

**MİKRODENETLEYİCİ KONTROLLÜ
JEOTERMAL TERMoeLEKTRİK JENERATÖR
TASARIMI VE UYGULAMASI**

126004

SERKAN DİŞLİTAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Temmuz 2002
ANKARA**

Serkan DIŞLITAŞ tarafından hazırlanan MİKDENETLEYİCİ KONTROLLÜ
JEOTERMAL TERMOELEKTRİK JENERATÖR TASARIMI VE UYGULAMASI
adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak olduğunu onaylarım.

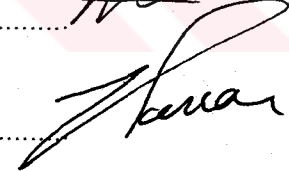


Doç. Dr. Raşit AHİSKA
Tez Danışmanı

Bu çalışma jürimiz tarafından Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İnan GÜLER 

Üye : Doç. Dr. Raşit AHİSKA 

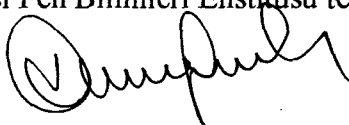
Üye : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz SAVAŞ 

Üye :

Üye :

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. JEOTERMAL ENERJİ VE ELEKTRİK ÜRETİMİ	3
2.1. Elektrik Enerjisi ve Önemi	3
2.2. Elektrik Enerjisi Üretim Kaynakları	4
2.3. Jeotermal Enerji	5
2.4. Jeotermal Enerjinin Avantajları	5
2.5. Türkiye’de Jeotermal Enerji Potansiyeli	6
2.6. Jeotermal Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretimi	9
3. TERMoeLEKTRİK JENERATÖR	10
3.1. Termoelektrik Olaylar	10
3.1.1. Seebeck olayı	10
3.1.2. Peltier olayı	11
3.2. Termoelektrik Modül	12
3.2.1. Termoelektrik yarıiletkenler	12
3.2.2. Termoelektrik modülün yapısı	13
3.2.3. Termoelektrik modülde ısının taşınması	17
3.2.4. Termoelektrik modülün avantajları ve uygulama alanları	17
3.3. Termoelektrik Modülün Jeneratör Olarak Kullanılması	19
3.4. Termoelektrik Modülde Güç Üretim Hesaplamaları	22
4. TASARLANAN SİSTEM	28
4.1. Sistemin Genel Yapısı	28
4.2. Sistemin Çalışması	29
4.3. Termoelektrik Aygıt	32
4.3.1. Isıtıcı ve soğutucu blok	33
4.3.2. Termoelektrik modül düzeneği	33
4.4. Akü	35
4.5. Akü Şarj Devresi	36
4.6. Regüle Devresi	37
4.7. DC/AC Çevirici Ünite	37
4.8. Isı Ölçüm Devresi	38
4.9. Gerilim Bölücü Devre	40
4.10. Valf Kontrol Devresi	41
4.11. Jeneratör Çıkış Kontrol Devresi	42
4.12. Üst Sıcaklık Limiti Ayarlama Devresi	43

4.13.	Alarm Devresi	43
4.14.	Likit Kristal Modül (LCM)	44
4.15.	Mikrodenetleyici ve Yazılımı	45
4.15.1.	PIC 16F877 mikrodenetleyici	47
4.15.2.	PIC mikrodenetleyici programlama aşamaları	48
4.15.3.	Mikrodenetleyici programı	49
5.	SİSTEM PERFORMANS ANALİZİ	53
5.1	Termoelektrik Jeneratörün Çıkış Parametrelerinin Ölçümleri	53
5.1.1.	Yüksüz ölçümler	53
5.1.2.	Yüklü ölçümler	54
5.2.	Sistem Verimi	58
5.3.	Sisteme Ait LCM Görüntüleri	61
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR		66
EKLER		68
ÖZGEÇMİŞ		128

MİKRODENETLEYİCİ KONTROLLÜ JEOTERMAL TERMoeLEKTRİK JENERATÖR TASARIMI VE UYGULAMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Serkan DİŞLİTAŞ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2002

ÖZET

Bu tez çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren, mikrodnetleyici kontrollü termoelektrik jeneratör tasarımı yapılmış ve sistemin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sistemde enerji dönüşümünde yapısını termoelektrik yarıiletkenlerin oluşturduğu termoelektrik modüller kullanılmıştır. Elektrik enerjisi üretimi ise termoelektrik modüllerde Seebeck olayının gerçekleştirilmesi ile elde edilmektedir. Termoelektrik modülde ısıtma termal su akışıyla, soğutma ise soğuk su akışıyla sağlanmaktadır. Termoelektrik modüller ile sıcaklık farkına bağlı olarak değişen DC gerilim elde edildiğinden, elektrik enerjisinin istenen 5V DC, 12V DC ve 220V AC değerlerinde alınabilmesi amacıyla sistemde akü, regüle devresi ve DC/AC çevirici kullanılmıştır. Sistemin termal su girişinde kullanılan solenoid valf ile termoelektrik modüllerin ısıtılan yüzeylerinin sıcaklık kontrolü sağlanmıştır. Tasarımda PIC16F877 mikrodnetleyicisi kullanılarak sistemin kontrol sinyalleri düzenlenmiştir. Bu sistem jeotermal bölgeler için, elektrik enerjisi ihtiyacının temiz, kolay ve ucuz bir şekilde karşılanması yönünden oldukça kullanışlıdır.

Bilim Kodu :

Anahtar Kelimeler : Termoelektrik Jeneratör, Mikrodnetleyici, Kontrol

Sayfa Adedi : 128

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Raşit AHISKA

**MICROCONTROLLER CONTROLLED GEOTHERMAL
THERMOELECTRIC GENERATOR DESIGN AND APPLICATION**
(M.Sc.Thesis)

Serkan DİŞLİTAŞ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**
June 2002

ABSTRACT

In this study, a microcontroller controlled thermoelectric generator design which transformed geothermal energy that is one of the renewable energy sources to directly electrical energy is designed and implemented. In the system, thermoelectric semiconductor modules are used for the energy transformation. However, electrical energy generation is obtained via Seebeck effect in the thermoelectric modules. In the thermoelectric module, heat is provided by thermal water flow and, cool by normally cold water flow. Since changeable DC voltage depending on temperature difference is obtained by the thermoelectric modules, accumulator, regulator circuit and DC/AC convertor are used in order to obtain the values 5V DC, 12V DC and 220V AC in the electrical energy. Heat control of warm surface of thermoelectric modules is provided by using solenoid valve in the thermal water inlet of this system. System control signals are arranged by using PIC16F877 microcontroller in the system. The system is quite useful to meet electrical energy needs easily, clearly and cheaply from the geothermal resources.

Science Code :

Key Words : Thermoelectric Generator, Microcontroller, Control

Page Number : 128

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Raşit AHISKA

TEŞEKKÜR

Çalışmalarında sürekli bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Raşit AHISKA'ya, bölüm başkanım Prof. Dr. İnan GÜLER'e ve teşviklerinden dolayı Doç. Dr. İrfan ÇAĞLAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tasarımın mekanik aksamının hazırlanmasındaki katkılarından dolayı ağabeyim Metin DİŞLİTAŞ'a, desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Hilmi YANMAZ'a, çalışmalarında emeği geçen tüm arkadaşlarıma ve gösterdiği büyük sabırdan dolayı eşime teşekkür ederim.



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Türkiye’de önemli jeotermal sahalar ve bazı karakteristikleri	8
Çizelge 4.1. Sistemin genel karakteristik özellikleri	29
Çizelge 4.2. CP1.4-127-06L termoelektrik modülün parametrik özellikleri	34
Çizelge 4.3. CP1.4-127-06L termoelektrik modülün materyal parametreleri	34
Çizelge 4.4. PIC 16F877 mikrodenetleyici özellikleri	47
Çizelge 5.1. Termoelektrik modül düzeneğinden yüzey sıcaklıklarına göre elde edilen gerilimler değerleri.....	54
Çizelge 5.2. Termoelektrik modül düzeneğinde yüzey sıcaklıklarına göre elde edilen güç değerleri	55
Çizelge 5.3. Sabit sıcaklık farklarında yük direncine bağlı olarak akım, gerilim ve güç değerleri	57

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 2.1.	Jeotermal sahalara ilişkin kuyu sıcaklıkları	7
Şekil 3.1.	Termoelektrik devrede Seebeck olayı	11
Şekil 3.2.	Termoelektrik devrede Peltier olayı	11
Şekil 3.3.	N tipi yarıiletkenle elektron akışını gösteren devre	14
Şekil 3.4.	P tipi yarıiletkenle delik akışını gösteren devre	14
Şekil 3.5.	Termoelektrik mikromodül yapısı	15
Şekil 3.6.	Termoelektrik mikromodüllerin seri bağlantısı	15
Şekil 3.7.	Termoelektrik modülün yapısı	16
Şekil 3.8.	Soğutucu modunda termoelektrik modül	19
Şekil 3.9.	Jeneratör modunda termoelektrik modül	20
Şekil 3.10.	Jeneratör modunda tek bir termoelektrik mikromodül	22
Şekil 3.11.	Modüllerin seri ve paralel düzenlenmesiyle tipik termoelektrik jeneratör	25
Şekil 4.1.	Mikrodenetleyici kontrollü jeotermal termoelektrik jeneratör	28
Şekil 4.2.	Mikrodenetleyici kontrollü jeotermal termoelektrik jeneratörün blok şeması	30
Şekil 4.3.	Termoelektrik jeneratörde güç üretimi	32
Şekil 4.4.	Isıtıcı ve soğutucu blok yapısı	33
Şekil 4.5.	CP1.4-127-06L termoelektrik modül	33
Şekil 4.6.	Termoelektrik modül düzeneği	35
Şekil 4.7.	Akü şarj devresi	36
Şekil 4.8.	+5V Regüle devresi	37
Şekil 4.9.	DC/AC çevirici ünite	38

Şekil 4.10.	Isı ölçüm devresi	39
Şekil 4.11.	Gerilim bölücü devre	40
Şekil 4.12.	Valf kontrol devresi	41
Şekil 4.13.	Jeneratör çıkış kontrol devresi	42
Şekil 4.14.	Üst sıcaklık limiti ayar butonlarının bağlantısı	43
Şekil 4.15.	Alarm kontrol devresi	44
Şekil 4.16.	Xiamen GDM2004D serisi 4x20 karakter LCM	45
Şekil 4.17.	LCM ekran görünümü	45
Şekil 4.18.	PIC 16F877 mikrodnetleyicinin sisteme ait bacak bağlantıları	46
Şekil 4.19.	PIC'in programlanma aşamalarına ait blok şema	49
Şekil 4.20.	Mikrodnetleyici programına ait Parsic devre şeması.....	50
Şekil 4.21.	Mikrodnetleyici programı akış şeması	52
Şekil 5.1.	Termoelektrik modül düzeneğinde voltmetre bağlantısı	53
Şekil 5.2.	Termoelektrik modül düzeneğinde güç ölçüm bağlantısı	54
Şekil 5.3.	Sistemde sıcaklık farkı – gerilim ilişkisi	55
Şekil 5.4.	Sistemde sıcaklık farkı – güç ilişkisi	56
Şekil 5.5.	Sistemde yük-güç ilişkisi	56
Şekil 5.6.	Sisteme ait LCM ekran görüntüleri	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
κ	Termal iletkenlik
η	Verim
π	Peltier katsayısı
α	Seebeck katsayısı
α_M	Termoelektrik modülün ortalama Seebeck katsayısı
ρ	Özdirenç
ΔT	Sıcaklık farkı
G	Termoelektrik modülün geometri faktörü
I_s	Akü şarj akımı
MW	Megavat
Q_h	Termoelektrik mikromodülde toplam ısı girişi
Q_j	Joule ısısı
Q_P	Peltier ısısı
T_{ORT}	Ortalama modül sıcaklığı
T_C	Termoelektrik modülün soğuk yüzey ısısı
T_h	Termoelektrik modülün sıcak yüzey ısısı
T_{SICAK}	Isıtıcı blok sıcaklığı
$T_{SOĞUK}$	Soğutucu blok sıcaklığı
V_A	Akü ölçüm gerilimi
$V_{AKÜ}$	Akü gerilimi
V_{TEJ}	Termoelektrik jeneratör gerilimi
V_s	Şarj ölçüm gerilimi
V_{SICAK}	Isıtıcı blok sensör gerilimi
$V_{SOĞUK}$	Soğutucu blok sensör gerilimi
$V_{ŞARJ}$	Akü şarj gerilimi

Kısaltmalar	Açıklama
COP	Performans Katsayısı
LCM	Likit Kristal Modül
PIC	Çevresel Üniteleri Denetleyici Arabirim
TEJ	Termoelektrik Jeneratör
ÜSL	Üst Sıcaklık Limiti

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile sürekli artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamada birçok avantajından dolayı yenilenebilir enerji kaynakları daha çok ilgi çekmeye başlamıştır. Bu tez çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren, mikrodenetleyici kontrollü termoelektrik jeneratör tasarımı yapılmış ve sistemin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamında gerekli ölçümler yapılarak verimin en yüksek olduğu temiz, kolay ve ucuz bir şekilde elektrik enerjisi üretiminin gerçekleştirildiği sistem tasarımı yapılmıştır. Ayrıca sistemin verimi ve hangi jeotermal bölgelerde iyi sonuç vereceği hakkında bilgiler verilmiştir.

Sistemde enerji dönüşümünde yapısını termoelektrik yarıiletkenlerin oluşturduğu termoelektrik modüller kullanılmıştır. Elektrik enerjisi üretimi ise termoelektrik modüllerde Seebeck olayının gerçekleştirilmesi ile elde edilmektedir. Termoelektrik modülde sıcaklık farkı oluşturma için gerekli ısıtma termal su akışıyla, soğutma ise normal su akışıyla gerçekleştirilmiştir. Jeotermal bölgelerdeki kaynakların kullanılabilir sıcaklıklarına göre elde edilen elektrik enerjisinin gücü de değişmektedir.

Elektrik enerjisinin kullanım şekli kimi yerde AC gerilim, kimi yerde ise DC gerilim şeklinde olmaktadır. Örneğin evlerimizdeki çamaşır makinesi, fırın, buzdolabı, ütü gibi cihazlar AC gerilim ile çalışırken, el radyosu, hesap makinesi gibi cihazlar ve özellikle dijital elektronik sistemler DC gerilimle çalışmaktadır. DC gerilim ihtiyacı kimi yerde pil, akü gibi taşınabilir kaynaklardan sağlanabildiği gibi kimi yerlerde de AC gerilimin sistem içerisinde yine DC gerilime dönüştürülmesi ile sağlanabilmektedir. Bu nedenle termoelektrik jeneratör (TEJ) ile üretilen elektrik enerjisinin kullanım alanına göre uygun olacak şekilde dönüştürülmesi gerekmektedir. Termoelektrik modüller ile sıcaklık farkına bağlı olarak değişen DC gerilim elde edildiğinden, elektrik enerjisinin istenen 5V DC, 12V DC ve 220V AC değerlerinde alınabilmesi amacıyla sistemde akü, regüle devresi ve DC/AC çevirici kullanılmıştır. Sistemde bulunan akü sürekli şarjda kalarak, elde edilen elektrik enerjisi

depolamakta ve sistemin 12V DC enerji ihtiyacını karşılamaktadır. TEJ'in 12V DC çıkışı direkt akü ile, 5V DC çıkışı ise DC/DC çevirici ile sağlanmaktadır. Ayrıca akü çıkışı DC/AC çevirici ile yükseltilerek 220V AC gerilim olarak da kullanılabilir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, elektrik enerjisinin önemi, yenilenebilir enerji kaynakları ve jeotermal enerji hakkında bilgiler verilerek, önemleri üzerinde durulmuştur. Türkiye'de mevcut jeotermal bölgeler ve özellikleri ile jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi hakkında bilgiler verilmiştir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde, termoelektrik yarıiletkenlere değinilmiş; Seebeck ve Peltier olayları açıklanmıştır. Ayrıca, meydana getirilen sıcaklık farkı neticesinde elektrik üreten, aynı zamanda da soğutucu olarak kullanılabilen termoelektrik modüllerin yapısı ve işleyişi anlatılmıştır. Termoelektrik modüllerin jeneratör olarak kullanılmasıyla elde edilecek güç ve verim ile ilgili hesaplamalar verilmiştir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde, sistem donanımı ele alınarak TEJ, akü, akü şarj devresi, regüle devresi, gerilim bölücü devre, DC/AC çevirici ünite, ısı ölçüm devresi, mikrodenetleyici ve mevcut kontrol devreleri üzerinde durulmuştur. Ayrıca sisteme ait yazılım hakkında bilgi verilmiştir. Mikrodenetleyiciye ait programın akış şeması çizilerek, çalışması anlatılmıştır.

Tez çalışmasının beşinci bölümünde, tasarlanan sisteme ait performans analizi yapılmıştır. Sistemden en yüksek gücün alınması için çalışma karakteristikleri belirlenmiş ve verim hesaplanmıştır. Sistem ölçümleri ve likit kristal modül (LCM) ekran görüntüleri hakkında bilgi verilmiştir.

Sonuç bölümünde ise sistemin genel bir değerlendirilmesi yapılarak kullanılabilirliği, eksik yönleri ve geliştirilebilirliği hakkında bilgiler verilmiştir.

2. JEOTERMAL ENERJİ VE ELEKTRİK ÜRETİMİ

2.1. Elektrik Enerjisi ve Önemi

İnsanlar çeşitli enerji kaynaklarını kullanarak ihtiyaçlarını karşılama yollarına gitmişlerdir. Elektrik enerjisi, bulunmasıyla birlikte giderek en çok kullanılan dolayısıyla ihtiyaç duyulan enerji olmuştur.

Elektrik enerjisinin öteki enerjilere göre pek çok üstünlükleri olduğu bilinmektedir. Bu üstünlükleri şöyle özetleyebiliriz [1]:

- a) Elektrik enerjisinin elde edilmesi, taşınması ve dağıtımı kolay, ucuz ve verimli bir şekilde yapılabilir.
- b) Elektrik enerjisi öteki enerjilere kolayca dönüştürülebilir.
- c) Elektrik enerjisi çok küçük parçalara ayrılarak kullanılabilir.
- d) Elektrik enerjisi külsüz, dumansız ve artık bırakmayan bir enerjidir.

Elektrik enerjisinin kullanım alanları dikkate alındığında, öneminin ne kadar büyük olduğu görülmektedir. Elektrik enerjisi günümüzde evdeki televizyondan tutun da fabrikadaki iş makinelerine kadar ulaşım, iletişim, ısıtma, havalandırma, aydınlatma, uzay çalışmaları gibi birçok alanda büyük bir ihtiyaç durumuna gelmiştir.

Kalkınma çabalarında da elektrik en başta gelen unsurlardan biridir. Kişi başına bir yılda tüketilen elektrik enerjisi veya bir ülkede tüketilen enerjiler içinde elektrik enerjisinin fazlalığı, ülkelerin uygarlık derecelerinin bir ölçüsü olarak değerlendirilmektedir. Dünyada bilinen enerji kaynaklarının hızla tükenmekte oluşu, nüfus artışı ve artan medeniyet seviyesi elektrik enerjisine olan ihtiyacı her gün daha da arttırmaktadır [1].

Ülkemizde de elektrik enerjisine olan ihtiyaç gün geçtikçe artarken, bu enerjinin karşılanmasına yönelik çalışmalar yeterli düzeyde yapılamamıştır. Bu nedenle ülkemiz, birçok ülkeye göre kişi başına düşen elektrik enerjisi üretimi bakımından

geride kalmıştır. Elektrik enerjisinin karşılanması için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme ve bu kaynakları çok iyi derecede değerlendirmek gerekmektedir.

2.2. Elektrik Enerjisi Üretim Kaynakları

Dünyada elektrik enerjisi tüketimi teknoloji ile her geçen gün biraz daha artmaktadır. Elektrik enerjisi üretimi için de en başta petrol ve kömür gibi fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların oluşumu epeyce bir zaman aldığından, dünyada mevcut bu enerji kaynakları sürekli ve artarak tükenmektedir.

Fosil kaynaklardan üretilen ve yaygın kullanımı olan enerjinin hızla gelişen ve büyüyen dünyada mevcut potansiyel ile belli bir ömrü olduğu ve bir gün tükeneceği açıkça görülmektedir. Geleneksel enerji kaynaklarının sınırlı oluşu ve geçen süreç içinde tükenme eğilimine girmesi ile beraber dünyamızın yaşadığı ekolojik sıkıntılar yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmıştır. Eldeki mevcut rezervlerin bu düzeyde üretim ve tüketimi sürerse, petrol kaynaklarının 40, doğalgaz kaynaklarının 60, kömür kaynaklarının 240 yıl daha kullanıma arz edilebileceği tahmin edilmektedir [2].

Dünya enerji arzı, önümüzdeki dönemde kullanımı daha temiz, verimli ve ekoloji açısından daha az sorunlu olan doğalgaz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından azami düzeyde yararlanmayı gerektirmektedir [2].

Bu nedenlerden dolayı, tükenmeyen yani yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmış ve bu kaynakların aranması yoluna gidilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal, rüzgar, güneş, biogaz, deniz dalgaları, hidrolik, gel-git ve biyokütle enerjisi sayılabilir.

2.3. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yer kabuğunun derinliklerinden gelen ısınn doğal olarak yeraltındaki sulara aktarılması ve ısınan suyun yeryüzüne ulaşması sonucu ortaya çıkan bir enerji türüdür. Jeotermal enerji önemli bir yenilenebilir kaynaktır. Bu enerji daha çok sıvı ve buhar ağırlıklı kaynaklara, yani, doğal hidrotermal sirkülasyona dayanmaktadır. Sıvı ağırlıklı kaynaklarda, kendiliğinden yeryüzüne çıkan jeotermal akışkanlardan yararlanılabileceği gibi sondajlarla kuyu açılarak da yararlanılabilir. Akışkanların içerisinde sodyum, potasyum, sülfat, silikat ve borat gibi tuzlar bulunabilmektedir [3].

