıma yöntemi yerine lazer kaynağı ile aşındırma yöntemi kullanılarak çok hassas baskı devrelerin elde edilmesi mümkündür. Bu durumda motorların karşılaması gereken yük momenti oldukça düşeceğinden, mikro adımlama yöntemi ile çok hassas konumlamaya yeteneğine sahip elektromekanik sistem de geliştirilebilir.
- Uç birimin istenen koordinatta olup olmadığını denetlemek için sisteme pozisyon algılayıcılar yerleştirilerek, bir kapalı çevrim kontrol sistemi oluşturulabilir.

- Algılayıcıların eklenmesiyle ortaya çıkacak daha fazla iletim kanalı ihtiyacını yalnız paralel port karşılayamayacağından, ilave olarak seri port kullanılabilir.
- Sistemde kullanılan bilgisayarın aynı anda farklı programları da çalıştırması beklenen durumlarda, sistemin kontrolü mikrodenetleyici (örn:PIC 16F877) ile sağlanarak bilgisayar üzerindeki işlem yükü azaltulabilir.
- Sistem baskı devre yapımı dışında, yazılımda yapılacak küçük değişikliklerle elektrik, elektronik, bilgisayar, makina, ve endüstriyel kontrol eğitimi veren kurumlarda eğitim aracı olarak kullanılabilir.
- Uç birime küçük değişikliklerle kalem yerleştirilerek, plotter olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Flatt, M. "Printed Circuit Board Basics:An Introduction To The PCB Industry", Backbeat Books, 3rd ed., USA, 112 s., (1997).
- [2] Varteresian, J. "Fabricating Printed Circuit Boards", Newnes Press, USA, 236 s., (2002).
- [3] Pekmezci, H. "Tüm Yönleri ile Serigrafi, İpekbaskı ", İlke Yayıncılık, Ankara, 126 s., (1992).
- [4] Kaya, İ. "Mekanik Sistemlerin Step Motorlarla Denetimi", Yüksek Lisans Tezi, SAÜ-Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 104 s., (1997).
- [5] Taştan, L. "Bilgisayar Yardımı ile Step Motorun Hareket Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ- Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 55 s., (1997).
- [6] Şen, K. "A Pc-Based Industrial Position Control System", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ-Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 102 s., (2000).
- [7] Görgün, H. "Step Motor kullanılarak Plotter Uygulamasının Gerçekleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ-Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 98s., (1998).
- [8] Ateş, S. M. "A Pc Controlled Three Dimensional Machine Tool Control System", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ-Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 118 s., (2001).
- [9] Stadler, W. "Analytical Robotics And Mechatronics", McGraw-Hill series in Electrical and Computer Engineering, USA, 570 s., (1995).
- [10] Hewlett Packard, "The Complete Reference to Hewlett-Packard's Standard Vector Graphics Language", Addison-Wesley Publishing, 1st ed., 388 s., (1990).
- [11] Yanık, M. "Borland Delphi 4 ile Görsel Programlama", Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 1104 s., (1999).
- [12] Gümüşkaya, H. "Mikroişlemciler ve Bilgisayarlar", Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 461 s., (1999).
- [13] Filiz, İ. H. "NC and CNC fundamentals", Gaziantep Üniversitesi Basımevi, Gaziantep, 249 s., (1995).
- [14] Krar, S. and Gill, A. "CNC: Technology and Programming", McGraw-Hill Publishing, 378 s., (1990).

- [15] Ural, O. "Fizik I", Oran Yayıncılık, 2. baskı, İzmir, 396 s., (1992).
- [16] Ataşımşek, S. "CNC-Metal İşleme El Kitabı", Birsen Yayınevi, İstanbul, 480 s., (2004).
- [17] Gülesin, M. and Güllü, A. "Makina Teknolojileri İçin Birimler, Formüller ve Çizelgeler", Seçkin Yayınevi, Ankara, 540 s., (2003).
- [18] Ergun, B. R. and Canbolat, H. "Design of a Computer Controlled Printed Circuit Board Prototype Production System", Proc. of 2nd International Symposium on Electrical, Electronic and Computer Eng., Lefkosa (Nicosia), TRNC (North Cyprus), pp.282-286., (2004).
- [19] Ergun, B. R. and Canbolat, H. "Design of a Computer Controlled Printed Circuit Board Production System: Electro-Mechanical Subsystem", Proc. of 3rd FAE Int. Symposium, Gemikonagi-Lefke, TRNC (North Cyprus), pp.467-471. (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Bestami Recep ERGÜN

Doğum Tarihi ve Yeri: 07.10.1969 / Dörtyol

Öğrenim Durumu:

İlkokul:	Kayabaşı İlkokulu-K.Maraş	1980
Ortaokul:	Merkez Ortaokulu-K.Maraş	1983
Lise:	Endüstri Meslek Lisesi, Elektronik Bl.-K.Maraş	1986
Üniversite:	Gazi Ü., Elektrik-Elektronik Eğt.-Ankara	1990

