



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

EKSKAVATÖR KEPÇE ROBOT KOL SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ

MUSTAFA BAYAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY
ŞUBAT - 2010

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKSKAVATÖR KEPÇE ROBOT KOL SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ

MUSTAFA BAYAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Doç. Dr. Hakan Yavuz danışmanlığında hazırlanan bu tez 02/02/2010 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Hakan Yavuz	Yrd.Doç.Dr. Selçuk Mıstıkoğlu	Yrd.Doç.Dr. Ersin Özdemir
Başkan	Üye	Üye

Bu tez Enstitümüz Makina Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Doç.Dr. Erdal YILMAZ
Enstitü Müdür 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

ABSTRACT	III
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. Materyal	16
3.1.1. Mekanik Sistemin Bilgisayar Ortamında Tasarımı	20
3.1.2. Mekanik Sistemin İmalatı ve Montajı	22
3.1.3. Sistemin Hidrolik Kısımının Tasarımı	26
3.1.4. Sistemin Elektroniğinin Tasarımı	28
3.1.5. Sistemin Kontrol Programı	34
3.2. Yöntem	35
3.2.1. Sistemin Entegrasyonu ve Montaj Aşamasına Ait Testler	35
3.2.2. Hidrolik Sistemin Test Edilmesi	35
3.2.3. Elektronik Sistemin Test Edilmesi	36
3.2.4. Kontrol Programının Test Edilmesi	37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	41
4.1. Mekanik sistemin tasarımı	41
4.2. Elektronik Performans Analizleri ve Elde Edilen Sonuçlar	43
4.3. Kontrol Programının Performans Analizi ve Elde edilen Sonuçlar	47
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	51
TEŞEKKÜR	52
ÖZGEÇMİŞ	53
EKLER	54
EK 1- DAC0808 Entegresinin Bilgi Paketi	55
EK 2- LF351 Entegresinin Bilgi Paketi	66
EK 3- PIC16F877 Entegresinin Bilgi Paketi	72

ÖZET

EKSKAVATÖR KEPÇE ROBOT KOL SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ

Bu çalışmada özellikle inşaat, madencilik ve endüstriyel tesislerde kullanılan ekskavatör sistemlerinin kol kısmının robotlaştırılmasına yönelik incelemeler ve araştırmalar sunulmuştur. Bu araştırma çalışmaları, sistemin kullanım alanları, kullanılan sistemlerin teknik özellikleri ve uygulamalarına yönelik genel bilgileri sağlamaktadır. Bunlara ilaveten, incelenen sistem hakkında detaylı bilgiler sunulmakta ve bu bilgilerin ışığında sistemin kol kısmının robotlaştırılmasına yönelik olarak yapılan çalışmalara yer verilmektedir.

Yapılan çalışmalar, sistemin gerçekleştirilmesi planlanan hareketlerinin analizi ile başlamaktadır. Ardından, sistemin mekanik kısmına ait tasarım işlemlerinin yer aldığı küçültülmüş model oluşturmayı amaçlayan bölüm sunulmuştur. Bu bölümde, geliştirilmesi planlanan sistemin mekanik kısmına ait tasarım bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu tasarım daha sonra imal edilmiş ve ilgili ek sistemlerle entegrasyonu sağlanmıştır.

Çalışmanın daha sonraki kısımlarında ise, sistemin bir bilgisayar ortamından kontrol edilmesine yönelik elektronik sistem ve bilgisayar programının tasarımı kısımları ele alınmıştır. Geliştirilen sistemin deneysel çalışmalar kısmında ise yapılan testlerin ilgili sonuçları sunulmuştur.

2010, 91 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ekskavatör, robot kol, kol kontrolü, robotik kazı işlemi

ABSTRACT**MODELLING AND SIMULATION OF AN EXCAVATOR ROBOT ARM**

In this study, the arm structure and robotization of such systems for excavator systems used in construction, mining and other industrial applications is investigated and research results are presented. The presented details of the system provides details on practical use of such systems, their technical details and other general information on use of such systems. In addition, detailed information on the investigated system and on robotization of the system is also provided.

The presented study starts with the motion analysis of the excavator arm. This is followed by computer aided design and development stages of the system aiming at developing a small scale model of the system. In this section all necessary modelling and design stages are achieved using a relevant design software. The developed computer model of the system is then manufactured and then integrated to form the small scale model of an excavator arm.

In the following stages of the study, the robotic arm is controlled from a PC for which driver electronics and software details are provided. The developed system is then tested to see if the design requirements are met.

2010, 91 pages

Keywords: Excavator, robot arm, arm control, robotic excavation

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

θ_1	Kayar gövde, dönme mafsalı arası açısal fark
θ_2	Dönme mafsalı, bom arası açısal fark
θ_3	Bom, kol arası açısal fark
θ_4	Kol, kepçe arası açısal fark
PD	Oransal türevsel kontrol
PID	Oransal, integral, türevsel kontrol
MAX232	RS232 haberleşme çipi
16F877	PIC16 ailesinden F serisi mikro işlemci
GND	0 referans voltajı
AD0808	Dijital analog sinyal çevirici
ADC42	Analog dijital giriş çıkış kartı
PIO48	Dijital giriş çıkış kartı
LF351	İşlevsel güçlendirici

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tezde çizelge kullanılmamıştır.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Paletli tip iş makinaları	4
Şekil 2.2. Tekerlekli tip iş makinaları	5
Şekil 2.3. Ekskavatörün temel elemanları.....	6
Şekil 2.4. Ekskavatör kol kısmının mekanik ve hidrolik elemanları	7
Şekil 2.5. Hidrolik valf-silindir sistemi.....	9
Şekil 2.6. Puls genişliği modülasyonlu sayısal elktrohidrolik servo sistemin yapısı.....	10
Şekil 2.7. Deney düzeneği şematik diyagramı	10
Şekil 2.8. Bir ekskavatörün kol kısmının modellemesi	12
Şekil 2.9. Küçük ebatlı modelleme kontrol uygun ekskavatör	12
Şekil 2.10. Ekskavatörün yüklemesi	13
Şekil 2.11. Ekskavatörün kaldırması.....	13
Şekil 2.12. Ekskavatörün boşaltması	14
Şekil 2.13. Ekskavatör kazı planı.....	14
Şekil 2.14. Kazı yapılacak alanın ekskavatör tarafından parçalara ayrılmış durumu	15
Şekil 3.1. Çizim ortamında modellenen ekskavatör kolu	17
Şekil 3.2. Birinci hareket: Uzanma	17
Şekil 3.3. İkinci hareket: Yaklaşma	18
Şekil 3.4. Üçüncü hareket: Kazma.....	18
Şekil 3.5. Dördüncü hareket: Koparma.....	19
Şekil 3.6. Beşinci hareket: Kaldırma.....	19
Şekil 3.7. Altıncı hareket: Boşaltma	20
Şekil 3.8. Kayar gövde.....	20
Şekil 3.9. Dönme mafsalı.....	21
Şekil 3.10. Bom elemanı	21
Şekil 3.11. Kol elemanı.....	22
Şekil 3.12. Kepçe	22
Şekil 3.13. Bom elemanı	23
Şekil 3.14. Kol elemanı.....	23
Şekil 3.15. Kepçe	23
Şekil 3.16. Kazma hareketi sağlayan kepçe yardımcı uzuvlarıyla montaj halinde.....	24
Şekil 3.17. Kayar gövde	24
Şekil 3.18. Dönme mafsalı.....	25
Şekil 3.19. Mafsallarda kullanılan miller.....	25
Şekil 3.20. Hidrolik silindirler	26
Şekil 3.21. Hidrolik sistem genel görünümü.....	26
Şekil 3.22. Sistemin hidrolik şeması.....	27
Şekil 3.23. Selonoid valf hız sinyali ve ilgili silindir için genel hız değişim profili.....	28
Şekil 3.24. Sistemin kontrol işleminde kullanılan elektronik kısmının şeması	28
Şekil 3.25. Robot kolun eklemleri ve eklemlerde okunan açıların gösterimi	30
Şekil 3.26. Kolların hareketinin algılandığı potansiyometreler	30
Şekil 3.27. Potansiyometrelerin güç ve seri haberleşme kartlarına bağlantısı.....	31
Şekil 3.28. Potansiyometre ölçümlerinin PC ye iletimi	31
Şekil 3.29. PC den oransal valfler için dijital çıkışların alınması ve dağıtımı	32

Şekil 3.30. PC den hız için alınan dijital çıkışların analog sinyallere dönüşümü	33
Şekil 3.31. Robot kol sistemi VBA tabanlı bilgisayar kontrol programı	34
Şekil 3.32. Hidrolik sistemin testinde kullanılan form	36
Şekil 3.33. Elektronik sistemi besleyen güç kaynağı	37
Şekil 3.34. Enkoder okuma formu, boş	38
Şekil 3.35. Enkoder okuma formu, okuma yapılmış hal	39
Şekil 3.36. Sistem testinde kullanılan dijital hız ve yön sinyallerin oluşturulduğu form	40
Şekil 4.1. Bilgisayar ortamında tasarlanan katı model ekskavatör kolu	41
Şekil 4.2. Mekanik sistemin genel görünümü	42
Şekil 4.3. Hidrolik ünitenin genel görünümü	42
Şekil 4.4. DAC0808 ile kurulan dijital analog çevirici devresi	44
Şekil 4.5. Tasarlanan DAC kartının devre şeması	45
Şekil 4.6. Tasarımı ve imalatı tamamlanan DAC devresinin fotoğrafı	45
Şekil 4.7. Açısal konum ölçüm ve haberleşme devresi	46
Şekil 4.8. ADC42 Kontrol kartı	46

1. GİRİŞ

Özellikle endüstride ve inşaat sektöründe yüksek kuvvet uygulaması gerektiren çalışmalarda genellikle söz konusu kuvveti oluşturacak sistem bir iş makinası olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu makinalar, çoğu kez bir dizel motor ile tahrik edilir ve sistem enerjisini bu dizel motordan alır. Dizel motor çıkışında mekanik enerji, bir hidrolik pompa vasıtası ile hidrolik enerjisine dönüştürülür. Bu şekilde hız ve tork olarak elde edilen mekanik enerji basınç ve debi özelliklerine dönüştürülmüş olur. Dolayısı ile sistemde basıncı artırılan yüksek debideki akışkan sistemin farklı yerlerine taşınarak enerjinin yakıttan alınıp gereken yerlere iletilmesi sağlanmış olur. Bir iş makinasında iletilen hidrolik enerjisi varış noktasında hidrolik elemanlar kullanılarak lineer ya da dönelel olmak üzere mekanik enerjiye çevrilir. Bu çalışma prensibi hemen tüm iş makinalarının temel çalışma prensibidir.

Özellikle çalışma şartlarının insan hayatı için tehlike oluşturduğu, yüksek radyasyon, yüksek sıcaklık veya diğere kimyasalların bulunduğu ortamlarda iş makinalarının kullanımında sorunlarla karşılaşılmaktadır. Söz konusu sorunlar iş makinasını kullanan operatörlerin sağlık durumu sebebi ile ortaya çıkmaktadır. Bu tür durumlarda söz konusu sistemlerin uzaktan kumandası hali hazırda en çok tercih edilen metotlardan birisidir. Ancak, en uygun çözüm sistemin robotlaştırılması ile kendi başına hareket eder hale getirilmesinden geçmektedir. Bu şartlarda, uzaktan kumanda edilmek yerine söz konusu iş makinaları sadece verilen görev bilgisini alıp görevi yerine getirebileceklerdir. Ancak bunun için yapılması gereken ilk işlemlerden birisi, söz konusu iş makinalarının iş yapan aksamalarının akıllı robot sistemlerine dönüştürülmesidir. Bu durumda özellikle çalışmaya konu edilen kazıcı tipindeki robotlarda kazıcının kol kısmının robotlaştırılması sistemin geliştirilmesinde önemli bir aşamayı oluşturmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada endüstride gittikçe artan robot sistem uygulamalarına katkı yapmak amacı ile bir ekskavatör sisteminin kol kısmının modellenmesi ve kontrol uygulamasına yönelik simülasyonu gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Endüstride robot sistemlerin uygulama alanlarındaki artış özellikle üretim sanayinde oldukça yaygınlaşmış olmasına rağmen, henüz inşaat ve madencilik gibi sektörlerde istenen seviyelere ulaşamamıştır. Bu durumun en önemli sebebi iş

makinalarının inşaat ve özellikle maden sektörlerinde kullanımlarında karşılaşılan sorunlar ve söz konusu sistemlerin uzman operatör gerektirmesidir.

Bu tez çalışması ile özellikle kazı amaçlı olarak kullanılan, inşaat ve maden sektörlerinin popüler iş makinalarından olan bir ekskavatörün kol kısmının modellenmesi ve kontrol uygulamaları gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Geliştirilen sistem ile söz konusu sistemlerin robotlaştırılması, bu alanda önemli bir adım olan kol kısmının otomasyonu ve otomatik kazı yapma görevlerinin yerine getirilmesi planlanmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İş makinaları hem sanayide hemde inşaat sektöründe yoğun kullanım alanı bulan mühendislik sistemleridir. Bu sistemler genellikle ağır iş şartlarında yüksek güç uygulaması gerektiren iş sahalarında kullanılır. Bu sistemlerin boyutları ve teknik özellikleri kullanıma ve çalışma alanına göre değişiklikler gösterir. Bazı sistemlerde boyutlar oldukça büyük değerlere hatta onlarca metrelere varır iken diğer bazı sistemlerin ise boyutları birkaç metre ile ifade edilebilir.

Her ne kadar boyutlar kullanım ve çalışma alanına göre değişiklik gösterse de, söz konusu iş makinalarının önemli bir kısmı genel bir iş makinası yapısına uyar niteliktedir. Bu yapı genel olarak güçlü mekanik gövde, güç kaynağı olarak dizel motor ve hareket aktarımında hidrolik sistemler kullanılması prensiplerine dayalıdır. Sistemler bu hali ile incelendiğinde, hemen hepsinde lineer hareketlerin hidrolik silindirlerle, dönel hareketlerinde hidrolik motorlarla ya da benzer özellik taşıyan sistemlerle elde edildiği görülür.

İş makinalarının yaygın kullanımı sistemin kumandasını bir operatörün sağlaması esasına dayalı şekilde gerçekleşir. Hatta bu operatörün hem makinayı iyi tanınması, özelliklerini bilmesi, hem de makinanın kontrolü konusunda tecrübe sahibi olması gerekir. Yapılacak işin niteliği ne olursa olsun, işe uygun makina seçildiği sürece, makinayı kontrol eden operatörün konu ile ilgili tecrübesi her zaman işin süresini en fazla etkileyen faktörlerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısı ile, operatörün sağlık ve sıhhati ile iş tecrübesi ve diğer faktörlerin toplamı insan kaynaklı faktörleri oluşturur ve her hangi bir işin yapılmasında süreyi etkileyen faktörler arasında önemli yer tutar.

Daha da önemlisi, bazı durumlarda iş makinasının çalıştırılacağı ortam insan hayatını tehdit eder nitelikte fiziksel şartlara sahip olabilir. Hatta bu çalışmayı ve operatör sağlığını olumsuz etkileyen faktörler işin yapılmasını engelleyecek seviyelerde veya ciddiyette olabilir. Bu tür durumlarda işin yapılması da hayati bir önem taşıyorsa, bu şartlar altında seçim ve sonucu ne olursa olsun insan hayatını etkileyen bir durumla karşılaşılır.

İş Makinaları; Toprak kazımı, toprak yüklenmesi ve toprak yayılmasında; karayolu yapım, onarım ve bakım işlerinde; su kanalları yapımı gibi işlerde kullanılan makinalardır.

İş Makinaları genel olarak hareket mekanizmalarına göre;

- Paletli iş makinaları (tırtıllı)
- Lastik tekerlekli iş makinaları

olarak sınıflandırılır.

Yaptıkları işlere göre ise iş makinaları çeşitli gruplara ayrılır.

Bunlardan belli başlı iş makinaları çeşitleri;



Paletli Ekskavatörler



Kovalı yükleyici



Paletli Yükleyiciler



Paletli Mikro Yükleyiciler



Paletli Dozerler

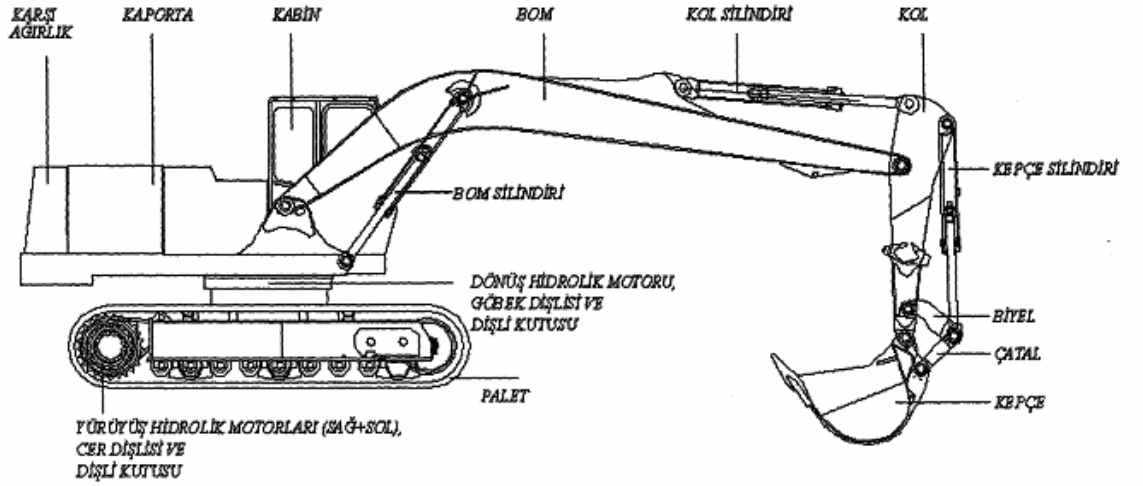
Şekil 2.1. Paletli tip iş makinaları

	Mikro Yükleyciler
	Lastik Tekerlekli Dozer
	Motor Greyderler
	Asfalt ve Toprak Silindirleri
	Zemin Düzenleyiciler
	Kaya Kamyonları
	Belden Kırmalı Kamyonlar
	Skreyperler
	Teleskopik Bomlu Yükleyciler
	Lastik Tekerlekli Yükleyciler
	Kazıcı ve Yükleyciler
	Lastik Tekerli Ekskavatörler

Şekil 2.2. Tekerlekli tip iş makinaları

Şekil 2.1’de paletli tip iş makinelerinin temel formları gösterilmektedir. Bu sistemlerin paletli hareket aktarım tipini seçmesinde iş makinasının çalışma ortamının özellikle çamurlu, çakıllı ve benzeri yumuşak zemin olup, iş makinasının yer tutuşunun artırılması amaçlanmıştır. Şekil 2.2. de ise bu kez iş makinelerinin tekerlekli formları verilmiştir. Bu tip sistemlerde ise tekerlek seçiminin sebebi, söz konusu sistemlerin daha düzgün zeminlerde daha yüksek hızlarda çalışma durumundan kaynaklanmaktadır.

Ekskavatör; değişik seviyelerdeki zemini sınırlı miktarda kazmak, gevşek malzemeyi ya da kazılmış toprağı bir yere yığmak ya da yüklemek için kullanılan iş makinası olarak tanımlanabilir (Sarı, 2003).



Şekil 2.3. Ekskavatörün temel elemanları

Şekil 2.3’te (Sarı, 2003) verildiği üzere ekskavatör, yürüyüş şasesi ve kuleden oluşur. Kule üzerinde karşı ağırlık, kaporta, motor, kabin, bom, kol, keçe ve silindirleri bulunur. Kule, yürüyüş şasesi üzerinde 360° dönme kabiliyetine sahiptir. Ekskavatör, kazma, koparma ve taşıma işlemlerini hidrolik silindirleri ve motorları vasıtası ile yapar. Yürüyüş ve kule dönüş işlemleri hidrolik motorlarla; bom, kol, ve keçe hareketleri ise hidrolik silindirlerle sağlanır (Sarı, 2003).

Ekskavatör, otomobil ya da kamyonların aksine hareketi direkt motordan almaz. Motor gücü üretir ve bir aktarma organı vasıtasıyla hidrolik pompaya iletir. Hidrolik pompa, bir kalp gibi tanktan aldığı hidrolik yağı çok yüksek basınçla pompalar. Kumanda valfleri yağı yönlendirir ve komutlara göre bom, kol, kova ve yürüyüş hareketlerine dönüşür. Hareketin kaynağı yüksek basınçlı yağdır.

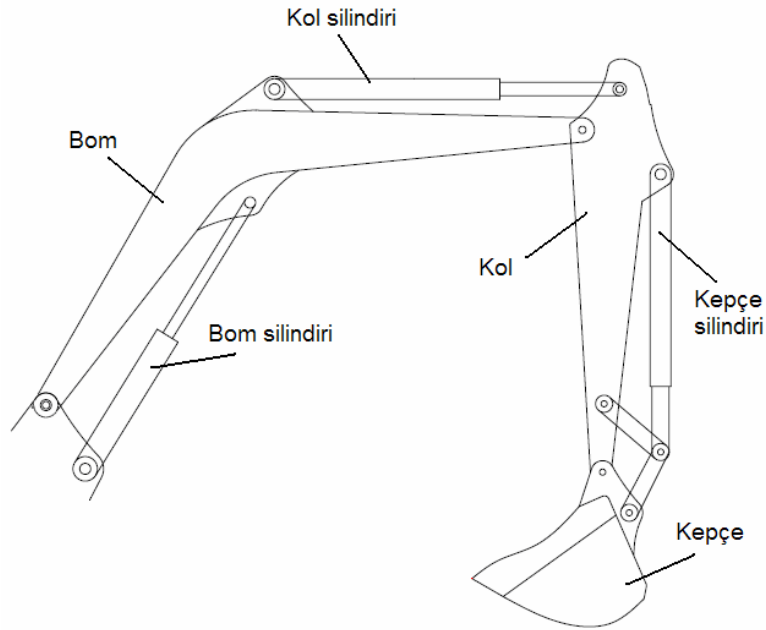
Ekskavatörler amaca göre, lastik tekerlekli veya paletli, yapacağı işin cinsine göre özel ataşmanlı olabilir. Özel ataşmanlar ve ekipmanlar kullanarak kırma, çakma, kaldırma, itme, çekme gibi hareketleri yapabilen ekskavatörün en önemli özelliği, dönerek çalışabilme kabiliyeti sayesinde bu işleri yer değiştirmeden yapabilmesidir. Hareket kabiliyetinin çok yüksek olması, kazı ve yüklemeyi aynı anda yapabilmesi nedeniyle, ekskavatör en yaygın kullanılan iş makinasıdır.

Ekskavatör, genel olarak yapı temellerinde, hendek kazılarında, hareket sahası kısıtlı olan kazma ve yükleme işlemlerinin bir arada yapılması gereken kazılarda, drenaj ve sulama kanalları kazılarında, kırma işlerinde ve tünellerde kullanılır. Ekskavatörlerin büyüklüğü yapılacak kazının amacına göre değişir.

Ekskavatörün ve uzuvlarının hareketi, kepçe silindiri, kol silindiri, bom silindiri, kule hidrolik motoru ve yürüyüş hidrolik motorları tarafından sağlanmaktadır.

Ekskavatörün mekanik elemanları;

- Bom: Mekanizmanın en büyük parçasıdır, tek veya iki parçalı olarak imal edilir. Bir ya da iki adet silindire hareket verilir. İki parçalı bomun hareket kabiliyeti daha yüksektir. Kazılan yükün taşınması için kullanılır.
- Kol: Hareketini bom üzerine bağlı silindirden alır ve üzerinde kepçeye hareket veren silindir bulunur.
- Kepçe: Kazma, koparma ve taşıma işlemlerinde kullanılır.