Jeotermal akışkanlara yapılan sondajlarla birkaç yüz metreden itibaren rastlanabilir. Derinliğe bağlı olarak artan sıcaklıklar elde edilebilir. Jeotermal kaynaklar akışkanların sıcaklıklarına ve taşıdıkları ısı enerjisine bağlı olarak üç grupta incelenebilir [3]:

- Düşük entalpili (160 °C'den küçük akış sıcaklıklı)
- Orta entalpili (160 °C – 190 °C arası akış sıcaklıklı)
- Yüksek entalpili (190 °C'den büyük akış sıcaklıklı)

2.4. Jeotermal Enerjinin Avantajları

Jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisi üretmenin birçok avantajı vardır. Ancak bazı dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlar gerekli önlemler alınarak ortadan kaldırılabilen ve elektrik enerjisi üretimi daha güvenilir bir şekilde yapılabilir.

Jeotermal enerjiden elektrik enerjisi üretimi sırasında oluşan göçük, çökme, çevre kirliliği ve gürültü gibi olumsuz etkilerin giderilmesi mümkündür. Jeotermal sahalarda yer altından çekilen akışkanın tekrar yer altına basılması ile göçük oluşması, zehirli maddelerin çevreyi kirletmesi ve çökme oluşumu engellenmiş olmaktadır. Ayrıca asitleme yapılması çökme oluşumunu büyük ölçüde

engellemektedir. Jeotermal kuyularda meydana gelen gürültü seviyesi ise susturucular ile düşürülebilmektedir.

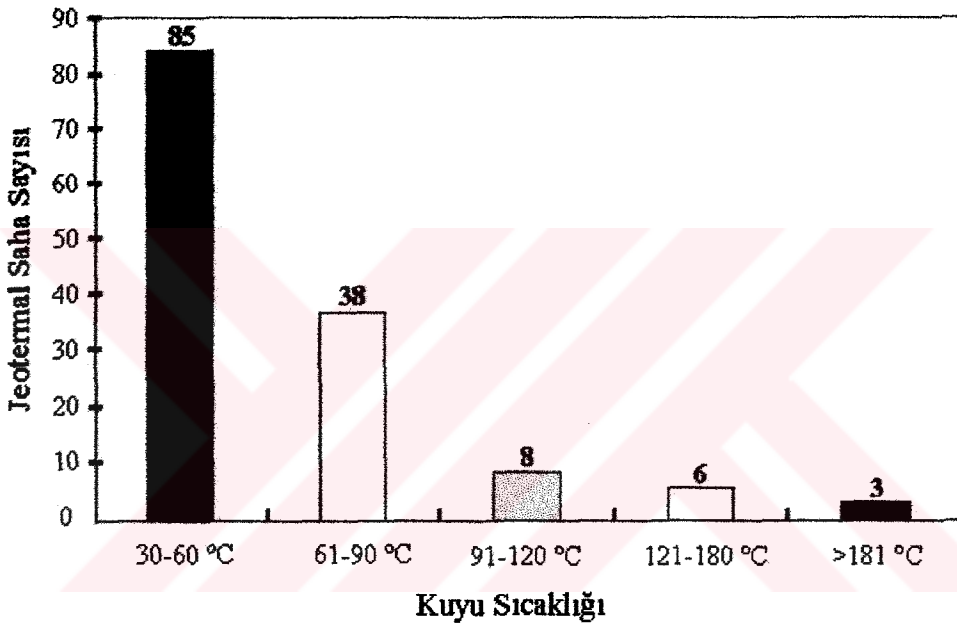
Jeotermal enerjinin avantajları ise şu şekilde sıralanabilir :

- Yenilenebilir enerji kaynağıdır.
- Jeotermal enerji maliyet açısından düşük bir değere sahiptir. Bunda en büyük etken jeotermal enerjide işletme giderlerinin çok düşük olması ve enerjinin yenilenebilir olmasıdır [2].
- Jeotermal kuyularda kazının maliyeti petrol kuyularına göre %40 ile %100 arasında değişmektedir [2].
- Jeotermal rezervuar/santral sisteminin ömrünü önceden kestirebilmek zordur. Santralin ömrü 25 yıl olabilir, fakat rezervuar ömrü bundan çok uzun olabilir. Jeotermal enerjiyi güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerjilerden ayıran en büyük fark elektrik ve ısı üretimi fiyatlarının ticari açıdan kabul edilebilir olmasıdır [2].
- Jeotermal enerjiden elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan sosyal maliyet oldukça olumlu gözükmemektedir [2].
- Tehlikesiz ve temiz bir şekilde elektrik enerjisi elde edilmektedir.
- Verimi yüksek ve ekoloji açısından daha az sorunludur.

2.5. Türkiye’de Jeotermal Enerji Potansiyeli

Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde jeotermal enerji, yenilenebilir enerji kaynağı olarak ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye, jeotermal enerji açısından küçümsenmeyecek kaynaklara sahip olup, dünyanın yedinci ülkesi durumundadır. Aynı zamanda, İtalya’dan sonra Avrupa’da da ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye’de mevcut jeotermal enerji potansiyeli 2 490 MW olup, bu potansiyelin teorik olarak 31 500 MW civarında olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye’nin jeotermal enerji potansiyeli, dünya rezervinin yaklaşık %0,8’i kadardır. Kaynaklarımız genellikle sıcak su esaslı, düşük ve orta sıcaklı (25-180) °C kaynaklardan oluşmaktadır. Aktif faylarla sınırlı grabenler ve yaygın genç volkanizmaya bağlı olarak doğal buharların, hidrotermal alterasyonların ve sıcaklığı

yer yer 100 °C'ye ulaşan 600'den fazla sıcak su kaynağının varlığı, Türkiye'nin önemli jeotermal potansiyele sahip olduğunun kanıtıdır. Bugüne kadar bulunan jeotermal bölgelerin %95'i ısı uygulamalara uygun sıcaklıkta olup, 30°C'nin üzerindeki toplam 140 jeotermal bölge çoğunlukla Batı, Kuzey-Batı ve Orta Anadolu'da toplanmıştır. Bu alanların kuyu sıcaklıklarına göre dağılımı Şekil 2.1'de gösterilmiştir [2, 3, 4].



Şekil 2.1. Jeotermal sahalara ilişkin kuyu sıcaklıkları

Çizelge 2.1 incelendiğinde, Türkiye'de jeotermal alanların çoğunlukla düşük ve orta sıcaklıkta olduğu görülmektedir. Günümüz teknolojisi ile bu alanların çoğunda elektrik enerjisi üretilme imkanı bulunmaktadır.

Türkiye'de yeteri kadar jeotermal kuyu açılmamıştır. 140 jeotermal alana karşılık açılan kuyu sayısı 200 olup, dünya standartlarına göre çok azdır. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelinin ortaya konulması için daha çok kuyu açılması gerekmektedir. Aramaların geliştirilmesi ile jeotermal potansiyelde önemli artışlar olması beklenmektedir [3].

Çizelge 2.1. Türkiye’de önemli jeotermal sahalar ve bazı özellikleri [2]

YER	KULLANILABİLİR SICAKLIK (°C)	KAYNAK SICAKLIĞI (°C)	MAKSİMUM AKIŞ (Kg/s)
Örmek-Geçek	70	105	183
Sandıklı	67	110	50
Kızılcahamam	40	150	35
Çubuk	35	68	-
Ayaş	43	-	2
Germencik	101	240	10
Salavatlı	38	100	5
Aydın	34	-	-
Gümüş	40	60	5
Sındırgı	98	165	50
Havran	-	60	-
Gönen	54	150	30
Kepekler	60	112	5
Pamuksu	-	90	-
Nemrut	60	250	-
Süphan	-	-	-
Seben	60	110	-
Bursa	40	-	-
Tuzla	102	220	36
Kestanbol	50	73	60
Hıdırlar	87	200	1
Kızıldere	99	250	400
Tekkehamam	99	220	50
Pamukkale	56	150	50
Ilıca	33	100	20
Dumlu	40	100	10
Pasinler	45	80	5
Eskişehir	42	80	50
Termal	65	-	10
Seferhisar	85	225	50
Balçova	62	150	62
Dikili-Bergama	90	180	20
Çeşme	58	80	34
Mahmutlu	70	146	28
Terme	45	-	10
Karakurt	50	-	10
Simav	98	215	10
Gediz	78	-	8
Salihli	86	210	5
Urganlı	78	150	25
Kozaklı	92	120	20
Acıgöl	-	-	-
Siirt	-	-	-
Zilan	78	240	20

2.6. Jeotermal Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretimi

Jeotermal kaynaklar yer yuvarında, (25-180) ve (180-380) °C’lerde bulunurlar. Elektrik üretimi ikinci grup gibi yüksek sıcaklıklarda üretilmekte olup, kabul edilen ideal sıcaklıklar (250-380) °C’dir. (25-180)°C gibi düşük entalpili değerlerden ise, elektrik dışı (konut, sera, kaplıca v.b.) alanlarda istifade edilmektedir. Günümüzde gelişen teknoloji, düşük sıcaklıklarda da elektrik üretilmesine imkan tanımıştır. Artık 80°C’den jeotermal kaynaklı elektrik üretilmesi bu alanda yeni bir çağır açmıştır. Bugün A.B.D.’de aynı prensibe dayalı 300 KW ile 1200 KW arasında değişen, elektrik üretebilen paket santraller imal edilmiştir. Bahsedilen santraller, buhar santrallerine göre pratik, ekonomik ve de daha üstün teknik şartlara sahip olduğu gibi, taşınması ve naklide oldukça basittir. Söz konusu santrallerden elektrik üretimi için, 80-180 °C sıcaklık ile 1-10 Bar arasındaki basınç buharı yeterli olacaktır. Bu sayede irili ufaklı bütün jeotermal kaynaklardan elektrik üretmek mümkün bir hale gelmiştir. Öyle ki günümüzde 1,76 MW gücünde çalışabilen jeotermal elektrik santrali üretilbilir hale gelinmiştir [4].

Ülkemizdeki kaynaklar genellikle 25-180°C gibi düşük ve orta sıcaklıktaki kaynaklardan oluşmaktadır. Görünüme göre elektrik elde etme şansımız pek yok gibidir. Ancak günümüzde artık 80°C’deki kaynaklardan da elektrik elde edilebilmektedir. Kaldı ki ülkemizdeki düşük ve orta sıcaklıktaki kaynaklar, yüksek sıcaklıktakilerin yaklaşık 20 katı kadardır. O halde böylesine zengin kaynaklardan yeterli teknolojik donanımla yararlanılma yoluna gidilmesi, izlenilecek en mantıklı yol gibi görünüyor [4].

3. TERMOELEKTRİK JENERATÖR

3.1. Termoelektrik Olaylar

Yarıiletkenlerde Seebeck, Peltier ve Thomson olayları meydana gelmektedir. Bunlar termoelektrik olay olarak adlandırılmaktadır. Seebeck olayı 1821 yılında Thomas Seebeck, Peltier olayı 1834 yılında Jean Charles Athanese Peltier tarafından, Thomson olayı ise 1867 yılında Leru tarafından keşfedilmiş ve adları bu olaylara verilmiştir.

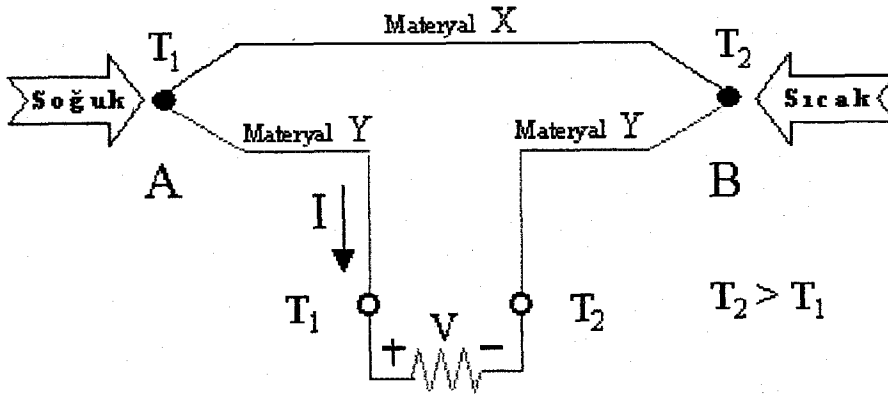
Seebeck olayı termoelektrik jeneratörlerin, Peltier olayı ise termoelektrik soğutucuların temelini oluşturmaktadır. Thomson olayı düşük etkili olduğundan göz ardı edilmektedir. Isı ve elektriksel etkilerin bir arada bulunduğu devreye termoelektrik devre adı verilmektedir. Bu termoelektrik devre prensibine göre işleyen aletlere de termoelektrik aygıt adı verilir.

3.1.1. Seebeck olayı

Seebeck olayını anlatan termoelektrik devre Şekil 3.1’de görülmektedir. Burada X ve Y gibi farklı iletkenler kullanılarak elde edilen seri devre bir yüke bağlanmıştır. Bu devrede iletkenlerin A ve B birleşme noktalarına birbirinden farklı T_1 ve T_2 sıcaklıkları uygulanmasıyla yük üzerinde bir ΔE potansiyel farkı meydana gelmekte ve üzerinden I akımı geçmektedir. Bu potansiyel fark ΔT sıcaklık farkıyla doğru orantılı olarak,

$$\Delta E = \alpha \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

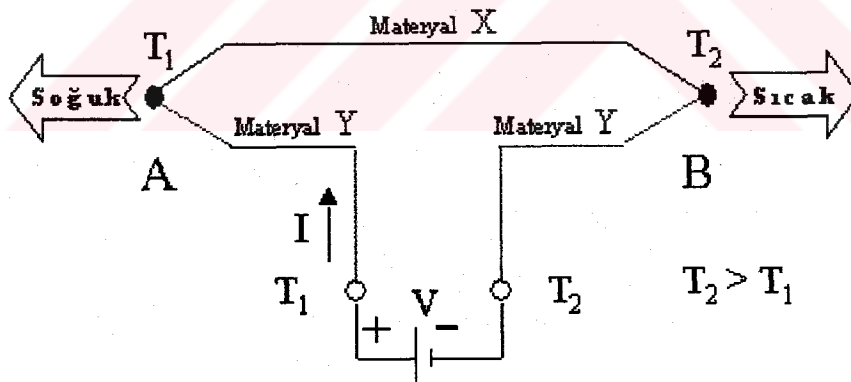
formülü ile ifade edilir. Formülde ifadede α , Seebeck katsayısı (veya termo emk) olup birimi $V/^\circ C$ ’ dir. α değeri devrede kullanılan madde cinsine göre değişmektedir. Seebeck olayının, termoelektrik yarıiletkenlerde jeneratör olarak, metallerde ise ısı ölçümü olarak kullanıldığı iki önemli ana uygulaması vardır.



Şekil 3.1. Termoelektrik devrede Seebeck olayı

3.1.2. Peltier olayı

Peltier olayını anlatan termoelektrik devre Şekil 3.2'de görülmektedir. Burada birbirinden farklı X ve Y iletkenleri ile elde edilen termoelektrik devre bir üretece bağlanmıştır.



Şekil 3.2. Termoelektrik devrede Peltier olayı

Peltier olayını şu şekilde açıklayabiliriz. İki farklı iletkenlerden oluşan bir devreden doğru akım geçtiğinde Joule Isısı ile birlikte temas noktalarının birinden ısı emilirken diğer temas noktasından ısı açığa çıkmaktadır. Akımın yönüne göre temas noktalarının birinde ısınma ve diğerinde de soğuma meydana gelmektedir. Joule ısısından farklı olarak ortaya çıkan bu ısıya Peltier Isısı denir [5, 6].

Termoelektrik devre üzerinde Joule ısısı,

$$Q_j = I^2 \cdot R \cdot t \quad (3.2)$$

formülü ile, Peltier ısısı ise,

$$Q_p = \pi \cdot I \cdot t \quad (3.3)$$

formülü ile ifade edilmektedir. Formüldeki π , Peltier katsayısıdır.

3.2. Termoelektrik Modül

3.2.1. Termoelektrik yarıiletkenler

Bilindiği gibi yarıiletken teknolojiler 21. asrın en önemli teknolojilerinin başında bulunmaktadır. Yarıiletkenlerin elde edilmesinden başlamak üzere bunların özelliklerinin araştırılması ve özelliklerini kullanarak cihaz ve sistemlerin yapılması ve geliştirilmesine ve bu sistemlerin sanayiye kazandırılmasına kadar uzanan birçok teknolojileri içeren yarıiletken teknolojileri üzerinde dünyada geniş çapta araştırmalar yapılmaktadır. Yarıiletkenlerin çok fazla çeşitleri vardır. Bunların kullanım alanları o kadar geniştir ki yarıiletkenlerin kullanılmadığı alan kalmamış sayılabilir. Termoelektrik yarıiletkenler şu anda bile en çok kullanım alanına sahip olup, ileride de bu malzemelerin daha çok kullanılacağı bilinmektedir. Buna göre bugünkü araştırmalar termoelektrik teknolojileri üzerinde yoğunlaşmış durumdadır [7].

Termoelektrik yarıiletken yapımında kullanılacak madde, yüksek Seebeck katsayısına, iyi bir elektriksel iletkenliğe ve kötü bir ısı iletkenliğe sahip olmalıdır. Seebeck katsayısı metallerde 0,00005 V/°C'den küçük, yarıiletkenlerde ise 0,0002 ile 0,0003 V/°C arasındadır [8]. Seebeck katsayısı, bakır konstantan için $\alpha=40\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ değerindedir. Yani her 1 °C sıcaklık farkı için 40μV'luk emk üretir. Yarıiletkenlerde

bu değerler kat kat daha yüksektir. α 'nın değeri $100\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 'den büyük yarıiletkenlere termoelektrik yarıiletkenler denir. rnek olarak; Bizmut (Bi), Antimon (Sb), Selenyum (Se), Telleryum (Te) gibi yarıiletkenlerin yanı sıra Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 , Sb_2Te_3 vb. bileşimler ile $\text{Bi}_2\text{Te}_3+\text{Bi}_2\text{Se}_3$, $\text{Sb}_2\text{Te}_3+\text{Bi}_2\text{Te}_3$ gibi alaşımlar gösterilebilir. Bunlardan α 'sı çok yüksek olan ve dünyada soğutucuların ve jeneratörlerin üretiminde kullanılan $\text{Bi}_2\text{Te}_3+\text{Bi}_2\text{Se}_3$, $\text{Sb}_2\text{Te}_3+\text{Bi}_2\text{Te}_3$ gibi alaşımlardır. (Bu alaşımların α katsayısı 200 ile 240 arasında değişmektedir) [7]. N tipi termoelektrik yarıiletken negatif Seebeck katsayılı olup, elektron fazlalığı vardır. P tipi termoelektrik yarıiletken ise pozitif Seebeck katsayılı olup elektron eksikliği vardır [8].

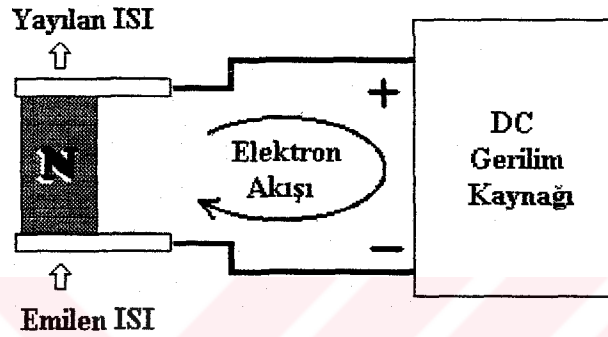
3.2.2. Termoelektrik modülün yapısı

Termoelektrik modülün temelinde N ve P tipi yarıiletkenler yer almaktadır. Bilindiği gibi N tipi yarıiletkenlerde negatif yük taşıyıcıları, P tipi yarıiletkenlerde pozitif yük taşıyıcıları mevcuttur. Pozitif yük taşıyıcıları delik, negatif yük taşıyıcıları elektron olarak adlandırılmaktadır. Bu yarıiletkenler bir DC gerilim kaynağına bağlandığında N tipi yarıiletken devresinde elektron, P tipi yarıiletken devresinde de delik akışı meydana gelmekte ve yarıiletken madde boyunca bir ısı akışı meydana gelmektedir.

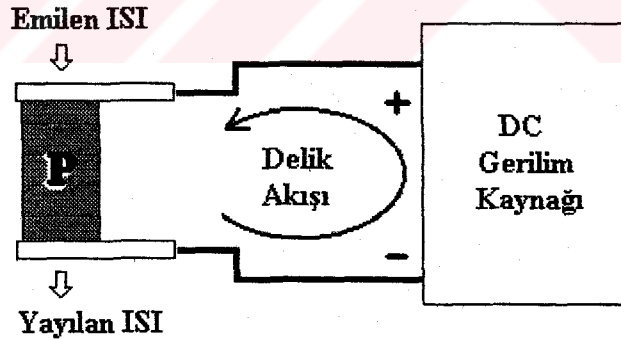
Şekil 3.3'de DC gerilim kaynağına bağlı N tipi yarıiletkenden oluşan termoelektrik devre görülmektedir. Burada elektronlar Peltier olayının büyüklüğünün oluşturulmasını sağlayan yk taşıyıcılarıdır. Termoelektrik devre içerisinde elektronlar, DC gerilim kaynağının pozitif kutbuyla çekilip negatif kutbuyla geri itilecektir. Böylelikle de saat yönünde elektron akışı gerçekleşecektir. N tipi yarıiletken boyunca alt yüzeyden üst yüzeye doğru elektron akışıyla alt bağlantı noktasında emilen ısı üst bağlantı noktasına transfer edilmektedir. Bu ısı yarıiletken madde boyunca yük taşıyıcılarıyla etkin olarak pompalanmaktadır [9].

Termoelektrik endüstrisinde P tipi yarıiletkenler de kullanılmaktadır. Bu yarıiletkenlerde pozitif yük taşıyıcıları mevcuttur ve delik olarak da bilinmektedir.