Yabancı Dili: İngilizce

Adres: Doğancı Mh. Karakozak Sk. Özdemir Apt. No:8 MUT/Mersin

EK-1: ÖRNEK BİR HPGL DOSYASI

INSP1PAPU1775,1095PRPD0,235,0,0,0,-235,0,0,0,235,0,-5,40,40,0,10,-40,-40,0,-
10,0,0,40,40,-40,-40,0,5,40,40,-40,-40,0,5,40,40,-40,-
40PAPU1625,1280PRPD0,105,0,0,0,-105,0,0,0,105,30,0,0,0,-
30,0,0,0,30,0PAPU1730,1385PRPD-100,-
105PAPU1720,1385PRPD10,0PAPU1720,1385PRPD-100,-105,10,0,0,0,100,105,-
100,-105,-5,0,100,105,-100,-105,-5,0,100,105,-100,-
105PAPU1725,1385PRPD85,0,0,0,-85,0,0,0,85,0PAPU1630,1225PRPD135,-
140PAPU1630,1225PRPD-10,0,135,-140,10,0,0,0,-135,140,135,-140,-5,0,-
135,140,135,-140,-5,0,-135,140,135,-140PAPU1625,1225PRPD0,55,0,0,0,-
55,0,0,0,55PAPU1330,805PRPD145,-140,10,10,-145,140,-10,-10,0,0,145,-140,-
145,140,5,5,145,-140,-145,140,5,5,145,-140,-145,140PAPU1480,675PRPD5,-5,-
5,5,-5,-5,5,5PAPU1475,670PRPD0,-300,0,0,0,300,5,0,0,-300,5,0,0,300,0,0,0,-
300,-5,5,-5,-5,5,5,-5,-5,125,0,0,0,-125,0,0,5,125,0,0,5,-
125,0,0,0,125,0PAPU1425,615PRPD-95,90PAPU1425,615PRPD10,10,-95,90,-10,-
10,0,0,95,-90,-95,90,5,5,95,-90,-95,90,5,5,95,-90,-95,90PAPU1430,625PRPD5,-5,-
5,5,-5,-5,5,5PAPU1425,620PRPD0,-250,0,0,0,250,5,0,0,-250,5,0,0,250,0,0,0,-
250,-5,5,-5,-5,5,5,-5,5,5PAPU1425,370PRPD0,-105,0,0,0,105,5,0,0,-
105,5,0,0,105,0,0,0,-105,-5,5,-5,-5,5,-5,5,5,-5,-5,295,0,0,0,-295,0,0,5,295,0,0,5,-
295,0,0,0,295,0,5,-5,-5,5,-5,-5,5,-5,5,5PAPU1720,265PRPD0,85,0,0,0,-
85,5,0,0,85,5,0,0,-85,0,0,0,85PAPU1370,565PRPD-
40,35PAPU1370,565PRPD10,10,-40,35,-10,-10,0,0,40,-35,-40,35,5,5,40,-35,-
40,35,5,5,40,-35,-40,35PAPU1375,575PRPD5,-5,-5,5,-5,5,-
5,5,5PAPU1370,570PRPD0,-355,0,0,0,355,5,0,0,-355,5,0,0,355,0,0,0,-355,-5,5,-5,-
305,0,0,0,305,5,0,0,-305,5,0,0,305,0,0,0,-305,-5,5,-5,-5,5,-
...
5,5PAPU865,1540PASPPU0,0;

EK-2: BESTPCB YAZILIMININ; GÖRÜNTÜLEME, KENAR BELİRLEME VE YOL BELİRLEME İŞLEMLERİNİ YAPAN BÖLÜMÜNE AİT KODLAR

```
unit besttezubre1;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
Menus, StdCtrls, ComCtrls, ExtCtrls, Buttons, ImgList, ToolWin;
type
TForm1 = class(TForm)
MainMenu1: TMainMenu;
dosya1: TMenuItem;
a1: TMenuItem;
kaydet1: TMenuItem;
farklkaydet1: TMenuItem;
yazdr1: TMenuItem;
k1: TMenuItem;
OpenDialog1: TOpenDialog;
Memo1: TMemo;
Memo2: TMemo;
Gnder1: TMenuItem;
Hakknda1: TMenuItem;
ToolBar1: TToolBar;
ToolButton1: TToolButton;
ToolButton3: TToolButton;
ToolButton4: TToolButton;
ImageList1: TImageList;
ToolButton6: TToolButton;
Ayarlar1: TMenuItem;
GroupBox1: TGroupBox;
BitBtn3: TBitBtn;
BitBtn2: TBitBtn;
BitBtn1: TBitBtn;
BitBtn4: TBitBtn;
Timer1: TTimer;
procedure k1Click(Sender: TObject);
procedure a1Click(Sender: TObject);
procedure hintgoster(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure yorumla(var kry:string);
procedure kr_al(var kr:char);
procedure k_yorumla(kmt:string);
procedure hesp_ciz;
procedure yakala(jj,ii:integer);
procedure surumal;
procedure kaydet;
procedure Hakknda1Click(Sender: TObject);
procedure ToolButton3Click(Sender: TObject);
```

EK-2'nin devamı

```
procedure ToolButton4Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;
var
Form1: TForm1;
say:integer;
tester,relative,testbre:boolean;
sss,hatakodu:integer;
cnt1,cnt2,oldx,oldy,x,y,yy,xx,skala:integer;
sonkomut,komut:string;
xk,yk,xkr,ykr,akr,ckr:string;
durum:byte;
xl,yl,xekran,yekran,xi,yi,xiu,yiu:integer;
zstep:byte;
xbstep,ybstep:integer;
F: TextFile;
fy: TextFile;
seckalem,bkr:char;
sl,surum:string;
implementation
uses bestp2bre, hakkindau,bestp3bre,bestp4bre;
{$R *.DFM}
label ilk,tekrarciz,basla,xy_al,kr_atla,son;
procedure TForm1.k1Click(Sender: TObject);
begin
halt;
end;
procedure TForm1.a1Click(Sender: TObject);
begin
xekran :=5;
yekran :=700;
opendialog1.execute;
if not (opendialog1.FileName='') then
begin
AssignFile(F, OpenDialog1.FileName);
Reset(F);
form2.refresh;
testbre:=false;
yorumla(akr);
```

