

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CNC TEZGÂHI İLE KESİM VE DESEN  
ÇIKARMA UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektronik ve Haberleşme Müh. Semih ŞENOL**

**Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Sıtkı ÖZTÜRK**

**KOCAELİ, 2009**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

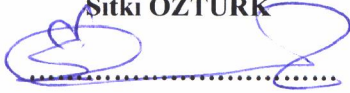
**CNC TEZGÂHI İLE KESİM VE DESEN  
ÇIKARMA UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

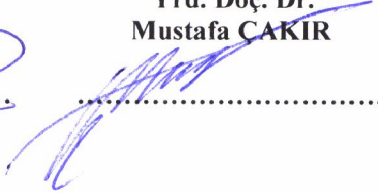
**Elektronik ve Haberleşme Müh. Semih ŞENOL**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 27 Mayıs 2009  
Tezin Savunulduğu Tarih: 13 Temmuz 2009**

**Tez Danışmanı  
Yrd. Doç. Dr.  
Sıtkı ÖZTÜRK**



**Üye  
Yrd. Doç. Dr.  
Mustafa ÇAKIR**



**Üye  
Yrd. Doç. Dr.  
İbrahim ÖZÇELİK**



**KOCAELİ, 2009**

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

CNC kelimesi, “Computer Numerical Control” ifadesinin baş harflerinden türetilmiştir. Adından da anlaşılacağı gibi bilgisayar destekli sayısal kontrol anlamına gelmektedir. Karmaşık kesim ve oyma gibi işlerin, bir CAD programı aracılığıyla bilgisayara hesaplatrılıp, kesim işini yapacak sistemi kontrol eden kontrol ünitesine gerekli adımların bir bir iletilmesi esasına dayanır.

Sayısal (nümerik) kontrol fikri, tarihteki birçok büyük gelişmede olduğu gibi savaş ortamında ortaya çıkmıştır. Bu fikir ilk kez II. Dünya Savaşı'nın sonlarında ABD hava kuvvetlerinin ihtiyacı olan karmaşık uçak parçalarının üretimi için ortaya atılmıştır. Çünkü bu tip karmaşık parçaların o günkü mevcut imalat tezgâhları ile seri ve hatasız şekilde üretilmesi mümkün olmamaktaydı. Sayısal kontrolün gerçekleştirilebilmesi için II. Dünya Savaşı sırasında Parsons Corporation ve MIT (Massachusetts Institute of Technology) şirketleri ortak çalışmalara başladı. 1952 yılında ilk olarak bir Cincinnati-Hydrotel freze tezgâhını nümerik kontrol ile donatarak bu alandaki ilk başarılı çalışmayı gerçekleştirdiler. Bu tarihten itibaren pek çok takım tezgâhı imalatçısı sayısal kontrollü tezgâh imalatına başlamıştır.[1]

Bu çalışmada sayısal kontrolü anlamak ve bu alanda bir uygulama yapmak amaç edinilmiştir. Bunun için servo ve adım motor kontrollü, üç eksenli iki boyutlu bir tezgâh üretilmiştir.

Öncelikle bu çalışmamda bana destek olan ve karşılaştığım problemleri aşmamda pratik çözümler üreten çok sevgili hocam Yrd. Doç. Dr. Sıtkı ÖZTÜRK'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. CNC tezgâhının mekanik aksamının teminini sağlayan İzmit-Körfez Küçük Sanayi Bölgesi'nden Form Makina A.Ş.'ye, yine kablo temini ve fikir alışverişi sağladığım İzmit-Körfez Küçük Sanayi Bölgesi Sanel Grup'tan Sayın Mehmet KAVAKLI'ya teşekkür ediyorum. CNC tezgâhının üzerinde mekanik olarak değişiklik yapmamda bana yardımcı olan Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden Sn. Abdülkadir YAYLA'ya ve son olarak çalışmanın bilgisayar ara yüzünün yazılmasında bana yardımcı olan Elektronik ve Haberleşme Mühendisi çok sevgili arkadaşım Kadir BAŞ'a da teşekkürlerimi sunuyorum.

## İÇİNDEKİLER

|  |      |
|--|------|
| ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....   | i    |
| İÇİNDEKİLER.....   | ii   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....   | iv   |
| TABLOLAR DİZİNİ.....   | vi   |
| KISALTMALAR DİZİNİ.....  | vii  |
| ÖZET.....  | viii |
| SUMMARY.....   | ix   |
| 1. GİRİŞ.....  | 1    |
| 2. CNC TEZGÂH TASARIMINDA KULLANILAN BİLEŞENLER.....                   | 3    |
| 2.1. Adım (Step) Motorlar.....   | 3    |
| 2.1.1. Adım Motor Çeşitleri.....                                       | 4    |
| 2.1.2. Adım Motorların Sürülmesi.....                                  | 10   |
| 2.1.3. Adım Motor Sürücü Sistemleri.....                               | 12   |
| 2.2. Servo Mekanizmalar ve Servo Motorlar.....                         | 14   |
| 2.2.1. Servo Mekanizmalar.....   | 14   |
| 2.2.2. Servo Motorlar.....   | 16   |
| 2.3. Seri Haberleşme.....  | 21   |
| 3. CNC TEZGÂH TASARIMI.....  | 26   |
| 3.1. Giriş.....  | 26   |
| 3.2. TLD13 AC Servo Motor Sürücüsü ve AC Servo Motorlar.....           | 27   |
| 3.3. Kontrol Devresinin Yapısı ve Tasarımı.....                        | 31   |
| 3.3.1. X ve Y Eksenlerinin Kontrolü.....                               | 32   |
| 3.3.2. Z Ekseninin Kontrolü.....                                       | 36   |
| 3.3.3. Çalışma Gerilimlerinin Üretilmesi.....                          | 37   |
| 3.3.4. Enkoder Sinyallerinin Okunması ve Eksen Sonlarının Tespiti..... | 38   |
| 3.3.5. Seri Arabirimin Tasarımı.....                                   | 39   |
| 3.3.6. Bilgisayar Ara Yüzünün Tasarımı.....                            | 41   |
| 3.4. Sistemin Çalışması.....   | 44   |
| 3.4.1. Bilgisayar Ara Yüzünün Çalışması.....                           | 44   |
| 3.4.2. Tezgâh Kontrol Ünitesinin Çalışması.....                        | 52   |
| 3.5. Teknik Bilgiler.....  | 55   |
| 4. SONUÇ ve ÖNERİLER.....  | 60   |
| KAYNAKLAR.....   | 64   |
| EK A. DAC0808LCN'nin Yapısı.....                                       | 66   |
| EK B. MAX232'nin Yapısı.....   | 67   |
| EK C. TLD13'ün Çıkışları ve MCU ile Bağlantısı.....                    | 68   |

|  |    |
|--|----|
| EK D. PIC16F877 için Baud Hata Oranları..... | 69 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                | 70 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil 1.1: Bir CNC tezgâhının genel yapısı .....                                       | 1  |
| Şekil 2.1: Tek kutuplu ve iki kutuplu bağlantı şekilleri .....                         | 4  |
| Şekil 2.2: Tek ve iki kutuplu adım motor .....   | 5  |
| Şekil 2.3: Sabit mıknatıslı adım motor .....   | 5  |
| Şekil 2.4: Dört kutuplu SM adım motor .....  | 6  |
| Şekil 2.5: Değişken relüktanslı motorun kesit görünüşü .....                           | 7  |
| Şekil 2.6: Karışık yapılı adım motorun yapısı.....                                     | 8  |
| Şekil 2.7: Karışık yapılı adım motordaki sargılar.....                                 | 9  |
| Şekil 2.8: Karışık yapılı adım motorun hareketine ilişkin diyagram.....                | 10 |
| Şekil 2.9: Tek faz uyarımda motorun dönüş yönü.....                                    | 11 |
| Şekil 2.10: İki faz uyarımda motorun dönüş yönü .....                                  | 11 |
| Şekil 2.11: Karma uyarımda motorun dönüş yönü.....                                     | 12 |
| Şekil 2.12: Tek kutuplu adım motor için sürücü sistem .....                            | 13 |
| Şekil 2.13: İki kutuplu adım motor için H köprüsü yapısı.....                          | 14 |
| Şekil 2.14: James Watt'ın buhar jeneratöründe kullandığı kontrol sistemi .....         | 15 |
| Şekil 2.15: Düşük güçlü bir DC servo motorun iç yapısı .....                           | 16 |
| Şekil 2.16: PID sisteminin blok diyagramı .....  | 17 |
| Şekil 2.17: PID kontrolde kullanılan terimler .....                                    | 18 |
| Şekil 2.18: DC servo motor mil açısı değişimi.....                                     | 19 |
| Şekil 2.19: 3 faz giriş, 3 faz çıkışlı tam dalga doğrultuculu VFD'nin genel yapısı ... | 19 |
| Şekil 2.20: VFD'nin yapısındaki doğrultucu ve filtre çıkışındaki sinyaller .....       | 20 |
| Şekil 2.21: Evirici çıkışlarının durumuna göre motorun hareket etmesi .....            | 20 |
| Şekil 2.22: VFD çıkışında oluşturulan sinüsoidal işaret.....                           | 21 |
| Şekil 2.23: RS485 ağ yapısı .....  | 23 |
| Şekil 2.24: ASCII J karakterinin RS232 veri hattından yollanması .....                 | 24 |
| Şekil 3.1: Tasarlanan sistemin tamamlanmış hali .....                                  | 26 |
| Şekil 3.2: TLD13'ün dış görünümü.....  | 27 |
| Şekil 3.3: TLD13'ün blok diyagramı.....  | 27 |
| Şekil 3.4: HIFA-C modülünün konnektör yapısı.....                                      | 29 |
| Şekil 3.5: ESIM1-C modülünün konnektör yapısı .....                                    | 30 |
| Şekil 3.6: ESIM1-C çıkışından alınan A/B sinyalleri.....                               | 31 |
| Şekil 3.7: Tasarlanan sistemin blok diyagramı.....                                     | 32 |
| Şekil 3.8: Servo kontrol gerilimi üretici.....   | 33 |
| Şekil 3.9: DAC çıkışındaki akımın gerilime dönüştürülmesi .....                        | 33 |
| Şekil 3.10: Tasarımda kullanılan farksal yükselteç yapısı.....                         | 35 |
| Şekil 3.11: Adım motor kontrol devresi.....  | 36 |
| Şekil 3.12: Besleme katı ve negatif gerilim üretici.....                               | 37 |
| Şekil 3.13: Transistörlü lojik seviye değiştirici.....                                 | 38 |
| Şekil 3.14: Enkoder sinyallerinin kontrol devresine aktarılması.....                   | 38 |
| Şekil 3.15: Eksen sonu tespit devresi.....   | 39 |
| Şekil 3.16: Seri arabirim devresi .....  | 40 |
| Şekil 3.17: PIC mikro denetleyicisinin diğer elamanlarla bağlantısı .....              | 41 |
| Şekil 3.18: Bilgisayar ara yüzüne ilişkin görüntüler.....                              | 42 |
| Şekil 3.19: Oyma işlemi için tarama yöntemi .....                                      | 43 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 3.20: Oyma işlemine ilişkin görüntüler.....                      | 43 |
| Şekil 3.21: READ ME dosyasının içeriği .....                           | 45 |
| Şekil 3.22: Drill ve Bottom Copper dosyalarının içerikleri.....        | 46 |
| Şekil 3.23: Outline dosyasının içeriği.....                            | 47 |
| Şekil 3.24: Tezgâh kontrol sisteminin blok diyagramı .....             | 52 |
| Şekil 3.25: Tezgâh kontrol sisteminin algoritması .....                | 54 |
| Şekil 3.26: CNC'ye bağlanan iş için referans noktaları.....            | 55 |
| Şekil 3.27: Standart seri ara birim .....                              | 56 |
| Şekil 3.28: Kontrol ünitesinin yerleşim planı ve baskı devresi.....    | 57 |
| Şekil 3.29: Adım motor sürücünün yerleşim planı ve baskı devresi ..... | 58 |

## TABLULAR DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Tablo 2.1: Tek faz uyarımda faz sıralaması .....                                     | 10 |
| Tablo 2.2: İki faz uyarımda faz sıralaması.....                                      | 11 |
| Tablo 2.3: Karma uyarımda faz sıralaması .....                                       | 12 |
| Tablo 2.4: PID bloklarının çıkış üzerindeki etkileri .....                           | 18 |
| Tablo 2.5: RS232’de iletim hızına göre önerilen maksimum haberleşme mesafesi ..      | 22 |
| Tablo 2.6: RS232’deki eşik seviyeleri .....  | 23 |
| Tablo 3.1: Ölçekleme sabitleri .....   | 49 |
| Tablo 3.2: Güç kablosunun yapısı .....   | 55 |
| Tablo 3.3: Sinyal kablosunun yapısı.....   | 56 |
| Tablo 3.4: Seri ara birim kablosunun yapısı .....                                    | 56 |
| Tablo 3.5: Tezgâh kontrol ünitesi ile adım motor sürücü arasındaki bağlantılar ..... | 58 |
| Tablo 3.6: Gerçekleştirilen sistemin maliyet analizi .....                           | 59 |



## **KISALTMALAR DİZİNİ**

|                |  |
|----------------|--|
| <b>ASCII</b>   | : American Standard Code for Information Interchange                 |
| <b>BPS</b>     | : Bits Per Second  |
| <b>CAD</b>     | : Computer-Aided Design  |
| <b>CNC</b>     | : Computer Numeric Control   |
| <b>COM</b>     | : Communication Port   |
| <b>DCE</b>     | : Data Circuit-Termination Equipment / Data Communications Equipment |
| <b>DPI</b>     | : Dot Per Inch   |
| <b>DTE</b>     | : Data Terminal Equipment  |
| <b>EIA</b>     | : Electronic Industries Association                                  |
| <b>HP</b>      | : Horse Power  |
| <b>IOM-C</b>   | : Input Output Module  |
| <b>KBPS</b>    | : Kilo Bits Per Second   |
| <b>MCU</b>     | : Machine Control Unit   |
| <b>NC</b>      | : Numeric Control  |
| <b>PCB</b>     | : Printed Circuit Board  |
| <b>PID</b>     | : Proportional Integral Derivative                                   |
| <b>PULSE-C</b> | : Pulse Direction Module   |
| <b>PX</b>      | : Pixel  |
| <b>PM</b>      | : Permanent Magnet   |
| <b>ROM</b>     | : Read Only Memory   |
| <b>RS-232</b>  | : Recommended Standard – 232   |
| <b>SMPS</b>    | : Switch Mode Power Supply   |
| <b>TLCT</b>    | : Twin Line Commissioning Tool                                       |
| <b>USB</b>     | : Universal Serial Bus   |
| <b>VFD</b>     | : Variable Frequency Drive   |

# CNC TEZGÂHI ile KESİM ve DESEN ÇIKARTMA UYGULAMASI

**Elektronik ve Haberleşme Mühendisi**  
**Semih ŞENOL**

**Anahtar sözcükler:** Nümerik kontrol, CNC, Oyma, Delme ve Kazıma Uygulamaları

**ÖZET:** Bu çalışmada, üretimin gerektirdiği çoğu yerde kullanılan modern CNC tezgâhlarına alternatif olarak daha küçük ölçekli, daha az maliyetli, üç eksenli ve iki boyutlu bir CNC tezgâhının yapımı amaçlanmıştır. X ve Y eksenleri servo, Z eksenini ise adım motor kontrollü olan CNC tezgâhi, oyma, kazıma ve delme işlemlerini yapabilmektedir.

Sistem, çeşitli baskı devre ve tasarım programlarından elde edilen delik, kazıma ve oyma dosyalarındaki koordinat verilerini bilgisayarda yazılmış bir ara yüzde işlemekte, yapılması gereken işlemleri kontrol ünitesine RS232 seri iletişim veri yolu üzerinden iletmektedir. Böylece delme, kazıma ve oyma işlemleri, üç eksenli ve iki boyutlu olarak yapılabilmektedir.

# **CUTTING and PATTERN EXTRACTION APPLICATION with CNC**

**Electronics and Telecommunications Engineer  
Semih ŞENOL**

**Keywords:** Numerical control, CNC, Engraving, drilling and scraping applications

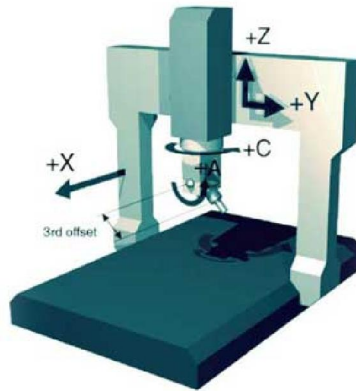
**SUMMARY:** Purpose of this project was, developing a three-axis CNC system which can work in two dimensions and three axis as an alternative to modern CNC devices, so that it would have a smaller scale and would be cheaper than modern equivalents.

The CNC machine has servo motor controlled X and Y axis and adım motor controlled Z axis that could perform engraving, scraping and drilling processes.

The CNC system has two main processes. In first process, by using a its own PC interface, the system examines and parses the coordinate data in engraving, scraping and drilling files which are made from any of assorted electronic design programs and sends the control data to control unit of CNC machine over COM Port. In the second process, CNC machine performs engraving, scraping and drilling processes using this control data.

## 1. GİRİŞ

Sayısal (nümerik) kontrol fikri II. Dünya Savaşı'nın sonlarında ABD hava kuvvetlerinin ihtiyacı olan karmaşık uçak parçalarının üretimi için ortaya atılmıştır. Çünkü bu tür parçaların o günkü mevcut imalat tezgâhları ile üretilmesi mümkün değildi. Bunun gerçekleştirilmesi için Parsons Corporation ve MIT (Massachusetts Institute of Technology) ortak çalışmalara başladı. 1952 yılında ilk olarak bir Cincinnati-Hydrotel freze tezgâhını sayısal kontrol ile donatarak bu alandaki ilk başarılı çalışmayı gerçekleştirdiler. Bu tarihten itibaren pek çok takım tezgâhı imalatçısı sayısal kontrollü tezgâh imalatına başladı. Önceleri NC (Numerical Control) takım tezgâhlarında vakumlu tüpler, röleler, karışık kontrol ara yüzleri kullanılıyordu. Ancak bunların sık sık tamirleri hatta yenilenmeleri gerekiyordu. Daha sonraları NC takım tezgâhlarında daha kullanışlı olan minyatür elektronik tüp ve yekpare devreler kullanılmaya başlandı. Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler sayısal kontrollü sistemleri de etkilemiştir. Günümüzde artık NC tezgâhlarda daha ileri düzeyde geliştirilmiş olan entegre devre elemanları, ucuz ve güvenilir olan donanımlar kullanılmaktadır. ROM teknolojisinin kullanılmaya başlanmasıyla da programların hafızada saklanması mümkün olmuştur. Sonuç olarak bu sistemli gelişmeler CNC'nin (Computer Numerical Control) doğmasına öncülük etmiştir. CNC daha sonraları torna, matkap vb. takım tezgâhlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.[1] Şekil 1.1'de beş eksenli bir CNC tezgâhının genel yapısı verilmiştir.



Şekil 1.1: Bir CNC tezgâhının genel yapısı

Bu çalışmada CNC tezgâhlarının kontrolünün anlaşılması esas alınmış, bunun pekiştirilmesi için de üç eksenli ve iki boyutlu bir CNC tezgâhı tasarlanmış ve üretilmiştir. CNC tezgâhları temelde yazılım ve donanım olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar karmaşık işlemleri yapacak güce sahip bilgisayar programları ve bu programların isteklerini yerine getiren elektronik kontrol sistemleridir.

Tasarlanan sistemin özelliklerine göre bilgisayar ara yüzünü oluşturan program kısmının yazılması ve geliştirilmesi için programcının hayal gücü ve üretkenliğinden başka bir sınır kalmamaktadır. Çünkü bu kısımda programcının becerilerine göre şekillenen kodlar ve ek özellikler bulunmaktadır. Bunlar tezgâhın işleyeceği parçanın iki ve üç boyutlu ön izleme görüntüleri, işlem sırasında bu görüntülerin güncellenmesiyle kullanıcıya bilgi vermek ve koordinat bilgilerini içeren dosyalar hakkındaki bilgiler gibi görsel öğelerin yanı sıra kontrol devresi ile iletişim kuran ara yüz ve arka planda çalışan program parçacıkları gibi gözle görülemeyecek bileşenlerdir. Burada programcının programlama bilgisinin derinliği, ortaya çıkacak programın belki sadece kişisel kullanıma yetecek seviyede olmasına, belki de piyasaya sürülecek kadar ciddi bir CNC kontrol programı olmasına neden olacaktır.

Bu çalışmada meydana getirilen bilgisayar ara yüz programı çok profesyonel bir yazılım olmamasına rağmen dosyaları açabilmekte, bu dosyalar hakkında temel bilgileri verebilmekte, oluşacak iş hakkında iki boyutlu ön izleme yapabilmekte ve iş yürütülürken oluşan şeklin bilgisini kullanıcıya verebilmektedir.

Gerçekleştirilen kontrol devresi, servo sürücüler için  $\pm 10V$  arasında servo kontrol gerilimi üretebilmekte, eksen sonları tespit edilebilmektedir. Bunun yanında X ve Y eksenleri için konum bilgisi enkoderler üzerinden alınan darbe sinyalleri ile tespit edebilmekte, adım motor sürücü devresi ile iletişim kurularak Z eksenini kontrol edebilmekte ve RS232 ara birimi üzerinden bilgisayar ile iletişim kurulabilmektedir.

## 2. CNC TEZGÂH TASARIMINDA KULLANILAN BİLEŞENLER

### 2.1. Adım (Step) Motorlar

Açısal konumu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen motorlara adım motorları denir. Adından da anlaşılacağı gibi adım motorları belirli adımlarla hareket ederler. Bu adımlar, motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir. Herhangi bir uyarımda, motorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Adım açısı motorun yapısına bağlı olarak  $90^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $7,5^\circ$ ,  $1,8^\circ$  veya daha değişik açılarda olabilir. Motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı kontrol edilebilir. Adım motorlarının dönüş yönü uygulanan sinyallerin sırası değiştirilerek saat ibresi yönü (CW) veya saat ibresinin tersi yönünde (CCW) olabilir.

Adım motorların en belirgin özelliği, girişine uygulanan uyarma darbelerinin, “adım” olarak tam tanımlanmış rotor konumlarına dönüştürmesidir. Rotorun hassas konumlama yapması, hareketli ve sabit parçalar üzerindeki demir dişlerin manyetik olarak karşılıklı gelmesi, dizilmesi ile mümkündür. Adım motorlarının hangi yöne doğru döneceği, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerler mikroişlemci veya bilgisayar yardımı ile kontrol edilebilir. Sonuç olarak adım motorlarının hızı, dönüş yönü ve konumu, taşıdıkları yükten gelen bir engelleme olmadığı durumlarda her zaman bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı adım motorları çok hassas konum kontrolü istenen yerlerde çokça kullanılırlar.

Adım motorlar için ilk günlerden bu yana birçok değişik tasarım yapılmıştır. Bu motorların kayda değer bir moment üretebilmeleri için hem rotor hem de statorları önemli miktarda manyetik akı taşıyabilecek yapıda olmalıdır. Bu nedenle de olabildiğince çok sayıda demir diş ile çevrili olmaları gerekmektedir. Günümüzde hem bu özelliği taşıyıp, hem de ticari bakımdan kullanılabilir nitelikteki adım motorların başında, değişken relüktanslı, sabit mıknatıslı ve hibrid adım motorları gelir. Temelde bunlar aynı türden motorlardır, ama farklı yapım yöntemlerinden kaynaklanan farklı karakteristikleri belli bir uygulama için adım motor seçilirken

önem kazanır. Diğer tür adım motorlar, bu üç tip adım motorun değişik tipleri olarak tanımlanabilirler.

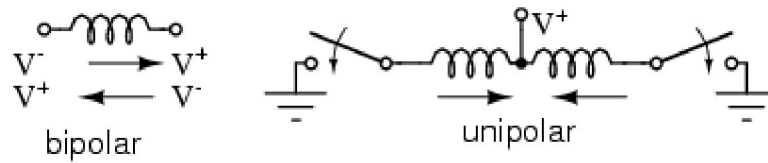
### 2.1.1. Adım Motor Çeşitleri

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

#### Bipolar ve Unipolar Kavramları

Bir bobinin oluşturmuş olduğu manyetik akının yönü, bobinin sarım yönüne dolayısı ile bobinin içinden geçen akımın yönüne bağlıdır. Motor gibi elektromanyetik prensiple çalışan makinelerde, şiddeti ve yönü değişen manyetik alanlara ihtiyaç duyulur.

Manyetik akının yönü bobinden geçen akımın yönü ile değiştirilebilir. Ancak bazı uygulamalarda akım yönünü değiştirmek yerine bobinin sargı yönünün değiştirilmesi istenir. Tabii ki bu işlem sargıyı söküp ters yönde sarmayı gerektirir. Ancak birbirine göre ters sarılmış iki sargı kullanılırsa, manyetik akının yönü içinden akım geçen sargının sarım yönüne bağlı olacaktır. Şekil 2.1’de bipolar (iki kutuplu) ve unipolar (tek kutuplu) bağlantı şekilleri verilmiştir.

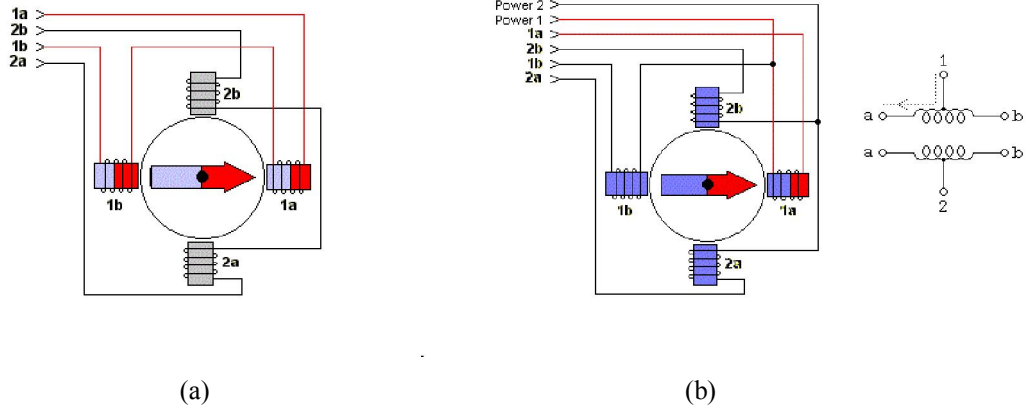


Şekil 2.1: Tek kutuplu ve iki kutuplu bağlantı şekilleri

İki motor tipinin birbirine göre avantajlarına bakacak olursak, iki kutuplu motorlar akım yönünün değişmesi ihtiyacından dolayı daha karmaşık sürücü devreleri ister. Tek kutuplu motorlarda ise sürücü devresi daha basittir.

Aynı boyutlardaki iki kutuplu ve tek kutuplu motordan, tek kutuplu olanında aynı sargı alanına iki bobin yerleştirildiğinden tel çapı küçük seçilmek zorundadır.

