



T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KARTEZYEN ROBOT
TASARIMI

İBRAHİM ÖZYALÇIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANTAKYA
TEMMUZ-2006

Mustafa Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Y.Doç.Dr. Selçuk MISTIKOĞLU danışmanlığında, İbrahim ÖZYALÇIN tarafından hazırlanan bu çalışma 08 / 09 / 2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Y.Doç.Dr. Selçuk MISTIKOĞLU	İmza:
Üye : Y.Doç.Dr. Hakan YAVUZ	İmza:
Üye : Y.Doç.Dr. Ersin ÖZDEMİR	İmza:

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

İmza

08 / 09 / 2006

Kod No:

Prof. Dr. Cemal TURAN
Enstitü Müdürü V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÖNSÖZ	III
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Manipülatörler.....	4
2.2 Eklem Yapıları ve Linkler	6
2.3. ROBOTLARIN SINIFLANDIRILMASI	9
2.3.1. Robot Hareketinin Eksenleri.....	9
2.3.2. Çalışma Alanı / Uzayı.....	10
2.3.3. Robot Tiplerine Göre Sınıflandırma.....	14
2.3.4. Kartezyen Paralel Manipülatörler ve Dönüşümler	16
2.3.5. Manipülatörün Geometrisi.....	17
2.3.6. İleri Kinematik Analiz	19
2.3.7. Robot Sisteminin Jacobian Matrisi.....	20
2.3.8. İleri ve Ters Kinematik Analiz.....	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1 Adım (Stepper) Motorları.....	24
3.2. Kontrol Kartı ve Adım Motoru Sürücü Devresi	27
3.2.1 UCN5804 Adım Motoru Sürücü Devresi	29
3.2.2. L297-L298 Adım Motoru Sürücü Devresi	29
3.2.3. Osilator Devresi.....	31
3.2.4. Optik Bağlantı ile İzolasyon Devresi	32
3.2.5 Sınır Anahtarları.....	33
3.2.6 Güç Kaynağı	34
3.2.7 Yazılım ve Bilgisayar ile Kontrol	35

3.2.7.1.MACH IV CNC Kontrol Programı	43
3.2.7.2. EZ-CNC Kontrol Programı	46
3.3 Mekanik Sistem Konstrüksiyon Tasarımı	50
3.3.1 Gövde Tasarımı	50
3.3.2 Doğrusal Hareket Sistem Tasarımı.....	51
3.3.3.Montaj Pabuçları Tasarımı.....	52
3.3.4. Sabit ve Hareketli Taşıyıcı Elemanların Tasarımı	53
3.3.5. Millerin Tasarımı.....	54
3.3.6. Lineer Rulmanlar.....	54
3.3.7 Mafsallar ve Kolların Tasarımı	55
3.3.8.Taşıyıcı Platform Tasarımı	59
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	61
4.1. Tek Eksende Belirli Bir Doğrultuda Hareket	62
4.2. İki Eksende Farklı Zamanlı Hareket	63
4.3. İki Eksende Eş Zamanlı Hareket.....	64
4.4. Üç Eksende Eş Zamanlı Hareket	65
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	69
EKLER.....	70
EK 1: İMALAT DETAY RESİMLERİ	70
EK 2: KARTEZYEN ROBOT RESİMLERİ	75
EK 3: ELEKTRONİK BİLEŞENLERİN BİLGİ YAPRAKLARI	78

ÖZET**KARTEZYEN ROBOT TASARIMI**

Gelişmiş ülkelerdeki imalat sistemleri incelendiğinde otomasyon teknolojilerinin ve robot manipülatörlerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu sistemler içerisinde en önemli otomasyon grubu açık yapıli uyarlanabilir olanlardır. Ancak günümüzde robot üreticileri ürettikleri sistemlerin mimari yapılarını kapalı tutarak hem teknolojilerini korumakta hem de robotların kullanım alanlarını sınırlamaktadırlar. Açık bir sistem esnekli ve farklı uygulamalara uyarlanabilir. Tasarımı yapılan sistemin her hangi bir kısmı yenisi ile değiştirilebilir veya geliştirilebilir.

Bu çalışmanın amacı açık yapıya sahip bir robot sisteminin alt yapısını oluşturmaktır. Robotun mekanik kısmı birbirinden bağımsız olarak (x, y, z eksenlerinde) hareket eden kollar ve platformdan oluşan bir yapıya sahiptir. Mekanik parçalar özel olarak tasarlanmıştır ve imal edilmiştir. Sistemin kontrolü(hız ve yön kontrolü), paralel port üzerinden sürülerek yapılır. Adım motorları vasıtası ile gerekli kol hareketleri gerçekleştirilmiştir. Sisteme takip edilecek yol bilgisi DXF dosya formatında iletilmektedir. Ara programlar kullanılarak bu yol bilgisi kol hareketlerine çevrilebilmektedir. Robot kollarının hareket hassasiyeti tam adımda ve yarım adımda sırası ile 0.006250 ve 0.003125 mm olarak gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı platforma kalem takılarak çizici olarak, oksigaz aparatı takılarak bilgisayar kontrollü kesme makinesi olarak test edilmiştir. Testler sonucunda hareket ve boyut hassasiyetinde istenilen değerlere ulaşılmıştır.

2006, 97 sayfa

Anahtar Kelimeler: Manipülatör, Bilgisayar destekli kontrol, Kartezyen Robot

ABSTRACT**THE PROJECTION OF CARTESIAN ROBOT**

Examining the manufacturing systems in developed countries it is seen that automation technologies and robot manipulators are widely used. Amongst these, the open structure automation systems are the most important due to their flexibility feature. Nowadays, the robot manufacturer produce systems with embedded structure thereby not only protect their technology but also restrict the implementation area these systems. An open system is flexible and adaptable to different implementations. The designed system is an open system that allows replacing any part of module with a new one or permits modifications.

The aim of the study is to design and develop an open structure robot system to provide the necessary grounds for future developments. The mechanical structure of the robot consists of a platform and arms that operate in each axis (x, y, z) independently. All the mechanical components of the system are designed and manufactured specially for the study. The control application of the robot is achieved by driving step motors (speed and direction control) through which the arm motions are achieved. The required path information to the system is provided by a DXF file format. The path is then converted to arm motions by use of some interface programs. The accuracy of robot arms motion for full step and half step is achieved at 0,00625 and 0,003125 mm, respectively. To test the performance of the device, it is used as a plotter by fixing a pen to the platform, and as a cutter by attaching an oxi-gas cutter apparatus. It is shown by experiments that the performance of the system in terms of motion and form is satisfactory.

2006, 97 pages

Key Words: Manipulator, Computer aided Control, Cartesian Robot

ÖNSÖZ

Günümüzde endüstriyel uygulamalarda çok çeşitli robotlar hemen her alanda hızla yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bir robot sisteminin prototip olarak tasarlanması ve üretilmesi, bilgi birikimi ve koordineli çalışmayı gerektirir. Çünkü algılayıcılar, harekete geçiriciler, mekanik şase, yataklar, kolların tasarımı, üretilmesi ve montajı, üretilen robot sistemin hız, yön, pozisyon gibi parametrelerle kontrol edilmesi oldukça önem taşır.

Yukarıda bahsedilen tüm bu işlemler mekanik, elektronik ve bilgisayar gibi mühendislik bilim dallarının ortaklaşa çalışması ile ancak hayata geçirilebilmektedir. Bu tezde açık mimari yapıya sahip genel amaçlı, kullanıcının kullanım amacını kendisinin belirleyebileceği, yazılım olarak geliştirilebilir ve deneysel çalışmanın yapılabileceği kartezyen robotu atölye olanaklarıyla çok düşük maliyetle hayata geçirilmiştir. Yaklaşık olarak 1500 YTL civarında bir maliyetle bahsedilen tüm özellikleri sağlayan kartezyen robotun üretimi gerçekleştirilmiştir. Robotun endüstride kullanılabilmesi için aşılması gereken birkaç sorun olsa da maliyeti oldukça gelecek vaat etmektedir.

Yüksek Lisans tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Y. Doç. Dr. Selçuk MISTIKOĞLU' na (Mustafa Kemal Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fakültesi), Y. Doç. Dr. Hakan YAVUZ'a (Mustafa Kemal Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fakültesi), Y. Doç. Dr. Ersin ÖZDEMİR'e (Mustafa Kemal Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fakültesi), makine teknikeri Muzaffer BELLİ'ye, elektronik çalışanı Turgut KARA'ya, Öğr.Grv. Salih ARSLAN'a, İskenderun Meslek Yüksekokulu çalışanlarına ve çalışmalarımda bana destek olan eşime ve herkese teşekkürlerimi sunarım.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

O	sistemin genel orijin yada referans noktası
P	kayar mafsalsal tipi
R	dönel mafsalsal tipi
B_i	platform üzerindeki i nolu kola karşılık gelen dönel mafsalsal bağlantı noktası
A_i	platform üzerindeki i nolu kola karşılık gelen dönel mafsalsal bağlantı noktası
l_{ij}	i nolu kolun j elemanının uzunluğu
M_i	i nolu kol dirsek noktası
P	robot platformunun referans noktası
P_x	robot platformunun referans noktasının X eksen koordinatı
P_y	robot platformunun referans noktasının Y eksen koordinatı
P_z	robot platformunun referans noktasının Z eksen koordinatı
Z_i	i nolu kayar mafsalların hareket eksenlerini belirtir vektörler
Δd_i	i nolu eksenlerdeki kayar mafsalsal hareket genliği
d_i	i nolu kayar mafsalsalının konumu
X_i, Y_i, Z_i	i nolu kol grubuna ait yerel eksen takımı
l_3	robot taşıyıcı platformunun mafsallarını birleştiren çemberin çapı
$\theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{i3}$	i nolu kola ait uzuvlar arası açılar
$\theta_{ia}, \theta_{ib}, \theta_{ij}$	i nolu kola ait yerel eksen takımına göre açısal konumlar
c_i	i nolu P noktasını tanımlayan polimon katsayısı
J	Sistemin Jacobian matrisi
J_x	Sistemin Jacobian matrisi alt elemanı
J_q	Sistemin Jacobian matrisi alt elemanı
C	Kosinüs trigonometrik fonksiyonu
S	Sinüs trigonometrik fonksiyonu
$(.)^{-1}$	matrislerde matrisin tersi işlemi
AR-GE	Araştırma Geliştirme Faaliyetleri (Research-and-Development)
ASM	Amerikan Metal Üreticileri Topluluğu (American Society for Metals)

BIOS	Temel Giriş/Çıkış Sistemi (Basic Input/Output System)
ISO	Uluslararası Standart Organizasyonu (International Standart Organisation)
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim (Computer Aided Manufacturing)
CNC	Bilgisayar Sayısal Kontrol (Computer Numerical Control)
DXF	Değiştirilebilir Formatlı Çizim (Drawing Exchange Format)
LPT	Yazıcı Terminal Hattı (Line Printer Terminal)
MIG	Koruyucu Gaz Altı Kaynağı (Metal Inert Gas Welding)
MAG	Aktif Metalli Gaz Altı Kaynağı (Metal Active Gas Welding)
MOSFET	Metal Oksit Alanlı Transistör (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)
PWM	Genişliği Ayarlanabilir Sinyal (Pulse Width Modulated)
RS232	Seri İletişim Standartı (Recommended Standard 232)
SCARA	Seçilenlere Uyan Montaj Robotu Kolu (Selective Compliance Assembly Robotic Arm)
TIG	Tungesten Gaz Altı Kaynağı (Tungesten Inert Gas Welding)
USB	Evrensel Seri İletişim (Universal Serial Bus)
WIG	Wolfram Gaz Altı Kaynağı (Wolfram Inert Gas Welding)

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. 9 pinli seri portun pin çıkışları	36
Çizelge 3.2. USB portun pin çıkışları	36
Çizelge 3.3. Yazıcılar için 25 pinli paralel portun pinleri ve görevleri	38
Çizelge 3.4. Yazılım üzerinden paralel portun lojik değerlerinin değiştirilmesi	39
Çizelge 3.5. Adım motorlarının hareket yönleri için paralel port pin çıkışları	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Döner tip eklem.....	6
Şekil 2.2. Kayar tip eklem.....	7
Şekil 2.3. Mekanik tutucular	8
Şekil 2.4. Vakumlu tutucular.....	8
Şekil 2.5. Manyetik tutucular	9
Şekil 2.6. Kartezyen koordinat sistemi	10
Şekil 2.7. Kartezyen koordinat sistemi çalışma alanı	11
Şekil 2.8. Silindirik koordinat sistemi çalışma alanı	12
Şekil 2.9. Küresel koordinat sistemi çalışma alanı	13
Şekil 2.10. Polar koordinat sistemi	13
Şekil 2.11. Kartezyen robot çeşitleri.....	14
Şekil 2.12. Mafsallı robot çeşitleri.....	15
Şekil 2.13. SCARA robot koordinat sistemi çalışma alanı	16
Şekil 2.14. Kartezyen robot sistemi	18
Şekil 2.15. Kartezyen robot kolu	18
Şekil 3.1. Kartezyen robotun blok yapısı.....	24
Şekil 3.2. Adım motorunun iç yapısı	25
Şekil 3.3. Tam adım ve yarım adım motor uçlarının uyarımı	26
Şekil 3.4. Tasarımda kullanılan adım motoru	27
Şekil 3.5. UCN5804 L/R Adım motoru sürücü devresi.....	29
Şekil 3.6. L297-L298 Adım motoru PWM sürücü şeması	30
Şekil 3.7. L297-L298 Adım motoru sürücü devresi montajı	31
Şekil 3.8. Adım motoru sürücü devresi osilatörü	32
Şekil 3.9. HCPL-817 Optocoupler	32
Şekil 3.10. HCPL-817 Optocoupler ile yapılan izolasyon devresi.....	33
Şekil 3.11. Sınır anahtarları ve kontrol kartı bağlantısı	33
Şekil 3.12. Regüleli 7812 ve 7805 güç kaynağı devresi	34
Şekil 3.13. KBPC3510 diyot köprülü 40 volt güç kaynağı devresi.....	34
Şekil 3.14. Bilgisayar Giriş-Çıkış birimleri	35

Şekil 3.15. Paralel portun pin yapısı	37
Şekil 3.16. Δx ve Δy hareketlerin meydana getirilmesi.....	41
Şekil 3.17. Adım motoru için bilgisayar kontrol sinyalinin üretilme algoritması.....	42
Şekil 3.18. MACH IV CNC kontrol programı ana menüsü.....	43
Şekil 3.19. LAZYCAM alt programı menüsü	44
Şekil 3.20. MACH IV CNC kontrol programı port ayarları	45
Şekil 3.21. MACH IV kontrol programı paralel port pin ayarları	45
Şekil 3.22. EZ-CNC kontrol programı ana ekran görüntüsü.....	46
Şekil 3.23. EZ-CNC kontrol programı paralel port adres ve ayarları	47
Şekil 3.24. EZ-CNC kontrol programı paralel port sınır anahtarları ayarları	47
Şekil 3.25. EZ-CNC kontrol programı puls genişliği ve adım sayısının ayarları.....	48
Şekil 3.26. EZ-CNC kontrol programı maksimum hız ve frekans rampa ayarları.....	48
Şekil 3.27. İlk gövde tasarımı.....	50
Şekil 3.28. Son gövde tasarımı	51
Şekil 3.29. Doğrusal hareket sistemleri.....	51
Şekil 3.30. Taşıyıcı blok şeması	52
Şekil 3.31. Tahrik mekanizması blok şeması	52
Şekil 3.32. Montaj pabuçları	53
Şekil 3.33 Sabit ve hareketli taşıyıcıların frezede işlenmesi.....	53
Şekil 3.34. Yataklama ve klavuzluk yapan çelik miller	54
Şekil 3.35. Lineer rulmanlar ve çalışma prensibi.....	55
Şekil 3.36. Cad programında yapılan kol tasarımı	55
Şekil 3.37. Ahşap malzemeden kolların modellerinin oluşturulması.....	56
Şekil 3.38. Tasarlanan kolun imalatı	56
Şekil 3.39. Döküm esnasında oluşan hatalar.....	57
Şekil 3.40. Kolların imalatında kullanılacak CrNi alaşımlı çelik malzemeler.....	58
Şekil 3.41. CrNi alaşımlı çelik malzemeden kolların imalatı	59
Şekil 3.42. Taşıyıcı platformun imalatı.....	60
Şekil 3.43. Kolların ve taşıyıcı platformun montaj edilmiş hali	60

Şekil 4.1. X ve Y eksenlerine paralel doğrularla paralellik testi	62
Şekil 4. 2. Yatay ve dikey eksen de sapma miktarları	63
Şekil 4.3. Kare şeklin çizilmesi	63
Şekil 4.4. Daire çizimi	64
Şekil 4.5. Sac levha kesme işlemi.....	65

1. GİRİŞ

Uluslararası Standartlar Enstitüsünün (ISO), TR-8373 numaralı tanımına göre robot: Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir, çok amaçlı, bir yere sabit duran veya hareket edebilen manipülatördür. Endüstriyel robot, Robotik Endüstrileri Birliği tarafından, çeşitli işlerin gerçekleştirilmesi için malzemelerin, parçaların ve özel aygıtların programlanmış hareket ettiriciler aracılığıyla taşınması için tasarlanmış, yeniden programlanabilen çok fonksiyonlu araç olarak tanımlanmıştır.

Robotların tarihsel gelişimi incelendiğinde ilk yapılan çalışmaların tamamen mekanik sistemlerden oluştuğu ve 14. yüzyıl civarında başladığı görülür. Ancak, ilk robot özelliği taşıyan sistemler 19. yüzyılda delikli kartlar ile çalışan dokuma tezgahları olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle 1940'lı yıllardan sonra elektronik sistemlerdeki gelişmelerinde katkısı ile robotik sistemlerin fonksiyonları ve yetenekleri her geçen yıl katlanarak artmıştır. Elektrik motorları ve kontrol sistemlerinde elde edilen başarıların ardından ilk endüstriyel robotlar, endüstriyel uygulamalarda kullanılabilecek özelliklere ulaşmış ve 1960'lı yıllar da üretim hatlarında robot kolları yada manipülatörler olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, son yıllarda insansı robotlar adı verilen robot tiplerinde elde edilen gelişmeler bu tip robotların, insan benzeri davranışlar gösterebilir, hatta insan gibi yürür veya olaylara yüz ifadeleri ile cevap verebilir hale gelmesini sağlamıştır.

Genel olarak bir robot dört ana kısımdan oluşmaktadır.

- a- Manipülatör: Bir mekanik yapı yada eklemlerle birbirine rijid olarak bağlanmış sıralı cisimlerden (uzuvlardan) oluşur. Manipülatör serbestliği sağlayan kol (arm), el becerisi sağlayan bilek (wrist), ve robotun yapacağı işleme uygun olarak tasarlanmış sonlandırıcıdan (end effector) oluşur.
- b-Manipülatörün hareketini yöneten ve kontrol eden kontrol sistemi.
- c-Manipülatörün ve çevrenin durumunu gözetleyerek veri üreten algılayıcılar (sensors).
- d-Eklemlerin hareketi ile manipülatörün hareketini sağlayan hareketlendiriciler (actuators-motors).

Robot sistemleri, yapıları ve fonksiyonlarına göre farklı gruplar altında incelenmektedir. Bu amaçla oluşturulan inceleme grupları ve söz konusu gruplarla ilgili bilgi aşağıda belirtilmiştir.

a) Endüstriyel Robotlar: Endüstriyel robot, genel amaçlı, programlanabilir, hantal ve sabit konumlu olup, değişik görevleri yapabilecek kollara sahiptir. Endüstriyel robotlar tam otomatik ve yarı otomatik kaynak işlemlerinde, özellikle otomotiv endüstrisinde nokta kaynağı, Mig/Mag, Tig ve Plazma kaynağında, döküm sanayinde, spreyci boyama işlerinde, mobilya sanayi, beyaz eşya sanayinde kullanılmaktadır.

b) Operasyonel Robotlar: Bu tip robotlar genelde uzaktan kontrollü veya özel bir amaca yönelik dizayn edilmiş robotlar olup, takım tezgahlarının yüklenmesinde, paketlemede, uçakların dış temizliğinde, bomba imha çalışmalarında, madencilik, uzay araştırmaları, denizin altında yapılan çalışmalarda, depremler sonrası kurtarma çalışmalarında, askeri amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır.

c) Tıp ve Sağlık Robotları: Ortopedik amaçlı insan uzuvları ve protezleri beyinden gelen tendonlardaki gerilimleri piezzo elektrik sensörler ile algılayarak uzuvlardaki manipülatörleri hareket ettirirler. Ayrıca günümüzde tıbbi operasyonlar için kıtalar arası iletişim kurabilen cerrahların ameliyat yapmasını sağlayan robotlardır. Türkiye’de de Florence Nightingale Hastanesinde kullanılan dört kollu cerrah robot Da Vinci ile %100 başarılı ameliyatlar yapılmaktadır.

Bunların dışında siberetik robotlar, sinema endüstrisinde kullanılan robotlar, oyuncak endüstrisi robotları ve hobi robotları olmak üzere başka sektörlerde kullanılan robotlar da mevcut olup, özellikle oyuncak sanayinde Sony firması Aibo isimli köpek robotu ile çok büyük ekonomik başarı elde etmiştir.

Robotların yukarıda belirtilen geniş kullanım alanları, özellikle robotların sağladığı avantajlardan kaynaklanmaktadır. Bu avantajlar kısaca aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Üretim artışı.
- Kalite artışı.
- Üretim maliyetinin düşmesi.
- İş esnekliği.

- Yönetim ve denetim kolaylığı.
- Tehlikeli ortamlarda çalışabilme.
- Uzun ömür.
- Tümüleşik üretimde sistem organizasyonu.

gibi yararlar sağlamaktadır.

Herhangi bir alanda robot kullanılmasının düşünülmesi şu temel faktörlere bağlıdır;

- Üretimde esneklik ve verimliliğin yükseltilmesi.
- İnsan sağlığını tehdit eden tehlikelerin bulunması.
- İş gücünün pahalı olması, bulunmaması veya insanların bu tür işleri yapmak istememesi.
- Üretimde bozuk parça sayısının azaltılması ve malzeme tasarrufu.
- Eğitim, sağlık, hizmet ve güvenlik.

Alanlarında sağlanan kolaylıklar sayılabilir.

Yapısal olarak robot sistemleri çok değişik özellikler göstermektedir. Ancak özellikle son yıllarda ortaya çıkan robot tiplerinin en önemlilerinden bir tanesi kartezyen robot tipidir. Bu çalışma özellikleri itibari ile yeni robotik sistemler arasında önemli bir konuma sahip olan kartezyen robot sisteminin tasarımı, imalatı, deneysel testlerinin yapılması ve deneysel sonuçların değerlendirilmesini amaçlamıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Manipülâtörler

Manipülâtörler, cisimleri önceden sabitlenmiş ilk konumlarından son konumlarına taşıyan sistemlerdir. Endüstriyel işlemlerin tamamında neredeyse hareket ve bu hareketin kontrolü en önemli parametrelerden birisi olup, sistemin doğru işlemesi için büyük önem taşımaktadır. Manipülasyon, itme, kaldırma, yükleme, boşaltma, ilerletme, döndürme gibi işlemlerde endüstriyel otomasyonda ve üretim sektörlerinde önemli görevler üstlenmektedir. Üretimdeki malzemelerin ve aparatların sabitlenmesi, döndürülmesi, taşınması, tahrik edilmesi gibi hareketler seri olarak sürekli yapılmaktadır. Manipülasyon, endüstriyel otomasyonda önemli bir yere sahiptir ve tasarımında dikkate alınması gereken parametreler; İşlemler de yüksek hız, düşük maliyet, yüksek hassasiyetli devreler, çok hızlı cevap verme süresi, uzun ömür, daha küçük boyutlu, estetik ve hafif tasarımlar, değişen sistemlere uyum sağlayabilme, tekrarlanabilirlik, hareket ve konumlamada çeşitliliğidir.

Manipülâtörler ile sistemin harekete geçirilmesinde birkaç farklı işlem tipi mevcuttur. Bunlar Elektro-mekanik sistemler, Pnömatik sistemlerdir.

Elektro-mekanik sistemler: Elektrik makinesi ve bu makinenin hareketinin aktarıldığı sonsuz vida, krank, kremayer ve kayış-kasnak gibi mekanizmalarla doğrusal hareket elde edilir. Elektro-mekanik sistemlerde algılayıcılarla konum, pozisyon, açı ölçümü mümkün olabilmektedir. Yüksek hassasiyet ve hız gerektiren maliyetin göz ardı edildiği manipülasyon işlemlerinde tercih edilir (ANONİM, 2006).

Avantajları:

- Hızlı ve hassastırlar.
- Hareketler için sofistike kontrol teknikleri uygulanabilir.
- Ucuzdurlar.
- Yeni modeller çok kısa zamanda üretilebilir.

Dezavantajları :

- Düşük moment ve yüksek hızlarda çalışır. Bu nedenle aktarma organları ve dişlilere ihtiyaç duyulur.

- Dişli ve civata somun sistemlerindeki boşluk hassasiyeti sınırlar.
- Elektrik arkı yanıcı ortamlarda tehlikeli olabilir.
- Hareketin engellenmesi aşırı sıcaklık artışına neden olur.
- Pozisyonun sabitlenmesi ayrıca frenlemeyi gerektirir.

Pnömatik sistemler: Yüksek performans, hareketin başlangıç ve bitiş yerinin önemli olduğu sistemlerde hassasiyet ve tekrarlanabilme özellikleri ile tercih nedenidir. Çalışma strokları 5 mm ila 3 m arasında değişen silindirlerle 2 kg dan 2.500 kg'a kadar kuvvetler elde edilebilmektedir. Pnömatik sistemlerle daha çok itme, çekme, eğme, çakma, kesme, sabitleme gibi işlemler gerçekleştirilmektedir (ANONİM, 2006).

Avantajları :

- Ucuz.
- Hızlı.
- Laboratuar çalışmalarında kullanılabilir.
- Temiz.
- Endüstride yaygın kullanılan pnömatik enerjiyi kullanır.
- Aşırı yüke karşı koruması vardır.

Dezavantajları:

- Hava sıkıştırılabilir olduğundan kuvvet kontrolü ve hassasiyeti zordur.
- Egsoz çıkışı gürültüye neden olur.
- Havanın şartlandırılması gerekebilir.
- Hız kontrolü zordur.
- Hava sızıntısı olabilir.

Hidrolik sistemler: Pnömatik sistemlerden farklı olarak elde edilen kuvvetler 5000 kg ile 300 000 kg arasında yüksek hassasiyetle gerçekleştirilebilmektedir. Genelde servo sistemlerle ağır işlerde yüksek hassasiyetli takım tezgahlarında, kesim makinelerinde, preslerde, baskı makinelerinde, kararlı, yüksek hız gerektiren işlemlerde kullanılmaktadır (ANONİM, 2006).

Avantajları:

- Çok büyük kaldırma kapasiteleri.
- Hafif ve güçlü.
- Çok iyi servo kontrolü gerçekleştirilir.
- Kendini soğutabilir.
- Tam yükte harekete veya boşa kolayca alınabilir.
- Düşük hızlarda yumuşak hareket edebilir.

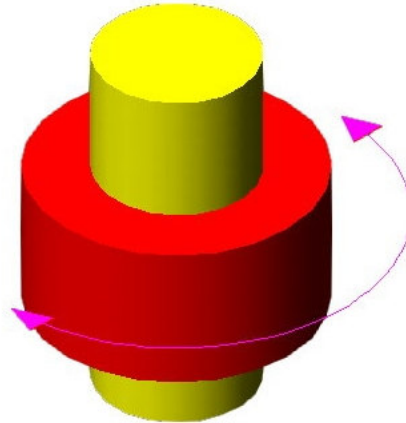
Dezavantajları :

- Pahalıdırlar.
- Yüksek hızlarda dairesel harekete uygun değildir.
- Boyutlarını küçültmek zordur.
- Güç kaynakları büyük yer kaplar.

2.2 Eklem Yapıları ve Linkler

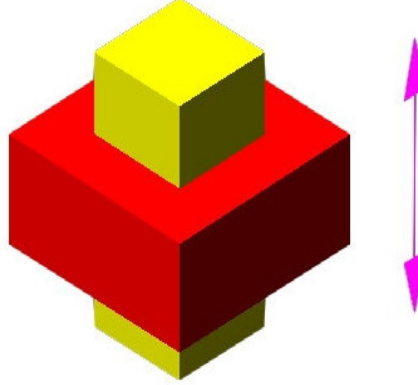
Eklemler, manipulatörlerde hareketi sağlayan mekanizmalardır ve yapılarına göre ikiye ayrılırlar. Döner veya kayar şekilde olabilirler. Eklemlerin yani bağlantı yerlerinin arasında kalan sabit kısımlar link adını alır (ANONİM, 2006).

Döner (Revolute – R) Eklemler : Menteşeye benzer ve iki uzuv arasında dönme hareketine izin verir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Döner tip eklem

Kayar (Prismatic – P) Eklemler : İki uzuv arasında doğrusal harekete izin verir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Kayar tip eklem

Bir revolüt robottaki eksenler yada serbestlik dereceleri, bileğin üç adet ekseninden oluşur: Atma (pitch), dönme (yaw) ve yuvarlanma (roll) (ANONİM, 2006).