EK-2'nin devamı

```
closefile(F);
end;
memo1.Lines.Clear;
memo2.Lines.Clear;
memo1.Text:='BR,';
end;
procedure TForm1.yorumla;
begin
while not EOF(F) do
begin
kr_al(bkr);
if (bkr>='A') and (bkr<='Z') then
begin
akr:=akr+bkr;
if xkr<>" then
begin
durum:=0;yk:=xkr;xkr:=";
if (komut='PU')or (komut='PD') then
begin
hesp_ciz;
end;
end;
if (length(akr)=2) then
begin
komut:=akr; akr:=";
k_yorumla(komut);
end;
end
else if ((komut='PU')or (komut='PD'))and((bkr>='0')and (bkr<='9') or (bkr='-') or
(bkr='.')) then
begin
xkr:=xkr+bkr;
end
else
begin
if xkr<>" then durum:=durum+1;
akr:=";bkr:=' ';
if durum=1 then begin xk:=xkr;xkr:=";end;
if durum=2 then begin
yk:=xkr;xkr:=";durum:=0;
if (komut='PU')or (komut='PD') then
begin
hesp_ciz;
end;end;
end;
end;
end;
```

EK-2'nin devamı

```
showmessage('Görüntüleme İşlemi Tamamlanmıştır.');
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
surumal;
```

```
say:=0;sss:=0; relative:=false; testbre:=false; tester:=false;
```

```
oldx:=0; oldy:=0; skala :=10; durum:=0;
```

```
seckalem='0'; xekran :=5;
```

```
yekran :=700; xi:=0;yi:=0;x:=0;y:=0;
```

```
Application.OnHint:=hintgoster;
```

```
form3.portstart;
```

```
zstep:=33; xstep:=650; ystep:=1900;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.kr_al;
```

```
begin
```

```
read(F,kr);
```

```
say:=say+1;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.k_yorumla;
```

```
begin
```

```
if kmt='PA' then relative:=false
```

```
else if kmt='PR' then relative:=true
```

```
else if kmt='BR' then testbre:=true
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.hesp_ciz;
```

```
begin
```

```
form2.show;
```

```
form2.StatusBar1.SimpleText:='HPGL Dosyası Çiziliyor.. Lütfen Bekleyin.';
```

```
if (xk='0') and (yk='0') then exit;
```

```
VAL(xk,x,hatakodu) ;
```

```
VAL(yk,y,hatakodu) ;
```

```
IF (relative=true) then BEGIN
```

```
x := x + oldx ;
```

```
y := y + oldy ;
```

```
END;
```

```
oldx := x;
```

```
oldy := y;
```

```
xi:= x div skala;
```

```
yi := y div skala;
```

```
IF (komut = 'PU')then begin
```

```
if testbre=false then form2.canvas.MOVETO((xi+xekran),(yekran-yi))
```

```
else form2.canvas.MOVETO((xi+xekran),(700-(yekran-yi)));
```

```
end;
```

```
IF (komut = 'PD') then begin
```

```
form2.canvas.pen.width:=3;
```

```
form2.canvas.pen.color:=clBlack;//strtoint(seckalem);
```

EK-2'nin devamı

```
xl:=(xi+xekran);yl:=(yekran-yi);
if testbre=false then form2.canvas.LineTo(xl,yl)
else form2.canvas.LineTo(xl,(700-yl));
end;
end;
procedure TForm1.ToolButton4Click(Sender: TObject);
begin
form2.refresh;
AssignFile(F, OpenFileDialog1.FileName);
Reset(F);
say:=0;sss:=0; relative:=false; testbre:=false; oldx:=0; oldy:=0;
skala:=skala+2; durum:=0; seckalem:='0'; xekran :=5;
yekran :=700; xi:=0;yi:=0;x:=0;y:=0;
yorumla(akr);
closefile(F);
end;
procedure TForm1.ToolButton3Click(Sender: TObject);
begin
form2.refresh;
AssignFile(F, OpenFileDialog1.FileName);
Reset(F);
say:=0;sss:=0; relative:=false; testbre:=false;
oldx:=0; oldy:=0;
if skala>2 then skala:=skala-2 else skala:=2;
durum:=0; seckalem:='0'; xekran :=5; yekran :=700;
xi:=0;yi:=0;x:=0;y:=0;
yorumla(akr);
closefile(F);
end;
procedure TForm1.yakala;
var
yx,yy,so,sso,su,ssu,ss,sss,sa,ssa,yyx,yyy:integer;
drt,dr,ilk:byte;
srenk,srenko,srenks,srenku,srenka,ssrenk,ssrenko,ssrenks,ssrenku,ssrenka:Tcolor;
label
ara,sara,bestway,bitir,ssara;
begin
form2.canvas.pen.width:=2;
yy:=ii;
yx:=jj;
form2.StatusBar1.SimpleText:='Yol Belirleme İşlemi Yapılıyor.. Lütfen Bekleyin.';
ara:
so:=0;sso:=0;su:=0;ssu:=0;ss:=0;sss:=0;sa:=0;ssa:=0;
drt:=0;dr:=0;ilk:=0;yyx:=0;yyy:=0;
if (yy=0) then goto bitir;
yy:=yy-1;
```