Şekil 2.4. Ekskavatör kol kısmının mekanik ve hidrolik elemanları

Ekskavatörün hidrolik sistem elemanları Şekil 2.4 de (Oyman, 2005) verilmiş olup, ilgili açıklamalar aşağıda sunulmuştur;

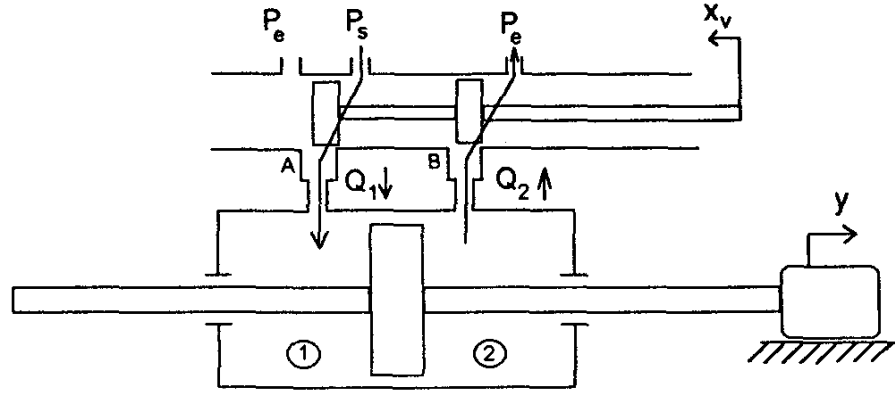
- Bom silindiri: Kazılan malzemenin yüklenmesi için boma hareket verir.
- Kol silindiri: Kol silindirinin görevi, kazma sırasında kepçe ucunda istenen koparma kuvvetini, uygulama noktası belli bir hızla hareket ederken sağlamaktır.
- Kepçe silindiri: Kazı işleminin ve boşaltmanın yapılması için kepçeye hareket verir.
- Kule dönüş hidrolik motoru: Ekskavatörün yerinden hareket etmeden kazı ve yükleme işleminin gerçekleşmesi için bir hidrolik motoru ve göbek dişlisi ile kuleyi döndürür.
- Yürüme hidrolik motoru: Ekskavatörün yürümesi sağ ve sol paletleri tahrik eden iki hidrolik motorla sağlanır. Hidrolik motorlar birer dişli kutusu vasıtasıyla cer dişlilerini, cer dişlileri de paletleri hareket ettirir. Cer dişlisinin teğetsel hızı yaklaşık olarak ekskavatörün yürüme hızına eşittir.

Oyman çalışmasında (2005), ekskavatörlerin yapısı ve hidrolik sistemleri hakkında temel bilgiler vererek, çalışma donanımını oluşturan parçaları incelemiş ve kuvvet analizlerini göstermiştir. Örnek bir sistem üzerinde uygulama yaparak çalışmasını sonlandırmıştır.

Usta çalışmasında (1992), bilgisayara bağlı, sayısal kontrol yapan hidrolik bir tahrik sistemi geliştirmiş ve oluşturulan sistemi deneysel olarak çalıştırmıştır. Önce sistemin analog kısmının modelini oluşturmuş, sonra sayısal ve analog kısmı bir arada inceleyerek sistemin servo ve regülatör özelliğini veren transfer fonksiyonları z-transformu cinsinden bulmuştur. Sisteme basamak biçiminde referans ve bozucu girişler uygulayarak durağan ve geçici cevapları, sinüsoidal referans girişler için de durağan sinüsoidal cevabı hesaplamıştır. Tasarımı yapılan sistemi daha sonra kurmuş; basamak ve sinüsoidal referans girişler için performans deneylerini yapmıştır. Sonuç olarak sistemin yaklaşık 40 Hz frekansa kadar $\pm 0,0181\text{mm}$ doğrulukla konum kontrolü yapabildiğini göstermiştir.

Yıldırım çalışmasında (1992), hidrolik tahrikli, üç serbestlik dereceli bir robot kol mekanizmasının dizayn ve imalatını amaçlamıştır. Biri düşey eksen etrafında ve diğer ikisi ise yatay eksen etrafında dönebilen üç uzuvlu bir kol mekanizması tasarlamıştır. Dönme hareketlerini kramayer dişli ve hidrolik silindir tahrikiyle sağlamıştır. Bu sayede üç boyutlu iş hareketi elde ederek yön kontrol valfleriyle pozisyon kontrolü gerçekleştirmiştir.

Becan çalışmasında (1995), dört yollu üç konumlu yön denetim valfi ve hidrolik silindirden oluşan sistemin matematik modelini kurarak bilgisayarda simülasyonunu gerçekleştirmiştir (Şekil 2.5). Matematik modelini oluşturarak boyut analizi yapmış, sistemin simülasyonunu gerçekleştirerek açık çevrim davranışları elde etmiştir. Değişik algoritmalar uygulayarak hidrolik sistemin konum ve hız kontrolünü sağlamıştır. Sırasıyla PD etkili sürekli kontrol, ivme geri beslemeli kontrol ve ikili kontrol algoritmalarının kullanılması sonucu konum kontrolü gerçekleştirmiştir. Ayrıca, esneklik modülünün simülasyon programı tarafından gerçek değerine yakın olarak hesaplandığı elastik bir sistemin, PD etkili sürekli kontrol algoritmasıyla konum kontrolü gerçekleştirmiştir.

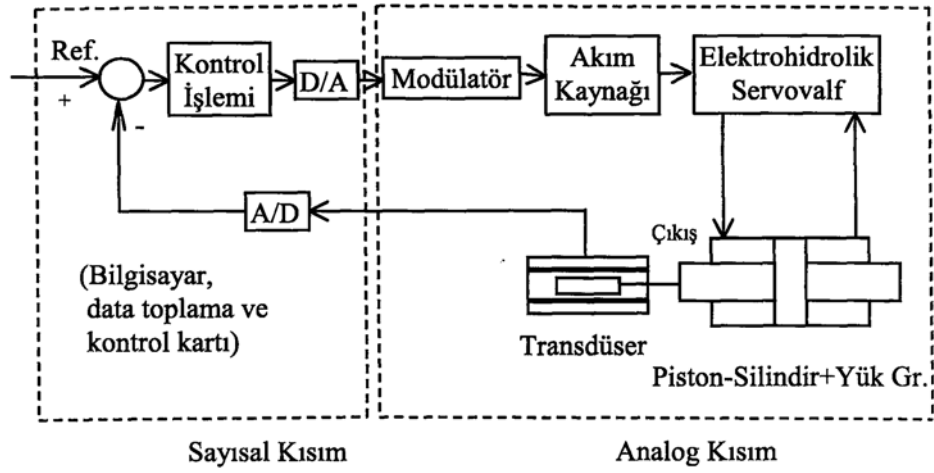


Şekil 2.5. Hidrolik valf-silindir sistemi

Işın çalışmasında (1995), hidrodinamik ve hidrostatik tahrik yöntemlerini, hidrolik pompaları, motorları, silindirleri ve valflerin işlevlerini detaylı olarak inceleyerek, hidrolik sistemlerin taşıtlar ve iş makinelerindeki uygulamalarından bahsetmiştir.

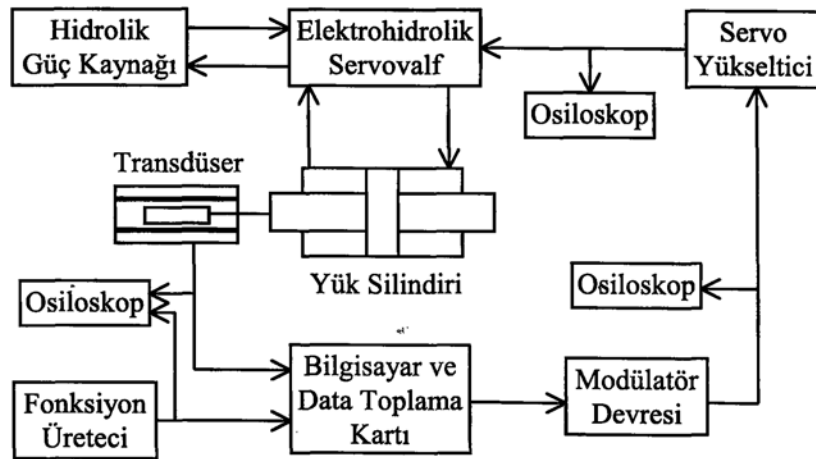
Keleş çalışmasında (1998), elektrohidrolik bir servo sistemin puls genişliği modülasyonlu girişler için açık ve kapalı çevrim davranışını teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Şekil 2.6 (Keleş, 1998) da verilen haliyle, önce sistemin matematiksel

modelini oluşturmuş ve puls genişliği modülasyonlu girişler için sistem cevabını veren metotlar geliştirmiştir.



Şekil 2.6. Puls genişliği modülasyonlu sayısal elektrohidrolik servo sistemin yapısı

Sonra elektrohidrolik servovalfin ve sistemin, basamak ve sinüsoidal girişler için açık ve kapalı çevrim davranışlarını ayrı ayrı analiz etmiştir. Sinüsoidal girişler için puls frekansının çıkış üzerine etkisini incelemiştir. Teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması neticesinde, parametre değerlerindeki belirsizlikler ve lineer olmayan etkilerden kaynaklanan bazı farklılıklar olduğunu tespit etmiştir (Keleş, 1998).



Şekil 2.7. Deney düzeneği şematik diyagramı

Şekil 2.7 de, Keleş'in (1998) yaptığı deneylere ait çalışmalardan, puls genişliği modülasyonu tekniği ile elektrohidrolik servo sistemin konum kontrolünün başarılı bir

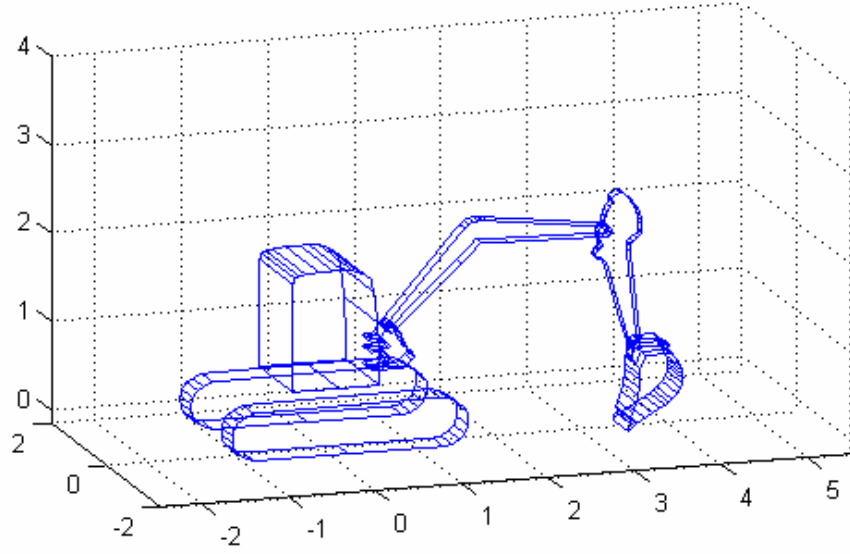
şekilde yapılabildiğini göstermiştir. Bu tekniğin yavaş hareket esnasındaki tutuk hareketi giderdiğini göstermiştir. Ele aldığı sisteme sinüsoidal referans giriş uyguladığında puls frekansının giriş frekansına oranının en az 50 olması gerektiği sonucuna varmıştır.

Sarı çalışmasında (2003), ekskavatörlerin hidrolik sistem tasarımına esas olacak temel parametreleri belirlemiş, teknik ve ekonomik yönden optimum sistem seçimini yapmıştır. Temel parametre olarak kepçe silindirin sağladığı maksimum kazma kuvveti, kol silindirin sağladığı maksimum koparma kuvveti, kaldırma kapasitesi, düz yolda ilerleme hızı, ekskavatörün çıkabileceği maksimum eğim, kule dönüş hızı, çalışabilecek maksimum eğim açısı kullanılmıştır. Girdi olarak verilen bu parametreleri karşılayabilen hidrolik sistemlerin teknik ve ekonomik yönden seçimine olanak veren bir yöntem geliştirmiştir.

Lalov (1998), döner kepçeli ekskavatörlerin oldukça etkin kontrol sistemlerinin olması gerektiğini vurgulamıştır. Bu bağlamda, ekskavatör kontrol sistemlerinin fonksiyonları ve görevlerini belirtilmiş ve ekskavatör kontrol sistemleri üzerine (yapı, tasarım ve etkinlik) önerileri vermiştir. Sonuç olarak, ekskavatörün bütün ana mekanizmalarının ve üst yapının dönme mekanizmalarının programlanabilir kontrollere sahip olması gerektiğini belirtmiştir.

Ekskavatör sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda, genellikle kol kısmı önemli teknik sorunlar içerdiğinden robotlaştırma çalışmaları bu kısımdan başlamaktadır. Bu çalışmalara Danko (2005) tarafından yapılan çalışmalar örnek verilebilir. Genellikle bu tür sistemlerin insansız çalışma durumunda operatörün performansına yakın veya daha iyi çalışma performansı sergilemeleri beklenir. Bu sebeple, çalışmaların büyük oranda ilk aşaması, sistemin basit matematiksel modellerinin oluşturulmasının ardından çalışmasına yönelik bilgi toplama amaçlı çalışan sistemlerin incelemesidir.

Şekil 2.8'de çalışmaya konu edilen ekskavatör sisteminin bilgisayar ortamında hareket incelemesi için oluşturulan modeli verilmiştir (Danko, 2005).



Şekil 2.8. Bir ekskavatörün kol kısmının modellemesi

Ekskavatör sistemleri özellikle geniş kullanım alanları, farklı model ve tiplerdeki versiyonları ve kullanışlı basit sistemler olmaları sebebi ile değişik boyutlarda üretilen popüler iş makinalarıdır. Bu iş makinalarının modellenmesi, simülasyonu ve kontrol uygulamalarında genellikle tasarımcı mühendisler küçültülmüş basit modelleri ya da küçük ebatlardaki iş makinalarını tercih ederler. Bu küçük modellere örnek, Şekil 2.6 deki ekskavatör sistemi verilebilir (Danko, 2005).



Şekil 2.9. Küçük ebatlı modelleme kontrol uygun ekskavatör

Ekskavatörün kol hareketleri ile yapmış olduğu en önemli hareketler yüklemenin yapılması, yükün kaldırılması ve yükün boşaltılmasıdır. Yükleme yapılacak mesafe, kaldırılacak mesafe ve boşaltılacak mesafe her defasında farklılık göstermektedir. Kazı yaparken yükleme yapılacak yer her defasında aşağı doğru artarken boşaltma yapılacak yer her defasında yükselmektedir. Aşağıdaki şekillerde (Şekil 2.7, 2.8 ve 2.9) ekskavatörün yükleme, kaldırma ve boşaltma durumlarına örnek gösterilebilir. Yükleme, kaldırma ve boşaltma mesafelerinin değişmesi de sistemin modellenmesini güçleştireceği düşünülmektedir (Danko, 2005).



Şekil 2.10. Ekskavatörün yüklemesi



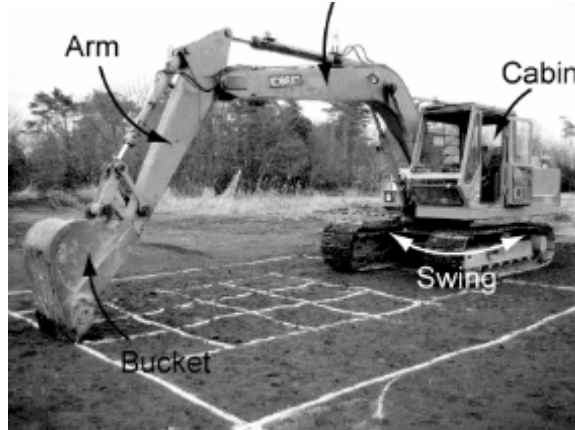
Şekil 2.11. Ekskavatörün kaldırması



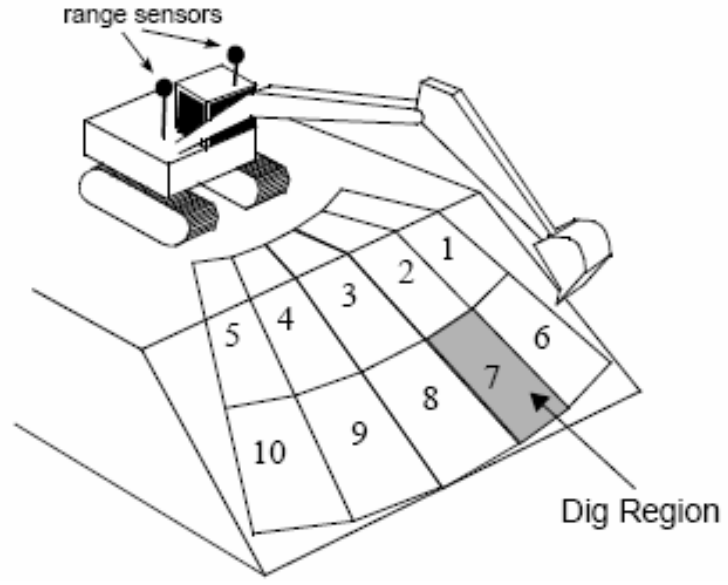
Şekil 2.12. Ekskavatörün boşaltması

Tokyo Üniversitesinde yapılan bir çalışmada, ekskavatörün en çok kazı işlerinde kullanıldığı, kazının en kolay nasıl yapılacağı ve nerden başlanmasının avantajlı olacağı, zamanı en iyi şekilde kullanmanın önemli olduğu, hafriyatın en uygun nereye konulacağı gibi hususların önemine değinilmiştir. Ayrıca, bir operatörün on yıl gibi uzun bir zamanda yetiştiği de belirtilmektedir. Ekskavatörün robotlaştırılmasıyla bu olumsuzlukların kısmen veya tamamen ortadan kaldırılacağı ve operatöre ihtiyaç duyulmadan kazı yapılmasının mümkün olduğunun kanıtlanacağı düşünülmektedir (Sakaida ve ark., 2006).

Başka bir çalışmada, otomatik kazı için, kazı yapılacak bölgenin parçalara ayrılarak, parçaların teker teker kazılmasının sistemin modellenmesi açısından önemli olduğuna değinilmiştir. Şekil 2.13 (Sakaida ve ark., 2006) ve 2.14'te (Stentz ve ark., 1998) kazı yapılacak alanın parçalara ayrılmış hali görülmektedir (Stentz ve ark., 1998).



Şekil 2.13. Ekskavatör kazı planı



Şekil 2.14. Kazı yapılacak alanın ekskavatör tarafından parçalara ayrılmış durumu

Bu tez çalışmasında, ekskavatör kol sisteminin bilgisayarda tasarımı, ardından imalatı ve laboratuarda kontrol uygulamasına yönelik test çalışmalarının yapılması düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında, robotlaştırılmış ekskavatör ile belirli bir alanın operatörsüz olarak kazılması amaçlanmaktadır.

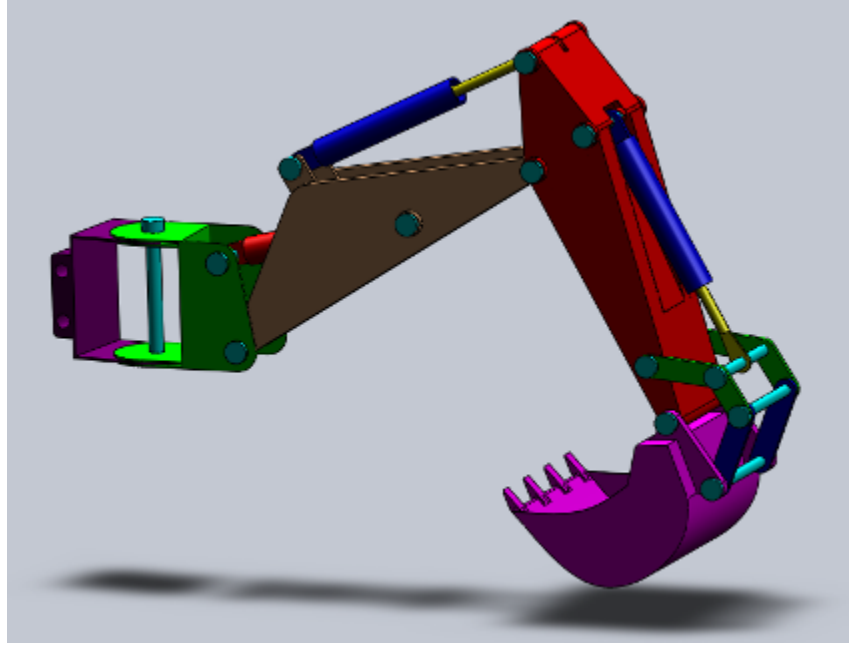
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada bir ekskavatör sisteminin otomasyonuna yönelik bir çalışma yapılması öngörülmüş ve bu amaçla da iş makinasının otomasyonunun temel aşamaları olarak iş makinasının kazı hareketinin otomasyonu ve iş makinasının iş sahası içindeki hareketlerinin otomasyonu olarak iki aşamaya bölünmüştür. Bu amaçla, otomasyon çalışmasının ilk amacı olarak, ekskavatör kolunun hareketleri ve kontrol durumu incelemesi yapılması ve bu hareketlerin kontrol edilebilmesi için gerekli analizlerin yapılması planlanmaktadır. Her ne kadar bu tez çalışması sadece kol sisteminin otomasyonunu ele alıyor olsa da, aynı zamanda iş makinasının hareketlerine dair önemli tasarım ölçütlerini de dikkate almaktadır.

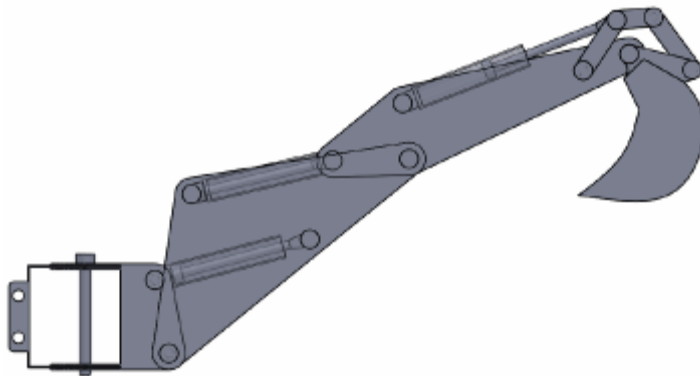
Ekskavatör kolunun hareketi için yapılacak çalışmaya önce sanal tasarım ortamında inceleme ile başlanılmış olup, sistemin bir modeli oluşturulmuştur. Bu modelin oluşturulmasında kullanılması planlanan gerçekçi elemanların boyutları dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, tasarımda kullanılması muhtemel elemanların teknik özellikleri tasarımın oluşturulmasında önemli rol oynamıştır. Bu şartlarda yapılan tasarım ile sistemin tasarım aşamasının takip etmesi planlanan imalat ve montaj aşamalarının daha kolayca gerçekleştirilebilmesi amaçlanmıştır.

Şekil 3.1.'de tasarım programı kullanılarak elde edilen çizim modelinin detaylı resmi verilmiştir. Elde edilen modelin avantajı sistemin hareketlerinin tanımlanmasına olanak sağlaması ve bu sayede sistemin hareketlerinin incelenebilmesidir.



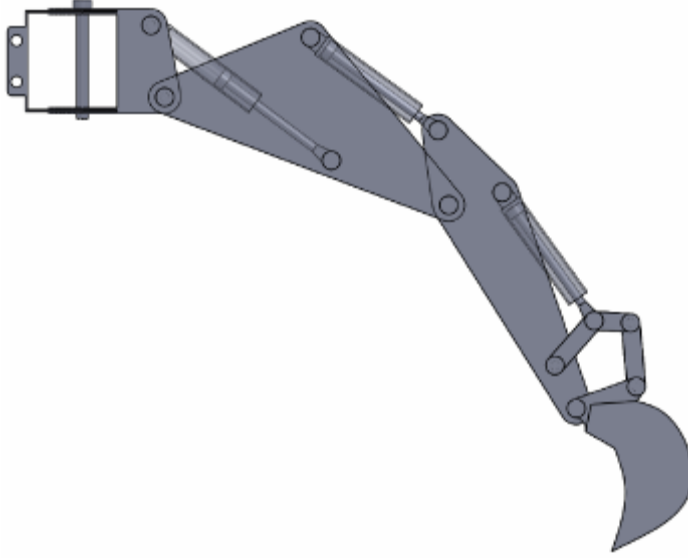
Şekil 3.1. Çizim ortamında modellenen ekskavatör kolu

Yapılacak inceleme açısından en önemli nokta ekskavatör kolunun temel hareketlerinin incelenmesi ve tespitidir. Şekil 3.2. ile 3.9. arasında bu hareketler tipik bir kazı işlemi için sıralanmıştır. Bu sıralama işlemleri arasında bir noktada kolun tamamının dönme hareketi yapması gerekmektedir. Ancak bu kısım büyük oranda iki boyutlu hareket olarak gerçekleşen kazı işleminin şimdilik dışında tutulup, analizin daha anlaşılır ve sade hale getirilmesine çalışılmıştır.