Bu delikler P tipi kristal yapının elektrik iletkenliğini artırmakta, materyal boyunca daha fazla serbest elektron akışına izin vermektedir. Şekil 3.4'te DC kaynağına bağlantı boyunca delik akışı görülmektedir. Pozitif yük taşıyıcıları, DC kaynağın pozitif kutbuyla geri itilmekte ve negatif kutbu ile çekilmektedir. Böylece delik akımı akışları, elektron akışına zıt yönde olacaktır [9].

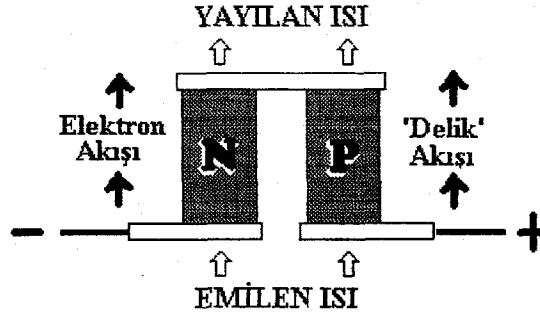


Şekil 3.3. N tipi yarıiletkende elektron akışını gösteren devre



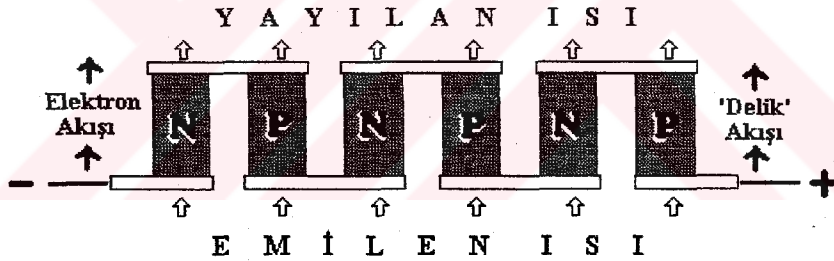
Şekil 3.4. P tipi yarıiletkende delik akışını gösteren devre

Bir tek yarıiletken parçadan oluşan bir termoelektrik aygıt yapılırsa, yeterli miktarda ısı pompalanamayacaktır. Termoelektrik aygıttan büyük ısı pompalama kapasitesi elde etmek için çok sayıda yarıiletken parça birlikte kullanılır. Şekil 3.5'de görüldüğü üzere birbirine seri bağlı P ve N tipi yarıiletkenlerden oluşan bir yapı görülmektedir. Bu yapı mikromodül (termoçift) olarak adlandırılmaktadır [9].



Şekil 3.5. Termoelektrik mikromodül yapısı

Çok sayıda termoelektrik mikromodül kullanılması durumunda ısı pompalama kapasitesi artmaktadır. Şekil 3.6'da mikromodüllerin elektriksel yönden seri, termal yönden paralel olacak şekilde bağlantısı görülmektedir.

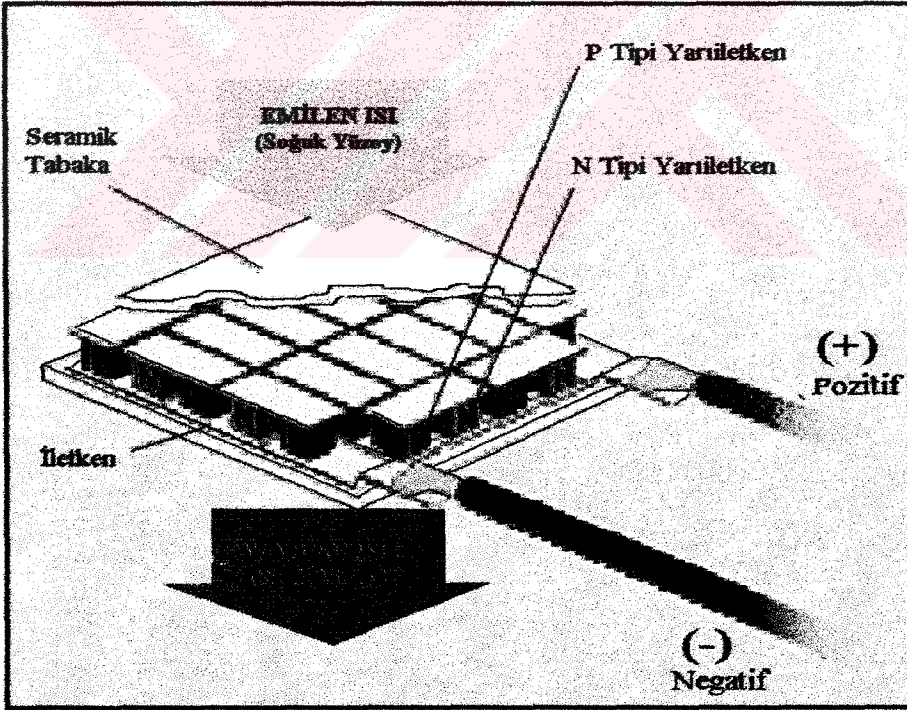


Şekil 3.6. Termoelektrik mikromodüllerin seri bağlantısı

Mikromodüllerden oluşan seri termoelektrik devrede, DC gerilim kaynağının pozitif kutbu P tipi yarıiletken ve negatif kutbu da N tipi yarıiletkenine bağlanmıştır. P yarıiletkenindeki delikler, pozitif gerilim potansiyeli ile itilirken, negatif kutup tarafından çekilir. Aynı şekilde, N yarıiletkenindeki elektronlar negatif gerilim potansiyeli ile itilirken, DC gerilim kaynağının pozitif kutbu tarafından çekilir. Elektronlar P yarıiletkenine ulaştığında, P tipi yarıiletkenin kristal yapısındaki delikler boyunca kolayca akarlar. Böylece elektronlar DC gerilim kaynağının negatif kutbundan sürekli olarak N yarıiletken boyunca, bakır plaka boyunca, P yarıiletken boyunca akarak kaynağın pozitif kutbuna geri gelir.

N ve P tipi yarıiletkenlerin dizilimiyle oluşturulan seri devrede (Bkz. Şekil 3.6), yük ve ısı akışının yarıiletkenlerin hepsinde aşağıdan yukarıya doğru olduğu görülür. Böylelikle de alt tarafta soğuma, üst tarafta da ısınma meydana gelmektedir [9].

Termoelektrik yarıiletken dizileriyle imal edilen aygıtlarda, mekanik olarak her şeyi birlikte tutmak gerekmektedir. Mekanik gerilim, elektriksel direnç ve termal ısı arasında en iyi uzlaşmayı temsil ettiğinden, seramik plakalar, bu amaç için endüstri standardı olmuştur. Seramiğin dış yüzeyleri, dış dünya ve termoelektrik modül arasında termal arabirim olarak kullanılır [9]. Mikromodüller seramik iki plaka arasına elektriksel yönden seri, termal akış yönünden paralel olacak şekilde, Şekil 3.7’de görüldüğü gibi paketlenmişlerdir. Bu pakete termoelektrik modül adı verilmektedir.



Şekil 3.7. Termoelektrik modülün yapısı

Bir mikromodülün veya mikromodüllerden oluşan bir termoelektrik modülün optimum akım şiddetinin değeri mikromodülün üretiminde kullanılan termoelektrik yarıiletkenlerin kalitesine, boyutlarına ve imalat özelliklerine göre değişir [5, 10].

Uygulamalarda tek bir modül, birkaç modül kaskat veya paralel bağlanarak kullanılabilir. Kaskat bağlantıda modüller üst üste yerleştirilerek aynı güçte daha fazla ΔT elde edilmektedir. Paralel bağlantıda yan yana yerleştirilen elemanlardan aynı ΔT ile daha fazla soğutma gücü elde edilmektedir [8].

3.2.3. Termoelektrik modülde ısının taşınması

Termoelektrik modülde Peltier olayı ile oluşan ısı transferi sonucunda yüzeylerden biri soğumakta, diğeri ısınmaktadır. Yani Peltier olayıyla ısı, soğuk yüzeyden sıcak yüzeye transfer edilmekte, ayrıca bir ısı üretilmemektedir. Termoelektrik modül ısıyı transfer etmek için elektronların enerji seviyelerindeki değişimi kullanan bir ısı pompasıdır. Elektronlar iki farklı termoelektrik materyalin oluşturduğu jonksiyondan geçerken, bir enerji soğurucu veya yayıcı değişime uğramaktadırlar. Akım düşük enerji seviyesine sahip P tipi yarıiletken, yüksek enerji seviyesine sahip N tipi yarıiletken akarken, elektronlar soğuk yüzeyden aldıkları enerjiyi sıcak yüzeye taşımaktadırlar. Dışarıdan verilen elektriksel güç, elektronların sistem içinde hareket etmeleri için gerekli enerjiyi sağlamakta ve böylece hareketlenen elektronlar değişen enerji düzeyleri arasında ilerlerken ısı transfer etmekte, başka bir deyişle ısı taşımaktadırlar. Dışarıdan verilen elektriksel güç artırılırsa, hareketli elektron sayısı da artacağından soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasındaki ısı transfer miktarı da artacaktır. Eğer akım yönü ters çevrilirse, bu işlem tersine işleyecek ve dolayısıyla sıcak ve soğuk yüzeyler kendi arasında yer değiştireceklerdir [8].

3.2.4. Termoelektrik modülün avantajları ve uygulama alanları

Elektrik enerjisi üretimi, soğutma ve ısıtma gibi amaçlar için kullanılan termoelektrik modül birçok avantaja sahiptir. Bu avantajlar maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir :

- Küçük, hafif ve basit yapıdadırlar.

- Termoelektrik modüller yarıiletkenlerden yapıldığından, hareketli parçaları yoktur. Bu nedenle sessiz, sarsıntısız ve güvenilir bir şekilde çalışmaktadırlar.
- Herhangi bir yönde çalışabilmektedirler.
- Ortalama ömürleri 200 000 saat kadardır [8]. Bu süre yaklaşık olarak 25 yıl kadardır. Bir defa montaj edildikten sonra uzun süre bakım gerektirmemektedir.
- Sıcaklık kontrolleri kolaylıkla yapılabilir.
- Elektriksel ve elektromanyetik gürültüleri minimum seviyededir [8].
- Yerçekimi olmayan yerlerde veya dünya yerçekimi kuvvetinin birkaç katında çalışabilmektedirler.
- Termoelektrik modüller DC gerilim esasına göre çalışmaktadır.
- Uygulanan akım yönü değiştirilerek, modüldeki ısınma ve soğuma yüzeyleri yer değiştirilebilir.

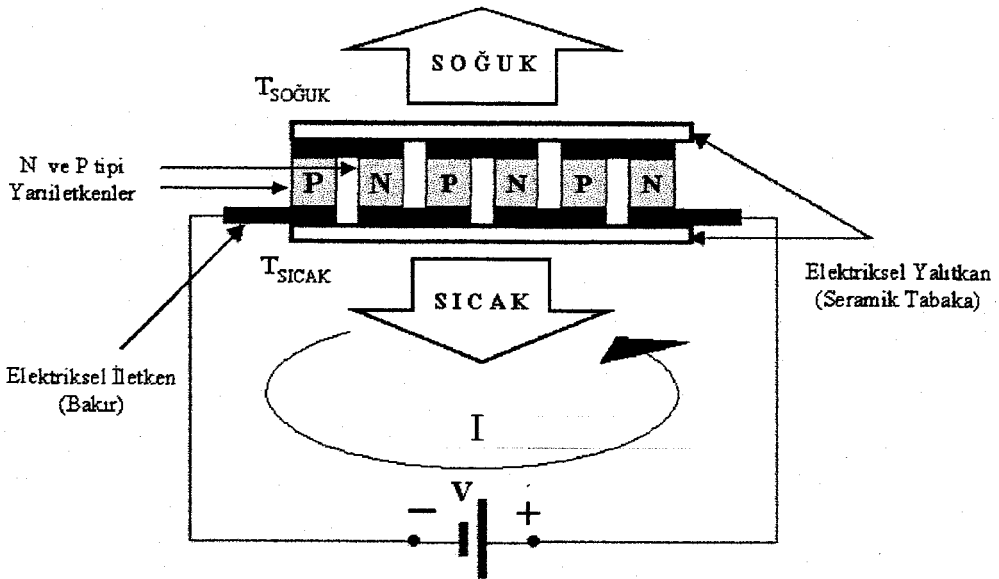
Termoelektrik modüller bu özelliklerden dolayı birçok alanda, değişik amaçlara yönelik uygulamalar için rahatlıkla kullanılabilir. Termoelektrik modüllerin jeneratör olarak kullanılmasıyla, termal bölgelerde şebeke gerilimi olmadan günlük ihtiyaçlarımızda kullanacağımız elektrik enerjisinin elde edilmesi mümkündür. Dolayısıyla deniz, çöl, uzay gibi şebeke gerilimi olmayan yerlerde de elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Termoelektrik modüller ulaşım araçlarında, ilaç muhafazalarında ve elektrik donanımlarında soğutucu olarak kullanılmaktadır. Termoelektrik modüllerin klima gibi ısıtıcı ve soğutucu olarak kullanıldığı alanlar da mevcuttur.

Termoelektrik jeneratörler ağırlık, güvenilirlik gibi avantajlarıyla kırsal alanlarda ve uzay çalışmalarında kullanılmaktadır. Örneğin, Voyagers'ın silikon-germanyumdan yapılmış termoelektrik jeneratörü 1980'den beri bu uzay aracına enerji sağlamaktadır. Enerji üretiminin daha birçok yıl sürmesi beklenmektedir [11].

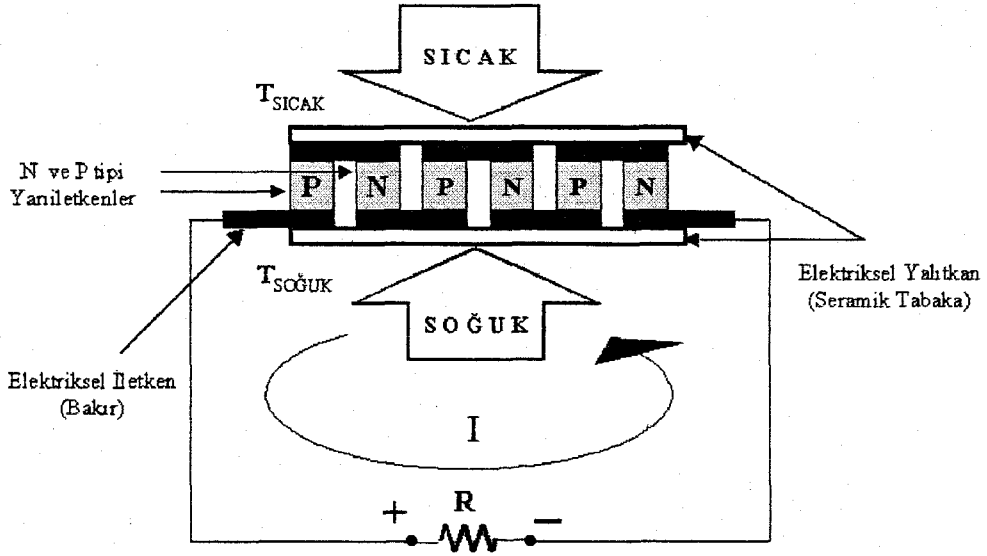
3.3. Termoelektrik Modülün Jeneratör Olarak Kullanılması

Isı akışının doğrudan yararlı elektrik enerjisine çevrildiği bir çok işlemlerden biri olan termoelektrik enerji üretimi yüksek güvenilirlik, sessizlik, hareketli parçaların olmayışı ve basitliği nedeniyle hem üretim sistemi olarak hem de güç kaynağı olarak uzun ömürlü bakımsız çalışmayı vaat etmektedir [12]. Hareket eden hiçbir parçaya sahip olmadıklarından bunlar akustik emisyon olmadan ve yüksek derecede güvenle kullanılabilirler. Düşük seviyede ısı değişiklikleri de kullanımdaki güvenilirliği artırır. Ek olarak, bunlar hiçbir kimyasal emisyon üretmeyeceklerdir ve termal izler nispeten atılabilir olacaktır [13]. Yüksek düzeyde, yüksek sıcaklıkta enerji kaynakları ile yüksek sıcaklık farkları (ΔT)'nda daha yüksek verim alınmasını sağlarlar [14].

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi bir termoelektrik modül, iki seramik tabaka arasında elektriksel olarak birbirine seri, termal olarak birbirine paralel olacak şekilde bağlantılı P ve N tipi yarıiletkenlerinden oluşmaktadır. Uygun kutba DC akımın uygulanmasıyla üst tabakadan alt tabakaya doğru ısı pompalanacak ve sonuçta üst yüzey soğuyacaktır. DC kutupları ters çevrilerek üst yüzey ısı kaynağı durumuna getirilebilir [14].



Şekil 3.8. Soğutucu modunda termoelektrik modül



Şekil 3.9. Jeneratör modunda termoelektrik modül

Termoelektrik devrede sadece DC kaynak yerine yük konulup, termoelektrik modülün üst yüzeyine ısı uygulanılmasıyla Şekil 3.9'da görüldüğü gibi termoelektrik güç jeneratörü yapılabilir. Elektrik enerjisi termoelektrik yarıiletkenler boyunca ısı akışıyla elektriksel taşıyıcıların hareketinden türetilmiştir. Delikler ya da pozitif yük taşıyıcıları, P tipi yarıiletken parçanın soğutucu yüzeyine hareket ederler. Benzer şekilde, N tipi yarıiletken parçalarda elektron akışı, N tipi yarıiletken parçanın soğutucu yüzünde açıkça negatif şarj ile sonuçlanır [14].

Teknolojik olarak ticari termoelektrik jeneratörler, termoelektrik soğutuculara göre genelde azdır. Soğutucular küçük sıcaklık farklarında (ΔT), maksimum COP (Coefficient of Performance- Performans katsayısı) ya da soğutma verimine sahiptirler. Oysa jeneratörler büyük sıcaklık farklarında (ΔT) maksimum verime sahiptirler. Termoelektrik jeneratörlerin yüksek işletim sıcaklıkları sonucunda, PbTe ve Si/Ge alaşımları gibi farklı maddeler ve tipik soğutucularinkinden farklı derleyici teknolojiler talep eder [14].

Termoelektrik soğutucular, 180 °K – 400 °K sıcaklık aralığında çalışma için en uygun Bi, Sb, Te ve Se alaşımlarından oluşur. Bu maddeler belirtilen sıcaklık

aralığında en yüksek termoelektrik etkiye sahiptirler. Ayrıca bu maddeler, aygıtların soğutma, ısı pompalama ve güç üretmek için kullanılıp kullanılmamasına aldırılmadan yüksek verime sahiptirler [14].

Termoelektrik modüller, düşük düzey enerji kaynaklarının kullanılmasıyla güç jeneratörleri olarak kullanılabilirler. Yüksek performanslı materyaller kullanılırsa 500°K altındaki sıcaklıklarda en yüksek verim oranına sahip termoelektrikler sağlanabilir [14].

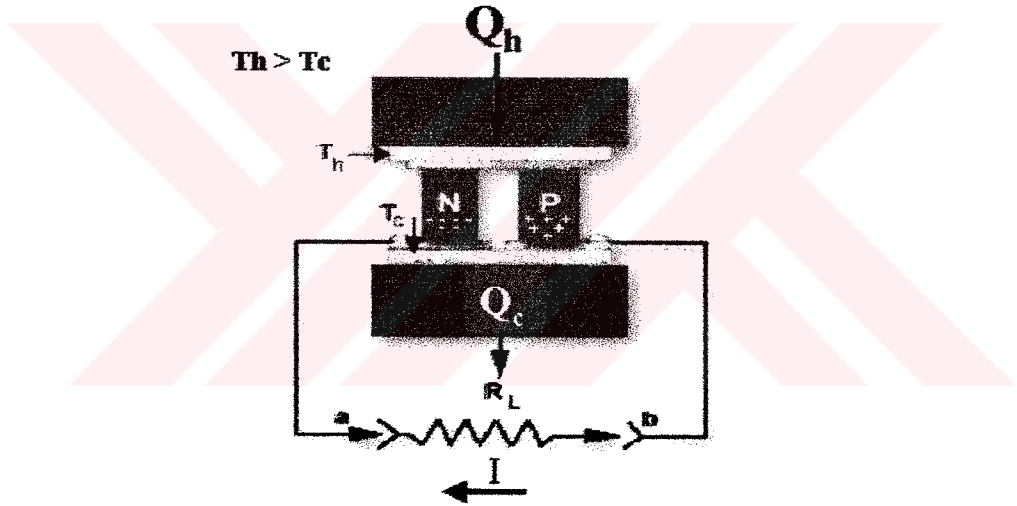
Termoelektrik modüllerin, jeneratör modunda kullanılmasında dikkat edilecek önemli bazı pratik konular vardır. Bunlardan biri, modülün beklenen maksimum sıcaklıkta bozulmadan kalması durumudur. Birçok standart termoelektrik modül, yaklaşık olarak 138°C'de eriyen Bi/Sb lehimleme ile imal edilmiştir. Ancak bazı termoelektrik modüllerde, 200°C'lik hatta 300°C'ye yaklaşan sıcaklıklarda çalışması için tasarlanan daha yüksek lehimler kullanılmaktadır. Herhangi bir durumda, yüksek sıcaklıklara maruz kalan bir termoelektrik modülün işlevsel ömrüne dikkat edilmelidir. Lehim birleşimleri, yüksek sıcaklıklarda termoelektrik materyalin içine hızla yayılabilir ve performans düşer ve başarısızlığa sebep verebilir. Bu işlem termoelektrik modül üzerine bir yayılma engelleyici uygulanmasıyla kontrol edilebilir. Bazı üreticiler, termoelektrik soğutucuları engelleyici materyal olmadan sağlarlar. Yüksek sıcaklıkta termoelektrik modül üretiminde bir engelleyici materyalin uygulaması standart olmasına rağmen, çoğu zaman asıl niyet sadece kısa vadede ayakta kalmasıdır. Özetleyecek olursak, eğer güç jenerasyon modunda termoelektrik soğutma modülü çalıştırılmak isteniyorsa, beklenen maksimum çalışma sıcaklığında uzun vadeli operasyonu garanti etmek amacıyla yeterlik testi yapılmalıdır [15].