Linkler robotun cisimleri taşımada destek olarak kullanılan katı ve hareketsiz elemanlardır. Genelde ağırlığı azaltmak ve vites aksamı, elektriksel kablolama, kontrol işareti hatları ve hava boşluklarına yer sağlamak için içi boş olarak yapılırlar. Linklerin yapımında grafit fiber malzemelerin kullanılmasıyla linklerin ve dolayısıyla robot kollarının ağırlıklarının oldukça azalması sağlanabilmektedir. Bu malzemeyle oluşturulan kollar çelik yada alüminyum kollardan daha hafif ve de aynı derecede sağlamdır.

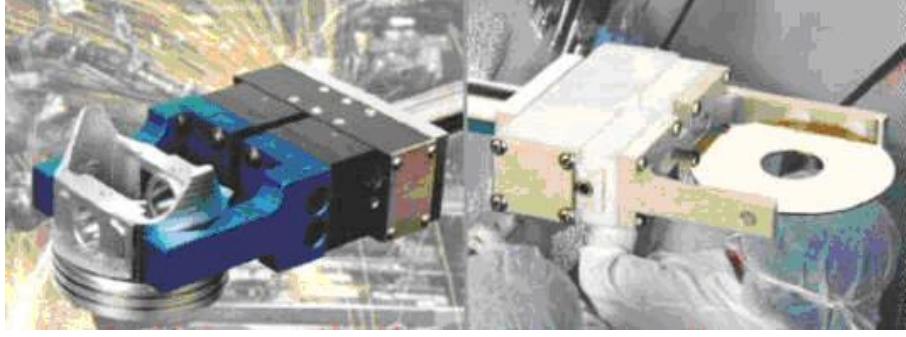
Robot uygulamalarında uç eleman olan tutucular, parçaların taşınmasında montaj işlemlerinde, kaynak işlemlerinde, boyama işlemlerinde çok rahat bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat bir montaj hattında aynı tutucunun birden fazla işi yapması veya değişik özellikteki parçaları taşınması düşünüldüğünde bunun işlevsel bakımdan zorlukları görülmektedir. Bu durumda genel maksatlı robot ele ihtiyacı duyulduğu bir gerçektir.

Robot ellerde, eklemlerin hareketi için gerekli gücü üreten çeşitli teknolojilere dayalı hareketlendiriciler (actuator) vardır. En yaygın olarak kullanılan hareketlendirici

teknolojileri; elektrik makinaları, hidrolik hareketlendiriciler ve pnömatik hareketlendiricilerdir.

Mekanik tutucular:

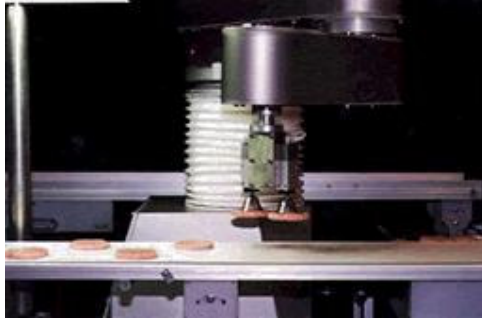
Parçaları mekanik tutucular arasında tutarlar ve parmaklar mekanik olarak hareket eder (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Mekanik tutucular

Vakumlu Tutucular:

Cam gibi düz nesnelere tutmak için kullanılır. İş parçası, tutucu ile arasında oluşan vakum yardımıyla tutulur (Şekil 2.4.) (PINAR İNAL, 2006).



Şekil 2.4. Vakumlu tutucular

Manyetik Tutucular:

Metal malzemeleri tutmak için kullanılır. Bir elektro mıknatısa akım verilmesi sonucu oluşan manyetik alanın çekim gücü ile çalıştırılır. (Şekil 2.5.). (PINAR İNAL, 2006)



Şekil 2.5. Manyetik tutucular

Yapışkanlı Tutucular:

Yapışkan maddeler ve kumaş gibi esnek malzemelerin taşınmasında kullanılır.

2.3. ROBOTLARIN SINIFLANDIRILMASI

Bir robot hareketinin kapasitesi, kontrol edilebilmesi mümkün olan eksenlerdeki hareketlerle belirlenir. Sayısal denetimdeki hareketlere çok benzerdir. Endüstriyel robotlar değişik tip ve boyutlarda yapılmaktadırlar. Çeşitli kol hareketlerini yapabilirler ve farklı hareket sistemlerine sahiptirler (PINAR İNAL, 2006).

2.3.1. Robot Hareketinin Eksenleri

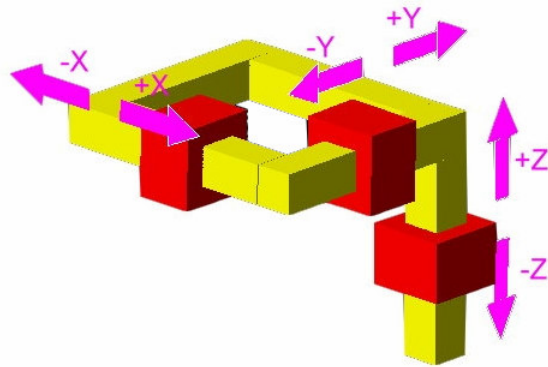
Manipülâtörün kendi ekseni veya serbestlik derecesi diye tanımlanan değişik hareketleri vardır. Eğer bir manipülâtör kendi ekseni etrafında dönüyorsa, bu robota “tek eksenli robot” denir. Eğer manipülâtör yukarı ve aşağı doğru hareket ediyorsa, bu robota “çift eksenli robot” denir. Kendi ekseni etrafında dönen ve yukarı aşağı hareket eden manipülâtör, yatay eksenle ileri – geri hareket de edebilir. Bu robota “üç eksenli robot” denir. Endüstriyel robotlar en az üç eksene sahiptirler. Bu hareketler, kendi ekseni etrafında dönmesi, yukarı-aşağı ve ileri-geri hareket edebilmesidir.

2.3.2. Çalışma Alanı / Uzayı

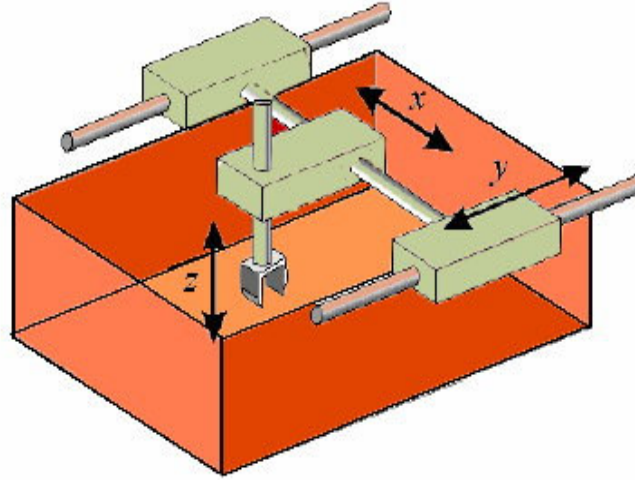
Robot denildiği zaman aklımıza ilk etapta, insan gibi yürüyen, insan davranışları sergileyen, daha da önemlisi insan gibi düşünen ve karar verebilen makineler gelmektedir. Bu da robotların tasarlanması ve geliştirilmesinde canlıların yaşama uyum sağlamak amacıyla geliştirdikleri karakteristiklerden ilham alınmasına neden olmaktadır.

Robot kolunun yetişebileceği toplam alana, çalışma alanı denilmektedir. Koordinat sistemlerine göre robotların sınıflandırılması robotların hareketlerini esas alan koordinat sistemi yapısına göre gerçekleştirilir. Bu amaçla dört farklı koordinat sistemi kullanılmakta ve robotlarda bu sistemlere göre sınıflandırılmaktadır. Bu koordinat sistemleri; kartezyen, silindirik, küresel ve polardır.

Kartezyen koordinat sisteminde bütün robot hareketleri birbirlerine karşı dik açılı şekilde olmaktadır. Bu konfigürasyon en kısıtlı hareket serbestine sahip robot tasarım şeklidir. Bazı parçaların montajı için gerekli işlemler kartezyen konfigürasyonlu robotlar tarafından yapılır. Bu robot şekli birbirine dik üç eksende hareket eden kısımlara sahiptir. Hareketli kısımlar X, Y ve Z kartezyen koordinat sistemi eksenlerine paralel hareket ederler. Robot, üç boyutlu dikdörtgen prizması hacmi içindeki noktalara kolunu hareket ettirebilir. Bu tip bir manipülatör üç tane kayar tip eklem ile elde edilir. Mekanik yönden çok sağlamdırlar fakat çalışma uzayındaki hareket yeteneği bakımından zayıftır (Şekil 2.6). Genel olarak çok büyük boyutlarda ve ağırlıklarda nesnelere hareket ettirmek ve taşımak için idealdirler.



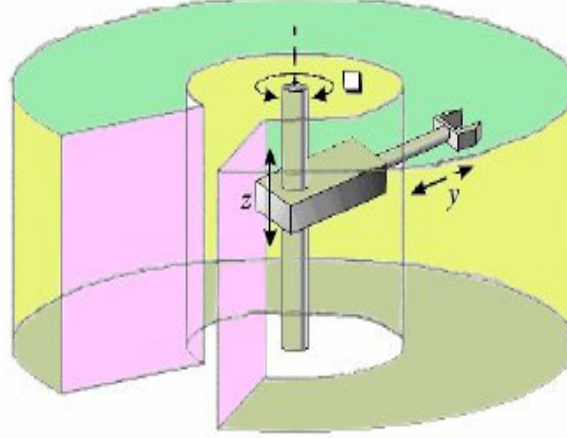
Şekil 2.6. Kartezyen koordinat sistemi



Şekil 2.7. Kartezyen koordinat sistemi çalışma alanı

Silindirik koordinat sistemli robotlar temel bir yatak etrafında dönebilir ve diğer uzuvları taşıyan ana gövdeye sahip özelliktedir. Hareket düşeyde ve ana gövde eksen kabul edildiğinde radyal olarak sağlanır. Dolayısıyla çalışma hacmi içerisinde robotun erişemeyeceği, ana gövdenin hacmi kadar bir bölge oluşur. Ayrıca genellikle, mekanik özelliklerden dolayı gövde tam olarak 360° dönemez.

Silindirik koordinatlarda tabana dik eksen etrafında dönme ve bu eksen üzerinde ötelenme yapılırken bu eksene dik bir eksende de başka bir öteleme hareketi yapılır. Dönme serbestliğindeki mekanik engellerden dolayı teorik olarak silindirik bir çalışma alanı oluşması beklenirken bazı bölgelerde silindir yapısı tamamlanamaz. Zemine ulaşabilmenin arzu edildiği durumlarda robot kolu zemine açılan bir yuvaya yerleştirilir. Ancak bu durumda da ulaşılabilecek maksimum yükseklik azalır. Radyal hareketten dolayı, silindirik koordinatlı robotlar montaj, kalıpcılık gibi alanlarda kullanılabilir. Bu tip robotlar da programlama açısından fazla karmaşık değildir. Ancak kartezyen koordinatlı robotlarda olduğu gibi kayar elemanların korozyon ve tozlanmadan korunması gerekir. Silindirik robotlar genellikle, kendi ekseninde 300° dönmektedir. Geri kalan 60° ise robotun etrafında güvenli bir alan oluşturmak için kullanılır. Bu güvenlik alanına ölü bölge de denmektedir (Şekil 2.8).

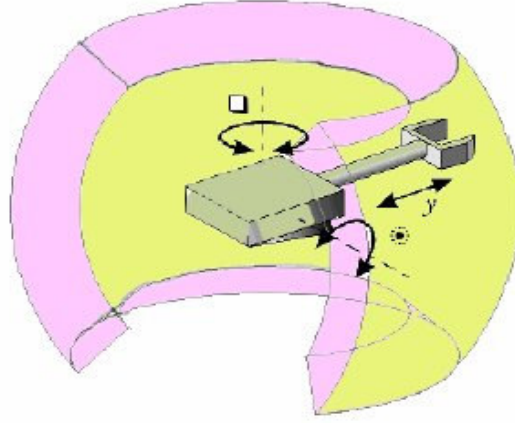


Şekil 2.8. Silindirik koordinat sistemi çalışma alanı

Bu tip manipülatörler de mekanik yönden sağlam olmasına karşın bilek konum doğruluğu (accuracy) yatay harekete bağlı olarak azalır. Benzer şekilde büyük boyutlu nesnelerin taşınmasında kullanılırlar. Bu tip manipülatörlerde hidrolik motorlar tercih edilir.

Küresel koordinat sistemi matematiksel olarak iki tane dairesel ve bir de doğrusal eksen olmak üzere üç tane eksenli olan bir sistemdir. Robotikte küresel koordinat sistemi en eski koordinat sistemlerinden biridir. Oldukça çok işlevli, birçok uygulama alanına sahip özelliğinin yanında, yapım ve montaj açısından da oldukça kolaylık sağlamaktadır (Şekil 2.9).

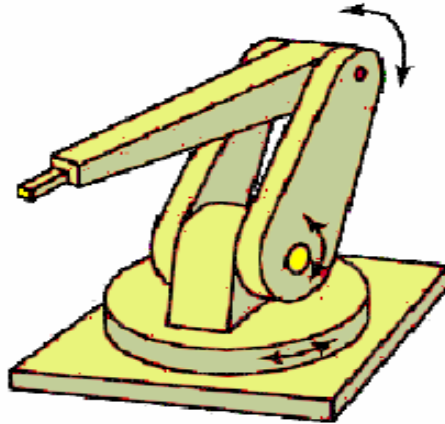
Şekilden de anlaşıldığı gibi temelde iki hareketi mevcuttur. Bunlar yatay ve düşey dönmedir. Üçüncü bir hareket ise doğrusal (uzama kolunun ileri geri hareketi) harekettir. Doğrusal hareket aynen kartezyen koordinatlardan herhangi bir koordinatın hareketi gibi davranış gösterir. Kutupsal koordinatlarda çalışan bir robotun çalışma hacmi iki kürenin ara hacminden oluşur. Koldaki uzuvlardan biri doğrusal hareket yaparken bunu destekleyen diğer uzuvlardan biri tabana dik eksen etrafında, diğeri ise bu eksene dik ve tabana paralel eksen etrafında döner. Ölü bölgeler bu tip robotlarda da vardır. Öteleme hareketi yapan uzvun kurs boyunun yetersizliğinden dolayı zemine ulaşmak mümkün olmaz. Bu tip manipülatörler mekanik yönden diğer iki tipten daha zayıf, mekanik yapı yönünden daha karmaşıktır. Çoğunlukla makine montajlarında kullanılırlar ve elektrik motorları tercih edilir (Şekil 2.9.).



Şekil 2.9. Küresel koordinat sistemi çalışma alanı

Polar koordinat sisteminde çalışan robotlarda, robot herhangi bir iş yaparken kolu dairesel hareketli bağlarla oluşturulur. Robot kolunun bağlantıları gövde üzerine, etrafında dönecek şekilde monte edilmiştir ve dayanak noktaları birbirine benzeyen iki ayrı bölümü taşır. Dönen parçalar yatay ve dikey monte edilebilir. 360° dönme sağlanamaz ancak bu kayıplar minimuma indirilebilir. Döner koordinatlarda çalışma hacmi (Şekil 2.10) da görülmektedir. Bu tip robotlarda robot kolun çalışması zor gözlenir. Çalışma hacmindeki noktalara farklı yörüngelerle ulaşılabilir. Buna göre sistem parametrelerinin en uygun olduğu yol seçilmelidir.

Polar koordinatlı robotlarda kontrol işlemi karmaşıktır, dolayısıyla kontrol donanımının da bu karmaşıklığı karşılayabilecek kapasitede olması gerekir. Ayrıca bu tip robotlarda mafsallarda sızdırmazlık kolayca sağlanabilmektedir.



Şekil 2.10. Polar koordinat sistemi

2.3.3. Robot Tiplerine Göre Sınıflandırma

Robotlar tasarımda esas alınan koordinat sistemi tipine ve kol bağlantılarının özelliklerine göre 3 farklı sınıfa ayrılabilirler. Bu robot sınıfları kartezyen robotlar, mafsallı robotlar ve SCARA robotlar olarak sıralanabilir (ÇENGELCİ ve ÇİMEN, 2005).

Kartezyen koordinat sisteminde bütün robot hareketleri birbirine 90°'lik açıyla hareket eder, bu nedenle kartezyen robotlar dikdörtgenimsi bir biçimdedir. Günlük hayatımızda sağa sola, aşağı yukarı vb. hareketlerimiz, kartezyen koordinat hareketleridir. Bu ürün robotları genellikle özel tatbiklerle sınırlandırılır. Devamlı bir yol alanında, robot, bir köprü ve bir ray sistemi aracılığıyla daha çok işlevlik kazanabilir. Tavana monte edilerek, birkaç fonksiyonla birçok istasyona hizmet verilebilir. Robotun tavana asılı olmasıyla, zeminde daha fazla boş saha kazanılmış olur. Kartezyen robotlar, basitlikleri ve konstrüksiyonları sayesinde rijitliği yüksek ve hızlı bir yapıya sahiptir (Şekil 2.11).

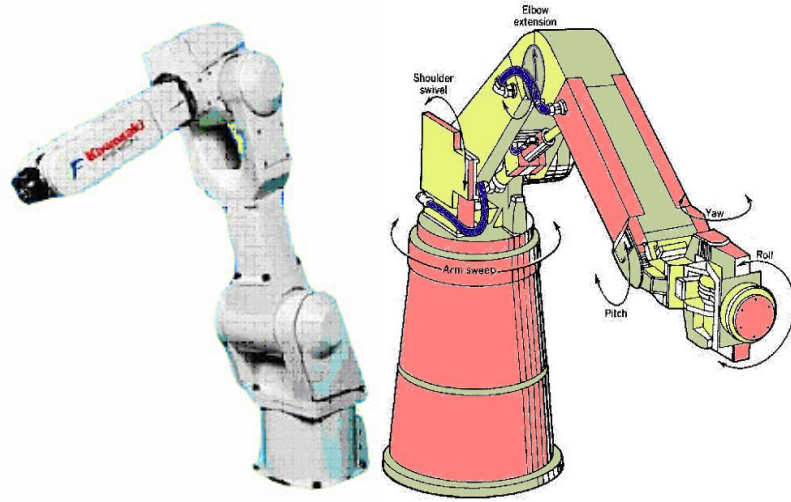


Şekil 2.11. Kartezyen robot çeşitleri

Mafsallı robotların dizaynı insan kolundan esinlenerek yapılmıştır. Kol eklemlerine göre, insan kolunun yerine getirebileceği görevleri üstlenmek amacıyla yapılmıştır. Kol eklemlerine robotlar insan kollarında olan tüm esnekliğe ve hassasiyete tam olarak sahiptir ve değişik görevlerde insan kolunu taklit eder. Kol eklemlerine robotlar altı eksenle rahatça hareket ederler. Bu altı eksenin üç tanesi kol hareketi için, diğer üç tanesi ise bilek hareketi içindir. İnsan kolunun yapabileceği çok sayıda hareketi yapabilmektedirler. Bu özellikleri kullandıkları koordinat sisteminden (Döner koordinat sisteminden) almaktadırlar. Bu koordinat sisteminin gereği olarak omuz, dirsek ve bilek bağlantıları vardır. Bu bağlantı şeklinin robota kazandırdığı en

büyük avantaj, çalışma alanındaki her noktaya rahatça ulaşabilmesidir. Çalışma alanı ise; robot kolunun yatayda dik olarak durması sonucu elde edilir (Şekil 2.12).

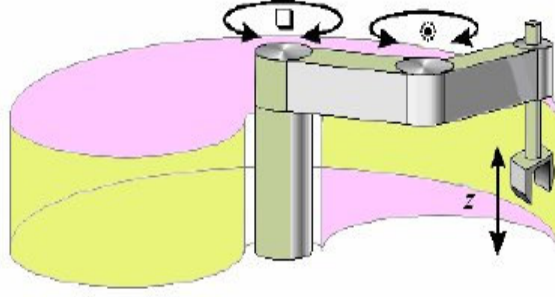
Bu tip manipülatörler tüm eklemleri döner olduğundan çalışma uzaylarında en yetenekli manipülatörlerdir. Endüstriyel uygulamalarda geniş kullanım alanına sahiptirler (boyama, kaynak yapma, montaj, yüzey temizleme vb.) ve elektrik motorları tercih edilir.



Şekil 2.12. Mafsallı robot çeşitleri

SCARA, Selective Compliance Assembly Robotic Arm kelimelerinin baş harflerinden oluşmuştur. Yani seçilenlere uyan montaj robotu koludur. Bu robot 1970'den sonra Japon Endüstriyel Konsorsiyomu ve bir grup araştırmacı tarafından Japonya' da Yamanashi Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. SCARA tipi robot, çok yüksek hıza ve en iyi tekrarlama kabiliyetine sahip olan bir robot çeşididir.

Bu robotta üç genel özelliğin bulunması gerekir, doğruluk, yüksek hız ve kolay montaj yapabilme. Hız ve konum performansı çok iyi olduğundan dolayı bu robot kol en çok elektronik sanayinde, elektronik kartlara malzemelerin montajını gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Şu anda sanayide en çok kullanılan robot, tutma ve taşıma işlerinde maliyetinin ucuz ve programlanmasının kolay olmasından dolayı SCARA robottur (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. SCARA robot koordinat sistemi çalışma alanı

2.3.4. Kartezyen Paralel Manipulatörler ve Dönüşümler

Paralel manipulatörler özellikle yüksek hız, yüksek hassasiyet ve titreşimsiz hareket kabiliyeti aranan uygulamalarda kullanılan özel tip robot sistemleridir. STEWART platformu benzeri sistemler incelendiğinde, sistemdeki tüm uzuvların basma kuvveti etkisi altında olduğu görülür. Ancak, bu özelliklerinin yanı sıra STEWART platformları; karmaşık yapıları, karmaşık ileri kinematik özellikleri dar çalışma uzayları, karmaşık üniversal ve küresel mafsalları gibi özelliklerinden dolayı bu sistemlerin pratik uygulamalarında sorunlarla karşılaşmaktadır.

Paralel manipulatörler ise, serbestlik derecesinin tipik olarak 3 olması, bu sistemleri diğerleri ile karşılaştırıldığında daha ekonomik kılmaktadır. Bu sistemler özellikle 6 serbestlik derecesine ihtiyaç duyulmayan uygulamalarda daha da belirgin hale gelmektedir. Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda göze çarpan eğilim, robotu oluşturan her bir serbestlik derecesini sağlayan modülün diğer modüllerle etkileşimini azaltarak tasarım, imalat ve kontrol sorununu daha basit hale getirmek yönünde olduğu görülmektedir (LEE and SHAH., 1987 ; CLAVEL, 1988; GOSSELIN, and ANGELES, 1989; PIERROT ve Ark., 1990; YANG ve ark., 1996; CECCARELH, 1997; TSAI, 1997; VISCHER and CLAVEL, 2000; DI GREGONO, 2001; FANG and TSAI, 2002; ZLATANOV ve Ark., 2002; KIM and TSAI, 2003;). Bu çalışmaların sonucu olarak yeni tip robotlar tasarlanmış ve performansları daha önce kullanıma sunulmuş olan tipler ile bölüm 2.9 ile 2.14 arasındaki kısımda olmak üzere karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada sunulan robot tipi, yukarıda belirtilen çalışmaların devamı olarak gerçekleştirilen robot yapısını ve kontrol işlemini basitleştirirken robotun performans ve fonksiyonlarını geliştirmeyi amaçlayan çalışmanın sonucudur. Bu robot tipinin önemli özelliklerinden bir tanesi, robotun her bir serbestlik derecesini sağlayan alt sisteminin (kol sisteminin) bir prizmatik ve 3 dönel mafsallı içermesidir. Ancak, her bir kol sisteminin, diğer iki kolun en az ikişer serbestlik derecesini kısıtlaması sebebiyle sistemin toplam serbestlik derecesi 3 olarak gerçekleşmektedir. Burada dikkat çekici olan her bir kol sisteminin bir dönme serbestlik derecesine kısıtlama getirmesi durumudur. Diğer bir deyişle sistemin tüm dönme serbestlik dereceleri (x-ekseni etrafında, y-ekseni etrafında ve z-ekseni etrafında) sistemin kendisi tarafından kısıtlanmıştır. Dolayısıyla sistemin davranışı tipik X-Y-Z tipi kartezyen robottan farklıdır. Dolayısıyla robotun kontrol sisteminin yapısı da robotun yapısında elde edilen basitleştirmenin sonucu olarak kolay hale gelmektedir.

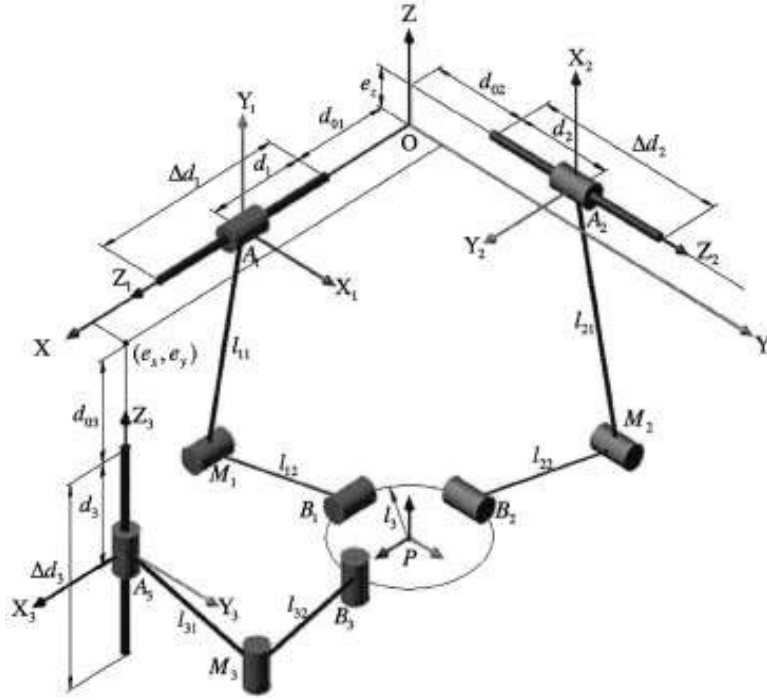
İleriki alt bölümlerden 2.3.5 ile 2.3.8 arasındaki kısımlarda, kartezyen robotun hareket analizleri ile ilgili çalışmalar sunulmuştur. Bu çalışmalarda yer alan analiz sonuçları sistemin kontrolünde kullanılan ara programlarda kullanılan sonuçlar olup, sistemin çalışmasında esas alınan hareket denklemleridir. Denklemler, robot platformunun pozisyonunun verilen kol pozisyonlarına göre belirlenmesi, yada her hangi bir platform konumu için ilgili kol pozisyonlarının bulunması olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Analizlerde ayrıca, hız analizlerine de yer verilmiştir.

2.3.5. Manipülâtörün Geometrisi

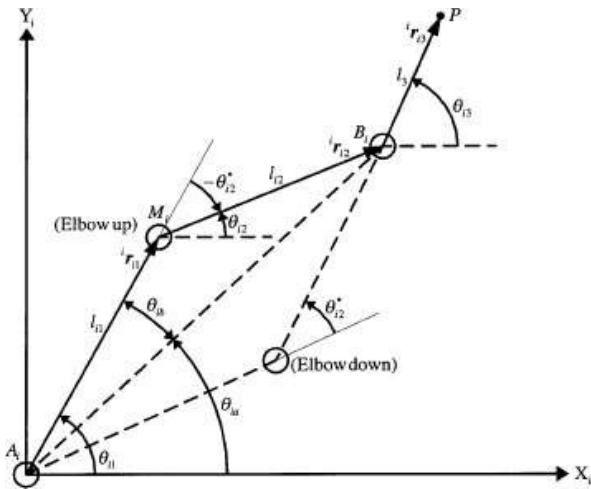
Aşağıdaki şekilde (Şekil 2.14) kartezyen paralel manipülâtör görülmektedir. Şekilde hareketli bir platformu 3 adet PRRR (kayar, dönel-dönel-dönel) mafsala sahip kolların desteklendiği görülmektedir. Şekilde, platform B_1 , B_2 , B_3 noktalarından geçen bir çemberle gösterilmiştir. Sabit eksen ise 3 adet mil üzerinde kayar mafsallı olarak A_1 , A_2 , A_3 noktalarında geçer şekilde ifade edilmiştir. Ayrıca şekilde, kolları oluşturan uzuvların birleşim noktaları M_i kolların platforma bağlantı noktaları ise B_i ile gösterilmiştir. P noktası ise hareketli platformun orta noktasını göstermektedir.