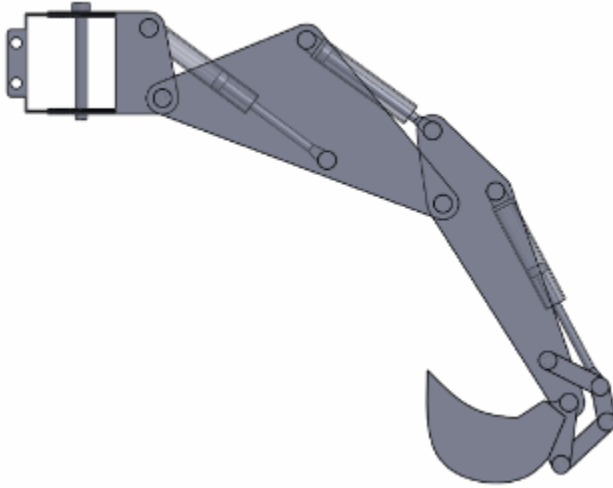
Şekil 3.2. Birinci hareket: Uzanma

Bu hareket (Şekil 3.2) kazı işleminin ilk hareketidir. Bu hareketle kolun bomdan ayrılması ve yukarıdan aşağı hareket yapabilecek konuma gelmesi sağlanır. Kolun yeteri kadar açılmasından sonra kepçe kol üzerinde açılarak yaklaşma hareketine başlar.



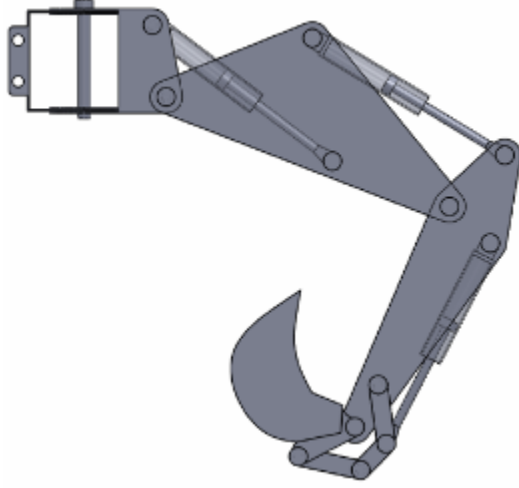
Şekil 3.3. İkinci hareket: Yaklaşma

Bomun ileri hareketiyle (Şekil 3.3) kazıcı kol gitmesi gereken noktaya doğru uzanır. Kazıcının kovasının alması gereken malzemeyi alması için doğru yere yaklaşmasını ve konumlanmasını sağlar.



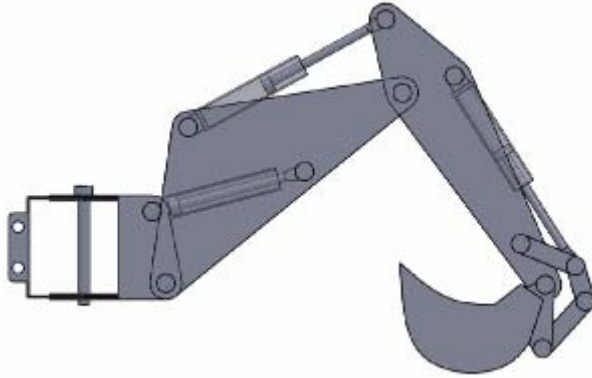
Şekil 3.4. Üçüncü hareket: Kazma

Kepçe silindirinin ileri hareketiyle (Şekil 3.4), kepçe kol bağlantı mili etrafında dönerek kazma işlemini gerçekleştirir. Kazma işlemi kepçenin hareketleriyle gerçekleşir.



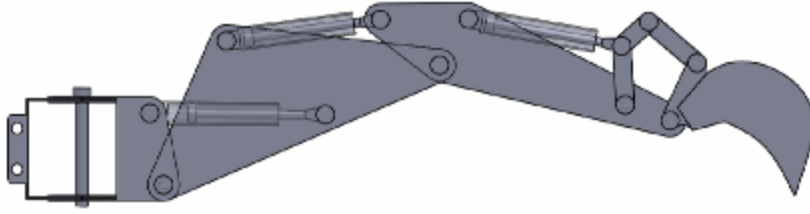
Şekil 3.5. Dördüncü hareket: Koparma

Şekil 3.5.'te bom ve kepçe silindirleri sabittir. Kol silindirinin ileri hareketiyle, kolun boma bağlandığı noktaya kol silindirinin uyguladığı momentle koparma işlemi gerçekleşir.



Şekil 3.6. Beşinci hareket: Kaldırma

Şekil 3.6.'da kazılan ve kepçe içine alınan malzeme bom silindiri hareketiyle bırakılması gereken noktaya doğru kaldırılır.

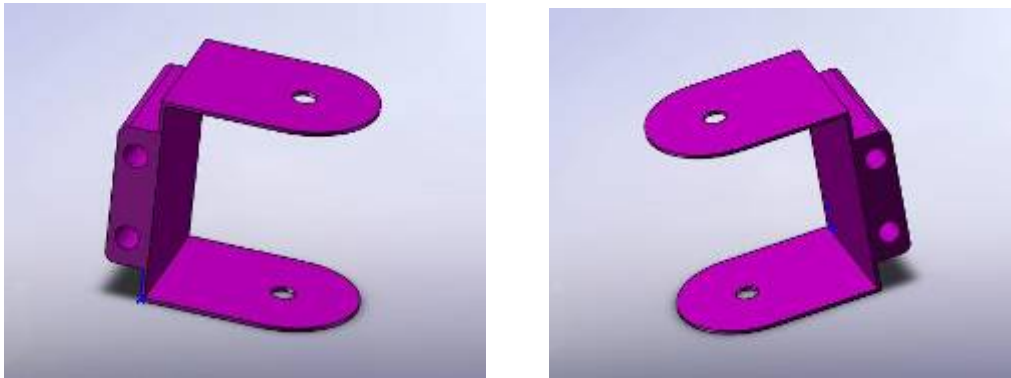


Şekil 3.7. Altıncı hareket: Boşaltma

Şekil 3.7.'de kolun boşaltma hareketi verilmiştir. Kepçe içine alınan ve kaldırılan malzeme bırakılması gereken yere getirildiğinde kepçenin hareketiyle boşaltılır. Bu hareketler kazma işlemi sonlanana kadar devam eder.

3.1.1. Mekanik Sistemin Bilgisayar Ortamında Tasarımı

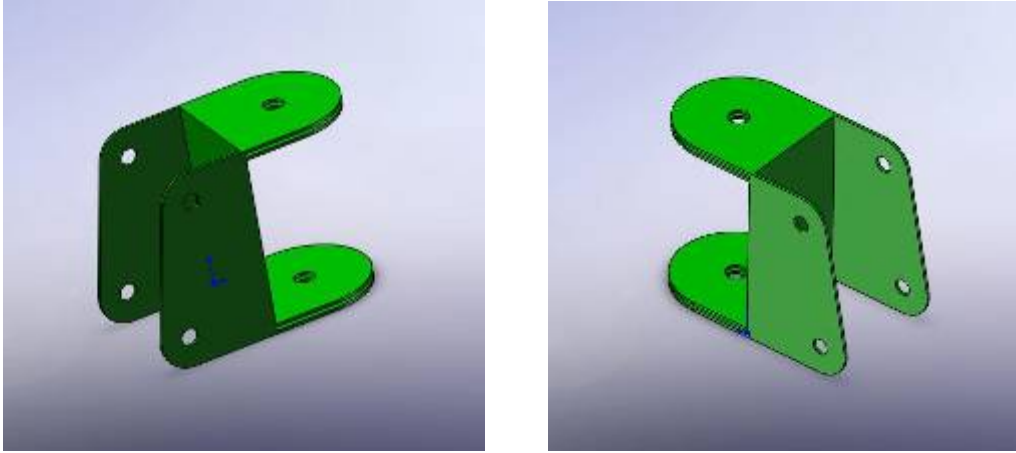
Robotlaştırılması düşünülen sistemin tasarımının ilk aşaması geliştirilen sistemin tasarımının bilgisayar ortamında yapılmasıdır. Bu amaçla yapılan çalışmalar sonucunda sistemin Şekil 3.2 ile Şekil 3.7 arasında verilen hareketlerini yapacak sistemin tasarımı gerçekleştirilmiş ve aşağıdaki şekillerde verilen parçalardan oluşan sistem tasarlanmıştır. Sistemin elemanlarının özellikleri, görevleri ve sisteme sağladıkları hareket kabiliyetleri ise ilgili kısımlarda verildiği üzere dir.



Şekil 3.8. Kayar gövde

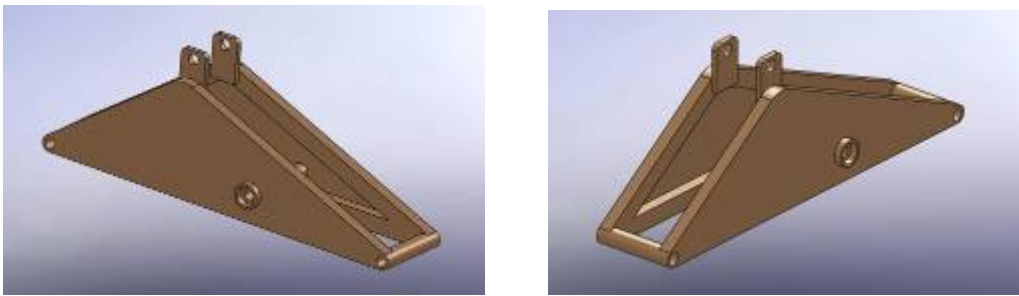
Şekil 3.8'de verilen eleman kolun tamamının yatayda hareketini sağlamak özelliğine sahip kısımdır. Aynı zamanda robot kolun yataydaki harekete dik eksen etrafında dönme hareketini de sağladığından eleman üzerinde toplam iki adet mafsall

bulunmaktadır. Yukarıda, Şekil 3.2 ile Şekil 3.7 arasında verilen hareketlerin gerçekleştirilmesinde Şekil 3.8’de verilen bu elemanın gerçekleştirdiği bir hareket verilmemiş olup, söz konusu eksik gibi görünen hareketler aslında kazı işleminin sonrası malzemenin yan tarafa boşaltılması işlemi ve kazı doğrultusunda yan hareketlerin gerçekleştirilmesi kısımlarıdır.



Şekil 3.9. Dönme mafsalı

Şekil 3.9’da verilen eleman kayar gövdeye bağlanan ve yatayda dönme hareketinin yapılmasını sağlayan karşı eleman olarak tasarlanmıştır. Bu elemanın bir tarafı dönme hareketi için gerekli desteği sağlarken diğer tarafı kolun aşağı yukarı hareketlerini sağlamaktadır. Robot kol kısmının ilk hareketli elemanıdır



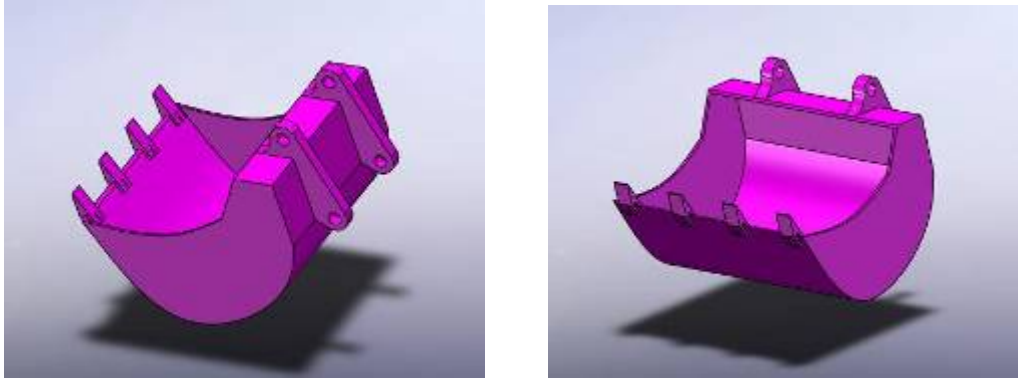
Şekil 3.10. Bom elemanı

Şekil 3.10.’da verilen eleman dönme mafsallına bağlanan ve dikey hareketlerin yapılmasını sağlayan eleman olarak tasarlanmıştır. Robot kol kısmının ikinci hareketli elemanıdır. İki ucuda mafsallı bağlantılarla hareketlidir. Bir ucu dönme mafsallına öbür ucuda kol elemanına bağlantılıdır.



Şekil 3.11. Kol elemanı

Şekil 3.11.'deki parça kol elemanı olarak tasarlanmıştır. Robot kol kısmının üçüncü hareketli elemanıdır. Bom elemanına bağlanarak hareket eder. Konumu bom bağlantı elemanının hareket etmesiyle değişir. Ucuna kepçe bağlanmaktadır.



Şekil 3.12. Kepçe

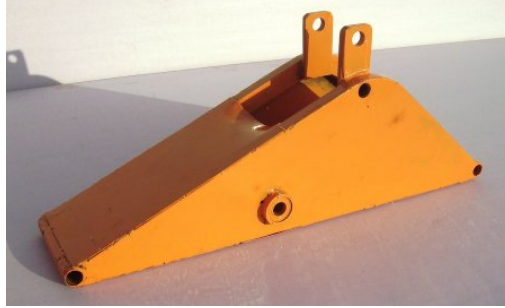
Şekil 3.12.'de robot kol kısmının dördüncü ve son hareketli elemanı olarak kepçe tasarlanmıştır. Bom ve kol elemanlarının hareket etmesiyle konumu değişir. Kol elemanına bağlanarak hareket eder.

3.1.2. Mekanik Sistemin İmalatı ve Montajı

Robot kol sisteminin bilgisayar ortamında tasarımı yapılan elemanlarının imalatı ile ilgili detaylar bu kısımda verilmiştir. İlgili kısımlara ait detaylar aşağıda verildiği üzeredir.

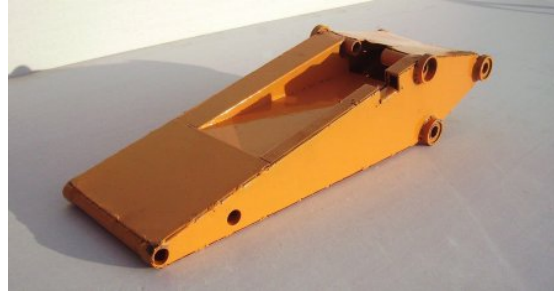
Şekil 3.13.'te gösterilen bom elemanı üzerinde dört adet mafsallı bağlantı vardır. Mafsallı bağlantıların iki tanesi hareketli uzuvları oluştururken diğer ikisi hidrolik silindir bağlantılarını oluşturmaktadır. Mafsallı bağlantıların yatakları hareketlerin

hassasiyetini sağlamak için bilyalı yataklı olarak imal edilmiştir. Bom elemanının imalatında, ilk hareket ve duraklama sırasında atalet kuvvetlerini azaltmak için, profil elemanlar kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Bom elemanı

Şekil 3.14.'te gösterilen kol elemanı üzerinde beş adet mafsallı bağlantı vardır. Mafsallı bağlantıların iki tanesi kepçenin, bir tanesi kol elemanının hareketli uzuvlarını oluştururken diğer ikisi hidrolik silindir bağlantılarını oluşturmaktadır.



Şekil 3.14. Kol elemanı

Şekil 3.15.'te imalatı yapılmış kepçe görülmektedir. Bu kova normalden küçük olup, sistemin geri kalanı gibi küçültülmüş bir modeldir. Kovanın kapasitesi 7 litre civarındadır



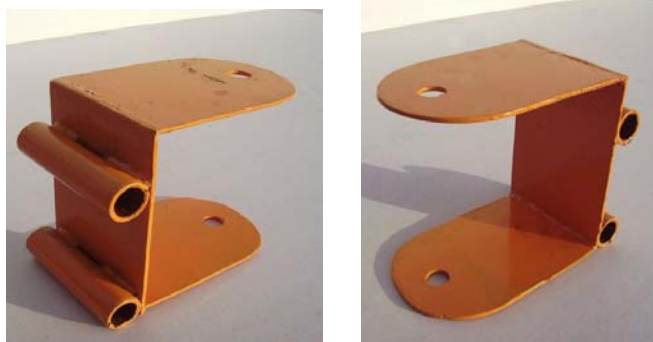
Şekil 3.15. Kepçe

. Şekil 3.16.'da kepçe uzuvlarıyla montajlı halde görülmektedir. Kepçe robot kol sisteminin ucunda bulunmakta ve kol elemanına iki noktadan yardımcı uzuvlarıyla beraber mafsallı olarak bağlanmaktadır. Yardımcı uzuvlar kepçenin rahat hareket etmesini sağlamaktadır.

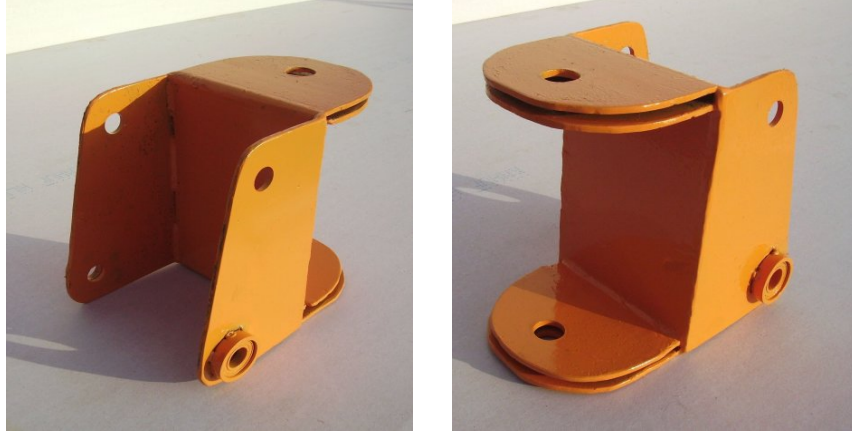


Şekil 3.16. Kazma hareketi sağlayan kepçe yardımcı uzuvlarıyla montaj halinde

Şekil 3.17.'de imal edilmiş hali görülen kayar gövde hareketli robot kol sistemini gövdeye bağlamakta ve bütün yükü üzerinde taşımaktadır. Üzerinde iki adet lineer hareket eden kayar eleman bulunmaktadır. Uç kısmına dönme mafsallının bağlanması için yatak yapılmıştır. Kayar gövde robot kol sisteminde oluşacak ani hareket değişikliklerini karşılayacak şekilde imal edilmiştir.



Şekil 3.17. Kayar gövde



Şekil 3.18. Dönme mafsalı

Şekil 3.18.'de dönme mafsalının imal edilmiş hali görülmektedir. Kayar gövde üzerinde üç adet mafsallı bağlantı bulunmaktadır. Mafsallı bağlantılardan bir tanesi dik eksen üzerinde dönme mafsalını kayar gövdeye bağlarken diğerleri bom elemanının ve hidrolik silindirin bağlantılarını sağlar.



Şekil 3.19. Mafsallarda kullanılan miller

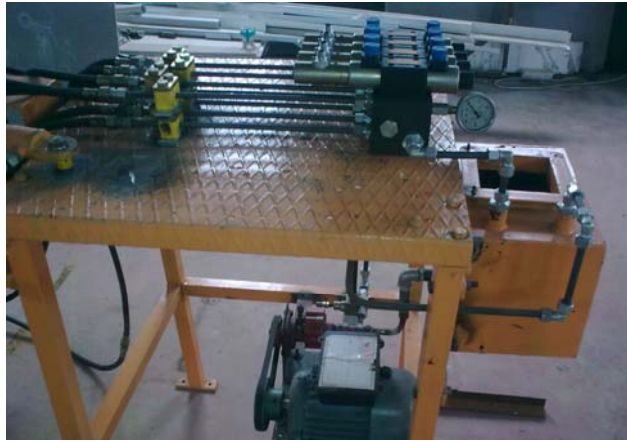
Şekil 3.19.'da mafsallı bağlantıların milleri görülmektedir. Millerin bazılarının her iki tarafı sekmanlı, bazılarının ise tek tarafı sekmanlı olarak imal edilmiştir.

3.1.3. Sistemin Hidrolik Kısımının Tasarımı

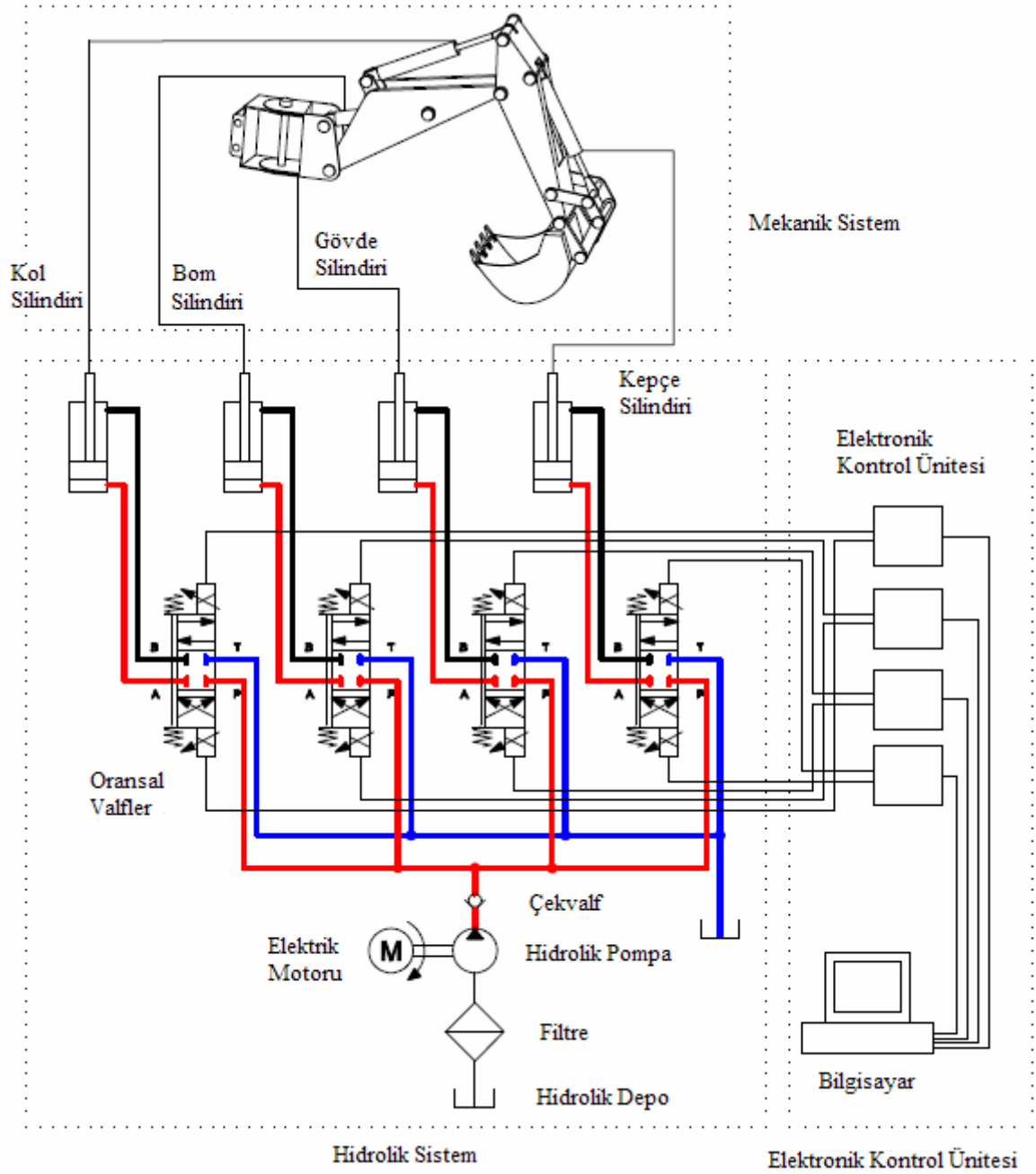


Şekil 3.20. Hidrolik silindirler

Şekil 3.20.'de görülen hidrolik silindirler hazır olarak kullanılmıştır. Kol mekanizmasının hareketine göre hesapları yapılmıştır. Silindirlerin çapları aynı ancak kapalı boy, strok ve bağlantı elemanları birbirinden farklıdır. Bom silindiri kapalı boyu 360mm stroku 145mm dir. Kol silindiri kapalı boyu 370mm stroku 150mm dir. Kepçe silindiri kapalı boyu 410mm stroku 145mm dir. Gövde silindiri kapalı boyu 300 stroku 125mm dir.