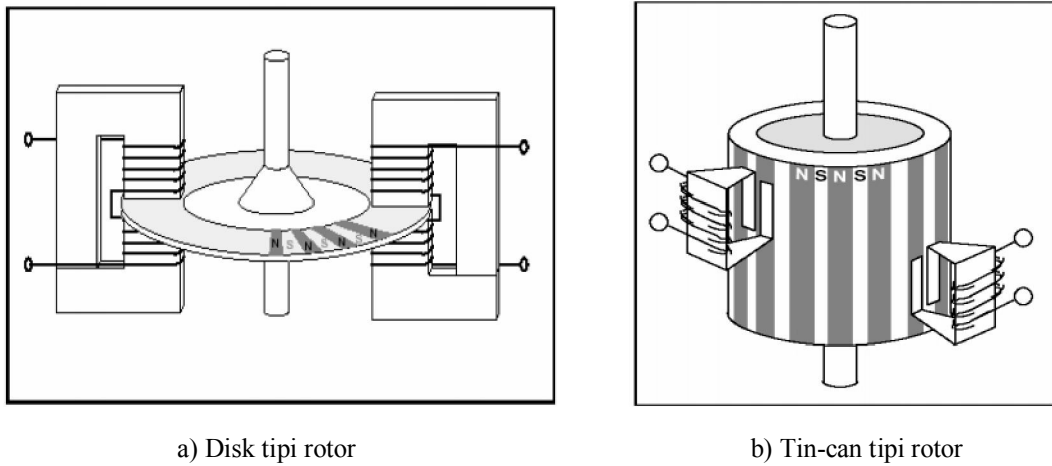
Hâlbuki iki kutuplu motora daha kalın telden sargı koyulabilir. Kalın sargı daha çok akım, dolayısı ile daha çok tork demektir. Şekil 2.2’de tek kutuplu ve iki kutuplu adım motorlara ilişkin bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Tek ve iki kutuplu adım motor

### 2.1.1.1. Sabit Miknatıslı (SM) Adım Motorları

Sabit miknatıslı adım motorlardaki rotor, sabit miknatıstan (PM) oluşur. Bu tip motorların rotorlarında diş bulunmaz. Şekil 2.3’den de görülebileceği gibi iki farklı rotor yapısı olabilir. Stator yapıları, değişken relüktanslı adım motorların stator yapılarıyla aynıdır.



a) Disk tipi rotor

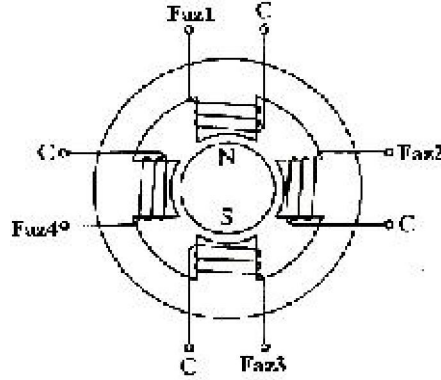
b) Tin-can tipi rotor

Şekil 2.3: Sabit miknatıslı adım motor

Dört kutuplu bir SM adım motoru Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Silindirik sabit miknatıs, rotor gibi çalışır. Etrafında ise her biri üzerine sargılar sarılı olan dört adet



kutbun bulunduğu stator vardır. İki kutuplu sabit mıknatıslı rotor, oyuklu dört kutuplu stator içinde döner.



Şekil 2.4: Dört kutuplu SM adım motor

Burada C ile adlandırılan terminal, ortak uçtur. Bu motorda, rotorun iki kutuplu olmasından dolayı adım açısının  $90^\circ$  olduğu açıkça görülmektedir. Eğer bu motor yarım adım sürülürse adım açısı  $45^\circ$  olacaktır.

Küçük boyutlu sabit mıknatıslı rotorda, çok sayıda kutup oluşturmak zor olduğundan bu tip motorlarda adım genişliği genellikle  $30-90^\circ$  arasındadır. Bu tür motorların momentleri diğerlerine göre oldukça düşüktür.

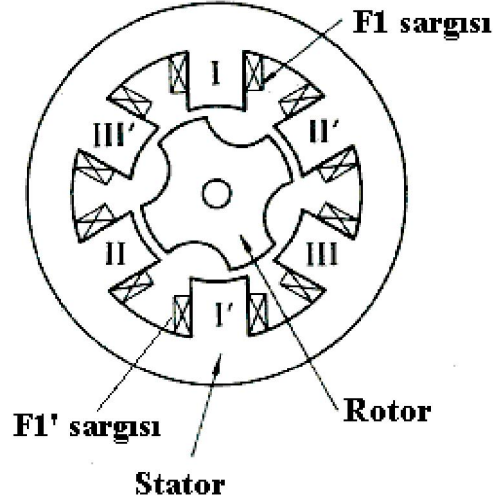
SM adım motorunda adım açısını azaltmak için, manyetik kutup sayısı ile birlikte stator kutup sayısı da artırılmalıdır. Fakat her ikisinin de bir sınırı vardır. Buna alternatif olarak küçük adım açılara sahip karışık (hybrid) yapıdaki SM adım motorları kullanılmaktadır.

### 2.1.1.2. Değişken Relüktanslı (DR) Adım Motoru

Değişken relüktanslı adım motorlar, sabit mıknatıslı adım motorlar gibi bir kaç kutbu olan statora sahiptirler. Bu motorları sabit mıknatıslı adım motorlardan ayıran en önemli fark rotorlarında sabit mıknatıslın olmamasıdır. Ayrıca rotorları da dişli yapıdadır.

Bu motorun temel prensiplerinin daha iyi anlaşılabilmesi için kesit görünüşü Şekil 2.5'te verilmiştir. Şekildeki üç fazlı motorun altı adet stator kutbu vardır. Rotor dört

adet kutba sahiptir. Stator ve rotor nüveleri genellikle ince tabakalı silisli çelikten yapılırlar. Böylece düşük manyeto motor kuvveti uygulansa bile, stator ve rotor malzemeleri yüksek geçirgenlikli olduğundan, içlerinden yüksek manyetik akı geçebilecektir.



Şekil 2.5: Değişken relüktanslı motorun kesit görünüşü

Şekil 2.5'deki motor yapısına göre söylenirse, bir faz uyarıldığında asıl askıyı sadece iki rotor dişi taşır. Bu arada diğer rotor diş çifti ise uyarılmamış stator dişlerinin tam ortasındadır. Eğer uyarılan fazlarda değişiklik yapılırsa, yeni uyarılan stator fazıyla karşı karşıya gelecek olan rotor dişleri bu dişler olacaktır.

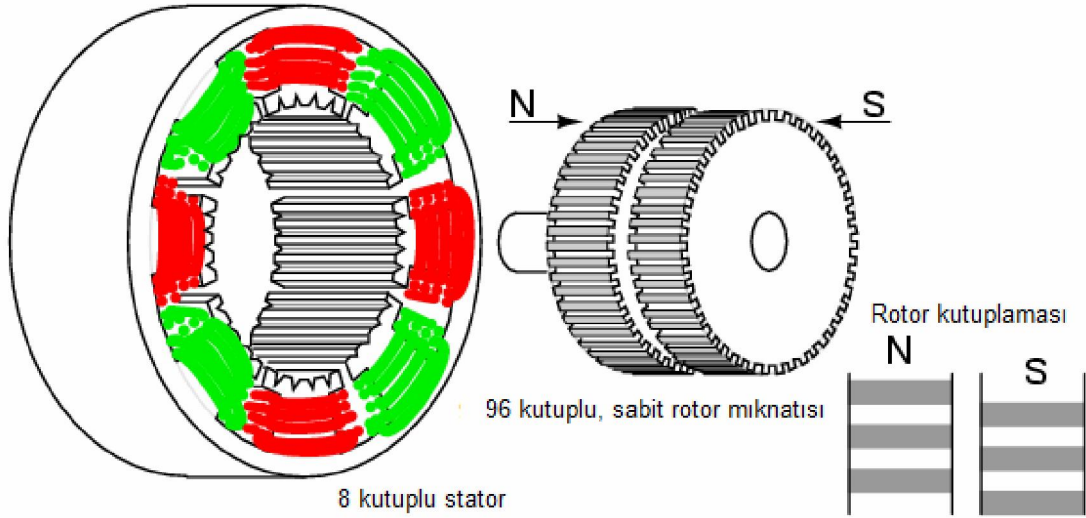
Değişken relüktanslı adım motorun stator ve rotor dişleri arasındaki hava aralığı, küçük çaplı rotordan mümkün olduğunca büyük tork ve konumlamada yüksek doğruluk elde edebilmek için mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır. Hava aralığı diğerinden biraz daha büyük olan iki adım motora aynı değerde manyetik kuvvet uygulandığında, küçük hava aralığı, yüksek tork üreten manyetik akıyı verecektir. Ayrıca rotora dışardan bir kuvvet uygulandığında küçük aralığın denge pozisyonundan uzaklaşmasının da az olacağı da açıktır. Modern motorlarda bu hava aralığı 30 ila 100µm arasındadır.

Bu tip motorlarda rotor, manyetize olmamalı hafif ve küçük boyutlu yapılmalıdır. Rotor ölçülerinin küçük yapılması eylemsizlik momentinin de küçük olmasını sağlar. Böylece uygulanan gerilimin meydana getireceği moment sebebiyle rotor çok çabuk

hareketlenir. Değişken relüktanslı adım motorların başlama, durma ve adımları, sabit mıknatıslı adım motorlardan daha hızlıdır.

### 2.1.1.3. Karışık Yapılı (Hybrid) Adım Motoru

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

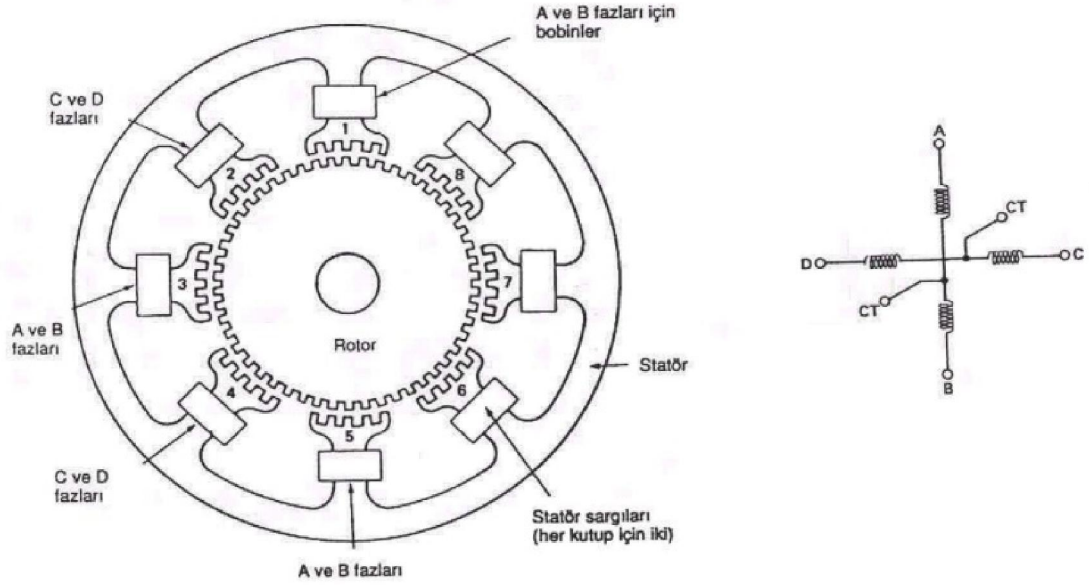


Şekil 2.6: Karışık yapılı adım motorun yapısı

Karışık yapılı adım motorlarında tipik olarak sekiz stator kutbu bulunur. Her kutupta bulunan diş sayısı iki ila altı arasındadır. Rotorun istenen konuma gelmesini sağlamak üzere mıknatıs akısının ilgili kutuplar üzerinden akışını desteklemek veya engellemek amacıyla stator kutuplarına da sargılar ilave edilmiştir.

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

Karışık yapılı adım motorlarında iki farklı sargı kullanılır. Her bir sargı, sekiz stator kutbundan dördünü dolaşır. A ve B sargıları 1, 3, 5 ve 7 kutupları üzerinde ise, C ve D sargıları 3, 4, 6 ve 8 kutuplarındadır. Her faza ait yakın kutuplar birbirleriyle zıt yönde sarılmışlardır. Şekil 2.7’de bu durum gösterilmiştir.

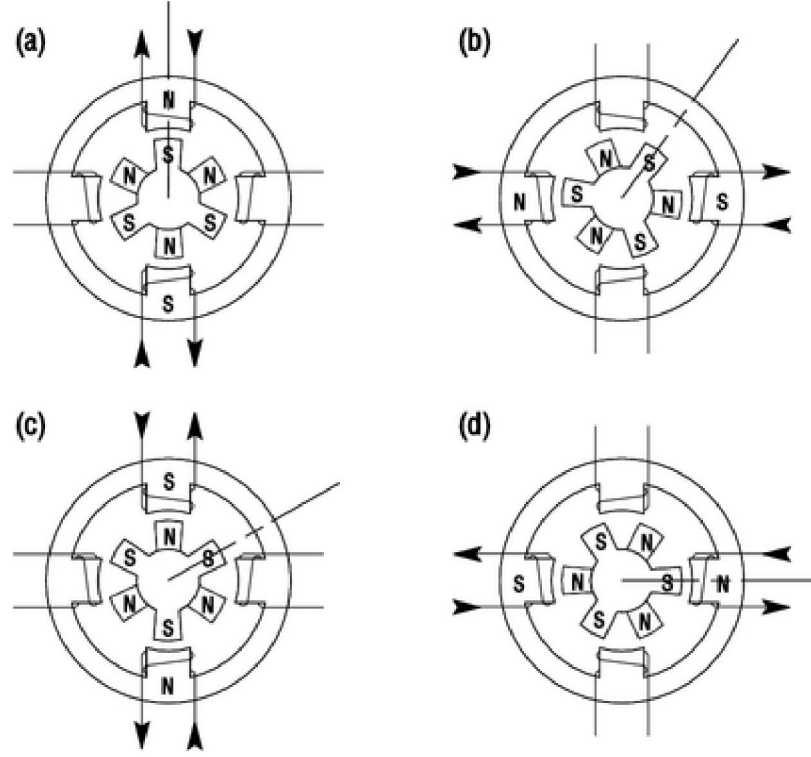


Şekil 2.7: Karışık yapılı adım motordaki sargılar

Öncekilerde olduğu gibi, karışık yapılı adım motorun rotoru da, stator tahrik akımlarının uygun bir şekilde sıralanmasıyla adım adım hareket ettirilir.

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

Bu tip motorların rotoru sabit mıknatıslı olduğundan, her zaman için bir tutma veya kalıntı torku vardır. Motor düşük hızla ivmelendiği takdirde saniyede 30.000 adıma kadar hızlarda çalışabilir. Tüm adım motorları içinde karışık yapılı tip, her türlü doğrusal ve açısal konumlama sisteminde en yaygın kullanılan tiptir. Şekil 2.8’de karışık yapılı adım motorun hareketine ilişkin bir diyagram verilmiştir.



Şekil 2.8: Karışık yapılı adım motorun hareketine ilişkin diyagram

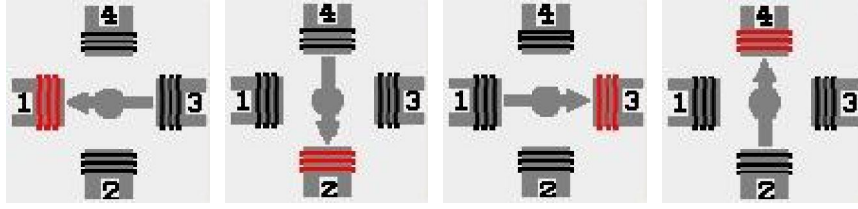
## 2.1.2. Adım Motorların Sürülmesi

### 2.1.2.1. Tek Faz Uyarım

Her defasında motor sargılarının sadece birinin uyarıldığı uyarım cinsine tek faz uyarımı adı verilir. Tablo 2.1’de dört fazlı adım motoru için tek faz uyarım sırasındaki durum verilmiştir. Bu uyarım metodunda rotor her bir uyarım sinyali için tam adımlık bir hareket yapmaktadır. Uyarım dönüş yönüne bağlı olarak sıra ile yapılır. Şekil 2.9’da tek faz uyarım altında motorun dönüş yönü gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Tek faz uyarımda faz sıralaması

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



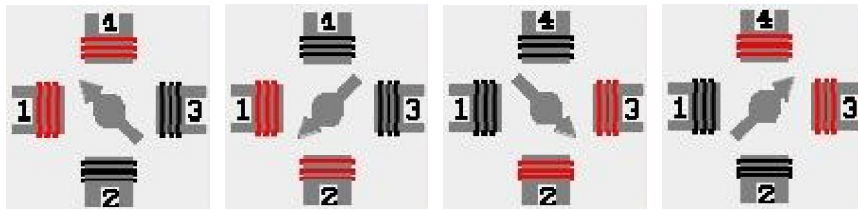
Şekil 2.9: Tek faz uyarımda motorun dönüş yönü

### 2.1.2.2. İki Faz Uyarım

Motor sargılarının ikisinin sıra ile aynı anda uyarıldığı uyarım cinsine iki faz uyarımı adı verilir. Tablo 2.2’de dört fazlı adım motoru için iki faz uyarım sırasındaki durum verilmiştir. İki faz uyarımda rotorun geçici durum tepkisi tek faz uyarıma göre daha hızlıdır. Fakat burada güç kaynağından çekilen güç iki katına çıkmaktadır. Şekil 2.10’da iki faz uyarım altında motorun dönüş yönü gösterilmiştir.

Tablo 2.2: İki faz uyarımda faz sıralaması

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



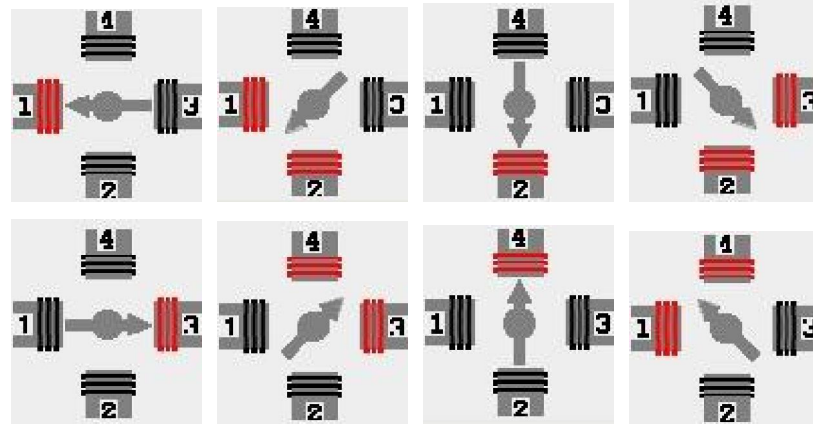
Şekil 2.10: İki faz uyarımda motorun dönüş yönü

### 2.1.2.3. Karma Uyarım

Bu uyarım yönteminde tek faz uyarımı ile iki faz uyarımı ardı ardına uygulanır. Burada rotor her bir uyarım sinyali için yarım adımlık bir hareket yapmaktadır. Tablo 2.3’te fazların uyarım sırası görülmektedir. Bu uyarım metodunda adım açısı yarıya düştüğünden adım sayısı iki katına çıkmaktadır. Şekil 2.11’de karma uyarım altında motorun dönüş yönü gösterilmiştir.

Tablo 2.3: Karma uyartımda faz sıralaması

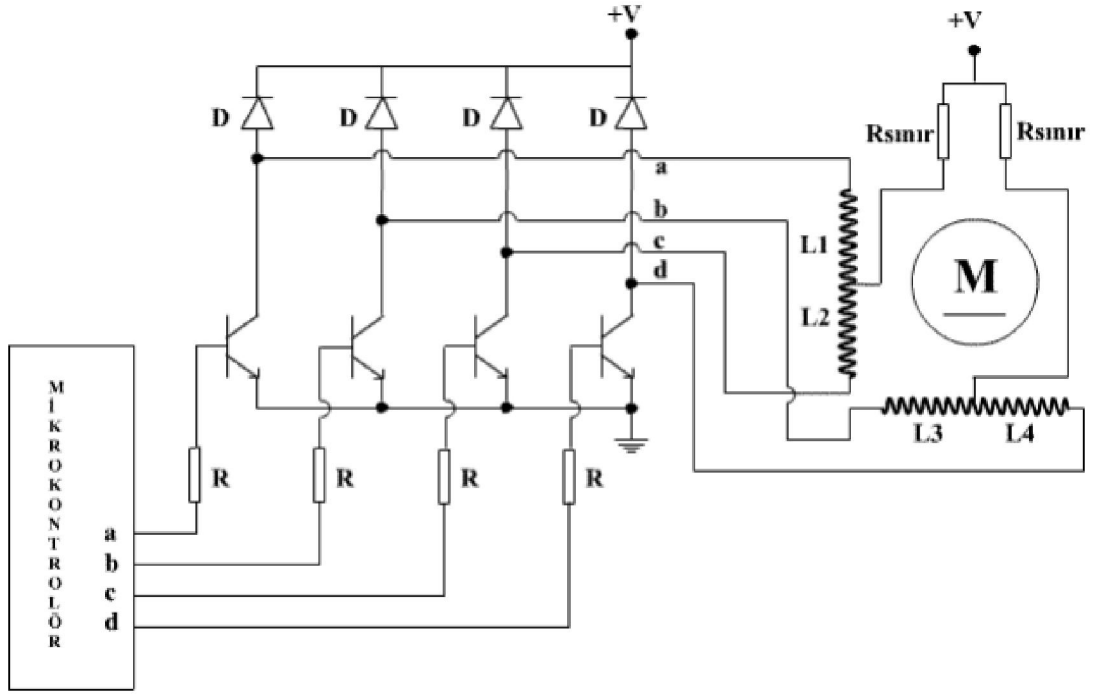
| Adım  | R | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Faz 1 | x | x |   |   |   |   |   | x | x |
| Faz 2 |   | x | x | x |   |   |   |   |   |
| Faz 3 |   |   |   | x | x | x |   |   |   |
| Faz 4 |   |   |   |   |   | x | x | x |   |



Şekil 2.11: Karma uyartımda motorun dönüş yönü

### 2.1.3. Adım Motor Sürücü Sistemleri

Adım motor sürücü sistemlerinde temel mantık motorun fazlarını dönüş yönü ve hızına göre uygun sırada ve frekansta uyarmaktır. Şekil 2.12’de tek kutuplu adım motor için, mikro denetleyici ve NPN transistörlerle oluşturulmuş bir sürücü sistemi gözükmektedir. Burada fazları kontrol eden transistörler anahtarlama elemanı olarak kullanılmıştır. Motor fazlarının birer ucu besleme geriliminde iken mikro denetleyici tarafından anahtarlanan transistörler, fazların diğer uçlarını sırasıyla toprak ucuna çekmektedir. Böylece fazlar uyarılmakta ve motor hareket ettirilmektedir. Devredeki diyotlar fazların uyarılması sırasında oluşacak ters EMK gerilimini yok etmek için kullanılmıştır. Motor özellikle yüksek hızlarda dönerken bu diyotların önemi daha da artar. Bu noktada hızlı açıp kapatan schottky diyotlar tercih edilmelidir. Eğer gerekli görülürse  $R_{sınır}$  dirençleri üzerinden gerilim örneği alınarak motor fazlarının fazla akım çekip çekmediğinin kontrolü yapılabilir. Özellikle yük altında bir nedenden dolayı hareketi duran motorları korumak için bu geri bildirim gerekli olacaktır.



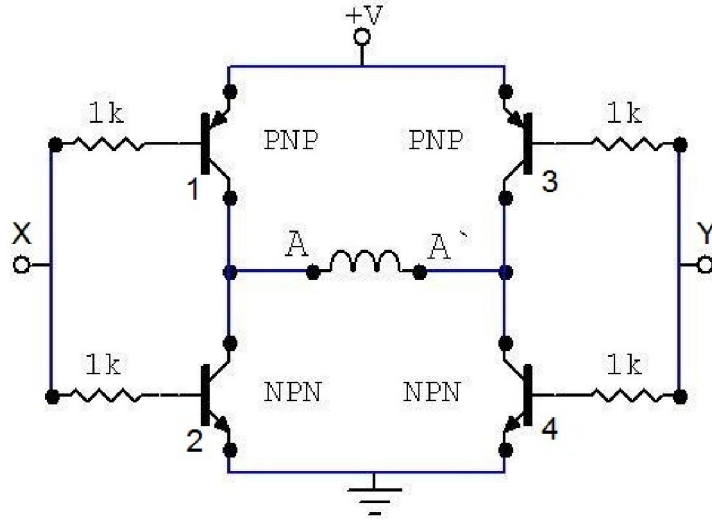
Şekil 2.12: Tek kutuplu adım motor için sürücü sistem

Şekil 2.12'deki sistemde, zaman zaman mikro denetleyici yerine lojik kontrol birimleri, NPN transistörler yerine sürücü entegreler gelse de sürme mantığı temelde bu şekilde işlemektedir. Fazların uyartım frekansı ile motorun hızı, fazların uyartım sırası ile de motorun dönüş yönü kontrol edilmektedir.

Adım motorlarda adım sayısı ve alınan yol ilişkisi oldukça kolay kurulabileceği gibi bazı durumlarda konum bilgisi için geri besleme alınması gerekebilir. Bu durumda sürücü sistemi değişiklikler gösterecektir. Şekil 2.12'deki sistem açık çevrim (geri beslemesiz) bir kontrol sistemidir.

İki kutuplu adım motorlar için de mikro denetleyicinin faz uyartım mantığı aynı olmakla beraber fazların polaritesinin değiştirilebilmesi için H Köprüsü (H-Bridge) denilen bir yapıya ihtiyaç duyulur. Bu yapı sayesinde aynı faza ait sargının bir uyartımda başka diğer uyartımda başka polaritede olması sağlanır. Şekil 2.13'de iki kutuplu adım motorun tek sargısı için H köprüsü yapısı gösterilmiştir.





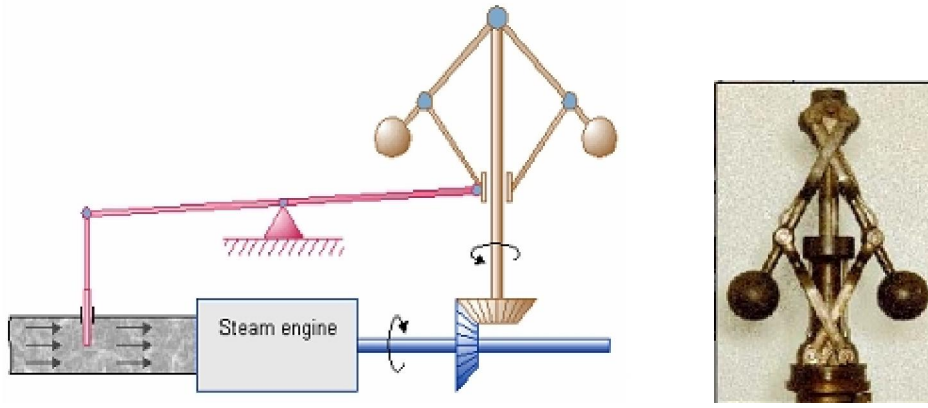
Şekil 2.13: İki kutuplu adım motor için H köprüsü yapısı

X ucundan lojik 0 ve Y ucundan lojik 1 verildiğinde, 1 ve 4 numaralı transistörler ilettime geçecek ve motor sargısında A'dan A<sup>l</sup>'ye doğru bir akım akacaktır. Tersii durumda yani X ucundan lojik 1 ve Y ucundan lojik 0 verildiğinde, 2 ve 3 numaralı transistörler ilettime geçecek ve motor sargısında A<sup>l</sup>'den A'ya doğru bir akım akacaktır. Böylece aynı sargının üzerinden geçen akımın yönü, dolayısıyla polarite değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan L298 entegresi, H köprüsü içeren, iki kutuplu, 4 fazlı adım motor sürücü entegresidir.