Termoelektrik dönüşüm için doğada çok düşük düzey enerji kaynağı bol miktarda vardır. Bunlara termal sular, okyanus termalleri, güneş enerjisi, buhar ve çeşitli atık çöp ısıları örnek olarak verilebilir. Normalde soğutma için tasarlanmış olan termoelektrik modüller güç üretimi için çok uygundur. Çünkü bu nominal

sıcaklıklarda en yüksek termoelektrik verimli maddelerden yapılmışlardır. Düşük düzeyde enerji kaynakları için soğutma amaçlı tasarlanan termoelektrik modüller termoelektrik güç jeneratörleri olarak kullanılabilir [14].

3.4. Termoelektrik Modülde Güç Üretim Hesaplamaları

Güç üretim hesapları, termoelektrik modülün temelini oluşturan mikromodül yapısında incelenebilir. Soğutucu olarak tasarlanan termoelektrik modüller, jeneratör olarak kullanıldığında elde edilen güç üretim miktarı modülün özelliklerine ve sıcaklık farkına bağlı olarak değişebilmektedir.



Şekil 3.10. Jeneratör modunda tek bir termoelektrik mikromodül

Şekil 3.10'da mikromodülün ayrı yüzeylerine birbirinden farklı T_h ve T_c sıcaklıklarının uygulandığı görülmektedir. Mikromodülde, R_L yükü olmadan a ve b noktaları arasındaki ölçülen açık devre gerilimi,

$$V = \alpha \cdot \Delta T \quad (3.4)$$

olup burada,

V : Volt değerinde mikromodül çıkış gerilimi

α : Volt / °K şeklinde ortalama Seebeck katsayısı

ΔT : $T_h - T_c$, °K biriminde mikromodül üzerindeki sıcaklık farkıdır.

Termoelektrik mikromodüle bir yük bağlandığında yükten geçen akım,

$$I = \frac{\alpha \cdot \Delta T}{R_C + R_L} \quad (3.5)$$

olup burada,

I : Jeneratör çıkış akımı (A)

R_C : Termoelektrik mikromodülün ortalama iç direnci (Ω)

R_L : Yük direncidir (Ω).

Termoelektrik mikromodülde watt olarak toplam ısı (Q_h) girişi ,

$$Q_h = \alpha \cdot T_h \cdot I - 1/2 \cdot I^2 \cdot R_C + K_C \cdot \Delta T \quad (3.6)$$

olup burada,

Q_h : Isı girişi (W)

K_C : Termoelektrik mikromodülün ısı iletkenliği (W/°K)

T_h : Termoelektrik mikromodülün sıcak taraf sıcaklığıdır (°K).

Bu durumda mikromodülün verimi (η),

$$\eta = \frac{V \cdot I}{Q_h} \quad (3.7)$$

formülü ile ifade edilebilir. Tam bir modül bir sıra termoelektrik mikromodülden meydana geldiğinden, gerçek bir modülle ilgili formül aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$V_o = \alpha_M \cdot \Delta T = I \cdot (R_M + R_L) \quad (3.8)$$

Formülde,

V_o : Jeneratör çıkış gerilimi (V)

α_M : Modülün ortalama Seebeck katsayısı (V/°K)

R_M : Modülün ortalama direncidir (Ω).

Ortalama modül sıcaklığı ise aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$T_{ORT} = \frac{T_h + T_c}{2} \quad (3.9)$$

Modülün watt olarak çıkış gücü (P_o),

$$P_o = R_L \cdot \left[\frac{\alpha_M \cdot \Delta T}{R_M + R_L} \right]^2 \quad (3.10)$$

olarak yazılabilir. Modülün V / °K olarak ortalama Seebeck katsayısı (α_M),

$$\alpha_M = 2 \cdot \alpha \cdot N \quad (3.11)$$

ile, ohm olarak ortalama direnci (R_M),

$$R_M = \frac{2 \cdot \rho \cdot N}{G} \quad (3.12)$$

ile ve W / °K olarak termal iletimi (K_M) de,

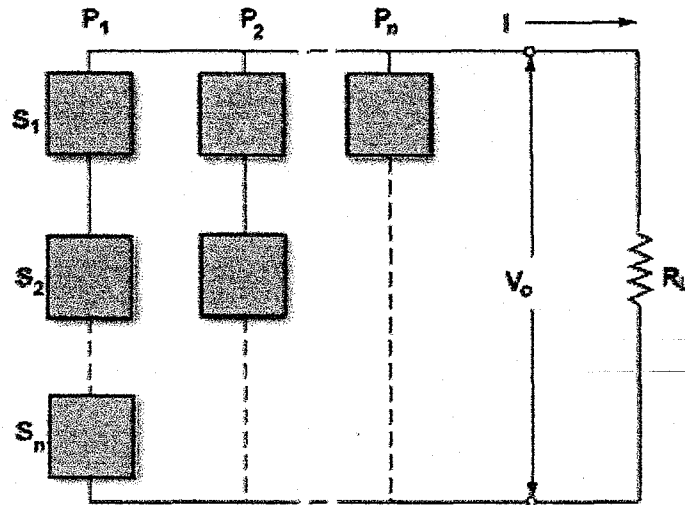
$$K_M = 2 \cdot \kappa \cdot N \cdot G \quad (3.13)$$

ile ifade edilebilir. Burada,

- κ : Termal iletkenlik ($\text{W/cm} \cdot ^\circ\text{K}$)
- G : Termoelektrik modülün geometri faktörü (cm)
- ρ : Özdirenç ($\Omega \cdot \text{cm}$)
- N : Termoelektrik modülde toplam mikromodül çift sayısıdır.

Termoelektrik jeneratörün temelini oluşturan modüller tek başlarına istenen düzeydeki akım ve gerilimi, dolayısıyla üretim gücünü sağlamayabilirler. Bu nedenle ihtiyaç durumuna göre termoelektrik modüller birbirine elektriksel olarak seri bağlanıp elde edilen çıkış gerilimi yükseltilebilir. Eğer istenirse modüller paralel bağlanarak jeneratörden çekilen akım artırılabilir. Jeneratörü oluşturan modüllerin seri-paralel bağlantı düzenleri ile hem çekilen akım hem de çıkış gerilimi dolayısıyla da çıkış gücü istenen büyüklükte elde edilebilir.

Sonuçta, termoelektrik jeneratörlerin büyük bir kısmı elektriksel olarak seri, paralel veya seri/paralel düzende bağlı olabilecek bir sıra bireysel modülü içermektedir. Tipik bir jeneratör düzeni Şekil 3.11'de görüldüğü gibi NP adet paralel ve her paralel kolda NS adet seri olmak üzere toplam NT adet modülden oluşmaktadır.



Şekil 3.11. Modüllerin seri ve paralel düzenlenmesiyle tipik termoelektrik jeneratör

Jeneratörün watt olarak çıkış gücü (P_o),

$$P_o = V_o \cdot I \quad (3.14)$$

şeklinde yazılabilir. Burada jeneratöre bağlı R_L yük direncinden geçen akım (I),

$$I = \frac{NS \cdot \alpha_M \cdot \Delta T}{\frac{NS \cdot R_M}{NP} + R_L} \quad (3.15)$$

olarak ve jeneratörün çıkış voltajı (V_o) ise,

$$V_o = R_L \cdot \frac{NS \cdot \alpha_M \cdot \Delta T}{\frac{NS \cdot R_M}{NP} + R_L} \quad (3.16)$$

olarak yazılabilir. Jeneratöre vat olarak toplam ısı girişi (Q_h), Eş. 3.6'dan yararlanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Q_h = NT \cdot \left(\frac{\alpha_M \cdot T_h \cdot I}{NP} - 0,5 \cdot (I / NP)^2 \cdot R_M + K_M \cdot \Delta T \right) \quad (3.17)$$

Giriş gücü ve çıkış gücü bilinen jeneratörün verimi (η),

$$\eta = \frac{P_o}{Q_h} \cdot 100 \% \quad (3.18)$$

formülü ile hesaplanabilir. Jeneratörden maksimum verimi elde edebilmek için yük direnç (R_L) değerinin jeneratör iç direnç (R_J) değerine eşitlenmesi gerekmektedir.

Jeneratör iç direnci (R_J),

$$R_J = \frac{NS \cdot R_M}{NP} \quad (3.19)$$

ile ifade edilebilir [16,17].



4. TASARLANAN SİSTEM

4.1. Sistemin Genel Yapısı

Sistem yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerjiden, doğrudan elektrik enerjisi üretmek için tasarlanmıştır. Şekil 4.1’de mikrodenetleyici kontrollü jeotermal termoelektrik jeneratöre ait fotoğraflar görülmektedir.



Şekil 4.1. Mikrodenetleyici kontrollü jeotermal termoelektrik jeneratör

Sistemde 5V DC, 12V DC ve 220 AC jeneratör çıkışları ön panel üzerinde yer almaktadır. Ayrıca sistem çalışma bilgileri ve uyarı mesajlarının verildiği LCM, üst sıcaklık limiti (ÜSL) değerinin ayarlandığı butonlar ile akü ve termoelektrik jeneratörün devreye girmesini sağlayan açma/kapama anahtarı yine ön panel üzerindedir. Sistemin arka tarafında ise termoelektrik jeneratörün termal su girişi ve çıkışı ile soğuk su girişi ve çıkışı bulunmaktadır. Sisteme ait genel karakteristik özellikler ise Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sistemin genel karakteristik özellikleri

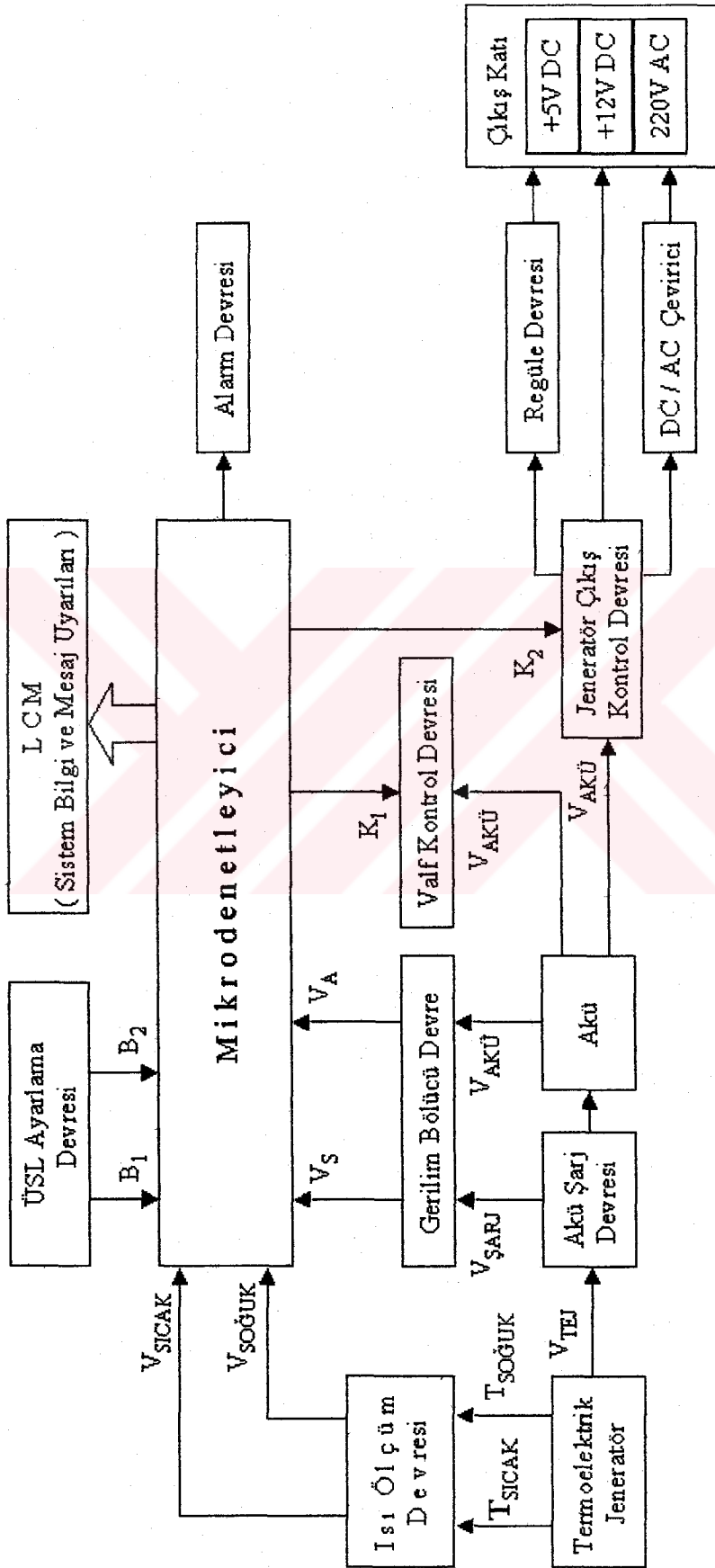
Ebat	48 cm x 44,5 cm x 92 cm
Ağırlık	25 Kg
Termal su sıcaklığının maksimum değeri	130 °C
Jeneratör gücü ($\Delta T = 40^\circ\text{C}$ için)	Maksimum 6,15 W
Jeneratör şarj süresi ($\Delta T = 40^\circ\text{C}$ için)	Minimum 24 saat
Çıkış Gerilimleri (DC ve AC)	5V DC, 12 V DC, 220V AC

Sistem donanımı termoelektrik jeneratör, akü şarj devresi, DC/AC çevirici ünite, ısı ölçüm devresi, gerilim bölücü devre, regüle devresi, alarm devresi, LCM, akü, jeneratör çıkış kontrol devresi, valf kontrol devresi ve mikrodnetleyiciden oluşmaktadır. Şekil 4.2’de mikrodnetleyici kontrollü jeotermal termoelektrik jeneratörün blok şeması görülmektedir. Ayrıca tasarlanan sisteme ait elektronik devre şeması, baskı devre şeması ve baskı devre eleman yerleşim planı Ek-2’de verilmiştir.

4.2. Sistemin Çalışması

Sisteme termal suyun verilmesiyle birlikte ısıtıcı blokta elde edilen ısı, termoelektrik modüllerin bir yüzeyine uygulanmaktadır. Termoelektrik modüllerin diğer yüzeyinde normal soğuk su verilen soğutucu blok ile soğutma yapılmaktadır. Böylelikle yüzeyler arası sıcaklık farkı meydana getirilmektedir. Bu sıcaklık farkına bağlı olarak termoelektrik modüllerin uçlarında bir DC gerilim üretilmektedir.

Termoelektrik modüllerin uçlarındaki DC gerilim, akü şarj ünitesine uygulanarak akünün şarjı sağlanmaktadır. Akü sürekli olarak şarjda kalmaktadır. Akü çıkışı ile de hem sistem donanımının enerjisi sağlanmakta hem de jeneratör çıkışları için gerekli beslenme yapılmaktadır. Aküden elde edilen 12V DC gerilim doğrudan çıkış olarak kullanılabilir. Ayrıca aküden elde edilen çıkış DC/AC çevirici girişine uygulanarak, sistem çıkışından 220V AC gerilim alınması sağlanmaktadır. Bunlara



Şekil 4.2. Mikrodenetleyici kontrollü jeotermal termoelektrik jeneratörün blok şeması

ilaveten akü çıkışındaki regüle devresi ile elde edilen 5V DC gerilim, hem sistem içinde kullanılmakta hem de çıkışa verilmektedir.

Tasarlanan sistemde K_{SISTEM} anahtarı kullanılarak termoelektrik jeneratör ve akü devreye girmekte, mikrodenetleyici ile gerekli olan kontroller yapılmaktadır. Isı ve gerilim ölçümleri ile elde edilen verilere göre gerekli kontrol sinyalleri üretilmektedir. TEJ'de T_{SICAK} ve $T_{SOĞUK}$ sıcaklıklarına ilişkin V_{SICAK} ve $V_{SOĞUK}$ gerilimleri, mikrodenetleyici analog girişlerine verilmektedir. Ayrıca akü ve şarj devresinde, $V_{AKÜ}$ ve $V_{ŞARJ}$ gerilimleri için gerilim bölücü devreden alınan V_A ve V_S analog gerilim değerleri de mikrodenetleyici analog girişlerine verilmektedir. Bu verilere göre gerekli kontroller yapılarak LCM'de sıcak ve soğuk ölçüm değerleri, ΔT sıcaklık farkının yeterli olup olmadığı, ÜSL, akü gerilimi, akü şarj gerilimi, akü şarj akımı ve sistemin çalışma durumu hakkında bilgiler verilmektedir.

Sistemde bulunan akü şarjının normal olarak yapılabilmesi için tamamıyla boşalmaması gerekmektedir. Bu nedenle akü gerilimi 10V'un altına düştüğünde jeneratör çıkışları kapatılarak, sesli alarm ve LCM'ye ilgili mesaj verilmektedir.

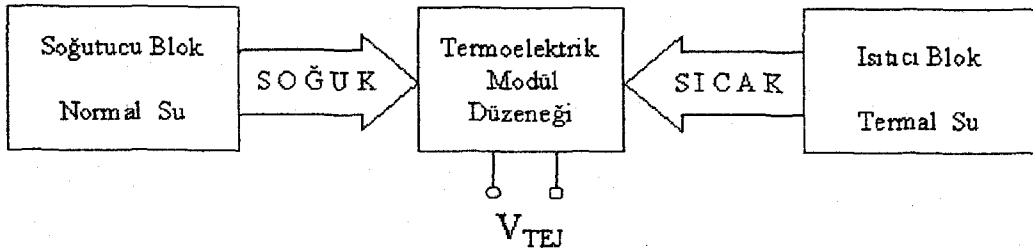
Tasarımda kullanılan termoelektrik modüller 130°C'ye kadar dayanabilmekteler. Yüksek derecede sıcaklıklar uygulandığında bu modüllerde erime ve bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bu olumsuz sonuç neticesinde de sistem verimli çalışmamakta, hatta tamamıyla susmaktadır. Sistemde ÜSL belirlenerek aşırı ısıya karşı koruma yapılmaktadır. ÜSL'nin değeri LCM'de sürekli gösterilmekte olup, bu değerin belirlenmesinde B_1 ve B_2 butonları kullanılmaktadır. ÜSL B_1 butonu ile artırılırken, B_2 butonu ile azaltılmaktadır. Termal sıcaklık ÜSL'nin ayarlanan değerine ulaştığında sesli alarm ile birlikte LCM'ye gerekli uyarı yapılmaktadır. Kontrol valfi kapatılarak termal su girişi engellenmektedir. Sıcaklık değeri ÜSL'nin 5°C altına düştüğünde, kontrol valfi açılarak yeniden termal su girişine izin verilmektedir. Böylelikle de aşırı ısınma engellenmekte ve termoelektrik modüller korunmuş olmaktadır. Jeotermal alanın durumuna göre termal sıcaklık değeri çok düşük de olabilir. Bu durumda yeterli ΔT sıcaklık farkı sağlanamamış olacak ve

termoelektrik modülden yeterli DC gerilim elde edilemeyecektir. Bu durumda sistemde DC/AC çevirici için gerekli kaynak belirli bir süre için akü ile sağlanmaktadır. Ayrıca ΔT sıcaklık farkının yetersiz olduğuna ilişkin uyarı LCM'de gösterilmektedir.

4.3. Termoelektrik Jeneratör (TEJ)

TEJ mikrodeneleyici kontrollü jeotermal termoelektrik jeneratör donanımının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. TEJ ısıtıcı blok, soğutucu blok ve termoelektrik modül düzeneği olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır.

Termoelektrik modül uçlarında bir potansiyel farkı elde edebilmek için, modülün yüzeyleri arasında bir sıcaklık farkının olması gerekmektedir. Bu sıcaklık farkının meydana getirilmesi için, modülün bir yüzeyinin ısıtılıp, diğer yüzeyinin soğutulması gerekmektedir. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi ısıtıcı blok ile termoelektrik modül düzeneğinin bir yüzeyine uygulanan ısı, diğer yüzeyinden soğutucu blok ile emilerek ısınin taşınması sağlanmış olmaktadır.

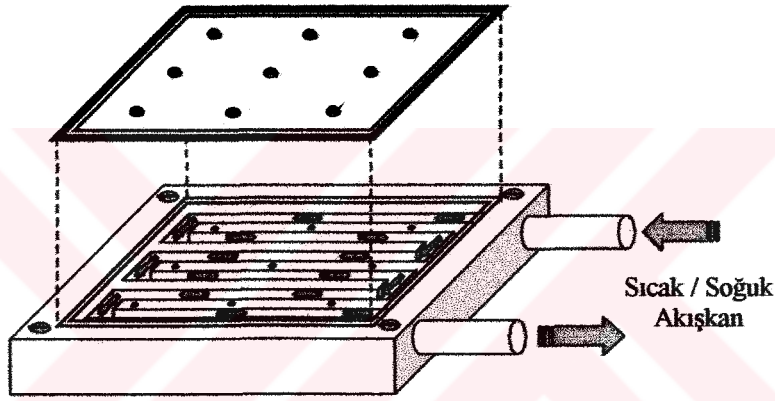


Şekil 4.3. Termoelektrik jeneratörde güç üretimi

Sistemde termoelektrik modüllerin ısıtıcı bloktan aldıkları ısıyı en iyi şekilde aktarabilmeleri için aralarında mesafe bırakılmıştır. Termoelektrik modüller dışında kalan boş alanlar için, doğrudan ısı akışını engellemek amacıyla da ısı yalıtım bloğu kullanılmıştır. Ayrıca termoelektrik modüllerin her iki yüzeyine ısı iletim pastası sürülerek, ısı transferinin en üst düzeyde olması sağlanmıştır.