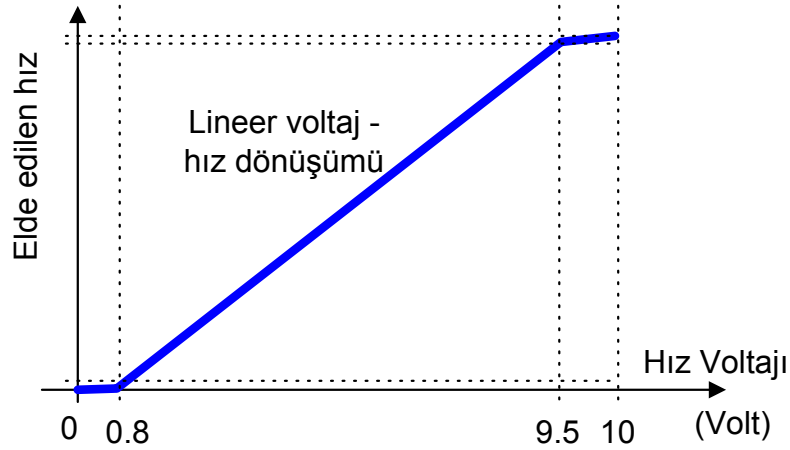


Şekil 3.21. Hidrolik sistem genel görünümü



Şekil 3.22. Sistemin hidrolik şeması

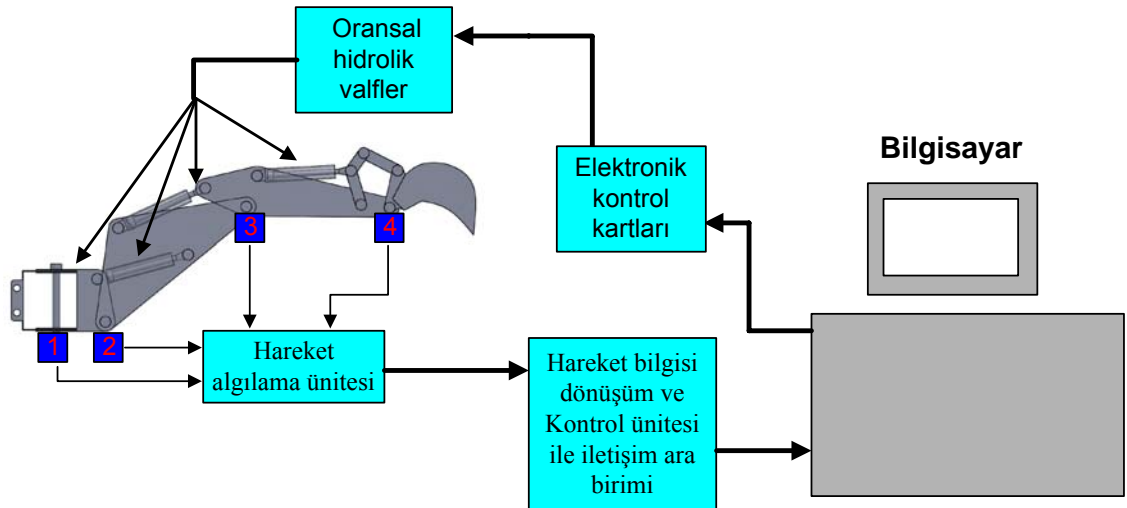
Şekil 3.22. robot kol sisteminin hidrolik devre şemasını göstermektedir. Hidrolik sistem elektrik motorundan aldığı mekanik dönme hareketini pompada hidrolik akışkan gücüne dönüştürmektedir. Sistemde bulunan oransal valfler, bilgisayardan aldığı komutların elektronik kontrol kartlarında uygun sinyallere çevrilmesi ile hidrolik silindirlere istenen debide basınçlı hidrolik akışkan gönderilmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.23. Selonoid valf hız sinyali ve ilgili silindir için genel hız değişim profili

Şekil 3.23'de selonoid valfe uygulanan hız voltajı ve bu voltaja karşılık gelen hidrolik silindir hızı verilmiştir. Grafikte hız kısmında hız değerleri genel bir durum belirtmek amacı ile rakamlandırılmamıştır. Bu durum farklı hidrolik silindirlerin aynı debi şartlarında farklı ileri veya geri hızlara sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Verilen grafik esasen selonoidler ile hidrolik silindirlerin etkileşimini ve hızın lineer değişimini göstermek amacı ile sunulmuştur.

3.1.4. Sistemin Elektroniğinin Tasarımı



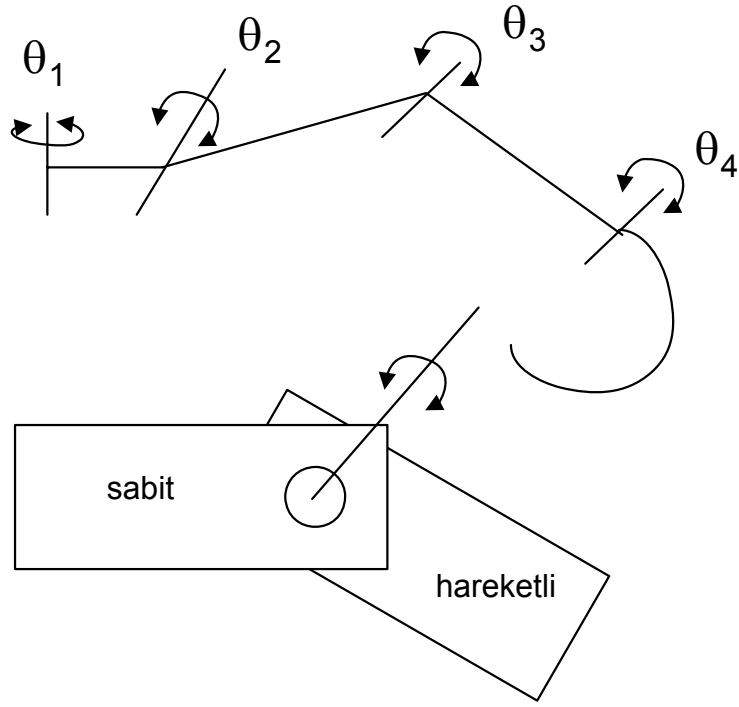
Şekil 3.24. Sistemin kontrol işleminde kullanılan elektronik kısmının şeması

Şekil 3.24'de geliştirilmesi planlanan sisteme ait hareket algılama sistemi ve bu sistemin ölçümlerinin kontrol işlemlerinin yapılacağı bilgisayara aktarılması işlemlerini gerçekleştirecek olan sistemin detayları verilmiştir. Şekilde verilen mavi kutucuklarda

sistemin eklem noktalarında yer alan enkoder elemanlar görülmektedir. Bu enkoderler ilgili mafsal noklarındaki hareketi ölçerek hareketin son durumunu hareket algılama ünitesine aktarmaktadırlar. Aktarılan bu bilgi aslında basit bir sinyal olmakla beraber bir PC tarafından direkt olarak kullanılabilir bir formda değildir. Bu sebeple, öncelikle sinyallerin işlenmesi gerekmektedir. Bu sinyal işleme görevi hareket algılama ünitesinde gerçekleştirilmektedir. Hareket algılama ünitesinin tasarımı yapılan kol üzerinde bulunması gerekmektedir. Bu durum üretilen hareket algılama sinyallerinin uzak mesafelere taşınmadan işlenmesi ihtiyacının bir sonucudur.

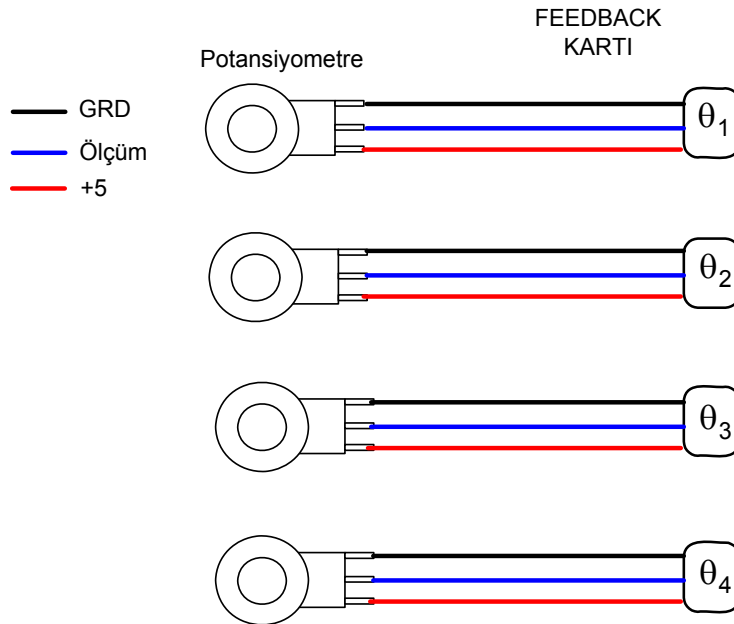
Hareket bilgi dönüşüm ve kontrol ünitesi ile iletişim işlemleri ise bir sonraki aşamada gerçekleşmektedir. Hareket algılama ünitesine ulaşan voltaj değerleri bu devrede açı değişimlerine dönüştürülmektedir. Hareket bilgisi dönüşüm ve PC iletişim bloğunda ise bu değişim açı değerleri, mutlak açısal konuma dönüştürülmektedir. Daha sonra da, kolun keçe kısmının koordinatlarının hesaplanması yapılarak kontrol sisteminin kontrol uygulaması için ihtiyaç duyulan açı ve pozisyon bilgileri paketi oluşturulup, bilgisayara aktarılması sağlanmaktadır.

Bilgisayar sisteminin giriş portuna sağlanan bu bilgiler kontrol sisteminin robot kolun konumu ve mafsallardaki açısal durumu her hangi bir hesaplama gereksiz almasını ve direkt olarak kullanmasını sağlamaktadır. Bunun sonucu olarak da, sistem sadece kontrol uygulamasına yoğunlaşabilmektedir.



Şekil 3.25. Robot kolun eklemleri ve eklemlerde okunan açıların gösterimi

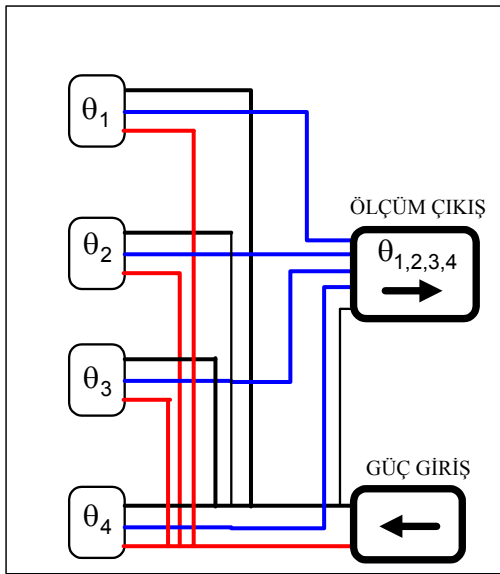
Yukarıdaki şekilde (Şekil 3.25), robot kolun hareketlerinin incelendiği eklemler, ilgili eklemlere ait numaralar ve bu numaralar atında incelenen değişkenlerin tanımları verilmiştir. Altta ise hareketi incelenen uzuvların soldaki sabit uzvu sağdaki ise hareketli uzvu göstermektedir. Bu kabul incelenen hareketin bağıl hareket olmasından kaynaklanmaktadır.



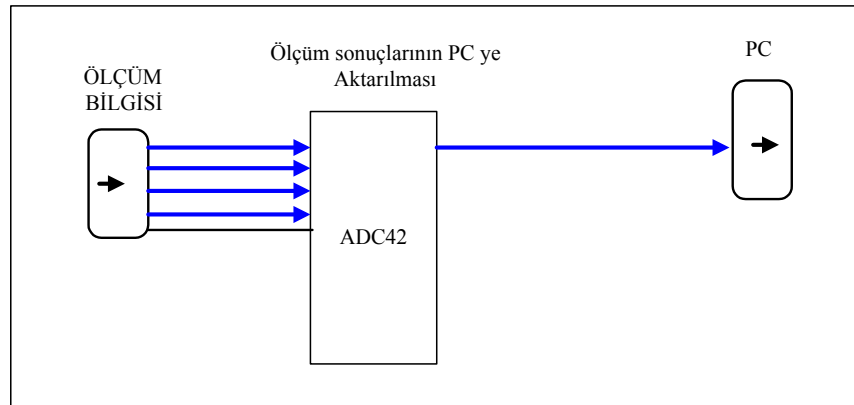
Şekil 3.26. Kolların hareketinin algılandığı potansiyometreler

Şekil 3.26 de robot kolların hareketlerinin bağıl hareketlerinin incelenmesinde kullanılan potansiyometreler verilmiştir. Potansiyometreler, verilen 5 voltluk voltajı açısal konuma göre değiştirerek şekildeki mavi sinyal olarak sisteme geri vermektedirler.

Şekil 3.27’de verilen devre ile sistemin hareket algılamasını yapan potansiyometrelere gerekli gücü sağlamanın yanı sıra, sistemden elde edilen ölçüm değerlerinin seri haberleşme için PIC devresine aktarılmak üzere ölçüm sonuçlarını toplayan devre görülmektedir.

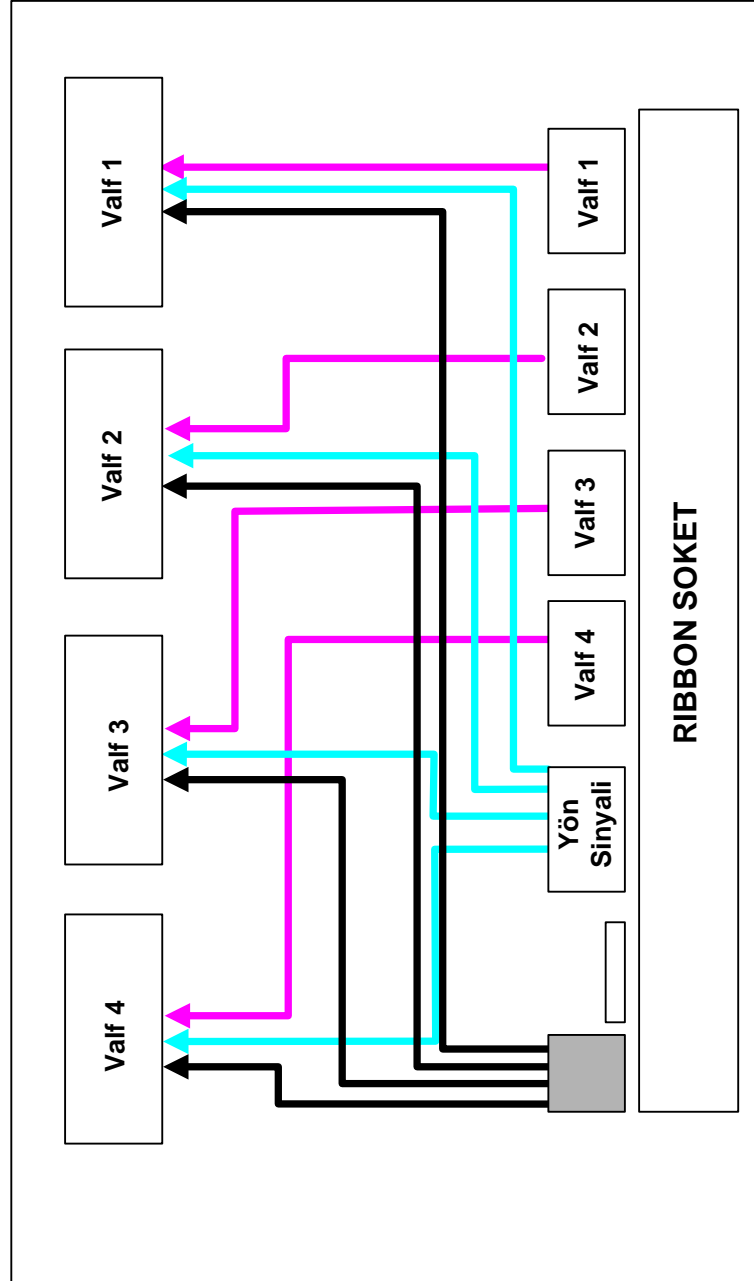


Şekil 3.27. Potansiyometrelerin güç ve seri haberleşme kartlarına bağlantısı



Şekil 3.28. Potansiyometre ölçümlerinin PC ye iletimi

Şekil 3.28 de ise kol bağıl açılmal hareketlerinin ölçümlerinin PC ye aktarılması için kullanılan devre görülmektedir. Bu devre ile alınan ölçümler en kısa sürede sisteme aktarılabilmektedir.

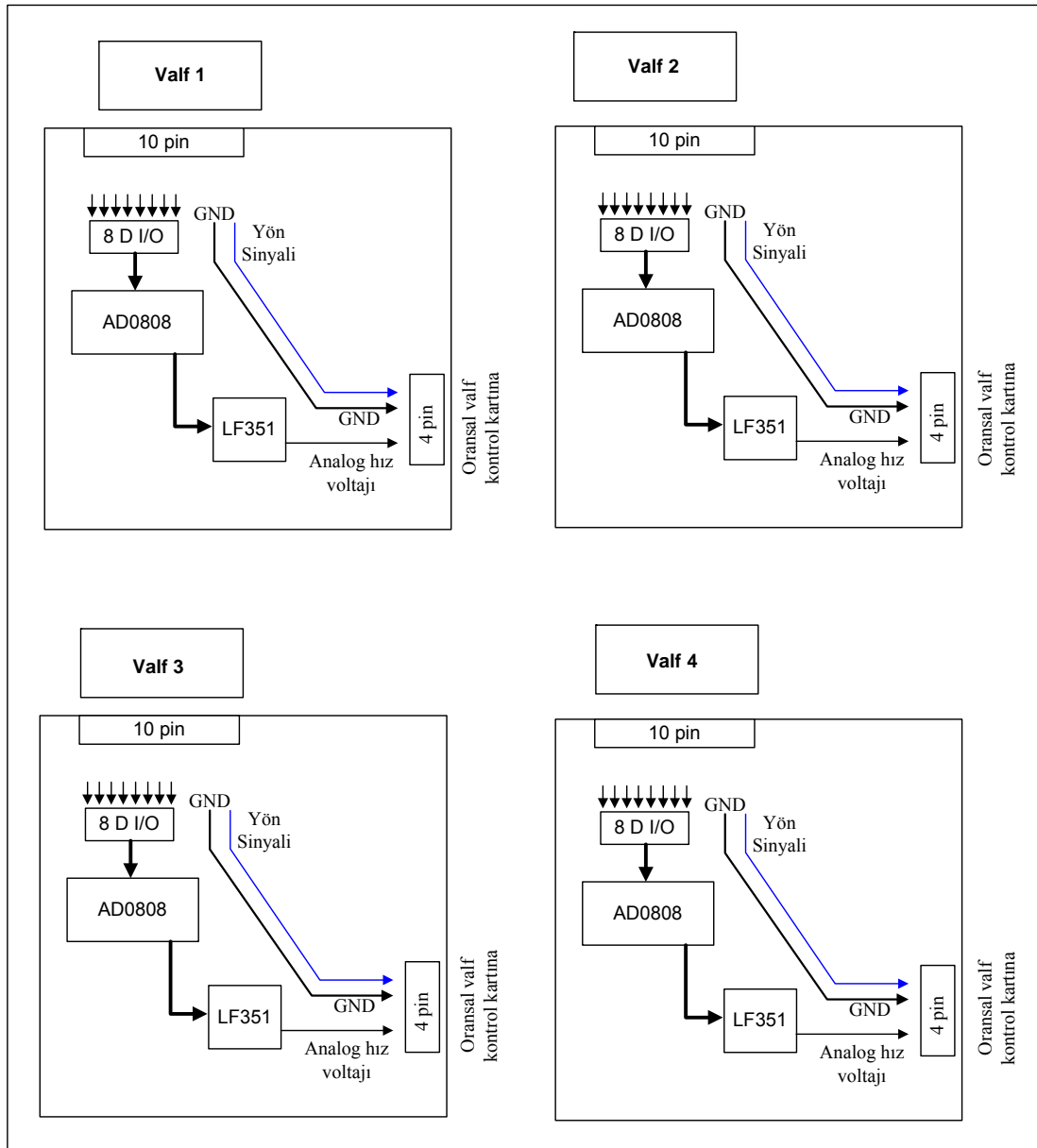


Şekil 3.29. PC den oransal valfler için dijital çıkışların alınması ve dağıtımı

Şekil 3.29'da sistemin hidrolik kısmını kumanda eden elektronik devrenin PC tarafı görülmektedir. Bu kısımda sistemden elde edilen paralel formdaki valf kontrol sinyalleri en son valf kontrol kartlarına ulaşacaktır. Ancak, PC den çıkış yapan sinyaller

paralel dijital formdadır. Gerekli olan valf kontrol sinyalleri ise analog formdadır. Dolayısı ile elde edilen dijital sinyallerin analog forma dönüştürülmesi gerekmektedir.

Bu amaçla PC den çıkış yapan paralel dijital formdaki sinyaller Şekil 3.30 ile verilen devre kullanılarak dijital forma dönüştürülmektedir. Bu devrelere (4 adet) her bir valfin sürülmesi için gerekli olan yön ve hız kontrol sinyalleri verilmekte, gerekli dönüşümlerden sonra uygun formda olmak üzere çıkış alınmaktadır.



Şekil 3.30. PC den hız için alınan dijital çıkışların analog sinyallere dönüşümü

Şekil 3.30 dan alınan çıkış sinyalleri, sistemde kullanılan oransal valfleri sürececek olan kontrol kartlarının istediği form olup, hız sinyali sıfır ile 10 volt arasında değişmektedir. Bu durumda, sıfır volt sıfır hıza karşılık gelir iken 10 volt maximum hıza karşılık gelmektedir. Ayrıca, kontrol kartlarına sistemin hareket yönünü belirtir bir başka sinyal daha gerekmektedir. Bu sinyal dijital formda olup, sıfır ve bir mantığına göre sırası ile sıfır volt için geri, 5 volt için ise ileri hareket elde edilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Oransal valfler ve ilgili sürücü kartları hazır alınmıştır. Bu kısımda verilen detayları da sistemin çalışmasında kullanılan özellikleri ile ilgisinden olup, bunların imalatı yapılmamıştır.

3.1.5. Sistemin Kontrol Programı

Aşağıda Şekil 3.31’de Ekskavatörün kol kısmının mafsalsal noktalarının açılma konumları, kazıcı kepçenin kova kısmının A noktası ile belirtilen koordinatlarının x, y ve z eksenlerindeki bileşenleri aşağıdaki formda sunulmuştur.

Kol Hareket Parametreleri			
1 Nolu Mafsalsal	0		
2 Nolu Mafsalsal	15		
3 Nolu Mafsalsal	22		
4 Nolu Mafsalsal	28		
	X	Y	Z
A noktası pozisyon	150.24	143.56	125.37

Kol Kontrol			
Baslama Noktasına Dön			
Kazıcı Hareketi Baslat			
Sonuçları izle			
	X	Y	Z
A noktası pozisyon	150.24	143.56	125.37
ÇIKIŞ			

Şekil 3.31. Robot kol sistemi VBA tabanlı bilgisayar kontrol programı

3.2. Yöntem

3.2.1. Sistemin Entegrasyonu ve Montaj Aşamasına Ait Testler

Sistem entegrasyonu esasen geliştirilen bağımsız modüllerin birleştirilmesini amaçlayan bir aşamadır. Ancak, bu aşamanın en önemli kısmı sistemin alt gruplarının çalıştıklarının ve fonksiyonlarını yerine getirdiklerinin tespit edilmesidir. Bu işlem her bir sistemin verilen giriş parametreleri için çıkışları sağlaması anlamına geldiğinden, her bir sistem belirtilen amaçla ve bu şekilde test edilmiştir. Bu testlere ait detaylar aşağıda verildiği üzeredir.