## 2.2. Servo Mekanizmalar ve Servo Motorlar

### 2.2.1. Servo Mekanizmalar

1788 yılında, James Watt buhar makinesinin hızının, ayarlanan değerde kalabilmesi için bir mekanizma geliştirdi. Dönen bir ağırlık merkezkaç kuvvetin etkisi ile büyük hızlarda açılıp küçük hızlarda kapanmaktaydı. Watt, ağırlığın bu hareketini, hızın yükseldiği zamanlar buhar girişini kapayıp hızın düştüğü anlarda açmak için kullandı. Bu düzeneğin basitleştirilmiş hâli Şekil 2.14'de gösterilmiştir.



Şekil 2.14: James Watt'ın buhar jeneratöründe kullandığı kontrol sistemi

Çıkış bilgisini kullanarak gereken ayarları yapmak, otomatik kontrolün esasıdır. Bu tür sistemlere kapalı çevrim (closed-loop) servo mekanizma ya da geri beslemeli sistem adı verilir. Günümüzde Watt'ın 1788'de yaptığı mekanik kontrol sisteminin yerine artık pnömatik, hidrolik ve mekanik sistemlerde dijital teknolojinin gelişimi ile birlikte elektronik kontrol mekanizmaları yoğun olarak kullanılmaktadır.

Bu tanımlamalar ışığında şunlar söylenebilir: Servo, bir sistemin adıdır ve mekanik olmak zorunda değildir. Örneğin elektronikte ses yükselteçlerinde, voltaj düzenleyicilerinde (regülatör) kullanılan geri beslemeli devreler de bir servo sistemdir. Buhar makinelerinde devir sabitlemek için kullanılan Watt'ın merkezkaç esaslı mekanik buhar vanası da bir servo sistemdir. Sonuç olarak, bir işi kendi başına ve yüksek doğrulukla yapan tüm elektronik veya mekanik nesnelere birer "servo"dur.

Servo kendisinden beklenen işe göre tasarlanır. Dolayısıyla kesin bir tanımı yoktur. Ama işleyişinin tanımı kesindir. Sistem iş yapar, yaptığı işi kontrol eder, istendiği gibi değilse istenen sonuca ulaşana kadar yeniden yapar. Bu kontrol et, yeniden yap sistemine geri besleme denir. Sistemin tanımı kapalı döngü olarak yapılır. Çünkü sistem sürekli aynı şeyi yaptığı bir döngü içindedir. Örneğin, teyp kafası için servo sistemi tanımlamaya çalışalım. Teyp yapısında teyp kafasına bağlı ve onunla birlikte dönen bir kod diski vardır. Bu disk delikli veya çizgilerle işaretlenmiş basit bir plaka ya da bir veya daha fazla mıknatıstan oluşmuş olabilir. Delikli veya çizgili disk için optik, mıknatıs için manyetik tipte bir algılayıcı kullanılır. Bu algılayıcı, kafa döndükçe bir sinyal üretir. Kontrol devresi ise sabit aralıklı bir sinyal üretir ve

algılayıcıdan gelen bu sinyalle karşılaştırır. Gelen sinyal, üretilen sinyalden önce geliyorsa teyp kafa motoru yavaşlatılır, sonra geliyorsa hızlandırılır. Sonuç olarak teyp kafası sabit devirde döndürülmüş olur. Böylece teyp kafasının hızı, kontrol devresinin ürettiği sinyal ile kesin olarak kontrol edilebilir.

### 2.2.2. Servo Motorlar

Servo mekanizmalarda da bahsedildiği üzere aslında servo motor diye bir şey yoktur. Servo mekanizma tarafından kontrol edilen motor sistemlerine servo motor denilmektedir. Servo ise “Servant” yani “hizmet eden” kelimesinden türetilmiştir. DC servo motorlar aslında DC motor, AC servo motorlar ise aslında birer AC motordur. Bu motorlara servo denilmesinin nedeni motorların, kendilerini kontrol eden bir başka sistemi de yapılarında barındırmalarıdır.

#### 2.2.2.1. DC Servo Motorlar

DC servo motorlar, genel olarak DC motorlar sınıfında ele alınır. Dolayısıyla DC servo motorların çalışması için DC gerilime ihtiyaç duyulur. Bu motorlar, 0,005 beygir (HP) gibi çok küçük güçlerden 1000 beygir gibi büyük güçlere kadar klasik DC motorlar gibi imal edilirler. Burada 1 beygir’in yaklaşık 745,7W olduğunu söylemekte fayda vardır. Şekil 2.15’de düşük güçlü bir DC servo motorun iç yapısı gösterilmiştir.

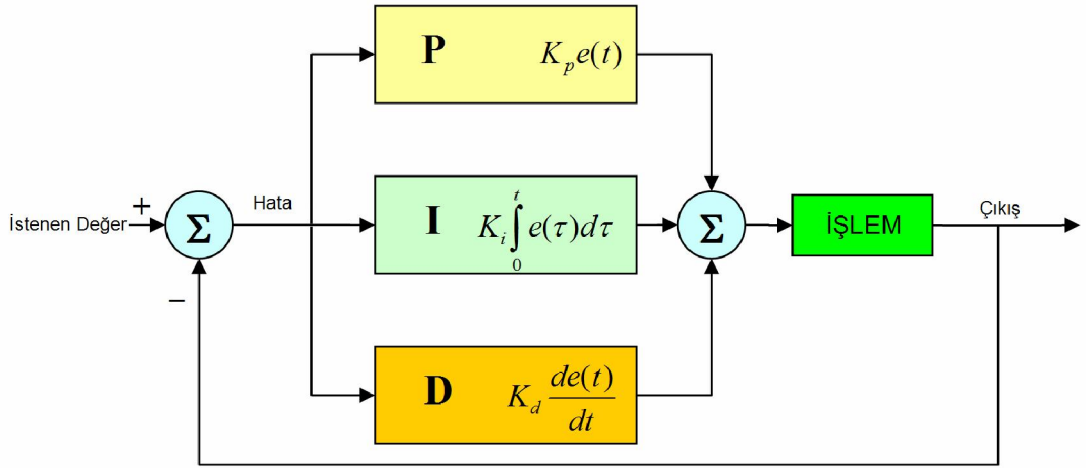


Şekil 2.15: Düşük güçlü bir DC servo motorun iç yapısı

## DC Servo Motorların Kontrolü

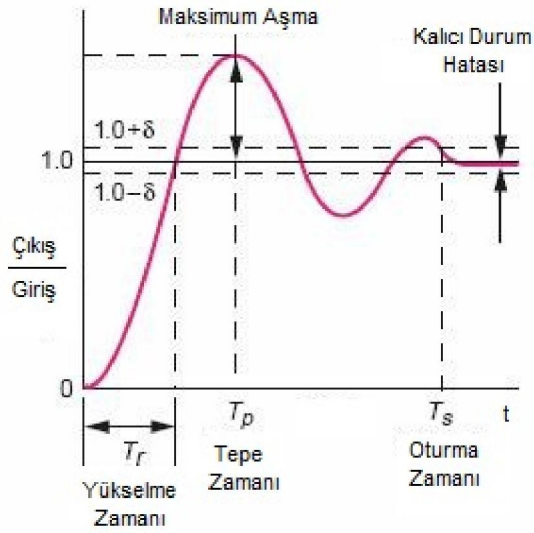
Servo motorlar, bir nevi programlanabilir mile sahip olan cihazlardır. DC servo motorların kontrolü genellikle PID kontrol yapısı ile belirlenen PWM sinyali kullanılarak yapılır.

PID algoritması ile motorun pozisyonu kontrol edildiğinde, varılmak istenen pozisyon ile mevcut pozisyon arasındaki hata, her servo çevriminde tekrar hesaplanır ve kullanıcı tarafından belirlenen  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  parametreleri de değerlendirilerek mevcut hatayı en kısa sürede ortadan kaldırmak için uygun bir PWM sinyali hesaplanır. Şekil 2.16'da PID kontrol sisteminin genel blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.16: PID sisteminin blok diyagramı

PID sisteminde kontrol P, PI, PD ve PID olmak üzere dört değişik şekilde olabilir. Kontrol sisteminde öncelikle kontrol edilen değişkenin istenen değeri ile çıkıştan elde edilen çıkış değeri arasındaki fark yani hata değeri elde edilir. Kontrol edilen değişken motorun hızı, konumu ya da sıcaklığı gibi değerler olabilir. Motorun hız bilgisinin alınması için bir takometre, konum bilgisinin alınması için bir enkoder, sıcaklık bilgisinin alınması içinse bir sıcaklık sensörü geri besleme elemanı olarak kullanılabilir. Ardından bu hata sinyali PID yapısındaki kontrol bloklarından geçirilir ve kontrolde kullanılan her bir bloktan gelen sinyal toplanır. Buradaki amaç hata sinyalini minimum yapmaktır. PID bloklarının çıkış üzerindeki etkisini anlayabilmek için bazı terimleri bilmek gerekmektedir. Şekil 2.17'de bu terimler gösterilmiştir.



Şekil 2.17: PID kontrolde kullanılan terimler

$T_r$  yükselme zamanı, çıkış işaretinin istenen değerinin %90'ına ulaşana kadar geçen süre olarak tanımlanmıştır.  $T_p$  tepe zamanı, maksimum aşma değerine ulaşana kadar geçen süre olarak tanımlanmıştır.  $T_s$  oturma zamanı, kalıcı durum hatası bölgesine girilene kadar geçen süre olarak tanımlanmıştır. Kalıcı durum hatası ise sistemde istenen değere asla ulaşamadığı durumlarda, sistemin kalıcı duruma geçtikten sonraki hatası olarak tanımlanmıştır. PID yapısında kullanılan blokların bu değerler üzerindeki etkileri Tablo 2.4'de verilmiştir.

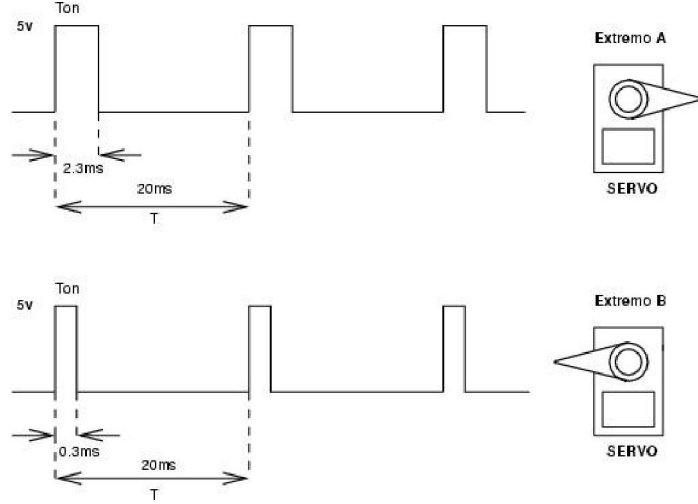
Tablo 2.4: PID bloklarının çıkış üzerindeki etkileri

| Blok | Yükselme Zamanı | Maksimum Aşma | Oturma Zamanı   | Kalıcı Durum Hatası |
|------|-----------------|---------------|-----------------|---------------------|
| P    | Azaltır         | Arttırır      | Pek Değiştirmez | Azaltır             |
| I    | Azaltır         | Arttırır      | Arttırır        | Ortadan Kaldırır    |
| D    | Pek Değiştirmez | Azaltır       | Azaltır         | Pek Değiştirmez     |

Bu şartlar altında PID kontrolcüsü tarafından üretilen PWM sinyali, motorun cevap verebileceği bir frekansta ve sadece duty cycle'ı değişen bir sinyaldir. Bu sinyal motora gönderilerek motor milinin pozisyonu istenilen açığa ayarlanabilir. Bazı DC servo motor modellerinin  $180^\circ$  hareket alanları vardır. Bu tip servo motorlara yarım motor da denilmektedir.

PWM sinyalinin duty cycle değerinin büyüklüğü motor milinin ne kadar açı kat edeceğini belirler. Örneğin, bir servo motor  $90^\circ$ 'ye duty cycle değeri 2ms olan bir PWM sinyali ile ulaşıyor olsun. Duty cycle değerinin 2ms'den daha büyük olması

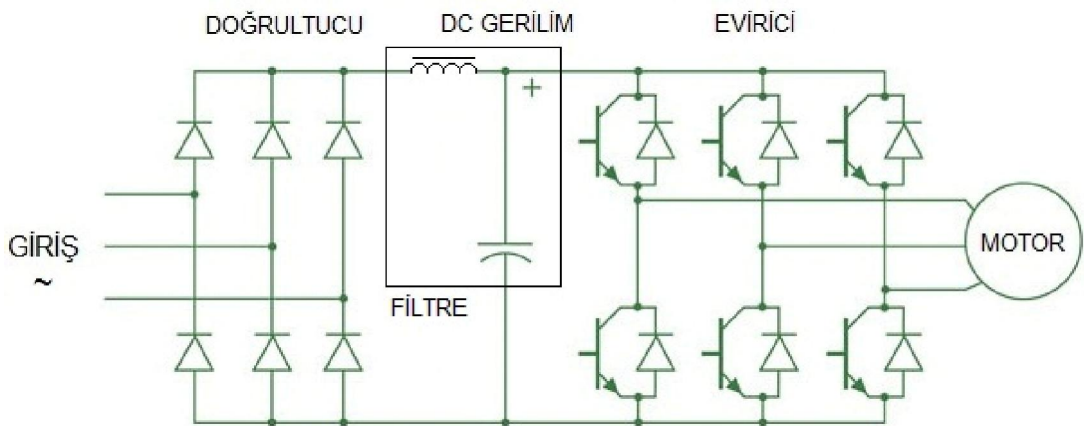
milin açısai değeri 180°'ye yaklaşmasını sağlamaktadır. Aynı şekilde duty cycle değeri 2ms'den daha küçük olması milin açısai değeri 0°'ye yaklaşmasını sağlayacaktır. Ancak bu açısai değeri lineer değildir. Şekil 2.18'de bir DC servo motorun milinin, PWM sinyali ile konum değeri gösterilmiştir.



Şekil 2.18: DC servo motor mil açısı değeri

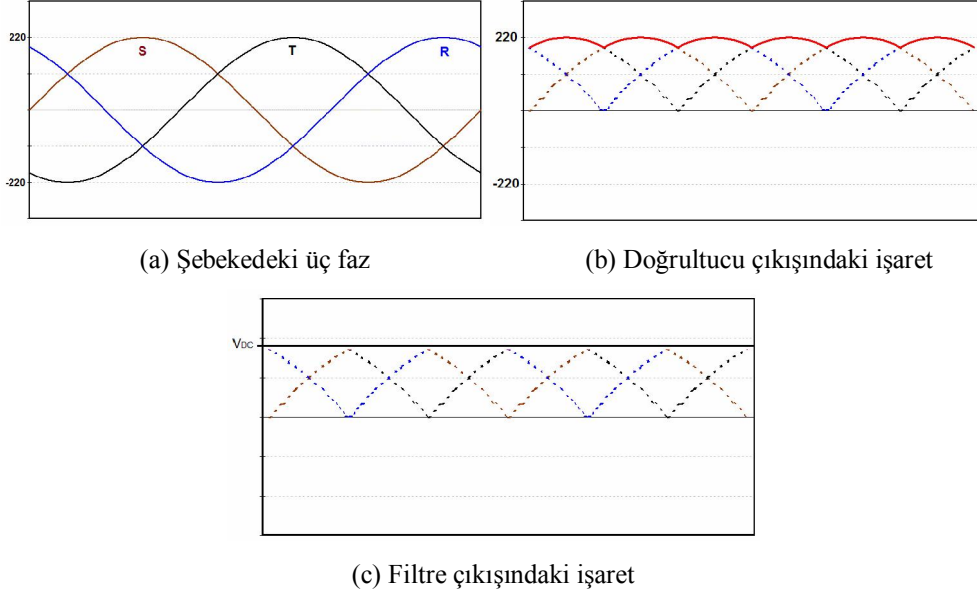
### 2.2.2.2. AC Servo Motorlar

AC gerilimle çalışan ve servo sisteme sahip olan AC motorlara, AC servo motor denir. AC motorların sürülmesi için AC gerilim ve değeri frekanslı sürücü devresi (VFD) yapısına ihtiyaç duyulmaktadır. VFD'nin yapısında doğrultucu (rectifier), filtre ve evirici (inverter) devreleri bulunmaktadır. VFD'ler tek veya çok (iki-üç) faz giriшли olmakla birlikte sürecekleri motor tipine göre yine tek veya çok faz çıkışlı olmaktadır. Şekil 2.19'da 3 faz giriшли, 3 faz çıkışlı tam dalga doğrultuculu bir VFD'nin genel yapısı gösterilmiştir.



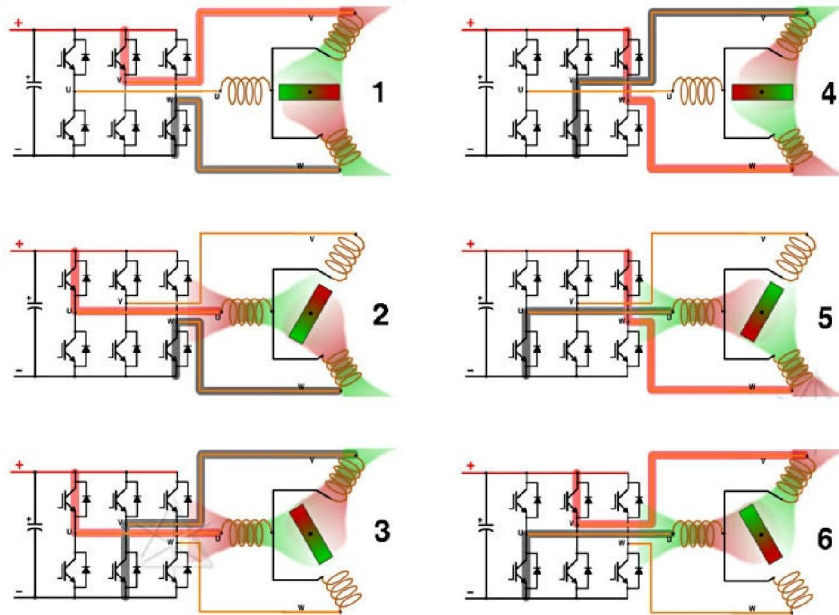
Şekil 2.19: 3 faz giriшли, 3 faz çıkışlı tam dalga doğrultuculu VFD'nin genel yapısı

Şekil 2.19'deki yapının amacı, üç fazlı AC giriş gerilimini doğrultarak DC besleme gerilimi elde etmek ve uygun anlarda evirici kısmındaki transistörleri anahtarlayarak, bu DC gerilimi motor sargılarına aktarmaktır. Böylece motor sürülmektedir. Şekil 2.20'de doğrultucu ve filtre çıkışındaki sinyaller gösterilmiştir.



Şekil 2.20: VFD'nin yapısındaki doğrultucu ve filtre çıkışındaki sinyaller

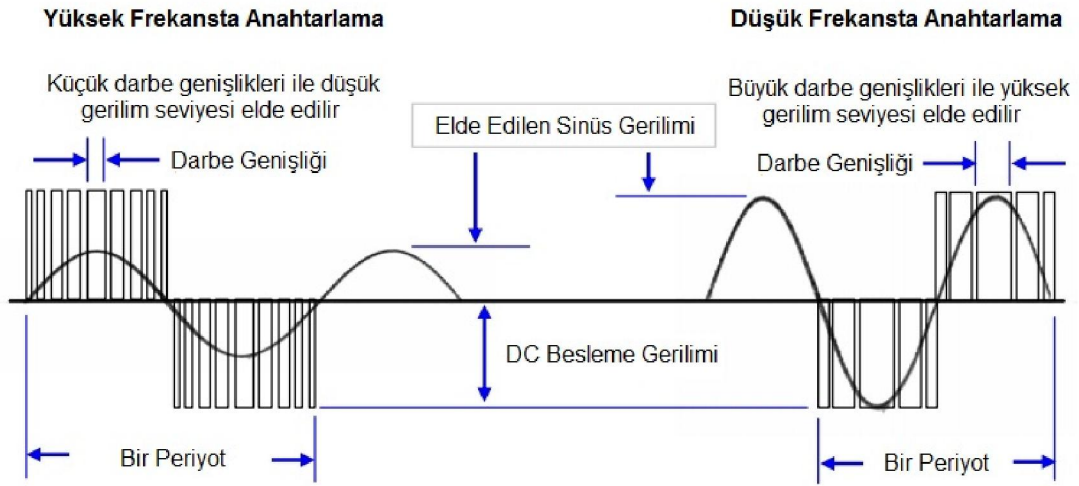
Anahtarlama DC gerilim kullanılsa da çıkışta yine AC karakterde sinüsoidal bir sinyal elde edilmektedir. Şekil 2.21'de motorun nasıl hareket ettiği gösterilmiştir.



Şekil 2.21: Evirici çıkışlarının durumuna göre motorun hareket etmesi



AC motorun hızı ise evirici kısmındaki transistörlerin anahtarlama frekansı ile kontrol edilmektedir. Çıkışta oluşacak gerilimin seviyesinin düşük çıkması için çok sayıda (yüksek frekansta anahtarlama) ve genişliği küçük olan darbeler kullanılır. Aynı şekilde çıkıştaki gerilimin seviyesinin yüksek olması için az sayıda (düşük frekansta anahtarlama) ve genişliği fazla olan darbeler kullanılır. Şekil 2.22’de VFD çıkışında oluşturulan sinüsoidal dalga şekli gösterilmiştir. Çıkışta oluşan işaret tam sinüs değil ama VFD’nin yapısına bağlı olarak sinüsoidale çok benzeyen bir işarettir.



Şekil 2.22: VFD çıkışında oluşturulan sinüsoidal işaret

### 2.3. Seri Haberleşme

RS232, RS422, RS423 ve RS485 bilgisayarlar ve diğer elektronik cihazlarda kullanılan seri haberleşme metotlarından bazılarıdır. Kuşkusuz ki RS232 bu seri haberleşme metotları arasında en iyi bilinenidir. Öyle ki son zamanlara kadar neredeyse tüm bilgisayarlarda bir RS232 çıkışı bulunmaktaydı.

RS232’nin, teoride maksimum 20Kbps hızında çalışabildiği söylene de modern ekipmanlarla bu hız daha da artmıştır. Elbette ki haberleşmede kullanılan kablonun uzunluğu çıkılacak maksimum hıza etki etmektedir. Tablo 2.5’de iletim hızına göre önerilen maksimum haberleşme mesafesi gösterilmiştir.



Tablo 2.5: RS232’de iletim hızına göre önerilen maksimum haberleşme mesafesi

| Hız (bps) | Mesafe (m) |
|-----------|------------|
| 19200     | 15         |
| 9600      | 150        |
| 4800      | 300        |
| 240       | 900        |

RS232, sadece bir DTE’nin (Data Terminal Equipment) yine sadece bir DCE (Data Circuit-Termination Equipment) ile bağlanabildiği bir haberleşme protokolüdür. Bu iki cihaz arasındaki önerilen kablo uzunluğu en yüksek hızda maksimum 15 metre olabilir. Bu mesafe, RS232’nin geliştirildiği ilk zamanlarda yeterli gelmekteydi ancak daha sonra gelişen teknoloji ve buna bağlı olarak değişen ihtiyaçlar nedeniyle başka protokoller geliştirilmiştir. Örneğin;

- Daha uzun mesafede haberleşme
- Birden fazla DTE bağlama
- Daha hızlı haberleşme

gibi ihtiyaçları karşılamak adına RS485, EIA (Electronic Industries Association) tarafından tanımlanmış çok yönlü bir seri haberleşme protokolü olarak karşımıza çıkar. Birden fazla cihazın birbirleriyle haberleşmesi gereken veri işleme ve kontrol uygulamalarında yoğun bir şekilde kullanılır. RS485, teoride maksimum 100Kbps hızda ve 1200m mesafede çalışabilmektedir.

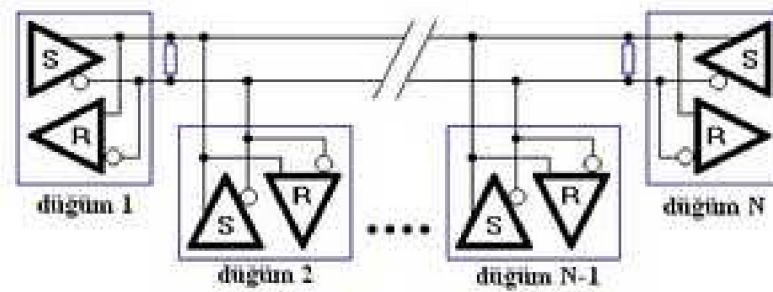
RS232’nin temel problemi, sinyal hattı üzerindeki gürültüden kolay etkilenmesidir. RS232 protokolü alıcı ve verici arasındaki veri ve senkronizasyon voltajlarını ortak bir toprak hattı kullanarak karşılaştırır. Toprak hattındaki herhangi bir voltaj dalgalanması, haberleşme açısından kötü sonuçlar doğuracaktır. Haberleşme mesafesi arttığında hattaki gürültü de hızla artar. Bu olumsuzluğu bir nebze gidermek amacıyla RS232’deki eşik seviyeleri  $\pm 3V$ ’un üstüne ayarlanmıştır. Tablo 2.6’da RS232 protokolünün eşik seviyeleri gösterilmiştir.

Tablo 2.6: RS232'deki eşik seviyeleri

|          | Verici     | Alıcı      |
|----------|------------|------------|
| Lojik 1  | -5V ~ -25V | -3V ~ -25V |
| Tanımsız | -3V ~ +3V  | -3V ~ +3V  |
| Lojik 0  | +5V ~ +25V | +3V ~ +25V |

RS485 standardında ise sinyal referansı için ortak sıfır kullanılmaz. Bu sebeple RS485 alıcı ve verici üniteleri arasındaki voltaj seviye farkı bir problem oluşturmaz. RS485'de her bir sinyal, o sinyale ait ve + ile - şeklinde imlenmiş veri hatları üzerinden iletilir. RS485 alıcısı sinyal hattı üzerindeki kesin voltaj seviyesi yerine iki hat arasındaki voltaj farkını karşılaştırır. Bu sayede birçok haberleşme sorununun temeli olan toprak döngüsü önlenmiş olur.

RS485'in ağ yapısı veri işleme ve kontrol uygulamalarında yoğun bir şekilde kullanılmasının ana nedenidir. 12K $\Omega$  giriş direnci ile haberleşme ağına 32 cihaza kadar bağlantı yapılabilir. Daha yüksek giriş direnciyle bu sayı 256'ya kadar çıkarılabilir. RS485 tekrarlayıcıları ile bağlanabilecek cihaz sayısı birkaç bine, haberleşme mesafesi de birkaç kilometreye çıkabilir. RS485 bunun için ayrıca bir donanım istemez yazılım kısmı da RS232'den daha zor değildir. Şekil 2.23'de RS485 ağ yapısı gösterilmektedir. N kadar düğüm çok noktalı RS485 ağına bağlanmıştır. Hattın iki ucundaki R dirençleri 100 $\Omega$  seçilerek yansıma önlenmiş olur. Böylece daha yüksek hız ve daha uzun mesafede haberleşme sağlanır.