EK-2'nin devamı

```
sara:
yx:=yx+1;
srenk:=form2.canvas.pixels[yx,yy];
if srenk=clred then
begin
yx:=yx-1;
memo1.Text:=memo1.Text+'PAPU'+','+(inttostr(yx*10))+','+(inttostr((yy-1)*10))+',';
memo2.Text:=memo2.Text+'TU'+(inttostr(yx))+','+(inttostr(form2.ClientHeight-
yy))+',';
yyx:=yx;yyy:=yy;
goto ssara;
end;
if yx<form2.ClientWidth then goto sara;
yx:=0;
goto ara;
bestway:
form2.canvas.pixels[yx,yy]:=cllime;
cnt1:=cnt1+1;
if (ilk=1) and (drt<>dr) then begin
ilk:=0;
if dr=1 then begin form2.canvas.pixels[yx,yy]:=clred; yx:=yx+1;end;
if dr=2 then begin form2.canvas.pixels[yx,yy]:=clred; yx:=yx-1;end;
if dr=3 then begin form2.canvas.pixels[yx,yy]:=clred; yy:=yy+1;end;
if dr=4 then begin form2.canvas.pixels[yx,yy]:=clred; yy:=yy-1;end;
if dr=5 then begin form2.canvas.pixels[yx,yy]:=clred; yx:=yx-1;yy:=yy+1;end;
if dr=6 then begin form2.canvas.pixels[yx,yy]:=clred; yx:=yx-1;yy:=yy-1;end;
if dr=7 then begin form2.canvas.pixels[yx,yy]:=clred; yx:=yx+1;yy:=yy+1;end;
if dr=8 then begin form2.canvas.pixels[yx,yy]:=clred; yx:=yx+1;yy:=yy-1;end;
form2.Canvas.Font.Size:=14;
form2.Canvas.Font.color:=clblue;
form2.Canvas.TextOut(620,30,'X:'+inttostr(yx));
form2.Canvas.TextOut(700,30,'Y:'+inttostr(yy));
memo1.Text:=memo1.Text+'PAPD'+','+(inttostr(yx*10))+','+(inttostr(yy*10))+',';
if (yx-yyx>=1) and (yy-yyy=0) then memo2.Text:=memo2.Text+'XR'+inttostr(yx-
yyx)+','+inttostr(0)+';';
if (yx-yyx<=-1) and (yy-yyy=0) then memo2.Text:=memo2.Text+'XL'+inttostr(yyx-
yx)+','+inttostr(0)+';';
if (yx-yyx=0) and (yy-yyy>=1) then memo2.Text:=memo2.Text+'YD'+inttostr(yy-
yyy)+','+inttostr(0)+';';
if (yx-yyx=0) and (yy-yyy<=-1) then memo2.Text:=memo2.Text+'YU'+inttostr(yyy-
yy)+','+inttostr(0)+';';
if (yx-yyx>=1) and (yy-yyy<=-1) then memo2.Text:=memo2.Text+'KR'+inttostr(yx-
yyx)+','+inttostr(yyy-yy)+';';
if (yx-yyx<=-1) and (yy-yyy<=-1) then
memo2.Text:=memo2.Text+'KL'+inttostr(yyx-yx)+','+inttostr(yyy-yy)+';';
```

EK-2'nin devamı

```
if (yx-yyx>=1) and (yy-yyy>=1) then memo2.Text:=memo2.Text+'GR'+inttostr(yx-yyx)+' '+inttostr(yy-yyy)+'';
if (yx-yyx<=-1) and (yy-yyy>=1) then
memo2.Text:=memo2.Text+'GL'+inttostr(yyx-yx)+' '+inttostr(yy-yyy)+'';
yyx:=yx;yyy:=yy;
so:=0;sso:=0;su:=0;ssu:=0;ss:=0;sss:=0;sa:=0;ssa:=0;
end;
ssara:
srenko:=form2.canvas.pixels[yx-1,yy];
srenks:=form2.Canvas.pixels[yx+1,yy];
srenku:=form2.Canvas.pixels[yx,yy-1];
srenka:=form2.Canvas.pixels[yx,yy+1];
ssrenko:=form2.canvas.pixels[yx+1,yy-1];
ssrenks:=form2.Canvas.pixels[yx+1,yy+1];
ssrenku:=form2.Canvas.pixels[yx-1,yy-1];
ssrenka:=form2.Canvas.pixels[yx-1,yy+1];
if (srenko=clred)then
begin
yx:=yx-1;so:=so+1;dr:=1;cnt2:=cnt2+1;
if ilk=0 then drt:=dr;ilk:=1;
goto bestway;
end;
if (srenks=clred) then
begin
yx:=yx+1;ss:=ss+1;dr:=2;cnt2:=cnt2+1;
if ilk=0 then drt:=dr;ilk:=1;
goto bestway;
end;
if (srenku=clred) then
begin
yy:=yy-1;su:=su+1;dr:=3;cnt2:=cnt2+1;
if ilk=0 then drt:=dr;ilk:=1;
goto bestway;
end;
if(srenka=clred) then
begin
yy:=yy+1;sa:=sa+1;dr:=4;cnt2:=cnt2+1;
if ilk=0 then drt:=dr;ilk:=1;
goto bestway;
end;
if (ssrenko=clred)then
begin
yx:=yx+1;yy:=yy-1;sso:=sso+1;dr:=5;cnt2:=cnt2+1;
if ilk=0 then drt:=dr;ilk:=1;
goto bestway;
end;
```