3.2.2. Hidrolik Sistemin Test Edilmesi

The screenshot shows a software interface titled "Hidrolik Test Form". It is designed for testing hydraulic cylinders. The interface is organized into four main sections, each representing a different hydraulic cylinder:

- Hidrolik Silindir (1):** Speed (Hiz) is set to 0. Direction (Yön) is set to "Geri" (Reverse). Port is "PIO48 - PortA". A "DUR" (Stop) button is present.
- Hidrolik Silindir (2):** Speed (Hiz) is set to 0. Direction (Yön) is set to "Geri" (Reverse). Port is "PIO48 - PortB". A "DUR" (Stop) button is present.
- Hidrolik Silindir (3):** Speed (Hiz) is set to 0. Direction (Yön) is set to "Geri" (Reverse). Port is "PIO48 - PortA'". A "DUR" (Stop) button is present.
- Hidrolik Silindir (3):** Speed (Hiz) is set to 0. Direction (Yön) is set to "Geri" (Reverse). Port is "PIO48 - PortB'". A "DUR" (Stop) button is present.

On the right side of the interface, there are four large buttons: "I/O Test Form", "Encoder Reader", "ALL STOP", and "EXIT".

Şekil 3.32. Hidrolik sistemin testinde kullanılan form

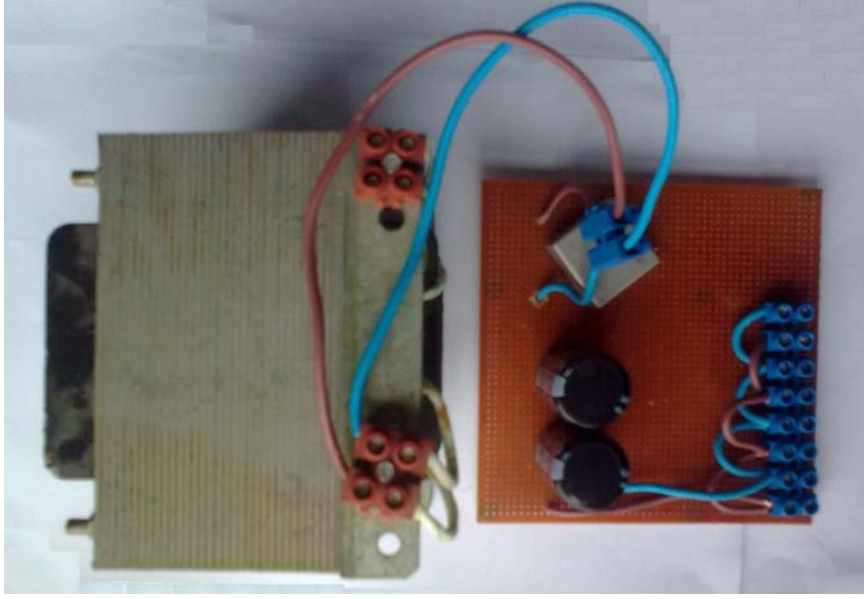
Hidrolik sistemin test edilmesi amacı ile Şekil 3.32’de verilen form düzenlenmiş ve kontrol amacı ile kullanılmıştır. Bu formda 4 ayrı hidrolik silindire ait alt gruplar oluşturulmuştur. Bu alt formlarda her bir silindirin ileri ve geri yön kontrollerinin yanı sıra, her bir hidrolik silindirin hareketini tanımlayan hızların ayarlanması sağlanmıştır. Bu şekilde hem yön hem de hız kontrolleri yapılabilmektedir.

Yapılan testlerde hidrolik sistemin kontrol uygulamasında istenen sonuçlar elde edilmiştir. Hidrolik sistemin kontrol açısından önemli incelemelerinden bir tanesi sistemin cevap hızı olup, bu değer istenilen seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

3.2.3. Elektronik Sistemin Test Edilmesi

Elektronik sistem Bölüm 3.4 de verildiği üzere birkaç devre grubundan oluşmaktadır. Bu devrelerden bazıları sadece güç dağıtımı ve kontrolü ile ilgili fonksiyonları yerine getirirken diğerleri ise haberleşme ve sinyal işleme fonksiyonlarını üstlenmiştir. Sistemin güç elektroniği kısmında sisteme gerekli gücü sağlayacak olan eleman olarak 220 AC yi 24 volt DC ye çevirmek üzere bir güç ünitesi tasarlanmıştır. Bu ünite ile, sistemin ihtiyaç duyduğu yüksek akım değerlerinin sağlanması amaçlanmıştır. Devrede voltaj regülasyonu amacı ile 2 adet 6600 μ F lık kondansatör kullanılmıştır.

Sistemde kullanılan bir başka önemli eleman ise dijital analog çevirici elemanıdır. Bu elemanın görevi PC den alınan 8 bitlik dijital hız verisini analog forma dönüştürmektir. Bunu gerçekleştirmek için devrenin aldığı sinyale karşılık gelen çıkışı ürettiğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu testler yapılmış ve istenen sonuçların elde edildiği görülmüştür.



Şekil 3.33. Elektronik sistemi besleyen güç kaynağı

3.2.4. Kontrol Programının Test Edilmesi

Sistemin kontrolünde kullanılacak olan program bilgisayar ortamında çalıştırıldığından, sistemde meydana gelen değişimlerin bilgisayar ortamına aktarılması, bu bilgilerin kullanılmasının ardından da sonuçların sisteme gönderilmesi gerekmektedir. Sistemin kontrol işlemlerinde kullanılacak programın çalıştırılması için Şekil 3.31 de verilen form kullanılmaktadır. Ancak, bu formun denenmesinden önce sistemin alt elemanlarının testlerinin yapılması gerekmektedir.

Test edilmesi gereken ilk alt sistem ölçüm elemanlarının sistemin hareketlerini algılaması kısmına ait olan potansiyometrelerin ölçüm sonuçlarının PC ortamına aktarılmasıdır. Bu amaçla sistemde yer alan potansiyometrelerin Şekil 3.28’de verilen devresinden PC ye giriş yapılmaktadır. Burada değişen potansiyometre değerleri sistemin elemanları arası açısal değişimleri belirtmektedir. Değişimlerde elde edilen sinyal aslında analog formdadır. Bu analog sinyal bir mikroişlemci devresi tarafından algılanmaktadır. Bu algılamanın ardından da ilgili 4 analog sinyal dijital bilgi paketine dönüştürülerek PC ye aktarılmaktadır. Burada analog ölçüm sinyallerinin dijital forma dönüşmesi ve bilgi paketi halinde seri formda aktarılması söz konusudur.

Şekil 3.34. Enkoder okuma formu, boş

Sistemde analog sinyallerin okunması amacı ile PIC16F877 mikro işlemci kullanılması planlanmış ancak ilk testler ADC42 kontrol kartı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak, PIC tipi mikro işlemciler PC sistemi ile direkt olarak haberleşememektedirler. Bu sebeple sisteme RS232 voltaj dönüştürmesini sağlamak amacı ile MAX232 entegresinin ara eleman olarak eklenmesi gerekmektedir.

Şekil 3.35’de PC tarafında bilgilerin alınmasını ve kaydedilmesini sağlayan form bulunmaktadır. Form, yapılan ölçümleri özellikle zaman değişkeni de dahil olmak üzere kaydedebilmektedir.

Formda yer alan Read butonu ölçüm işlemini gerçekleştirdiğinde ilgili formdaki yazı kutusu penceresinde ilgili ölçümler listelenmektedir. Ölçüm işleminin tamamlanması ile de sistemin ölçüm sonuçlarının dosyaya yazılmasını sağlayan fonksiyonlar aktif hale gelmektedir. Form ayrıca diğer formlara geçişe müsaade eden butonları da barındırmaktadır. Bu şekilde sistemin her hangi bir kısmına ait bölüme geçiş mümkün olmaktadır.

Form3

IO Test Hidrolik Test

Encoder Reader

Theta1

Theta2

Theta3

Theta4

Time

Read

STOP

Clear text window

deneme.txt Dosyaya Yaz EXIT

50	0	0	0	0
90	0	0	0	0,05
130	0	0	0	0,05
170	0	0	0	0,05
210	0	0	0	0,05
250	0	0	0	0,05
290	0	0	0	0,05
330	0	0	0	0,05
370	0	0	0	0,05
410	0	0	0	0,05
450	0	0	0	0,05
490	0	0	0	0,05
530	0	0	0	0,05
570	0	0	0	0,05
610	0	0	0	0,05
650	0	0	0	0,05
690	0	0	0	0,05
730	0	0	0	0,05
770	0	0	0	0,05
810	0	0	0	0,05
850	0	0	0	0,05

Şekil 3.35. Enkoder okuma formu, okuma yapılmış hal

I/O Test Form

PIO48

INPUTS

Port C'

A, B, C, A' for AD0808
B' for direction

OUTPUTS

ADC42

ADC42 Analog output Ch1

ADC42 Analog output Ch2

ADC42 Analog input Ch1 Ch2 Ch3 Ch4

ADC42 DIO

INPUTS

DIO Port A DIO Port B

OUTPUTS

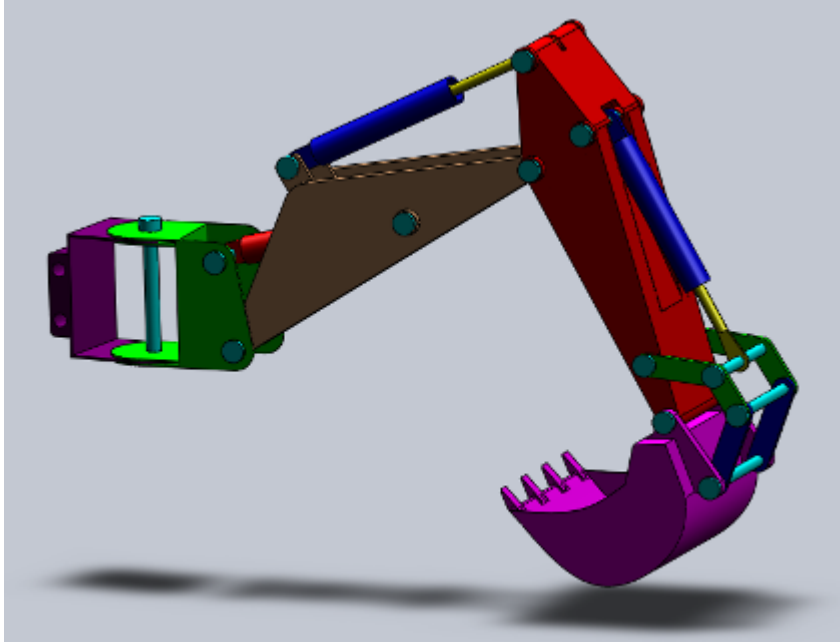
Port C

Şekil 3.36. Sistem testinde kullanılan dijital hız ve yön sinyallerin oluşturulduğu form

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Mekanik sistemin tasarımı

Robot kol mekanizması dört uzuvlu olarak ekskavatörün benzeridir. Şekil 4.1.'de sistemin mekanik kısmı bilgisayar ortamında katı model olarak tasarlanmış ve testleri yapılarak uzuvların çalışmaları bilgisayar ortamında kontrol edilmiştir. Sistemin çalışmasında karşılaşılan sorunlar nedeniyle bilgisayar ortamında tasarım değişikliği yapılmıştır. Robot kol sisteminin çalışmasında sorunlar giderildikten sonra üretim resimleri hazırlanarak mekanik sistemin imalatı aşamasına geçilmiştir.



Şekil 4.1. Bilgisayar ortamında tasarlanan katı model ekskavatör kolu

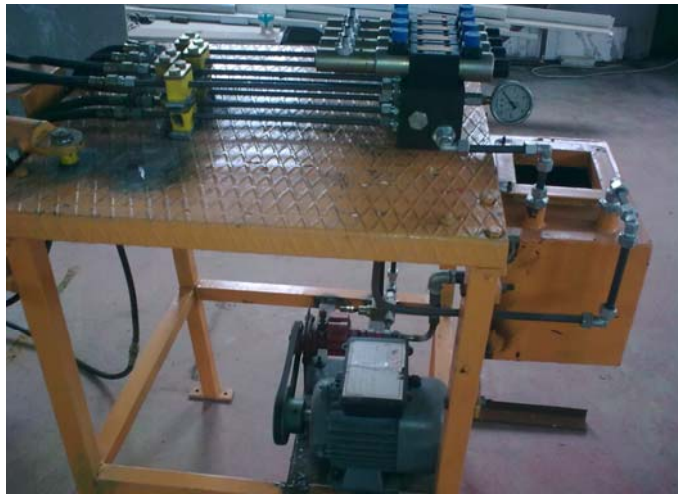
Mekanik sistemin kazı çalışmalarını yaparken dayanıklı ve aynı zamanda hafif olması için profil malzemeler tercih edilmiştir. Mekanik aksamın dayanıklı ve aynı zamanda hafif olması hareketler sırasında oluşacak atelet kuvvetlerini de minimum seviyeye indirmiştir. Hareketli kısımların tasarımı kaymalı yatak olarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Sistemin test aşamasında kaymalı yataklarda oluşan yuvarlanma dirençleri ve oluşan boşluklar sistemin dengesiz çalışmasına neden olarak, alınan ölçümlerin

doğruluğunu etkilemiştir. Bu yüzden kaymalı yataklar yerine yuvarlanmalı yataklar tasarlanarak mekanik sistemde de imalat değişikliği yapılmıştır.



Şekil 4.2. Mekanik sistemin genel görünümü

Şekil 4.2.'deki mekanik sistemin dayanımı, kapasitesi, maksimum kazı alanı ve hareket kabiliyeti belirlenerek değerlendirmeler yapılmıştır. Özellikle maksimum kazı alanı belirlenirken kol kabiliyetinin düşük kaldığı görülmüş ve bilgisayarda bulunan katı model üzerinde değişiklikler yapılarak optimum kazı alanı belirlenmiştir. Mekanik sistemin dayanımı gevşek zeminleri kazmaya ve sistemin kontrollerine uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Hidrolik ünitenin genel görünümü

Şekil 4.3.'te gösterilen hidrolik sistem bilgisayar ortamında modellenerek robot kol sistemine en uygun sistem tasarlanmıştır. Sistemin güç ünitesinde 1,5 kW gücünde elektrik motoru kullanılmış ve kayış kasnak vasıtası ile dişli tip hidrolik pompada akışkan gücüne dönüştürülmüştür. Sistemde dört adet oransal valf kullanılarak silindirlerin hız ve konum kontrolü yapılmıştır.

4.2. Elektronik Performans Analizleri ve Elde Edilen Sonuçlar

Geliştirilen kepçe kol sistemi üzerinde araştırma çalışmaları yapılan bir sistem dir. Araştırmacıların farklı mekanik sistemler tasarımı ile farklı sonuçlara varmaktadır. Burada önemli bir nokta tasarımı yapılan her hangi bir sistemin mekanik kısmının kabiliyeti tüm sistemin en iyi şartlarda çalışması durumunda maksimum kapasitesini belirlemektedir. Diğer bir deyişle, elektronik sistem ve kontrol programının maksimum performansta çalışması durumunda sistemin maksimum performansı mekanik sistemin maksimum performansı kadar olacaktır. Bu durum diğer sistemler için de geçerlidir. Dolayısı ile, elektronik sistemin performansı ile kontrol programının performansı da en az mekanik sistemin performansı kadar önemlidir. Bu durumda yukarıda belirtilen performans durumu son hali ile şu şekilde düzeltilmelidir.

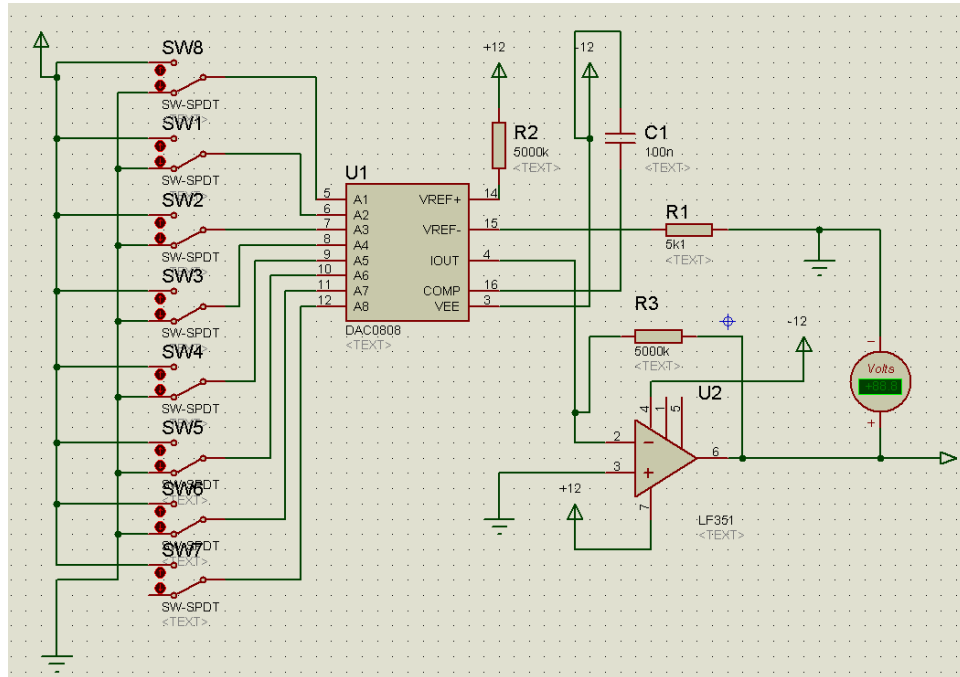
“Bir sistemin en iyi performansı sistem içinde yer alan alt eleman gruplarının performanslarından en kötü olanı kadardır.”

Yukarıda verilen ifadenin en basit sonuçlarından birisi sistemimizde yer alan tüm elemanların maksimum performans için tasarlanması durumudur. Bu sebeple önceki bölümde sistemde yer alan tüm elemanlar detaylı testlere tabii tutulmuşlardır. Bu testlerin temel amacı sistemin genel performans artırımıdır.

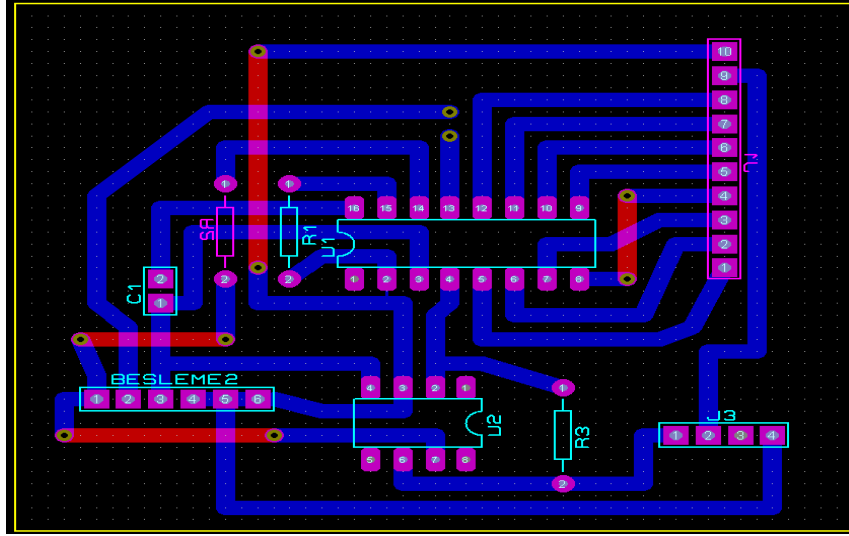
Sistemde elektronik elemanların temel görevi sinyal alma ve verme işlemleridir. Bu amaçla sistemden dışarı verilmesi gereken kontrol sinyalleri ve geri alınması gereken sinyallerin maksimum verimlilikte en az kayıpla ve en hızlı şekilde gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bunu gerçekleştirmek üzere sistemin tüm elektronik elemanları uygun kapasite değerlerinde olmak üzere seçilmiştir. Özellikle paralel hız sinyali oluşturulması ve aynı anda tüm ölçümlerin okunması işlemleri bu amaca hizmet etmek üzere tasarlanmıştır.

Elektronik elemanların tasarımı da mekanik sistemde olduğu üzere bilgisayar ortamında başlatılmış ve ilgili kısımların tasarım ve simülasyon işlemleri bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kullanılan sistem elektronik devrelerin simülasyonuna müsaade ettiğinden tasarımı yapılan elektronik devrelerin çalışmaları ve performansları daha tasarım aşamasında iken tespit edilmiştir.

Şekil 4.4’de bilgisayar ortamında tasarımı yapılan ve simülasyonları gerçekleştirilerek performansı incelenen devre verilmiştir. Bu devrede solda verilen anahtarlar sistemin çalışması için gerekli dijital sinyalleri oluşturmaktadır. Ortada DAC0808 entegresi yer almaktadır. Bu entegre giriş yapan dijital sinyalleri analog bir sinyale çevirmektedir. Bu entegreden çıkış 4 nolu pinden alınmaktadır. Bu çıkış istenilen 10 voltu sağlamadığından sistemde ek olarak bir adet işlemsel güçlendirici (opamp) kullanılmaktadır. LF351 nolu bu entegre ise aldığı voltajı güçlendirerek çıkışa iletmektedir. Çıkıştaki voltmetre ise sisteme hız kontrolü için gerekli olan voltajı vermektedir.

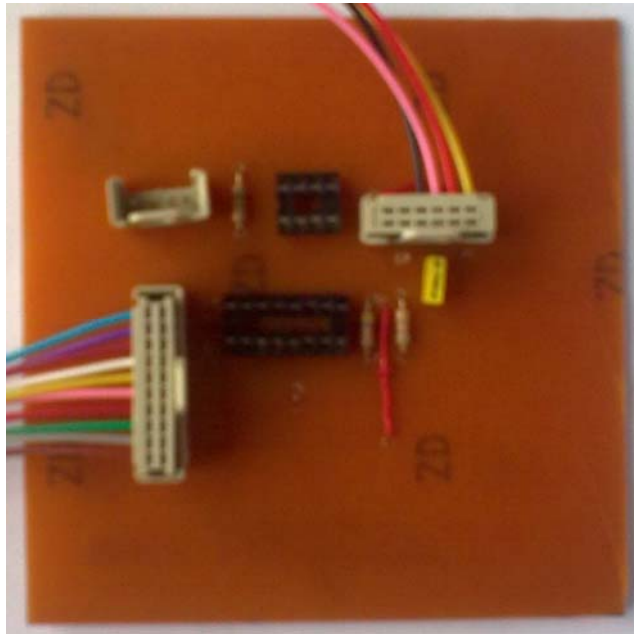


Şekil 4.4. DAC0808 ile kurulan dijital analog çevirici devresi



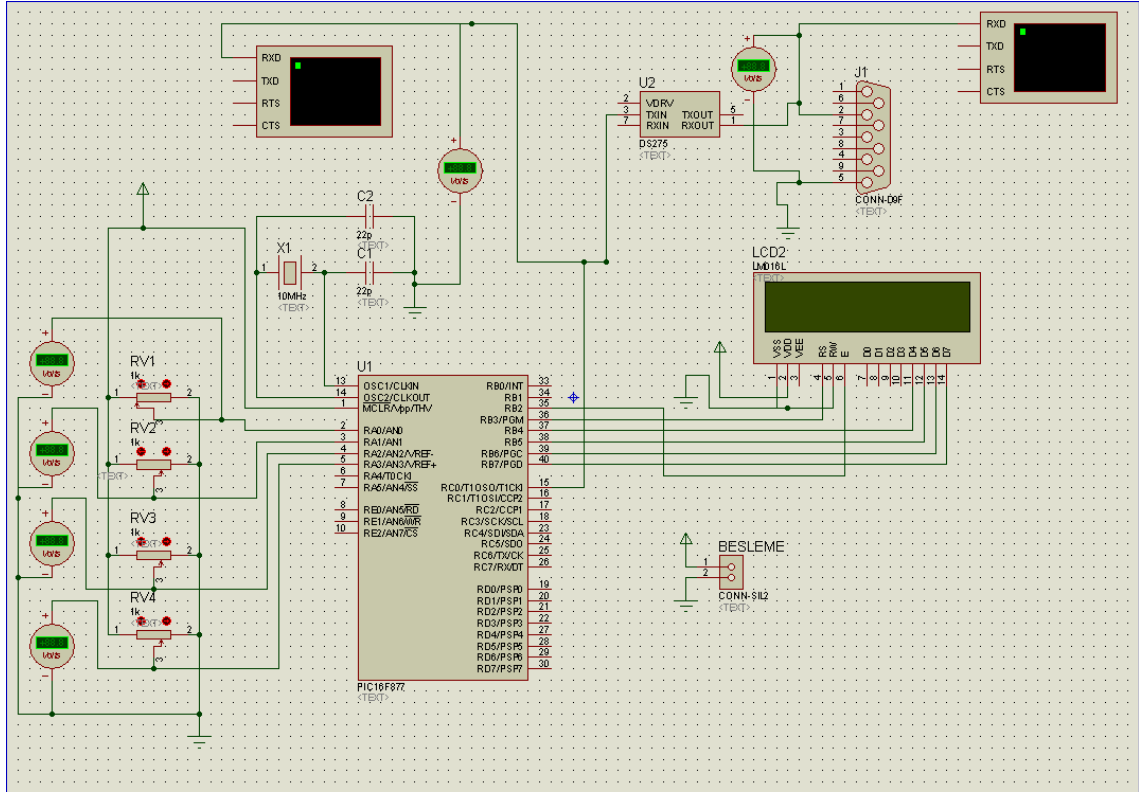
Şekil 4.5. Tasarlanan DAC kartının devre şeması

Şekil 4.5’de DAC kartının devre şeması görülmektedir. Bu devre şeması sağ üst kısımda dijital yön sinyalinin giriş yapıldığı soket ile sisteme girilen sinyallerin işlenmesini göstermektedir. Sağ altta çıkış sinyali için soket verilmiş olup, solda aşağıda güç bağlantısı verilmiştir. Şekil 4.6’de ise imalatı tamamlanan kartın fotoğrafı verilmiştir. Resimde de görüldüğü üzere bağlantılar için kullanılan soketler ve özellikle tercih edilen farklı renklerdeki kablolar sistemin entegrasyonu ve montajında en az sorun yaşanması amacını taşımaktadır.