Ayrıca şekilde üzerinde 3 adet yerel eksen takımı tanımlanmıştır (Z_1 , Z_2 , Z_3). Bu eksen takımları her bir kol grubu için referans eksen takımını oluşturmaktadır. Şekil

2.15 de kolu oluşturan uzuvlar arası açılar $\theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{i3}$ olarak belirtilmiştir. Ayrıca, ${}^i r_{ij}$ bileşke vektörü ve bu vektörle kolu oluşturan uzuvların açıları $(\theta_{ia}, \theta_{ib}, \theta_{ij})$ şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Kartezyen robot sistemi



Şekil 2.15. Kartezyen robot kolu

Şekil 2.14 de verilen geometrik bağıntılar kullanılarak yerel koordinat sistemi için B noktasının konumunu veren vektör aşağıdaki gibi tanımlanabilir (KIM and TSAI, 2003).

$$\begin{aligned}
 {}^1 B_1 &= \begin{bmatrix} p_y - l_3 \\ p_z \\ 0 \end{bmatrix} \\
 {}^2 B_2 &= \begin{bmatrix} p_z - e_z \\ p_x - l_3 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 {}^3 B_3 &= \begin{bmatrix} p_z + l_3 - e_z \\ p_y - e_y \\ 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

$$\theta_{i1} = \theta_{ia} \pm \theta_{ib} = \tan^{-1} \left(\frac{{}^i B_{iy}}{{}^i B_{ix}} \right) \pm \cos^{-1} \left(\frac{l_{i1}^2 + {}^i B_{ix}^2 + {}^i B_{iy}^2 + l_{i2}^2}{2l_{i1} \sqrt{{}^i B_{ix}^2 + {}^i B_{iy}^2}} \right) \quad i = 1, 2, 3 \tag{2.2.}$$

2.3.6. İleri Kinematik Analiz

İleri kinematik analiz uç noktanın (B noktasının) koordinatlarının verilen $\theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{i3}$ açıları kullanılarak hesaplanmasını amaçlar. Bunun için Şekil 2.15 de verilen geometrik bağıntılar kullanılarak dik üçgen bağıntısından sinüs fonksiyonunu S ($\sin \theta = S\theta$) ve kosinüs fonksiyonunu da C ($\cos \theta = C\theta$) ile göstererek yazarsak,

$$\left({}^i B_{ix} - l_{i1} C\theta_{i1} \right)^2 + \left({}^i B_{iy} - l_{i1} S\theta_{i1} \right)^2 = l_{i2}^2 \tag{2.3.}$$

Buradan da

$$\begin{aligned}
& (p_y - (l_{11}C\theta_{11} + l_3))^2 + (p_z - (l_{11}S\theta_{11}))^2 = l_{12}^2 \\
& (p_y - (l_{21}C\theta_{11} + e_z))^2 + (p_x - (l_{21}S\theta_{21} + l_3))^2 = l_{22}^2 \\
& (p_x - (l_{31}C\theta_{31} + e_z - l_3))^2 + (p_y - (l_{31}S\theta_{31} + e_y))^2 = l_{32}^2
\end{aligned} \tag{2.4.}$$

Bu denklemler açılır ve p_y, p_z terimleri elimine edilirse, bu durumda p_x terimi yalnız bırakılarak 8. dereceden bir polinom elde edilmiş olur.

$$c_8 p_x^8 + c_7 p_x^7 + c_6 p_x^6 + c_5 p_x^5 + c_4 p_x^4 + c_3 p_x^3 + c_2 p_x^2 + c_1 p_x^1 + c_0 = 0 \tag{2.5.}$$

Dolayısı ile verilen bir açısal konum için 8 farklı konum değerine ulaşılır. Buda söz konusu sistemde sadece açıların tanımlanmasının sistemin hangi konumda olduğu ile ilgili detaylı bilgi vermediğini, sonsuz sayıdaki pozisyon değerlerini 8'e indirdiğini gösterir.

2.3.7. Robot Sisteminin Jacobian Matrisi

Yukarıda verilen 2.1 numaralı denklemin türevi alınırsa;

$${}^1\dot{B}_1 = \begin{bmatrix} \dot{p}_y \\ \dot{p}_z \\ 0 \end{bmatrix}, \quad {}^2\dot{B}_2 = \begin{bmatrix} \dot{p}_z \\ \dot{p}_x \\ 0 \end{bmatrix}, \quad {}^3\dot{B}_3 = \begin{bmatrix} \dot{p}_z \\ \dot{p}_y \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.6.}$$

denklemini elde edilir.

Şekil 2.15 de verilen konfigürasyon dikkate alınır ve B_i değerleri için yerel koordinat sisteminde uzuvlar arası açısal hız değerleri cinsinden ifade edilirse;

$$\begin{aligned}
{}^i \dot{B}_{ix} &= -\dot{\theta}_{i1} l_{i1} S\theta_{i1} - \dot{\theta}_{i2} l_{i2} S\theta_{i2} \\
{}^i \dot{B}_{iy} &= \dot{\theta}_{i1} l_{i1} C\theta_{i1} + \dot{\theta}_{i2} l_{i2} C\theta_{i2}
\end{aligned} \tag{2.7.}$$

Denklem 2.7 de $\dot{\theta}_{i2}$ açısal hız terimi elimine edilirse;

$${}^i \dot{B}_{ix} C\theta_{i2} + {}^i \dot{B}_{iy} S\theta_{i2} = l_{i1} S(\theta_{i2} - \theta_{i1}) \dot{\theta}_{i1} \tag{2.8.}$$

Denklemleri elde edilir. Denklem 2.6 ve 2.8 de yerine yazılarak giriş çıkış hız denklemleri elde edilmiş olur. Bu denklem ise;

$$J_x \dot{\mathbf{p}} = J_q \dot{\boldsymbol{\theta}}_1 \tag{2.9.}$$

Burada, vektör matrisleri aşağıda verildiği şekilde tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
\dot{\mathbf{p}} &= [\dot{p}_x, \dot{p}_y, \dot{p}_z]^T \\
\dot{\boldsymbol{\theta}}_1 &= [\dot{\theta}_{11}, \dot{\theta}_{21}, \dot{\theta}_{31}]^T
\end{aligned} \tag{2.10.}$$

$$J_x = \begin{bmatrix} 0 & C\theta_{12} & S\theta_{12} \\ S\theta_{22} & 0 & C\theta_{22} \\ C\theta_{32} & S\theta_{32} & 0 \end{bmatrix} \tag{2.11.}$$

$$Jq = \begin{bmatrix} l_{11}S(\theta_{12} - \theta_{11}) & 0 & 0 \\ 0 & l_{21}S(\theta_{22} - \theta_{21}) & 0 \\ 0 & 0 & l_{31}S(\theta_{32} - \theta_{31}) \end{bmatrix} \quad (2.12.)$$

Bu şartlarda eğer $S(\theta_{i2} - \theta_{i1})$ değeri sıfırdan farklı ise ters dönüşüm hız transformasyonu aşağıdaki denklemde verildiği üzere tanımlanabilir (KIM And TSAI, 2003).

$$\dot{\theta}_1 = \mathbf{J}\dot{\mathbf{p}} \quad (2.13.)$$

Yukarıdaki denklemde verilen \mathbf{J} sistemin Jacobian matrisi olarak tanımlanmakta olup aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$\mathbf{J} = J_q^{-1} J_x \quad (2.14.)$$

Sistemin Jacobian matrisi kullanılarak robotun kol mekanizmasının kollarının ağırlıklarının sisteme etkisi de ihmal edilerek sisteme belirli bir konumda etki ettirilmesi gerekli kuvvetleri tork girişleri cinsinden ifade etmek istersek

$$\mathbf{f} = \mathbf{J}^T \boldsymbol{\tau} \quad (2.15.)$$

Burada kuvvet (\mathbf{f}) ve tork ($\boldsymbol{\tau}$) matrisleri aşağıdaki şekilde tanımlanmışlardır.

$$\mathbf{f} = [f_x, f_y, f_z]^T \quad (2.16.)$$

$$\boldsymbol{\tau} = [\tau_{11}, \tau_{21}, \tau_{31}]^T \quad (2.17.)$$

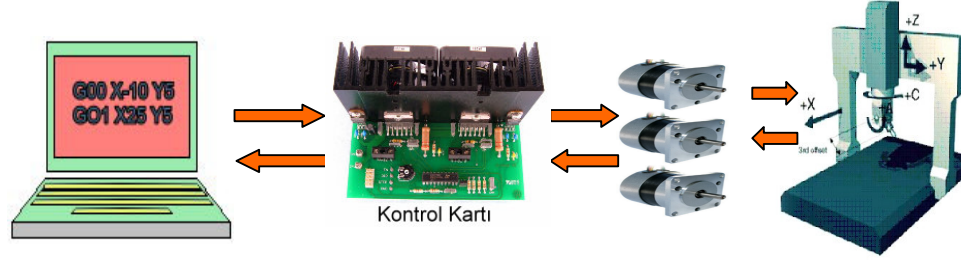
2.3.8. İleri ve Ters Kinematik Analiz

Bu analizde robotun platformunun verilen bir konumuna karşılık gelen kolun konum parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Sistemin yapısı dikkate alındığında her bir koordinatın aslında kollardan biri tarafından belirlendiği durumu göz önünde bulundurulduğunda platformun 3 eksenindeki konumunun bağımsız olarak kollar tarafından belirlendiği ortaya çıkar. Bu durumda her bir kol grubunda prizmatik mafsalsın konumunun aslında platformun bir koordinatını belirlediği de görüldüğünden, sistemin platformuna ait bir konumu için prizmatik (kayar) mafsalların konumlarını veren ifade aşağıdaki denklemde verilen şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{01} + d_1 \\ d_{02} + d_2 \\ d_{03} + d_3 \end{bmatrix} \quad (2.18.)$$

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tasarımlandırılan kartezyen robot, mekanik tasarım, kontrol kartı ile motor sürücü devresi ve bilgisayar yazılımı olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3.1). Her kısım kendi içinde incelenmiş ve uygulamada alternatifleri ile birlikte ele alınarak özellikle ekonomik olması nedeniyle fiyat performans oranı ön plana çıkmıştır.



Şekil 3.1. Kartezyen robotun blok yapısı

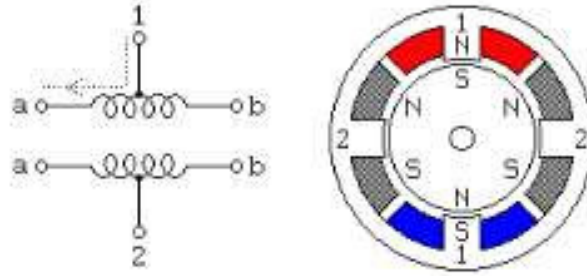
Tasarım aşamasında sistemi tahrik edecek elektrik makinesinin seçimi söz konusu olduğunda piyasadaki tüm makineler incelenmiştir. Bu makineler aşağıda tasarıma ön koşul olmak üzere detaylandırılarak kullanım olanakları tartışılmıştır. Ayrıca bundan böyle tez yazımında piyasada geçen adıyla elektrik makinesi yerine elektrik motoru ifadesi kullanılacaktır.

3.1 Adım (Stepper) Motorları

Yapısal açıdan DC motora çok benzemekle beraber bobin sargı sayısı ile sarım şekli değişmektedir. Bu sayede motor adım adım ilerletilebilmekte ve herhangi bir adımda durdurulabilmektedir.

Adım motorlarının çalışma prensibi: Sürekli pozitif gerilim ucuna gerilim uygulayıp, toprak uçlarını ise sırasıyla toprağa kısa devre yapmak sureti ile adimsal bir hareket elde etmektir. Adım motorlarının kontrol edilebilmesi ancak toprak uçlarına gönderilen sinyallerin denetlenmesi ile mümkündür. Bu yüzden toprak uçlarına hangi sıraya göre 1 ya da 0 sinyallerini gönderileceğine, ve bunun hangi frekansta yapılacağına karar vermek, motorun hangi yönde döneceğine, taşıma kapasitesine (tork) ve hızına karar vermek demektir.

Görüldüğü gibi (Şekil 3.2) akımın geçebileceği birden fazla bobin sargıları vardır. Bu sargıların sayısını arttırdıkça adım atabilme yetisini, yani açısal dönüşü o kadar azaltmaktadır. Örneğin 4 ayrı sargılı 50 parçalı bir adım motoru bir devirde 50' nin 4 katı yani 200 adım atabilir. Bu esnada açısal olarak bir adımı ise 360° ' ın 200 de biri kadar yani 1.8° dir.



Şekil 3.2. Adım motorunun iç yapısı

Burada görülen Tam Adım (Full Step Mode) ile yüksek tork taşıma kapasiteleri elde edilir. Yarım Adım (Half Step Mode) sürüş yöntemi ile stator, kuvvet uygulayan iki çekirdek arasında duruş yapar bu durumda stator üzerindeki moment kuvveti de yarıya düşecektir. Bu nedenle Yarım Adım Sürme yöntemi motorun tam bir dönüş için attığı adım sayısını artırarak daha hassas bir konum kontrolü elde etmemizi sağlasa da, robot kolları gibi tork taşıma kapasitesinin yüksek olması istenen sistemlerde kullanıma uygun bir sürüş yöntemi değildir.

Bunun yanında iki ayrı statora gönderilen gerilim farkları, aralıklı değerlere taşınarak, iki farklı çekirdeğin motor rotoruna farklı kuvvetler uygulaması sayesinde çok hassas konum kontrolleri yapılabilmektedir. Ancak bu durumda motorun tork taşıma kabiliyeti daha da düşecektir. Sonuç olarak adım motorlarının konum ve moment kontrol edilebilirlikleri yüksek olup geniş çalışma bantlarında piyasada bulunabilirler.

Tam Adım (Full Step) yöntemi ile çalışmak, Yarım Adım (Half Step) yöntemi ile çalışmaktan her yönden daha kontrol edilebilirdir. Bunun yanında ısınma ile kararlılıkları çok çabuk değişebilir, yüksek hızlarda adım atlamaları, gerilemeler ve tepki verme durumları da oluşabilir.

Yapılarından dolayı adım motorlarının sürülmesi oldukça kolaydır. Tasarımda adım motorunun bobin uçlarına adım şemasına göre (Şekil 3.3) sırayla akımın tatbik edilmesi amaçlanmıştır (ANONİM, 2006).

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

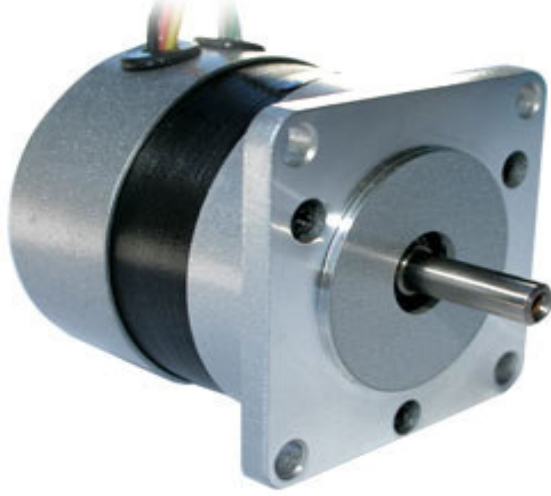
Alternate Full Step Sequence
(Provides more torque)

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

Half Step Sequence

Şekil 3.3. Tam adım ve yarım adım motor uçlarının uyarıtımı

Robotik uygulamalarında genellikle kullanılan motor tipleri adım ve servo olarak ikiye ayrılır. Adım motorlarının karakteristiği turu adımlara bölmeleridir. Bu motorlarla çok basit ama çok hassas iş yapan makineler yapılabildiği gibi, otomasyon alanında çok hesaplı çözümler üretilebilmektedir. Adım motorları 2 faz, 3 faz ve 5 faz olarak da ayrılırlar. Standart olarak piyasada en çok kullanılan 2 faz' dır. Ne yazık ki bu motorların dönme hızları yüksek değildir ve hızlı pozisyonlama gerektiren uygulamalar için tercih edilmezler. Bir adım motoru en kaliteli bir sürücüyle en fazla 1.400 devir civarlarına kadar çıkabilirken, bu değer servo motorlarda rahatlıkla 3.000 devirlere kadar çıkabilmektedir. Servo motorda elde edilecek adım enkoderin çözünürlüğüne bağlıdır. Servo sürücülerinde bölme kabiliyeti vardır ancak bu step motor gibi kesin netice vermez yani tekrarlama hassasiyeti step motorda daha yüksektir. Servoda hassasiyet enkoderin hassasiyeti kadardır. Servo sürücüler kendi içlerinde yuvarlama ve düzeltme yaparlar buda yapılan işe yansır. Özellikle servo motor ve sürücülerinin fiyatının step motor ile sürücülerinin fiyatıyla kıyaslandığında yüksek olması nedeniyle tasarladığımız sistemde 3 adet adım motoru kullanılmıştır. Kullanılan adım motorlarının teknik özellikleri (Şekil 3.4) de verilmiştir (ANONYMOUS, 2006).

Dönme adımı	1.8 derece 1 tur 200 adım
Torku	0.68 Nm
Besleme gerilimi	5 volt
Akımı	1.2 amper
Faz	2 fazlı adım motoru
Kutup şekli	Unipolar adım motoru
	

Şekil 3.4. Tasarımda kullanılan adım motoru

3.2. Kontrol Kartı ve Adım Motoru Sürücü Devresi

Adım motorunun kontrol edilmesini sağlayacak kontrol kartının tasarlanması ve uygulama aşamasında, öncelikle tercihleri belirleyecek bazı sorular ve cevapları vardır. Bunların başında manüplatörün taşıyacağı yüke, hıza, çalışma koşullarına, maliyetine, boyutlarına bağlı olarak hareketi sağlayacak pnomatik, hidrolik veya elektrik motorlu hareketlendiricilerden hangisinin tercih edileceğidir. Daha sonra kartın bilgiyi bir bilgisayardan mı alacağı yoksa kendi üzerine yerleştirilecek bir mikro denetleyici ile mi üreteceği ve sistemin geri besleme yapıp yapmayacağı da önem taşımaktadır.

Çalışmada, öncelikle ihtiyaçlarımızı belirlememiz ve bu şartları sağlayacak elektronik kontrol kartlarının oluşturulması öncelikle hedeflenmiştir.

Tasarımda seçilen bazı temel girdiler ve istenilen özellikler şunlardır;

-Sistemin ağırlığı, kolları ve taşıyıcı plaka dışında taşıyacağı en fazla yük : 3 kg.

-Kolların hareket edebileceği maksimum ilerleme hızı : Tam adımda 30 cm/dak, yarım adımda 15 cm/dak.

-Motor sürücüsüne gönderilecek kontrol sinyalleri : Adım sinyal sayısı (frequency), yön (direction), motor aktif – pasif (enable – disable).

-Sürücü devrede koruma : Kısa devre koruması ve sınır anahtarları ile hem mekanik hem de elektronik devrelerin korunması sağlanmıştır.

-Bilgisayar bağlantısı ile sürücü arasında optik bağlantı (Optocoupler) kullanılarak yüksek gerilim atlamalarından bilgisayarın korunması gerçekleştirilmiştir.

-Kontrol sinyalinin üretilmesi : Motor sürücüsü için gerekli sinyalin el ile (manual) veya bilgisayar ile üretilmesi. İstedğimiz motorda el, istediğimiz motorda ise kişisel bilgisayarla aynı anda veya ayrı ayrı kontrolü sağlanmıştır.

-Kişisel bilgisayar ile bağlantı şekli : Sürücü devrenin maliyetini düşürmek için üzerine ayrıca bir mikro kontroller yerleştirilmeyeceğinden sürücü devrelerin üç motoru aynı anda sürebilmesi için en az 9 ayrı sinyal gerekmektedir. En uygun bağlantı şekli paralel port (LPT) üzerinden yapılmasıdır.

-Motorun sürülme şekli : PWM (Pulse Width Modulated) sinyal genişliği ayarlanabilen sürücü ile moment düşümü en az olacak şekilde daha yüksek hızlarda kullanılabildiği için tercih edilmiştir.

-Geri besleme (feed back) : Sistemden ilk çalışmalarda geri besleme yapması istenmemektedir daha sonraki çalışmalarda istenmesi durumunda geri besleme için eklentiler imalat aşamasında göz önünde bulundurulacaktır.

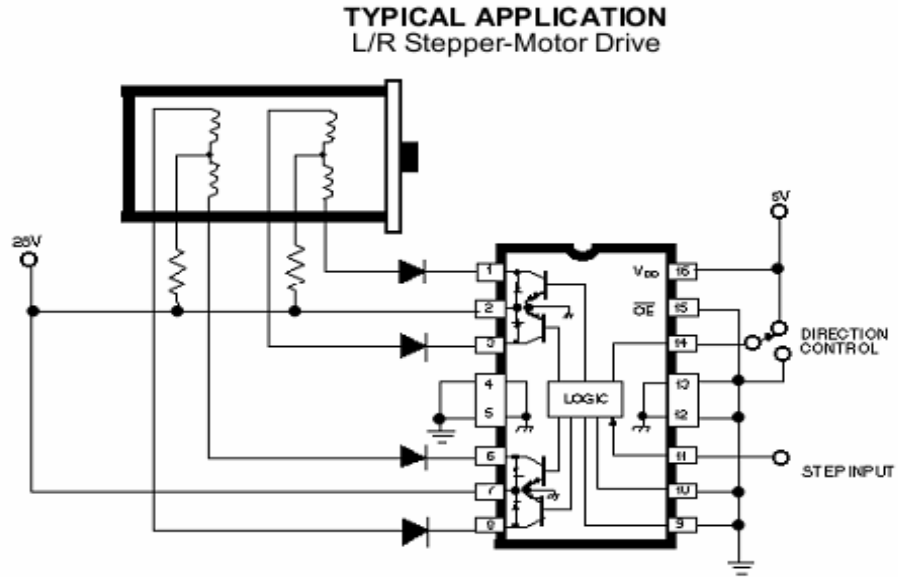
Yukarıdaki şartları sağlayan adım motoru sürücülerinin maliyet araştırması yapıldığında üç motor için en ucuz sistemin 1500 dolar gibi fiyatlardan başladığı görülmektedir. Bu miktar projenin toplam maliyetinden bile daha yüksek olduğu düşünülürse maliyeti düşürmek için sürücü devreleri de atölye imkanları dahilinde kendi olanaklarımızla imal etmemiz gerektiği ortaya çıkmıştır.

Piyasada çeşitli firmaların motor sürücüsü olarak ürettiği tümleşik işlemciler bulunmaktadır. Sorun bunların piyasada bulunabilirliği ve pratikte çalışma kararlılığı gösterip göstermeyeceğidir. Bu amaçla tasarımda 2 farklı tümleşik işlemci özgün olarak üretilmiştir. Ayrıca motor sürücü kartı da özgün olarak imal edilmiştir.

3.2.1 UCN5804 Adım Motoru Sürücü Devresi

İlk gerçekleştirilen adım motoru sürücüsü Allegro firmasının çıkardığı UCN5804 entegresi ile L/R (Bobin/Direnç) oranıyla akımı düzenleyerek motoru sürmektedir (Şekil 3.5). Bu devrenin avantaj ve dezavantajları;

- Maliyeti çok düşük (Her motor için yaklaşık maliyet 30 YTL).
- Daha büyük akımlı adım motorlarını sürebilmesi ancak entegrenin çıkış uçlarından mosfet transistorlerin sürülmesi ile olabilir.



Şekil 3.5. UCN5804 L/R Adım motoru sürücü devresi

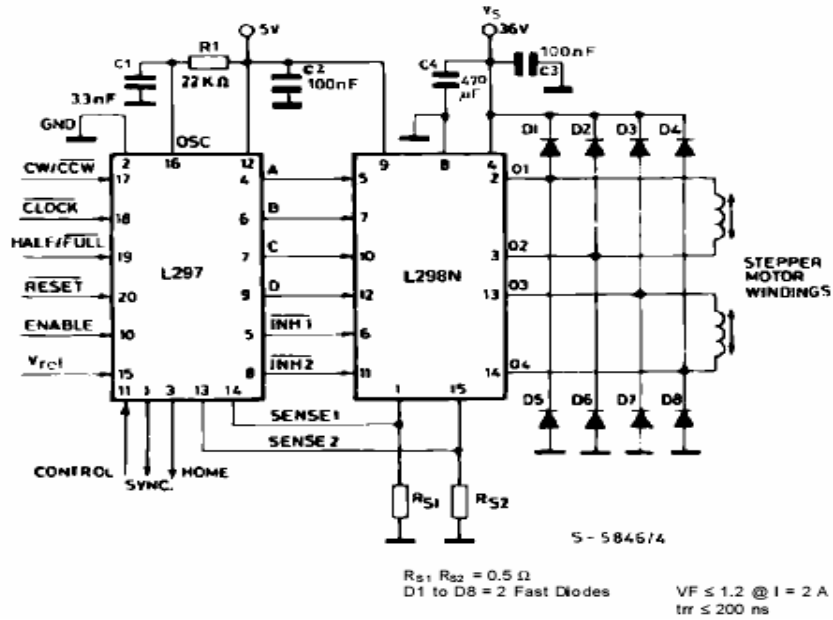
-Düşük devirlerde elde edilen moment iyi olmakla birlikte devir büyüdükçe moment ters orantılı olarak düşmektedir. Bu sebepten dolayı robotik uygulamalarda devrenin kullanılmasının uygun olmadığı belirlenmiştir. Devre adım motorunun gerilimiyle çalıştığı için motorlarda fazla ısınma meydana getirmez, sonuçta adım motorunu soğutmak için ek önlemlere gerek kalmamaktadır.

3.2.2. L297-L298 Adım Motoru Sürücü Devresi

ST Microelectronics firmasının çıkarmış olduğu L297 – L298 tümleşik Devreleri oldukça uyumlu çalışmaktadır. Sinyal genişliği ayarlanabilen (PWM) frekans üreterek adım motorunu sürmektedir (ANONYMOUS, 2006). Deneysel çalışmalar başlangıç seviyesinde ise oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Eğer daha hassas adımlar elde

edilmek istenirse bu durumda mikro-step sürme tekniğini kullanan adım motoru sürücüleri kullanılmalıdır. Bu teknikte motorun her bir adımı ayrıca 1/50, 1/200 gibi aralıklarda tekrar bölünebilmektedir. Bu devrenin kullandığı lojik kontrol sinyali olarak iki sinyal vardır, lojik “0” gerilimin olmadığı durumu ifade eder. Lojik “1” ise genel olarak +5 voltluk gerilimin olduğunu belirtir. Bilgisayar tarafından bilgiler lojik “0” ve “1” sinyallerine dönüştürülerek işlenir (STMICROELECTRONICS, 2001).

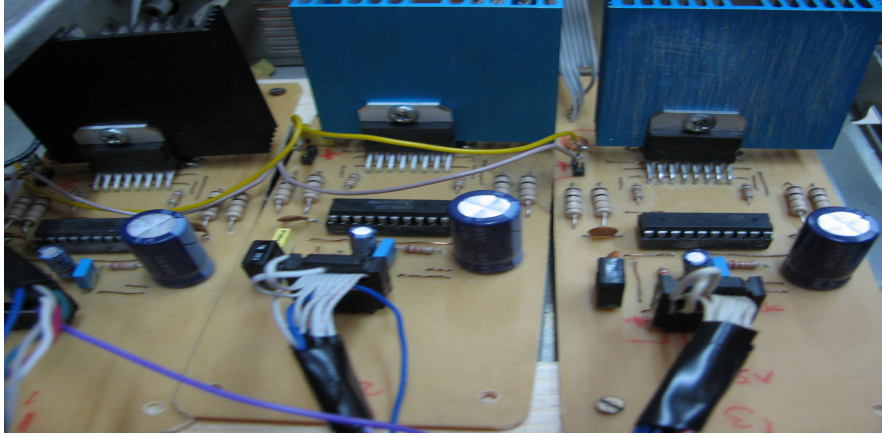
L297 tümleşik devresinin çalışma gerilimi 5 volt olup iki fazlı bipolar ve dört fazlı ünipolar adım motorlarını sürmek için gerekli sinyalleri üretmektedir. Oldukça kullanışlı yapıya sahip olan bu işlemcinin sürülmesi için aktif sinyalinin 10 nolu pine + 5 volt (lojik “1”) olarak verilmesi yeterlidir. 17 nolu pin yön bilgisi, 18 nolu pin adım için gerekli olan frekanstaki sinyalleri, 19 nolu pin ise yarım adım tam adım bilgisinin verildiği uçlardır. Eğer sistemde birden çok adım motoru birbiriyle eş zamanlı olarak sürülmek istenirse, bu 1 nolu pine ortak eşzamanlı salınım sinyallerinin bağlantısı ile gerçekleştirilir. 3 nolu pin ise sistemin belirlenen noktasını başlangıç noktası (home) olarak tanımlamasını sağlar (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. L297-L298 Adım motoru PWM sürücü şeması

L298 tümleşik devresinin maksimum çalışma gerilimi 50 volt olup çok kısa aralıklarda 3 ampere kadar motorun akım çekmesine izin vermektedir. Sürekli

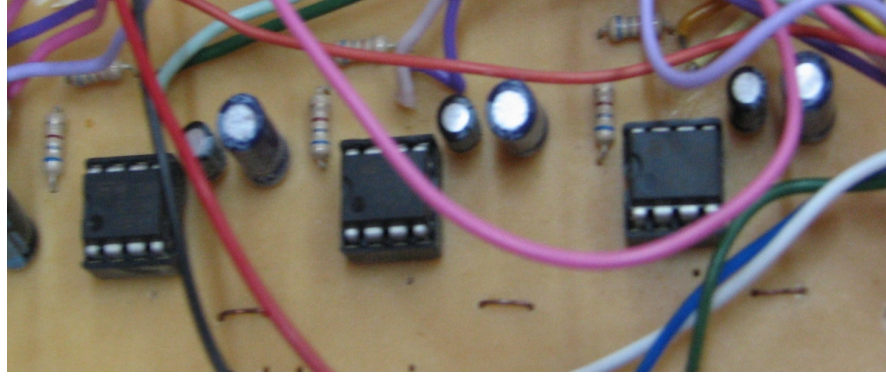
çalışmada akımın maksimum 2 amperi geçmesi aşırı ısınmaya ve devrenin zarar görmesine neden olur. Elektronik bileşenlerden L298 motorların ihtiyacı olan akımı ileten eleman olduğundan kararlı çalışmasını sağlamak için soğutulması gerekmektedir. Bu amaçla L298 alüminyum soğutucu levhalara monte edilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. L297-L298 Adım motoru sürücü devresi montajı

3.2.3. Osilatör Devresi

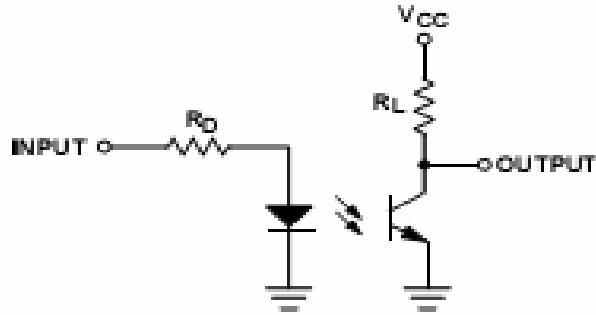
Tasarımda bilgisayar kapalı iken veya sistemde elle müdahaleyi gerektirecek durumlar için elle kontrol ünitesi geliştirilmiştir. Bu üniteyi kullanarak adım motorunu belirlenen devir aralıklarında istenilen yönde çalıştırmak mümkündür. Bunun için gerekli olan frekans 555 zamanlayıcı tümleşik devre elemanı ile üretilmektedir. İlk yapılan prototipte tek osilatör devresi ile 3 adım motoru aynı devir sayısında kontrol edilmektedir. Daha sonra ihtiyaçlar doğrultusunda her motorun ayrı ayrı devir sayılarında dönebilmesi için üç ayrı osilatör devresi yapılmıştır (Şekil 3.8). Sistemin son şeklinde ise aynı anda istediğimiz motoru el ile, istediğimiz motoru bilgisayar ile aynı anda kontrol etme olanağı elde edilmiştir. Eklenen özellik Z ekseninde parça üzerinde girinti, çıkıntıların elle takibinin yapılabilmesine izin vermektedir. Bu ise sisteme daha esnek yüzeysel işleme özellikleri kazandırmaktadır.