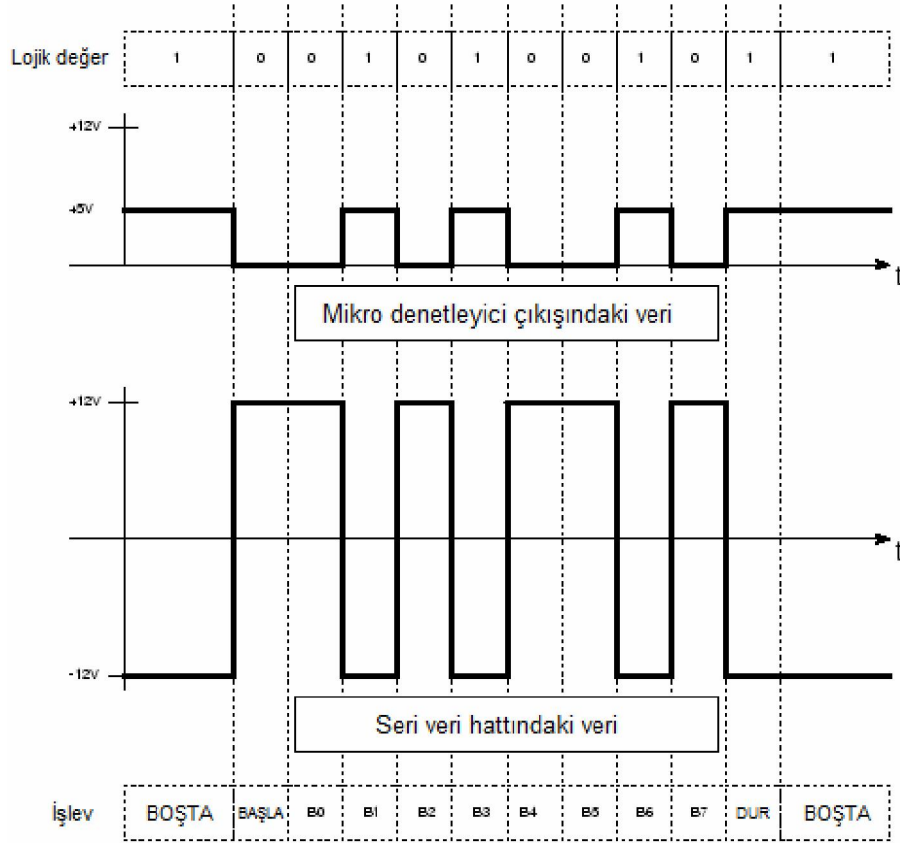
Şekil 2.23: RS485 ağ yapısı

### RS232 ile Veri İletimi

Bir hattaki veri akışının kontrolü için, gerekli sinyallerden biri saat (clock) sinyalidir. Hem gönderici, hem de alıcı cihazda, bir bitin ne zaman gönderileceğine veya alınacağına karar verilirken bu saat sinyali kullanılır. Veri gönderen ve alan uçların

belli kurallar çerçevesinde haberleşmesi gerekir. Verinin nasıl paketleneyeceği, bir karakterdeki bit sayısı, verinin ne zaman başlayıp biteceği gibi bilgileri bu kurallar belirler.

Eğer veri hattında veri aynı anda sadece bir yönde aktarılıyor ise bu haberleşme şekline half duplex adı verilir. Eğer ki veri aynı anda her iki yönde aktarılıyorsa bu haberleşme şekline ise full duplex haberleşme adı verilir. Senkron ve asenkron olmak üzere iki çeşit seri haberleşme şekli vardır. Bu iki tipten her biri saat sinyallerini farklı şekilde kullanır. Şekil 2.24’de ‘J’ karakterinin ASCII karşılığının veri hattından nasıl iletildiği gösterilmiştir.



Şekil 2.24: ASCII J karakterinin RS232 veri hattından yollanması

Senkron gönderimde her cihaz, kendisi ya da dışarıdan bir cihaz tarafından üretilen aynı saat sinyali darbelerini kullanır. Saat sinyalinin frekansı sabit ya da düzensiz aralıklarda değişiyor olabilir. İletilen her bit, bir saat darbesi geçişinden sonraki belirli bir zamanda geçerli olur. Senkron veri iletimi başlarken ve biterken, verinin başladığını ve bittiğini gösteren start - stop bitleri kullanılır. Fakat uzun mesafeli

haberleşmelerde senkron format uygun değildir. Çünkü bahsettiğimiz saat sinyalinin iletimi parazit nedeni ile ek bir hat gerektirebilir. Bu durumda asenkron gönderim kullanılır.

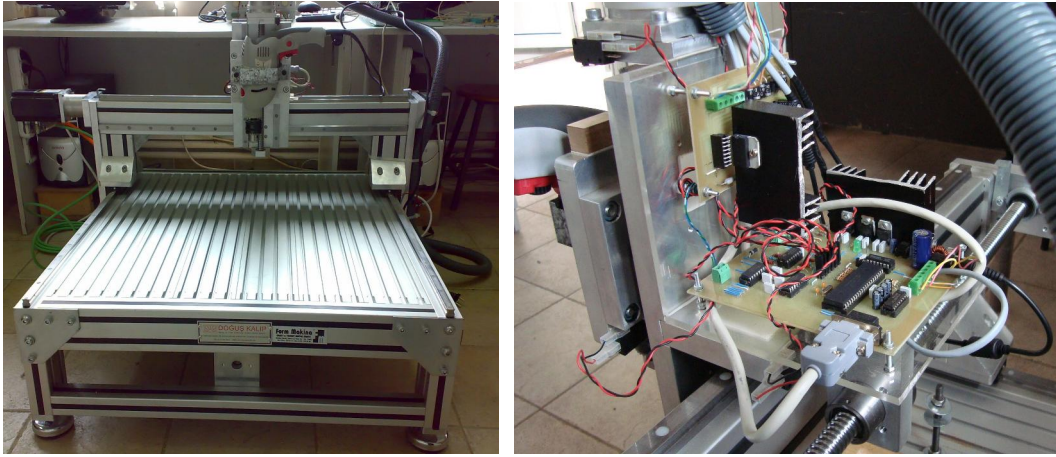
Asenkron iletişimlerde hatta, saat sinyali bulunmaz. Her uç kendi sinyalini sunmaktadır. Bu iletişimde de uçların saat frekansında anlaşmaları gerekir. Bu nedenle iletilen her veri bloğundan önce saatleri eşlemek üzere bir start biti ve veri bloğunun iletiminin bittiğini bildirmek üzere sonda bir stop biti bulunur.

Seri iletişimde veri aktarım hızı, saniyedeki bit sayısı (bps) veya sembol hızı (baud rate) olarak belirtilir. Sembol ve bit hızı arasında geçiş yapılabilir. Örneğin 9600bps hızında çalışan bir seri haberleşme sisteminde, her sembolde 10 bit olduğunu düşünsek, bu sistem  $9600/10 = 960$  sembol/s hızda çalışmaktadır. Aynı şekilde 2400 baud hızda çalışan bir sistemde her sembol 8 bit olduğunda bu sistem 19200bps hızda çalışıyor demektir.

### 3. CNC TEZGÂH TASARIMI

#### 3.1. Giriş

Tasarlanan CNC tezgâhının X ve Y eksenlerinde Berger Lahr firmasının Twin Line serisi TLD13 üç fazlı AC servo motor sürücüleri ile beraber yine Berger Lahr firmasının SER39 serisi üç fazlı AC servo motorları kullanılmıştır. Z ekseninde L297 – L298, iki kutuplu adım motor sürücü ikilisi ile beraber 1,8° adım açısına sahip dört fazlı iki kutuplu adım motor kullanılmıştır. Tasarlanan sistemin tamamlanmış hali Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



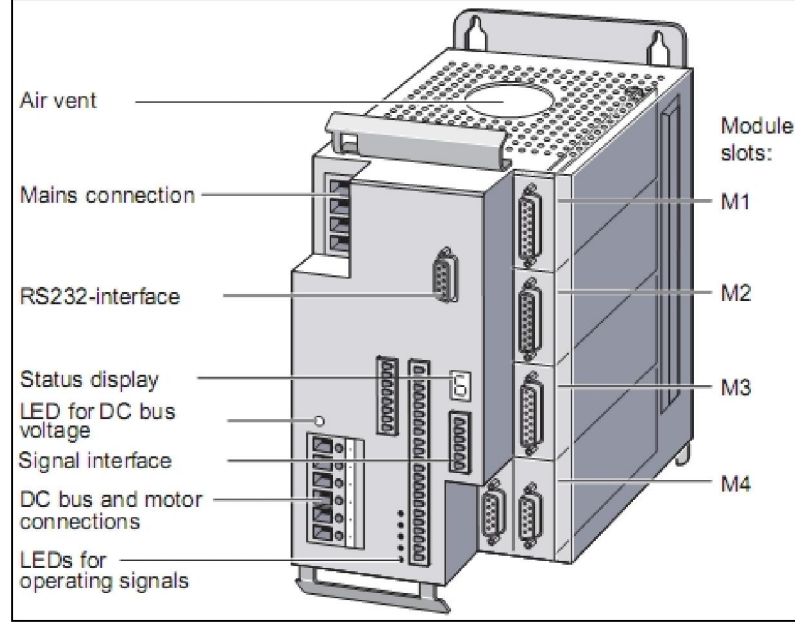
Şekil 3.1: Tasarlanan sistemin tamamlanmış hali

Sistemin bilgisayarla haberleşmesi için RS232 protokolü tercih edilmiştir. Bu tercihte haberleşme mesafesinin fazla uzun olmaması etkin olmuştur. Seri ara birim devresinde MAX232 entegresi kullanılmıştır. Sistemde kullanılan bütün iletim hatlarında olası gürültüleri engellemek için ekranlı kablolar kullanılmıştır.

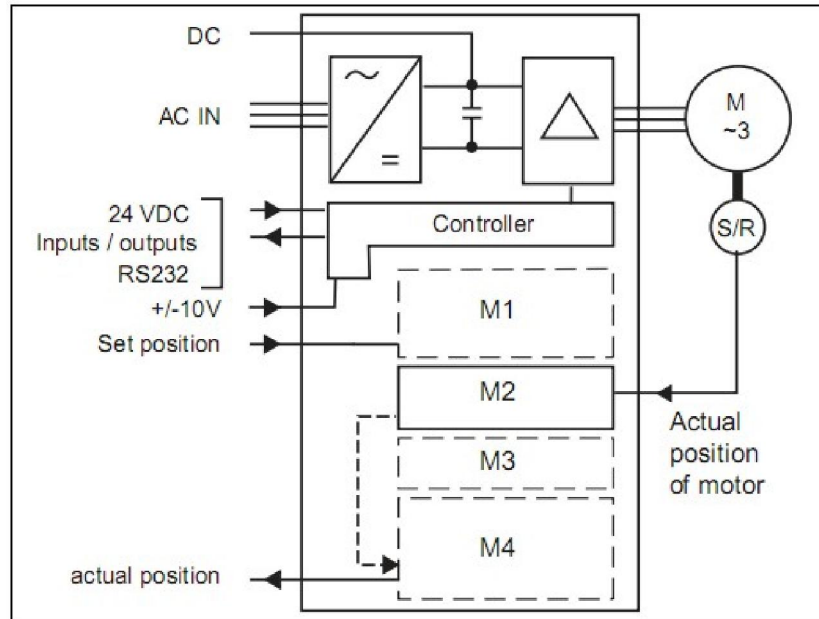
Sistemde servo kontrol gerilimlerinin üretilmesi için DAC0808LCN ve TL074 entegrelerinden faydalanılmıştır. Eksen sonlarının tespiti için 4068 entegresi tercih edilmiştir. Gerekli çalışma gerilimlerinin üretilmesi için L7805, L7812, L7815 ve ICL7662 entegrelerinden faydalanılmıştır. 5V-24V lojik seviye değişimleri için BC337 transistörler kullanılmıştır.

### 3.2. TLD13 AC Servo Motor Sürücüsü ve AC Servo Motorlar

TLD13, Berger Lahr firmasının Twin Line serisi üç fazlı AC servo motor sürücü ailesine mensup bir servo motor sürücüdür. Sürücünün dış görünümü Şekil 3.2’de, blok diyagramı ise Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.2: TLD13'ün dış görünümü



Şekil 3.3: TLD13'ün blok diyagramı

TLD13'ün üzerinde isteğe bağlı olarak takılabilecek bazı modüller bulunmaktadır. Bu modüller M öneki ile gösterilmiştir.

$M_1$  olarak gösterilen modül, RS422-C, PULSE-C ve IOM-C olarak üç çeşit olabilir. RS422-C olarak bilinen modül, dışarıdan döner diskli encoder ya da bir üst düzey kontrolcü tarafından, A/B biçiminde verilen artımlı enkoder sinyallerini yakalar. Eğer motor konum kontrolü  $M_1$  modülü ile sağlanacaksa RS422-C modülü ile birlikte ek olarak bir artımlı enkoder kullanmak gerekecektir. Böylece bu modül alınan sinyalleri değerlendirecek ve motor konumunu tespit edecektir.

PULSE-C (pulse-direction) olarak bilinen  $M_1$  modülü, denetleyiciye motor konum verisini elde edebilmesi için referans frekans sinyalleri yollar. Bu modül, motor konum verisini darbe-yön ya da ileri ve geri darbe sinyalleri olarak yakalar.

IOM-C (Input/Output Module) olarak bilinen  $M_1$  modülü, analog ve dijital değerleri kaydedip yeniden üretebilme özelliğine sahiptir. Analog çıkışlar, kullanıcı tarafından ayarlanabilir.

$M_2$  olarak gösterilen modül, HIFA-C ve RESO-C olarak iki çeşit olabilir ve standart olarak TLD13 üzerinde bulunur. HIFA-C tipi olan AC servo motorlar için, RESO-C tipi olan ise resolver tip motorlar için kullanılır.

HIFA-C (HiperFace) tip  $M_2$  modülü, döner diskli enkoderler için pozisyon kontrolünü sağlar. Döner diskli enkoder, motorun yapısında bulunmaktadır ve pozisyon bilgisini yüksek çözünürlüklü analog sinyal olarak HIFA-C modülüne yollamaktadır. HIFA-C modülü bu analog sinyali dijitale çevirerek kapalı döngü kontrol sistemine iletir. Aynı zamanda simülasyon yapılabilmesi için enkoder pozisyon sinyalleri olan A/B sinyallerini de bir  $M_4$  modülü olan ESIM1-C ya da ESIM2-C modülüne yollar.

RESO-C (Resolver) tip  $M_2$  modülü, resolver motor kullanıldığı zaman pozisyon kontrolünü sağlar. Aynı HIFA-C gibi bu modül de simülasyon için A/B sinyallerini oluşturur ve bu sinyalleri ESIM1-C ya da ESIM2-C modülüne yollar.

$M_4$  olarak gösterilen modül, ESIM1-C, ESIM2-C ve SSI-C olarak üç çeşit olabilir. ESIM1-C ve ESIM2-C modülleri, üst düzey bir denetleyiciye enkoder konum

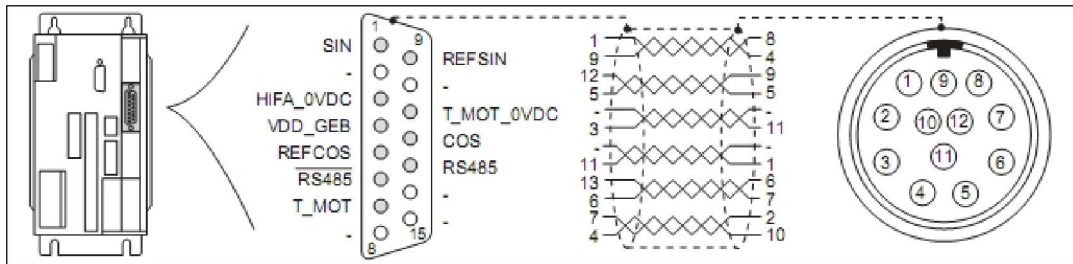
bilgisinin tespiti için A/B sinyallerini yollamakta kullanılır. ESIM2-C'nin ESIM1-C'den farkı A/B sinyallerini iki ayrı sinyal ara yüzünden yollayabilmesidir.

SSI-C (Synchronous Serial Interface) olarak bilinen M<sub>4</sub> modülü, kesin konum bilgisini ve başlangıç pozisyonunu elde etmek için kullanılır.

TLD13, yapısında bulunan AC/DC dönüştürücü vasıtasıyla AC şebeke girişlerini, DC'ye çevirerek motor kontrolünde kullanılmak üzere ayarlar. Buna ilaveten motor sürülürken M<sub>2</sub> modülüne AC servo motordan gelen geri besleme bildirimleri de kullanılır. M<sub>2</sub> modülüne gelen pozisyon bilgisi ve sıcaklık değeri gibi bilgiler, TLD13'ün dâhili kontrolörü tarafından değerlendirilir ve gerekli bileşenlere uygun sinyaller iletilerek motor sürülür.

TLD13, üzerindeki bu modüllerin ayarlarının yapılabilmesi için RS232 ara yüzü üzerinden bir bilgisayar vasıtasıyla yönetilebilmektedir. Bunun için TLCT (Twin Line Commissioning Tool) denilen bir arabirim programı kullanılır. Bu program, TLD13'ü ve üzerine takılı olan modülleri bir bir tanır. Her modülün kendisine özel parametreleri vardır ve TLD13'ün üzerine takılı olmaları durumunda bu parametreler TLCT'de gözükecektir. Böylece kullanılacak motorla ilgili optimizasyon işlemleri bir kereye mahsus olarak yapıp, TLD13'ün hafızasına kaydedilebilmektedir.

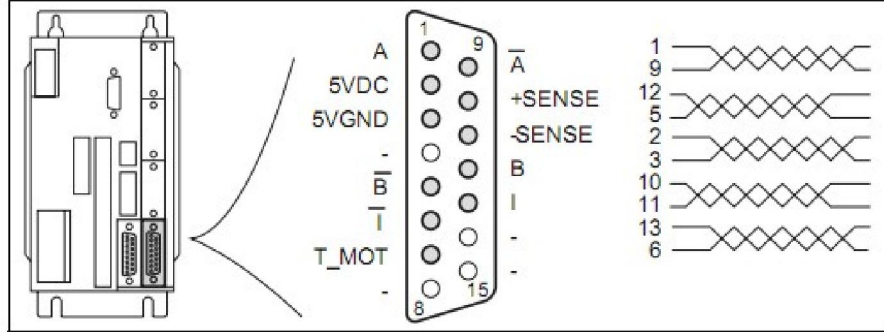
Motorun TLD13 ile haberleşmesi M<sub>2</sub> modülü üzerinden yapılmaktadır. Bu nedenle AC servo motor ya da resolver motor tipine göre M<sub>2</sub> modülü uygun olarak seçildikten sonra 2 sıra 15 pin D-Sub konnektör yardımıyla motor ile M<sub>2</sub> arasındaki bağlantı kurulur. Bu çalışmada AC servo motor kullanıldığı için M<sub>2</sub> modülü olarak HIFA-C tipi modül seçilmiştir. HIFA-C tipi M<sub>2</sub> modülü ile AC servo motor arasındaki bağlantı Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4: HIFA-C modülünün konnektör yapısı



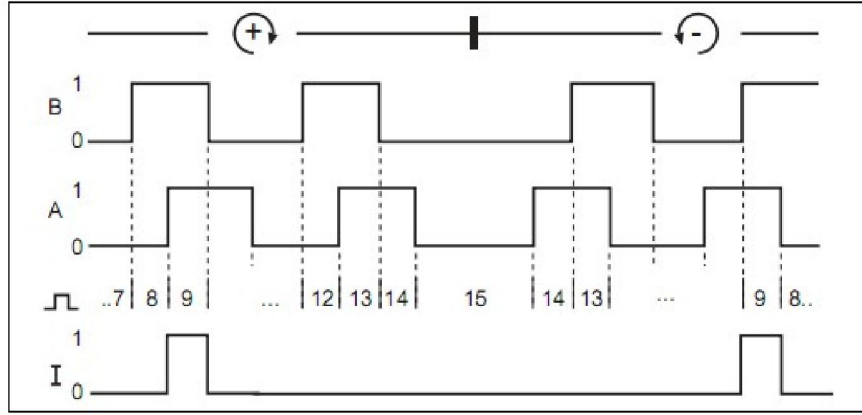
HIFA-C modülü ile beraber, enkoder sinyallerini dış ortama alabilmek için ESIM1-C modülü kullanılmıştır. ESIM1-C modülü için bağlantı tipi Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5: ESIM1-C modülünün konnektör yapısı

ESIM1-C modülünün çıkışından iki adet faz sinyali ve bunların evrik sinyalleri alınabilir. Bu faz sinyallerinin durumlarına göre motorun dönüş yönü tespit edilebilmektedir. Aynı zamanda saniyede üretilen darbe sayısına göre de motorun hızı hakkında bilgi sahibi olunabilir. İstenirse Index Pulse çıkışlarından birisi (I veya I') kullanılarak motorun tam bir tur attığının bilgisi de elde edilebilir. Tasarımda dönüş yönü ve hız kontrolü motoru sürerken yapıldığından, ESIM1-C modülü üzerinden bu bilgilerin elde edilmesine gerek kalmamıştır. Bunun yerine A/B sinyallerinden sadece birisi alınarak enkoder'in ne kadar arttığı bilgisi elde edilir. Bu bilgiye dayanarak X ya da Y ekseninin istenen konuma gelip gelmediği kontrol edilir.

Servo motorun yapısındaki enkoderin, motorun bir tur dönmesi durumunda üreteceği darbe sayısı, uygun modül takılması durumunda TLD13 üzerinden ilgili parametrelerin değiştirilmesi ile ayarlanabilmektedir. Bu değer 128, 256, 512, 1024, 2048 ve 4096 olabilir. Şekil 3.6'da A/B çıkışlarına bakılarak motorun dönüş yönünün nasıl tespit edileceğine ilişkin bir örnek verilmiştir.



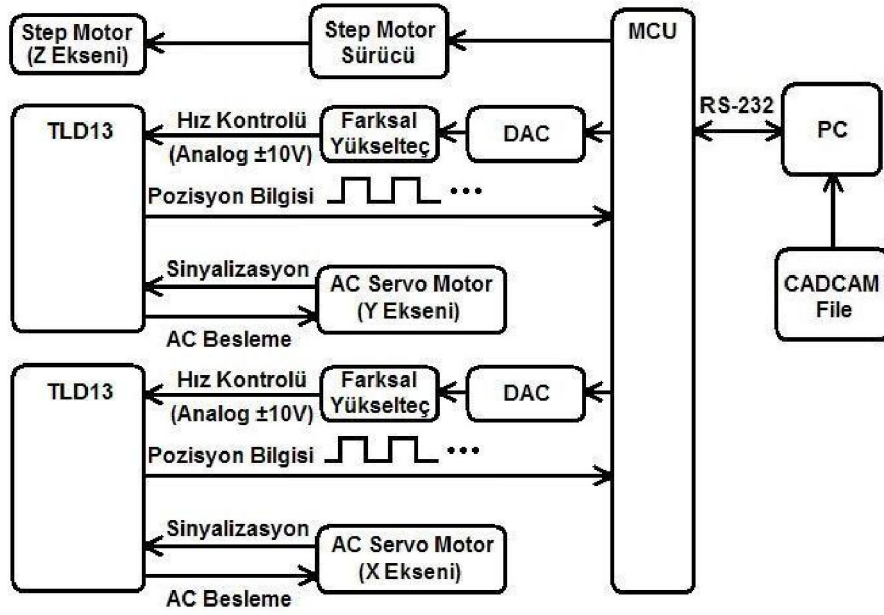
Şekil 3.6: ESIM1-C çıkışından alınan A/B sinyalleri

Tasarlanan sistemin X ve Y eksenlerinde, eksenleri hareket ettirebilecek yeterli güçte birer AC servo motor kullanılmıştır. Z ekseninde ise uygun güçte, dört fazlı bir adım motor ve bu motoru sürebilecek bir adım motor sürücü devresi kullanılmıştır.

### 3.3. Kontrol Devresinin Yapısı ve Tasarımı

Sistem üç eksenli ve iki boyutlu olarak tasarlanmıştır. Z ekseninde, delici ya da kazıyıcı işlevi görecektir ucu aşağı ve yukarı hareket ettirecek güçte, dört fazlı bir adım motor kullanılmıştır. X ve Y eksenlerinde, eksenlere bağlı kaideyi rahatça hareket ettirebilecek güçte AC servo motor ve sürücüler kullanılmıştır. Tezgâh kontrol ünitesinde görev yapacak mikro denetleyici olarak PIC16F877 seçilmiştir. Çalışma hızı 20Mhz olarak belirlenen mikro denetleyici, yapısı gereği aslında bu hızın dörtte biri olan 5Mhz hızda komut işlemektedir. Bu da bir komut saykılıının 200ns olması anlamına gelmektedir. Tasarlanan sistemin bilgisayarla haberleşmesini sağlamak için RS232 arabirimi kullanılmıştır. 20Mhz kristal hızı için mikro denetleyicinin seri arabirim üzerindeki hata oranı en düşük veri akış hızı olan 2400 Baud kullanılmıştır. 20Mhz'deki hata oranları EK D'de verilmiştir.

RS232 ara yüzünü desteklemeyen yeni nesil bilgisayar sistemlerinde USB / RS232 dönüştürücüler kullanılabilir. Sistem bu tip bir dönüştürücü ile test edilmiş ve herhangi bir soruna rastlanmamıştır. Tasarlanan sistemin blok diyagramı Şekil 3.7'de verilmiştir.



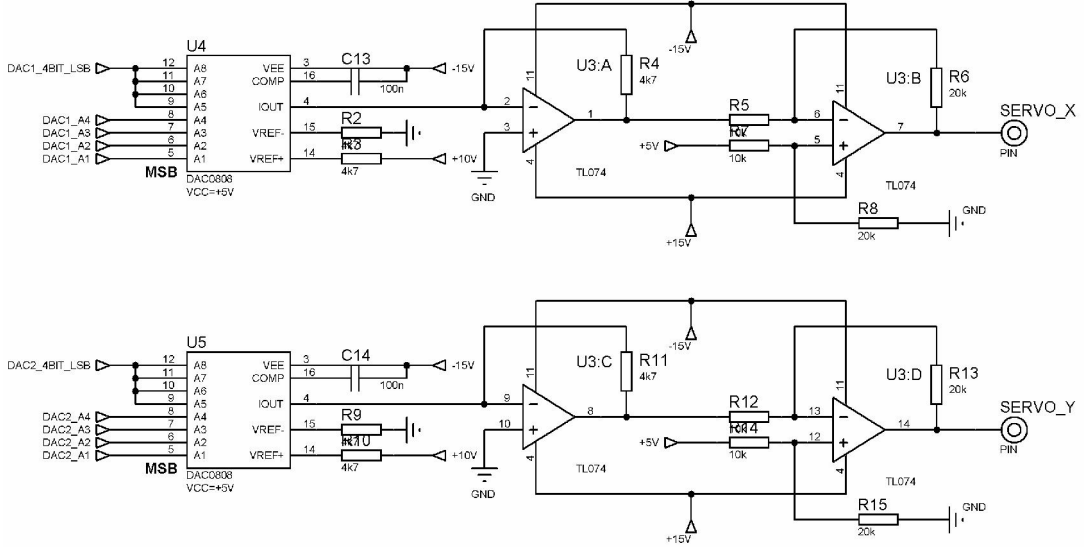
Şekil 3.7: Tasarlanan sistemin blok diyagramı

### 3.3.1. X ve Y Eksenlerinin Kontrolü

X ve Y eksenlerinde kullanılan servo motor sürücülerini, saat yönü (CW) ve saat yönünün tersi (CCW) yönde, istenilen hızda döndürebilmek için, servo motor sürücü üstünde bulunan analog gerilim girişinden  $\pm 10\text{VDC}$  arasında değişen bir gerilime ihtiyaç duymaktadır. Gerilimin polaritesi yönü, büyüklüğü ise hızı belirlemektedir. Bu ölçekte ulaşılabilecek maksimum hız ise AC servo motor sürücülerinin kendi arabirim programı üzerinden gerekli parametrelerin değiştirilmesi ve servo sürücünün hafızasına kaydedilmesi ile ayarlanmaktadır. Örneğin maksimum  $1000\text{dv/dk}$ 'da dönmek üzere ayarlanmış bir motor için  $+7,5\text{V}$ 'luk gerilim, saat yönünde dakikada 750 devre (750rpm) karşılık gelmektedir.