Şekil 4.6. Tasarımı ve imalatı tamamlanan DAC devresinin fotoğrafı

Şekil 4.6’da verilen devrenin testleri yapılmış ve verilen girişlere karşılık istenen çıkışlar elde edilmiştir. Bu devreden her bir valf için birer adet olmak üzere toplam 4 adet üretilmiştir. Her bir devre bağımsız olarak toplam 4 adet valfi sürmek üzere planlanmıştır.



Şekil 4.7. Açısal konum ölçüm ve haberleşme devresi



Şekil 4.8. ADC42 Kontrol kartı

Şekil 4.7’de sistemin ilk tasarım aşamalarında kullanımı planlanan ve haberleşme ile ilgili sorunlardan dolayı ikinci plana atılan ve tasarımda değişikliğe gidilen PIC devresi görülmektedir. Bu devre ile denemelerin yapılmasına, sorun olması veya sürecin uzaması durumunda yerine Şekil 4.8’de verilen devrenin kullanılmasına karar verilmiştir. Şekil 4.8’de verilen devre ile sistemin testleri yapılmış ve denemelerden başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 4.7 de verilen devre ile, simülasyon testleri yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Problem PC de seri haberleşme bilgisinin okunmasında oluşunca yerine bu işlemi direkt olarak yapacak olan Şekil 4.8’de verilen devre tercih edilmiştir. Yukarıda belirtilen haberleşme sorunu PC tarafında yazılması gereken seri port haberleşme sürücüsünden kaynaklanmakta olup, yazılım sorunu sınıfındadır. İlerideki çalışmalarda bu sorunun çözülebilmesi durumunda donanımın kontrol kartına bağımlılığının ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır.

4.3. Kontrol Programının Performans Analizi ve Elde edilen Sonuçlar

Yapılan çalışmalarda kontrol programının testleri sistemin belirlenen özellikleri istenen hızda gerçekleştirmesi, tekrarlanabilirlik ve bu esnada oluşan hatanın genel durumu üzerine yapılmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda ilk karşılaşılan sorun sistemdeki elektrik motorunun sistemin 4 hidrolik silindirin aynı anda çalıştırılması durumunda yeterli basıncı sağlayamaması olarak tespit edilmiş ve sistemde kullanılan elektrik motor değiştirilmiştir.

İkinci temel sorun emniyet valvinde yaşanmış ve testlerde ortaya çıkmayan ancak motor değişimi sonrasında sistemin boşta olması durumunda oluşan aşırı basıncın tahliyesi durumu gereği çok yükseltelen emniyet basınç değerleri uygun seviyelere indirilmiştir.

Hidrolik sistemin çalışma testlerinin ardından bazı noktalarda sızıntılar tespit edilmiş ve gerekli önlemler alınarak sistemin sızdırmazlığı sağlanmıştır. Hidrolik sistemin bir sonraki testlerinde oransal kontrollü valflerin kumandası test edilmiştir. Testlerde oransal valflerin kumandalarında sorun yaşanmış ve verilen giriş sinyallerine karşılık çıkışlar kartlardan alınamamıştır. Bu durumun sonucu olarak devam eden

testlerde kartların kumanda etmesi beklenen valflerin çalıştırılmadan çalışmaların yürütülmesine karar verilmiştir. Ancak, sistemin diğer kısımlarında, kart bölümü hariç kalmak üzere testlere devam edilmiştir.

Yapılan testlerde sistemin bilgisayardan valf kontrol kartlarına kadar olan kısmında her hangi bir sorunla karşılaşılmamış, beklenen değerler elde edilmiştir.

Kontrol programı ile yapılan ilk testlerde yaşanan bu sorunların ardından sistemde cevap süresi testleri yapılmıştır. Bu testlerde sistemin verilen bir komuta cevabı ilgili ölçülen parametredeki değişim olarak bakılmış ve bazı gecikmelerin olduğu ve sistemin kontrol programının tasarımında bu durumun dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Burada gecikmeye sebep olan iki durum tespit edilmiştir. Bunlar hidrolik sistemde oluşan gecikme ile mekanik sistemdeki boşluklardır.

Mekanik sistemdeki elemanlar arası boşlukların alınması ile ani değişen sinyallerden önlenmiş ise de hidrolik sistemdeki gecikmeler önlenememiştir. Bu konunun dikkate alınmasına karar verilmiştir. Bu durumda sistemde kullanılması planlanan kontrol programını en fazla rahatsız edecek olan ani değişen sinyallerin ortadan kaldırılması sağlanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sunulan çalışma ile ekskavatör kol sisteminin robotlaştırılması çalışması ele alınmıştır. Sistemin tasarımına mekanik kısım ile başlanmış, elektronik ve bilgisayar programı kısımları ile sistemin bir elektro-mekanik sistem olarak tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışma ile mekanik tasarımla başlayan tasarım işlemi sistemin analizleri ve performans incelemeleri ile devam ettirilmiş ve sistemden maksimum performans elde etmek amacı ile tasarımda gerekli değişiklikler yapılmıştır.

Elektronik tasarım kısmında ise sistemin yüksek hızda çalışmasına müsaade edecek şekilde sinyal alıp vermeyi sağlayacak esaslara dayalı tasarım yapılmıştır. Bunun sonucu olarak da mekanik sistemin performansı elektronik sistem tarafından kısıtlanmadan çalışması sağlanmıştır.

Bilgisayar programı kısmında ise yapılan çalışma ve performans testleri ise sistemin en yüksek performans seviyelerinde kalması için en yüksek hızda döndü sağlayan yaklaşımla kontrol algoritmaları yazılmıştır. Bunun sonucu olarak elektronik ve bilgisayar programı kısımlarında yüksek performans elde edilmiş ve mekanik sistemin performansının sistemin genel performansını belirlemesi sağlanmıştır. Mekanik sistem esasen küçültülmüş model olduğundan ve asıl uygulamanın gerçek bir sistem üzerinde denemesi gerektiğinden sistemin mekanik kısmında da temel geliştirme çalışmalarının ötesine gidilmemiştir.

Gelştirilen sistemin gerçek performansı ancak gerçek bir ekskavatör sistem üzerinde denemesi ile ortaya çıkacaktır.

Sistemin tasarımında çok büyük katkı yapmayacağına inanılması sebebi ile beşinci hareket olan kayma hareketi tasarımdan çıkarılmış ve sistem bu hali ile tasarlanmıştır. Bu basitleştirme aynı zamanda sistemin maliyeti ve karmaşıklığını azaltma amacını da taşımaktadır. Ancak, sisteme son halini verebilmek için kayma hareketinin sisteme eklenmesi uygun olacaktır. Her ne kadar bu hareket sistemin kazma işlemindeki performansını etkilemesede, sistemin kazı sırasında iş makinasını hareket ettirmeden kazı doğrultusuna paralel olarak gerçekleşeceğinden, kazı işleminin süresini kısaltacaktır. Bu işlem kazı için geliştirilen kontrol programı ile de alakasız olup, yapılan çalışmada her hangi bir eksikliği de işaret etmemektedir.

Sistemde önerilen ikinci durum ise, geliştirilen robot kolun mobil bir platformda (bir iş makinası ya da başka bir hareketli platform kullanılarak) denenmesidir. Burada amaç, sistemin hareketli bir gövdede çalıştırılması olup, sistemin uygulanacağı ortama en uygun gerçek şartları oluşturmak ve sistemin gerçek performansını görmek açısından önemlidir. Ancak, beklenen sistemin deneysel çalışmada incelenen formuna yakın performansta sonuçlar elde edilmesidir. Geliştirilen sistem ancak laboratuvar ortamında denenebilmiş, belirtilen mobil uygulamaya ait testler sınırlı imkânlar ve mali koşullar sebebi ile gerçekleştirilememiştir.

KAYNAKLAR

- Becan, M.R., 1995, **Hidrolik sistemlerde konum ve hız kontrolü**. İstanbul Teknik Üniversitesi, 86s, İstanbul.
- Budny, E. ve Chlosta, M., 2006. **An open-loop vs. closed-loop backhoe excavator control system**. ISARC2006, 560-564, Poland.
- Danko, G., 2005. **Integrated robot-human control in mining operations**. Annual Progress Report, University of Nevada, 29s, USA.
- Göztaş, C., 1988. **Hidrolik pompa, motor ve iletim sistemlerinin karakteristik değerlerinin matematiksel ve deneysel metodlarla incelenmesi**. Erciyes Üniversitesi, 84s, Kayseri.
- Gu, J. ve ark., 2004. **Proportional-integral-plus control of an intelligent excavator**. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 16–27, Lancaster-UK.
- Işın, Ö., 1995. **Taşıtlar ve iş makinelerinde kullanılan hidrolik sistemlerin incelenmesi**. Yıldız Teknik Üniversitesi, 91s, İstanbul.
- Keleş, Ö., 1998 . **Puls genişliği modülasyonu ile hidrolik konum kontrolünün teorik ve deneysel incelenmesi**. Gazi Üniversitesi, 145s, Ankara.
- Lalov, I., 1998. **Computer control system of a wheel excavator**. Türkiyeli Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 155-162, Bartın-Amasra.
- Oyman, Ö.V., 2005. **Ekskavatör kollarının tasarımı**. Yıldız Teknik Üniversitesi, 71s, İstanbul.
- Özdemir, B., 1994. **Hidrolik yön denetim valflerinin hidrostatik ve hidrodinamik davranışı**. Çukurova Üniversitesi, 111s, Adana
- Reinholtz, C.F. ve ark., 2003. **Remote control of hydraulic equipment for unexploded ordnance remediation**. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 55s, Virginia.
- Rowe, P.S., 1999, **Adaptive motion planning for autonomous mass excavation**. The Robotics Institute Carnegie Mellon University, 181s, Pennsylvania.
- Sakaida, Y. ve ark., 2006. **The Analysis of Excavator Operation by Skillful Operator**. The University of Tokyo, 543-547, Japan.
- Sarı, H., 2003. **Ekskavatörlerin hidrolik tasarımlarına esas olacak temel parametrelerin belirlenmesi ve teknik ve ekonomik yönden optimum hidrolik elemanların seçimi**. Gazi Üniversitesi, 124s, Ankara.
- Seward, D. ve ark., 2000. **Safety analysis of autonomous excavator functionality**. Reliability Engineering and System Safety, 29-39, Lancaster-UK.
- Stentz, A. ve ark., 1998. **A Robotic Excavator for Autonomous Truck Loading**. In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotic Systems, Carnegie Mellon University, 9s, Pittsburgh.
- Usta, Y., 1992. **Sayısal bir hidrolik pozisyon kontrol sistemi geliştirilmesi ve denenmesi**. Gazi Üniversitesi, 107s, Ankara.
- Yıldırım, M.S., 1994. **Hidrolik tahrikli robot kol**. Erciyes Üniversitesi, 54s, Kayseri.

TEŐEKKÖR

Tez çalışmamın başından son anına kadar göstermiş olduğu sabır ve sınırsız yardımlarından dolayı danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hakan YAVUZ'a teőekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez çalışmamda desteklerini esirgemeyen Sayın Yrd.Doç.Dr Selçuk MISTIKOğLU'na teőekkürü bir borç bilirim.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Dörttyol'da doğdum. İlköğrenimimi Dörttyol'un Payaz beldesinde tamamladım. Lise öğrenimimi Payaz Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümünde tamamladım. 1995 yılında yüksek öğrenimime başladığım Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nden 1999 yılında Teknik Öğretmen ünvanı ile mezun oldum. Aynı yıl Teknik Öğretmen olarak Manisa'nın Turgutlu ilçesinde göreve başladım. Halen İskenderun Mesleki Eğitim Merkezinde Teknik Öğretmen olarak görev yapmaktayım.

EKLER

EK 1- DAC0808 Entegresinin Bilgi Paketi



May 1999

**DAC0808
8-Bit D/A Converter**

General Description

The DAC0808 is an 8-bit monolithic digital-to-analog converter (DAC) featuring a full scale output current settling time of 150 ns while dissipating only 33 mW with $\pm 5V$ supplies. No reference current (I_{REF}) trimming is required for most applications since the full scale output current is typically ± 1 LSB of $255 I_{REF}/256$. Relative accuracies of better than $\pm 0.19\%$ assure 8-bit monotonicity and linearity while zero level output current of less than $4 \mu A$ provides 8-bit zero accuracy for $I_{REF} \geq 2$ mA. The power supply currents of the DAC0808 is independent of bit codes, and exhibits essentially constant device characteristics over the entire supply voltage range.

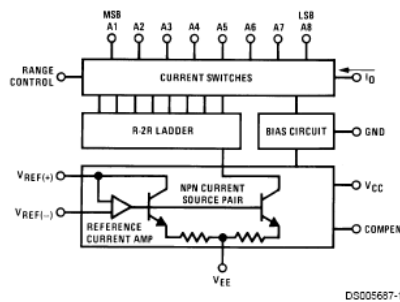
The DAC0808 will interface directly with popular TTL, DTL or CMOS logic levels, and is a direct replacement for the MC1508/MC1408. For higher speed applications, see DAC0800 data sheet.

Features

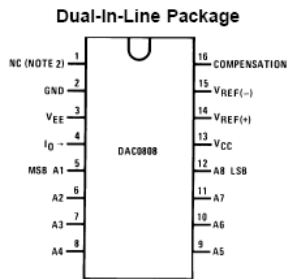
- Relative accuracy: $\pm 0.19\%$ error maximum
- Full scale current match: ± 1 LSB typ
- Fast settling time: 150 ns typ
- Noninverting digital inputs are TTL and CMOS compatible
- High speed multiplying input slew rate: 8 mA/ μs
- Power supply voltage range: $\pm 4.5V$ to $\pm 18V$
- Low power consumption: 33 mW @ $\pm 5V$

DAC0808 8-Bit D/A Converter

Block and Connection Diagrams



DS005687-1

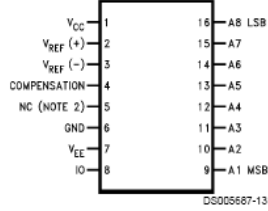


DS005687-2

Top View
Order Number DAC0808
See NS Package M16A or N16A

Block and Connection Diagrams (Continued)

Small-Outline Package



Ordering Information

ACCURACY	OPERATING TEMPERATURE RANGE	N PACKAGE (N16A) (Note 1)		SO PACKAGE (M16A)
		8-bit	$0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +75^{\circ}\text{C}$	DAC0808LCN

Note 1: Devices may be ordered by using either order number.

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Power Supply Voltage

V_{CC}	+18 V_{DC}
V_{EE}	-18 V_{DC}

Digital Input Voltage, V_5 - V_{12} -10 V_{DC} to +18 V_{DC} Applied Output Voltage, V_O -11 V_{DC} to +18 V_{DC} Reference Current, I_{14} 5 mAReference Amplifier Inputs, V_{14} , V_{15} V_{CC} , V_{EE}

Power Dissipation (Note 4) 1000 mW

ESD Susceptibility (Note 5) TBD

Storage Temperature Range -65°C to +150°C

Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)

Dual-In-Line Package (Plastic) 260°C

Dual-In-Line Package (Ceramic) 300°C

Surface Mount Package

Vapor Phase (60 seconds) 215°C

Infrared (15 seconds) 220°C

Operating Ratings

Temperature Range

DAC0808

 $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ $0 \leq T_A \leq +75^\circ\text{C}$ **Electrical Characteristics**($V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15 V_{DC}$, $V_{REF}/R_{14} = 2 \text{ mA}$, and all digital inputs at high logic level unless otherwise noted.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
E_r	Relative Accuracy (Error Relative to Full Scale I_O)	(Figure 4)				%
	DAC0808LC (LM1408-8)				± 0.19	%
	Settling Time to Within $\frac{1}{2}$ LSB (Includes t_{PLH})	$T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 7), (Figure 5)		150		ns
t_{PLH} , t_{PHL}	Propagation Delay Time	$T_A = 25^\circ\text{C}$, (Figure 5)		30	100	ns
TC_{IO}	Output Full Scale Current Drift			± 20		ppm/°C
MSB	Digital Input Logic Levels	(Figure 3)				
V_{IH}	High Level, Logic "1"		2			V_{DC}
V_{IL}	Low Level, Logic "0"				0.8	V_{DC}
MSB	Digital Input Current	(Figure 3)				
	High Level	$V_{IH} = 5V$		0	0.040	mA
	Low Level	$V_{IL} = 0.8V$		-0.003	-0.8	mA
I_{15}	Reference Input Bias Current	(Figure 3)		-1	-3	μA
	Output Current Range	(Figure 3)				
		$V_{EE} = -5V$	0	2.0	2.1	mA
		$V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	0	2.0	4.2	mA
I_O	Output Current	$V_{REF} = 2.000V$, $R_{14} = 1000\Omega$, (Figure 3)	1.9	1.99	2.1	mA
	Output Current, All Bits Low	(Figure 3)		0	4	μA
	Output Voltage Compliance (Note 3)	$E_r \leq 0.19\%$, $T_A = 25^\circ\text{C}$				
		$V_{EE} = -5V$, $I_{REF} = 1 \text{ mA}$			-0.55, +0.4	V_{DC}
		V_{EE} Below -10V			-5.0, +0.4	V_{DC}
SRI_{REF}	Reference Current Slew Rate	(Figure 6)	4	8		mA/ μs
	Output Current Power Supply Sensitivity	$-5V \leq V_{EE} \leq -16.5V$		0.05	2.7	$\mu\text{A}/V$
I_{CC}	Power Supply Current (All Bits Low)	(Figure 3)		2.3	22	mA
I_{EE}				-4.3	-13	mA
V_{CC}	Power Supply Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$, (Figure 3)	4.5	5.0	5.5	V_{DC}
V_{EE}			-4.5	-15	-16.5	V_{DC}
	Power Dissipation					

Electrical Characteristics (Continued)

($V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V$, $V_{REF}/R14 = 2\text{ mA}$, and all digital inputs at high logic level unless otherwise noted.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	All Bits Low	$V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -5V$		33	170	mW
	All Bits High	$V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V$		106	305	mW
		$V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -5V$		90		mW
		$V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -15V$		160		mW

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 3: Range control is not required.

Note 4: The maximum power dissipation must be derated at elevated temperatures and is dictated by T_{JMAX} , θ_{JA} , and the ambient temperature, T_A . The maximum allowable power dissipation at any temperature is $P_D = (T_{JMAX} - T_A)/\theta_{JA}$ or the number given in the Absolute Maximum Ratings, whichever is lower. For this device, $T_{JMAX} = 125^\circ\text{C}$, and the typical junction-to-ambient thermal resistance of the dual-in-line J package when the board mounted is 100°C/W . For the dual-in-line N package, this number increases to 175°C/W and for the small outline M package this number is 100°C/W .

Note 5: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

Note 6: All current switches are tested to guarantee at least 50% of rated current.

Note 7: All bits switched.

Note 8: Pin-out numbers for the DAL080X represent the dual-in-line package. The small outline package pinout differs from the dual-in-line package.

Typical Application

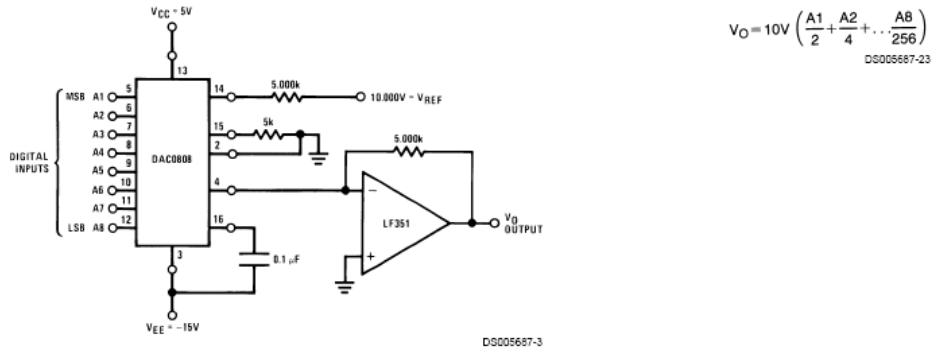
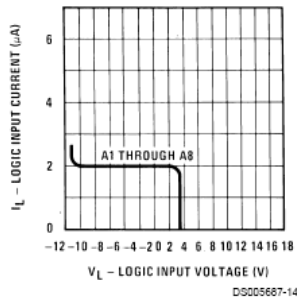


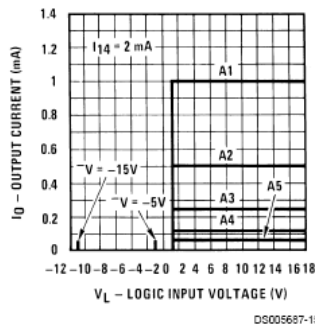
FIGURE 1. +10V Output Digital to Analog Converter (Note 8)

Typical Performance Characteristics $V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted

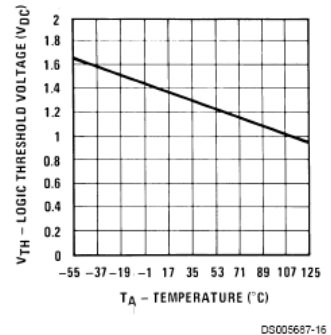
Logic Input Current vs Input Voltage



Bit Transfer Characteristics

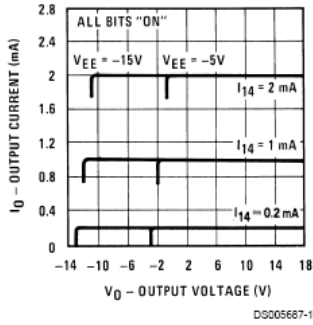


Logic Threshold Voltage vs Temperature

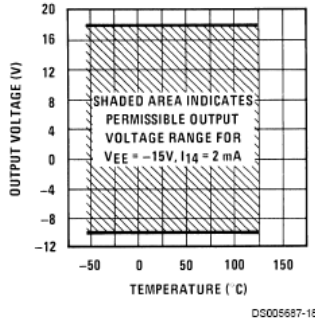


Typical Performance Characteristics $V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise noted (Continued)

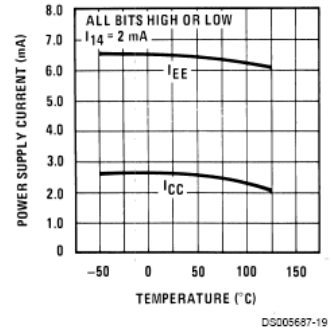
Output Current vs Output Voltage (Output Voltage Compliance)



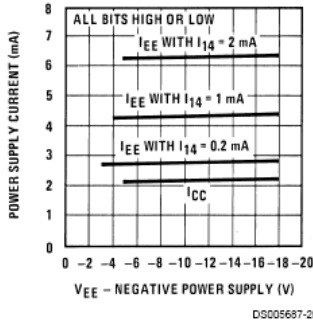
Output Voltage Compliance vs Temperature



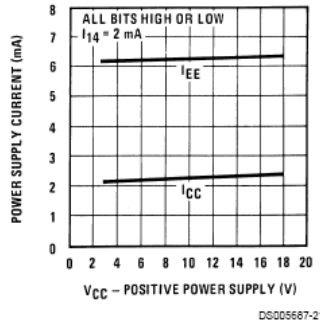
Typical Power Supply Current vs Temperature



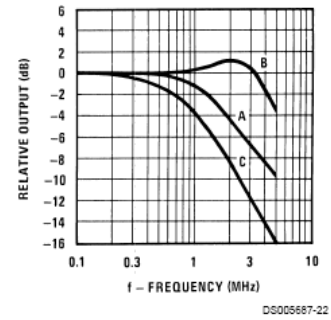
Typical Power Supply Current vs VEE



Typical Power Supply Current vs VCC



Reference Input Frequency Response



Unless otherwise specified: $R_{14} = R_{15} = 1\text{ k}\Omega$, $C = 15\text{ pF}$, pin 16 to V_{EE} ; $R_L = 50\Omega$, pin 4 to ground.