EK-2'nin devamı

```
if (ssrenks=clred) then
begin
yx:=yx+1;yy:=yy+1;sss:=sss+1;dr:=6;cnt2:=cnt2+1;
if ilk=0 then drt:=dr;ilk:=1;
goto bestway;
end;
if (ssrenku=clred) then
begin
yx:=yx-1;yy:=yy-1;ssu:=ssu+1;dr:=7;cnt2:=cnt2+1;
if ilk=0 then drt:=dr;ilk:=1;
goto bestway;
end;
if(ssrenka=clred) then
begin
yx:=yx-1;yy:=yy+1;ssa:=ssa+1;dr:=8;cnt2:=cnt2+1;
if ilk=0 then drt:=dr;ilk:=1;
goto bestway;
end;
if (ilk=1) and (drt=dr)then
begin
memo1.Text:=memo1.Text+'PAPD'+','+(inttostr(yx*10))+','+(inttostr(yy*10))+',';
if (yx-yyx>=1) and (yy-yyy=0) then memo2.Text:=memo2.Text+'XR'+inttostr(yx-yyx)+','+inttostr(0)+',';
if (yx-yyx<=-1) and (yy-yyy=0) then memo2.Text:=memo2.Text+'XL'+inttostr(yyx-yyx)+','+inttostr(0)+',';
if (yx-yyx=0) and (yy-yyy>=1) then memo2.Text:=memo2.Text+'YD'+inttostr(yy-yyy)+','+inttostr(0)+',';
if (yx-yyx=0) and (yy-yyy<=-1) then memo2.Text:=memo2.Text+'YU'+inttostr(yyy-yy)+','+inttostr(0)+',';
if (yx-yyx>=1) and (yy-yyy<=-1) then memo2.Text:=memo2.Text+'KR'+inttostr(yx-yyx)+','+inttostr(yyy-yy)+',';
if (yx-yyx<=-1) and (yy-yyy<=-1) then
memo2.Text:=memo2.Text+'KL'+inttostr(yyx-yx)+','+inttostr(yyy-yy)+',';
if (yx-yyx>=1) and (yy-yyy>=1) then memo2.Text:=memo2.Text+'GR'+inttostr(yx-yyx)+','+inttostr(yy-yyy)+',';
if (yx-yyx<=-1) and (yy-yyy>=1) then
memo2.Text:=memo2.Text+'GL'+inttostr(yyx-yx)+','+inttostr(yy-yyy)+',';
yyx:=yx;yyy:=yy;
end;
if (yy>0) then begin yx:=0;yy:=form2.ClientHeight;goto ara;end;
bitir:
form2.StatusBar1.SimpleText:='Yol Belirleme işlemi Tamamlandı.';
showmessage('Yol Belirleme İşlemi Tamamlanmıştır..!');
kaydet;
end;
procedure TForm1.kaydet;
```

EK-2'nin devamı

```
{var
tus:integer;
begin
tus:=application.MessageBox('Dosya Kaydedilsin
mi?','BESTPCB',mb_yesno+mb_defbutton1);
if tus=6 then }
begin
memo1.Lines.SaveToFile('c:\ttez.plt');
memo2.Lines.SaveToFile('c:\mttez.bre');
end;
procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
assignfile(F,'c:\ttez.plt');
reset(F);
form2.refresh;
testbre:=true; skala:=10;
yorumla(akr);
testbre:=false;
closefile(F);
end;
procedure TForm1.Hakknda1Click(Sender: TObject);
begin
AboutBox.show;
timer1.Enabled:=false;
end;
procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var
renk,renko,renks,renku,renka:Tcolor;
i,j:integer;
begin
form2.StatusBar1.SimpleText:='Kenar Belirleme İşlemi Yapılıyor.. Lütfen Bekleyin!';
form2.Canvas.Font.Size:=14;
form2.Canvas.Font.color:=clblue;
for i:=0 to form2.ClientHeight do
for j:=0 to form2.ClientWidth do
begin
form2.Canvas.TextOut(620,30,'X:'+inttostr(j));
form2.Canvas.TextOut(700,30,'Y:'+inttostr(i));
renk:=form2.canvas.pixels[j,i];
renko:=form2.canvas.pixels[j-1,i];
renks:=form2.Canvas.pixels[j+1,i];
renku:=form2.Canvas.pixels[j,i-1];
renka:=form2.Canvas.pixels[j,i+1];
if (renk=clBlack) and (renko=clwhite)then form2.canvas.pixels[j-1,i]:=clRed;
if (renk=clBlack) and (renks=clwhite) then form2.canvas.pixels[j+1,i]:=clRed;
if (renk=clBlack) and (renku=clwhite) then form2.canvas.pixels[j,i-1]:=clRed;
```

EK-2'nin devamı

```
if (renk=clBlack) and (renka=clwhite) then form2.canvas.pixels[j,i+1]:=clRed;
end;
showmessage('Kenar belirleme işlemi tamamlandı.!');
yakala(0,form2.ClientHeight);
end;
procedure TForm1.hintgoster;
begin
form2.statusbar1.simpletext:=application.hint;
end;
procedure TForm1.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
form3.portstart;form3.xofset;form3.yofset;form3.ytsaga(xbstep);
form3.portstart;form3.xtsaga(ybstep);form3.portstart;form4.dtezac;
form3.zup(zstep);form3.portstart;form3.xofset;form3.yofset;
form3.portstart;form3.ytsaga(100);form3.xtsaga(100);form3.portstart;
form2.StatusBar1.SimpleText:='Baskı Devre aktarımı tamamlanmıştır.';
showmessage('Kazıma işlemi sonuçlandı..');
end;
procedure TForm1.BitBtn4Click(Sender: TObject);
begin
form3.Show;
end;
procedure TForm1.surumal;
var Version : DWORD;
Build : WORD;
MajorVersion, MinorVersion : BYTE;
begin
Version := GetVersion();
MajorVersion := LOBYTE(LOWORD(Version));
MinorVersion := HIBYTE(LOWORD(Version));
if (Version and $80000000) = 0 then begin
surum:='winnt';
Build := HIWORD(Version);
end
else if (MajorVersion < 4) then begin
surum:='win32';
Build := HIWORD(Version) and $7FFF;
end
else begin
surum:='win95';
Build := 0;
end;
end;
end;
end.
```