4.3.1. Isıtıcı ve soğutucu blok

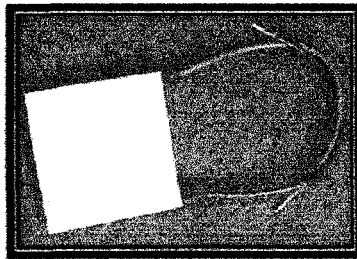
Termoelektrik modül yüzeyinin ısıtılmasında ve soğutulmasında Şekil 4.4'te görüldüğü gibi, ısı iletimi yüksek alüminyumdan yapılmış ızgara blok kullanılmaktadır. İçinden termal su dolaştırılan alüminyum blok ısınmakta ve bu ısı termoelektrik modüle yansıtılmaktadır. Termoelektrik modülün diğer yüzeyinden ısı alınır ve soğutulması için ise ısıtıcı blok ile aynı yapıda soğutucu blok kullanılmaktadır. Soğutucu blok içinden ise normal soğuk su dolaştırılmaktadır.



Şekil 4.4. Isıtıcı ve soğutucu blok yapısı

4.3.2. Termoelektrik modül düzeneği

Sistemde Melcor firmasının CP1.4-127-06L kodlu termoelektrik modülü kullanılmaktadır. Şekil 4.5'te sistemde kullanılan termoelektrik modül görülmektedir.



Şekil 4.5. CP1.4-127-06L termoelektrik modül

Termoelektrik modüller yapılarına göre karakteristik özelliklere sahiptir. Çizelge 4.2’de CP1.4-127-06L termoelektrik modüle ait üretici firma tarafından verilen parametrik özellikler görülmektedir. Çizelge 4.3’de ise materyal parametreleri verilen termoelektrik modülün, geometri faktörü (G) 0,118 cm’dir.

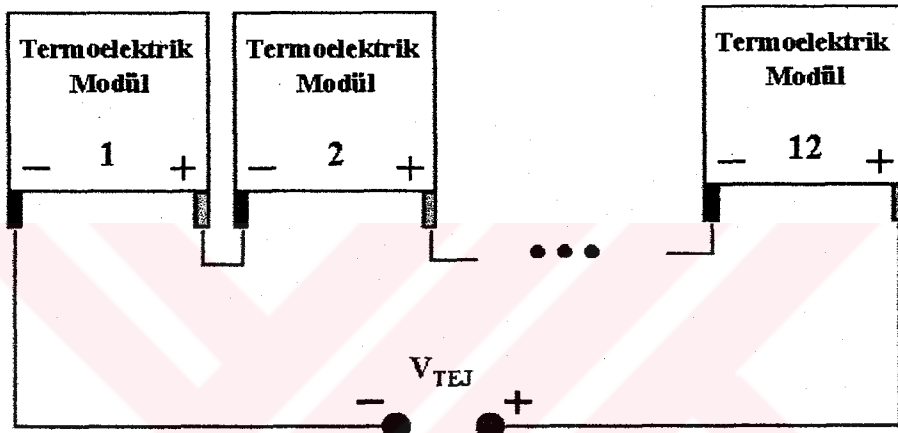
Çizelge 4.2. CP1.4-127-06L termoelektrik modülün parametrik özellikleri

Özellik	Değer
N – P-N Mikromodül Sayısı	127 adet
I_M – Maksimum Akım ($T_h = 27^\circ\text{C}$ için)	6 A
V_M – Maksimum Voltaj ($T_h = 27^\circ\text{C}$ için)	15,4 V
ΔT_M – Maksimum Sıcaklık Farkı ($T_h = 27^\circ\text{C}$ için)	67 °C
Q_M – Maksimum Güç ($T_h = 27^\circ\text{C}$ için)	51,4 W
Kullanılabilir Sıcaklık Aralığı	- 40°C - +130°C
Boyut	40 x 40 x 3,8 mm
Ağırlık	21,8 gr

Çizelge 4.3. CP1.4-127-06L termoelektrik modülün materyal parametreleri [17]

T_{ORT} (°K)	α (V/°K)	ρ (ohm.cm)	κ (W/(cm. °K))	Z (°K ⁻¹)
273	0,000194	0,00092	0,0161	0,00254
300	0,000202	0,00101	0,0151	0,00268
325	0,000207	0,00116	0,0153	0,00244
350	0,000210	0,00128	0,0155	0,00222
375	0,000200	0,00137	0,0158	0,00188
400	0,000196	0,00148	0,0163	0,00159
425	0,000190	0,00158	0,0173	0,00132
450	0,000186	0,00168	0,0188	0,00106
475	0,000179	0,00176	0,0209	0,00087

Tasarlanan sistemde bir termoelektrik modülden elde edilecek enerji akü şarjı için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle termoelektrik modüller elektriksel yönden seri, termal yönden ise paralel olacak şekilde birbirlerine bağlanarak bir termoelektrik modül düzeneği oluşturulmuştur. Şekil 4.6'da bu termoelektrik modül düzeneği görülmektedir. Sistemde 12 adet CP1.4-127-06L termoelektrik modül kullanılarak elde edilen çıkış gerilimi ve gücü yükseltilmiştir.



Şekil 4.6. Termoelektrik modül düzeneği

4.4. Akü

Sistemde termal su ısısının yetersiz olması durumunda, elektrik enerjisi üretimi olmayacağından 5V DC, 12V DC ve 220V AC çıkışların elde edilmesi de mümkün olmayacaktır. Bu nedenle sistemde akü kullanılarak, TEJ ile elde edilen elektrik enerjisi depolanmaktadır. Aküde depolanan bu elektrik enerjisi, TEJ ile elektrik enerjisi üretimi durduğunda sistemi beslemektedir. Akü enerjisi ile jeneratörden doğrudan 5V DC çıkışın, 12V DC çıkışın, DC/AC çevirici üzerinden 220V AC çıkışın ve bunlara ilaveten mikrodenetleyici, LCM ve diğer donanımın ihtiyacı olan besleme gerilimlerinin belirli bir süre daha karşılanması sağlanmaktadır.

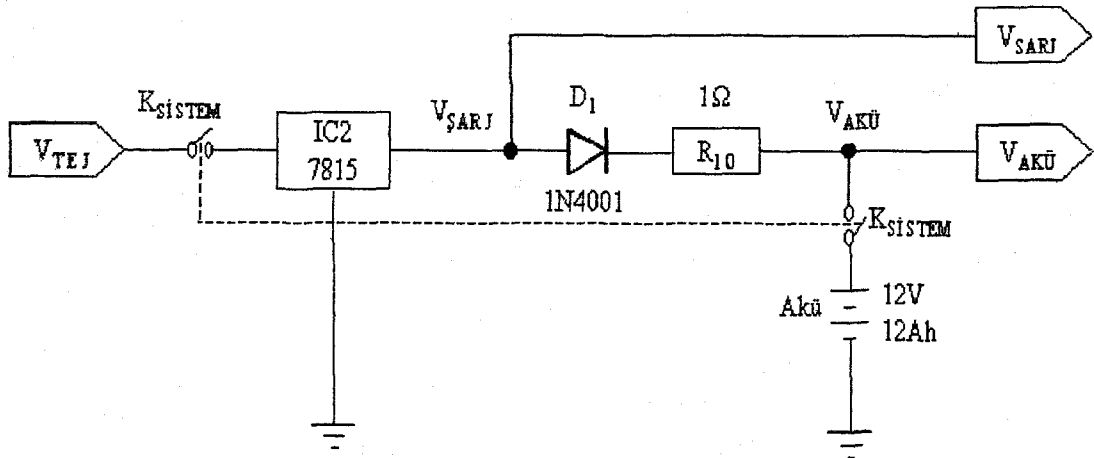
Sistemde Microlyte Plus marka 12V/12Ah kuru tip akü kullanılmıştır. Bu akülerin hızlı şarjı için sabit voltaj metoduyla şarj edilmesi gerekmektedir. Sistemde

kullanılan akünün dolu olarak 15°C 'nin altında 12 ay, 20°C - 30°C arasında 3 ay şarj edilmeden saklanabilme özelliği vardır.

Sistemde kullanılan akü, TEJ ile elektrik enerji üretimi gerçekleştiği sürece, akü şarj devresi üzerinden sürekli şarj edilmektedir. Akü gerilimi 10V'un altına düştüğünde ise 5V ve 12V DC çıkışlar kapatılmaktadır.

4.5. Akü Şarj Devresi

TEJ'den üretilen DC gerilim ile, yine DC gerilim prensibine göre çalışan akünün uygun bir şekilde şarj edilmesi gerekmektedir. TEJ'den sıcaklık farkına bağlı olarak değişen akım çekilebildiğinden akü sabit gerilim ile şarj edilmektedir. TEJ'den elde edilen güce bağlı olarak akünün şarj süresi değişmektedir. Akü şarj oldukça TEJ'den çektiği akım azalmaktadır. Şekil 4.7'de akü şarj devresi görülmektedir. $K_{\text{SİSTEM}}$ anahtarının kullanılmasıyla hem akünün hem de TEJ'ün devreye bağlantısı sağlanmaktadır. Akü devrede yok iken TEJ çıkışının doğrudan devreye girmesini engellemek amacıyla $K_{\text{SİSTEM}}$ anahtarı çift kontak kontrollü kullanılmıştır.



Şekil 4.7. Akü şarj devresi

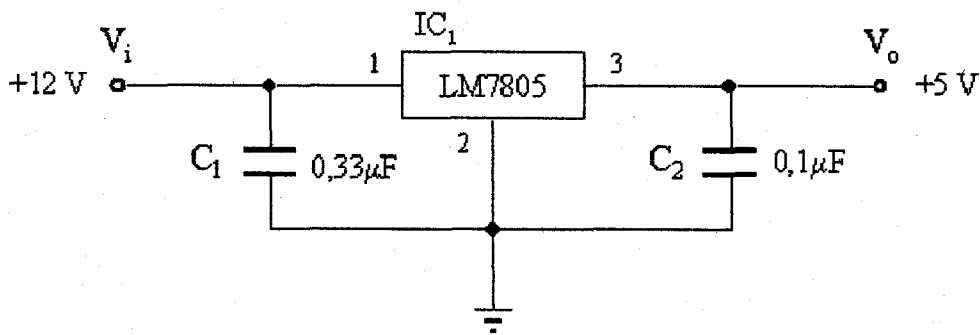
Tasarlanan sistemde TEJ'den sıcaklık farkına bağlı olarak sürekli değişen bir DC gerilim elde edilmektedir. Bu nedenle TEJ çıkışı LM7815 regüle entegresine

verilerek çıkıştan sabit 15V DC gerilim elde edilmektedir. LM7815 regüle entegresinin çıkışı ise aküye bağlanarak akünün şarj edilmesi sağlanmıştır. LM7815 regüle entegresine ait katalog bilgileri Ek-3'te verilmiştir.

Akü şarj devresinde bulunan R_{10} direnci, akü şarj akımının ölçülerek mikrodnetleyiciye aktarılması amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca akünün TEJ üzerinden deşarj olmasını engellemek amacıyla da, devreye D_1 diyodu bağlanmıştır.

4.6. Regüle Devresi

Sistemde hem mikrodnetleyici VDD gerilimi ile diğer elektronik donanımın ihtiyacı olan, hem de jeneratör çıkışı olarak verilen +5V DC gerilimin elde edilmesi amacıyla regüle devresi kullanılmaktadır. Devrede LM7805 regüle entegresi kullanılmıştır. LM7805 regüle entegresine ait katalog bilgileri Ek-3'te verilmiştir. Regüle devresinde aküden alınan +12V DC gerilim V_i girişine verilmekte, V_o çıkışından ise +5V DC gerilim elde edilmektedir. Şekil 4.8'de +5V regüle devresi görülmektedir. Regüle devresinin giriş gerilimi akü üzerinden yapıldığından, kondansatör kapasiteleri düşük değerde seçilmiştir.

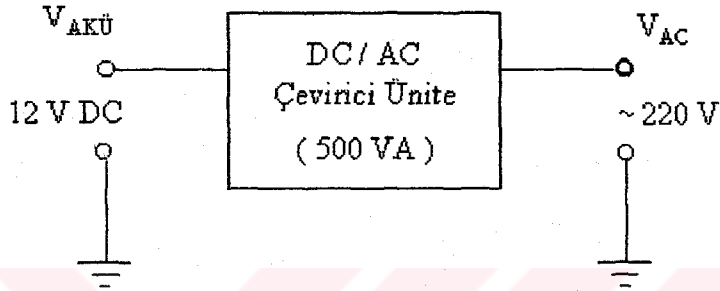


Şekil 4.8. +5V regüle devresi

4.7. DC/AC Çevirici Ünite

Doğru akımı alternatif akıma çeviren elektronik düzeneklere DC/AC çevirici adı verilmektedir. Tasarlanan sistemde aküden alınan 12V DC gerilim, DC/AC çevirici

ile 220V AC gerilime çevrilmektedir. Böylelikle de termoelektrik jeneratör ile elde edilen düşük seviyeli DC gerilim, yüksek seviyeli AC gerilime çevrilmiş olmaktadır. Sistemde aküyü besleyen kaynak, doğrudan DC/AC çevirici üniteyi de beslemektedir. APC marka 500VA gücünde UPS, sistemde DC/AC çevirici olarak kullanılmıştır. Şekil 4.9'da DC/AC çevirici ünitenin blok gösterimi görülmektedir.



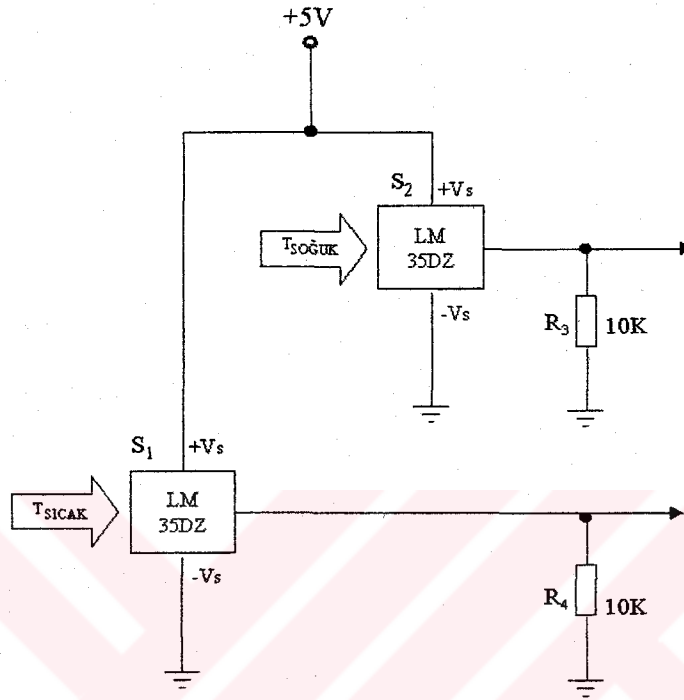
Şekil 4.9. DC / AC çeviri ünite

4.8. Isı Ölçüm Devresi

Sistemde ısıya bağlı olarak yapılacak kontroller için öncelikle termoelektrik modül yüzeylerine uygulanan ısıtıcı ve soğutucu blok ısı değerlerinin öğrenilerek, mikrodenetleyiciye aktarılması gerekmektedir. Termoelektrik jeneratör donanımında sensörler kullanılarak sıcaklıklar öğrenilmekte ve karşılığı olan analog gerilimler üretilmektedir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi S_1 ve S_2 ısı sensörleri ile elde edilen V_{SICAK} ve $V_{SOĞUK}$ analog gerilim seviyeleri mikrodenetleyicinin analog girişlerine uygulanmaktadır.

TEJ'de ısıtıcı blok üzerine S_1 ısı sensörü, soğutucu blok üzerine ise S_2 ısı sensörü yerleştirilmiştir. Dolayısıyla S_1 ile sıcak, S_2 ile soğuk ısı değeri ölçülmüş olmaktadır. T_{SICAK} değerine bağlı olarak S_1 ısı sensörü ile elde edilen V_{SICAK} analog gerilimi mikrodenetleyicinin RA2 girişine, $T_{SOĞUK}$ değerine bağlı olarak S_2 ısı sensörü ile elde edilen $V_{SOĞUK}$ analog gerilimi ise mikrodenetleyicinin RA3 girişine verilmektedir. RA2 ve RA3 analog girişlerindeki gerilimler mikrodenetleyicinin

dahili A/D çeviricisi ile dijital sinyale çevrilerek gerekli kontrol işlemleri yürütülmektedir.



Şekil 4.10. Isı ölçüm devresi

Isı ölçüm devresinde LM35 ısı sensörleri kullanılmaktadır. Bu sensörler ile -55°C ile $+150^{\circ}\text{C}$ arasında sağlıklı bir şekilde ölçüm yapmak mümkündür. LM35 sensörleri her 1°C 'lik ısı artışında 10mV 'luk bir gerilim artışı sağladıklarından lineer olarak çalışmaktadırlar. Bu nedenle LM35 ısı sensörleri ile ölçümler daha kolay yapılmaktadır. LM35 ısı sensörü ile ilgili ayrıntılı katalog bilgisi Ek-3'te verilmiştir.

PIC16F877 mikrodnetleyici 10 bit A/D çeviriciye sahip olduğundan hassasiyet,

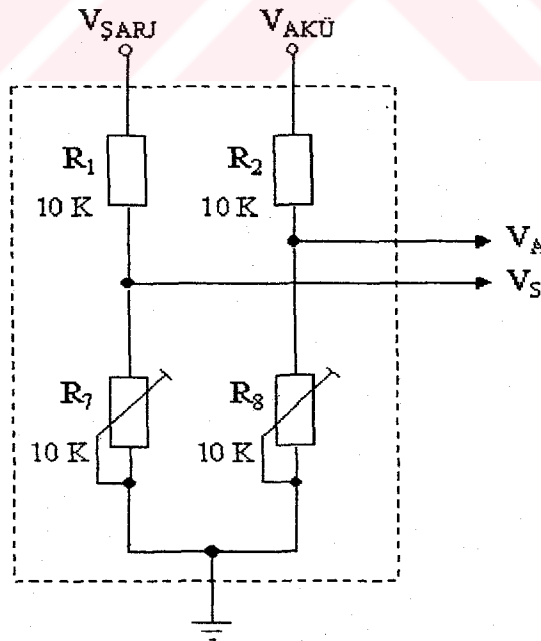
$$\text{A/D Çevirici Hassasiyeti} = \frac{\text{Mikrodnetleyici Referans Gerilimi}}{2^{\text{A/D Bit}}} \quad (4.1)$$

formülü ile hesaplanabilir. Mikrodnetleyicinin referans gerilimi 5V, A/D çeviricisi de 10 Bit olduğundan hassasiyet $5 / 2^{10}$ 'dan yaklaşık 5mV olarak bulunur. Bu

da gösteriyor ki, mikrodnetleyicinin analog girişinden verilecek her 5mV'luk artış için 0,5°C hassasiyet ile ölçüm yapmak mümkün olmaktadır. Bu nedenle dahili A/D çevirici ile elde edilen büyüklüğün yarısı alınarak sonuç doğrudan °C olarak bulunmaktadır.

4.9. Gerilim Bölücü Devre

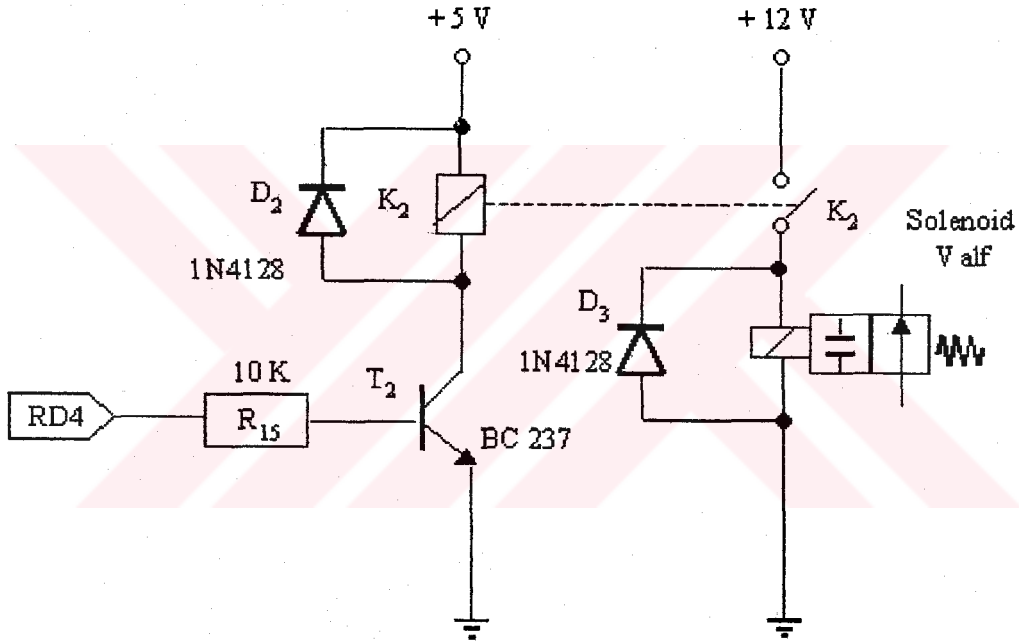
Sistemde akü şarj gerilimi ile akü gerilimi ölçülmektedir. Ölçme mikrodnetleyici analog A portundan alınan gerilim değerlerinin dahili A/D çevirici ile dijital değere dönüştürülmesi ile gerçekleşmektedir. Burada akü şarj gerilimi ve akü geriliminin 5V üzerinden bir çözünürlükte elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle $V_{\text{ŞARJ}}$ ve $V_{\text{AKÜ}}$ uçlarındaki analog gerilimler, devredeki mevcut dirençler ile bölünerek mikrodnetleyici için uygun V_S ve V_A gerilim seviyelerine getirilmektedir. Bu ölçüm değerleri, mikrodnetleyicinin sırayla RA0 ve RA1 port girişlerine verilmektedir. Şekil 4.11.'de gerilim bölücü devre görülmektedir.