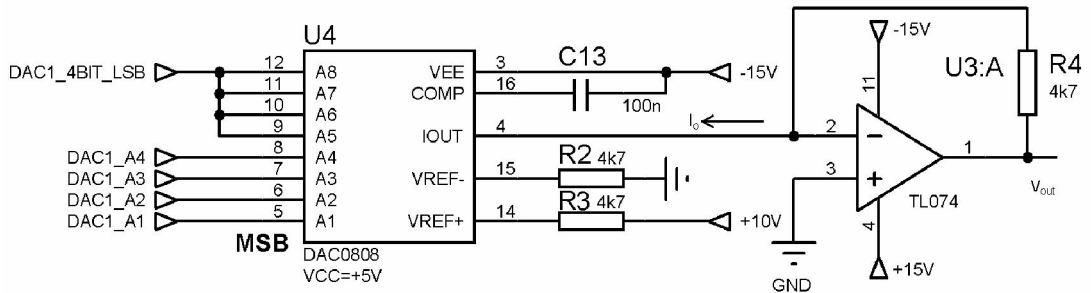
Dolayısıyla önce bu yapıyı kontrol edecek bileşenleri, kontrol devresinde oluşturmak gerekmektedir. Bunun için PIC çıkışlarının bir bölümü ile DAC ve Opamp kullanan bir yapıya ihtiyaç duyulmuştur. Kullanılan DAC0808LCN, "current source" yani akım kazancı sağladığından bu DAC'ın hemen çıkışına, akım kazancını gerilim kazancına çeviren bir opamp koyulmuştur. Böylece çıkışta 0 ile  $+10\text{VDC}$  arasında değişen bir gerilim elde edilmiştir. Fakat bu gerilim daima pozitif olduğu için ikinci bir opamp ile farksal yükselteç yapısı oluşturulmuş ve böylece negatif gerilimler de elde edilmiştir. Bir eksenin kontrolü için bir tane DAC ve iki tane opamp'a ihtiyaç

duyulmaktadır. Bu nedenle devrede X ve Y eksenleri için toplamda iki tane DAC0808LCN ile yapısında dört tane opamp barındıran bir tane TL074 kullanılmıştır. Analog gerilim üretimi için kullanılan devre Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8: Servo kontrol gerilimi üretici

X ve Y eksenlerinde kullanılan servo motorların sürülmesi için bazı sabit gerilim değerleri seçilmiştir. Bunlar -10V, -5V, -2,5V, -1,25V, 0V, 1,25V, 2,5V, 5V ve 10V’tur. Böylece yapılacak uygulamaya göre istenen hız değeri seçilebilmektedir. Gerilimlerin oluşturulması için Şekil 3.8’deki yapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Servo kontrol geriliminin nasıl üretildiğini anlayabilmek için bu yapıyı adım adım incelemek gerekmektedir. Şekil 3.9’da DAC çıkışındaki akımın gerilime dönüştürülme kısmı gösterilmiştir.



Şekil 3.9: DAC çıkışındaki akımın gerilime dönüştürülmesi

DAC çıkışındaki akıma ilişkin ifade denklem 3.1'deki gibi verilebilir.

$$I_o = K \left( \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \frac{A_4}{16} + \frac{A_5}{32} + \frac{A_6}{64} + \frac{A_7}{128} + \frac{A_8}{256} \right) \quad (3.1)$$

$I_o$  akımı, DAC'ın 4 numaralı ucundan alınan akımdır ve yönü DAC'a doğrudur (sink akımı). DAC'ın 4 numaralı ucuna bağlı opamp'ın çıkışında oluşacak  $V_{out}$  geriliminin ifadesi denklem 3.2'de verilmiştir.

$$V_{out} = R_4 I_o \quad (R_4 = 4.7K) \quad (3.2)$$

Denklem 3.1'deki  $K$  akım kazancının ifadesi, denklem 3.3'te verilmiştir.

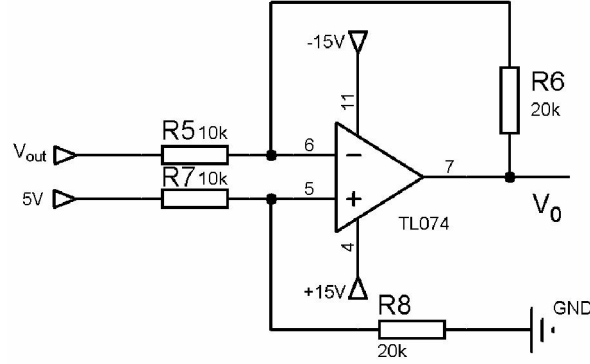
$$K = \frac{V_{ref}}{R_{ref}} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'teki  $R_{ref}$  direnci, aynı zamanda Şekil 3.9'da görülen  $R_3$  direncidir. Bu direnç DAC'ın 14 numaralı ucuna bağlanan direnç,  $V_{ref}$  gerilimi ise bu direncin ucundan verilen referans gerilimidir. Tasarımda  $V_{ref} = 10V$  ve  $R_{ref} = 4.7K$  olarak seçilmiştir. Buna göre  $V_{out}$  ifadesi, DAC'ın  $A_1, \dots, A_8$  pinlerinin durumlarına göre  $V_{ref}$  geriliminin yani  $10V$ 'un katları şeklinde oluşacaktır.  $V_{out}$  ifadesi denklem 3.4'te verilmiştir.

$$V_{out} = V_{ref} \left( \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \frac{A_4}{16} + \frac{A_5}{32} + \frac{A_6}{64} + \frac{A_7}{128} + \frac{A_8}{256} \right) \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'ten de görüleceği üzere,  $V_{out}$  gerilimi 0 ile  $+10VDC$  arasında değişen şekilde elde edilir. Burada kolayca tahmin edilebileceği gibi  $A_1$  pini MSB,  $A_8$  pini ise LSB'dir.  $A_1$ 'in oluşacak gerilime etkisi  $5V$ ,  $A_8$ 'in etkisi ise  $0,039V$ 'tur. Devrede istenen gerilimlerin oluşturulması için çoğunlukla  $A_1, A_2, A_3,$  ve  $A_4$ 'e ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle geri kalan 4 bitlik LSB kısmının, PIC'ten tek bitle kontrol edilmesi uygun görülmüştür.

Elde edilen bu pozitif gerilim değerlerinden negatif gerilimlerin üretilmesi için,  $V_{out}$  gerilimi ve bununla birlikte 5V'luk sabit referans geriliminin giriş olarak kullanıldığı bir farksal yükseltece ihtiyaç duyulmuştur. Şekil 3.10'da kullanılan farksal yükselteç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Tasarımda kullanılan farksal yükselteç yapısı

Kazancı 2 olarak seçilen bu farksal yükselteç ile pozitif gerilim değerleri ile aynı değerde negatif gerilimler üretilebilmektedir. Şekil 3.10'da gösterilen farksal yükseltecin kazanç formülü denklem 3.5'deki gibi verilebilir.

$$V_o = \left[ \frac{(R_5 + R_6)R_8}{(R_7 + R_8)R_5} \right] V_d - \frac{R_6}{R_5} V_{out} \quad (3.5)$$

Burada  $R_5 = R_7 = 10K$ ,  $R_6 = R_8 = 20K$  ve  $V_d = 5V$  olarak seçilirse kazanç ifadesi denklem 3.6'daki şekle dönüşür.

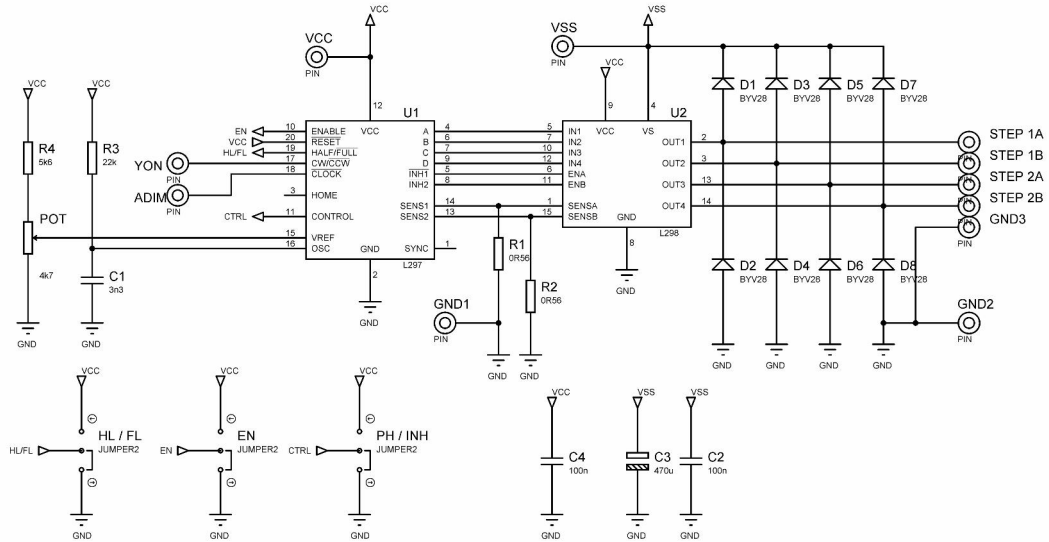
$$V_o = 2(5 - V_{out}) \quad (3.6)$$

Denklem 3.6'dan da görülebileceği gibi negatif gerilim değerleri bu formül ışığında kolayca üretilebilmektedir. Buradaki önemli husus dirençlerin tam değerlerinde olmasıdır. Yoksa kazanç değişeceğinden istenmeyen ya da iki eksen arasında gerilim açısından simetrik olmayan durumlar oluşabilir. Aynı şekilde hemen DAC çıkışındaki opampta kullanılan  $R_4$  direnci ile DAC referans voltaj girişinde kullanılan  $R_3$  direnci de yakın değerde olmalıdır. Mümkünse tüm bu dirençler metal film yapıda seçilmelidir. Oluşturulan bu gerilimler TLD13 AC servo motor sürücünün analog giriş ucundan verilerek ve start pini "lojik 1" seviyesine çekilerek motorlara kolayca

yol verilebilmektedir. Bundan sonra servo sürücü üstünden alınan encoder darbeleri sayılarak ve alınan yolla bağlantı kurularak motorun istenen yerde durmasını sağlamak mümkündür.

### 3.3.2. Z Ekseninin Kontrolü

Z ekseninin kontrolü için bir adım motor kullanılmıştır. Adım motoru sürmek için basitçe kontrol devresinden, yön bilgisini ve adım darbelerini adım motor kontrol devresine iletmek gerekmektedir. Bunun için çokça bilinen adım motor sürücü ikilisi olan L297 ve L298 entegreleri kullanılmıştır. L297 entegresi sürücü devresinin beyni, L298 entegresi ise kas gücü olarak düşünülebilir. L298 güç yükseltici olarak görev yapar ve 25W'a kadar olan 4 fazlı adım motorları sürebilmektedir. L297 ise L298 için kontrol sinyallerini üretmektedir. Tüm gerilimler 0-5V TTL lojik seviyesinde olup bu işlem için ayrıca gerilim üretmeye gerek yoktur. Sürücünün yarım/tam adım çalışma durumu, phase/inhibit kontrolü ve enable durumu birer jumper ile manuel olarak ayarlanmaya müsait biçimde sürücü devresi tasarımı yapılmıştır. Adım motor kontrol devresi Şekil 3.11'de verilmiştir.

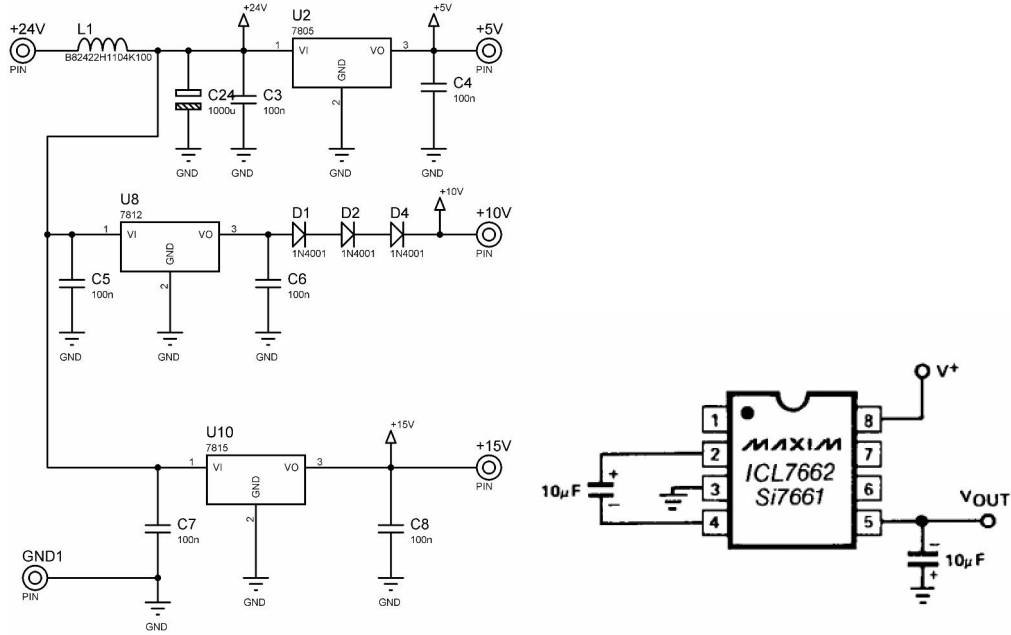


Şekil 3.11: Adım motor kontrol devresi

### 3.3.3. Çalışma Gerilimlerinin Üretilmesi

Kontrol devresinde elemanların ihtiyaç duyduğu referans ve çalışma gerilimlerini oluşturmak için L7815, L7812, L7805 ve ICL7662 entegreleri kullanılmıştır. L78 serisi entegreler zaten çokça kullanılan pozitif gerilim regülatörleri olup, ürettikleri gerilimler sırasıyla +15V, +12V ve +5V'tur. ICL7662 entegresi ise pozitif gerilimleri aynı değerde negatif gerilimlere çeviren bir entegredir. Boştaiken +15V'luk gerilim değerini -15V'a dönüştürmekte, yük altında ise bu negatif gerilim değeri biraz düşmektedir. TL074'ün çıkışlarının maksimum  $\pm 10V$  olacağı düşünüldüğünde, bu gerilim düşümü çok da sorun teşkil etmemektedir. Oluşturulan bu  $\pm 15V$ 'luk gerilim TL074'ün simetrik besleme uçlarına, ayrıca -15V'luk gerilim DAC'ın  $V_{EE}$  ucuna verilmektedir. Devrede ICL7662'nin kullanılması ile negatif gerilim üretmek için orta uçlu trafo ve doğrultucu elemanlarına gerek kalmamıştır.

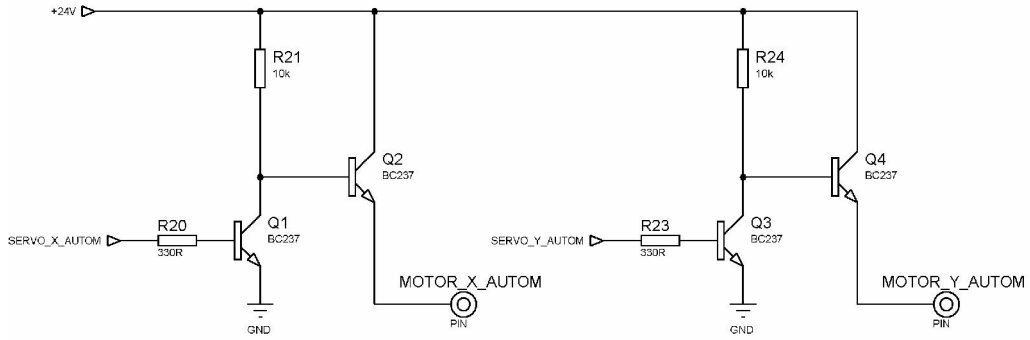
DAC'lar için gereken +10V'luk gerilim ise L7812'nin çıkışına seri olarak bağlanan üç tane 1N4001 diyot ile yaklaşık olarak elde edilmiş, yapılan ölçümler sonucunda analog çıkış gerilimlerinin istenen seviyelerde olduğu görülmüştür. +10V'luk gerilimi daha yüksek kesinlikte elde edebilmek için L7812 yerine LM317 de kullanılabilir. Gerilim regülatörlerinden oluşan besleme katı Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12: Besleme katı ve negatif gerilim üretici



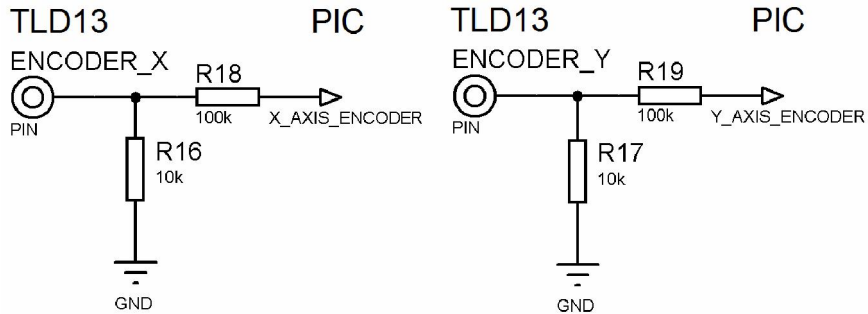
Devrenin giriş gerilimi 24VDC'dir. Tüm L78 serisi regülatörler bu gerilimi giriş olarak almaktadır. Kullanılan servo sürücülerde "lojik 1" seviyesinin elde edilebilmesi için 24VDC olan bu gerilime ihtiyaç vardır. Servo motorlara yol vermek için PIC üzerinden alınan servo kontrol sinyalleri, iki katlı transistörli basit "inverter" (tersleyici) yapısı ile servo sürücülere aktarılmaktadır. Böylece 5V seviyesinde olan bu gerilim yaklaşık olarak 24V seviyesine çekilmiş olur. Transistörli inverter yapısı Şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.13: Transistörli lojik seviye değiştirici

### 3.3.4. Encoder Sinyallerinin Okunması ve Eksen Sonlarının Tespiti

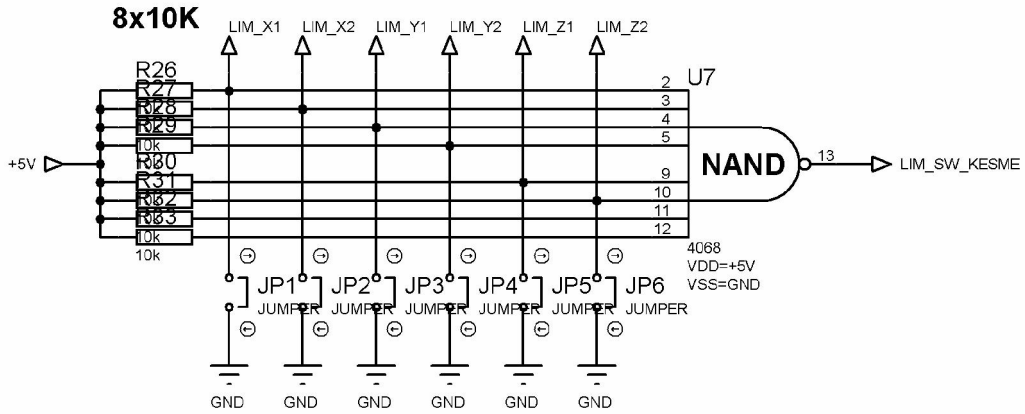
Servo sürücülerden konum bilgisinin elde edilebilmesi için alınan encoder darbe değerleri 0 ile 5VDC arasında değiştiğinden, basit gerilim bölücü direnç yapısı ile alınarak PIC'e aktarılmaktadır. Gerilim bölücü direnç yapısı Şekil 3.14'de verilmiştir.



Şekil 3.14: Encoder sinyallerinin kontrol devresine aktarılması

Encoder darbe girişleri ile beraber eksen sonlarındaki limit anahtarlarından gelen sinyal bilgisi PIC'in B portunun son dört kesme biti kullanılarak sezilmektedir. B portunun son dört bit kesme uçlarından iki biti encoder darbe girişi olarak, bir biti de eksen sonu tespit devresinden gelen sinyal olarak kullanılmaktadır.

Motorların her üç ekseninde, eksen sonlarına dayandığını tespit edebilmek amacıyla eksen sonu tespit devresine ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için 4068 entegresi (NAND – VE DEĞİL) kullanılmıştır. Normalde motorlar eksen sonlarına ulaşmadığında 4068 çıkışı “lojik 0”dır (0V). Herhangi bir ekseninde sona dayanıldığında bu çıkış “lojik 1” (5V) olmaktadır. Bu durumda PIC’te bir kesme oluşur. Kesme oluştuğunda, kesme alt programına gidilerek B portunun son dört kesme bitinden hangisinin değiştiği tespit edilir. Eğer eksen sonları ile ilgili bit değişmişse bu defa ilgili port okunarak hangi ekseninde sona gelindiği tespit edilir. Burada yapılan iş altı ayrı limit anahtarının durumunun, bir bit kesme ucundan okunmasını sağlamaktır. Bu durum bir nevi kesme çoklama işlemi olarak düşünülebilir. Eksen sonu tespit devresi Şekil 3.15’te verilmiştir.

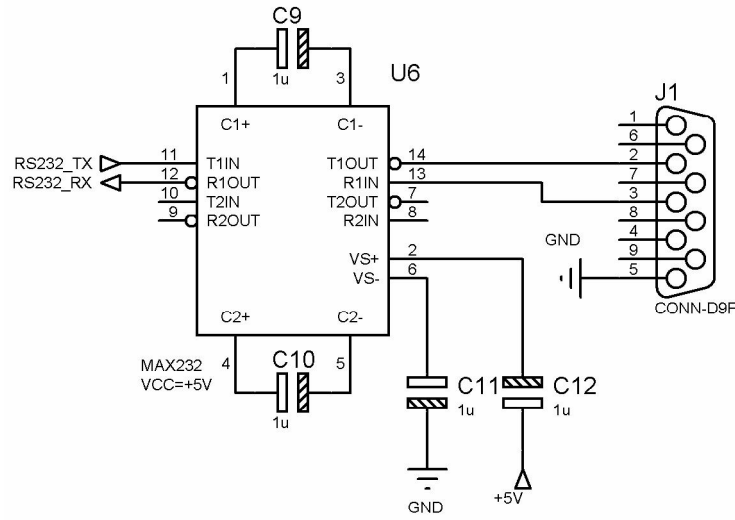


Şekil 3.15: Eksen sonu tespit devresi

### 3.3.5. Seri Arabirimin Tasarımı

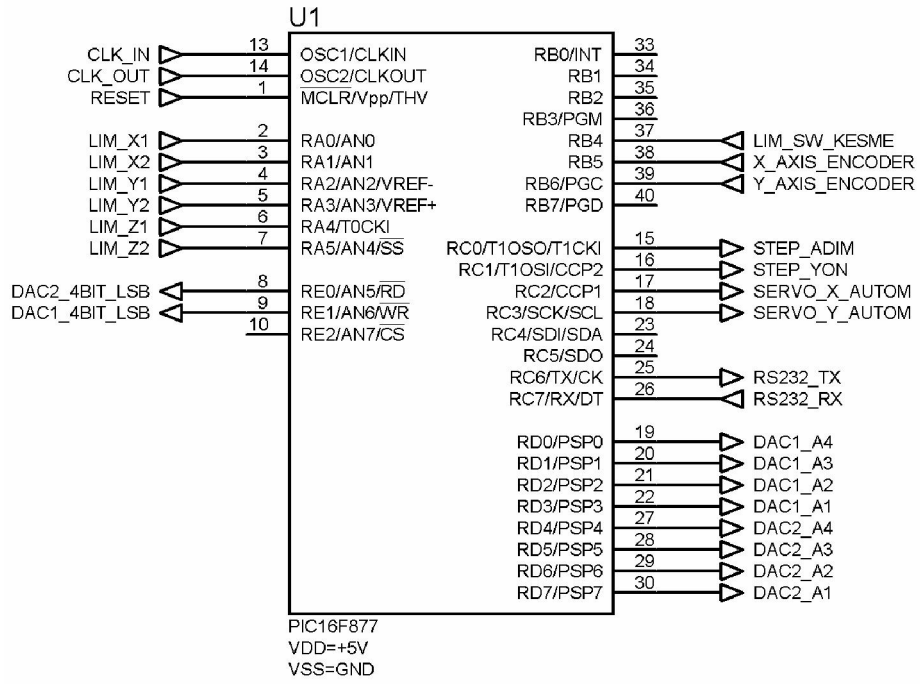
Kontrol devresinin bilgisayar ile iletişimde RS232 ara yüzü tercih edilmiştir. Bunun için çokça bilinen MAX232 entegresi kullanılmıştır. Bu entegre +5V'luk çalışma gerilimini, kondansatörlerle katlayarak seri arabirim lojik seviyelerine çıkaran çok kullanışlı bir entegredir. Yeni nesil bilgisayarlarda seri ve paralel portlar

anakart üzerinde ya hiç olmamakta ya da anakart üzerindeki pinlerden uygun bağlantı aparatları kullanılarak kasa dışına alınabilmektedir. Bu gibi durumlarda ya uygun aparatlarla seri portu, anakart üzerinden almak ya da “USB to COM Port Adapter” olarak bilinen USB / RS232 dönüştürücülerini kullanmak gerekmektedir. Sistem bu tip bir dönüştürücü ile test edilmiş ve herhangi bir soruna rastlanmamıştır. MAX232’nin seri arabirim ile olan bağlantı şekli, Şekil 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.16: Seri arabirim devresi

Seri arabirim standardı eski bir standarttır ve eskiden bilgisayarları birbirine bağlamak için kullanılmıştır. Anakartlar üzerindeki seri port çıkışları erkek konnektör tipindedir. Piyasadan hazır olarak alınabilecek dokuz pin seri arabirim kabloları ise iki çeşittir. Birinci tip iki ucu da dişi konnektör tipinde olan kablodur. Bu kablo tipi bilgisayarları birbirine bağlamak için kullanılan tiptir ve kablo içerisinde 2-3 ile 4-6 numaralı pinler çaprazlanmıştır. İkinci tip kablo ise bir ucu dişi diğer ucu erkek tipte olan kablodur. Bu tip kabloda pinlerde çaprazlama yoktur. Tasarım yaparken standart olan bu kablo tipi baz alınmış ve ona göre MAX232 çıkışları ayarlanmıştır. Merkezi kontrol ünitesi olarak kullanılan PIC16F877 mikro denetleyicisi donanımsal bir seri arabirime sahiptir. PIC16F877’nin MAX232 ve diğer elemanlarla olan bağlantısı Şekil 3.17’de verilmiştir.