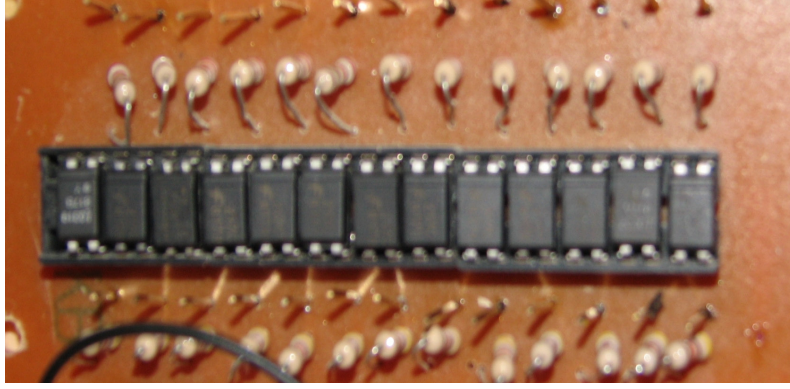
Şekil 3.8. Adım motoru sürücü devresi osilatörü

3.2.4. Optik Bağlantı ile İzolasyon Devresi

Sistemin kullanımında ve yapılacak deneysel çalışmalarda, taşıyıcı plaka üzerine monte edilebilecek yüksek gerilimle çalışan elemanlardan yüksek gerilim atlaması sonucu özellikle bilgisayarın ağır hasar görmesi söz konusudur. Agilent firmasına ait HCPL-817 fototransistörlü (Şekil 3.9) Optik bağlantı elemanı ile 5000 voltluk gerilimlere kadar yalıtım yapabilen, 4 mikro saniye cevaplama süresine sahip yalıtım devresi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10). HCPL-817 optik elemanının $V_{cc} = +5$ volt enerji girişi, Input = bilgisayarın paralel port çıkışlarından alınan girişler, $R_o = 2.2$ kohm luk direnç, $R_L = 470$ ohm luk direnç kullanılmıştır.



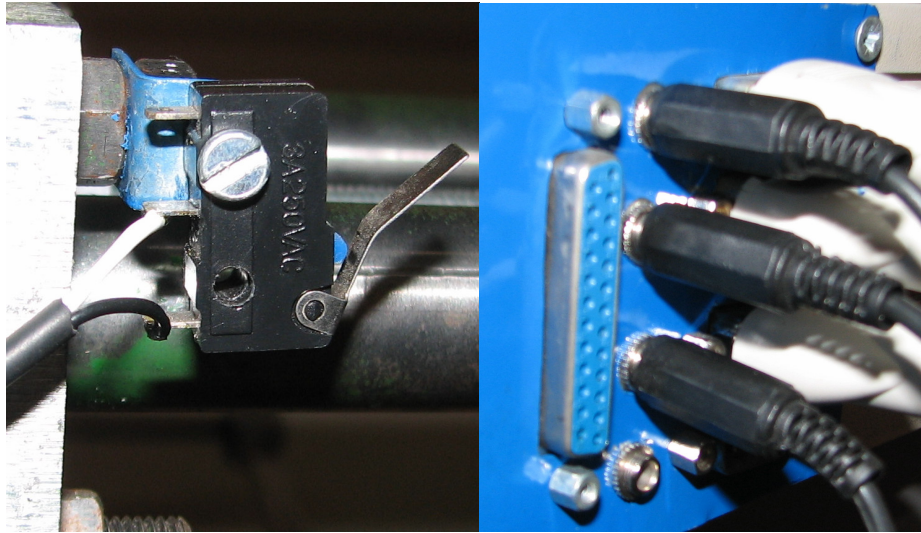
Şekil 3.9. HCPL-817 Optocoupler



Şekil 3.10. HCPL-817 Optocoupler ile yapılan izolasyon devresi

3.2.5 Sınır Anahtarları

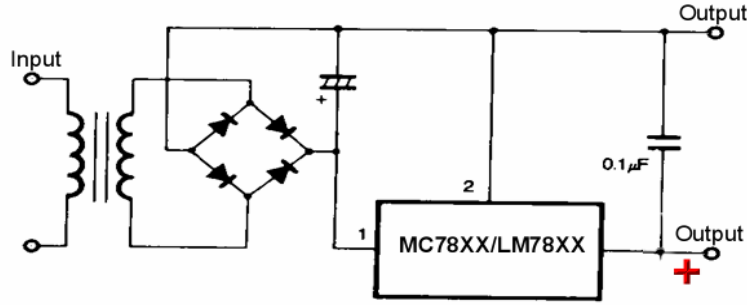
Hareket mekanizmalarının her yöndeki uç noktalarına hareketin son noktasını belirlemek için sınır anahtarları yerleştirilmiştir. Sınır anahtarları, hareket eden taşıyıcı platformun anahtarlara temas etmesi ile çalışır (Şekil 3.11). Anahtarlar temas esnasında 5 voltluk gerilimi 1 kiloohmluk dirençler üzerinden toprak hattına aktararak gerilimi toprak seviyesine çekerler. Sınır bilgisi bilgisayarın paralel portu üzerinden 10 nolu pin X, 11 nolu pin Y ve 12 nolu pin Z düzlemi için limitlere ulaşıldığını bildirir.



Şekil 3.11. Sınır anahtarları ve kontrol kartı bağlantısı

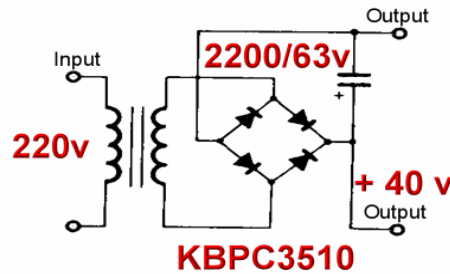
3.2.6 Güç Kaynağı

Sistemin elektrik enerjisi ile beslenmesinde üç ayrı gerilime ihtiyaç vardır. Gerekli olan enerji için iki ayrı klasik nüveli besleme trafosu kullanılmıştır. Klasik nüveli trafoların tercih nedeni anlık çekilen yüksek akımlardan etkilenmesi swich modlu güç kaynaklarına göre daha az olması ve nüveler üzerinden ısının daha büyük alandan dışarı taşınmasıdır. L297 entegresinin lojik kontrol sinyallerini üretmek için trafonun 0-6 voltluk gerilim uçları diyot köprüsü ile doğrultulmuş ve 7805 gerilim entegresi ile sabit +5 voltluk gerilim elde edilmiştir. Osilator devresinin beslenmesi için gerekli olan +12 voltluk sabit gerilim aynı trafonun 0-12 volt uçlarından diyot köprüsü ile doğrultularak elde edilmiştir. 7812 entegresi ile elde edilen doğru akım regüle edilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Regüleli 7812 ve 7805 güç kaynağı devresi

Adım motorlarının beslenmesi için gerekli enerji 300 watt, 40 voltluk nüveli transformatörün çıkış uçlarının 35 amper 1000 voltluk KBPC3510 diyot köprüsü ile doğrultulmasıyla elde edilmiştir. Gerilim salınımlarını ve motorların ilk kalkışlarındaki akım ihtiyacını dengelemek için 2200 mikofaradlık elektrolitik kondansatör diyotun çıkış uçlarına bağlanmıştır (Şekil 3.13).

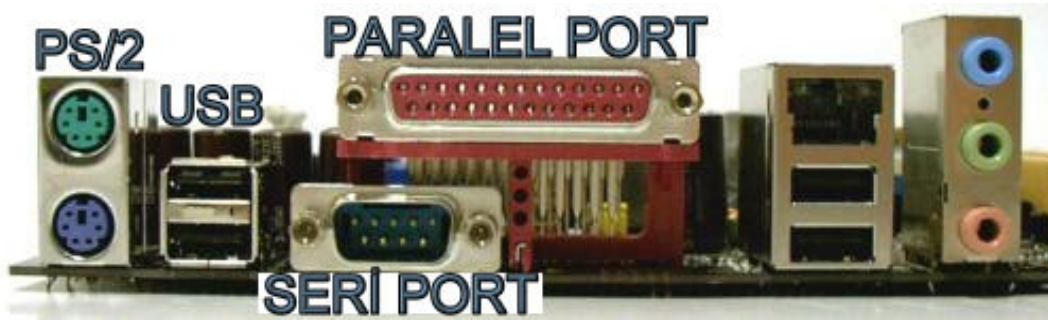


Şekil 3.13. KBPC3510 diyot köprülü 40 volt güç kaynağı devresi

Kullanılan adım motorlarının çalışma gerilimi 5 volt olmasına karşın 40 voltluk gerilimle, sinyal genişliği ayarlanabilen (PWM) frekansla sürülebilmesi sayesinde yüksek devirlerde tork azalmaları en alt seviyelerdedir.

3.2.7 Yazılım ve Bilgisayar ile Kontrol

Bilgisayarların dış çevre birimlerle haberleşmesi günümüzde genel olarak kablosuz ve kablolu olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Kablosuz bağlantı olarak bluetooth, kızılötesi ve wireless 2200BG 802.11b/g protokolleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kablo ile bağlantıda kullanılan protokoller modem ve Ethernet bağlantılarını dikkate almazsak daha çok seri haberleşme (RS232), paralel haberleşme (LPT), evrensel seri yol (USB) tercih edilmektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Bilgisayar Giriş-Çıkış birimleri

Seri portlar (Recommended Standard 232), sistemler arası iletişim aygıtı olarak genelde eşzamansız seri arabirim kullanılmaktadır. Her karakter bir başlama ve sonlandırma sinyali ile gönderilir. Yalnız bir 0 biti, başlangıç biti olarak gönderilecek karakterin önüne yerleştirilir, sonrasında gönderilen 8 bitin bir baytlık veri olduğunu belirtir. Hemen arkasından bir veya iki tane sonlanma biti bu karakterin gönderildiğini bildirir. Karşı taraftaki alıcı zamana bağlı olmaksızın bu başlangıç ve bitiş sinyallerine göre karakteri tanır. Başlangıç ve son bitlerinden dolayı gönderilmek istenilen karakterden %20 daha fazla bilgi transferi yapılmaktadır. Veri transferi için çoğu zaman üç kablo yeterlidir ve bu işlem için 2-3-5 nolu pinler çapraz bağlantı ile kullanılır (Çizelge 3.1). Seri portların adresleri bilgisayarın BIOS'undan ayarlanabildiği gibi çoğu işletim sisteminin içindeki denetim masası üzerinden de yapılabilmektedir. Standart

olarak bu adresler ve kesme noktaları 3F8H/IRQ4, 2F8H/IRQ3, 3E8H/IRQ4, 2E8H/IRQ10 olarak tanımlanmıştır (TUĞAY, 2005).

Çizelge 3.1. 9 pinli seri portun pin çıkışları

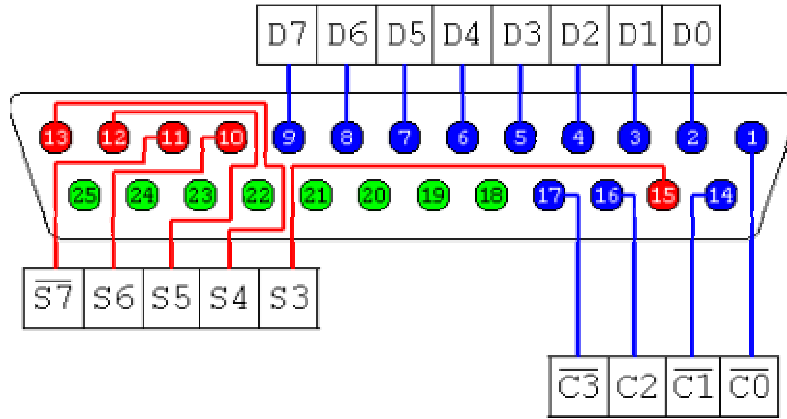
Pin	Görevi
1	Taşıyıcı belirlenmesi
2	Veri al
3	Veri gönder
4	Veri terminali hazır
5	Toprak
6	Veri ayarı hazır
7	Gönderme istemi
8	Göndermek serbest
9	Halka belirteci

USB (Universal Serial Bus), oldukça yüksek hızlarda bilginin aktarılabilirdiği USB bağlantıda dört pin ile tüm işlemler gerçekleştirilmektedir. Hem seri port ile hem de USB üzerinden adım motorlarını sürmek istersek mutlaka sürücü devreden önce bu sinyalleri çözümleyecek mikro denetleyiciler yerleştirmemiz gereklidir. Bunun avantajı bilgisayar veriyi gönderdikten sonra bilgisayarın diğer işlemler için boşta kalmasıdır. Dezavantajı ise sürücü üzerindeki ek mikro işlemci nedeni ile maliyetini arttırmış ve devrenin tasarlanmasını zorlaştırmış olur.

Çizelge 3.2. USB portun pin çıkışları

Pin	Görevi
1	Usb güç çıkışı
2	Veri -
3	Veri +
4	Toprak

Paralel port, kişisel bilgisayarlarda en yaygın olarak kullanılan 25 pinli konnektörlerdir. Yazıcılar için özellikle çok yaygın kullanılan bu portun BIOS üzerindeki standart adresleri 378H/IRQ7, 278H/IRQ5 olarak tanımlanmakla birlikte ana kartlar arasında farklılık gösterebilmektedir (Şekil 3.15). 25 pinli konnektörün bilgi gönderme pinleri D0..D7 arası adresi 378H, bilgiyi alma pinleri S3..S7 arası adresi 379H, kontrol pinleri C0..C3 arasına ise 37AH adresi ayrılmıştır. 18 ile 25 arası toprak bağlantısıdır.(ANONYMOUS, 2006)



Şekil 3.15. Paralel portun pin yapısı

Paralel port üzerinde veri aktarımı için kullanılan 2 den 9 a kadar olan pinlerin tümüne DATA portu denilmektedir. Data portu üzerindeki bu 8 pinin değerleri özel durum olmadığı sürece “00000000” olup istediğimiz pinin voltajını +5 volta getirerek lojik “1” değerini elde edebiliriz.

Yazılımla değiştirebildiğimiz 8 data pini 4 kontrol pini ve 5 de durum pini olmak üzere toplam 17 pin paralel portta bizim kontrolümüz altındadır. Adım motorlarının sürücü devresinin ve sınır anahtarlarının denetimi için oldukça uygundur (Şekil 3.16).

Herhangi bir programlama dilinde veriyi porta gönderme komutu ile göndereceğimiz 0 ile 255 arasındaki rakamlarla bu veri bitlerinin değerlerini değiştirmemiz mümkündür. Örneğin Visual Basic dili ile kontrol sinyallerini üretmek için yapmamız gereken `OUT <Data portunun adresi>, <Gönderilecek veri>` şeklinde program içinde yazmak yeterlidir (TUĞAY, 2005).

Çizelge 3.3. Yazıcılar için 25 pinli paralel portun pinleri ve görevleri

Pin	Görevi	Pin	Görevi
1	Kontrol sinyali	14	Oto besleme
2	Veri biti 0	15	Hata
3	Veri biti 1	16	Yazıcıyı sıfırla
4	Veri biti 2	17	Girdiyi seç
5	Veri biti 3	18	Toprak
6	Veri biti 4	19	Toprak
7	Veri biti 5	20	Toprak
8	Veri biti 6	21	Toprak
9	Veri biti 7	22	Toprak
10	Onay	23	Toprak
11	Meşgul	24	Toprak
12	Kağıt bitti	25	Toprak
13	Seç		

Paralel porta gönderilen 0 ile 255 arasındaki rakamlar ile portun pinleri üzerindeki gerilim değeri +5 volt ile 0 volt değerlerini almaktadır. Bilgisayar yazılımıyla kontrol bu mantıktan faydalanılarak yapılmaktadır. Çizelge 3. 4 de bu değerler verilmiştir. Sonuçta bizim kontrol etmek istediğimiz üç ayrı adım motoru için kullanacağımız pinler 2 den 7 kadar olan pinlerdir (TUĞAY, 2005). Bunların görevleri;

Adım motoru 1 : 2 nolu pin yön, 3 nolu pin frekans bilgisi

Adım motoru 2 : 4 nolu pin yön, 5 nolu pin frekans bilgisi

Adım motoru 3 : 6 nolu pin yön, 7 nolu pin frekans bilgisi şeklinde tanımlanabilir

Çizelge 3.4. Yazılım üzerinden paralel portun lojik değerlerinin değiştirilmesi

OUT &h378, 255 Bilgisi gönderildiğinde	1	1	1	1	1	1	1	1	1
OUT &h378, 0 Bilgisi gönderildiğinde	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Paralel port üzerindeki pinlerin değerlerini değiştirerek üç adım motorunun hangi yönde ve aynı anda kaç tanesinin ne hızda hareket edeceğini belirlemek için çizelgelerini oluşturduğumuzda, hazırlanan tablolar sadece motorun bir adımı için gerekli sinyali üretecektir. Aynı motorun adımı 1.8 derece olduğundan milinin tam bir tur atması için toplam 200 kere bu komut çiftinin bir döngü ile tekrar edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 3.5. Adım motorlarının hareket yönleri için paralel port pin çıkışları

Adım motoru-1 in saat yönündeki hareketi	OUT &h378, 1	0	0	0	0	0	0	0	1
	OUT &h378, 3	0	0	0	0	0	0	1	1
Adım motoru-1 in saatin tersi yönündeki hareketi	OUT &h378, 0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OUT &h378, 2	0	0	0	0	0	0	1	0
Adım motoru-2 in saat yönündeki hareketi	OUT &h378, 4	0	0	0	0	0	1	0	0
	OUT &h378, 12	0	0	0	0	1	1	0	0
Adım motoru-2 in saatin tersi yönündeki hareketi	OUT &h378, 0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OUT &h378, 8	0	0	0	0	1	0	0	0
Adım motoru-3 ün saat yönündeki hareketi	OUT &h378, 16	0	0	0	1	0	0	0	0
	OUT &h378, 48	0	0	1	10	0	0	0	0
Adım motoru-3 ün saatin tersi yönündeki hareketi	OUT &h378, 0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OUT &h378, 32	0	0	1	0	0	0	0	0
Adım motoru-1 ve 2 in saat yönündeki hareketi	OUT &h378, 5	0	0	0	0	0	1	0	1
	OUT &h378, 15	0	0	0	0	1	1	1	1

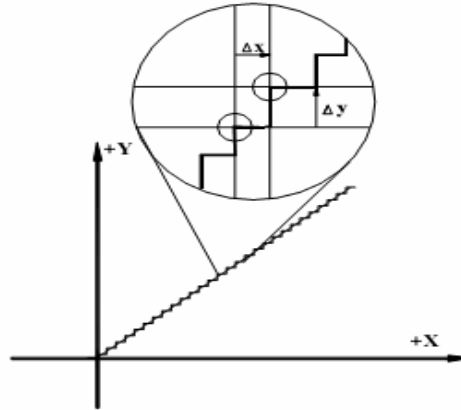
Adım motoru-1 ve 2 in saatin tersi yönündeki hareketi	OUT &h378, 0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OUT &h378, 10	0	0	0	0	1	0	1	0
Adım motoru-1 ve 3 ün saat yönündeki hareketi	OUT &h378, 17	0	0	0	1	0	0	0	1
	OUT &h378, 51	0	0	1	1	0	0	1	1
Adım motoru-1 ve 3 ün saatin tersi yönündeki hareketi	OUT &h378, 0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OUT &h378, 34	0	0	1	0	0	0	1	0
Adım motoru-2 ve 3 ün saat yönündeki hareketi	OUT &h378, 20	0	0	0	1	0	1	0	0
	OUT &h378, 60	0	0	1	1	1	1	0	0
Adım motoru-2 ve 3 ün saatin tersi yönündeki hareketi	OUT &h378, 0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OUT &h378, 40	0	0	1	0	1	0	0	0
Adım motoru-1,2 ve 3 ün saat yönündeki hareketi	OUT &h378, 21	0	0	0	1	0	1	0	1
	OUT &h378, 63	0	0	1	1	1	1	1	1
Adım motoru-1,2 ve 3 ün saatin tersi yönündeki hareketi	OUT &h378, 0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OUT &h378, 42	0	0	1	0	1	0	1	0

Kartezyen robotun kontrolü için gerekli program yazılımında ve paket programların kullanımında, ilerleme miktarının önceden sisteme tanıtılması gerekmektedir. Adım motorumuzun adımı 1.8° olup, bir turu 200 adımda gerçekleştirmektedir. Motor bir tur döndüğünde, hareket mekanizmasının ilerletme miline direk bağlı olduğu için bu milde bir tur dönecektir. İlerlemeyi gerçekleştiren milin adımı ise 1.25 mm/devirdir, bu durumda tam adımda her sinyal için ilerleme miktarı 1.25 in 200 de biri 0.006250 mm dir. Yarım adımda her sinyal için ilerleme miktarı bu değerın yarısı yani 0.003125 mm dir. Yukarıdaki verilen tablo ve komut çifti sadece bir adım için geçerli olduğuna göre; örneğin 100 mm lik bir ilerlemeyi tam adımda sağlamak için komut çiftinin döngü sayısı 0.006250 nin 100 katı 16000 olarak tekrar edilmesi gerektiği bulunmuştur. Yarım adımda aynı yolu gidebilmesi için döngü sayısı da iki katı olacaktır.

Sistem tasarımında dairesel enterpolasyon yapılmıştır. Temel olarak dairesel hareket çok küçük doğrusal hareketlerin art arda yapılması ile gerçekleşmektedir. Dolayısıyla takım sadece X ve Y koordinat eksenlerine paralel olarak işlem yapabilir. Bu durumda eğik veya dairesel bir yüzeyin işlenebilmesi için takıma Δx değerinde X eksenine paralel ve sonra Δy değerinde Y eksenine paralel olarak çok küçük bir hareket verebilir ve işlem boyunca bu şekilde devam eder. Yani eğik veya dairesel yüzey n parçaya bölünür ve her parça bir Δx ve Δy hareketleri ile meydana getirilir (Şekil 3.16). Bu hareket ne kadar küçük parçalara ayrılırsa daireye daha çok benzeyecektir. Kullanılacak çember denklemi;

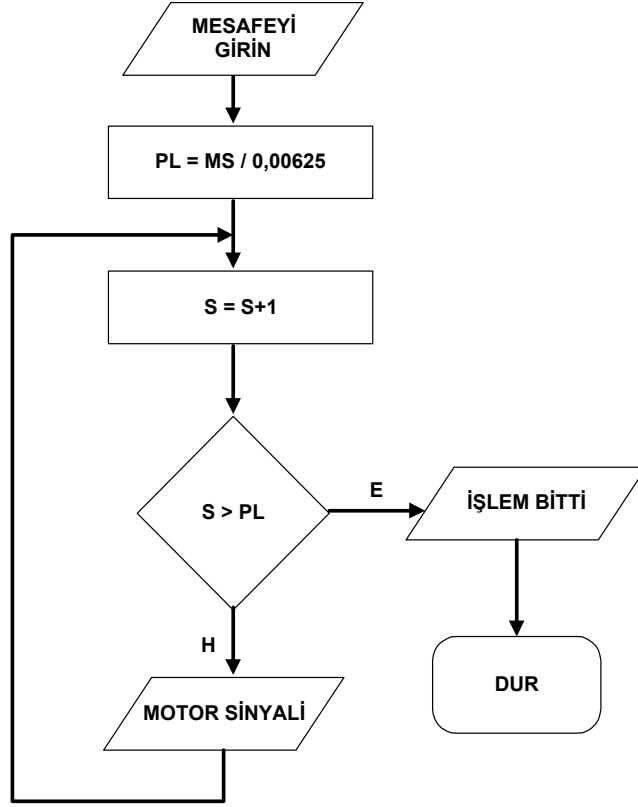
$$y = -\sqrt{r^2 - (x - x_0)^2} + y_0 \quad (3.1.)$$

3.1 denkleminde yararlanarak $x_0 - r$ 'den $x_0 + r$ 'ye kadar x 'in aldığı her değer için y 'nin aldığı değer hesaplanarak dairesel enterpolasyon gerçekleştirilir. (YAZICI, KILIVAN, ERTUNÇ, EROL, 2003)



Şekil 3.16. Δx ve Δy hareketlerin meydana getirilmesi

Motor hareketleri için algoritma (Şekil 3.17) verilmiş olup bu algoritma ile basit olarak her yönde doğrusal ve 45° açılardaki hareketler rahatlıkla gerçekleştirilmektedir. Motor sinyali kısmına hareket ettirilmek istenen yön ve motorla ilgili yukarıda verilen çizelgelere uygun komut çifti yazılacaktır. Dairesel ve 45° den farklı hareketlerde algoritmanın ve programların matematiksel denklemlerinin yeniden oluşturulması gerekmektedir.



Şekil 3.17. Adım motoru için bilgisayar kontrol sinyalinin üretilme algoritması

Visual Basic ile paralel port giriş-çıkış komutlarının çalışması için input 32.dll dosyasının bilgisayar üzerinde gerekli bölüme yüklü olması gerekmektedir.

```

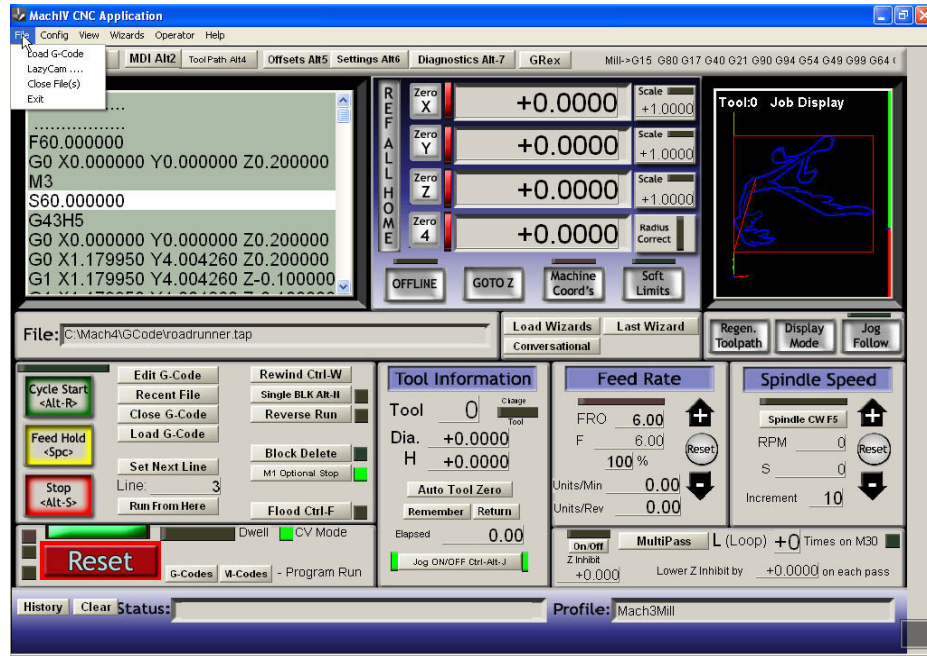
Private sub hesap_click()
Dim adres As Integer
Pl = Val (Mesafe) / 0.00625
Adres = &H378
For i = 1 To pl
Out adres,i
Bekle 2000
Next i
End Sub
Sub bekle (sayi as Long)
For k = 1 To sayi
Next k
End Sub
  
```

Tasarımda paket program kullanımı hedeflenmiştir. İnternet ortamında arama yapıldığında ücretli, ücretsiz yüzlerce Bilgisayar ile Sayısal Kontrol (Computer Numericaly Control) programı mevcuttur. Bu programlardan bir kısmı paralel port üzerinden kontrolü desteklerken bir kısmı da seri port üzerinden kontrolü desteklemektedirler. Daha gelişmiş ve çoğunlukla ücretli programlar ise USB portu da dahil olmak üzere kendi firmalarına ait özel sürücü kartları desteklemektedir. Tasarımda oluşturulan sistemin kontrolü direk paralel port üzerinden gerçekleşmekle birlikte yapılacak bir kısım eklentiler ile seri portu da destekleyecek konuma rahatlıkla gelebilecektir.