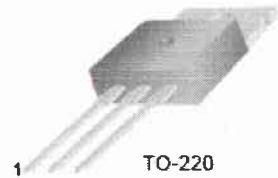
EK-3: KONTROL DEVRESİNDE KULLANILAN TIP120 TRANSİSTÖRÜNE AİT KATALOG VERİLERİ



TIP120/121/122

Medium Power Linear Switching Applications

- Complementary to TIP125/126/127



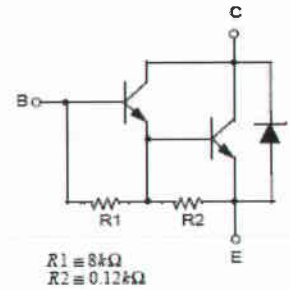
TO-220
1. Base 2. Collector 3. Emitter

NPN Epitaxial Darlington Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	: TIP120	60 V
		: TIP121	80 V
		: TIP122	100 V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	: TIP120	60 V
		: TIP121	80 V
		: TIP122	100 V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	8	A
I_B	Base Current (DC)	120	mA
P_C	Collector Dissipation ($T_a=25^\circ\text{C}$)	2	W
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	65	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Equivalent Circuit



Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units	
$V_{CEO(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	: TIP120	100 mA, $I_B = 0$	60	V	
		: TIP121		80		
		: TIP122		100		
I_{CEO}	Collector Cut-off Current	: TIP120	$V_{CE} = 30\text{V}, I_B = 0$	0.5	mA	
		: TIP121		$V_{CE} = 40\text{V}, I_B = 0$	0.5	mA
		: TIP122		$V_{CE} = 50\text{V}, I_B = 0$	0.5	mA
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	: TIP120	$V_{CB} = 60\text{V}, I_E = 0$	0.2	mA	
		: TIP121		$V_{CB} = 80\text{V}, I_E = 0$	0.2	mA
		: TIP122		$V_{CB} = 100\text{V}, I_E = 0$	0.2	mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{BE} = 5\text{V}, I_C = 0$		2	mA	
h_{FE}	* DC Current Gain	$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 0.5\text{A}$ $V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 3\text{A}$	1000 1000			
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 3\text{A}, I_B = 12\text{mA}$		2.0	V	
		$I_C = 5\text{A}, I_B = 20\text{mA}$		4.0	V	
$V_{BE(on)}$	* Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 3\text{A}$		2.5	V	
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{V}, I_E = 0, f = 0.1\text{MHz}$		200	pF	

* Pulse Test : $PW \leq 300\mu\text{s}$, Duty cycle $\leq 2\%$

EK-3'ün devamı

Typical characteristics

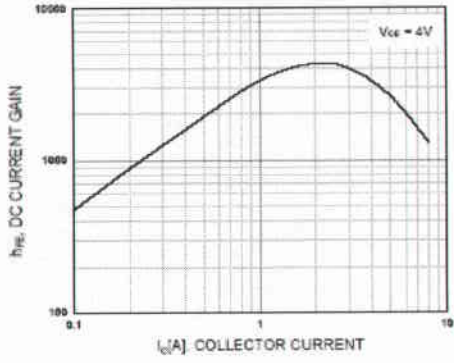


Figure 1. DC current Gain

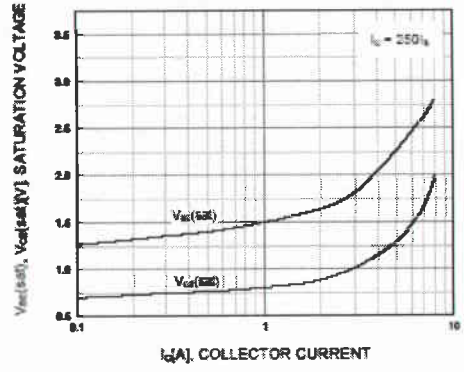
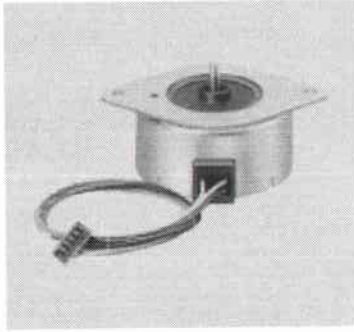


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

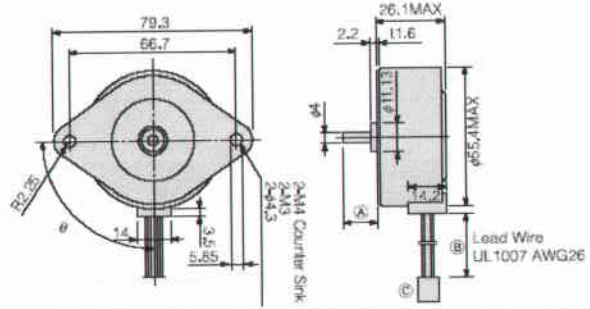
EK-4: 55SPM25 ADIM MOTORUNUN KATALOG VERİLERİ

Panasonic

Stepping Motor **PM TYPE**
55SPM25



■ Standard Dimensions(mm)