Curve A: Large Signal Bandwidth Method of Figure 7, $V_{REF} = 2\text{ Vp-p}$ offset 1V above ground.

Curve B: Small Signal Bandwidth Method of Figure 7, $R_L = 250\Omega$, $V_{REF} = 50\text{ mVp-p}$ offset 200 mV above ground.

Curve C: Large and Small Signal Bandwidth Method of Figure 9 (no op amp, $R_L = 50\Omega$), $R_S = 50\Omega$, $V_{REF} = 2V$, $V_S = 100\text{ mVp-p}$ centered at 0V.

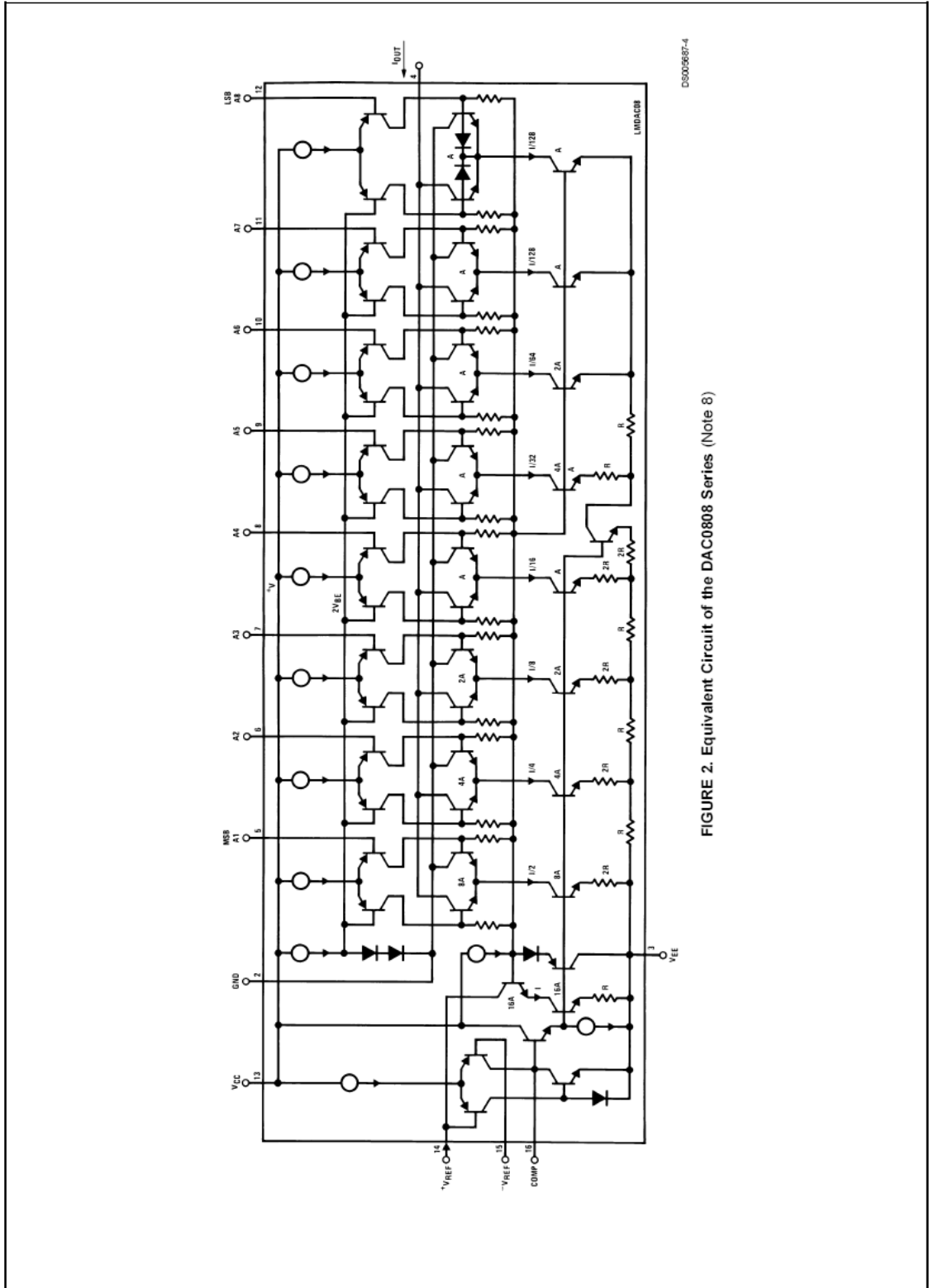
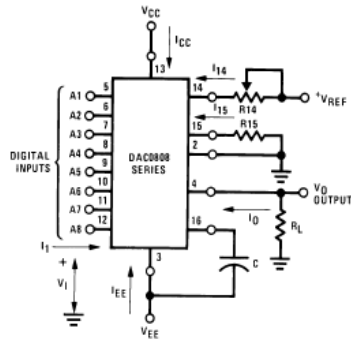


FIGURE 2. Equivalent Circuit of the DAC0808 Series (Note 8)

Test Circuits



DS005687-6

V_I and I₁ apply to inputs A1–A8.

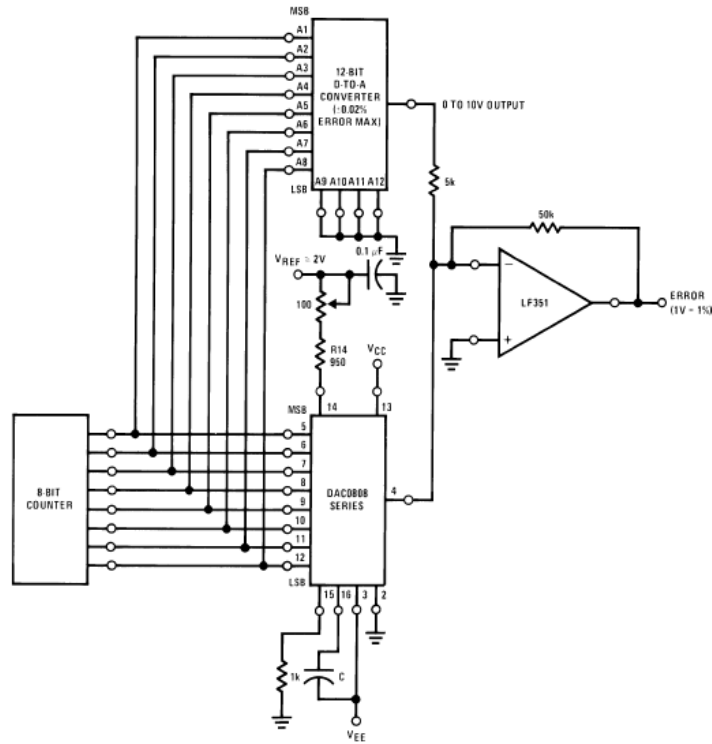
The resistor tied to pin 15 is to temperature compensate the bias current and may not be necessary for all applications.

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

where $K \cong \frac{V_{REF}}{R_{14}}$

and A_N = "1" if A_N is at high level
 A_N = "0" if A_N is at low level

FIGURE 3. Notation Definitions Test Circuit (Note 8)



DS005687-7

FIGURE 4. Relative Accuracy Test Circuit (Note 8)

Test Circuits (Continued)

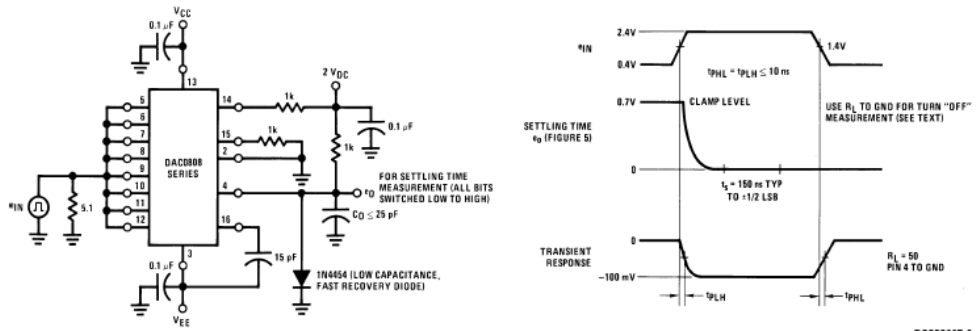


FIGURE 5. Transient Response and Settling Time (Note 8)

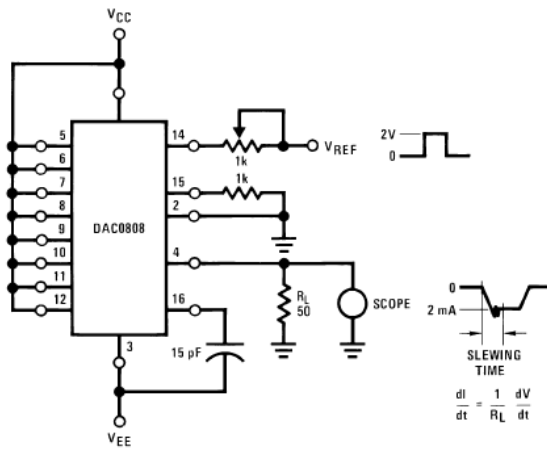


FIGURE 6. Reference Current Slew Rate Measurement (Note 8)

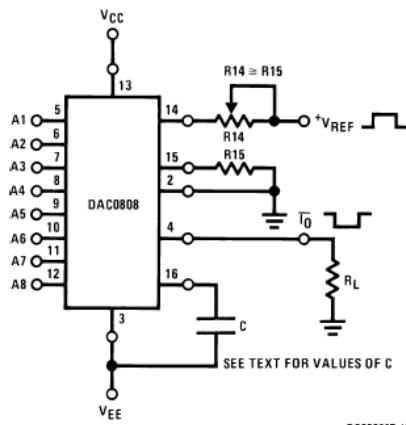


FIGURE 7. Positive V_{REF} (Note 8)

Test Circuits (Continued)

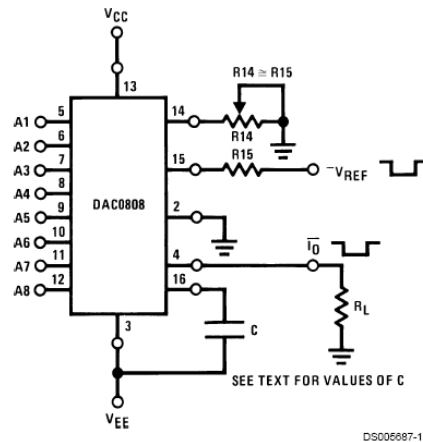


FIGURE 8. Negative V_{REF} (Note 8)

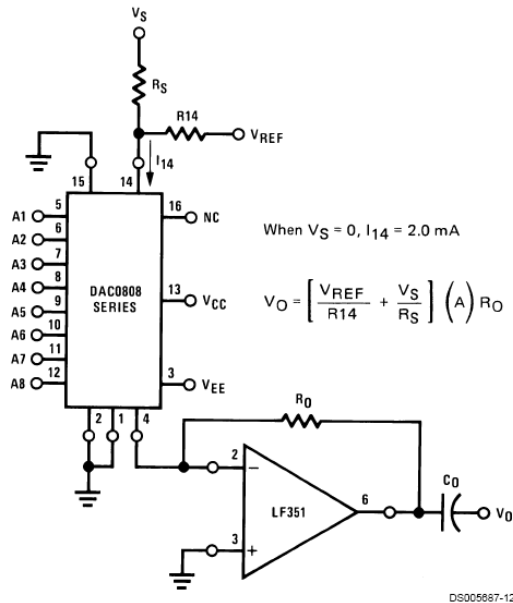


FIGURE 9. Programmable Gain Amplifier or Digital Attenuator Circuit (Note 8)

Application Hints

REFERENCE AMPLIFIER DRIVE AND COMPENSATION

The reference amplifier provides a voltage at pin 14 for converting the reference voltage to a current, and a turn-around circuit or current mirror for feeding the ladder. The reference amplifier input current, I_{14} , must always flow into pin 14, regardless of the set-up method or reference voltage polarity.

Connections for a positive voltage are shown in Figure 7. The reference voltage source supplies the full current I_{14} . For bipolar reference signals, as in the multiplying mode,

R_{15} can be tied to a negative voltage corresponding to the minimum input level. It is possible to eliminate R_{15} with only a small sacrifice in accuracy and temperature drift.

The compensation capacitor value must be increased with increases in R_{14} to maintain proper phase margin; for R_{14} values of 1, 2.5 and 5 k Ω , minimum capacitor values are 15, 37 and 75 pF. The capacitor may be tied to either V_{EE} or ground, but using V_{EE} increases negative supply rejection.

A negative reference voltage may be used if R_{14} is grounded and the reference voltage is applied to R_{15} as shown in Figure 8. A high input impedance is the main advantage of this method. Compensation involves a capacitor

Application Hints (Continued)

to V_{EE} on pin 16, using the values of the previous paragraph. The negative reference voltage must be at least 4V above the V_{EE} supply. Bipolar input signals may be handled by connecting R14 to a positive reference voltage equal to the peak positive input level at pin 15.

When a DC reference voltage is used, capacitive bypass to ground is recommended. The 5V logic supply is not recommended as a reference voltage. If a well regulated 5V supply which drives logic is to be used as the reference, R14 should be decoupled by connecting it to 5V through another resistor and bypassing the junction of the 2 resistors with 0.1 μ F to ground. For reference voltages greater than 5V, a clamp diode is recommended between pin 14 and ground.

If pin 14 is driven by a high impedance such as a transistor current source, none of the above compensation methods apply and the amplifier must be heavily compensated, decreasing the overall bandwidth.

OUTPUT VOLTAGE RANGE

The voltage on pin 4 is restricted to a range of -0.55 to 0.4V when $V_{EE} = -5V$ due to the current switching methods employed in the DAC0808.

The negative output voltage compliance of the DAC0808 is extended to -5V where the negative supply voltage is more negative than -10V. Using a full-scale current of 1.992 mA and load resistor of 2.5 k Ω between pin 4 and ground will yield a voltage output of 256 levels between 0 and -4.980V. Floating pin 1 does not affect the converter speed or power dissipation. However, the value of the load resistor determines the switching time due to increased voltage swing. Values of R_L up to 500 Ω do not significantly affect performance, but a 2.5 k Ω load increases worst-case settling time to 1.2 μ s (when all bits are switched ON). Refer to the subsequent text section on Settling Time for more details on output loading.

OUTPUT CURRENT RANGE

The output current maximum rating of 4.2 mA may be used only for negative supply voltages more negative than -8V, due to the increased voltage drop across the resistors in the reference current amplifier.

ACCURACY

Absolute accuracy is the measure of each output current level with respect to its intended value, and is dependent upon relative accuracy and full-scale current drift. Relative accuracy is the measure of each output current level as a fraction of the full-scale current. The relative accuracy of the DAC0808 is essentially constant with temperature due to the excellent temperature tracking of the monolithic resistor ladder.

The reference current may drift with temperature, causing a change in the absolute accuracy of output current. However, the DAC0808 has a very low full-scale current drift with temperature.

The DAC0808 series is guaranteed accurate to within $\pm 1/2$ LSB at a full-scale output current of 1.992 mA. This corresponds to a reference amplifier output current drive to the ladder network of 2 mA, with the loss of 1 LSB (8 μ A) which is the ladder remainder shunted to ground. The input current to pin 14 has a guaranteed value of between 1.9 and 2.1 mA, allowing some mismatch in the NPN current source pair. The accuracy test circuit is shown in *Figure 4*. The 12-bit converter is calibrated for a full-scale output current of 1.992 mA. This is an optional step since the DAC0808 accuracy is essentially the same between 1.5 and 2.5 mA. Then the DAC0808 circuits' full-scale current is trimmed to the same value with R14 so that a zero value appears at the error amplifier output. The counter is activated and the error band may be displayed on an oscilloscope, detected by comparators, or stored in a peak detector.

Two 8-bit D-to-A converters may not be used to construct a 16-bit accuracy D-to-A converter. 16-bit accuracy implies a total error of $\pm 1/2$ of one part in 65,536 or $\pm 0.00076\%$, which is much more accurate than the $\pm 0.019\%$ specification provided by the DAC0808.

MULTIPLYING ACCURACY

The DAC0808 may be used in the multiplying mode with 8-bit accuracy when the reference current is varied over a range of 256:1. If the reference current in the multiplying mode ranges from 16 μ A to 4 mA, the additional error contributions are less than 1.6 μ A. This is well within 8-bit accuracy when referred to full-scale.

A monotonic converter is one which supplies an increase in current for each increment in the binary word. Typically, the DAC0808 is monotonic for all values of reference current above 0.5 mA. The recommended range for operation with a DC reference current is 0.5 to 4 mA.

SETTLING TIME

The worst-case switching condition occurs when all bits are switched ON, which corresponds to a low-to-high transition for all bits. This time is typically 150 ns for settling to within $\pm 1/2$ LSB, for 8-bit accuracy, and 100 ns to $1/2$ LSB for 7 and 6-bit accuracy. The turn OFF is typically under 100 ns. These times apply when $R_L \leq 500\Omega$ and $C_O \leq 25$ pF.

Extra care must be taken in board layout since this is usually the dominant factor in satisfactory test results when measuring settling time. Short leads, 100 μ F supply bypassing for low frequencies, and minimum scope lead length are all mandatory.

EK 2- LF351 Entegresinin Bilgi Paketi


www.fairchildsemi.com

LF351

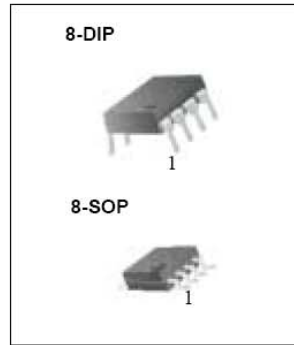
Single Operational Amplifier (JFET)

Features

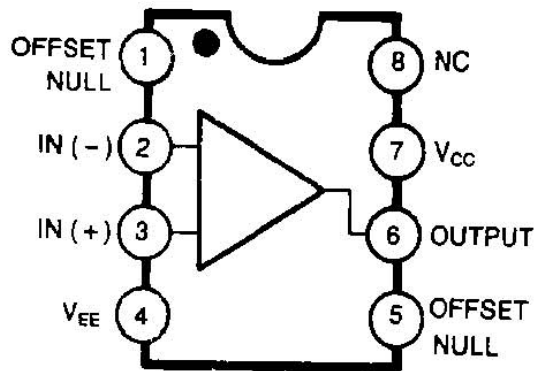
- Internally trimmed offset voltage: 10mV
- Low input bias current : 50pA
- Wide gain bandwidth : 4MHz
- High slew rate : 13V/ μ s
- High input impedance : $10^{12}\Omega$

Description

The LF351 is JFET input operational amplifier with an internally compensated input offset voltage. The JFET input device provides wide bandwidth, low input bias currents and offset currents.



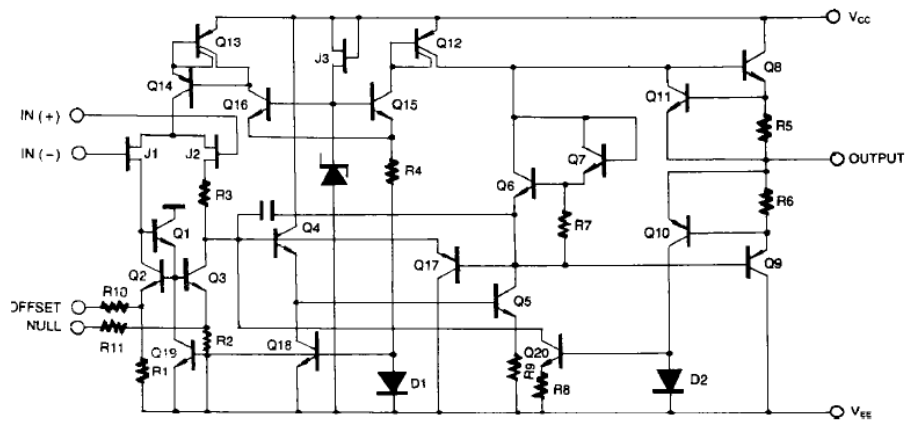
Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

LF351

Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V _{CC}	±18	V
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	30	V
Input Voltage Range	V _I	±15	V
Output Short Circuit Duration	-	Continuous	-
Power Dissipation	P _D	500	mW
Operating Temperature	T _{OPR}	0 ~ +70	°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics

($V_{CC} = +15V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$. unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S = 10k\Omega$ $0\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70\text{ }^\circ\text{C}$	-	5.0	10	mV
			-	-	13	
Input Offset Voltage Drift (Note1)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	$R_S = 10k\Omega$ $0\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70\text{ }^\circ\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	I_{IO}	$0\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70\text{ }^\circ\text{C}$	-	25	100	pA
			-	-	4	nA
Input Bias Current	I_{BAIS}	$0\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70\text{ }^\circ\text{C}$	-	50	200	pA
			-	-	8	nA
Input Resistance (Note1)	R_I	-	-	10^{12}	-	Ω
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{O(P-P)} = \pm 10V$ $R_L = 2k\Omega$ $0\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70\text{ }^\circ\text{C}$	25	100	-	V/mV
			15	-	-	
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$R_L = 10k\Omega$	± 12	± 13.5	-	V
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 11	+15 -12	-	V
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10k\Omega$	70	100	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$R_S \leq 10k\Omega$	70	100	-	dB
Power Supply Current	I_{CC}	-	-	2.3	3.4	mA
Slew Rate (Note1)	SR	$G_V = 1$	-	13	-	V/ μs
Gain-Bandwidth Product (Note1)	GBW	-	-	4	-	MHz

Note :

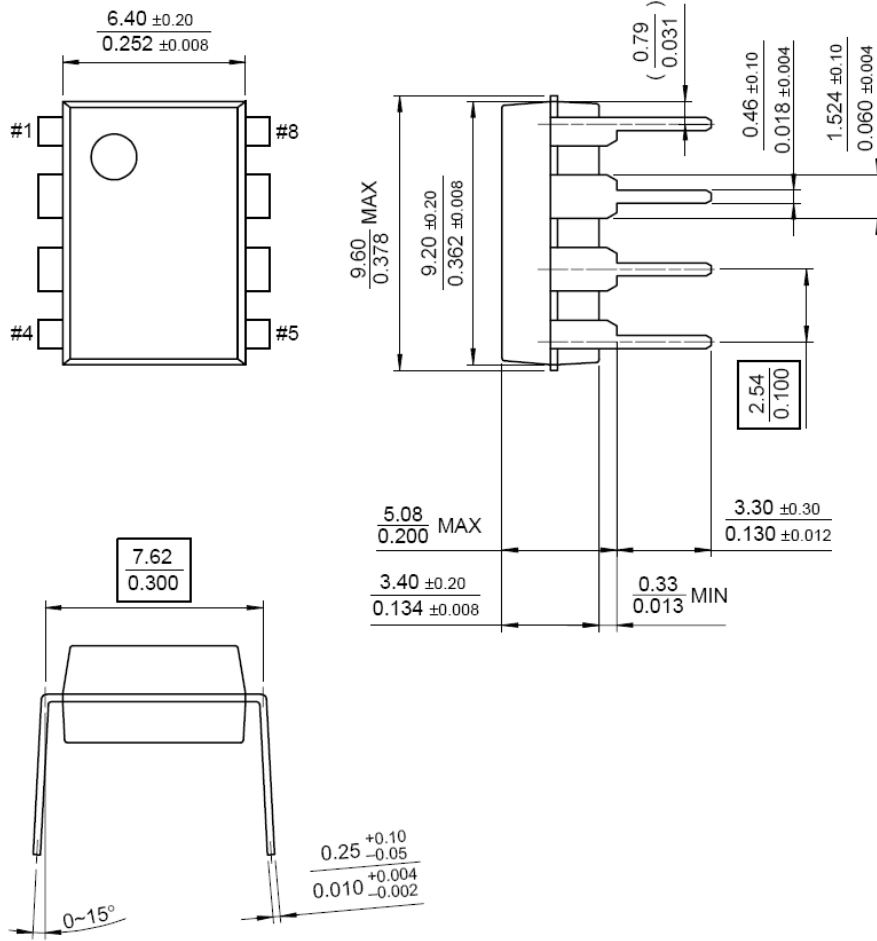
1. Guaranteed by design.