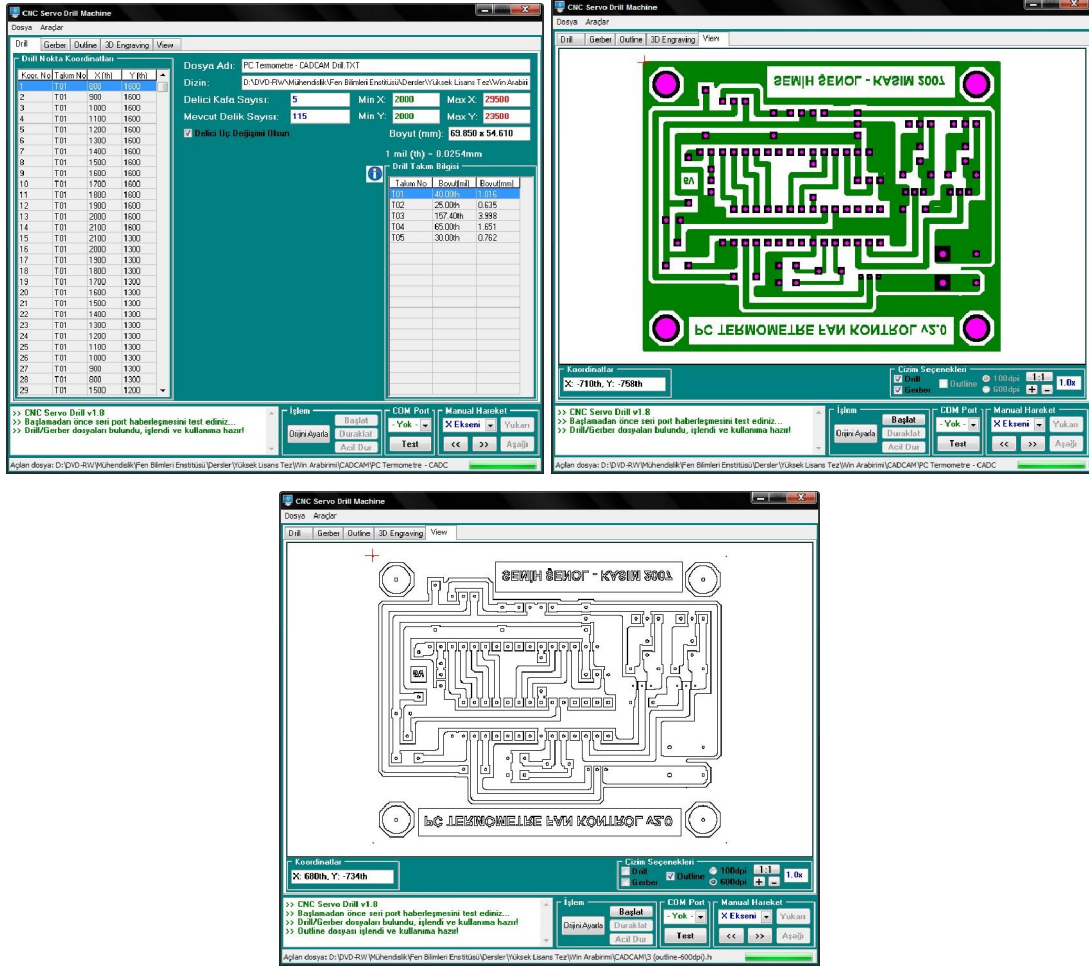
Şekil 3.17: PIC mikro denetleyicisinin diğer elemanlarla bağlantısı

Sistemde kullanılan diğer elemanlara ilişkin teknik bilgiler “Ekler” kısmında verilmiştir.

### 3.3.6. Bilgisayar Ara Yüzünün Tasarımı

Bilgisayar ara yüzü, kontrol devresine gideceği koordinatları ve işlem adımlarını ileten tasarımın en önemli bileşenidir. Bilgisayar ara yüzü çalışmaya başlarken bilgisayarda mevcut olan COM port’ların (seri arabirim) listesini elde eder. Kullanıcı programın formatına uygun olarak hazırlanmış delme, kazıma ya da oyma dosyalarından istediğini açarak kullanıma hazırlar. Açılan dosyaya ilişkin bilgiler program ara yüzünde listelenir. Bu esnada CNC kontrol devresi bilgisayara bağlı olmalıdır. Kullanıcı işleme başlamadan önce listeden seçtiği seri portu test ederek veri iletişimde herhangi bir sorun olmadığından emin olmalıdır. İstenirse CNC’nin referans noktasına otomatik olarak gitmesi sağlanabilir. Bu konum bir ölçümle değil eksen sonu limit anahtarları kullanılarak elde edilmektedir. Kullanıcı ardından malzemeyi CNC’ye yerleştirip, kazıma ya da delme için çizim (view) alanından ilgili dosyayı çizdirerek CNC’de işlemi başlatabilir. Kullanıcı isterse işleme başlamadan önce delme işlemi için uç değişimi seçeneğini aktif edebilir. Program uç değişimi gerektiğinde, CNC’yi duraklatacak ve delme kafasını bir miktar yukarı kaldırtacaktır.

Uç değişimi tamamlandığında program üzerinden “Devam Et” seçeneği seçilerek işleme kalındığı yerden devam etmek mümkündür. Ayrıca program devam eden işlemleri duraklatma özelliğine de sahiptir. Bilgisayar ara yüzüne ilişkin görüntüler Şekil 3.18’de verilmiştir.

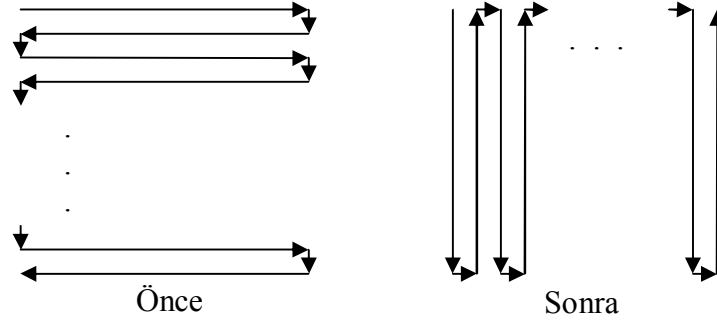


Şekil 3.18: Bilgisayar ara yüzüne ilişkin görüntüler

Oyma işlemi içinse çizdirme n izlemesi yoktur. İşlemi başlatmak için sadece dosyayı atıktan sonra ilgili sekmeden “3D Kazıma Aktif” kutucuğunu işaretlemek ve “Başlat” demek yeterlidir.

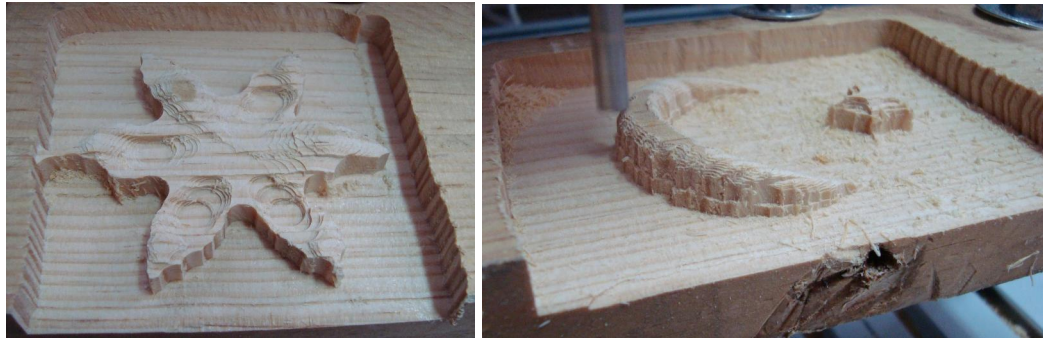
3D oyma işlemi için tarama Şekli X ve Y eksenlerinin değişimine göre Z değerlerini elde edilmesi ile sağlanmaktadır. Bunun için önce Y sabit tutulup X’in değişimine göre Z’nin değişimine bakılır, ardından Y arttırılır ve yine aynı işlem yapılır. Taramanın hassas olabilmesi için aynı işlemler X için de yapılmaktadır.. Böylece X

ve Y eksenleri için ayrı ayrı tarama yapılarak şekil ortaya çıkarılır. Değişik tarama yöntemleri mevcuttur. Burada tasarlanan tezgâh için en uygun olan yöntem kullanılmıştır. Şekil 3.19’da tarama yöntemi verilmiştir.



Şekil 3.19: Oyma işlemi için tarama yöntemi

Bu tarama yöntemine göre yapılan oyma işlemlerinin bazılarında alınmış görüntüler Şekil 3.20’de verilmiştir.



(a) Sadece X eksenli taraması

(b) X ve Y eksenli taraması

Şekil 3.20: Oyma işlemine ilişkin görüntüler

Şekil 3.20’den de görüleceği üzere sadece X ekseninde yapılan taramada oluşan şeklin hatları, X ve Y ekseninin beraberce taranmasıyla oluşan şeklin hatlarından daha keskindir. Bu nedenle daha yumuşak hatlı şekiller oluşturmak için X ve Y eksenli beraber taramalıdır.

### 3.4. Sistemin Çalışması

Tüm tasarım işlemleri ve oluşturulan donanım ışığında sistemin çalışması iki temel algoritmaya dayanır. Bunlardan birisi PIC mikro denetleyicisi, diğeri ise bilgisayar ara yüzüne aittir. Temelde bilgisayar ile kontrol ünitesinin karşılıklı mesajlaşmasına dayanan bu algoritmalar ile sistem kontrol edilmektedir.

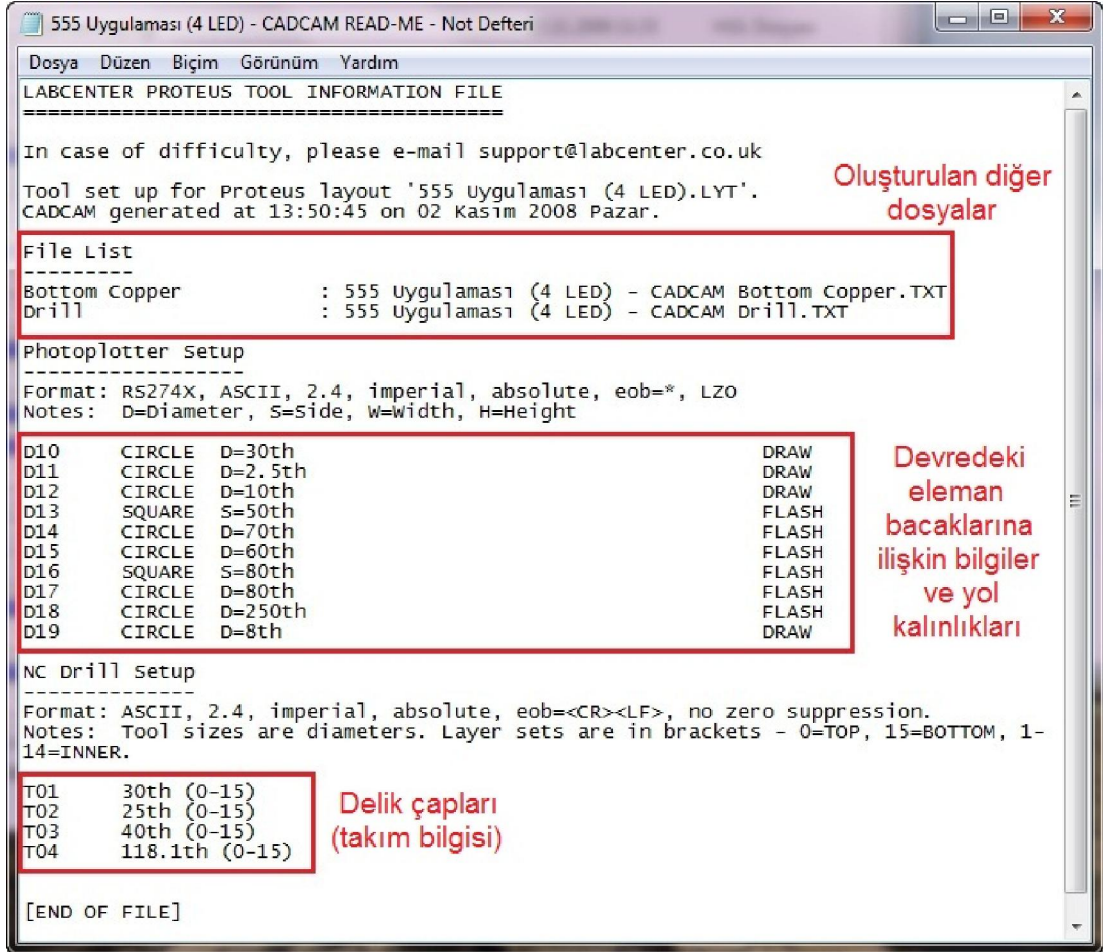
#### 3.4.1. Bilgisayar Ara Yüzünün Çalışması

Bilgisayar ara yüzü üç çeşit dosyayı işleyebilmektedir. Bu dosyalardan delme dosyası RS274X Gerber formatında olup dosyadaki tüm ölçüler mil (th) cinsindedir. 1 mil 0,0254mm'ye karşılık gelmektedir. Kazıma dosyası için herhangi bir çizim programında çizilmiş bir şeklin 100 ya da 600dpi'daki bitmap (bmp) çıktısı kullanılır. Yardımcı bir program ile bu dosyadaki outline yollar piksel olarak elde edilerek bir dosyaya kaydedilir. Ara yüz programı kazıma için piksel verilerinin olduğu bu dosyayı işlemektedir. Oyma işlemi içinse içinde X, Y ve Z eksenlerinin koordinatlarının milimetre cinsinden bulunduğu bir dosya kullanılır.

Bilgisayar ara yüzünün temelde dört işlevi vardır. Bunlar:

- İlgili dosyayı açmak
- Delme ve kazıma işlemleri için dosya çıktı ön izlemesini çizmek
- İlgili işlem dosyasındaki koordinatları uygun formatta kontrol devresine yollamak ve ilgili konuma gidildiğinin teyidini almak
- Delme işlemi için uç değişimi seçeneği aktif edilmişse ilgili mesajı kontrol ünitesine iletmek ve uç değişiminin teyidini almak

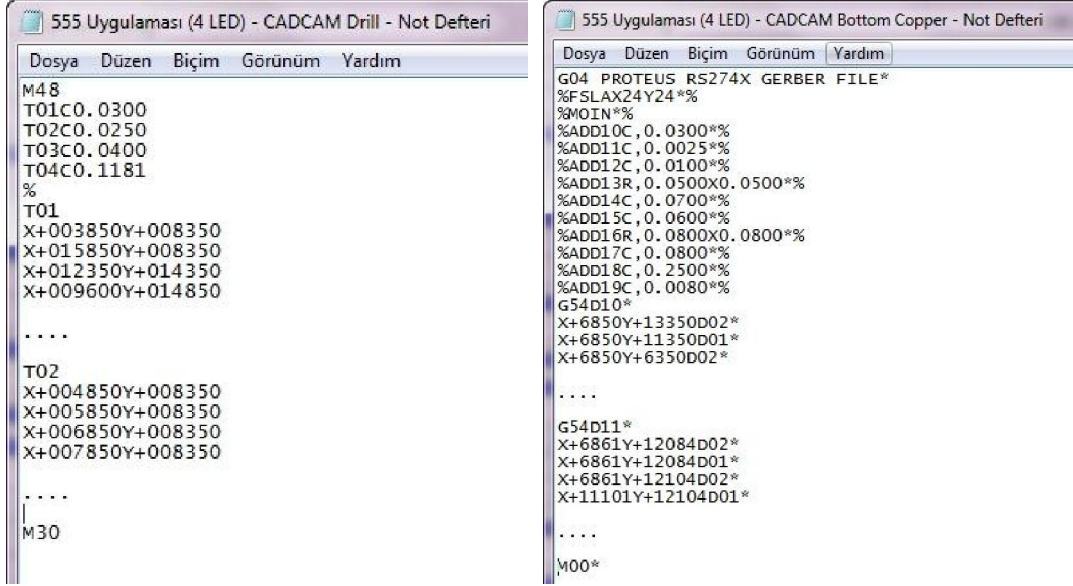
Kullanıcı, ara yüz üzerinden uygun formatta hazırlanmış delme, kazıma ve oyma dosyalarını açmakla işe başlar. Bu çalışmada delme işlemi için üç ayrı dosyaya ihtiyaç duyulmuştur. Bu dosyalardan "READ ME" isimli dosya, oluşturulmuş diğer iki dosyanın ismini içermenin yanı sıra delik çaplarına göre kullanılacak delme uçları ve yol kalınlıkları gibi bilgileri de içermektedir. Şekil 3.21'de READ ME dosyasının içeriği gösterilmiştir.



Şekil 3.21: READ ME dosyasının içeriği

Şekil 3.21’den de görülebileceği gibi ilgili devre için oluşturulan diğer dosyaların isimleri “File List” altında listelenmiştir. Bilgisayar ara yüzü bu dosyaları da otomatik olarak açıp işleyecektir. “Photoplotter” altında devredeki elemanların bacak tipleri ve yol kalınlıkları listelenmiştir. “NC Drill Setup” altında ise devrede kullanılan delik çapları, dolayısıyla kesici kafaya takılan delici uçların bilgileri listelenmiştir. Bilgisayar ara yüzü bu bilgileri okumakta ve yeri gelince kullanılmak üzere depolamaktadır. READ ME dosyasının haricinde “Drill” ve “Bottom Copper” isimli iki dosyaya daha ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlardan “Drill” isimli dosyada deliklerin merkez koordinatları bulunmaktadır. “Bottom Copper” isimli dosyada ise mevcut yolların koordinatları bulunmaktadır. Bu dosyadan sadece çizdirme ön izlemesi sırasında faydalanılmakta, kazıma yapmak için “outline” dosyası, yardımcı bir program aracılığıyla elde edilmektedir. Şekil 3.22’de “Drill” ve “Bottom Copper” isimli dosyaların içerikleri gösterilmiştir.





(a) Drill dosyası

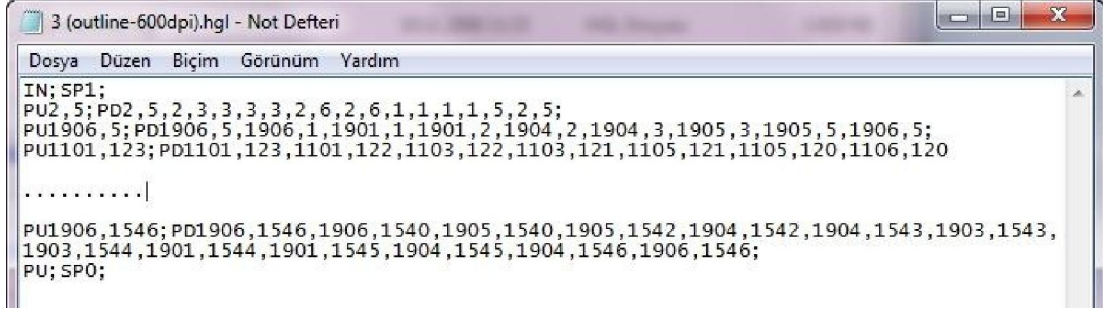
(b) Bottom Copper dosyası

Şekil 3.22: Drill ve Bottom Copper dosyalarının içerikleri

Şekil 3.22’den görülebileceği gibi “Drill” dosyası için başlangıç konumu M48, bitiş konumu M30’dur. Bu iki konum arasında READ ME dosyasında delik çap bilgisi bulunan ve T ön eki ile ifade edilen T01, T02, ... gibi ifadelerin yanı sıra, X ve Y koordinatları yer almaktadır. Dosyada her T (tool) ile imlenmiş noktadan sonra gelen koordinatlar, o delik çapında delinecek demektir.

Benzer şekilde “Bottom Copper” isimli dosya için başlangıç konumu G04, bitiş konumu M00’dur. Bu dosyada ise D (diameter) ön eki ile ifade edilen yol kalınlıklarının yanı sıra yine X ve Y koordinatları bulunmaktadır. Her yol koordinatının kalınlığı ilgili diameter ile belirlenmektedir. Yol koordinatlarının sonundaki D01, D02 ve D03 gibi ifadeler ise bu koordinatlara farklı anlamlar yüklemektedir. D01, sadece ilgili koordinata gidileceğini ifade eder. D02, önceki koordinattan ilgili koordinata kadar çizileceğini ifade eder. D03 ise ilgili koordinata bir eleman bacağı yerleşeceğini ifade eder. Bu eleman bacağının tipi (kare, daire ve elips gibi) READ ME dosyasının içeriğinde açıklanmıştır.

Kazıma işleminin yapılabilmesi için “Bottom Copper” dosyası kullanılamamaktadır. Bunun yerine çizilmiş devrenin 100 ya da 600dpi’da ve “bmp” formatındaki çıktısı alınıp yardımcı bir program ile bu çıktılar outline formatına çevrilir. Şekil 3.23’de outline dosyasının içeriği gösterilmiştir.



Şekil 3.23: Outline dosyasının içeriği

Outline dosyasında “Bottom Copper” dosyasına nazaran kalacak yollar değil, kazınacak yolların koordinatları bulunmaktadır. Bu koordinatlar pixel biçiminde elde edilmektedir. Outline dosyasının başlangıcı IN;SP1, sonu ise SP0’dır. Dosyada PU (pen up) ile ifade edilen koordinatlar, sadece gidilecek herhangi bir kazıma yapılmayacak koordinatlardır. Bundan sonra gelen ve PD (pen down) ile ifade edilen koordinatlar ise önceki koordinattan ilgili koordinata kadar kazınacak yolları göstermektedir. Bir PD ifadesinden sonra gelen her iki koordinat X ve Y koordinatlarıdır ve “;” işareti gelene kadar da her iki koordinat PD tipinde işlem görecektir.

Bilgisayar ara yüzünün açtığı dosyalar delme veya kazıma dosyaları ise bir sonraki adım çıktı ön izlemesini çizdirmektedir. Ardından işleme başlamak için “Başlat” butonuna basmak yeterli olmaktadır. Oyma dosyası içinse ön izleme yoktur. Sadece “3D kazıma aktif” seçeneğini seçip “Başlat” demek yeterli olmaktadır.

Bu noktadan sonra sistem delme, kazıma ya da oyma dosyalarındaki koordinatlar üzerinde bir takım değişiklikler yapar ve bunları tezgâh kontrol ünitesinin anlayacağı formata çevirir.

Bilgisayar ara yüzü tezgâh kontrol ünitesine adım motor için kaç darbe üreteceğini ve servo motorlar için enkoderler’den kaç darbe sayacağını bildirir. Bunun için dosyalardaki koordinatlar üzerinde bir takım ölçkleme işlemleri yapılmaktadır. Ölçkleme sabitleri belirli darbe sayıları altında X, Y ve Z eksenlerinde alınan yola göre tezgâh tasarlanırken bir kereye mahsus hesaplanmış ve ara yüz programında belirli sabitler olarak depolanmıştır.

Z eksenini için sadece 3D oyma işleminde aktif olarak ölçekleme yapılmaktadır. Kazıma ve delme işlemlerinde bu eksenin hareketi sabit bir sınırdan ibaret kalmaktadır. Örneğin delme işleminde, işleme başlamadan önce Z eksenini, işlenecek malzeme üzerinde belirli bir yükseklikte bırakılmaktadır. Bu yükseklik, 0,5cm ile delinecek malzeme kalınlığının farkından küçük olmalıdır. Aksi durumda delici uç delinecek malzemeyi tam olarak delemeyecektir. X ve Y koordinatlarında istenilen noktaya gelindiğinde Z eksenini 0,5cm aşağıya inip ilgili deliği delmekte ve bir sonraki deliğe gitmeden önce tekrar 0,5cm yukarı kalkmaktadır.

Aynı şekilde kazıma işleminde işleme başlamadan önce Z eksenini üstündeki kazıyıcı uç, kazınacak malzemenin yüzeyine sıfır konumda olmalıdır. İşleme başladıktan sonra kazıyıcı uç kazınacak ilk koordinata geldiğinde başlangıçta bulunduğu konumdan bir miktar daha aşağıya inip malzemeyi kazımaya başlayacaktır. Buradaki mesafeler de Z eksenini için sabit değerler olup aktif olarak ölçeklemeye ihtiyaç duyulmamış doğrudan kontrol ünitesi içinde sabit değişkenler olarak depolanmıştır. İhtiyaç halinde Z ekseninde adım motor kontrol devresinin üreteceği bir darbenin 0,025mm'ye karşılık geldiği düşünülüp buna göre bir ayarlama yapılabilir.

Oyma işleminde ise alınan referans (orijin) noktasına göre koordinatların her zaman pozitif olmasına dikkat edilmelidir. Oyma işlemine başlamadan önce kazıyıcı uç malzeme yüzeyine sıfır konumda olmalıdır. Bu nedenle Z eksenini için yollanacak koordinat, malzeme kalınlığından düşülüp ölçeklenerek yollanmalıdır.

Z eksenini kontrol eden adım motor sürücü tam adım modunda olduğunda 1000 darbe 25mm'lik yer değiştirmeye karşılık gelmektedir. Sürücü yarım adım moduna alınırsa 1000 darbe 12.5mm'lik yer değiştirmeye karşılık gelecek ama bu defa da Z eksenini hareketi çok yavaşlayacaktır. Bu nedenle tam adım modu baz alınmış ve hesaplamalar buna göre yapılmıştır. Sistemdeki ölçekleme sabitleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Ölçekleme sabitleri

| İşlem  | Çözünürlük | Eksen | Ölçekleme               |
|--------|------------|-------|-------------------------|
| Delme  | -          | X     | Koordinat(th) x 0,0648  |
|        |            | Y     | Koordinat(th) x 0,0648  |
|        |            | Z     | İstene Hareket(mm) x 40 |
| Kazıma | 100dpi     | X     | Koordinat(px) x 6,5     |
|        |            | Y     | Koordinat(px) x 6,5     |
|        |            | Z     | İstene Hareket(mm) x 40 |
|        | 600dpi     | X     | Koordinat(px) x 1,083   |
|        |            | Y     | Koordinat(px) x 1,083   |
|        |            | Z     | İstene Hareket(mm) x 40 |
| Oyma   | -          | X     | Koordinat(mm) x 25,5    |
|        |            | Y     | Koordinat(mm) x 25,5    |
|        |            | Z     | Koordinat(mm) x 40,0    |

Ara yüz programı her bir koordinatı bu ölçekleme sabitleri ile işleme soktuktan sonra elde ettiği verileri kontrol ünitesine belirli bir formatta yollar. Bu formata uygun mesajın içindeki “p” ve “n” ifadeleri ilgili koordinatın pozitif ya da negatif olduğu bilgisini içerir. Mesajın başındaki “d”, “o” ve “e” gibi ifadeler ilgili koordinat dizisinin bir delme (drill), kazıma (outline) ya da oyma (engraving) koordinat dizisi olduğu bilgisini taşımaktadır. Mesajın sonundaki “\r” işareti mesaj sonunun geldiği bilgisini kontrol ünitesine iletir.

Örneğin, X: +19200th ve Y: -250th olan bir delme koordinatı için kontrol ünitesine yollanacak veriler şu şekilde hesaplanır:

$$X: 19200 \times 0,0648 = 1244,16 \approx 1244$$

$$Y: 250 \times 0,0648 = 16,2 \approx 16$$

Bu şekilde elde edilen veriler aşağıdaki formatta kontrol ünitesine yollanır.

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Byte | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Veri | d | p | 0 | 1 | 2 | 4 | 4 | n | 0 | 0 | 0  | 1  | 6  | \r |

Aynı şekilde X: 320px ve Y: 178px olan bir kazıma koordinatı için kontrol ünitesine yollanacak veriler şu şekilde hesaplanır:

100dpi için,

$$X: 320 \times 6,5 = 2080$$

$$Y: 178 \times 6,5 = 1157$$

600dpi için,

$$X: 320 \times 1,083 = 346,56 \approx 347$$

$$Y: 178 \times 1,083 = 192,774 \approx 193$$

Bu şekilde elde edilen veriler aşağıdaki formatlarda kontrol ünitesine yollanır.