Şekil 4.11. Gerilim bölücü devre

4.10. Valf Kontrol Devresi

Sistemde kullanılan termoelektrik modüllerin aşırı ısıya karşı korunmaları gerekmektedir. Bu nedenle sistemde ısıtıcı blok sıcaklığı ÜSL'ye ulaştığında termal su girişinin otomatik olarak kesilip, ÜSL'nin 5°C altına düştüğünde ise açılması amacıyla mikrodnetleyici kontrollü bir solenoid valf kullanılmıştır. Şekil 4.12'de sistemde kullanılan valfin kontrol edilmesine ilişkin devre görülmektedir.



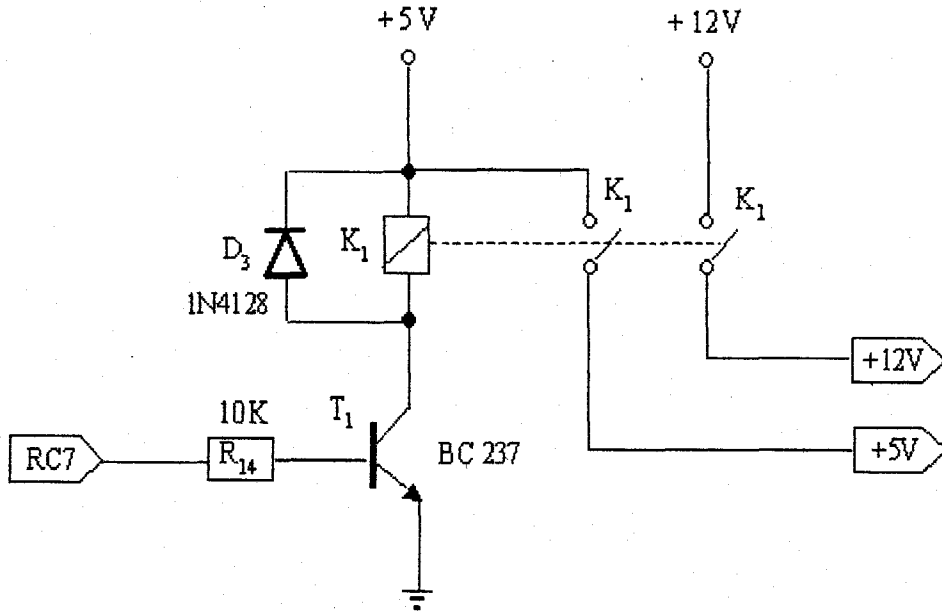
Şekil 4.12. Valf kontrol devresi

Tasarlanan sistemde normalde açık durumda olan ve 12V DC gerilim verildiğinde kapalı duruma geçen bir solenoid valf, termal su geçişinin kontrolü amacıyla kullanılmıştır. Başlangıçta kontrol valfi, K₂ anahtarının açık olmasından dolayı termal su geçişine izin vermektedir. Mikrodnetleyicide RA2 port girişi ile öğrenilen ısıtıcı blok sıcaklık değeri ÜSL'ye ulaştığında, RD4 portundan kontrol valfinin kapatılması amacıyla gerekli sinyal çıkışı verilmektedir. RD4 portundan alınan bu sinyal ile K₂ rölesi yardımıyla aküden alınan 12V DC gerilim kontrol valfine

uygulanmaktadır. Böylelikle valf rölesi çekilerek termal su geçişi engellenmektedir. Isıtıcı blok sıcaklığı ÜSL'nin 5°C altına düştüğünde ise mikrodenetleyici bu sefer RD4 port çıkışını sıfırlamaktadır. Bu durumda 12V DC gerilim beslemesi kesilen valf yeniden açılarak termal su geçişine izin vermektedir. Röle bobinlerinin devreye olan endüktif etkilerinin giderilmesi amacıyla devrede D_2 ve D_3 diyotları kullanılmıştır.

4.11. Jeneratör Çıkış Kontrol Devresi

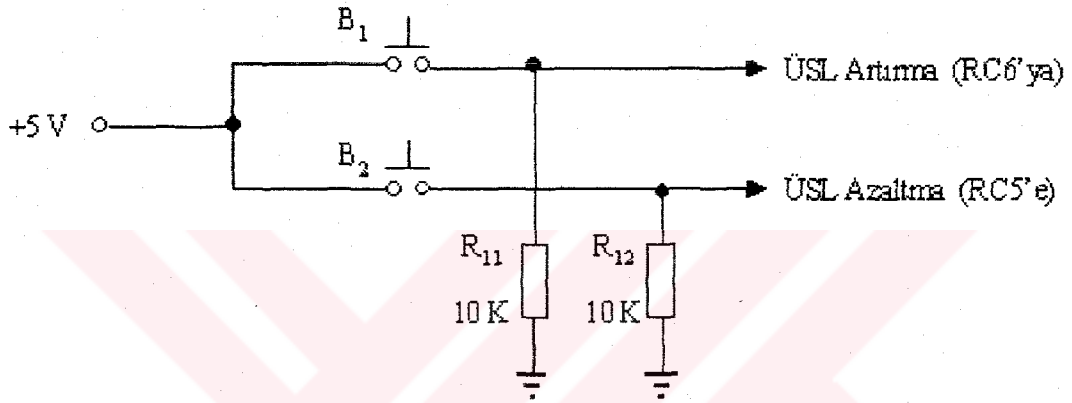
Jeneratörde elektrik enerjisi üretimi olmadığı zamanlarda, sistemde bulunan akü, belirli bir süre daha çekilen akıma bağlı olarak çıkışı beslemektedir. Yalnız akünün tamamıyla boşalmasını engellemek amacıyla, RA0 analog girişinden alınan V_A akü ölçüm gerilimi karşılığı olan 10V'un altına düştüğünde jeneratör çıkışları kapatılmaktadır. Bu amaçla mikrodenetleyicinin RC7 port çıkışında röle yardımıyla K_1 rölesi ile +5V ve +12V DC çıkışları kapatılmaktadır. Röle bobininin devreye olan endüktif etkisinin giderilmesi amacıyla D_3 diyodu kullanılmıştır. Şekil 4.13'te jeneratör çıkış kontrolüne ait devre görülmektedir.



Şekil 4.13. Jeneratör çıkış kontrol devresi

4.12 Üst Sıcaklık Limiti Ayarlama Devresi

ÜSL değerinin ayarlanması amacıyla sırasıyla mikrodnetleyicinin RC6 ve RC5 port girişleri kullanılmaktadır. Bu amaçla B₁ ve B₂ butonları ile gerekli artırma ve azaltma sinyalleri bu port girişlerine verilmektedir. ÜSL değeri Şekil 4.14'de görüldüğü gibi ilgili butonlara her basışta 1°C artırılmakta veya azaltılmaktadır.

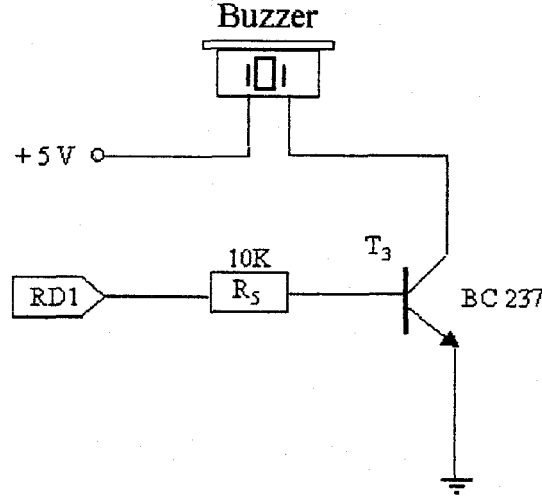


Şekil 4.14. ÜSL ayar devresi

4.13 Alarm Devresi

Şekil 4.15'de alarm kontrol devresi görülmektedir. Burada mikrodnetleyici kontrollü olarak RD1 portundan, 4Hz frekanslı, sürekli kesik olacak şekilde sesli ikaz verilmektedir. Sistemde sesli ikaz için buzzer kullanılmaktadır. Şu durumlarda sesli ikaz verilmektedir:

- 1) Isıtıcı blok sıcaklığının ÜSL'ye ulaşması ve termal su girişinin kontrol valfi ile otomatik olarak kesilmesi durumunda
- 2) Akü gerilimi 10V'un altına düştüğünde; akünün zayıflaması ve çıkışların kapatılması durumunda



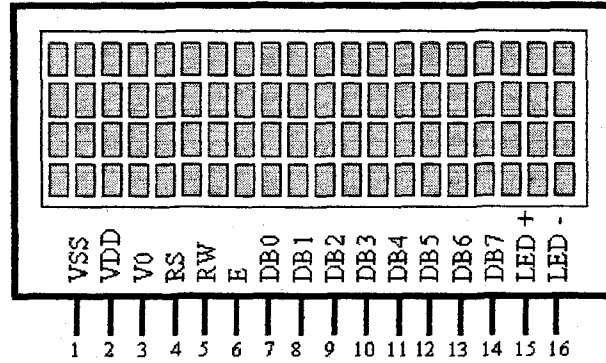
Şekil 4.15. Alarm kontrol devresi

4.14. Likit Kristal Modül (LCM)

Sistemde çalışma ortamına ait sonuç ve durum mesajların görüntülenmesi amacıyla LCM kullanılmaktadır. LCM'nin kontrol edilmesinde ise kolaylığı ve uygunluğu açısından mikrodenetleyici kullanılmaktadır.

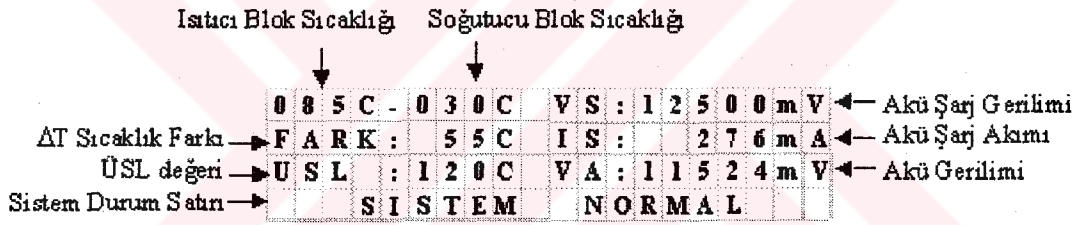
Sistemde Xiamen GDM2004D serisi 4x20 karakter LCM kullanılmaktadır. Bu modülün bacak bağlantıları Şekil 4.16'da görülmektedir. LCM'de VSS toprak, VDD +5V olup, V0 kontrast ayarı için kullanılmaktadır. RS komut/veri seçimi, E yetki, R/W komut okuma/yazma ve DB7..DB0 arası girişler ise veriyolu olarak kullanılmaktadır. LCM'de veriyolu 4 ya da 8 bit olarak kullanılabilir. 15 ve 16 nolu LED+ ve LED- ise LCM'de aydınlık ayarı için kullanılmaktadır [18]. LCM ile ilgili ayrıntılı katalog bilgileri Ek-3'te verilmiştir.

Tasarımda mevcut karakterlerin gösterilmesinde 4 bit yeterli olduğundan, veriyolunun düşük seviyeli DB3, DB2, DB1 ve DB0 uçları ile aydınlık ayarı yapılmadığından LED+ ve LED- uçları kullanılmamıştır. LCM'nin 5 nolu R/W bacağı ile tasarımda kontrast ayarı yapılmadığından 3 nolu V₀ bacağı VSS'ye bağlanmıştır.



Şekil 4.16. Xiamen GDM2004D serisi 4x20 karakter LCM

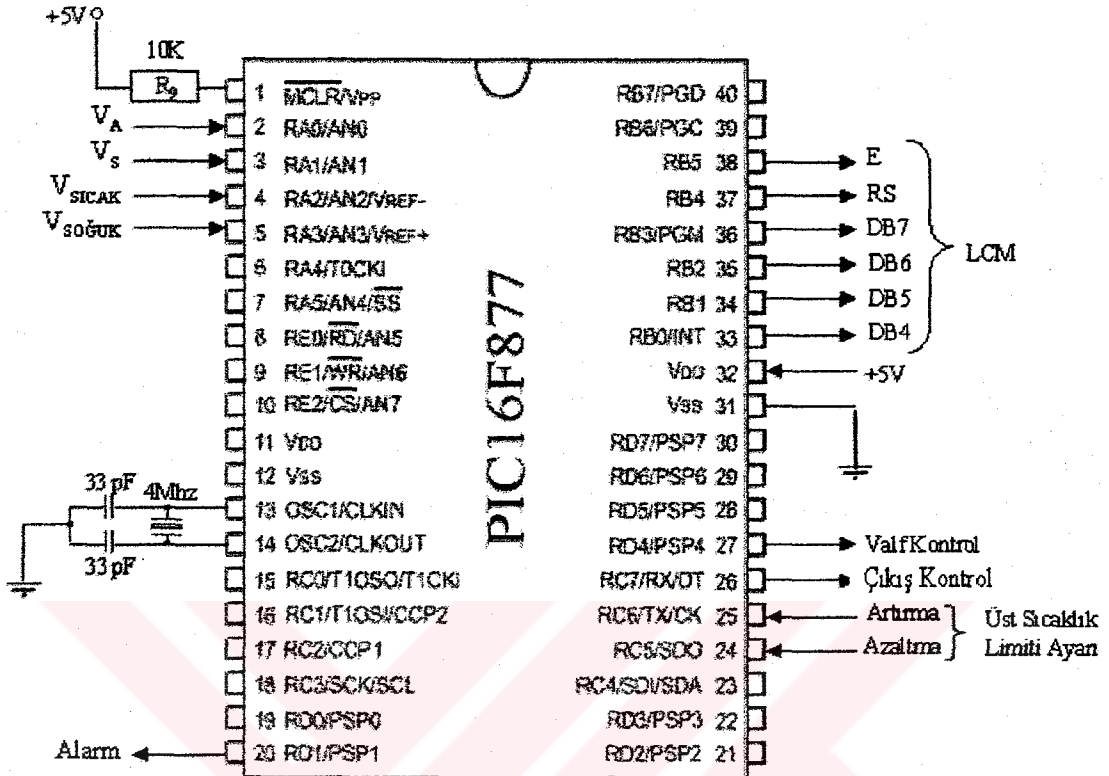
Mikrodenetleyici kontrollü olarak sistem çalışma bilgileri ve durum mesajlarının LCM’de gösterimi Şekil 4.17’deki gibi düzenlenmiştir.



Şekil 4.17. LCM ekran görünümü

4.15. Mikrodenetleyici ve Yazılımı

Tasarımı gerçekleştirilen jeneratörde gerekli kontrollerin yapılması, analog/dijital çevirme işlemleri ve çalışma bilgilerinin düzenlenmesi amacıyla mikrodenetleyici kullanılmaktadır. Sistemde mikrodenetleyici olarak ise MicroChip ailesinden çevresel üniteleri denetleyici arabirim (PIC) olarak adlandırılan 16F877 kullanılmaktadır. Şekil 4.18’de mikrodenetleyicinin sisteme ait bacak bağlantıları görülmektedir. Mikrodenetleyicide +5V VDD gerilimi için 32 nolu, VSS için ise 31 nolu bacak kullanılmaktadır. Mikrodenetleyici dahili osilatöre sahip olduğundan gerekli saat sinyali de dahili olarak üretilmektedir. Zamanlama için 4Mhz kristal ile 33pF kapasiteli iki adet kondansatör kullanılmıştır.



Şekil 4.18. PIC16F877 mikrodnetleyicinin sisteme ait bacak bağlantıları

Isı ölçüm devresinden alınan V_{SICAK} ve $V_{SOĞUK}$ gerilim değerleri sıra ile mikrodnetleyicinin RA2 ve RA3 analog girişlerine verilmektedir. Gerilim bölücü devreden alınan V_A ve V_S gerilimleri ise yine mikrodnetleyicinin sıra ile RA0 ve RA1 analog girişlerine verilmektedir. Mikrodnetleyicide bu analog gerilimler dahili A/D çevirici ile dijital sinyale çevrilmektedir. Termal su girişinin kontrol edilmesinde kullanılan valfin kapatılması amacıyla RD4 port çıkışı kullanılmaktadır. Sistemde RC6 port girişiyle artırma, RC5 port girişiyle de azaltma yapılarak ÜSL'nin ayarlanması sağlanmaktadır. Alarm verilmesi amacıyla mikrodnetleyicinin RD1 port çıkışı kullanılmaktadır. Mikrodnetleyicinin RC7 port çıkışı kullanılarak da 5V DC ve 12V DC jeneratör çıkışları kapatılıp açılmaktadır.

Sistem çalışmasına yönelik olarak LCM'de mevcut sonuç ve mesajlar görüntülenmektedir. Bu amaçla RB0, RB1, RB2, RB3, RB4 ve RB5 port çıkışları LCM'nin veri, yetki ve kaydedici seçme girişleri için kullanılmaktadır.

4.15.1. PIC16F877 mikrodnetleyici

PIC16F877 mikrodnetleyicisi, Microchip firması tarafından kontrol amaçlı olarak geliştirilen bir tümleşik devredir. PIC16F877 mikrodnetleyicisi küçük boyutlu ve maliyeti düşük olup yüksek performanslı RISC mimarisine sahiptir. Çizelge 4.4'te PIC16F877 mikrodnetleyiciye ait özellikler verilmiştir. PIC16F877 mikrodnetleyicisi A portundan 5, E portundan 3 olmak üzere toplam 8 kanal analog girişe sahiptir. Mikrodnetleyicide A/D çevirme işlemi 10 bit genişliğinde dahili olarak yapılabilmektedir [19].

Çizelge 4.4. PIC16F877 mikrodnetleyici özellikleri

Çalışma Frekansı	DC – 20 MHz
Resetler	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Belleği (14-Bit Word)	8K
Veri Belleği (Byte)	368
EEPROM Veri Belleği (Byte)	256
Kesmeler	14
Giriş/Çıkış Portları	A(6 Bit), B(8 Bit), C(8 Bit), D(8 Bit), E(3 Bit) kanallı toplam 33 adet
Timer (Zamanlayıcı)	Timer0, Timer1, Timer2
Yakala/Karşılaştı/PWM Modül	2'şer tane; 16 Bit Yakalama, 16 Bit Karşılaştıma 10 Bit PWM Çözünürlük
Seri İletişim	MSSP, USART
Paralel İletişim	PSP (Paralel Slave Port)
A/D Çevirici	10 bit genişliğinde 8 giriş kanalı
Komut Seti	35 Komut

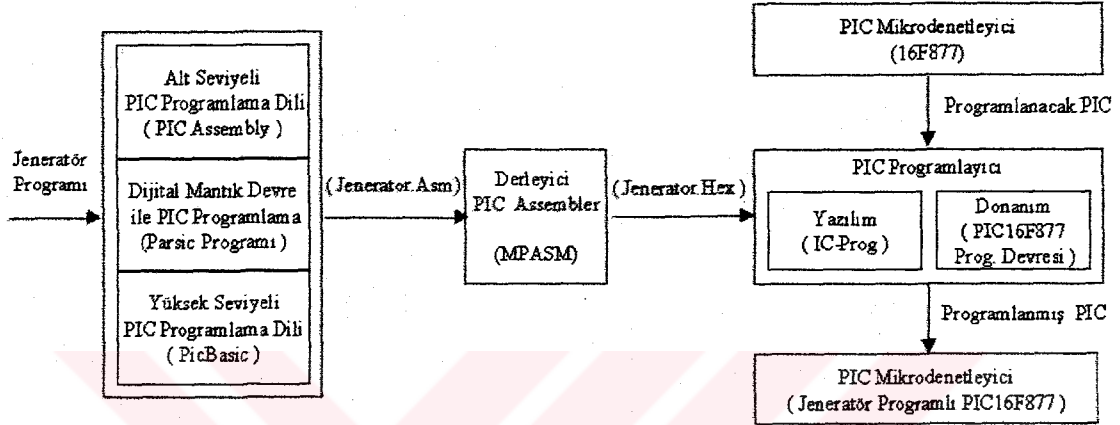
PIC16F877 mikrodnetleyicinin genel ve çevresel özellikleri, bacak bağlantıları, bellek organizasyonu, blok şeması ve dahili A/D çevirme ile ilgili şekiller ve ayrıntılı açıklamalar Ek-1’de verilmiştir.

4.15.2. PIC mikrodnetleyicinin programlanma aşamaları

PIC mikrodnetleyicinin istenilen amaca uygun olarak çalışması ve gerekli kontrolleri yapabilmesi amacıyla programlanması gerekmektedir. Ayrıca mikrodnetleyicinin çalışacağı ortama ait uygun elektronik devre tasarımı da yapılmalıdır. PIC mikrodnetleyicinin tasarıma uygun olarak programlanma aşamaları Şekil 4.19’daki blok şemada görülmektedir. Bu programlanma aşamaları şu şekilde açıklanabilir:

- 1) Mikrodnetleyici programları PIC assembly dilinde, PicBasic gibi yüksek seviyeli PIC programlama dillerinde ya da Parsic programı gibi dijital mantık devreleri oluşturularak yazılabilmektedir. Mikrodnetleyici program yazımında bu yöntemlerden Parsic programı kullanılmıştır. Parsic programı ile oluşturulan dijital mantık devresinden elde edilen assembly programı bilgisayara Jenerator.Asm adıyla kaydedilmiştir.
- 2) PIC Assembly programının mikrodnetleyiciye yazılabilmesi için bir derleyici ile onaltılı kodların elde edilmesi gereklidir. Microchip firmasının MPASM derleyicisi ile Jenerator.Asm assembly dosyası derlenerek içerisindeki açıklama satırları, gereksiz ve boş alanlar atılarak onaltılı kodların yer aldığı Jeneratör.Hex dosyası disk üzerinde belirtilen konumda oluşturulmuştur.
- 3) PIC mikrodnetleyiciye Jeneratör.Hex dosyanın yazılarak, programlama yapabilmek için bir PIC programlama yazılımı ve PIC programlama devresi gereklidir. PIC programlama yazılımı olarak Ic-Prog programı kullanılmış ve Jeneratör.Hex dosyasındaki program PIC mikrodnetleyiciye yazılmıştır.