Tasarımın testlerinde kullanılacak olan paket programlar internet üzerinden <http://www.artofcnc.ca/DownLoads.htm> adresinden MACH IV ve <http://www.accesswave.ca/~blandry/ezcnc/abimp.html> adresinden EZ-CNC programı olmak üzere indirilmiş ve sonrasında ise sistemle uyumluluğu test edilmiştir.

3.2.7.1.MACH IV CNC Kontrol Programı

MACH IV CNC programının kurulumu oldukça basittir, sorulan sorulara ileri demek yeterlidir. Program sadece Windows XP tabanlı işletim sistemi ile çalışmaktadır, Program çalıştırıldığında (Şekil 3.18) ekranı gelmektedir.

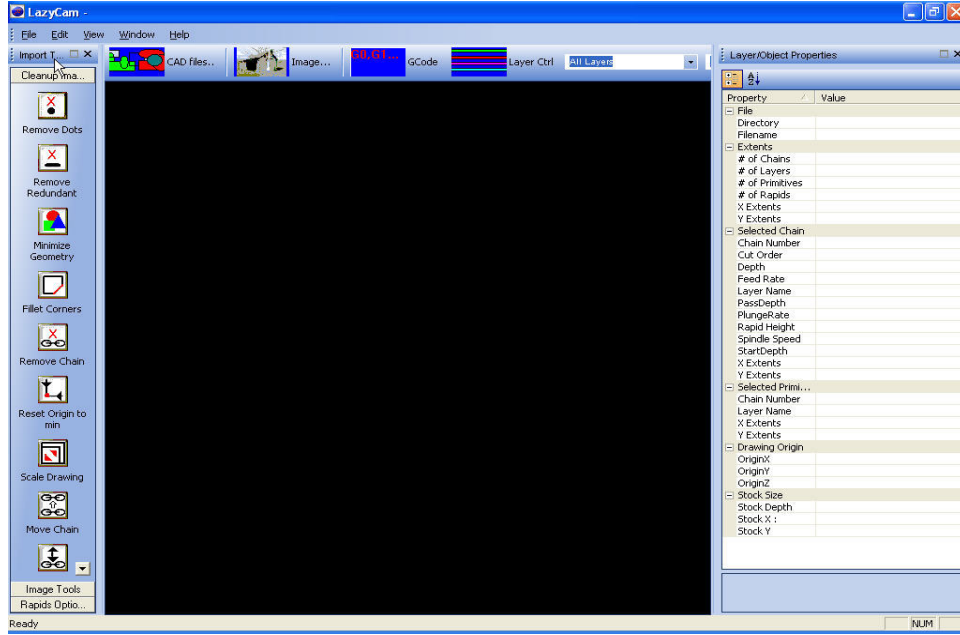


Şekil 3.18. MACH IV CNC kontrol programı ana menüsü

Program çalıştırıldığında;

Load G-Code : ISO kodlama sistemine göre yazılmış program kodlarının kaydedilmiş ortamdan çağırılmasını sağlamaktadır.

LazyCam : Farklı formatlarındaki resimlerden, Cad programlarının oluşturduğu dosyalardan ve kendi çizimlerinden G-M Kodlarını üretebilen alt programdır (Şekil 3.19).



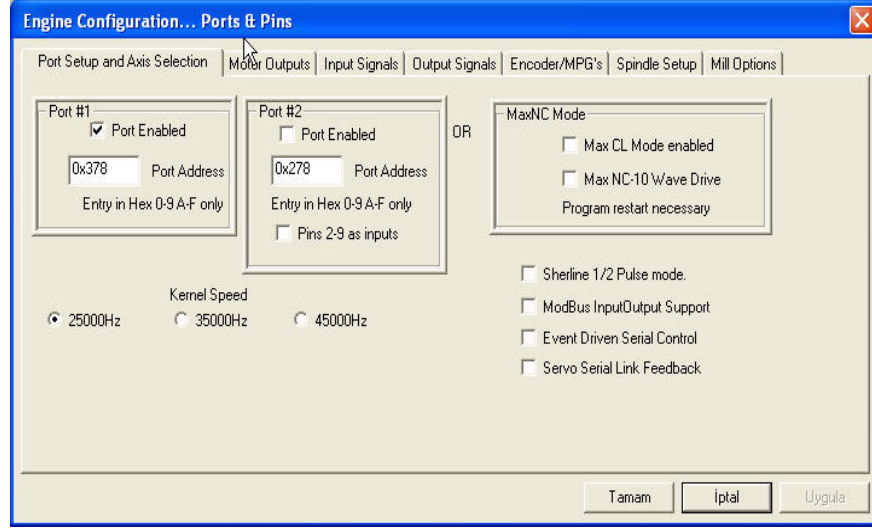
Şekil 3.19. LAZYCAM alt programı menüsü

Close File(s): Çalışma dosyasını(larını) kapatma

Exit: Programdan çıkış

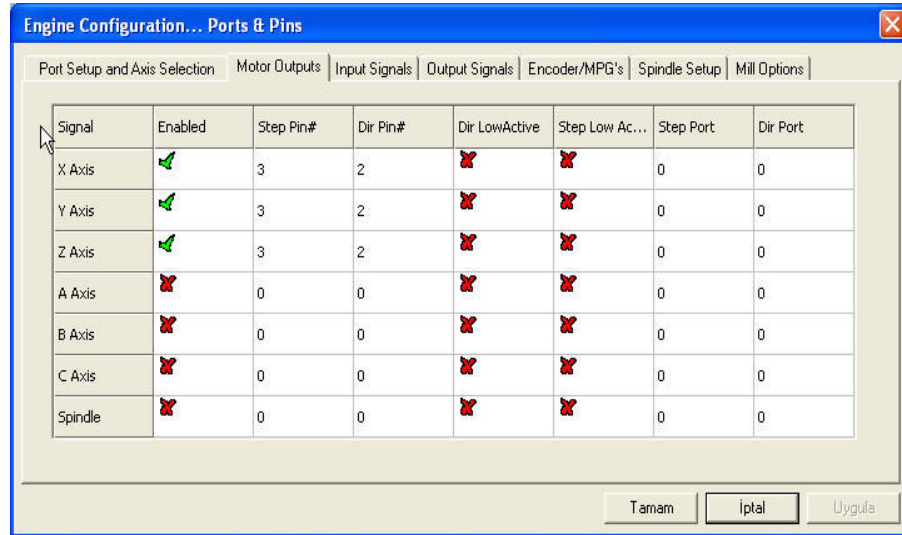
CONFIG MENU : Programda yapılması gereken temel tanımlamalar bu menü altında toplanmıştır. İlk yapılması gereken temel tanımlardan birincisi sistemin kullanacağı ölçü birim sisteminin milimetremi yoksa inch mi olacağını Select Native Units bölümünde seçilmesidir.

İkinci adımda yapılacak işlem kullanılacak paralel portun adresinin aktif hale getirilmesi ve bilgisayarın işlemci hızının seçilmesidir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. MACH IV CNC kontrol programı port ayarları

Üçüncü adım ise programda tanımlanmış paralel port pinleri ile adım motoru sürücü devresinin pinlerinin aynı olmasını sağlamaktır (Şekil 3.21).

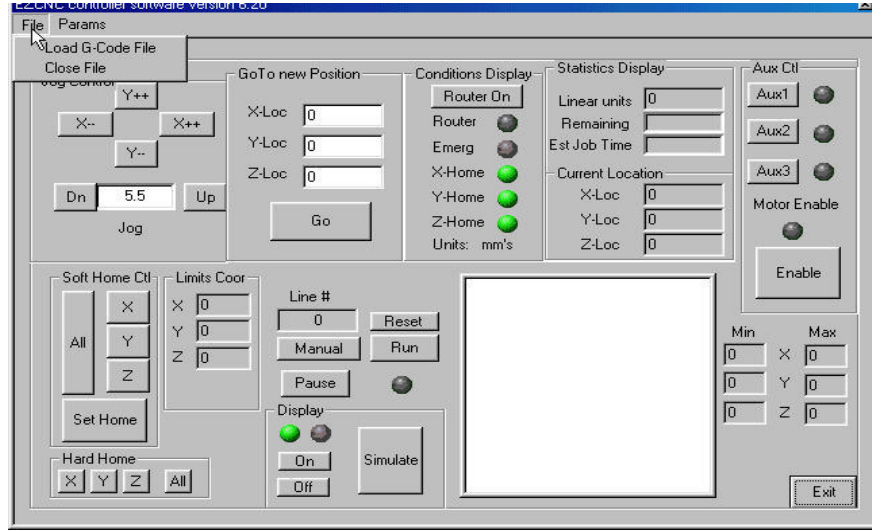


Şekil 3.21. MACH IV kontrol programı paralel port pin ayarları

Bundan sonrasında yapılacak işlem robot kollarının izleyeceği yollara uygun ISO sistemine göre tanımlanmış G ve M kodlarının kullanıldığı programı yazmaktır. Alternatif olarak dönüştürücü program yardımı ile çizim programında oluşturulmuş DXF dosyasından G-M kodlarını elde edip, her bir eksendeki kontrolü sağlayabiliriz.

3.2.7.2. EZ-CNC Kontrol Programı

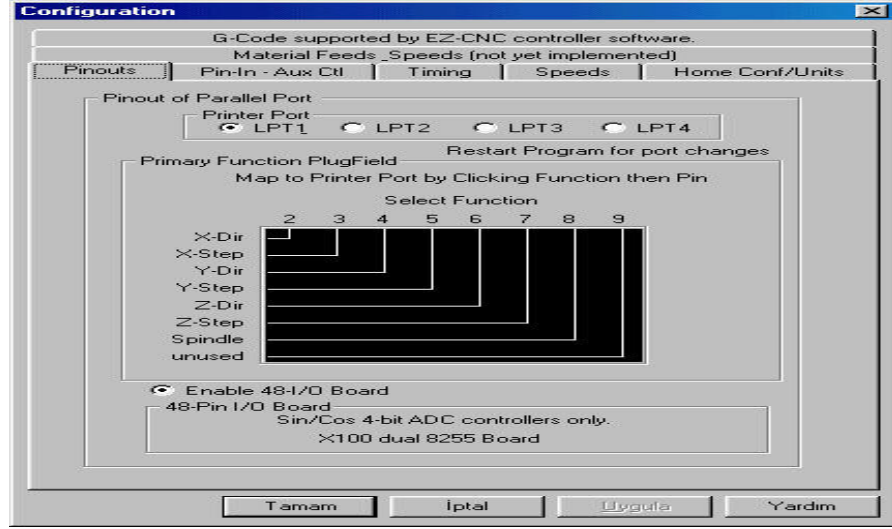
Ücretsiz olarak internetten indirilebilen oldukça basit ve kullanışlı olan Ez-CNC programı Windows 95 ve Windows 98 ve Windows ME işletim sistemleri ile uyumlu olarak çalışmaktadır, Windows XP tabanlı işletim sistemleri ile uyumlu değildir. Program kurulumu oldukça hızlı ve basittir. Program çalıştırıldığında gelen ana ekran üzerinden (Şekil 3.22) adım motorları elle kontrol edilebiliriz. Aynı zamanda G-M kodlarının kullanıldığı program ile de otomatik olarak kontroller sağlanabilir .



Şekil 3.22. EZ-CNC kontrol programı ana ekran görüntüsü

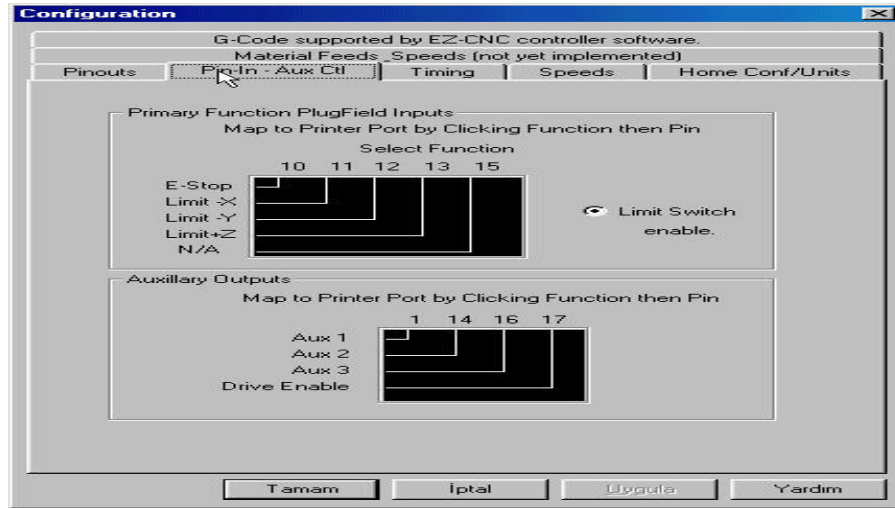
Paralel port üzerinden 2 nolu pin X eksenindeki motorun yön bilgisini, 3 nolu pin ise bu motora ait adım bilgisini, 4 nolu pin Y eksenindeki motorun yön bilgisini, 5 nolu pin ise aynı motorun adım bilgisini, 6 nolu pin Z eksenindeki motorun yön bilgisini, 7 nolu pin ise Z eksenindeki motorun adım bilgisini göndermektedir (Şekil 3.23).

Giriş-çıkış birimi olarak 48 pinli kart seçildiğinde sinüs, kosinüs gibi matematiksel işlemler dört bit olarak yapılmaktadır, Pentium tabanlı bilgisayarların hepsinde çift 8255 giriş-çıkış mikro işlemcisi bulunmaktadır. Bu bilgisayarlarda matematiksel hesaplamalar 16 bit ve üzerinde gerçekleştirilmektedir (kullanılan işletim sistemi yazılımına bağlı olarak).



Şekil 3.23. EZ-CNC kontrol programı paralel port adres ve ayarları

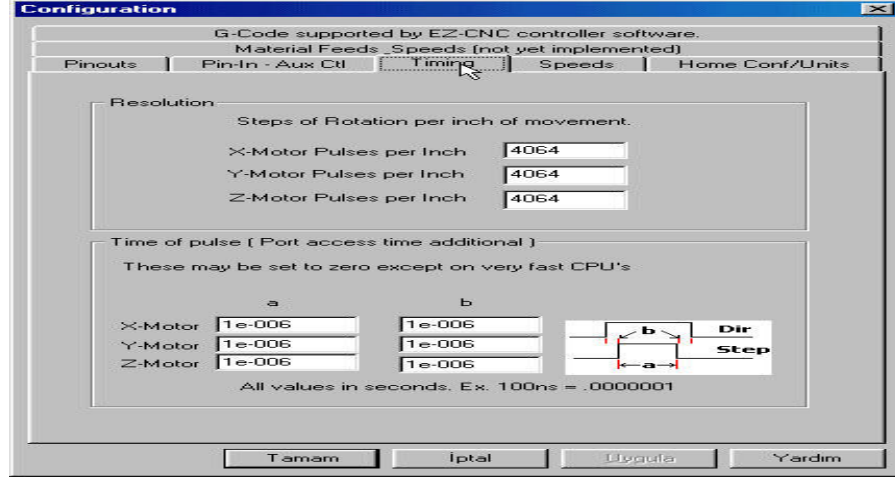
Mekanik sistem üzerine yerleştirilen sınır anahtarlarının ve acil durdurma anahtarının aktif hale getirilmesi seçenekler içindedir. Yazılım içerisinde paralel portun 10 nolu pini acil durdurma anahtarına, 11 nolu pini X eksenli sınır anahtarlarına, 12 nolu pin Y eksenli sınır anahtarlarına, 13 nolu pin ise Z eksenli sınır anahtarlarına ayrılmıştır (Şekil 3.24). Ayrıca dış ünite olarak bağlanacak motor, plazma gibi elemanların açılıp kapatılması için 1-14 – 16 -17 nolu pinlere yazılım açma kapatma sinyalini göndermektedir.



Şekil 3.24. EZ-CNC kontrol programı paralel port sınır anahtarları ayarları

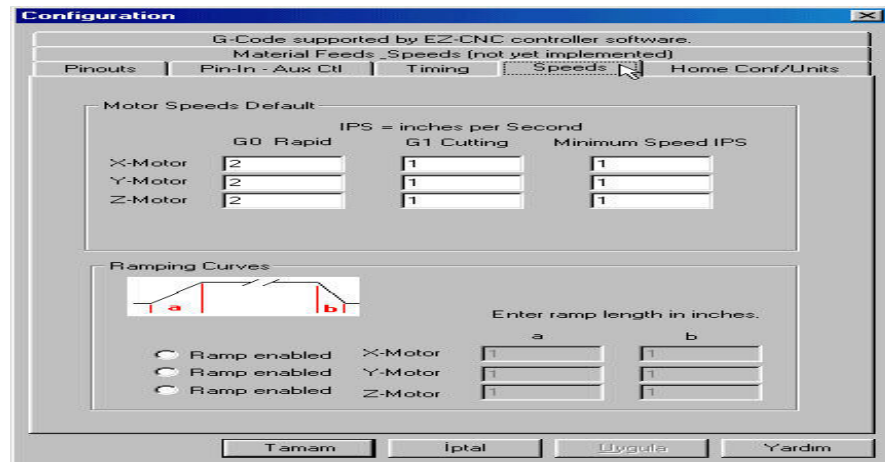
İlerletme milinin bir turda aldığı yola, ve adım motorunun bir tur dönmesi için gereken sinyal sayısına göre, her inç ilerleme için bir motora gönderilmesi gereken frekans

bilgisi her motor için ayrı ayrı tanımlanmalıdır (Şekil 3.25). Bu bölümde periyot açıklığının ayarı yön ve sinyal genişliği olarak tanımlanır. Eğer bu değerler adım motorunun cevap verebileceği süreleri aşarsa motorda dönme hareketi sağlıklı olarak gerçekleşmez, motorda titreşim veya inleme sesi olarak ortaya çıkar.



Şekil 3.25. EZ-CNC kontrol programı puls genişliği ve adım sayısının ayarları

Programın Speeds bölümünde talaşlı işlemlerde yük altındaki ilerleme hızı, boşta yüksüzken çıkılacak hızı ve minimum ilerleme hızının tanımı yapılmaktadır. Rampa eğimi tanımı kısmında motorların durağandan hareketli hale ve hareket halindeyken durması için gerekli ivmelenme değerleri girilmektedir. Ayrıca bu ivmelenme rampa değerlerinin kaç inç uzunluktan sonra aktif olacağı a ve b değeri sütunları altındaki butonlara tik atılarak tanımlanmalıdır.



Şekil 3.26. EZ-CNC kontrol programı maksimum hız ve frekans rampa ayarları

G ve M kodları ile bağlama platformunun hareketleri tanımlanır ve bu tanımlanan hareketlere göre bilgisayar kontrol sinyallerini üretir. ISO sistemine göre tanımlanmış G ve M kodlarının ne anlama geldiği aşağıda tabloda açıklanmıştır.

Çizelge 3.6. CNC G M kodları

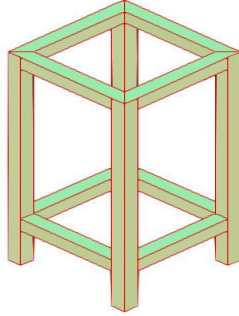
G VE M KODLARI	TANIMLANMIŞ OLAN GÖREVİ
G00	En yüksek hızda yük olmadan hareket.
G01	Yük altında düşük hızda hareket.
G02	Saat yönünde dairesel interpolasyon.
G03	Saatın tersi yönünde dairesel interpolasyon.
G04	Bekletme.
G17	X/Y ekseninde dairesel interpolasyon.
G18	X/Z ekseninde dairesel interpolasyon.
G19	Y/Z ekseninde dairesel interpolasyon.
G20	Inch ölçü birim sistemi.
G21	Metrik ölçü birim sistemi.
M03	İş mili motorunu saat yönünde döndür.
M04	İş mili motorunu saatın tersi yönünde döndür.
M05	İş mili motorunu durdurur.
M06	Kesici değiştirme.

3.3 Mekanik Sistem Konstrüksiyon Tasarımı

Mekanik sistemin tasarımı ve üretimi tamamen atölye olanakları ve piyasadan malzemelerin temin edilip edilememesine bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bazı tasarımlardan, imalat aşamasında veya daha sonrasında vazgeçilip, farklı arayışlara gidilmiştir.

3.3.1 Gövde Tasarımı

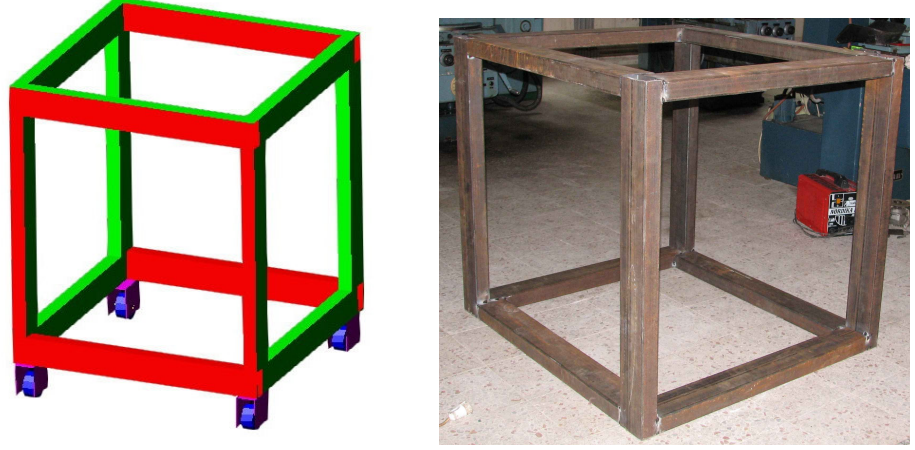
Gövdenin ilk tasarımı hafif ve taşınabilir olup, çalışanların ergonomik olarak parça bağlayıp sökebileceği yüksekliktedir. Bu imalatla piyasada rahatça bulunan 3 mm et kalınlığına sahip 40x40 kare profil kullanılmıştır(Şekil 3.27). Profillerin kaynağı esnasında kaynak çekmelerinden kaynaklanan çarpılmalar ve bunun sonucunda ortaya çıkan aksel kaymalar, daha sonra montajı yapılacak yatak mekanizmalarının aksellerinin ayarlanmasında çok büyük zorluklar çıkarttığı için, bu tasarımdan vazgeçilmiştir.



Şekil 3.27. İlk gövde tasarımı

Taşıyıcı yatakların tek düzlemlerinde montajı, aksellerde oldukça büyük avantaj sağlamaktadır, aynı zamanda gövdenin ağırlığının daha büyük olması ilk tasarıma göre taşıma zorlukları getirirse de hareket mekanizmasında oluşan küçük titreşimlerden daha az etkilenmeyi sağlaması avantaj olarak değerlendirilmiştir. Gövdeye iki adet sabit iki adet hareketli tekerlek yerleştirilerek taşıma zorluğunu bir miktar azaltılmıştır (Şekil 3.28). Son tasarımda kullanılan gövde imalatında et kalınlığı

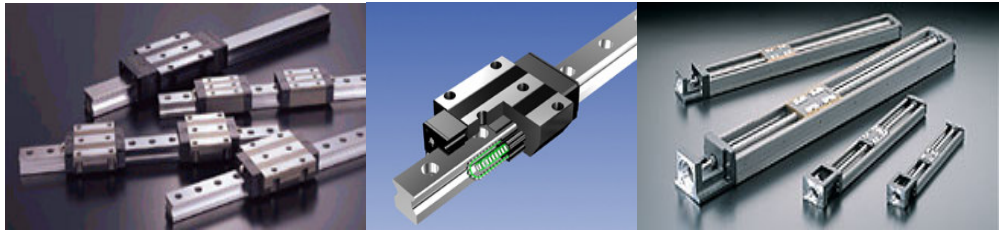
3 mm olan 60x120 mm kesitinde kutu profil kullanıp 1 m³ hacminde küp oluşturulmuştur.



Şekil 3.28. Son gövde tasarımı

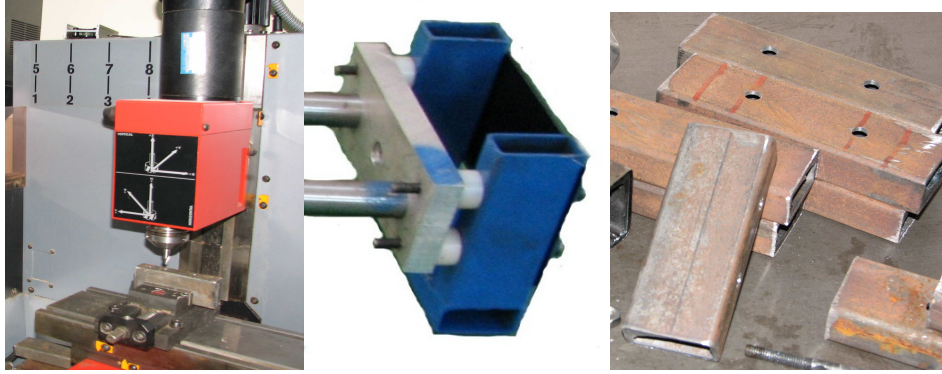
3.3.2 Doğrusal Hareket Sistem Tasarımı

Piyasa da hazır çeşitli doğrusal hareket sistemleri mevcut olup birim (1 metre uzunluk) fiyatı 500 \$ ile 20.000 \$ arasında değişmektedir. Genel olarak bu sistemlerin hassasiyetleri 0.001 mm mertebelerinde olup önemli seçim kriterlerinden bir tanesidir. Diğer seçim kriterleri; yatağa gelen yük, yükün pozisyonu, montajı yapılacak yer, tahrik şekli, fiyatı, dayanıklılığı, kullanım yeri koşullarıdır. Şekil 3.29 da ki son yatak THK (Toughness High Quality Know How) firmasına ait KR5520 A+980L kodlu ürün olup 980 mm çalışma strokuna sahiptir uzunlamasına taşıyabileceği maksimum moment 870 Nm, enine ise 2280 Nm katalog değeri olarak verilmiştir. Ürünün fiyatı ise 9.000 euro civarındadır.



Şekil 3.29. Doğrusal hareket sistemleri

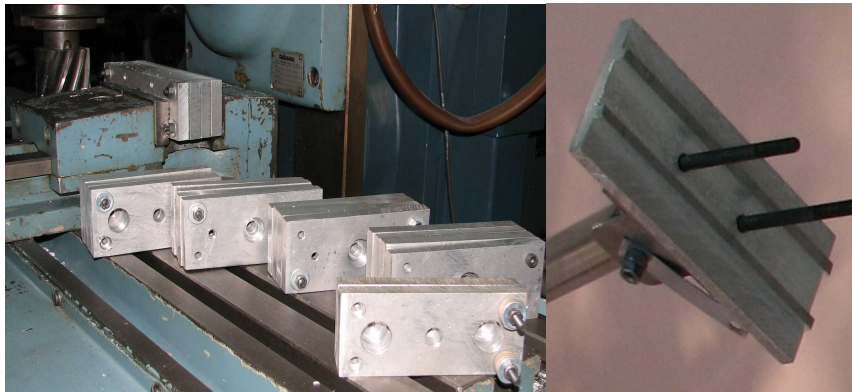
yapılmıştır. Böylece kaynak çarpılmalarından en az etkilenecek şekilde üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.32. Montaj pabuçları

3.3.4. Sabit ve Hareketli Taşıyıcı Elemanların Tasarımı

Sabit ve Hareketli Taşıyıcı Elemanlar hafif olması ve kolay işlenebilmesi için alüminyum malzemeden (ISO Al99.7) imal edilmiştir. Bu elemanların eksen markalaması aynı şekilde CNC freze tezgahında yapılmıştır. Markalamadan sonra dik Bohrwerk tezgahında deliklerin büyütülmesi gerçekleştirilmiştir. Yan yüzeyler ise klasik freze tezgahında, eş çalışacak parçalar dörtlü guruplar halinde, eksenleri aynı doğrultuya getirildikten sonra işlenmiştir (Şekil 3.33). Hareketli taşıyıcı plakaların alt ve üst kısımlarına hem kapak görevi görecek, hem de kolları taşıyacak alüminyum levhalar imal edilmiştir. Mafsalların bağlantısı da bu levhaların üzerinden yapılmıştır. Freze tezgahında parçaların kenarlarına set açılarak yüzeylerdeki kaymalar engellenmiş ve malzemenin ağırlığı azaltılmıştır.