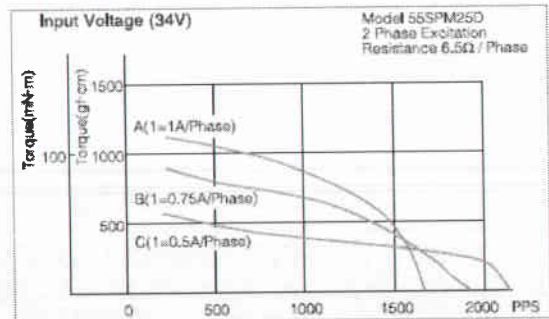
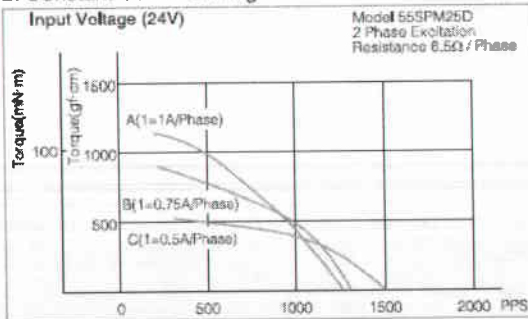
Shaft Length(mm)	Ⓐ	11	15	18
Lead Wire Length(mm)	Ⓑ	150±10	250±10	350±10
Connector	Ⓒ	Connector type available		

■ Typical Data

Model	Rated Input (W)	Resistance (Ω/Phase)		Step Angle (DEG)	Rotor Inertia		Weight (g)	Magnet Type
		Ω/Phase	mH		(g·cm ²)	(g·cm ²)		
55SPM25D5	4	6.5	6.3	7.5	Y	62	240	Blanked (Isotropic ferrite)
55SPM25D7		12	11		N	41		Y (Radial anisotropic ferrite)
55SPM25DA		36	32					N (Nd-Fe-B)
55SPM25DC		50	50					

■ Characteristics

B. Constant Current Driving



EK-5: PM55L-048 ADIM MOTORUNUN KATALOG VERİLERİ

► Application

OA Equipment: Printers/Scanners
 Industrial equipment: Flow control valves
 Toys: Siot machine
 Home automation appliances: Sewing machines

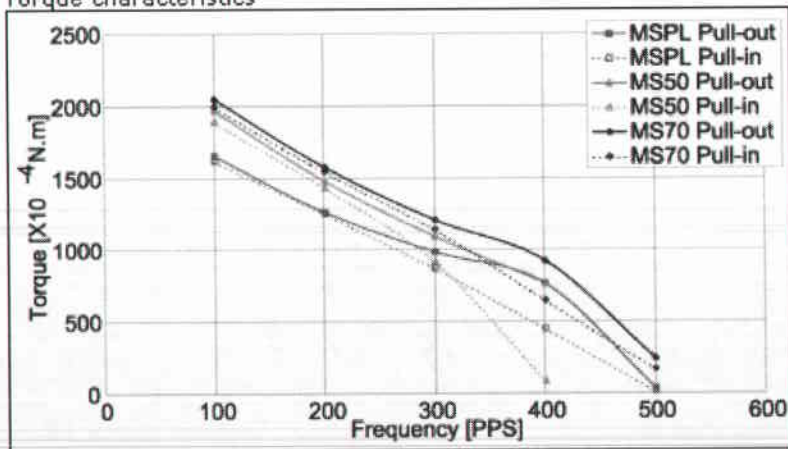


► Reference characteristics

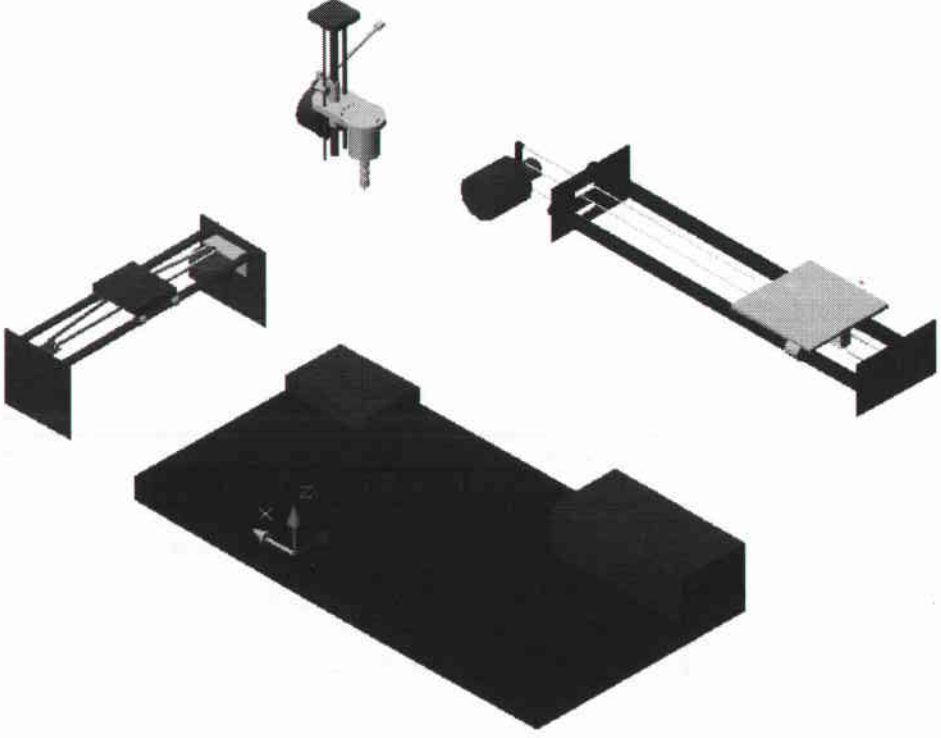
Motor Size	PM55L-048	
Number of Steps per Rotation	48(7.5 /Step)	
Drive Method	2-2 PHASE	
Drive Circuit	UNIPOLAR CONST. VOLT.	BIPOLAR CHOPPER.
Drive Voltage	24[V]	24[V]
Current/Phase		800[mA]
Coil Resistance/Phase	30[Ω]	5.5[Ω]
Drive IC	2SC3346	UDN2916B-V
Magnet Material	Ferrite plastic magnet (MSPL) Polar anisotropy ferrite sintered magnet(MS50) Nd-Fe-B bonded magnet(MS70)	
Insulation Resistance	100M[Ω] MIN	
Dielectric Strength	AC 500[V] 1[min]	
Class of Insulation	CLASS E	
Operating Temp.	-10[°C] ~ 50[°C]	
Storage Temp.	-30[°C] ~ 80[°C]	
Operating Hum.	20[%] RH ~ 90[%] RH	