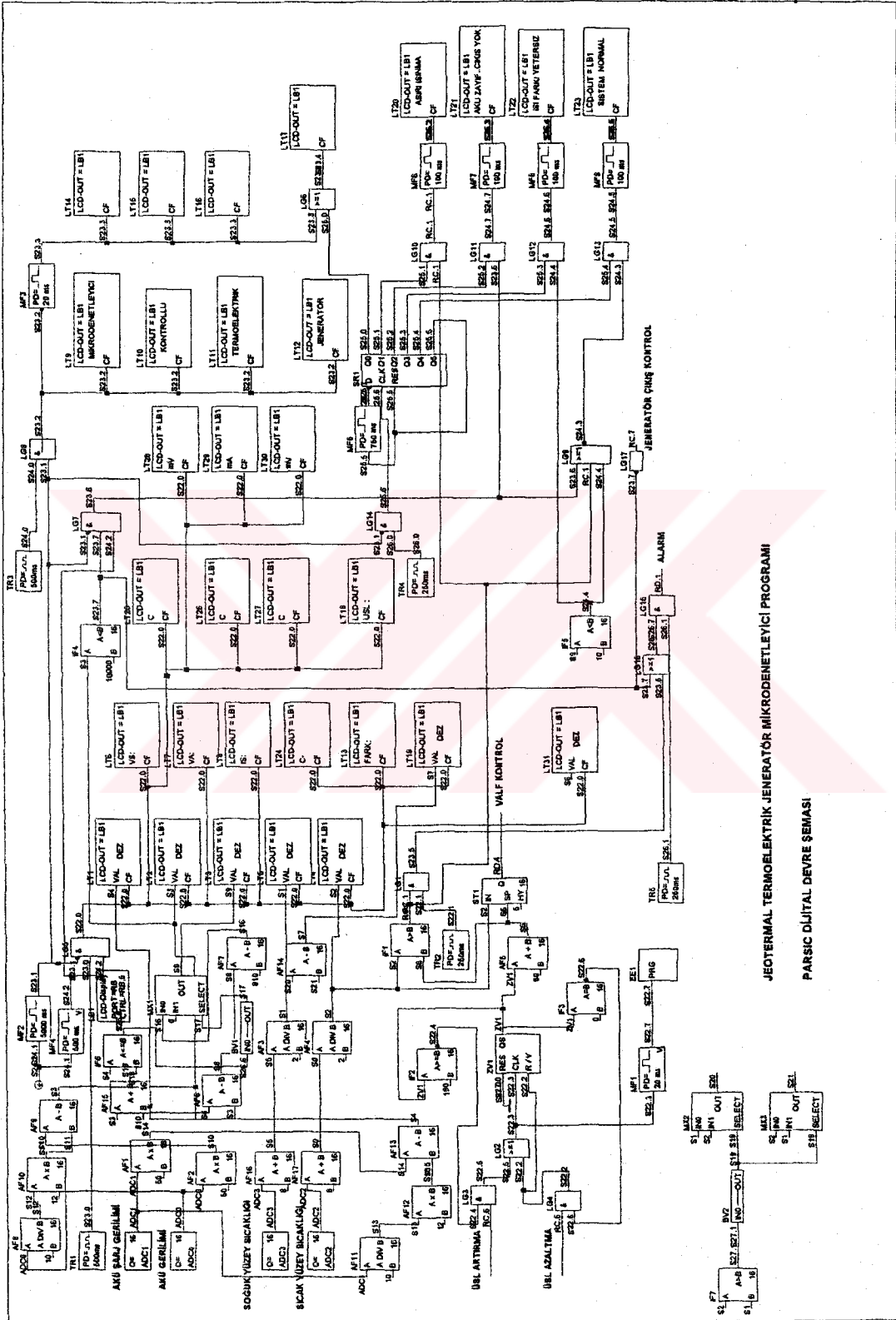
Programlama aşamaları başarıyla tamamlanan PIC mikrodnetleyiciye, uygun yazılım yüklenmiş olmaktadır. Böylelikle programlanan PIC mikrodnetleyici, kendisine uygun olarak tasarlanmış elektronik devre üzerine yerleştirilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.19. PIC'in programlanma aşamalarına ait blok şema

4.15.3. Mikrodnetleyici Programı

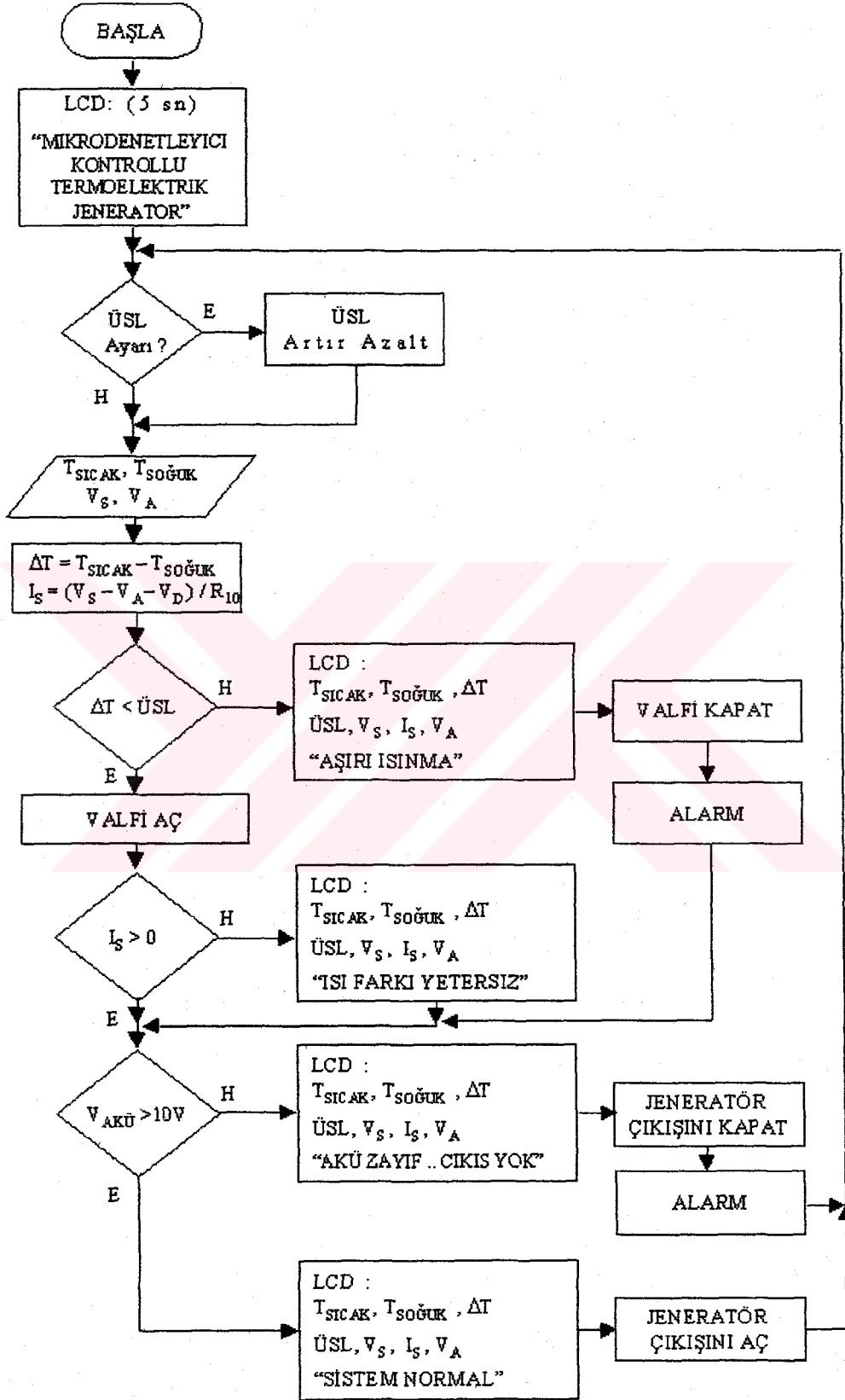
Tasarımda kullanılan PIC16F877 mikrodnetleyici, sistem çalışmasına yönelik olarak programlanmıştır. Mikrodnetleyicinin programlanmasında Parsic programı kullanılmıştır. Parsic programında, diital mantık prensipleri ile oluşturulan devre sayesinde program yazımı gerçekleştirilmiştir. Diital devrenin assembly karşılığı ise yine Parsic programı ile elde edilmiştir. MPASM derleyicisi kullanılarak da programa ait onaltılı kodlar üretilmiştir. Sistemin mikrodnetleyici yazılımına ait Parsic diital mantık devresi Şekil 4.20'de görölmektedir. Parsic programında hazır olarak oluşturulmuş diital kapılar, sayıcılar, flip-floplar, zamanlayıcılar, kaydırıcılar, LCM kontrolleri, aritmetiksel ve mantıksal birçok işlem kullanılarak mikrodnetleyici programına ait devre çizilmiştir. Ayrıca yazılan mikrodnetleyici programı Parsic'te simüle edilerek, çalışması kontrol edilmiş ve bu sayede aksaklıkları giderilmiştir.



Şekil 4-20. Mikrodenetleyici programına ait Parsic devre şeması

Mikrodenetleyici programın çalışması, Şekil 4.21'deki akış şemasında görüldüğü gibi bir döngü içerisinde devam etmektedir. Sistemde mikrodenetleyicinin devreye girmesiyle, öncelikle LCM'ye 5 sn süresince açılış mesajı verilmektedir. Daha sonra ÜSL'nin ayarlaması amacıyla B_1 ve B_2 buton girişleri RC6 ve RC5 portundan alınarak kontrol edilmektedir. Mikrodenetleyicide V_A , V_S , T_{SICAK} ve $T_{SOĞUK}$ değerleri sırasıyla RA0, RA1, RA2, RA3 girişlerinden alınarak dahili analog/dijital çevirici ile dijital değere çevrilmektedir. ΔT sıcaklık farkı ve I_S akü şarj akımı hesaplanmaktadır. Analog girişlerden alınan T_{SICAK} , $T_{SOĞUK}$, V_S ve V_A verileri ile hesaplamalar sonucunda elde edilen I_S şarj akımı ve ΔT sıcaklık farkı LCM'de görüntülenmektedir. Ayrıca sistemim çalışmasına yönelik durum bilgileri ile uyarılar da LCM'ye aktarılarak, kullanıcının bilgilendirilmesi ve dolayısıyla da sistem çalışmasını takip etmesi sağlanmıştır.

Sıcaklık ölçümleri sonucunda elde edilen ΔT değeri ÜSL'den büyük ise, mikrodenetleyiciden ısıtıcı blokta aşırı ısınmanın olduğuna ilişkin mesaj ve alarm sinyalleri verilerek termal giriş valfi kapatılmaktadır. Sistemde $V_S < (V_A + V_D)$ olduğu sürece, TEJ'den elde edilen elektrik enerjisi akünün şarjı için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle mikrodenetleyiciden ısı farkının yetersiz olduğuna ilişkin mesaj ve alarm sinyali verilmektedir. V_D gerilim değeri, akü şarj devresinde kullanılan D_1 diyotunun eşik gerilimi olup 0,81V olarak ölçülmüştür. Sistemde bulunan akü gerilimi 10V'un altına düştüğünde mikrodenetleyici ile 5V DC, 12V DC jeneratör çıkışları kapatılarak, yazılı uyarı mesajı ve alarm sinyali verilmektedir. Akü gerilimi yeterli şarj sonrasında 10V'un üzerine çıktığında ise jeneratör çıkışları açılmaktadır.



Şekil 4.21. Mikrodenetleyici programı akış şeması

5. SİSTEM PERFORMANS ANALİZİ

5.1. Termoelektrik Jeneratörün Çıkış Parametrelerinin Ölçümleri

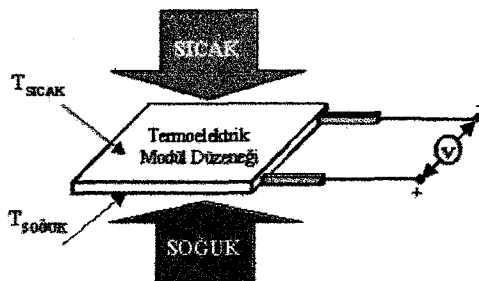
Tasarımı gerçekleştirilen mikrodenetleyici kontrollü jeotermal termoelektrik jeneratörün performans analizi yapılarak, sistemden alınacak en yüksek güç için çalışma karakteristikleri belirlenmiştir.

Sistemde termoelektrik jeneratör için sıcaklık farkına bağlı olarak, yüksüz gerilim ölçüm değerleri ile yüklü akım ve gerilim değerleri ölçülerek çıkış gücü hesaplanmıştır. Elde edilen verilere ait çizelgeler oluşturulmuş ve bunlara bağlı olarak da eğrileri çizilmiştir. Ayrıca genel çalışma izlenerek, sıcaklık farkına bağlı olarak mikrodenetleyici ile LCM görüntüleri elde edilmiştir.

Sistemde TEJ'e verilmesi gereken termal su yerine şofben ile elde edilen sıcak su verilerek ölçümler yapılmış ve neticesinde sonuçlar elde edilmiştir. Şofbenin sıcak su çıkışı, TEJ'in termal su girişine bağlanmıştır. Şofben ile sıcak su ayarı yapılarak 20°C ile 70°C arası değişik sıcaklıklarda ölçümlerin yapılmasına imkan sağlanmıştır.

5.1.1. Yüksüz ölçümler

TEJ'in termoelektrik modül düzeneği uçlarına Şekil 5.1'de görüldüğü gibi bir voltmetre bağlanarak, yüzey sıcaklıklarına göre gerilim değerleri ölçülmüştür. Çizelge 5.1'de termoelektrik modül uçlarında ölçülen gerilim değerleri görülmektedir.



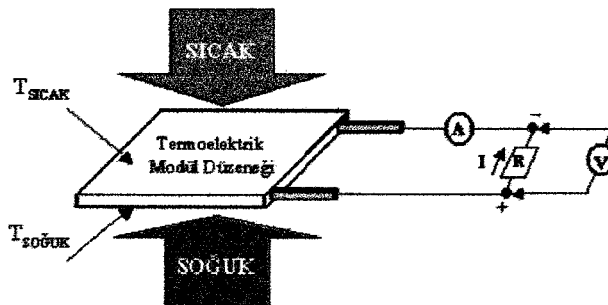
Şekil 5.1. Termoelektrik modül düzeneğinde voltmetre bağlantısı

Çizelge 5.1. Termoelektrik modül düzeneğinden yüzey sıcaklık farklarına göre elde edilen gerilimler

T_{SICAK} (°C)	$T_{SOĞUK}$ (°C)	ΔT (°C)	V (Volt)
20	15	5	5,22
25	16	9	9,65
30	16	14	12,85
35	17	18	14,50
40	18	22	15,95
45	19	26	17,25
50	20	30	19,25
55	22	33	21,78
60	24	36	23,55
65	26	39	25,84
70	27	43	28,12

5.1.2. Yüklü ölçümler

TEJ'in termoelektrik modül düzeneği uçlarına Şekil 5.2'de görüldüğü gibi 10Ω , 30Ω ve 50Ω değerlerinde bir R yükü bağlanarak, ölçülen akım ve gerilim değerlerine göre sistemin çıkış gücü hesaplanmaktadır. Termoelektrik modül düzeneğinden sıcaklık farkına bağlı olarak elde edilen çıkış güçleri Çizelge 5.2'de görülmektedir.

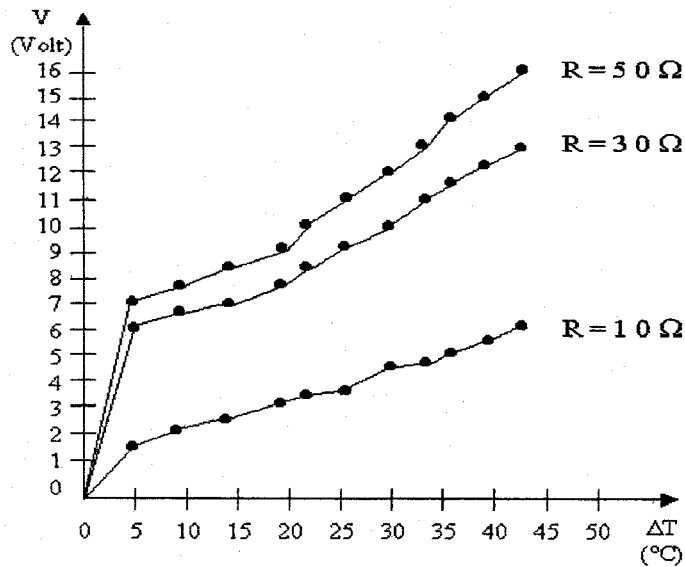


Şekil 5.2. Termoelektrik modül düzeneğinde güç ölçüm bağlantısı

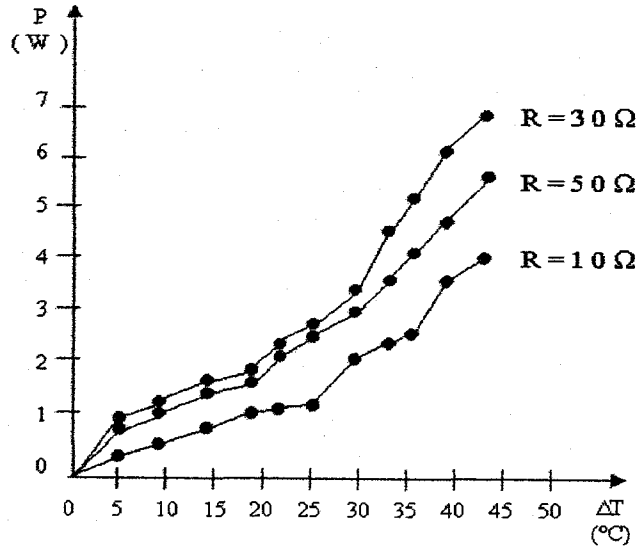
Çizelge 5.2. Termoelektrik modül düzeneğinde yüzey sıcaklık farklarına göre elde edilen güç değerleri

T_{SICAK} (°C)	$T_{SOĞUK}$ (°C)	ΔT (°C)	$R=10\Omega$			$R=30\Omega$			$R=50\Omega$		
			V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)
20	15	5	1,48	0,16	0,24	6,18	0,15	0,93	7,12	0,12	0,85
25	16	9	2,21	0,19	0,42	6,73	0,18	1,21	7,78	0,14	1,09
30	16	14	2,56	0,29	0,74	7,28	0,21	1,53	8,46	0,17	1,44
35	17	18	3,21	0,31	1,00	7,93	0,23	1,82	9,27	0,19	1,76
40	19	22	3,38	0,33	1,12	8,54	0,26	2,22	10,21	0,21	2,14
45	19	26	3,47	0,35	1,21	9,42	0,28	2,64	11,17	0,23	2,57
50	20	30	4,51	0,45	2,03	10,25	0,32	3,28	12,09	0,24	2,90
55	22	33	4,70	0,49	2,30	11,16	0,41	4,58	13,14	0,26	3,42
60	24	36	5,05	0,52	2,63	11,89	0,45	5,35	14,05	0,29	4,07
65	26	39	5,64	0,63	3,55	12,52	0,48	6,01	15,11	0,32	4,84
70	27	43	6,13	0,65	3,98	13,15	0,51	6,71	16,24	0,35	5,68

Sistemde sıcaklık farklarına göre elde edilen verilere göre sıcaklık farkı ile gerilim ilişkisi Şekil 5.3’de, sıcaklık farkı ile güç ilişkisi ise Şekil 5.4’de görülmektedir.

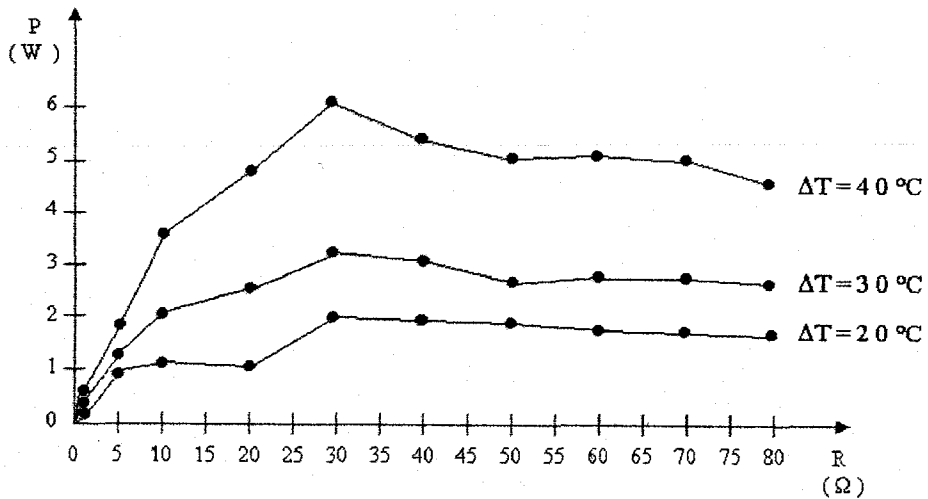


Şekil 5.3. Sistemde sıcaklık farkı – gerilim ilişkisi



Şekil 5.4. Sistemde sıcaklık farkı – güç ilişkisi

Tasarımı yapılan TEJ’de, sabit ΔT sıcaklık farkında, yük direncine bağlı olarak akım ve gerilim değerleri ölçülerek güç hesabı yapılmıştır. Böylelikle sistemden en iyi gücü elde edebilmek için uygun yük direnci belirlenmiş olmaktadır. Çizelge 5.3’de sabit sıcaklık farklarında yük direncine bağlı olarak ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Ayrıca bu değerlere göre sistemin yük-güç ilişkisi Şekil 5.5’de görüldüğü gibi elde edilmektedir.