100dpi:

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| Byte | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Veri | o | 0 | p | 0 | 2 | 0 | 8 | 0 | p | 0 | 1  | 1  | 5  | 7  | \r |

600dpi:

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| Byte | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Veri | o | 0 | p | 0 | 0 | 3 | 4 | 7 | p | 0 | 0  | 1  | 9  | 3  | \r |

Kazıma dosyasındaki piksel verileri daima pozitif olmaktadır. Veri dizisindeki 1. bit kazıyıcı kafanın konumunu belirtmektedir. “0” bilgisi kafanın kazıma yapmayacağını ve sadece bir sonraki koordinata gideceğini gösterirken “1” bilgisi kafanın kazıma yapacağı bilgisini taşır. Son olarak oyulacak blok kalınlığı 4cm ve X: 1,5 Y: 2,25 Z: 3,6 olan bir 3D oyma koordinatı için kontrol ünitesine yollanacak veriler şu şekilde hesaplanır:

$$X: 1,5 \times 25,5 = 38,25 \approx 38$$

$$Y: 2,25 \times 25,5 = 57,375 \approx 57$$

$$Z: (4- 3,6) \times 40 = 16$$

Bu şekilde elde edilen veriler aşağıdaki formatlarda kontrol ünitesine yollanır.

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Byte | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Veri | e | 0 | 0 | 3 | 8 | 0 | 0 | 5 | 7 | 0 | 0  | 1  | 6  | \r |

Bilgisayar ara yüzü çalışmaya başladığı anda ilgili bilgisayar üzerinde COM 1'den COM 17'ye kadar, var olan seri portların listesini elde eder. Bu listede, genelde modem için kullanılan COM 3 yoktur. Ardından çok sekmeli kullanıcı penceresi açılır. Bu pencere üzerinde delme, kazıma ya da oyma dosyalarını açılabilme için seçenekler bulunur. Kullanıcı herhangi bir dosyayı açtığında program ilgili dosyaya ait sekmeye geçer ve dosya hakkındaki bilgiler burada listelenir. Kullanıcı isterse dosya çıktısının ön izlemesini yapabileceği sekmeye geçip çizim yaptırabilir.

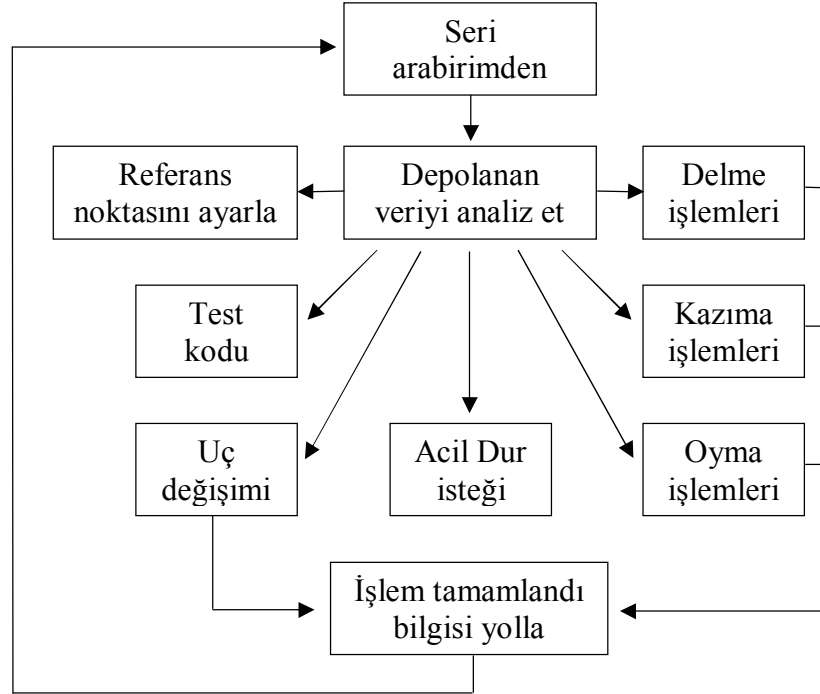
CNC'de işleme başlamadan önce seri iletişimin sağlandığının teyidi için ara yüz üzerinde bir test butonu mevcuttur. Ayrıca kafayı tezgâhın referans noktasına otomatik olarak taşıyacak bir buton da bulunmaktadır.

Kullanıcı delme işlemi için ister tek bir uçla, isterse de uç değişimi seçeneğini aktif ederek birden farklı uçla işlemi gerçekleştirebilmektedir. Kazıma ve oyma işlemleri için tek uç kullanımına izin verilmektedir. 3D oyma işlemi için koordinatlar, kullanılacak ucun kalınlığına göre elde edildiği için uç değişimine gerek görülmemiştir. Kazıma işlemi içinse genelde PCB kazıma yapıldığından ince yolların düzgün olarak elde edilebilmesi adına ince bir kazıma ucu kullanmak tercih edilmelidir.

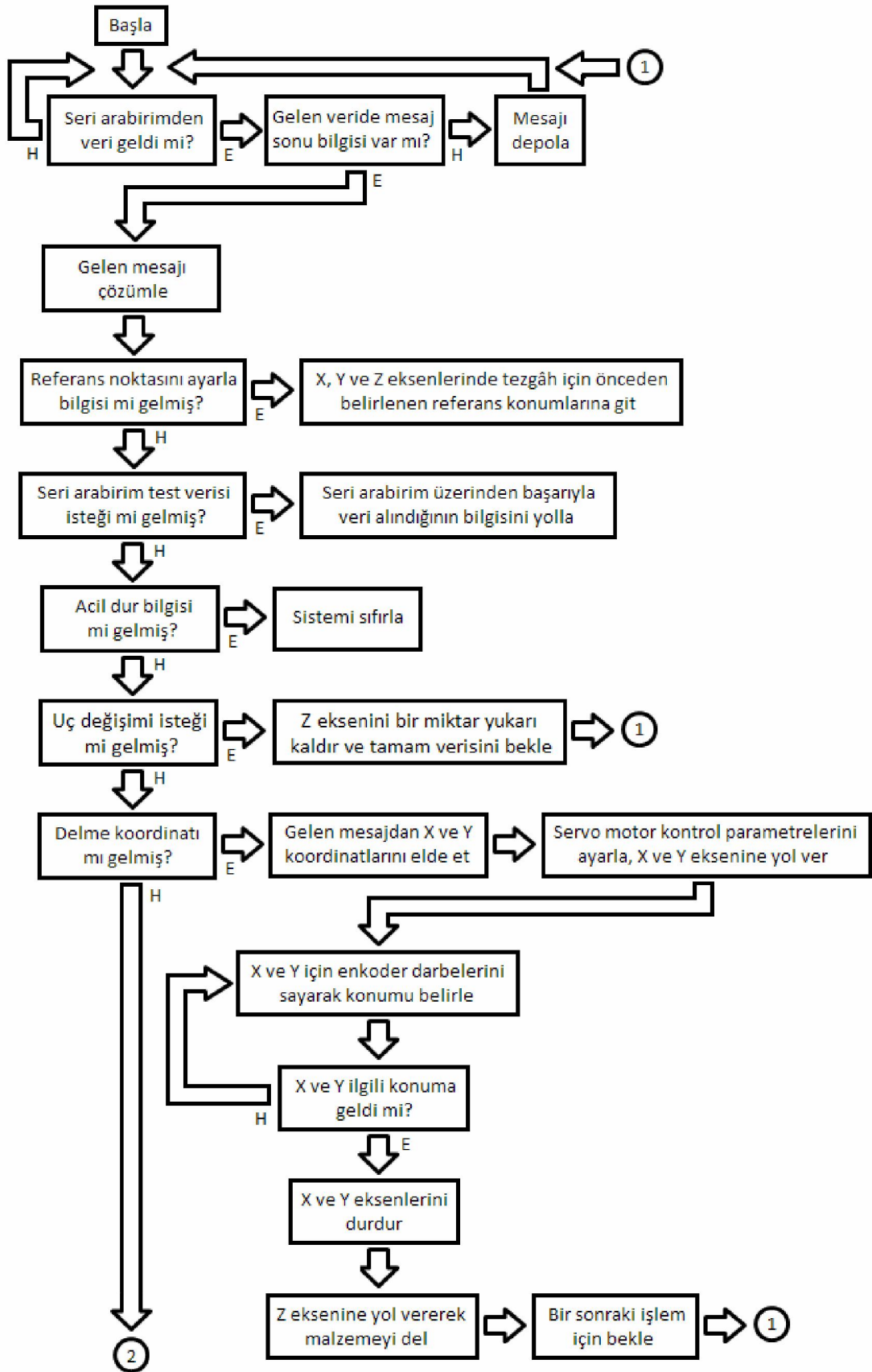
İşleme başladıktan sonra ara yüz ilgili koordinatı uygun formatta tezgâh kontrol ünitesine iletir ve ilgili koordinata gidildiğinin teyidini beklemeye başlar. Kontrol ünitesi ara yüze "OK" bilgisini gönderdiği zaman ara yüz bir sonraki koordinatı gönderecek ve bir önceki durumu ön izleme penceresine çizecektir. Bu işlem iki şekilde duraklayabilir. Birinci olasılık delme işlemi sırasındaki uç değişimi isteğinin gelmesidir. Bu durumda ara yüz üzerinde "Uç değişimi bekleniyor" ifadesi gözükecek, kontrol ünitesi ise CNC delme kafasını ucun değiştirilebilmesi için bir miktar yukarı kaldıracaktır. İkinci seçenek ise kullanıcının ara yüz üzerinden işlemi duraklatmasıdır. Aynı şekilde "Devam Et" seçeneği ile işleme kalındığı yerden devam edilebilmektedir. İşlem devam ederken ara yüzden "Acil Dur" seçeneğine basılmaz ve bütün koordinatlar işlenirse, kontrol ünitesi işlemin tamamlandığı bilgisini ara yüze yollar ve kafayı otomatik olarak tezgâh referans noktasına taşır.

### 3.4.2. Tezgâh Kontrol Ünitesinin Çalışması

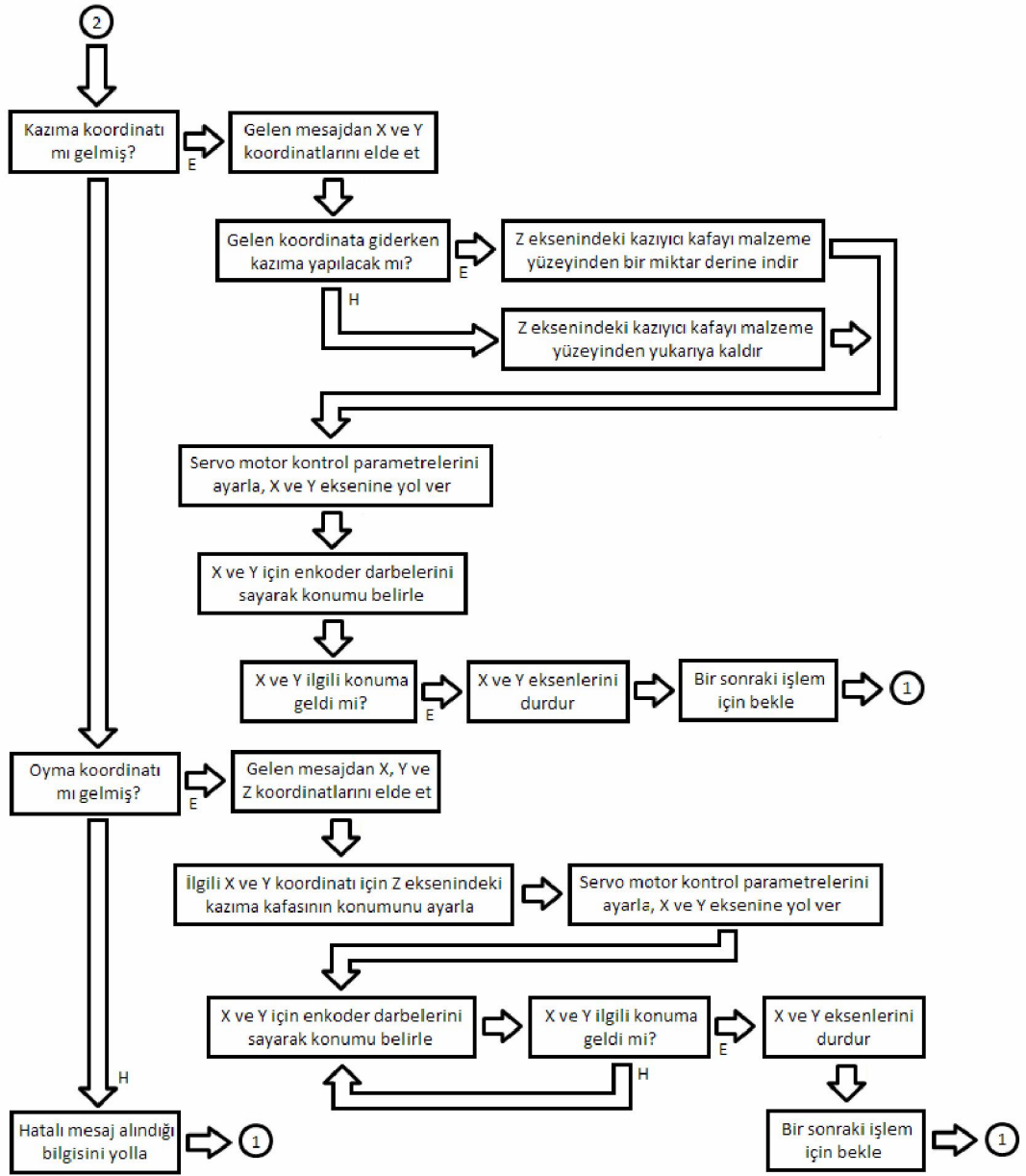
Tezgâh kontrol ünitesinin çalışma şekli sürekli olarak komut bekleme temeline dayanır. Mikro denetleyicinin donanımsal seri arabirimi, kendisine gelen mesajları bir tampon alanda depolar. Mesaj sonlandırma işareti olan “\r” alındığı zaman bu tampon alandaki verinin ne olduğunun analizi yapılır ve buna göre gerekli bileşenler kontrol edilerek işlemler gerçekleştirilir. Bir işlem adımı bittiği zaman bilgisayar ara yüzüne işlemin tamamlandığını bildirmek için “OK” verisi yollanır ve bir sonraki komut beklenir. Tezgâh kontrol sistemi programının çalışmasına ilişkin blok diyagram Şekil 3.24’te, algoritması ise Şekil 3.25’te verilmiştir.



Şekil 3.24: Tezgâh kontrol sisteminin blok diyagramı

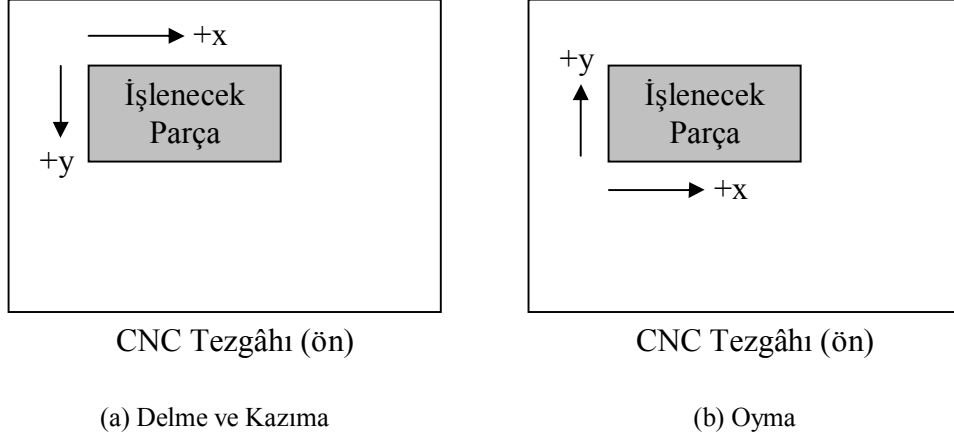






Şekil 3.25: Tezgâh kontrol sisteminin algoritması

Sistemde tezgâha bağlanacak işin referans noktasının tespiti önem taşımaktadır. Bilgisayar ara yüzü üzerinden dosya çıktı ön izlemesi yapıldığında delme ve kazıma için bu referans noktaları görülebilmektedir. Oyma işlemi için bu ön izleme olmadığından referans noktasını görmek mümkün değildir. Yapılacak işlemlere göre referans noktaları Şekil 3.26’da verilmiştir.



Şekil 3.26: CNC'ye bağlanan iş için referans noktaları

### 3.5. Teknik Bilgiler

Sistemde, oluşturulan yapı gereği kontrol devresi ile adım ve servo sürücüler arasında iletişimin sağlanması gerekmektedir. Gerek güç gereksinimi gerekse sinyalizasyon adına gerekli noktalarda kablo ile iletişim sağlanmıştır. Hangi kablunun hangi çıkıştan nereye gittiği ve hangi amaca hizmet ettiği bilgisi toplu halde bu başlık altında verilmiştir.

#### Güç Kablosu

Güç kablosu, kontrol devresi üzerinden +24VDC gerilimi TLD13 servo sürücülere taşıyan kablodur. Kablo iki damarlı ve ekranlı olup yapısı Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Güç kablosunun yapısı

| Renk       | İşlev  | Kontrol devresi çıkış ucu |
|------------|--------|---------------------------|
| Kahverengi | +24VDC | +24V OUT                  |
| Beyaz      | GND    | GND1 OUT                  |

#### Sinyal Kablosu

Sinyal kablosu, kontrol devresi üzerinden kontrol sinyallerini TLD13 servo sürücülere taşıyan kablodur. Kablo sekiz damarlı ve ekranlıdır. Kablonun iki damarı kullanılmamış olup yapısı Tablo 3.3'te verilmiştir.

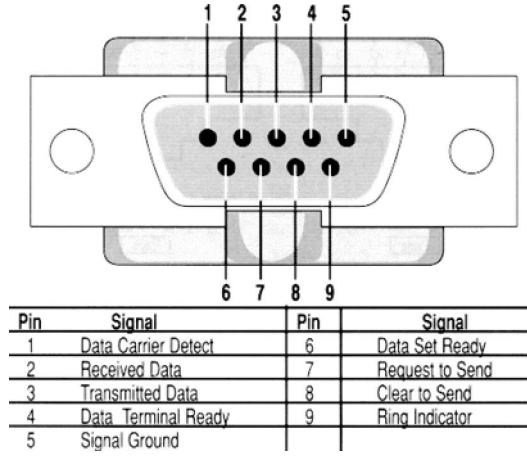
Tablo 3.3: Sinyal kablosunun yapısı

| Renk    | İşlev                    | Kontrol Devresi Çıkış Ucu |
|---------|--------------------------|---------------------------|
| Yeşil   | Motor X Başla/Dur        | Motor X Autom             |
| Beyaz   | Motor X Kontrol Gerilimi | Servo X                   |
| Sarı    | Motor X Encoder Sinyali  | Encoder X                 |
| Kırmızı | Motor Y Başla/Dur        | Motor Y Autom             |
| Mavi    | Motor Y Kontrol Gerilimi | Servo Y                   |
| Pembe   | Motor Y Encoder Sinyali  | Encoder Y                 |

### Seri Arabirim Kablosu

Seri arabirim kablosu, kontrol devresi ile bilgisayar arasındaki iletişimi sağlamaktadır. Kablo yaklaşık iki buçuk metre uzunluğunda, sekiz damarlı ve ekranlı olup tüm pinleri kullanılmaktadır. Ekran yalıtımı, GND pini yerine kullanılmıştır.

Standart bir bilgisayarda seri port çıkış pinleri Şekil 3.27'deki gibidir. Buna göre oluşturulan seri arabirim kablosunun yapısı Tablo 3.4'de verilmiştir.



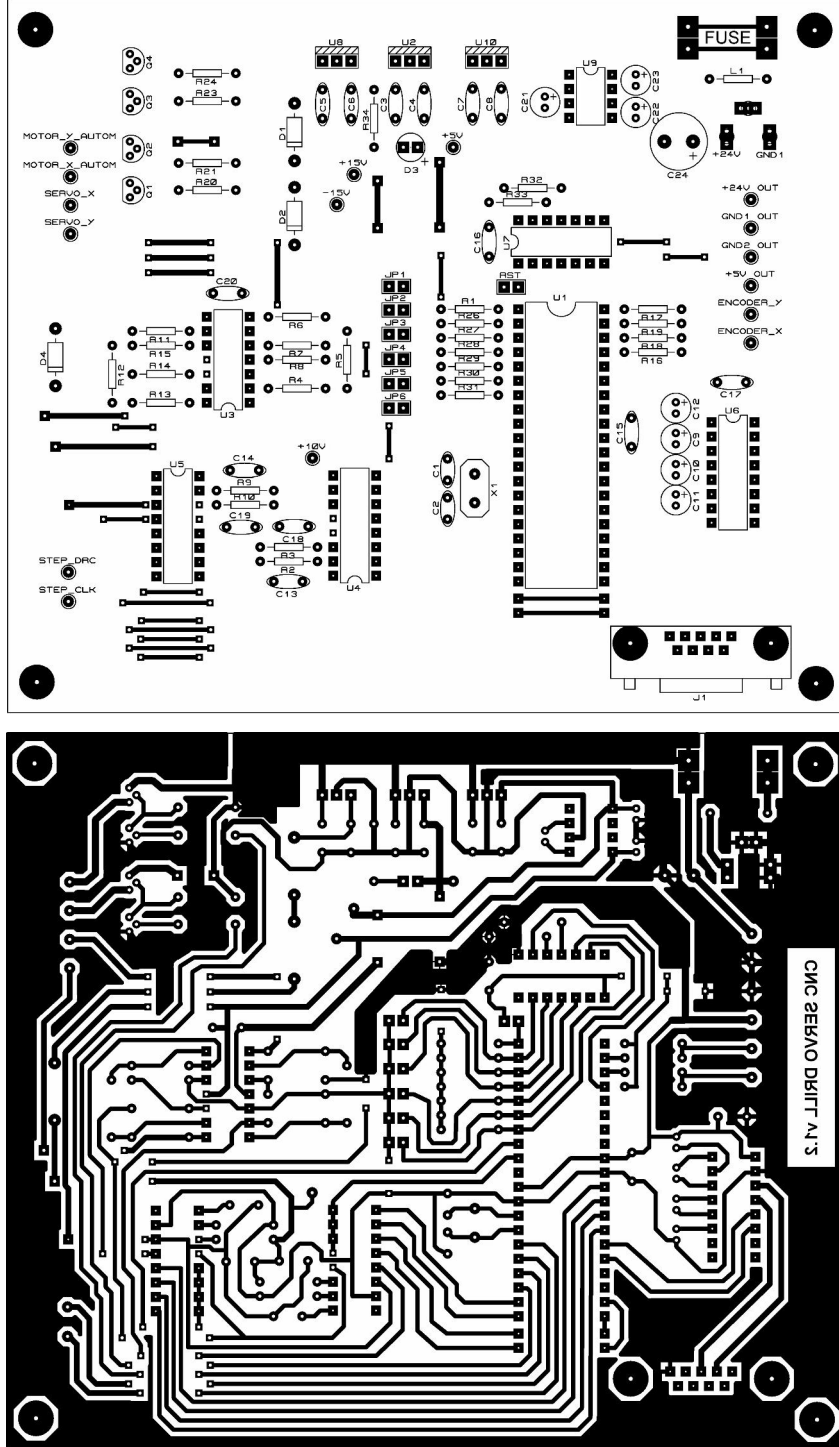
Şekil 3.27: Standart seri ara birim

Tablo 3.4: Seri ara birim kablosunun yapısı

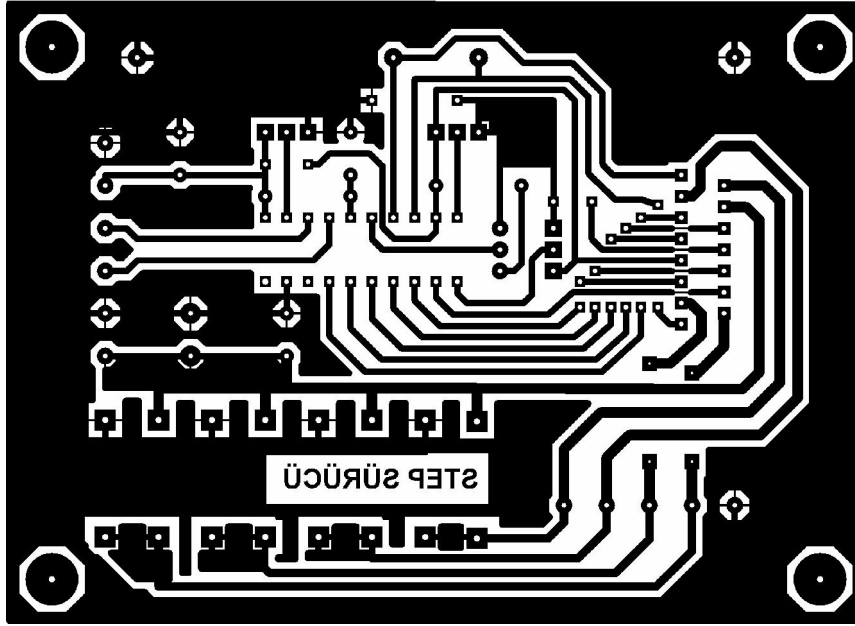
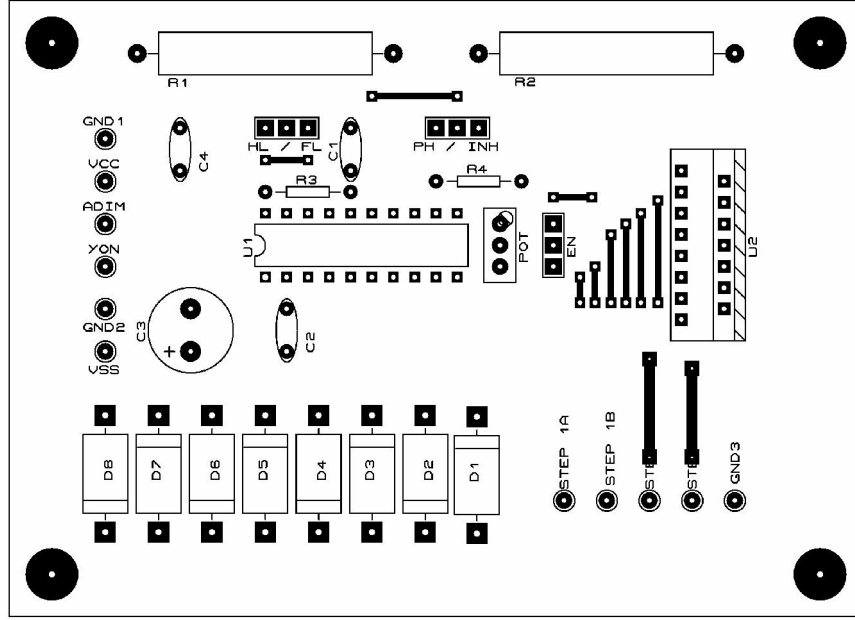
| Pin No | Renk           |
|--------|----------------|
| 1      | Mavi           |
| 2      | Kırmızı        |
| 3      | Kahverengi     |
| 4      | Beyaz          |
| 5      | Ekran Yalıtımı |
| 6      | Pembe          |
| 7      | Gri            |
| 8      | Yeşil          |
| 9      | Sarı           |

## Baskı Devre ve Eleman Yerleşimi

Tasarımda elemanların yerleşimi ve giriş çıkış uçlarına ilişkin bilgiler topluca bu başlık altında verilmiştir. Şekil 3.28’de tezgâh kontrol devresi, Şekil 3.29’da ise adım motor sürücü devresine ait yerleşim planı ve baskı devre çıktıları verilmiştir.