Şekil 3.33 Sabit ve hareketli taşıyıcıların frezede işlenmesi

3.3.5. Millerin Tasarımı

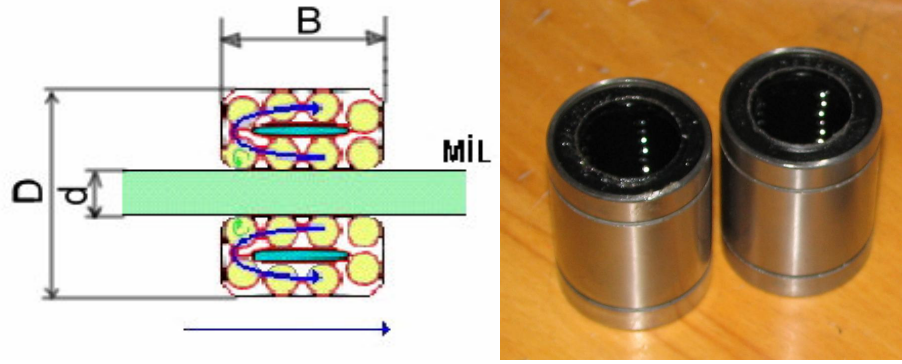
Doğrusal hareketin oluşturulmasında hem yatak görevi hem de taşıyıcı olarak, CROMSTEEL firmasının Ck55 indüksiyonla yüzeyleri HRC 62 sertleştirilmiş, ISO h6 toleranslarında ürettiği 20 mm çapındaki mili kullanılmıştır. Yüzeyi sertleştirilmiş milin seçilme nedeni ise rulmanların mil üzerinde iz oluşturarak boşluk oluşumuna neden olmamasıdır. İki uçtan monte edilmiş millin üzerine gelen dik kuvvetler mil üzerinde sehime neden olmaktadır. Sehim milin orta noktasında maksimumdur. Bu olay yataklamalar da istenmeyen bir durum olup önlenmesi için yük azaltılabilir, daha kalın mil seçilebilir, mil boyu kısaltılabilir veya destekli millerden yararlanılabilir. Destekli millerden yararlanma durumunda ise lineer rulman olarak açık tip rulman seçmek gerekmektedir. Bütün bunlar tasarımda karşılaşılan en büyük sorunlardandır. Sisteme daha büyük kuvvetlerin etki etmesi durumunda, destekli miller radyal gelen kuvvetleri karşılayabilseler bile eksenel kuvvetleri taşıyamazlar. Bu yüzden tasarım da mil ve lineer rulman çifti yerine bilyeli raylar tercih edilmelidir. Tasarım maliyetini arttıran bu seçimde ki dezavantaj özgün tasarımla aşılmıştır.



Şekil 3.34. Yataklama ve klavuzluk yapan çelik miller

3.3.6. Lineer Rulmanlar

Tasarlanan doğrusal hareket sisteminde lineer rulman olarak SAMICK firmasının LM 20 UU kodlu ürününden 6 adet kullanılmıştır. Rulmanın boyutsal değerleri dış çapı $D=32$ mm iç çapı $d=20$ mm ve uzunluğu $B=42$ mm dir. Lineer rulmanın kullanımına alternatif olarak kullanılacak burçlara göre sürtünme kuvvetlerini büyük ölçüde azaltmaktadır. Rulmanın hareketi esnasında tüp içindeki bilyeler (Şekil 3.35) devri daim yaparak mil yüzeyine baskı yapmaktadırlar (ANONİM, 2006)

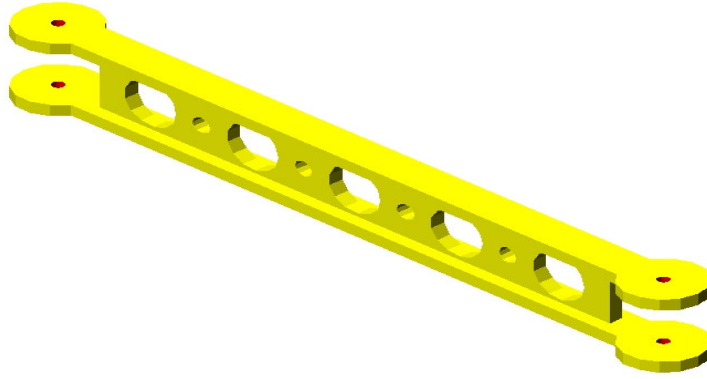


Şekil 3.35. Lineer rulmanlar ve çalışma prensibi

3.3.7. Mafsallar ve Kolların Tasarımı

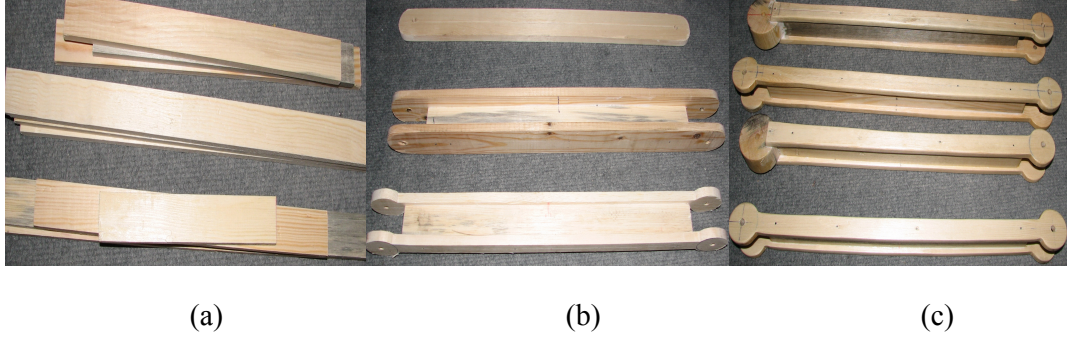
Tasarlanan kollarla ilgili piyasada hazır hiçbir üretim olmadığı için, tamamen tasarımından son ürün haline kadar üretimi kendi atölye koşullarımızda gerçekleştirmemiz gerekmiştir.

Mafsalların ve kolların tasarımı için AutoCAD ortamında üç boyutlu tasarım yapılmış ve oluşturulan katı modelde simülasyonla hata kontrolleri yapılmıştır (Şekil 3.36).



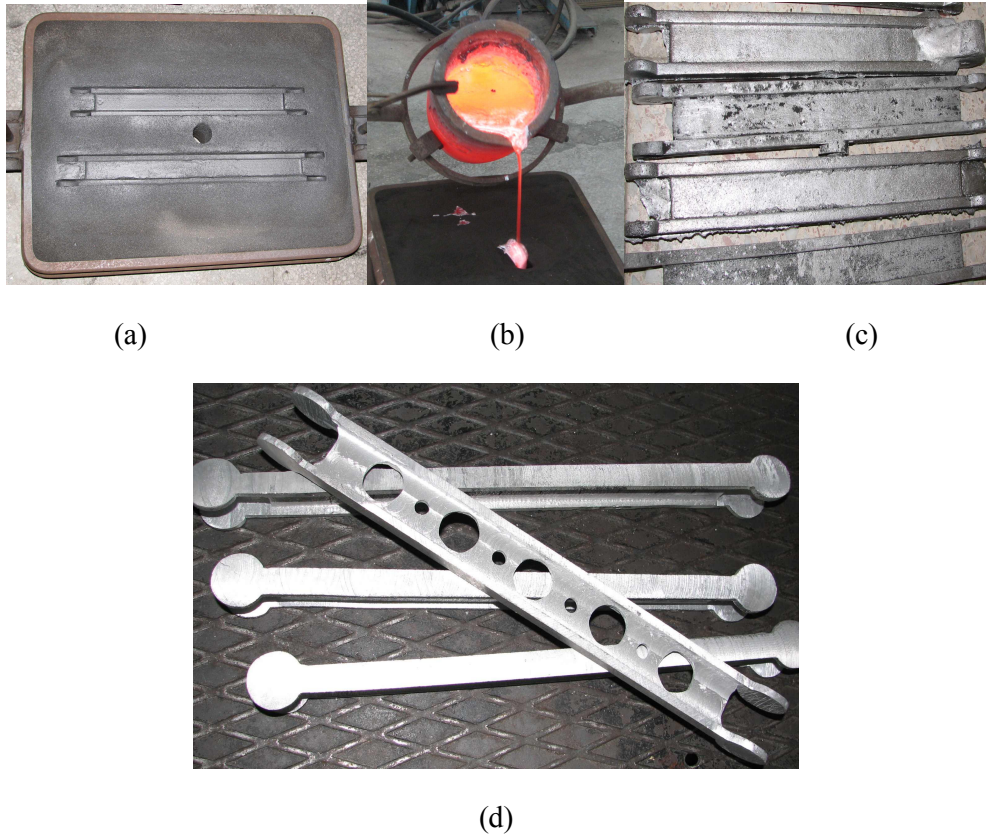
Şekil 3.36. Cad programında yapılan kol tasarımı

Tasarımdan sonraki aşamada parçaların kaba üretimleri döküm yoluyla yapılmış ve daha sonra talaşlı imalat tezgahlarında işlenerek son hallerine getirilmiştir. Dökümün yapılabilmesi için öncelikle modeller kolay işlenen ahşap malzemeden imal edilmiştir. Şekil 3.37 de görüldüğü üzere ahşaptan imal edilen modellerin (a) yüzeyleri zımpara ile düzgün hale getirildikten (b) sonra vernikleme işlemiyle (c) kalıp kumunun neminden korunması ve daha düzgün yüzeylerin çıkması sağlanmıştır.



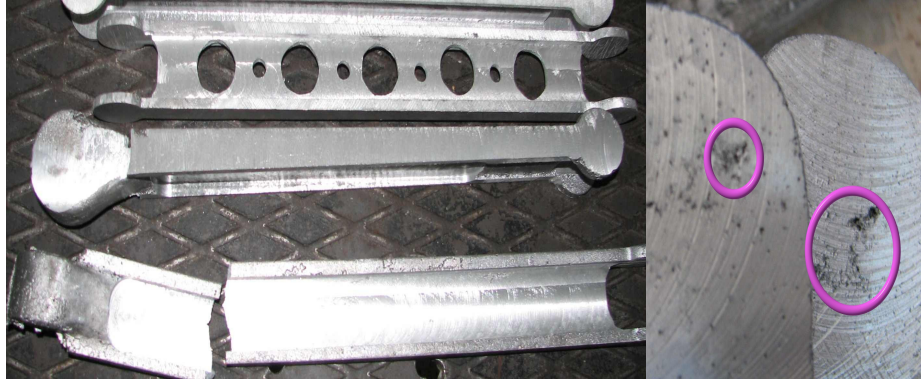
Şekil 3.37. Ahşap malzemedeki kolları modellerinin oluşturulması

Derece olarak isimlendirilen kutulara yerleştirilen modeller, yolluk ve çıkıcıları yerleştirildikten sonra kalıp kumu ile doldurmuş, kum sıkıştırılmış, sonrasında ise içersinden model çıkartılarak düzeltmeler yapılmıştır (Şekil 3.38-a). Ergitilmiş metal modelin oluşturduğu boşluklara dökülerek parçanın üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.38-b). Üretilen parça henüz son ürün halinde değildir (Şekil 3.38-c) freze tezgahında uygun çakı ile işlenerek son ürün haline getirilmiştir (Şekil 3.38-d).



Şekil 3.38. Tasarlanan kolun imalatı

Kol son ürün haline getirilirken istenmeyen bir olay gerçekleşmiştir. Kolların frezelenmesi sırasında oluşan titreşimlerden kolların bir kısmı kırılmıştır. Kırılma nedenlerini incelendiğinde ergittiğimiz alüminyumun motor hurdalarından elde edilmesi, bunlara bulaşmış olan yağ vs malzemelerin gaz oluşturması ve bu gaz boşluklarının malzeme içinde kalması neticesinde oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 3.39). Güvenlik açısından diğer sağlam üretilen kolların kullanılmasının da uygun olmadığı açıktır. Malzemeye uygulanacak ultrasonik veya X-ray tahribatsız testlerden sonra malzemenin imalatının sağlıklı olup olmadığı ortaya çıkacaktır. Bu işlemler ise oldukça uzun bir süreç gerektirmektedir. Yapılan tasarımın hafif olması aynı zamanda mafsallarda büyük baskı yüzeylerinin bulunmasının avantajı titreşimlerin daha az olması ve motor yüklerinin azalmasını sağlamasıdır. Zaman problemi yüzünden bu tasarıma alternatif olarak CrNi alaşımlı, dairesel kesitli içi boşaltılmış (boru) çelik kullanılmıştır.



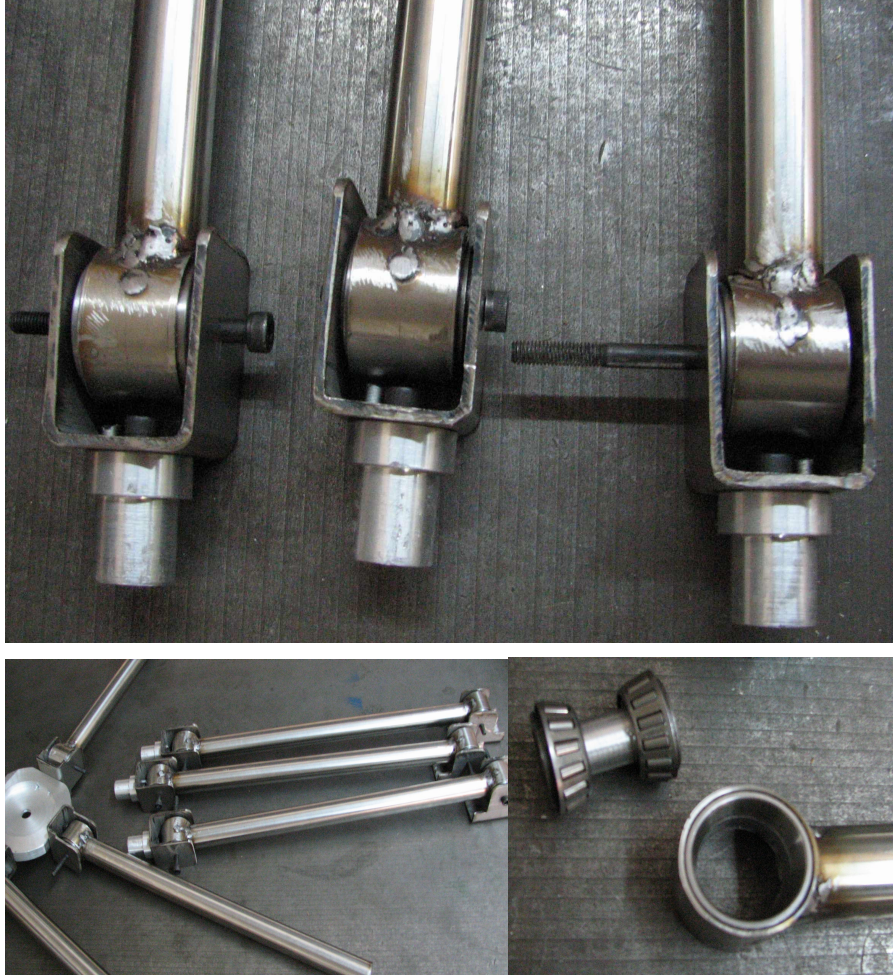
Şekil 3.39. Döküm esnasında oluşan hatalar

Isıdan etkilenmeme, korozyona karşı dayanıklılık, titreşimlere karşı mukavemetinin yüksek olması gibi istekleri karşılayacak malzeme olarak CrNi alaşımlı çelik en uygun malzemedir. Krom-nikel alaşım malzemenin ise en büyük dezavantajı ağırlığının fazla olmasıdır. Malzemelerin ilk kesme işlemlerinden sonraki durumları Şekil 3.40 ta gösterilmiştir.



Şekil 3.40. Kolların imalatında kullanılacak CrNi alaşımlı çelik malzemeler.

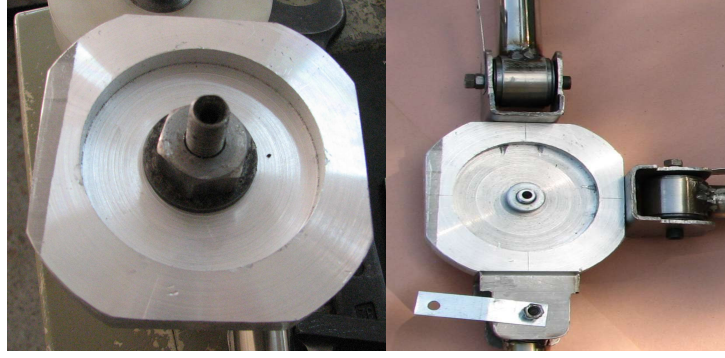
Hazırlanan parçaların kaynakla birleştirme işlemi MIG gaz altı kaynağı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan bağlama kalıbı ile kaynak çekmeleri ve çarpılmaları önlemiş aynı zamanda eksen ayarlarının tam olması sağlanmıştır. Kol bağlantılarının tamamı kaynakla birleştirilmemiştir. Bunun nedeni ise taşıyıcı platformun montajında, eksenlerin tam paralelliğinin sağlanması için ayarlanabilir eklem yerlerine gereksinim duyulmasıdır. Kolların ara bağlantıları iki parçalı olup rijit kısımları alüminyumdan yapılmıştır, uç kısmına kanal açılmış boru bu rijit kısma girmektedir. Taşıyıcı platform teraziye getirildiğinde kelepçe ile sıkılarak sabitlenmektedir. Her mafsalda iki adet konik rulman kullanılmıştır. Rulmanların görevi en az sürtünme ile aksel ve radyal kuvvetlerin karşılanmasını sağlamaktır.



Şekil 3.41. CrNi alaşımlı çelik malzemedeki kolları imalatı

3.3.8. Taşıyıcı Platform Tasarımı

Üç kolun birleşim yerindeki taşıyıcı platformun malzemesi alüminyum seçilmiştir. Alüminyumdan imalatı gerçekleştirilen diskin kenarları frezede kare şekline getirilerek kullanılmıştır (Şekil 3.42). Platformun ortasına delik açılarak, değişik amaçlarla aparatların takılması sağlanmıştır. Aynı zamanda deneysel çalışmada, kalemin takılması ve kesme aparatının bağlanması için bu yuvaya uygun ek parçalar yapılmıştır.



(a)

(b)

Şekil 3.42. Taşıyıcı platformun imalatı

Kolların ve taşıyıcı platformun montajının bitmiş hali Şekil 3.43 gösterilmiş olup sadece bu kısmın ağırlığı 10 kilogramın üzerindedir. Kolların tam açık haldeki uzunluğu 1.80 metredir. Sistem üzerinde daha büyük yüklerin taşınması istenildiğinde bu ağırlığın azaltılması, elektrik motoru olarak servo motorun tercih edilmesi ve ilk tasarlanan kolların geliştirilmiş halinin kullanılması uygun olacaktır.



Şekil 3.43. Kolların ve taşıyıcı platformun montaj edilmiş hali

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Robot sistemlerinin endüstriyel uygulamalardaki kullanım alanları dikkate alındığında karşımıza aşağıda listesi verilen uygulamalar çıkmaktadır.

- Markalama.
- Boyama.
- Kesme.
- Montaj.
- Yüzey işleme
 - Metalik yüzeylerde profil.
 - PCB de delik delme.
 - Gravür işleme.

Yukarıda listelenen görevler incelendiğinde genel olarak ortaya çıkan temel esasların robot kolunun belirli noktalar arasındaki hareketinin üzerine olduğu görülür. Uygulamaları bir birlerinden farklı kılan ise hareketlerin gerçekleştirilme şeklinin yanı sıra hareketlerin karmaşıklığıdır. Bu durumda hareketin 3 ekseninde gerçekleştirildiği göz önüne alındığında hareketin kaç ekseninde aynı anda gerçekleştiğine göre hareket karmaşıklığı belirlenebilir. Dolayısı ile hareketin en karmaşık hali 3 ekseninde eş zamanlı hareket olması durumu iken en basit hali belirli bir anda sadece bir ekseninde hareketin gerçekleştirilmesi durumudur.

Bu çalışmada yukarıda belirtilen durum göz önüne alınarak tasarımı yapılan robotun performans testleri için sistemin basitten karmaşığa, farklı karmaşıklık seviyelerindeki hareketleri için test edilmesi gerekmektedir. Yapılan testler ise sistemde farklı durumlar da tek ekseninde, iki ekseninde ve 3 ekseninde eş zamanlı hareketler gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. Bu amaca yönelik olarak aşağıda tanımlanan deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Tek ekseninde hareket (Belirli bir ekseninde, belirli bir doğrultuda)

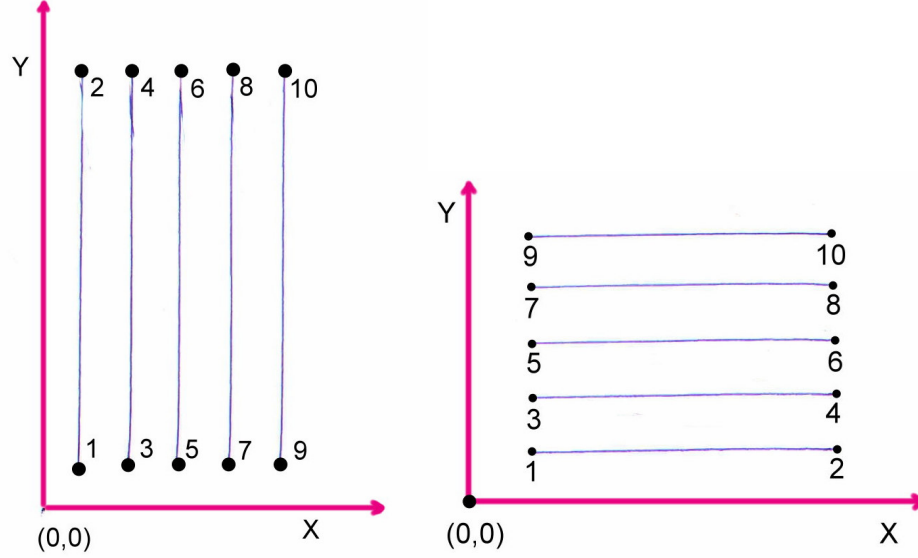
İki ekseninde farklı zamanlı hareket (Kare şeklinin çizilmesi)

İki ekseninde eş zamanlı hareket (Daire şeklinin çizilmesi)

Üç ekseninde eş zamanlı hareket (Metal saç kesme)

4.1. Tek Eksende Belirli Bir Doğrultuda Hareket

Bu test grubunda amaçlanan sistemin her hangi bir eksendeki hareketinin farklı başlama noktalarından alınması durumunda elde edilmesi beklenen paralellik durumunun testi olmuştur. Bu amaçla yapılan testlerde sistemin genel olarak performansının kabul edilebilir seviyelerde olduğu ve bazı iyileştirmelerle daha iyi duruma gelebileceği görülmüştür.



Şekil 4.1. X ve Y eksenlerine paralel doğrularla paralellik testi

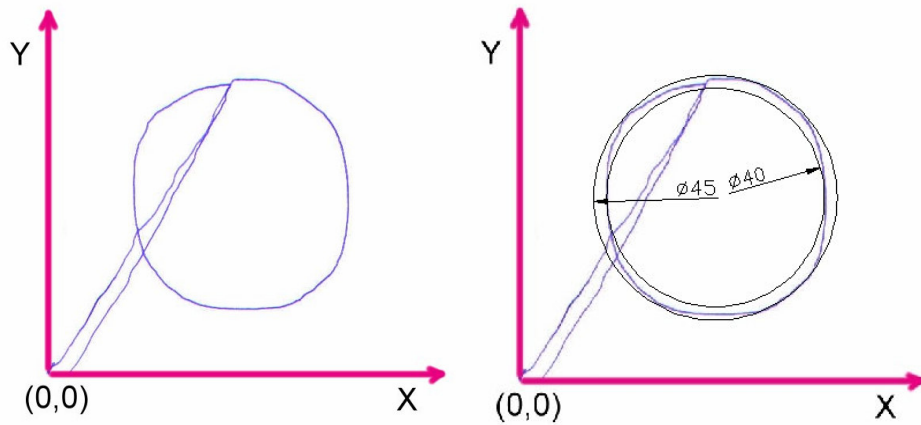
Şekil 4.1 de görüldüğü üzere sistemin paralel doğrular elde etme özelliği oldukça iyidir. Bunda sistemin özellikle diğer robot manipütörlerden farklı olarak her hangi bir eksen de gerçekleşen hareket için tek motor kullanmasının oldukça büyük katkısı vardır.

Test işlemleri için CAD programında hazırlanan şekiller DXF dosyasından G ve M kodlarına dönüştürülmüştür. Paket program ile G ve M kodlarından yararlanılarak çizimler gerçekleştirilmiştir. Kalemin yaptığı hareketler 0,0 orjin noktasından 5 mm +Z yönünde yukarıya hareket, 1 nolu noktaya geldiğinde -Z yönünde 5 mm aşağıya hareket, 1 nolu noktadan 2 ye çizim modunda hareket 2 den +Z yönünde 5 mm yukarıya, oradan 3 nolu noktaya hareket, 3 nolu noktada tekrar -Z yönünde 5 mm hareket olmak üzere bu işlemleri 10 nolu noktaya kadar tekrarlayarak devam etmiştir. Yapılan dikey testte aksenal sapma 0.59 mm ve yatay teste aksenal sapma 0.6 mm olarak elde edilmiştir (Şekil 4.2)

Şekil 4.3 de görüldüğü üzere, kare şekli önce bir eksende ardından da diğer eksende sonra tekrar ilk eksende olmak üzere iki eksende iki farklı başlangıç noktasından başlayan 4 adet düz doğrudan oluşmaktadır. Çizimdeki hatalar gözle görülemeyecek kadar küçük olup 40 mm de 0.2 kadar aksel sapma şeklindedir. Bu sonuç hayli iddialıdır.

4.3. İki Eksende Eş Zamanlı Hareket

Daha önce yapılan testlerin tamamı sistemin her hangi bir anda tek eksende hareket etmesi esasına dayalıdır. Bu ve sonraki bölümde yer alan testler sistemin eksenlerdeki hareketlerinin en az iki tanesinin eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesine dayalıdır.

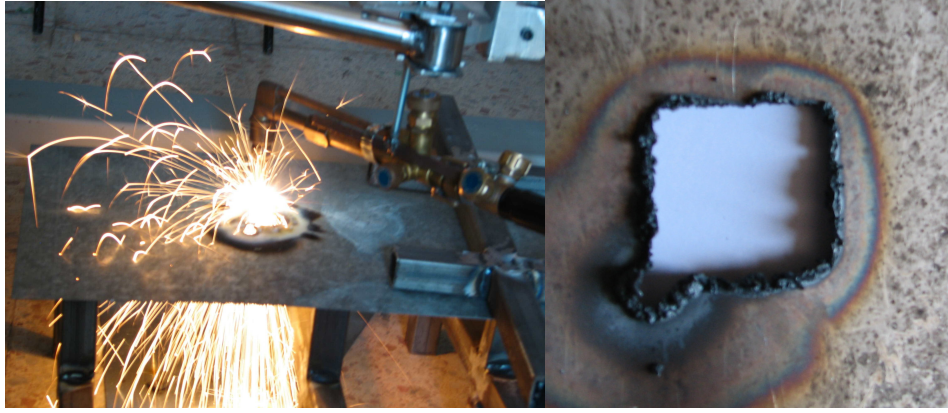


Şekil 4.4. Daire çizimi

Şekil 4.3 de görüldüğü üzere sistemde iki eksende aynı anda hareket gerçekleştirilmesi durumunda karşımıza çıkan sonuç sistemin bir eğri çiziminde zorlukla da olsa sonuca ulaşmasıdır. Ortaya çıkan hata ise şeklin ovalliğinden de anlaşıldığı üzere mekanik sistemdeki boşluklardan ve aynı zamanda matematiksel hesaplamalardaki yuvarlatmalardan kaynaklanmaktadır. Meydana gelen sapma 42.5 mm çaplı dairede yarıçap üzerinde ± 2.5 mm civarındadır.

4.4. Üç Eksende Eş Zamanlı Hareket

Üç eksenli eş zamanlı hareket için ön görülen görev ise sac kesme olarak belirlenmiştir. Bu amaçla 2 mm kalınlığında DKP sac levha kullanılmıştır. Şekil 4.4 de tasarımı yapılan kartezyen robot tarafından kare şeklinde bir parça kesme işlemi ve işlem sonucunda elde edilen yüzey görülmektedir. Kesme işleminde kullanılan oksijen-asetilen kesicinin oksitleme ve kaba kesme özelliğinden kaynaklanan yüzey bozuklukları belirgin olarak görülmektedir. Bu yüzey yada kesme kenarı bozukluklarının robot sistemin performansı ile ilgili olmayıp kesme işleminin özelliğinden kaynaklanmıştır. Sonuç göz önüne alındığında robot sistemin performansının bu harekette de oldukça kabul edilebilir seviyelerde olduğu görülmüştür.