Mechanical Dimensions

Package

Dimensions in millimeters

8-DIP

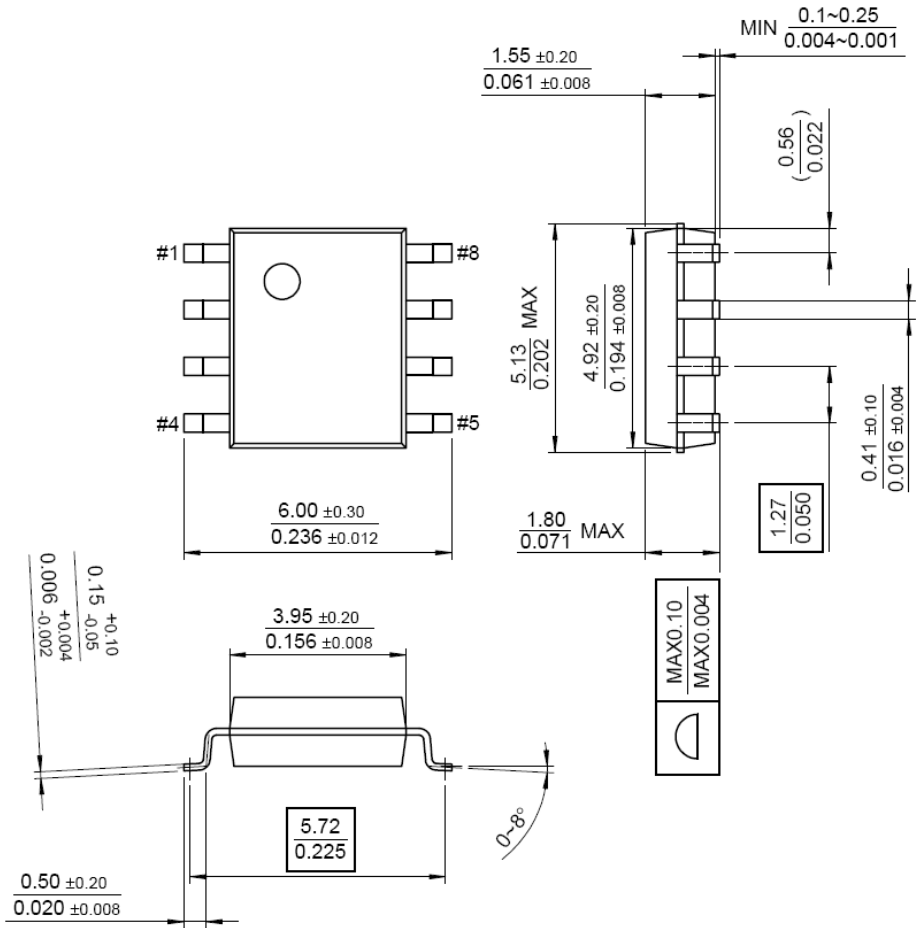


Mechanical Dimensions (Continued)

Package

Dimensions in millimeters

8-SOP



LF351

Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LF351N	8-DIP	0 ~ + 70°C
LF351M	8-SOP	

EK 3- PIC16F877 Entegresinin Bilgi Paketi



MICROCHIP

**PIC16F87X
Data Sheet**

**28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH
Microcontrollers**

"All rights reserved. Copyright © 2001, Microchip Technology Incorporated, USA. Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended through suggestion only and may be superseded by updates. No representation or warranty is given and no liability is assumed by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip's products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights. The Microchip logo and name are registered trademarks of Microchip Technology Inc. in the U.S.A. and other countries. All rights reserved. All other trademarks mentioned herein are the property of their respective companies. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights."

Trademarks

The Microchip name, logo, PIC, PICmicro, PICMASTER, PIC-START, PRO MATE, KEELoQ, SEEVAL, MPLAB and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

Total Endurance, ICSP, In-Circuit Serial Programming, Filter-Lab, MXDEV, microID, FlexROM, fuzzyLAB, MPASM, MPLINK, MPLIB, PICDEM, ICEPIC, Migratable Memory, FanSense, ECONOMONITOR and SelectMode are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Serialized Quick Term Programming (SQTP) is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2001, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.



Microchip received QS-9000 quality system certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona in July 1999. The Company's quality system processes and procedures are QS-9000 compliant for its PICmicro® 8-bit MCUs, KEELoQ® code hopping devices, Serial EEPROMs and microperipheral products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001 certified.



PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

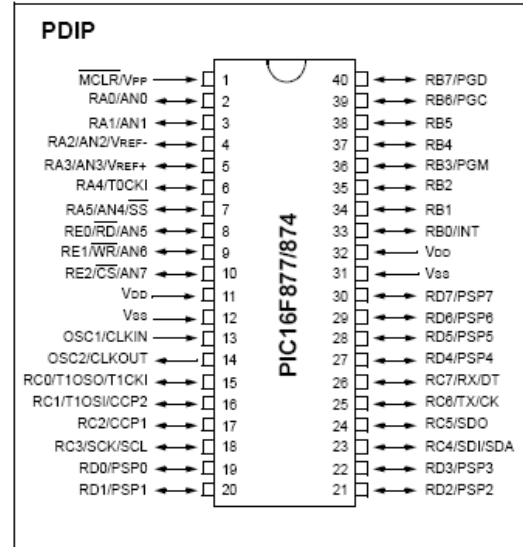
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

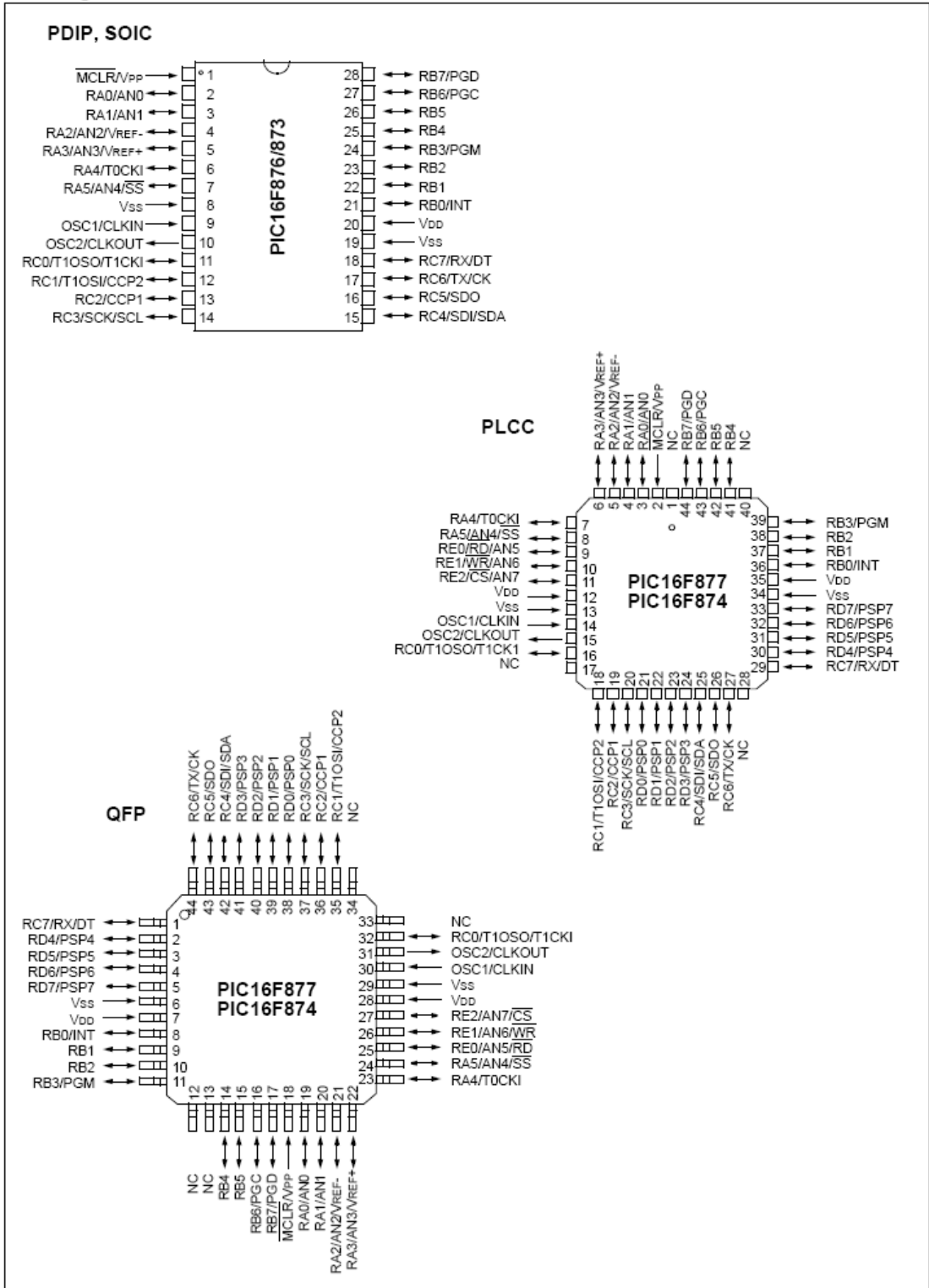


Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external \overline{RD} , \overline{WR} and \overline{CS} controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

PIC16F87X

Pin Diagrams



PIC16F87X

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions

PIC16F87X

Table of Contents

1.0 Device Overview	5
2.0 Memory Organization	11
3.0 I/O Ports	29
4.0 Data EEPROM and FLASH Program Memory	41
5.0 Timer0 Module	47
6.0 Timer1 Module	51
7.0 Timer2 Module	55
8.0 Capture/Compare/PWM Modules	57
9.0 Master Synchronous Serial Port (MSSP) Module	65
10.0 Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART)	95
11.0 Analog-to-Digital Converter (A/D) Module	111
12.0 Special Features of the CPU	119
13.0 Instruction Set Summary	135
14.0 Development Support	143
15.0 Electrical Characteristics	149
16.0 DC and AC Characteristics Graphs and Tables	177
17.0 Packaging Information	189
Appendix A: Revision History	197
Appendix B: Device Differences	197
Appendix C: Conversion Considerations	198
Index	199
On-Line Support	207
Reader Response	208
PIC16F87X Product Identification System	209

TO OUR VALUED CUSTOMERS

It is our intention to provide our valued customers with the best documentation possible to ensure successful use of your Microchip products. To this end, we will continue to improve our publications to better suit your needs. Our publications will be refined and enhanced as new volumes and updates are introduced.

If you have any questions or comments regarding this publication, please contact the Marketing Communications Department via E-mail at docerrors@mail.microchip.com or fax the Reader Response Form in the back of this data sheet to (480) 792-4150. We welcome your feedback.

Most Current Data Sheet

To obtain the most up-to-date version of this data sheet, please register at our Worldwide Web site at:

<http://www.microchip.com>

You can determine the version of a data sheet by examining its literature number found on the bottom outside corner of any page. The last character of the literature number is the version number, (e.g., DS30000A is version A of document DS30000).

Errata

An errata sheet, describing minor operational differences from the data sheet and recommended workarounds, may exist for current devices. As device/documentation issues become known to us, we will publish an errata sheet. The errata will specify the revision of silicon and revision of document to which it applies.

To determine if an errata sheet exists for a particular device, please check with one of the following:

- Microchip's Worldwide Web site; <http://www.microchip.com>
- Your local Microchip sales office (see last page)
- The Microchip Corporate Literature Center; U.S. FAX: (480) 792-7277

When contacting a sales office or the literature center, please specify which device, revision of silicon and data sheet (include literature number) you are using.

Customer Notification System

Register on our web site at www.microchip.com/cn to receive the most current information on all of our products.

PIC16F87X

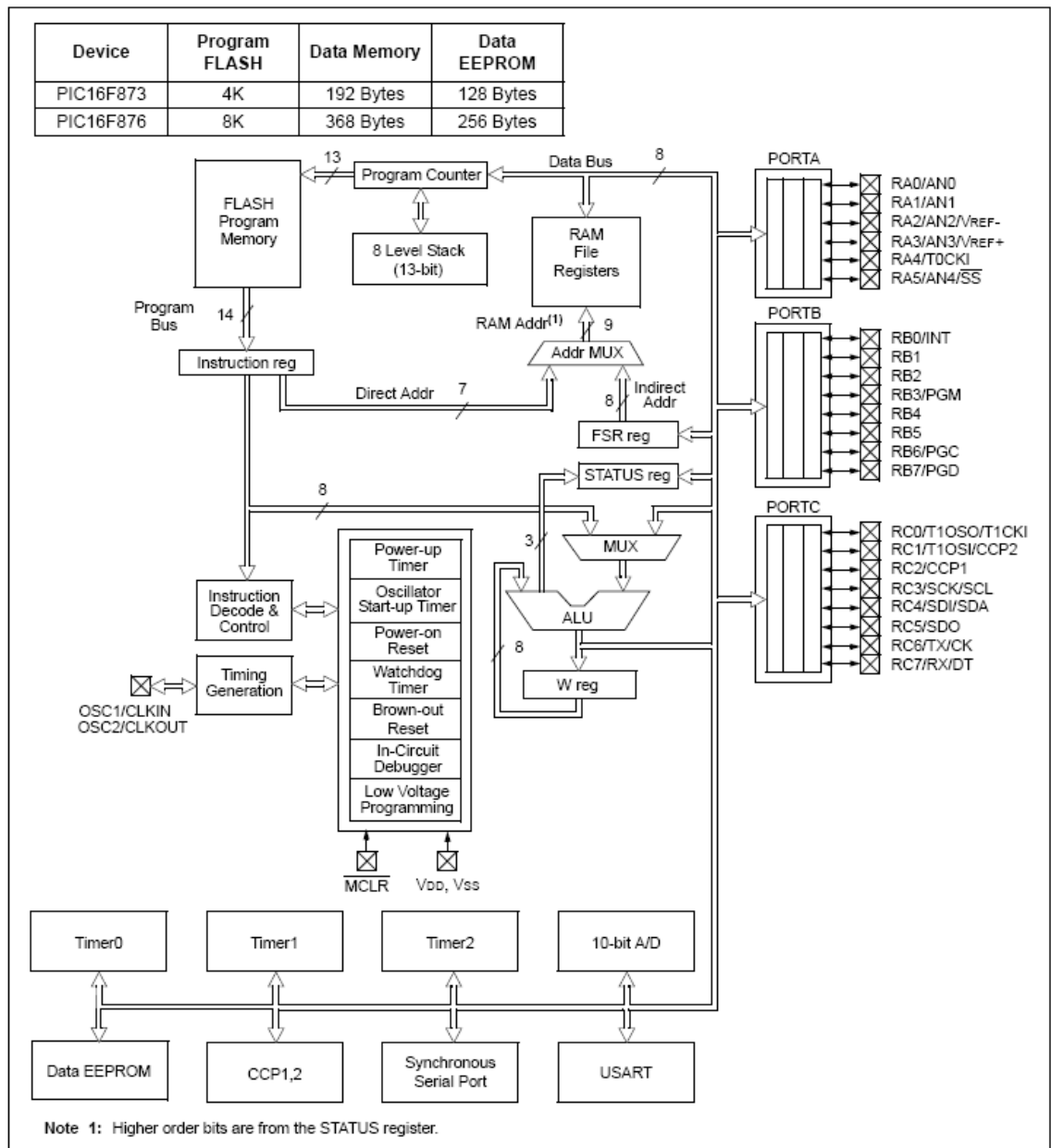
1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information. Additional information may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip website. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet, and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

There are four devices (PIC16F873, PIC16F874, PIC16F876 and PIC16F877) covered by this data sheet. The PIC16F876/873 devices come in 28-pin packages and the PIC16F877/874 devices come in 40-pin packages. The Parallel Slave Port is not implemented on the 28-pin devices.

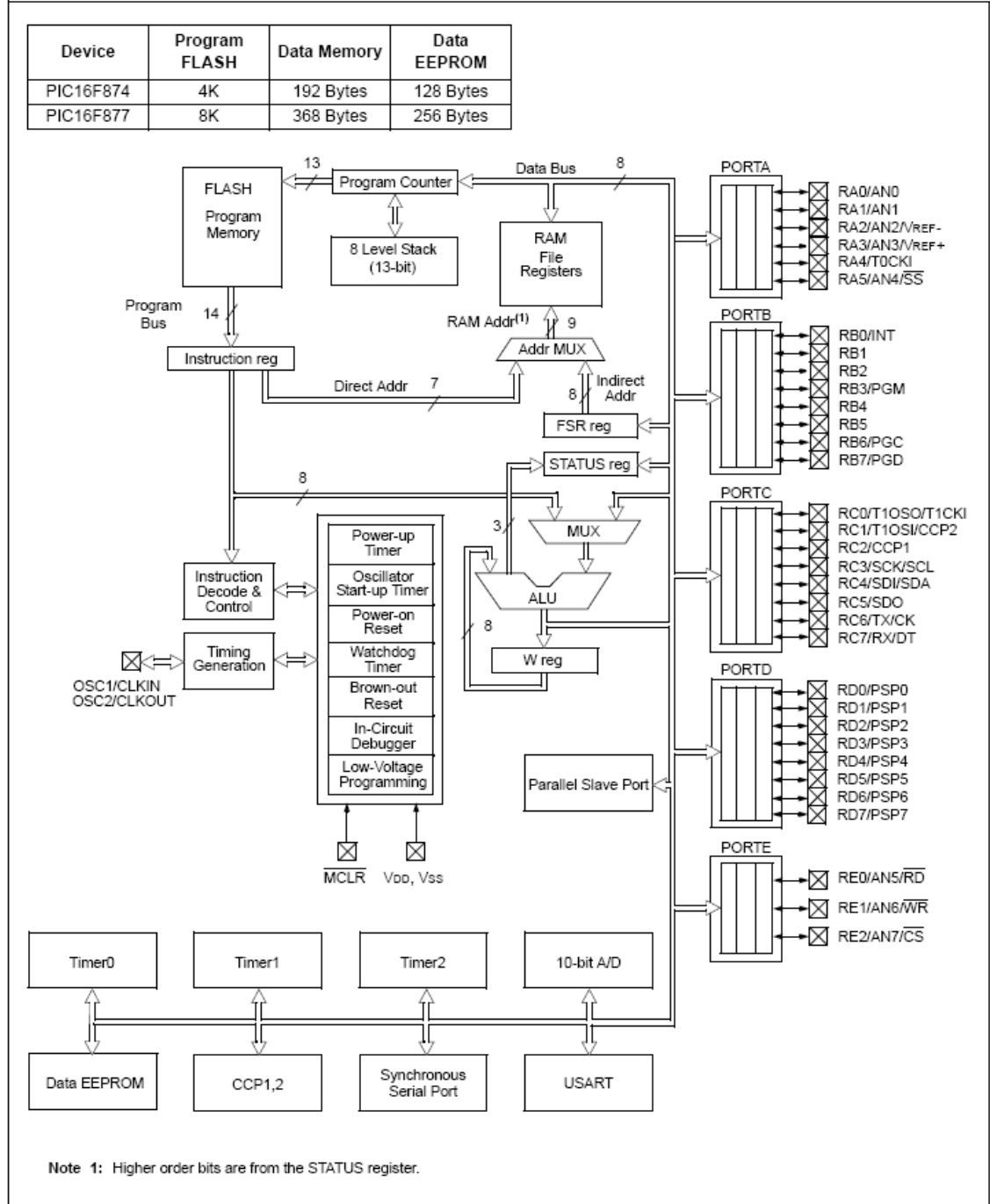
The following device block diagrams are sorted by pin number; 28-pin for Figure 1-1 and 40-pin for Figure 1-2. The 28-pin and 40-pin pinouts are listed in Table 1-1 and Table 1-2, respectively.

FIGURE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 BLOCK DIAGRAM



PIC16F87X

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM



PIC16F87X

TABLE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	SOIC Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	9	9	I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	10	10	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, the OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	1	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	2	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0.
RA1/AN1	3	3	I/O	TTL	RA1 can also be analog input1.
RA2/AN2/VREF-	4	4	I/O	TTL	RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage.
RA3/AN3/VREF+	5	5	I/O	TTL	RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage.
RA4/T0CKI	6	6	I/O	ST	RA4 can also be the clock input to the Timer0 module. Output is open drain type.
RA5/SS/AN4	7	7	I/O	TTL	RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
RB0/INT	21	21	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin.
RB1	22	22	I/O	TTL	
RB2	23	23	I/O	TTL	
RB3/PGM	24	24	I/O	TTL	RB3 can also be the low voltage programming input.
RB4	25	25	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB5	26	26	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB6/PGC	27	27	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.
RB7/PGD	28	28	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
RC0/T1OSO/T1CKI	11	11	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	12	12	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	13	13	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	14	14	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I ² C modes.
RC4/SDI/SDA	15	15	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode).
RC5/SDO	16	16	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).
RC6/TX/CK	17	17	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	18	18	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
Vss	8, 19	8, 19	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	20	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.

2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.

3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87X

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	13	14	30	I	ST/CMOS ⁽⁴⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	14	15	31	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	2	18	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	3	19	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0.
RA1/AN1	3	4	20	I/O	TTL	RA1 can also be analog input1.
RA2/AN2/VREF-	4	5	21	I/O	TTL	RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage.
RA3/AN3/VREF+	5	6	22	I/O	TTL	RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage.
RA4/T0CKI	6	7	23	I/O	ST	RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/counter. Output is open drain type.
RA5/SS/AN4	7	8	24	I/O	TTL	RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
RB0/INT	33	36	8	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin.
RB1	34	37	9	I/O	TTL	
RB2	35	38	10	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	39	11	I/O	TTL	RB3 can also be the low voltage programming input.
RB4	37	41	14	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB5	38	42	15	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB6/PGC	39	43	16	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.
RB7/PGD	40	44	17	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
Note 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87X

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI	15	16	32	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	16	18	35	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	17	19	36	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I ² C modes.
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode).
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).
RC6/TX/CK	25	27	44	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	26	29	1	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
RD1/PSP1	20	22	39	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD2/PSP2	21	23	40	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD3/PSP3	22	24	41	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD4/PSP4	27	30	2	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD5/PSP5	28	31	3	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD6/PSP6	29	32	4	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD7/PSP7	30	33	5	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RE0/RD \overline /AN5	8	9	25	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTE is a bi-directional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5. RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6. RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
RE1/W \overline R/AN6	9	10	26	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RE2/ \overline CS/AN7	10	11	27	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
Vss	12,31	13,34	6,29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11,32	12,35	7,28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1,17,28,40	12,13,33,34		—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.