► PM55L-048 UNI-CONST. VOLT(at 24[V],30[Ω])

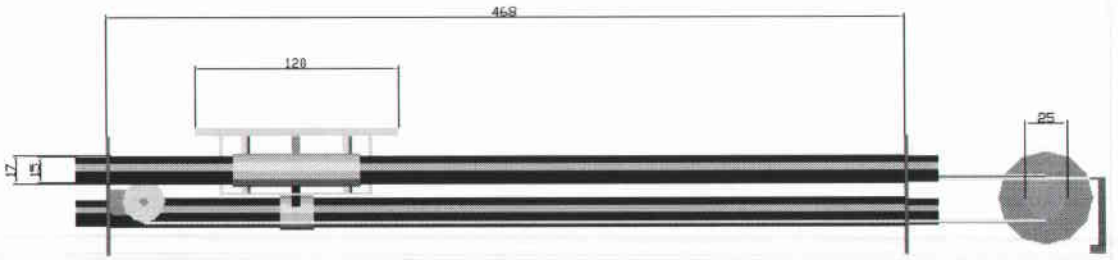
Torque characteristics



EK-6: HAZIRLANAN ELEKTRO-MEKANİK SİSTEMİN BİLEŞENLERİ

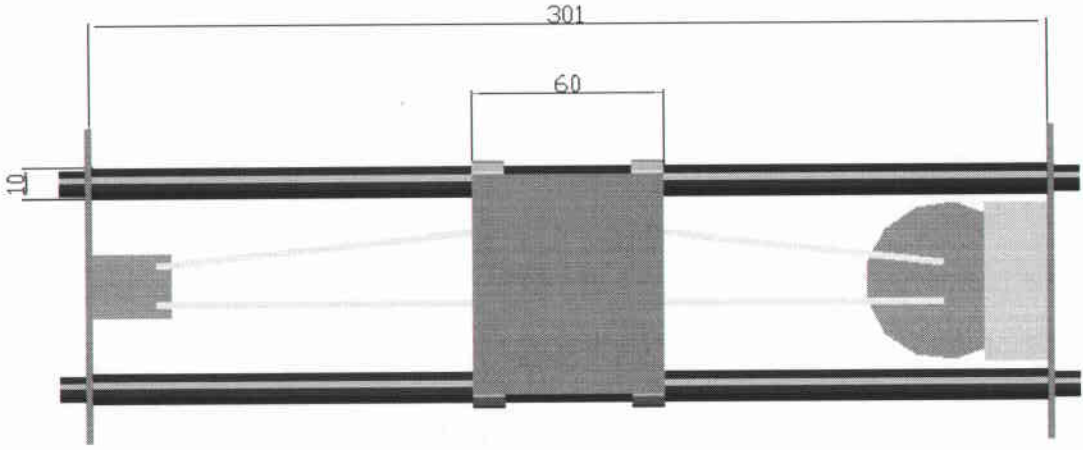


Şekil 1. Elektro-mekanik sistemin bileşenleri

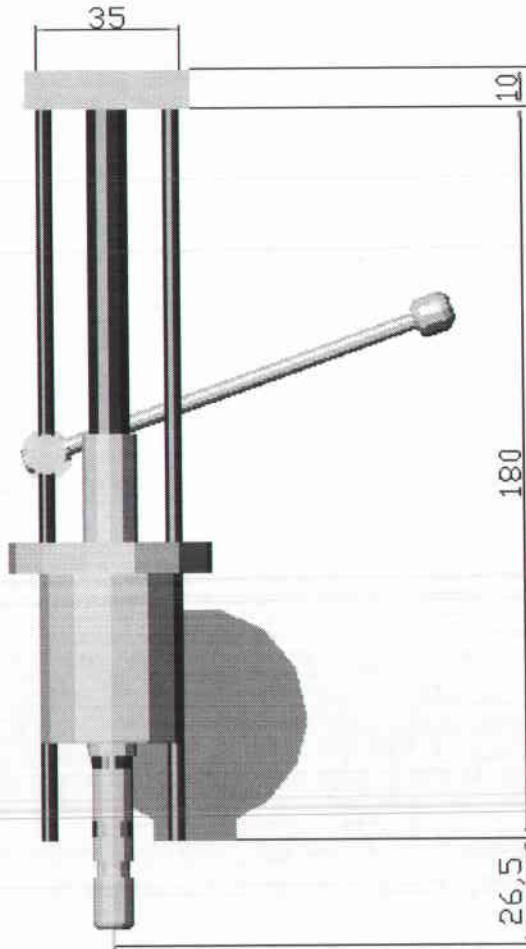


Şekil 2. X ekseni yandan görünüşü

EK-6'nın devamı



Şekil 3. Y eksenü üstten görünüşü



Şekil 4. Z eksenü önden görünüşü