(a)

(b)

Şekil 4.5. Sac levha kesme işlemi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada kartezyen robot sisteminin tasarımı yapılmış, yapılan tasarımın imalatı gerçekleştirilmiş, daha sonra da imalatı tamamlanan sistemin tipik endüstriyel uygulamalara uyarlanması durumunda karşılaşılabilecek, hareket kombinasyonları kolay hareketlerden zor hareketlere doğru 4 aşamalı olarak test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda sistemin performansının oldukça iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu tespite, sistemin farklı uygulamalarda karşılaşılabilecek yüklem durumları ve hareket kombinasyonları dikkate alınarak yapılan testler sonucunda ulaşılmıştır.

Özellikle eş zamanlı eksensel hareketlerin durumlarındaki hatalar sistemin mekanik aksamındaki boşluklardan (bunlar 0,5 mm altındaki boyutlarda) kaynaklanmakta olup söz konusu hatalar imalatta kullanılan tezgahlardan kaynaklanmaktadır.

Sistemde karşılaşılan söz konusu imalat tezgahlarından kaynaklanan hataların ortadan kaldırılabilmesi için sistemin hareketlerinin kalitesine ve hassasiyetine karar veren kılavuz sisteminin, yüksek kalitede hazır sistemlerden seçilmesi gerekmektedir. Tasarımın diğer tüm alt sistemleri başarı ile geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Deneysel çalışmalardan daha hassas sonuç elde edebilmek için imalatının daha hassas yapılması gereken elemanlar;

Yatak milleri ve rulmanlar,

Mafsallar,

Bilyalı tip ilerleme vidasıdır.

Ayrıca servo motor ve servo sürücü sistemlerinin kullanılması veya geri besleme sisteminin yapılması tasarımı daha verimli hale dönüştürecektir.

Kollardaki titreşimleri ortadan kaldırmak ve işleme hassasiyetini arttırmak için kolların daha yüksek mukavemetli ve ağır elemanlardan seçilmesi yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- ANONİM, 2006. Eyleyiciler <http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/eyleyiciler.pdf>
- ANONİM, 2006. Seminer 2 http://www2.omu.edu.tr/akademik_birimler/muhendislik/elektr/Lego_sitesi4/Seminer2.doc
- PINAR İNAL, E., 2006. Endüstriyel Robotlar Ve Uygulama Alanları <http://www.makinateknik.org/robotik/anasayfa.php>
- ÇENGELCİ, B. ve ÇİMEN, H., 2005. Endüstriyel Robotlar Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2005 (2): 69-78
- LEE, K., and SHAH, D. K., 1987, Kinematics Analysis of a Three Degrees of Freedom In-Parallel actuated Manipulator, Proc. IEEE International Conf. on Robotics and Automation, Vol. 1, pp. 345-350.
- CLAVEL, R. 1988, Delta, a Fast Robot with Parallel Geometry, 18th International Symposium on Industrial Robots, Sydney, Australia, pp. 91-100.
- GOSSELIN, C. M., and ANGELES, J., 1989. The Optimum Kinematic Design of a Spherical Three-Degree-of-Freedom Parallel Manipulator. ASME J. Mech. Autom. Des., 111(2): 202-207.
- PIERROT, F, REYNAUD, C, and FOURMER, A., 1990. DELTA: A Simple and Efficient Parallel Robot. Robotica, 8:105-109.
- YANG, P. H., WALDRON, K. J., and ORM, D. E., 1996. Kinematics of a Three Degrees-Of-Freedom Motion Platform for a Low-Cost Driving Simulator, Recent Advances in Robot Kinematics, J. Lenarcic and V. Parenti-Castelli, eds., Kluwer Academic Publishers, London, pp. 89-98.
- TSAI, L. W, WALSH, G. C, and STAMPER, R., 1996. Kinematics of a Novel Three DOF Translational Platform. Proc. of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, MN, pp. 3446-3451.
- CECCARELH, M., 1997. A New 3 D.O.F Spatial Parallel Mechanism, Mech. Mach. Theory, 32(8): 895-902.
- TSAI, L. W., 1997. Multi-degree-of-freedom Mechanisms for Machine Tools and the Like. U.S. Patent, No. 5,656,905.
- KAROUIA, M., and HERVE, J. M., 2000, A Three-DOF Tripod for Generating Spherical Rotation, Advances in Robot Kinematics. J. Lenarcic and V. Parenti-Castelli, eds., Kluwer Academic Publishers, pp. 395-402.
- VISCHER, P., and CLAVEL, R., 2000, Argos: a Novel 3-DOF Parallel Wrist Mechanism. Int. J. Robot. Res., 19(1): 5-11.
- DI GREGONO, R., 2001. A New Parallel Wrist Using only Revolute Pairs: The 3-RUU Wrist. Robotica, 19(3): 305-309.
- FANG, Y, and TSAI, L. W., 2002. Structure Synthesis of 3-DOF Rotational Parallel Manipulators, submitted to IEEE Trans. Rob. Autom.
- ZLATANOV, D., BONEV, I., and GOSSELIN, C. M., 2002. Constraint Singularities of Parallel Mechanisms. Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation. Washington, D.C., pp. 496-502.
- KIM, H.,S. and TSAI, L, W.,2003. Design Optimization of a Cartesian Paralel Manipulator. Journal of Mechanical Design, 125: 43-51
- ANONİM, 2006. Robot Kolu Tasarımı http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/robot_kolu_tasarimi/
- ANONYMOUS, 2006. Oriental Motor. <http://www.orientalmotor.com/products/stp/index.htm>

- TUĞAY, G.,2005. Elektronik Hobi, Alfa Yayınları. Yayın no:1461, 246 s İstanbul.
ISBN: 975-297-481-1
- ANONYMOUS, 2006. Interfacing To The Parallel Printer Port,
[http://www.doc.ic.ac.uk/~ih/
doc/par/index.html#index](http://www.doc.ic.ac.uk/~ih/doc/par/index.html#index)
- STMICROELECTRONICS, 2001. Microelectronics. L297-L298 Data Sheet. December
2001
- YAZICI, S.,KILIVAN, M.,ERTUNÇ,H,M.,EROL, M,C, 2003. İki Eksenli Robot
Tasarımı. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi.
Eylül 2003,İstanbul.
- ANONYMOUS, 2006. XYZ Stepper Kontrol.
<http://www.fromorbit.com/projects/xyz/xyz.php>
- ANONİM, 2006. Rulman Çeşitleri. <http://www.dogarulman.com/>

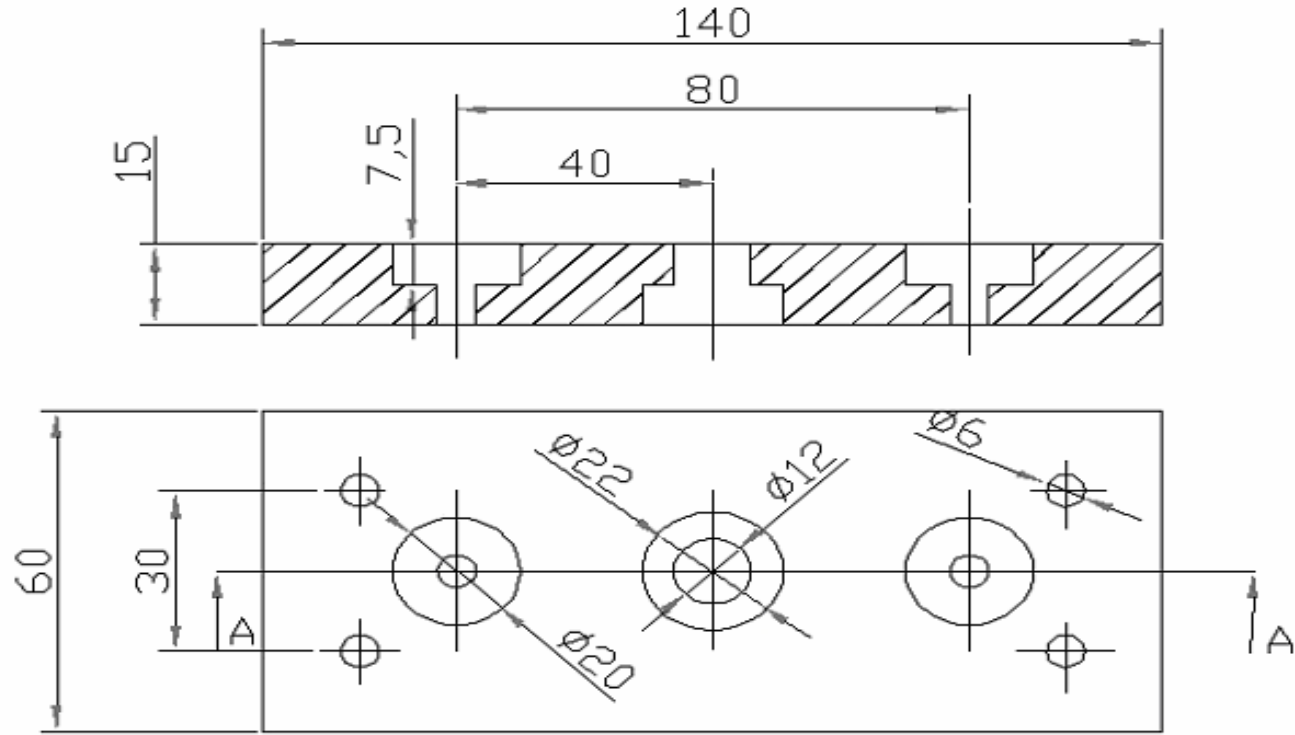
ÖZGEÇMİŞ

1966 yılında Manisa'nın Sarıgöl ilçesine ait Bağlıca köyünde doğdum. İlk öğrenimime İzmir Şirinyer de bulunan Akıncılar ilkokulunda başladım, Ağrı Onbeş Nisan İlkokulunda devam ettim ve Çanakkale'nin Yenice ilçesinde bitirdim. Orta öğrenimime aynı ilçede başladım ve Muğla Merkez Ortaokulunda bitirdim. Muğla Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi Makine programından 1984 yılında mezun oldum. Aynı yıl Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliğinde eğitime başladım 1988 yılında mezun oldum. 1990 yılında askerliğe Balıkesir Ordu donatımda yedek subay olarak başladım ve İskenderun Endüstri Meslek ve Teknik Lisesinde asker öğretmen olarak devam ettim, Çukurova Üniversitesinin açtığı personel sınavı ile İskenderun Meslek Yüksekokulunda öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladım, halen aynı göreve devam etmekteyim.

EKLER

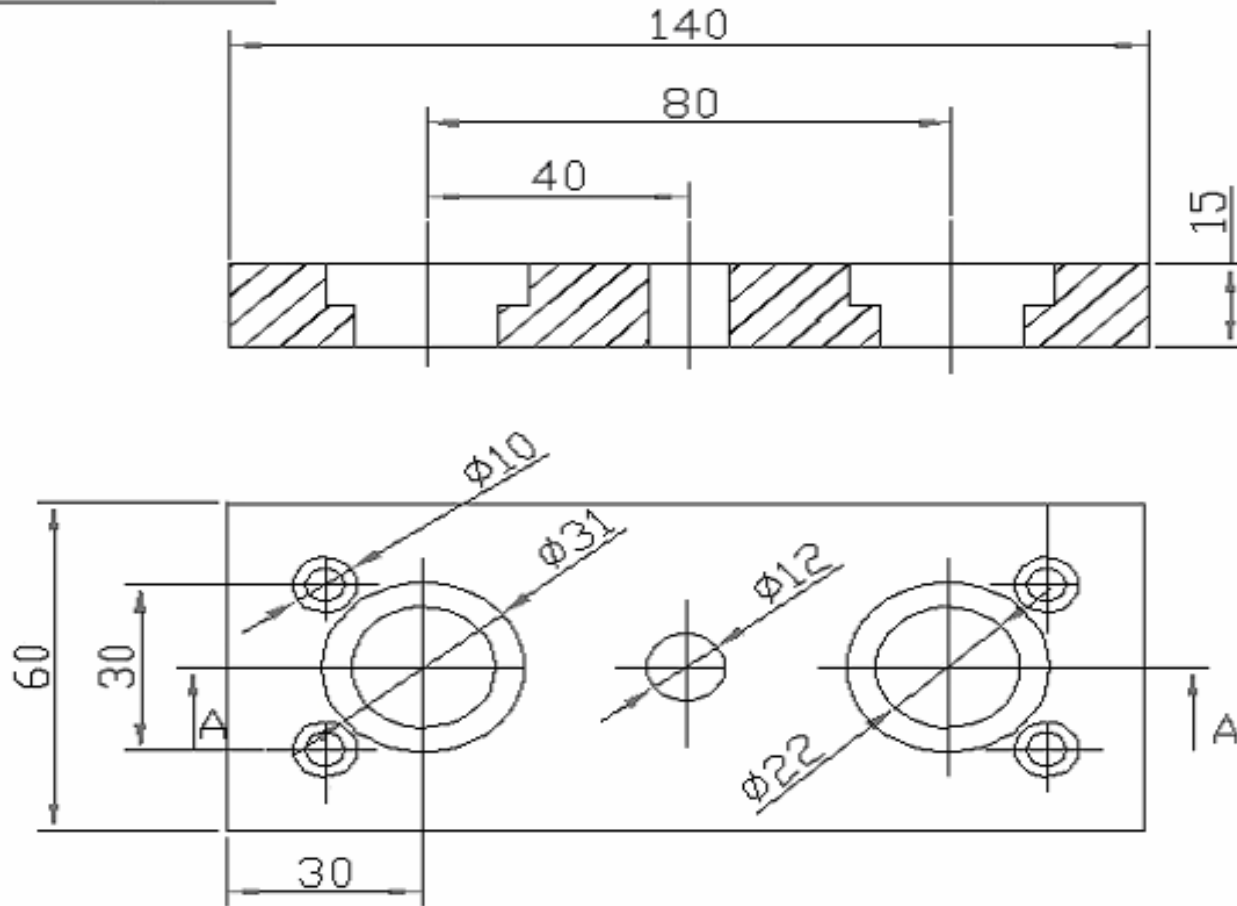
EK 1: İMALAT DETAY RESİMLERİ

A-A KESİTİ

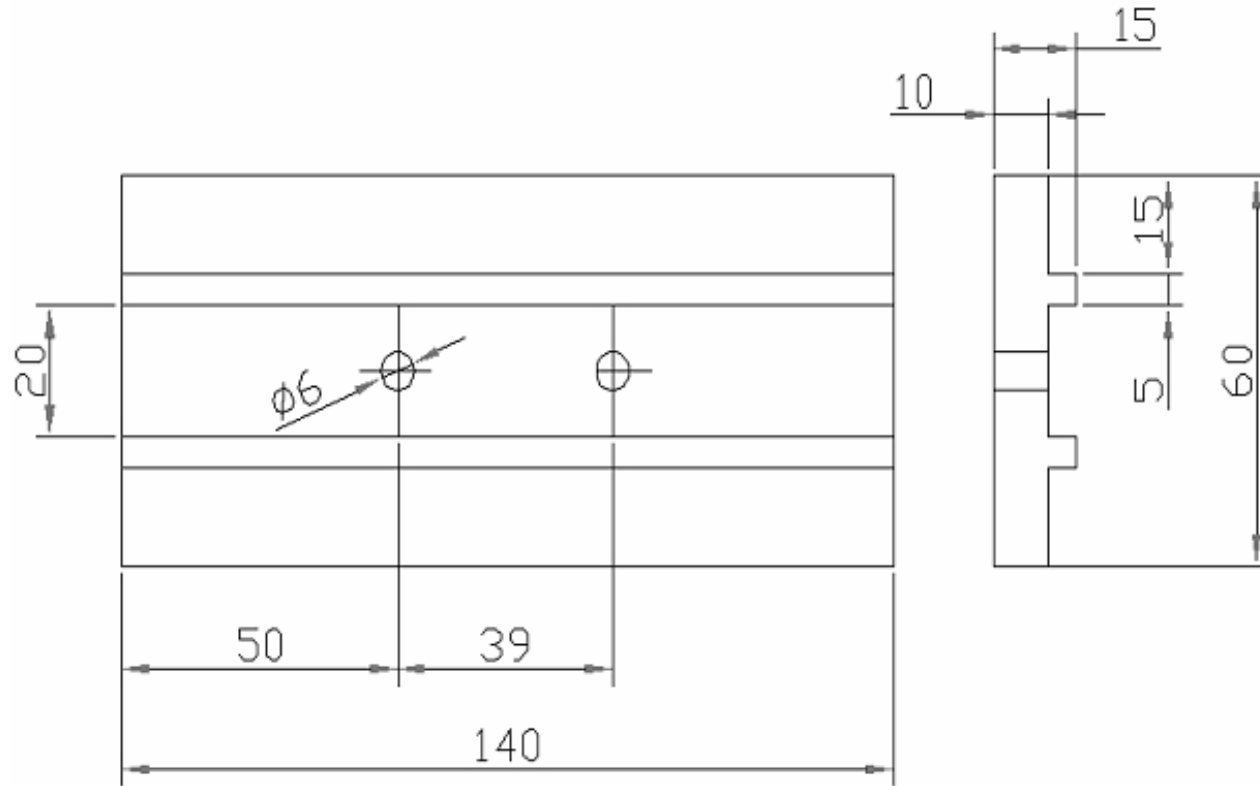


EK 1. 1. Sabit taşıyıcı elemanın imalat detay resmi

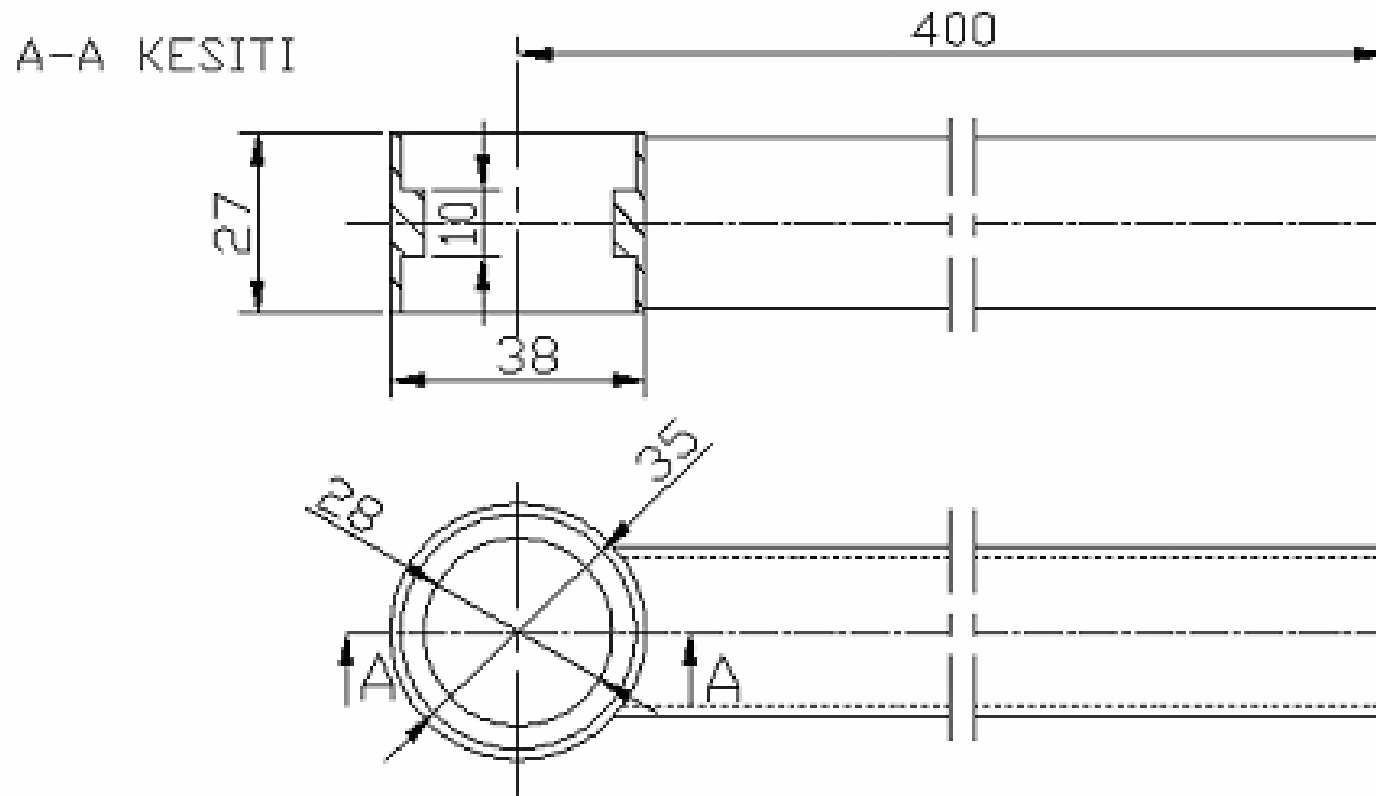
A-A KESİTİ



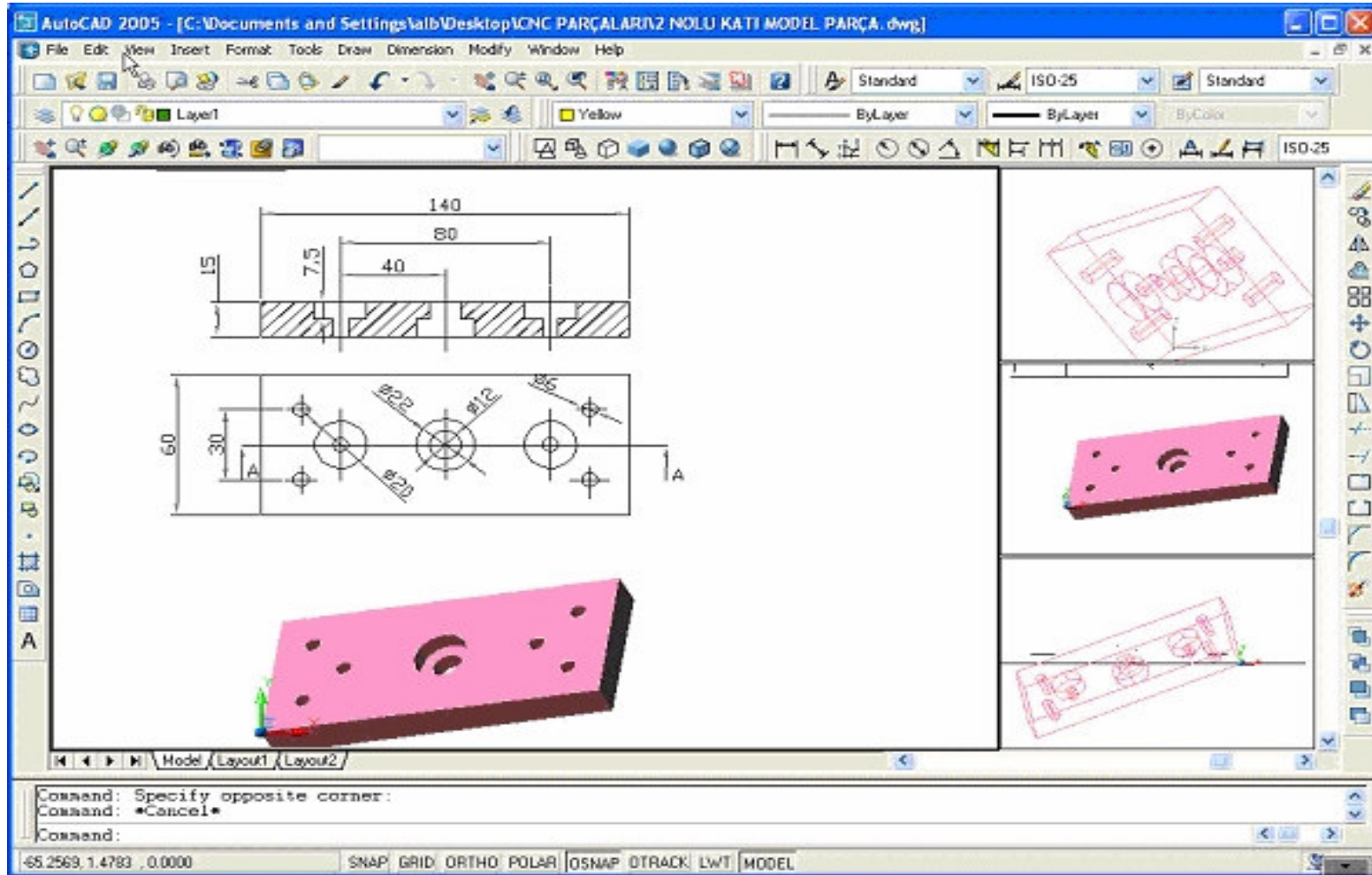
EK 1. 2. Hareketli taşıyıcı elemanın imalat detay resmi



EK 1. 3.Üst ve alt kapak hareketli taşıyıcı elemanın imalat detay resmi

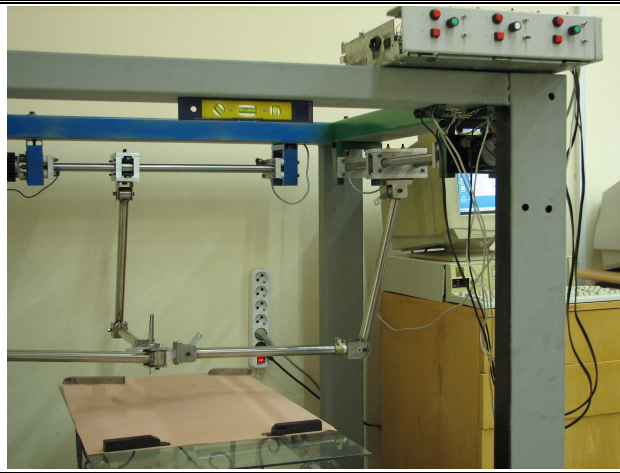
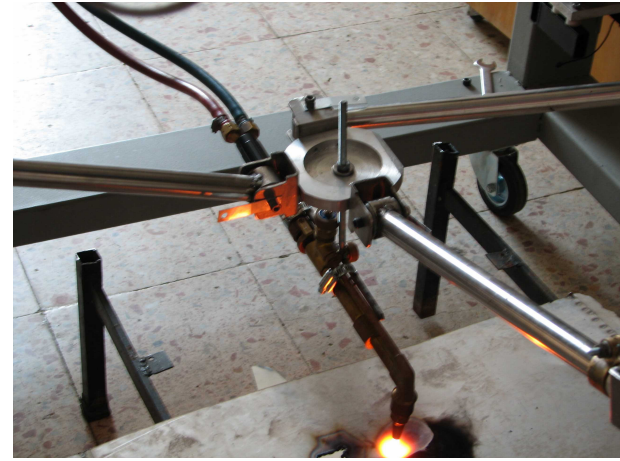


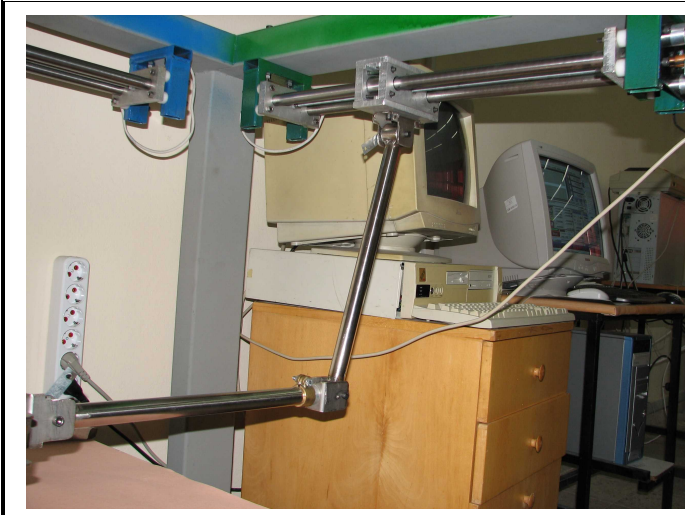
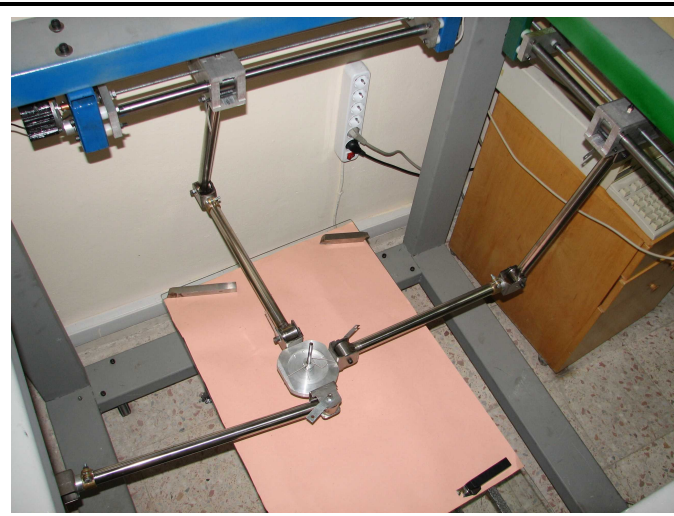
EK 1. 4.Kollar ve konik rulmanlı mafsallı imalat detay resmi