Şekil 3.28: Kontrol ünitesinin yerleşim planı ve baskı devresi



Şekil 3.29: Adım motor sürücünün yerleşim planı ve baskı devresi

Tezgâh kontrol ünitesi ile adım motor sürücü arasındaki bağlantılar Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5: Tezgâh kontrol ünitesi ile adım motor sürücü arasındaki bağlantılar

| Kontrol Devresi Çıkış Ucu | Adım Motor Sürücü Giriş Ucu | İşlev                         |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| ADIM_DRC                  | YON                         | Dönüş yönü bilgisi            |
| ADIM_CLK                  | ADIM                        | Dönüş hızı                    |
| +5V OUT                   | VCC                         | Kontrol çipi besleme gerilimi |
| GND2 OUT                  | GND1                        | GND                           |
| -                         | VSS                         | Motor besleme gerilimi        |
| -                         | GND2                        | GND                           |

## Maliyet Analizi

Tasarlanan ve gerçekleştirilen sistemin maliyeti tablo 3.6’da gösterilmiştir.

Tablo 3.6: Gerçekleştirilen sistemin maliyet analizi

| <b>Bileşen</b>          | <b>Tutar</b>    |
|-------------------------|-----------------|
| Tezgâhın mekanik aksamı | 8.500TL         |
| Servo motorlar          | 470TL           |
| Servo motor srtcleri | 730TL           |
| Servo motor kabloları   | 360TL           |
| Adım motor              | 35TL            |
| Freze matkap            | 39TL            |
| Baskı devre kartı       | 15TL            |
| DC adaptörler           | 55TL            |
| Elektronik bileşenler   | 50TL            |
| CNC freze kesici uçlar  | 15TL            |
| Diğer masraflar         | 15TL            |
| <b>TOPLAM</b>           | <b>10.284TL</b> |

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada baz alınan tasarım kriterleri, üretilen CNC tezgâhının delme, kazıma ve oyma gibi temel işlevleri yerine getirebilmesi için gereken minimum yapıyı oluşturmayı amaçlamaktadır.

Bunun için çeşitli şekillerde elde edilmiş delme, kazıma ve oyma dosyalarını açabilen ve bu dosyalar hakkında temel bilgileri verebilen bir bilgisayar ara yüzü yazılmıştır. Bu ara yüz delme ve kazıma işlemleri için işlem öncesinde oluşacak şekli göstermekte, işlem sırasında ise işleyişi gösteren bir çizim yaparak kullanıcıyı bilgilendirmektedir. Delme işlemi için istenirse uç değişimi seçeneği sunmaktadır. İşleme başlamadan önce kullanıcı CNC tezgâhının kafasını, tezgâh referans noktasına otomatik olarak taşıyabilmektedir. Bilgisayar ara yüzü tüm bu işlemleri, tezgâh kontrol ünitesi ile RS232 haberleşme protokolünü kullanarak yapmaktadır.

Tezgâh kontrol ünitesi ise, bilgisayar ara yüzünden gelen mesajları depolamakta ve mesaj sonu bilgisi geldiğinde alınan mesajı çözümlenmektedir. Alınan mesajın içeriğine göre CNC eksenlerini kontrol etmek için DAC ve opamp'tan oluşan bir yapıyla analog servo kontrol sinyali üretmektedir. AC servo motor sürücülerin kontrolü için 0-5V olan TTL eşik seviyelerini gerektiği noktalarda 0-24V eşiğine anahtarlamaktadır. AC servo sürücülerden gelen enkoder darbelerini saymakta ve konum bilgisini elde etmektedir. Z ekseninde kullanılan adım motorun sürülebilmesi için adım motor kontrol devresine sinyal yollamaktadır. Devam eden bir işlem sırasında eksenlerden birisinde sona geldiğinde bunu algılayarak devam eden işlemi sonlandırmaktadır.

Sistem tüm bunları yapmanın yanında mevcut donanım ışığında yazılımsal olarak daha da geliştirilebilir. Elbette ki maliyetin el verdiği ölçüde donanımsal olarak çok daha gelişmiş sistemler oluşturmak da mümkündür. Bilgisayar ara yüzü için daha profesyonel programlar yazılabilir. Örneğin kazıma yollarının (outline) elde edilebilmesi için yardımcı bir yazılım kullanmak yerine, bu işlemi yapan bir kod ana

programa eklenebilir. Bunun yanında mevcut koordinatların minimum sürede işlenmesi için mevcut koordinat listesinden izlenecek yolu bir optimizasyon işlemi ile çıkaran kod, ana programa eklenebilir. Bu yapıldığı durumda sadece koordinatların yollanma sırası değişeceğinden tezgâh kontrol ünitesinde herhangi bir değişiklik yapmaya gerek olmadan sistemin çalışmaya devam etmesi sağlanabilir.

Donanımsal bir geliştirmeye gidilecekse daha çok çıkış ucuna sahip bir mikro denetleyici ile servo motor kontrol geriliminin daha hassas olarak kontrol edilmesi düşünülebilir ya da buna alternatif olarak seri girişli bir DAC tercih edilebilir. Bu çalışmada kullanılan mikro denetleyicinin çıkış uçları yetmediği için sistemde servo motor kontrol gerilimini üreten kısımda kullanılan paralel girişli DAC'ların sadece en anlamlı 4 biti ile bu analog servo kontrol gerilimi üretilmiştir. Bu durumda üretilebilecek en düşük simetrik servo kontrol gerilimi  $\pm 1,25V$  olmuştur. Kazıma ve oyma işlemleri sırasında kazıyıcı ucun kırılmaması için X ve Y eksenlerindeki hızın azaltılması gerekmiştir. Bunun için TLD13 AC servo motor sürücünün parametreleri değiştirilerek motor devirleri 500dv/dk'ya düşürülmüştür. Bu durumda  $\pm 1,25V$ 'taki hız, X ve Y eksenlerinde yaklaşık 63dv/dk olmaktadır. Bu hız altında 6mm'lik parmak freze ucu ile oyma işlemi yapılmış ve Şekil 3.20'deki çıktılar elde edilmiştir.

Sistemde yine çıkış uçlarının yetersizliği nedeniyle işlenecek malzemeye yaklaşma ya da dokunma verisinin elde edilmesi için bir sensör kullanılamamıştır. Bunun yerine kazıyıcı-delici kafa, göz kararı işlenecek malzeme üzerinde bir konuma getirilip işleme başlanmaktadır. Donanımsal olarak geliştirme yapılacaksa bu bilginin de elde edilmesi oldukça faydalı olacaktır.

Sistemde Z ekseninde kullanılan adım motor, ilgili konuma geldiğinde adım motor sürücü, motoru hareket etmemesi için kilitler. Bu kilitlenme, fazların uyarılması ve öylece tutulması ile sağlandığından ve bu sırada fazlar üzerinden akım geçtiğinden motor sargılarından çekilen bu akım, çalışma anındaki ortalama akımın yaklaşık iki katı olmakta ve motor bu kilitlenme anlarında normalden fazla ısınmaktadır. Bu nedenle adım motoru besleyecek kaynak, bu akım ihtiyacı göz önüne alınarak seçilmeli ve adım motor da eğer gerekiyorsa soğutulmalıdır. Bu çalışmada adım motoru bir fan yardımıyla soğutmak gerekmiştir. L298 entegresi devrede kullanılan



8W'lık adım motoru rahatlıkla sürebilmekte ve orta düzey bir soğutucu ile pasif olarak soğutulmaktadır. Kontrol devresinin besleme katındaki gerilim regülatörleri de çok ısınmamaktadır. Orta düzey bir soğutucu ile pasif olarak soğutulmaktadır.

Tezgâh kontrol ünitesinin tüm güç ihtiyacı 24VDC / 3A'lık bir SMPS adaptörden sağlanmaktadır. Bu gerilim bazı noktalarda hiçbir değişikliğe uğramadan aynen 24VDC olarak kullanılmış, bazı noktalarda ise besleme katı ve negatif gerilim üretici ile başka değerlere dönüştürülerek kullanılmıştır. Adım motor sürücü devresindeki adım motor besleme gerilimi ise 12VDC / 3A'lık bir SMPS adaptörden sağlanmaktadır.

Tüm bu tasarım ve uygulama ışığında tezgâhta kullanılan sonsuz vidanın adım aralığının 5,08mm olduğunu da hesaba katarak sistemde X, Y ve Z eksenlerinde alınabilecek minimum mesafeleri yani bir darbelik hareketleri hesaplırsak,

X ve Y ekseninde,

Servo motorların bir tur dönmesi için gerekli darbe sayısı: 197

Alınabilecek minimum yol yaklaşık  $5,08\text{mm} / 197 = 25,8\mu\text{m}$ 'dir.

Z ekseninde,

Kullanılan adım motorun adım açısı:  $1,8^\circ$

Adım motorun sürülme şekli: Tam adım

Bu durumda tam bir tur için 200 darbe gerekecektir. Bu durumda alınabilecek minimum yol yaklaşık  $5,08\text{mm} / 200 = 25,4\mu\text{m}$ 'dir.

Sistem istenen konuma gittiğinde ulaşılabilecek maksimum hata ise 1th yani  $25,4\mu\text{m}$ 'dir. Bunun nedeni bilgisayar ara biriminin ilgili koordinatı yollamadan önce bir ölçeklendirme yapması ve çıkan sonucun sadece tam sayı kısmını kontrol ünitesine yollamasıdır. Örneğin 190th ve 191th için bilgisayarda hesaplanan değerler sırasıyla 123,12 ve 123,768 olmakta ama bu değerlerin ikisi de kontrol ünitesine 123 olarak

yollanmaktadır. Bu durumda bu iki koordinat ayrı noktalar olsalar da kontrol ünitesi tarafından aynı nokta gibi algılanmaktadır.

## KAYNAKLAR

[1] DİNÇEL, M., “CNC Takım Tezgâhları”, Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü*, Tekirdağ, (1999)

[2] Microchip PIC Katalog Bilgileri, [online], [www.microchip.com](http://www.microchip.com), **(Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2008)**.

[3] Elektronik Eleman Katalog Bilgileri, [online], [www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com), **(Ziyaret Tarihi: 13 Kasım 2008)**.

[4] Schneider TwinLine Ara Yüz Yazılımı, [online], [http://www.modicon.com/nRepository/index.nsf/aa\\_getdocs?OpenAgent&prod=twinlinesof](http://www.modicon.com/nRepository/index.nsf/aa_getdocs?OpenAgent&prod=twinlinesof), **(Ziyaret Tarihi: 17 Kasım 2008)**.

[5] Schneider TwinLine Katalog Bilgileri, [online], <http://www.dosenmotor.de/index.php?scriptlet=DokuDB/Browser&id=1&catID=1367&language=de>, **(Ziyaret Tarihi: 18 Kasım 2008)**.

[6] Gerber RS-274X Format Reference, [online], [http://gerbv.sourceforge.net/docs/rs274xrevd\\_e.pdf](http://gerbv.sourceforge.net/docs/rs274xrevd_e.pdf), **(Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2008)**.

[7] Servo Motor Bilgileri, [online], <http://servochip.googlepages.com>, **(Ziyaret Tarihi: 20 Nisan 2009)**.

[8] Servo Motor Bilgileri, [online], [http://www.nxp.com/acrobat\\_download/applicationnotes/APPCHP3.pdf](http://www.nxp.com/acrobat_download/applicationnotes/APPCHP3.pdf), **(Ziyaret Tarihi: 22 Nisan 2009)**.

[9] Servo Motor Bilgileri, [online], <http://www.educypedia.be/electronics/powermotor.htm>, **(Ziyaret Tarihi: 22 Nisan 2009)**.

[10] Servo Motor Bilgileri, [online], <http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-7511.pdf>, **(Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2009)**.

[11] Servo Motor Bilgileri, [online], <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00900a.pdf>, **(Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2009)**.

[11] Servo Motor Bilgileri, [online], <http://www.technofandom.org/~hobbit/cars/training/m101.html#sld4>, **(Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2009)**.

[12] RS232 Protokolü, [online], <http://www.bilgininadresi.net/Madde/43392/Seri-&-Paralel-Haberle%C5%9Fme->, **(Ziyaret Tarihi: 03 Mayıs 2009)**.

[13] RS232-RS485 Protokolü, [online], <http://www.turksan.com/rs-232-rs-485.html>,  
**(Ziyaret Tarihi: 03 Mayıs 2009).**

[14] RS232 Protokolü, [online], [http://www.epinions.com/content\\_1190371460](http://www.epinions.com/content_1190371460),  
**(Ziyaret Tarihi: 03 Mayıs 2009).**

[15] RS232 Protokolü, [online],  
[http://electronica.ugr.es/~amroldan/modulos/temas\\_tecnicos/rs232/index.htm](http://electronica.ugr.es/~amroldan/modulos/temas_tecnicos/rs232/index.htm),  
**(Ziyaret Tarihi: 03 Mayıs 2009).**

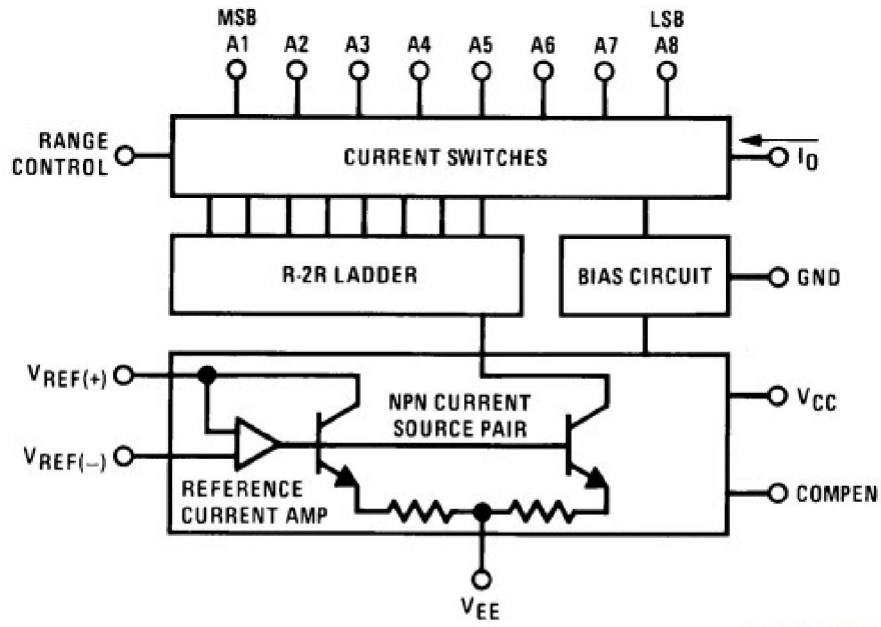
[16] Adım Motor Bilgileri, [online],  
<http://www.stepperworld.com/Tutorials/pgBipolarTutorial.htm>, **(Ziyaret Tarihi: 05 Mayıs 2009).**

[17] Adım Motor Bilgileri, [online], <http://www.t-robot.info/dosyalar/download-document/25-stepadim-motorlar.html>, **(Ziyaret Tarihi: 05 Mayıs 2009).**

[18] Adım Motor Bilgileri, [online], <http://www.teknomerkez.net/makale.asp?b=92>,  
**(Ziyaret Tarihi: 05 Mayıs 2009).**

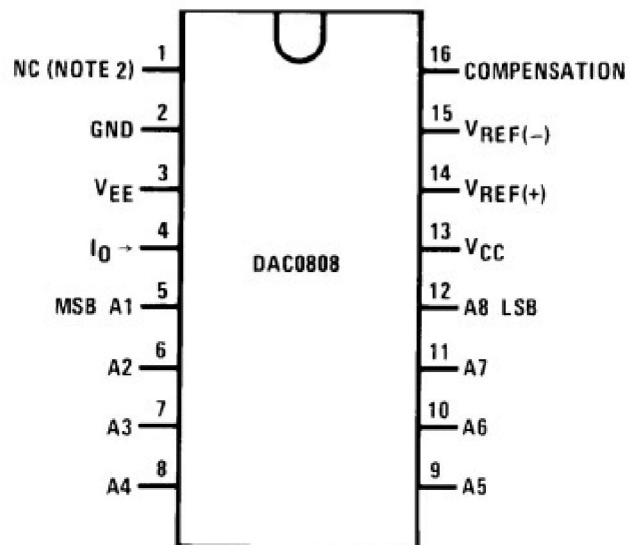
## EKLER

### EK A. DAC0808LCN'nin Yapısı



DS005687-1

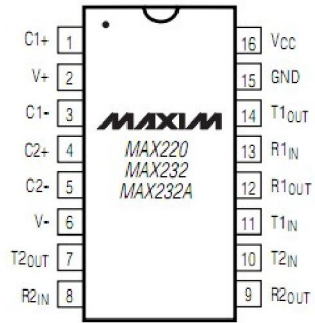
### Dual-In-Line Package



DS005687-2

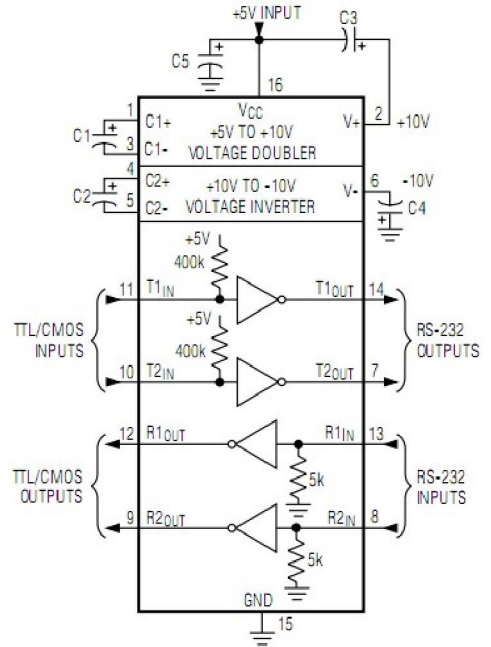
## EK B. MAX232'nin Yapısı

TOP VIEW



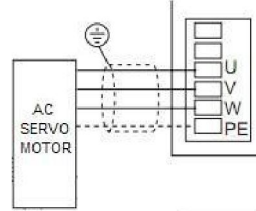
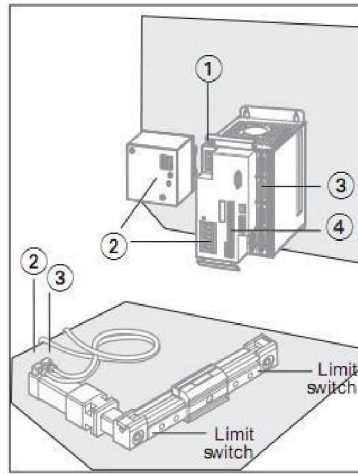
DIP/SO

| DEVICE  | CAPACITANCE ( $\mu\text{F}$ ) |     |     |     |     |
|---------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|         | C1                            | C2  | C3  | C4  | C5  |
| MAX220  | 4.7                           | 4.7 | 10  | 10  | 4.7 |
| MAX232  | 1.0                           | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| MAX232A | 0.1                           | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

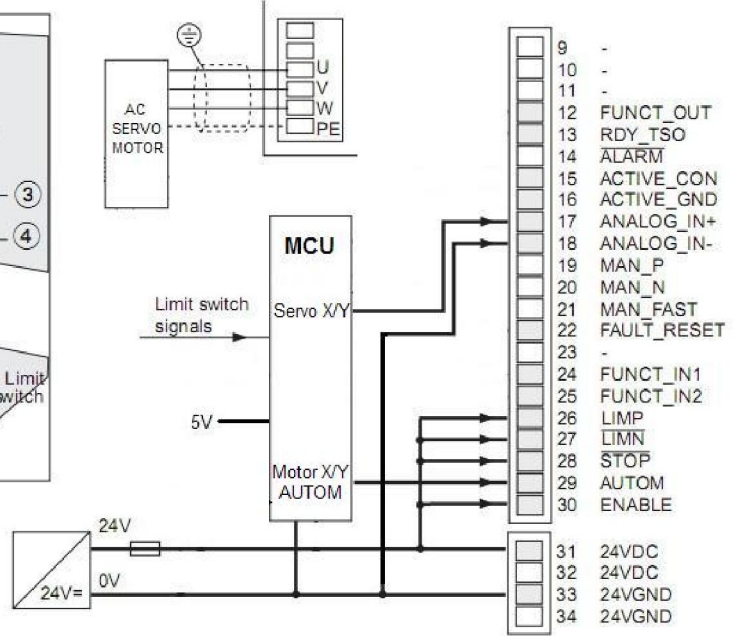


## EK C. TLD13'ün Çıkışları ve MCU ile Bağlantısı

- ① Mains connection
- ② Motor connection + TLHBC brake controller
- ③ Position feedback
- ④ Signal interface



— Signal interface minimum wiring



## EK D. PIC16F877 için Baud Hata Oranları

**BAUD RATES FOR ASYNCHRONOUS MODE (BRGH = 0)**

| BAUD RATE (K) | Fosc = 20 MHz |         |                       | Fosc = 16 MHz |         |                       | Fosc = 10 MHz |         |                       |
|---------------|---------------|---------|-----------------------|---------------|---------|-----------------------|---------------|---------|-----------------------|
|               | KBAUD         | % ERROR | SPBRG value (decimal) | KBAUD         | % ERROR | SPBRG value (decimal) | KBAUD         | % ERROR | SPBRG value (decimal) |
| 0.3           | -             | -       | -                     | -             | -       | -                     | -             | -       | -                     |
| 1.2           | 1.221         | 1.75    | 255                   | 1.202         | 0.17    | 207                   | 1.202         | 0.17    | 129                   |
| 2.4           | 2.404         | 0.17    | 129                   | 2.404         | 0.17    | 103                   | 2.404         | 0.17    | 64                    |
| 9.6           | 9.766         | 1.73    | 31                    | 9.615         | 0.16    | 25                    | 9.766         | 1.73    | 15                    |
| 19.2          | 19.531        | 1.72    | 15                    | 19.231        | 0.16    | 12                    | 19.531        | 1.72    | 7                     |
| 28.8          | 31.250        | 8.51    | 9                     | 27.778        | 3.55    | 8                     | 31.250        | 8.51    | 4                     |
| 33.6          | 34.722        | 3.34    | 8                     | 35.714        | 6.29    | 6                     | 31.250        | 6.99    | 4                     |
| 57.6          | 62.500        | 8.51    | 4                     | 62.500        | 8.51    | 3                     | 52.083        | 9.58    | 2                     |
| HIGH          | 1.221         | -       | 255                   | 0.977         | -       | 255                   | 0.610         | -       | 255                   |
| LOW           | 312.500       | -       | 0                     | 250.000       | -       | 0                     | 156.250       | -       | 0                     |

| BAUD RATE (K) | Fosc = 4 MHz |         |                       | Fosc = 3.6864 MHz |         |                       |
|---------------|--------------|---------|-----------------------|-------------------|---------|-----------------------|
|               | KBAUD        | % ERROR | SPBRG value (decimal) | KBAUD             | % ERROR | SPBRG value (decimal) |
| 0.3           | 0.300        | 0       | 207                   | 0.3               | 0       | 191                   |
| 1.2           | 1.202        | 0.17    | 51                    | 1.2               | 0       | 47                    |
| 2.4           | 2.404        | 0.17    | 25                    | 2.4               | 0       | 23                    |
| 9.6           | 8.929        | 6.99    | 6                     | 9.6               | 0       | 5                     |
| 19.2          | 20.833       | 8.51    | 2                     | 19.2              | 0       | 2                     |
| 28.8          | 31.250       | 8.51    | 1                     | 28.8              | 0       | 1                     |
| 33.6          | -            | -       | -                     | -                 | -       | -                     |
| 57.6          | 62.500       | 8.51    | 0                     | 57.6              | 0       | 0                     |
| HIGH          | 0.244        | -       | 255                   | 0.225             | -       | 255                   |
| LOW           | 62.500       | -       | 0                     | 57.6              | -       | 0                     |

**BAUD RATES FOR ASYNCHRONOUS MODE (BRGH = 1)**

| BAUD RATE (K) | Fosc = 20 MHz |         |                       | Fosc = 16 MHz |         |                       | Fosc = 10 MHz |         |                       |
|---------------|---------------|---------|-----------------------|---------------|---------|-----------------------|---------------|---------|-----------------------|
|               | KBAUD         | % ERROR | SPBRG value (decimal) | KBAUD         | % ERROR | SPBRG value (decimal) | KBAUD         | % ERROR | SPBRG value (decimal) |
| 0.3           | -             | -       | -                     | -             | -       | -                     | -             | -       | -                     |
| 1.2           | -             | -       | -                     | -             | -       | -                     | -             | -       | -                     |
| 2.4           | -             | -       | -                     | -             | -       | -                     | 2.441         | 1.71    | 255                   |
| 9.6           | 9.615         | 0.16    | 129                   | 9.615         | 0.16    | 103                   | 9.615         | 0.16    | 64                    |
| 19.2          | 19.231        | 0.16    | 64                    | 19.231        | 0.16    | 51                    | 19.531        | 1.72    | 31                    |
| 28.8          | 29.070        | 0.94    | 42                    | 29.412        | 2.13    | 33                    | 28.409        | 1.36    | 21                    |
| 33.6          | 33.784        | 0.55    | 36                    | 33.333        | 0.79    | 29                    | 32.895        | 2.10    | 18                    |
| 57.6          | 59.524        | 3.34    | 20                    | 58.824        | 2.13    | 16                    | 56.818        | 1.36    | 10                    |
| HIGH          | 4.883         | -       | 255                   | 3.906         | -       | 255                   | 2.441         | -       | 255                   |
| LOW           | 1250.000      | -       | 0                     | 1000.000      | -       | 0                     | 625.000       | -       | 0                     |

| BAUD RATE (K) | Fosc = 4 MHz |         |                       | Fosc = 3.6864 MHz |         |                       |
|---------------|--------------|---------|-----------------------|-------------------|---------|-----------------------|
|               | KBAUD        | % ERROR | SPBRG value (decimal) | KBAUD             | % ERROR | SPBRG value (decimal) |
| 0.3           | -            | -       | -                     | -                 | -       | -                     |
| 1.2           | 1.202        | 0.17    | 207                   | 1.2               | 0       | 191                   |
| 2.4           | 2.404        | 0.17    | 103                   | 2.4               | 0       | 95                    |
| 9.6           | 9.615        | 0.16    | 25                    | 9.6               | 0       | 23                    |
| 19.2          | 19.231       | 0.16    | 12                    | 19.2              | 0       | 11                    |
| 28.8          | 27.798       | 3.55    | 8                     | 28.8              | 0       | 7                     |
| 33.6          | 35.714       | 6.29    | 6                     | 32.9              | 2.04    | 6                     |
| 57.6          | 62.500       | 8.51    | 3                     | 57.6              | 0       | 3                     |
| HIGH          | 0.977        | -       | 255                   | 0.9               | -       | 255                   |
| LOW           | 250.000      | -       | 0                     | 230.4             | -       | 0                     |



## ÖZGEÇMİŞ

1983, İstanbul doğumludur. İlk ve orta öğrenimini tamamladıktan sonra İstanbul Maltepe Halit Armay Süper Lisesi'ni bitirmiştir. (2001)

2002 yılında dört yıllık Kocaeli Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nü kazanmış, buradaki öğrenimini 2006 yılında tamamlamıştır.

Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. 2009 yılının bahar döneminde mezun olmuştur.

**İlgi ve Çalışma Alanı:** Kontrol ve Otomasyon Sistemleri, PLC ve SCADA Sistemleri, Mikroişlemci ve Mikro Denetleyici Uygulamaları, Veri Toplama.