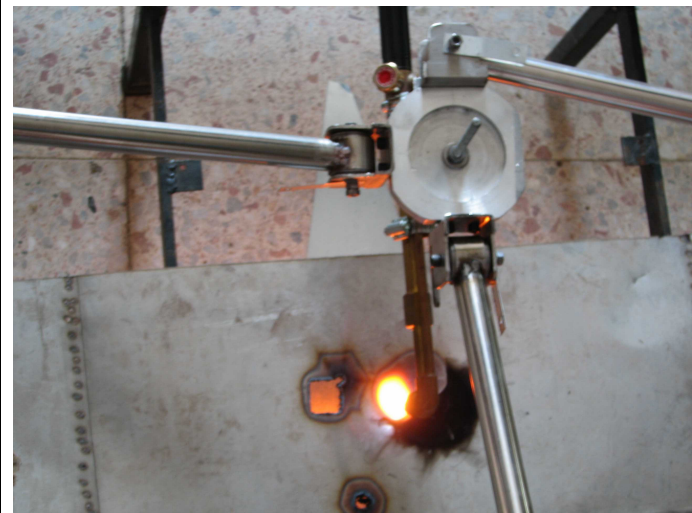
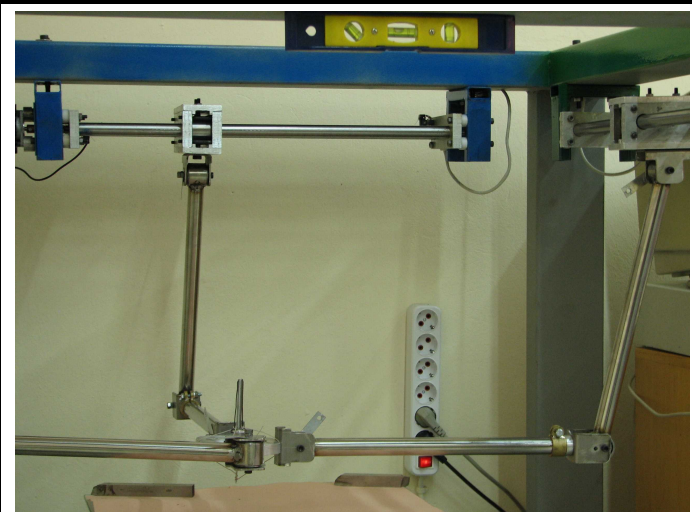


EK 1. 5. AutoCAD programında parçaların 2D-3D tasarlanması

EK 2: KARTEZYEN ROBOT RESİMLERİ







EK 3: ELEKTRONİK BİLEŞENLERİN BİLGİ YAPRAKLARI

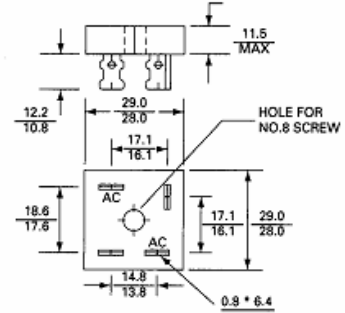
KBPC10, 15, 25, 35 ... 10A / 15A / 25A / 35A SINGLE - PHASE SILICON BRIDGE

Features

- Surge overload 200 - 400 Amperes peak
- Low forward voltage drop
- Mounting Position: Any
- Electrically isolated base-180 Volts
- Solderable .25" FASTON terminals
- Materials used carries U/L recognition

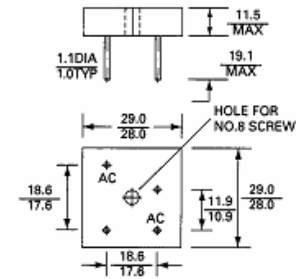
TERMINALS /
METAL

LEAD / METAL



TERMINALS /
PLASTIC

LEAD / PLASTIC



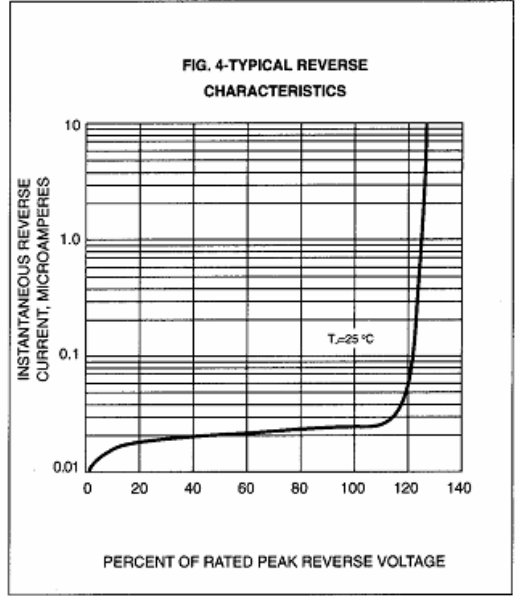
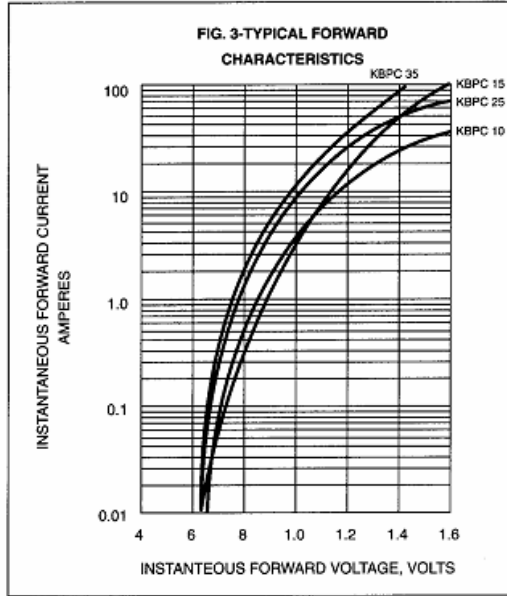
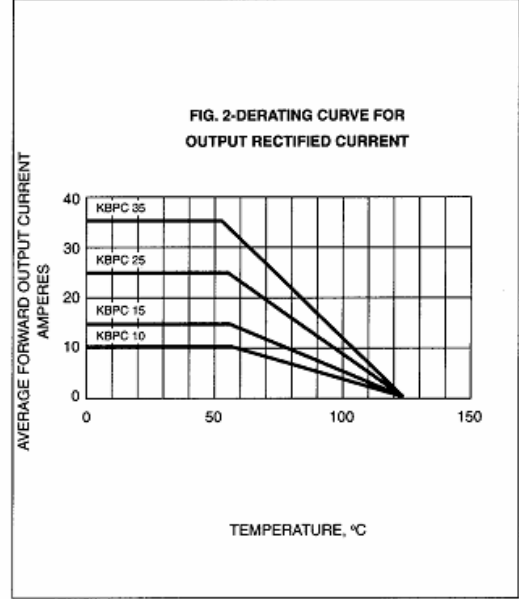
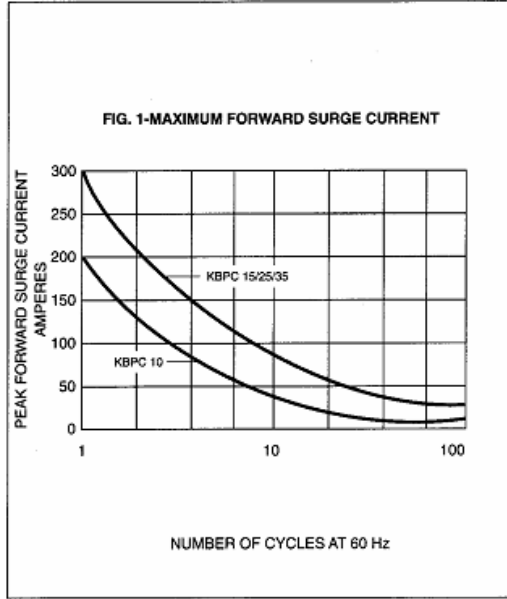
MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified. Resistive or inductive load 60Hz
For capacitive load current by 20%.

Characteristic	Part Number							UNITS	
	KBPC10005	KBPC1001	KBPC1002	KBPC1004	KBPC1006	KBPC1008	KBPC1010		
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Max RMS Bridge Input Voltage	35	70	140	280	420	560	700	V	
Maximum Average Forward Rectified Output Current at $T_A = 55^\circ\text{C}$		10		15		25		35	A
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	KBPC10	200	KBPC15	300	KBPC25	300	KBPC35	400	A
Maximum Forward Voltage Drop per element At 5.0/7.5/12.5/17.5A Peak	1.2							V	
Maximum Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage per element $T_A = 25^\circ\text{C}$	1.0							μA	
Operating Temperature Range T_C	-55 to + 125							$^\circ\text{C}$	
Storage Temperature Range T_A	-55 to + 150							$^\circ\text{C}$	

NOTE: Also available on KBPC 10W/15W/25W/35W series.

RATING AND CHARACTERISTICS CURVES
KBPC10/15/25/35 SERIES



EK 2. 1. KBPC3510 köprü diyot bilgi yapağı

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

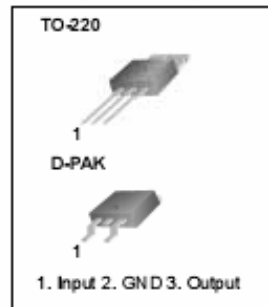
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



MC78XX/LM78XX/MC78XXA

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$) (for $V_O = 24V$)	V_I V_{I1}	35 40	V V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	°C/W
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	°C/W
Operating Temperature Range	T_{OPR}	0 ~ +125	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit, $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 7\text{V to } 20\text{V}$	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_O = 7\text{V to } 25\text{V}$	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	-	1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5.0\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	9	100	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	4	50	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7\text{V to } 25\text{V}$	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	42	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_O = 8\text{V to } 18\text{V}$	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	V_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{kHz}$	-	15	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	230	-	mA	
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

Electrical Characteristics (MC7812)

(Refer to test circuit, $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 19\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7812			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.5	12	12.5	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 14.5\text{V to } 27\text{V}$	11.4	12	12.6		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 14.5\text{V to } 30\text{V}$	-	10	240	mV
			$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	-	3.0	120	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	11	240	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5.0	120	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.1	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	0.1	0.5	mA	
		$V_I = 14.5\text{V to } 30\text{V}$	-	0.5	1.0		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	76	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_I = 15\text{V to } 25\text{V}$	55	71	-	dB	
Dropout Voltage	V_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{kHz}$	-	18	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	230	-	mA	
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

EK 2. 2.7805 ve 7812 voltaj regülötör entegresi bilgi yaprağı

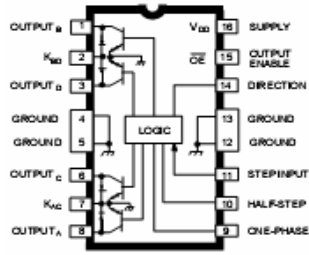


Fig. 10-194

Note that the UCN5804B (dual in-line package) and UCN5804LB (small outline IC package) are electrically identical and share a common terminal number assignment.

TYPICAL INPUT CIRCUIT

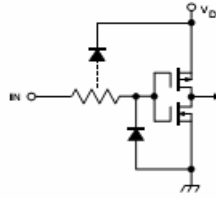


Fig. 10-195

TYPICAL OUTPUT DRIVER

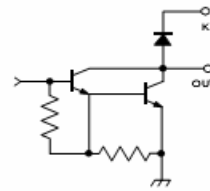


Fig. 10-196

WAVE-DRIVE SEQUENCE

Half Step = L, One Phase = H				
Step	A	B	C	D
POR	ON	OFF	OFF	OFF
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	OFF
4	OFF	OFF	OFF	ON

TWO-PHASE DRIVE SEQUENCE

Half Step = L, One Phase = L				
Step	A	B	C	D
POR	ON	OFF	OFF	ON
1	ON	OFF	OFF	ON
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	ON	OFF
4	OFF	OFF	ON	ON

HALF-STEP DRIVE SEQUENCE

Half Step = H, One Phase = L				
Step	A	B	C	D
POR	ON	OFF	OFF	OFF
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	OFF	OFF
4	OFF	ON	ON	OFF
5	OFF	OFF	ON	OFF
6	OFF	OFF	ON	ON
7	OFF	OFF	OFF	ON
8	ON	OFF	OFF	ON

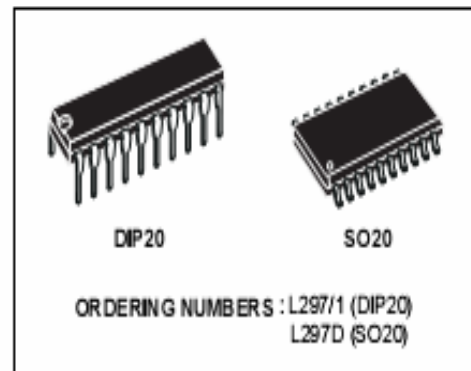
EK 2. 3. UCN5804 adım motoru sürücü entegrasi bilgi yaprağı



L297

STEPPER MOTOR CONTROLLERS

- NORMAL/WAVE DRIVE
- HALF/FULL STEP MODES
- CLOCKWISE/ANTICLOCKWISE DIRECTION
- SWITCHMODE LOAD CURRENT REGULATION
- PROGRAMMABLE LOAD CURRENT
- FEW EXTERNAL COMPONENTS
- RESET INPUT & HOME OUTPUT
- ENABLE INPUT



DESCRIPTION

The L297 Stepper Motor Controller IC generates four phase drive signals for two phase bipolar and four phase unipolar step motors in microcomputer-controlled applications. The motor can be driven in half step, normal and wave drive modes and on-chip PWM chopper circuits permit switch-mode control of the current in the windings. A feature of

this device is that it requires only clock, direction and mode input signals. Since the phase are generated internally the burden on the microprocessor, and the programmer, is greatly reduced. Mounted in DIP20 and SO20 packages, the L297 can be used with monolithic bridge drives such as the L298N or L293E, or with discrete transistors and darlington.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_s	Supply voltage	10	V
V_i	Input signals	7	V
P_{tot}	Total power dissipation ($T_{amb} = 70^\circ\text{C}$)	1	W
T_{stg}, T_j	Storage and junction temperature	-40 to +150	$^\circ\text{C}$

PIN FUNCTIONS - L2971 - L297D

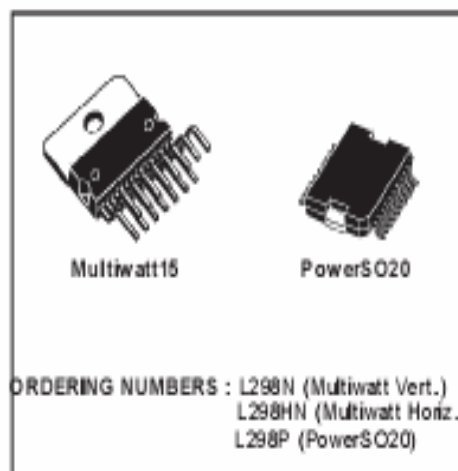
N°	NAME	FUNCTION
1	SYNC	Output of the on-chip chopper oscillator. The SYNC connections of all L297s to be synchronized are connected together and the oscillator components are omitted on all but one. If an external clock source is used it is injected at this terminal.
2	GND	Ground connection.
3	HOME	Open collector output that indicates when the L297 is in its initial state (ABCD = 0101). The transistor is open when this signal is active.
4	A	Motor phase A drive signal for power stage.
5	INH1	Active low inhibit control for driver stage of A and B phases. When a bipolar bridge is used this signal can be used to ensure fast decay of load current when a winding is de-energized. Also used by chopper to regulate load current if CONTROL input is low.
6	B	Motor phase B drive signal for power stage.
7	C	Motor phase C drive signal for power stage.
8	INH2	Active low inhibit control for drive stages of C and D phases. Same functions as INH1.
9	D	Motor phase D drive signal for power stage.
10	ENABLE	Chip enable input. When low (inactive) INH1, INH2, A, B, C and D are brought low.
11	CONTROL	Control input that defines action of chopper. When low chopper acts on INH1 and INH2; when high chopper acts on phase lines ABCD.
12	V _s	5V supply input.
13	SENS ₂	Input for load current sense voltage from power stages of phases C and D.
14	SENS ₁	Input for load current sense voltage from power stages of phases A and B.
15	V _{ref}	Reference voltage for chopper circuit. A voltage applied to this pin determines the peak load current.
16	OSC	An RC network (R to V _{CC} , C to ground) connected to this terminal determines the chopper rate. This terminal is connected to ground on all but one device in synchronized multi-L297 configurations. $f = 1/0.69 RC$
17	CW $\overline{\text{C}}\overline{\text{W}}$	Clockwise/counterclockwise direction control input. Physical direction of motor rotation also depends on connection of windings. Synchronized internally therefore direction can be changed at any time.
18	$\overline{\text{CLOCK}}$	Step clock. An active low pulse on this input advances the motor one increment. The step occurs on the rising edge of this signal.
19	HALF/FULL	Half/full step select input. When high selects half step operation, when low selects full step operation. One-phase-on full step mode is obtained by selecting FULL when the L297's translator is at an even-numbered state. Two-phase-on full step mode is set by selecting FULL when the translator is at an odd numbered position. (The home position is designate state 1).
20	RESET	Reset input. An active low pulse on this input restores the translator to the home position (state 1, ABCD = 0101).

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

L298
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{GS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{in}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{Tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	Vs	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10;12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13;14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = 42V$; $V_{SS} = 5V$, $T_j = 25^\circ C$; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	$V_{IH} + 2.5$		46	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I_S	Quiescent Supply Current (pin 4)	$V_{en} = H$; $I_L = 0$	$V_I = L$	13	22	mA
			$V_I = H$	50	70	mA
		$V_{en} = L$	$V_I = X$		4	mA
I_{SS}	Quiescent Current from V_{SS} (pin 9)	$V_{en} = H$; $I_L = 0$	$V_I = L$	24	36	mA
			$V_I = H$	7	12	mA
		$V_{en} = L$	$V_I = X$		6	mA
V_{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V_{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V_{SS}	V
I_L	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	$V_I = L$			-10	μA
I_{IH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	$V_I = H \leq V_{SS} - 0.6V$		30	100	μA
$V_{en} = L$	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
$V_{en} = H$	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V_{SS}	V
$I_{en} = L$	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	$V_{en} = L$			-10	μA
$I_{en} = H$	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	$V_{en} = H \leq V_{SS} - 0.6V$		30	100	μA
$V_{CEsat(H)}$	Source Saturation Voltage	$I_L = 1A$	0.95	1.35	1.7	V
		$I_L = 2A$		2	2.7	V
$V_{CEsat(L)}$	Sink Saturation Voltage	$I_L = 1A$ (5)	0.85	1.2	1.6	V
		$I_L = 2A$ (5)		1.7	2.3	V
V_{CEtot}	Total Drop	$I_L = 1A$ (5)	1.80		3.2	V
		$I_L = 2A$ (5)			4.9	V
V_{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T ₁ (V)	Source Current Turn-off Delay	0.5V _i to 0.9I _L (2); (4)		1.5		μs
T ₂ (V)	Source Current Fall Time	0.9I _L to 0.1 I _L (2); (4)		0.2		μs
T ₃ (V)	Source Current Turn-on Delay	0.5V _i to 0.1I _L (2); (4)		2		μs
T ₄ (V)	Source Current Rise Time	0.1I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.7		μs
T ₅ (V)	Sink Current Turn-off Delay	0.5V _i to 0.9I _L (3); (4)		0.7		μs
T ₆ (V)	Sink Current Fall Time	0.9I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₇ (V)	Sink Current Turn-on Delay	0.5V _i to 0.9I _L (3); (4)		1.6		μs
T ₈ (V)	Sink Current Rise Time	0.1I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.2		μs
f _c (V)	Commutation Frequency	I _L = 2A		25	40	KHz
T ₁ (V _{en})	Source Current Turn-off Delay	0.5V _{en} to 0.9 I _L (2); (4)		3		μs
T ₂ (V _{en})	Source Current Fall Time	0.9I _L to 0.1 I _L (2); (4)		1		μs
T ₃ (V _{en})	Source Current Turn-on Delay	0.5V _{en} to 0.1 I _L (2); (4)		0.3		μs
T ₄ (V _{en})	Source Current Rise Time	0.1I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.4		μs
T ₅ (V _{en})	Sink Current Turn-off Delay	0.5V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		2.2		μs
T ₆ (V _{en})	Sink Current Fall Time	0.9I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.35		μs
T ₇ (V _{en})	Sink Current Turn-on Delay	0.5V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₈ (V _{en})	Sink Current Rise Time	0.1I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.1		μs

- 1) I_s Sensing voltage can be -1 V for t_s ≤ 50 μsec; in steady state V_{min} min ≥ -0.5 V.
 2) See fig. 2.
 3) See fig. 4.
 4) The load must be a pure resistor.

EK 2. 4. 1297-298 adım motoru sürücü entegresi bilgi yaprağı



Agilent HCPL-817 Phototransistor Optocouplers High Density Mounting Type Reliability Data Sheet

The reliability data shown includes Agilent Technologies reliability test data from the reliability qualification of this product family. All of these products use the same LEDs, similar IC, and the same packaging materials, processes, stress conditions and testing. The data in Table 1 and Table 2 reflect actual test data for devices on a per channel basis. Note single channel device hours are equal to 1.5X dual channel device hours according to MIL-HDBK-217. Before stress, all devices are preconditioned using a IR reflow process (EIAJ Profile, 3X) and 20 temperature cycles (-55°C to +125°C, 15 mins dwell, 5 mins transfer). These

data are taken from testing on Agilent Technologies devices using internal Agilent Technologies process, material specifications, design standards, and statistical process controls. **THEY ARE NOT TRANSFERABLE TO OTHER MANUFACTURERS' SIMILAR PART TYPES.**

Operating Life Test

For valid system reliability calculations it is necessary to adjust for the time when the system is not in operation. Note that if you are using MIL-HDBK-217 for predicting component reliability, the results may not be comparable to those given in Table 2 due to different conditions and

factors that have been accounted for in MIL-HDBK-217. For example it is unlikely that your application will exercise all available channels at full rated power with the LED(s) always ON as Agilent Technologies testing does. Thus, your application total power and duty cycle must be carefully considered when comparing Table 2 to predictions using MIL-HDBK-217.

Table 1. Demonstrated Operating Life Test Performance.

Stress Test Condition	Total Device Tested	Total Device Hours	Number of Failed Units	Demonstrated	Demonstrated
				MTTF(hr) @ Ta = +125 °C	FITs @ Ta = +125 °C
Ta = 125°C Vcc=7V Iin=50mA Io=50mA	480	480,000	0	> 480,000	< 2083

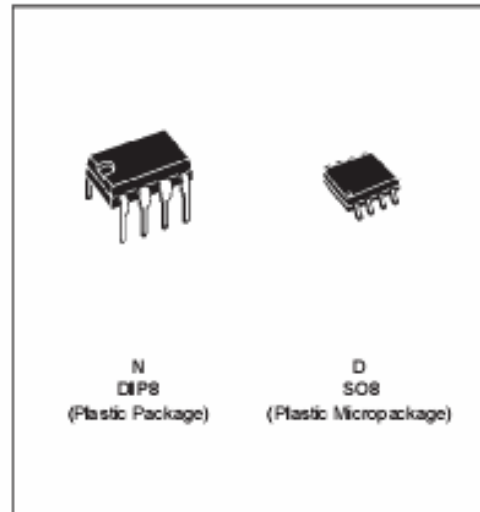
EK 2. 5. HCPL-817 optocouplers bilgi yaprağı

GENERAL PURPOSE SINGLE BIPOLAR TIMERS

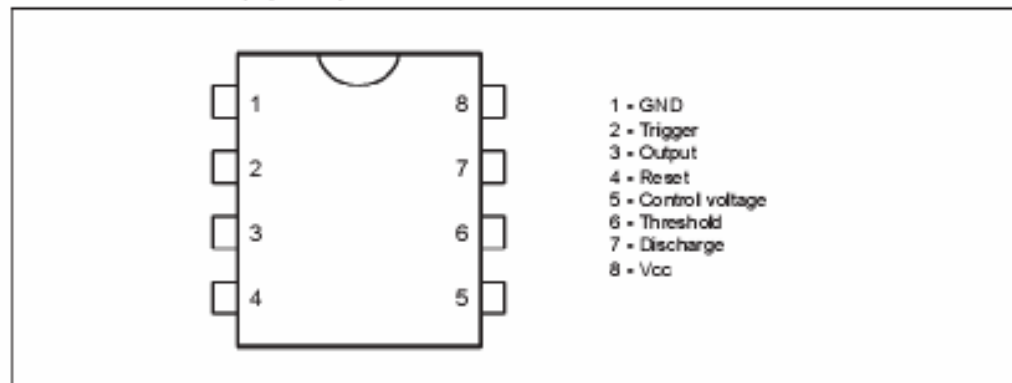
- LOW TURN OFF TIME
- MAXIMUM OPERATING FREQUENCY GREATER THAN 500kHz
- TIMING FROM MICROSECONDS TO HOURS
- OPERATES IN BOTH ASTABLE AND MONOSTABLE MODES
- HIGH OUTPUT CURRENT CAN SOURCE OR SINK 200mA
- ADJUSTABLE DUTY CYCLE
- TTL COMPATIBLE
- TEMPERATURE STABILITY OF 0.005% PER°C

DESCRIPTION

The NE555 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200mA. The NE555 is available in plastic and ceramic minidip package and in a 8-lead micropackage and in metal can package version.


ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
NE555	0°C, 70°C	•	•
SA555	-40°C, 105°C	•	•
SE555	-55°C, 125°C	•	•

PIN CONNECTIONS (top view)


ELECTRICAL CHARACTERISTICS

T_{amb} = +25°C, V_{cc} = +5V to +15V (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	SE555			NE 555 - SA555			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
I _{cc}	Supply Current (R _L = ∞) (- note 1) Low State V _{cc} = +5V V _{cc} = +15V High State V _{cc} = 5V		3 10 2	5 12		3 10 2	6 15	mA
	Timing Error (monostable) (R _A , R _B = 2k to 100kΩ, C = 0.1μF) Initial Accuracy - (note 2) Drift with Temperature Drift with Supply Voltage		0.5 30 0.05	2 100 0.2		1 50 0.1	3 3	% ppm/°C %/V
	Timing Error (astable) (R _A , R _B = 1kΩ to 100kΩ, C = 0.1μF, V _{cc} = +15V) Initial Accuracy - (note 2) Drift with Temperature Drift with Supply Voltage		1.5 90 0.15			2.25 150 0.3		% ppm/°C %/V
V _{CL}	Control Voltage level V _{cc} = +15V V _{cc} = +5V	9.6 2.9	10 3.33	10.4 3.8	9 2.6	10 3.33	11 4	V
V _{th}	Threshold Voltage V _{cc} = +15V V _{cc} = +5V	9.4 2.7	10 3.33	10.6 4	8.8 2.4	10 3.33	11.2 4.2	V
I _{th}	Threshold Current - (note 3)		0.1	0.25		0.1	0.25	μA
V _{trig}	Trigger Voltage V _{cc} = +15V V _{cc} = +5V	4.8 1.45	5 1.67	5.2 1.9	4.5 1.1	5 1.67	5.6 2.2	V
I _{trig}	Trigger Current (V _{trig} = 0V)		0.5	0.9		0.5	2.0	μA
V _{reset}	Reset Voltage - (note 4)	0.4	0.7	1	0.4	0.7	1	V
I _{reset}	Reset Current V _{reset} = +0.4V V _{reset} = 0V		0.1 0.4	0.4 1		0.1 0.4	0.4 1.5	mA
V _{OL}	Low Level Output Voltage V _{cc} = +15V, I _{O(sink)} = 10mA I _{O(sink)} = 50mA I _{O(sink)} = 100mA I _{O(sink)} = 200mA V _{cc} = +5V, I _{O(sink)} = 8mA I _{O(sink)} = 5mA		0.1 0.4 2 2.5 0.1 0.05	0.15 0.5 2.2 0.25 0.2		0.1 0.4 2 2.5 0.3 0.25	0.25 0.75 2.5 0.4 0.35	V
V _{OH}	High Level Output Voltage V _{cc} = +15V, I _{O(source)} = 200mA I _{O(source)} = 100mA V _{cc} = +5V, I _{O(source)} = 100mA	13 3	12.5 13.3 3.3		12.75 2.75	12.5 13.3 3.3		V

- Notes : 1. Supply current when output is high is typically 1mA less.
2. Tested at V_{cc} = +5V and V_{cc} = +15V.
3. This will determine the maximum value of R_A + R_B for +15V operation the max total is R = 20MΩ and for 5V operation the max total R = 3.5MΩ.

Symbol	Parameter	SE555			NE 555 - SA555			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
I _{dis(oh)}	Discharge Pin Leakage Current (output high) (V _{dis} = 10V)		20	100		20	100	nA
V _{dis(sat)}	Discharge pin Saturation Voltage (output low) - (note 5) V _{cc} = +15V, I _{dis} = 15mA V _{cc} = +5V, I _{dis} = 4.5mA		180 80	480 200		180 80	480 200	mV
t _r t _f	Output Rise Time Output Fall Time		100 100	200 200		100 100	300 300	ns
t _{off}	Turn off Time - (note 6) (V _{reset} = V _{cc})		0.5			0.5		μs

- Notes : 5. No protection against excessive Pin 7 current is necessary, providing the package dissipation rating will not be exceeded.
6. Time measured from a positive going input pulse from 0 to 0.8x V_{cc} into the threshold to the drop from high to low of the output trigger is tied to threshold.

EK 2. 6. 555 zamanlayıcı entegresi bilgi yaprağı