Şekil 5.5. Sistemde yük-güç ilişkisi

Çizelge 5.3. Sabit sıcaklık farklarında yük direncine bağlı olarak akım, gerilim ve güç değerleri

ΔT (°C)	R (Ω)	V (V)	I (A)	P (W)
20	Yok	15,65	-	-
	1	0,29	0,51	0,15
	5	2,08	0,44	0,92
	10	3,34	0,35	1,17
	20	4,26	0,25	1,07
	30	8,15	0,24	1,96
	40	8,83	0,22	1,94
	50	9,65	0,20	1,93
	60	10,40	0,18	1,87
	70	11,02	0,17	1,87
	80	12,34	0,14	1,73
30	Yok	19,25	-	-
	1	0,39	0,63	0,25
	5	2,49	0,53	1,32
	10	4,51	0,45	2,03
	20	7,14	0,36	2,57
	30	10,25	0,32	3,28
	40	11,00	0,28	3,08
	50	11,45	0,24	2,75
	60	13,64	0,21	2,86
	70	13,01	0,22	2,86
	80	14,20	0,19	2,70
40	Yok	26,84	-	-
	1	0,77	0,81	0,62
	5	2,84	0,65	1,85
	10	5,64	0,63	3,55
	20	9,73	0,50	4,87
	30	12,56	0,49	6,15
	40	14,42	0,37	5,34
	50	15,20	0,33	5,02
	60	17,01	0,30	5,10
	70	18,02	0,28	5,05
	80	18,86	0,24	4,53

5.2. Sistemin Verimi

Tasarımı gerçekleştirilen sistemde verimin hesaplanabilmesi için çıkış ve giriş güçlerinin bulunması gerekmektedir. Termoelektrik modülde sıcaklık farkından elektrik enerjisi üretildiğinden, giriş gücü sisteme giren toplam ısı enerjisidir. Çıkış gücü ise sıcaklık farkı neticesinde termoelektrik jeneratörden elde edilen gerilim ve akımdan hesaplanmaktadır.

TEJ’de kullanılan CP1.4-127-06L model termoelektrik modül 127 çift mikromodülden oluşmaktadır. Termoelektrik modülün geometri faktörü (G) ise 0,118 cm’dir. Sistemden elde edilen $T_{SICAK} = 70^{\circ}C$ ($343,2^{\circ}K$), $T_{SOĞUK} = 27^{\circ}C$ ($300,2^{\circ}K$) ölçümlerine göre $\alpha = 0,000207$ V/ $^{\circ}K$, $\rho = 0,00116$ $\Omega.cm$, $\kappa = 0,0153$ W/cm. $^{\circ}K$ olarak bulunur (Bkz. Çizelge 4.3).

Termoelektrik jeneratörde kullanılan bir termoelektrik modülün ortalama Seebeck katsayısı Eş. 3.11’den,

$$\alpha_M = 2 \cdot \alpha \cdot N$$

$$\alpha_M = 2 \cdot 0,000207 \cdot 127$$

$$\alpha_M \cong 0,0526 \text{ V}/^{\circ}K$$

olarak bulunur. Jeneratördeki bir termoelektrik modülün ortalama direnci ise Eş. 3.12’den,

$$R_M = \frac{2 \cdot \rho \cdot N}{G}$$

$$R_M = \frac{2 \cdot 0,00116 \cdot 127}{0,118}$$

$$R_M \cong 2,4969 \Omega$$

olarak bulunur. Termoelektrik modülde termal iletim Eş. 3.13'ten,

$$K_M = 2 \cdot \kappa \cdot N \cdot G$$

$$K_M = 2 \cdot 0,0153 \cdot 127 \cdot 0,118$$

$$K_M \cong 0,4586 \text{ W/}^\circ\text{K}$$

olarak bulunur. TEJ'de 12 adet termoelektrik modül kullanılmış ve birbirlerine elektriksel olarak seri, termal yönden ise paralel olacak şekilde bağlanmıştır. Bu durumda NS=12, NP=1 ve NT=12 olmaktadır. Sistemde en iyi güç, R_L yük direnci jeneratör iç direncine eşit olduğunda elde edilmektedir. Bu nedenle yük direnci $12 \cdot R_M$ 'den yaklaşık 30Ω olarak bulunur. R_L 'den çekilen akım Eş. 3.15'ten,

$$I = \frac{NS \cdot \alpha_M \cdot \Delta T}{\frac{NS \cdot R_M}{NP} + R_L}$$

$$I = \frac{12 \cdot 0,0526 \cdot 43}{\frac{12 \cdot 2,4969}{1} + 30}$$

$$I \cong 0,4526 \text{ A}$$

olarak bulunur. TEJ çıkış gerilimi (V_o) ise Eş. 3.16'dan,

$$V_o = R_L \cdot \frac{NS \cdot \alpha_M \cdot \Delta T}{\frac{NS \cdot R_M}{NP} + R_L}$$

$$V_o = 30 \cdot \frac{12 \cdot 0,0526 \cdot 43}{\frac{12 \cdot 2,4969}{1} + 30}$$

$$V_o \cong 13,5792 \text{ V}$$

olarak bulunur. Bu durumda jeneratörün çıkış gücü (P_o) Eş. 3.14'den,

$$P_o = V_o \cdot I$$

$$P_o = 13,5792 \cdot 0,4526$$

$$P_o \cong 6,1459 \text{ W}$$

olarak bulunur. TEJ'e watt olarak toplam ısı girişi (Q_h) Eş. 3.17'den,

$$Q_h = NT \cdot \left(\frac{\alpha_M \cdot T_h \cdot I}{NP} - 0,5 \cdot (I / NP)^2 \cdot R_M + K_M \cdot \Delta T \right)$$

$$Q_h = 12 \cdot \left(\frac{0,0526 \cdot 70 \cdot 0,4526}{1} - 0,5 \cdot (0,4526 / 1)^2 \cdot 2,4969 + 0,4586 \cdot 43 \right)$$

$$Q_h \cong 253,5672 \text{ W}$$

olarak bulunur. Giriş ve çıkış gücü bulunan TEJ'in verimi Eş. 13.18'ten,

$$\eta = \frac{P_o}{Q_h} \cdot 100 \%$$

$$\eta = \frac{6,1459}{253,5672} \cdot 100 \%$$

$$\eta \cong \% 2,5$$

olarak bulunur.

5.3. Sisteme Ait LCM Görüntüleri

Sistemin çalışması durumunda mevcut bilgi ve uyarılar LCM'ye verilmektedir. Değişik çalışma durumlarına ilişkin sistem LCM görüntüleri Şekil 5.6'daki gibi alınmıştır. LCM'nin ilk üç satırında sisteme ait ölçüm ve çalışma bilgileri sürekli güncellenerek verilmektedir. LCM'nin dördüncü satırında ise sistem çalışmasına ilişkin uyarı mesajları dönüşümlü olarak gösterilmektedir.

068C-026C	US: 12200mU
FARK: 42C	IS: 166mA
USL : 125C	UA: 11224mU
SISTEM	NORMAL

(a)

068C-026C	US: 12200mU
FARK: 42C	IS: 166mA
USL : 60C	UA: 11224mU
ASIRI	ISINMA

(b)

035C-021C	US: 4592mU
FARK: 14C	IS: 0mA
USL : 60C	UA: 9472mU
ISI	FARKI YETERSİZ

(c)

035C-021C	US: 4592mU
FARK: 14C	IS: 0mA
USL : 60C	UA: 9860mU
AKU	ZAYIF - ÇIKIŞ YOK

(d)

Şekil 5.6 Sisteme ait LCM ekran görüntüleri

- Normal çalışma durumu
- Aşırı ısınma çalışma durumu
- Isı farkı yetersiz çalışma durumu
- Akü şarjı zayıf ve çıkış yokken çalışma durumu

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile elektrik enerjisi üretmeye yönelik bir termoelektrik jeneratör tasarımı yapılmış ve sistem uygulamaya konulmuştur. Sistemde gerekli kontrol işlemleri PIC16F877 mikrodenetleyici ile yapılmaktadır. TEJ'de ısıtma için termal sular, soğutma için ise normal şebekeden ya da kuyu, dere gibi başka bir yerden elde edilen soğuk sular kullanılmıştır.

TEJ'in yapılmasında 12 adet CP1.4-127-06L model termoelektrik modül kullanılmıştır. Bu modüllerin çalışma üst sıcaklığı +130C olduğundan modüllerin ısınan yüzeyinin sıcaklığı ayarlanabilir şekilde tasarlanmıştır. Termoelektrik modüller elektriksel yönden seri, termal yönden ise paralel olacak şekilde birbirine bağlanmışlardır. Termoelektrik ısı dönüştürücülerin verimli çalışması için, kaynaktan gelen ısının soğutucu bloğa minimum kayıpla aktarılması gerekmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında, termoelektrik modüllerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının maksimum olması gerektiğinden, aralarındaki boşluklar ısı yalıtımına tabi tutulmuştur. Bu durumda ısıtıcı bloktan gelen ısı, sadece termoelektrik modüller üzerinde yayılabilmektedir. Ayrıca termoelektrik modüllerin ısıtıcı blok ve soğutucu blok yüzeylerine termal temaslarını pekiştirmek için temas yüzeyleri arasına ısı iletim pastası konulmuştur.

Termal ısının termoelektrik modüle uygulanmasında sistem için geliştirilen ısıtıcı blok kullanılmıştır. Sistemde ısıtma bloğu için kullanılan termal su yerine, güneş enerjisi ile ısıtılan su veya doğrudan güneş enerjisi kullanılarak da elektrik enerjisi elde edilebilir. Sistemde çok az bir değişiklikle güneş enerjisi ile çalışan termoelektrik jeneratör yapılabilir. Aynı şekilde herhangi bir ısı kaynağıyla çalışan termoelektrik jeneratörler yapılabilir.

Termoelektrik jeneratörde soğuk su ile çalışan soğutucu blok yerine vakumlu ısı transfer sistemi gibi farklı bir sistem de kullanılabilir. Vakumlu soğutma sistemi kullanıldığında, termoelektrik modüllerin soğutulan yüzeylerinin sıcaklığı

ayarlanabilir değerde sabit kalacaktır. Vakumlu ısı transfer sisteminin kullanılması ile TEJ'ler sadece termal su ile güç üretecektir.

Sistemin ısı ölçümlerinde LM35 sensörleri kullanıldığından, ölçüm aralığı -55°C ile $+150^{\circ}\text{C}$ arasındadır. İstenirse termokupl ölçüm sistemleri kullanılarak daha üst sıcaklıklarda sistem kullanımı sağlanabilir. Isı ölçüm devresinde elde edilen analog değerler harici A/D çevirici kullanmadan PIC16F877 mikrodeneleyici kullanılarak dahili A/D çevirme ile dijital olarak elde edilmektedir. TEJ'de iki adet sensör kullanılmıştır. Bunlardan biri sıcak yüzey sıcaklığının, diğeri de soğuk yüzey sıcaklığının ölçülmesinde kullanılmıştır. Sensörlerden gelen sıcaklık değerleri ve bunların arasındaki fark sürekli olarak LCM'de görüntülenmektedir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen TEJ'in girişine uygulanan termal suyun sıcaklığının üst değeri 130°C 'dir. Bu sınır TEJ'de kullanılan termoelektrik modüllerin özelliğinden kaynaklanmaktadır. Jeneratörün bozulmadan çalışabilmesi için bir kontrol devresi tasarlanmıştır. Jeneratörün girişine gelen termal suyun sıcaklığı, ayarlanan sıcaklığa ulaştığında solenoid valf vasıtasıyla termal su girişi kapatılmaktadır. Ayrıca sistemde ayarlanan ÜSL aşıldığında, yazılı uyarı mesajı ve sesli alarm verilmektedir. Böylece sistemin aşırı ısıya karşı korunması sağlanmış olmaktadır. Eğer yeterli sıcaklık farkı elde edilemiyorsa, sistemde elektrik enerjisi üretimi yapılmamaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen sistem bir kesintisiz güç kaynağı gibi çalışabilmektedir. Jeneratör elektrik enerjisi ürettiğinde, akü şarj edilmekte ve üretilen enerji direkt kullanılabilir. Jeneratörde herhangi bir nedenle enerji üretimi durduğunda, sistemin çıkış enerjisi aküden sağlanmaktadır. Ancak bu durumdaki çalışma süreci sınırlı olup, akü gerilimini 10V'un altına düşene kadar geçerlidir. Geliştirilen kontrol sistemi ile akü gerilimi 10V'un altına düştüğünde jeneratör sisteminin çıkışları kapatılmaktadır. Ayrıca bu durumda yazılı ve sesli uyarı yapılmaktadır.

Eğer daha üst sıcaklıklarda da elektrik enerjisi üretimi isteniyorsa, sistem tasarımında sıcaklık ölçümleri için termokupl devreleri, daha yüksek sıcaklık farklarına sahip termoelektrik modüller ve yüksek güçlü malzemeler kullanılmalıdır. Ayrıca sistem

içi sıcaklık artacağından akü ve elektronik malzemelerin soğutulması, yalıtılması ya da sistem dışında tutulması gerekecektir. Bunlara ilaveten yüksek güçlü termoelektrik modüllerin seri-paralel blok bağlantılarını düzenleyecek bir kontrol devresi de geliştirilebilir. TEJ’de sıcaklık farkı arttıkça elde edilen gerilim seviyesi artacağından, akü şarj devresi giriş üst seviye sınırı aşılabilecektir. Bu durumu ortadan kaldırmak için sıcaklık farkı düşük olduğunda termoelektrik modüler seri bağlantıda tutulur ve sıcaklık farkı belirli bir seviyeyi aştığında ise termoelektrik modüller seri-paralel blok bağlantı durumuna getirilir. Bu sayede termoelektrik jeneratör çıkışında elde edilecek gerilim seviyesi düşürülüp, çekilecek akım artırılmış olmaktadır. Böylelikle de hem sistem çalışması normal olarak devam edecek hem de daha yüksek güçte elektrik enerjisi üretimi sağlanmış olacaktır.

Sistemde termal su yerine şofben ile elde edilen sıcak su kullanılmış ve deneysel ölçümler yapılmıştır. TEJ’in yüksüz iken 43°C sıcaklık farkında ürettiği gerilim 28,12V olarak ölçülmüştür. TEJ’e 1Ω ile 80Ω arasında değişik değerlerde yükler bağlanarak, değişik sıcaklık farklarının uygulanması sonucunda ölçülen akım ve gerilim değerlerinden güç bulunmuştur. TEJ’e 30Ω ’luk yük bağlı iken maksimum güç elde edilmiş ve 20°C ’de 1,96W, 30°C ’de 3,28W ve 40°C ’de 6,15W olarak bulunmuştur. Tez çalışmasında gerçekleştirilen TEJ’in gücü teorik ve deneysel yöntemler kullanılarak birbirine yakın olarak elde edilmiştir. Ayrıca TEJ’in verimi yaklaşık %2,5 olarak hesaplanmıştır. Verim, termoelektrik modüllerin seri ve paralel bağlanma şekillerine göre değişmezken, kullanılan modüllerin iç direncine göre değişmektedir. TEJ yapımında soğutma amaçlı, büyük iç dirençli termoelektrik modüller kullanıldığından, elde edilen verim düşük çıkmıştır. Elektrik enerjisi üretimi amaçlı, düşük iç dirençli güç termoelektrik modülleri kullanıldığında ise TEJ’in verimi %40’lara kadar yükseltilebilmektedir.

Sistemden elde edilen deneysel sonuçlar ve üretilen elektrik enerjisi dikkate alındığında; Aydın-Germencik, Simav, Kozaklı, Salihli, Kızıldere, Tuzla, Sındırgı, Seferhisar gibi kullanılabilir sıcaklığı 70°C ’den yüksek olan termal bölgelerde

elektrik enerjisi üretmek mümkündür. Termal kaynaklara sahip bu bölgeler için elektrik ihtiyacının karşılanması açısından sistemin önemi büyüktür.

Termoelektrik modülün yapısını oluşturan termoelektrik yarıiletkenlerin veriminin artırılması ve yüksek sıcaklık farkına sahip jeotermal alanların sisteme uygulanması ile sistem verimi artırılarak, daha yüksek güçte elektrik enerjisi elde edilebilecektir. Ayrıca termoelektrik modüllerin seri üretimine geçilmesi ile sistemin daha ucuza elde edilmesi sağlanabilir.

Ülkemiz açısından bu sistem değerlendirildiğinde, jeotermal enerjinin yenilenebilir bir enerji kaynağı olması ve termoelektrik modüllerin düşük ve orta sıcaklıklı termaller için uygun bir şekilde güç üretmesi ve ülkemizde de bol miktarda düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal bölgelerin mevcut olması nedeniyle sistemin uygulanabilirliği çok yüksektir. Elektrik enerjisi ihtiyacının ucuz, temiz ve kolay bir şekilde karşılanması açısından sistemin önemi ortadadır.

KAYNAKLAR

1. Peşint, M. A., 1988, Elektrik Santralleri Enerji İletimi ve Dağıtımı, Dördüncü Basılış, **M.E.G.S.B. Devlet Kitapları**, Çınar Matbaacılık, İstanbul.
2. Ersoy, H., 1997, Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dünyü ve Bugünü İncelenerek Elektrik Enerjisine Olan Katkının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Eğitimi Bölümü, İstanbul.
3. Ültanır, M. Ö., 1998, 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, **Tüsiad Raporu**, Ankara.
4. Demirkol, A., 1992, Türkiye'de Enerjinin Üretim ve Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu ve Yerel Yönetim İdaresi ile Girişimcilik Bilim Dalı, İstanbul.
5. Fidan, U., 2000, Mikrodenetleyici Kontrollü Taşınabilir Termoelektrik Tıp Kiti Cihazı Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Ankara.
6. Grove, A.S., 1967, **Physics and Technology of Semiconductor Devices**, California, USA.
7. Ahıska, R., Güler, N. F., Savaş, Y., 1999, Termoelektrik Soğutucusunun Özelliklerinin Araştırılması, *Politeknik Dergisi*, Cilt:2, Sayı:3, s 89-94, Ankara.
8. Boztepe, M., 1997, Güneş Pilleri ile Çalışan Peltier Elemanlı Bir Soğutucunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Projesi, Ege Üniversitesi, Araştırma Fon Saymanlığı, İzmir.
9. **Tellurex Corporation**, 2002, Thermoelectric Handbook.
10. Gravier, C. L., 1997, Thermoelectric Characterization of $\text{Bi}_2\text{T}_{2.55}\text{Se}_{0.45}$ Solid Solutions, **Y.Phys. Chem. Solids**, V.59, No:1, p 13-20, USA.
11. Cengel, Y. A., Boles, M. A., 1994, Thermodynamics, Engineering Approach, Second Edition, p 611-613, **McGraw-Hill**, New York.
12. Ono, K., Suzuki, R. O., 1998, New Iron-Based Thermoelectric Junctions and Thermoelectric Generation Concept, **Preprint of Proceedings of XVII International Conference on Thermoelectrics**, Japan.
13. Stevens, J. W., 1999, Optimized Thermal Design of Small ΔT Thermoelectric Generators, **34th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference**, Vancouver.

14. Burke, E. J., Buist, R. J., 1983, Thermoelectric Coolers As Power Generators, **18th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference**, Florida.
15. Buist, R. J., Lau, P. G., 1997, Thermoelectric Power Generator Design and Selection from TE Cooling Module Specifications, **XVI International Conference on Thermoelectrics**, Germany.
16. **Ferrotec America Corporation**, 1998, Power Generation, USA.
17. **Melcor Corporation**, 2000, Thermoelectric Engineering Handbook.
18. **Xiamen**, 1998, Specifications of LCD Module, China.
19. **Microchip**, 2001, PIC16F87X Data Sheet.
20. Altınbaşak, O., 2000, Mikrodenetleyiciler ve PIC Programlama, Altaş Basın Yayın Dağıtım, Birinci Basım, İstanbul.
21. Dinçer, G., 1998, PIC Programlama El Kitabı, 4. Baskı, **Era Bilgi Sistemleri ve Yayıncılık Ltd. Şti.**, İstanbul.
22. Cıylan, B., 1999, Mikrodenetleyici Kontrollü Uzaktan Sıvı Seviye Kontrol Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Bilgisayar Eğitimi, Ankara.

EKLER

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

EK-1 : PIC16F877 MİKRODENETLEYİCİ ÖZELLİKLERİ

PIC 16F877 MİKRODENETLEYİCİ

Mikrodenetleyici Tanımı

Bir bilgisayar içerisinde bulunması gereken temel bileşenlerden RAM, I/O ünitesinin tek bir chip içerisinde üretilmiş biçimine mikrodenetleyici (microcontroller) denir [20].

Bir yazılım olmadan hiçbir işe yaramayan bir plastik, metal ve temizlenmiş kum yığınıdır. Mikrodenetleyiciyi kontrol eden bir yazılım olduğundaysa neredeyse sınırsız uygulamaya sahiptir [21].

Mikroişlemci, bellek, giriş ve çıkış portlarının bir araya gelmesiyle oluşan sisteme mikrobilgisayar adı verilir. Mikrodenetleyiciler ise kısaca tek çip üzerine imal edilen tam bir bilgisayardır [5].

Mikrodenetleyicilerin Avantajları ve Kullanım Alanları

Mikroişlemci ve mikrodenetleyici arasındaki temel fark, mikrodenetleyicinin sabit bir programın sürekli çalışması gereken durumlarda kullanılmasıdır. Mikroişlemciler ise kapsamlı ve duyarlı işlemler yapmak için seçilen bir sistemdir. Mikrodenetleyici sistemler gerçek zaman işlemleri ve çoklu görev yeteneklerini gerektirir. Gerçek zamanlı işlemlere elverişli olduğundan kendi çevresindeki sinyalleri alabilmesi ve işlemesi daha kolay olacaktır. Çoklu görev, aynı zamanda veya aynı anda birkaç tane görev yapma yeteneğidir. Bunu da mikrodenetleyici yerine getirebilir. Mikrodenetleyici sistemin bazı durumlarını göstermek ve ihtiyaç artırımını karşılamakla sorumludur [5].

Bilgisayar teknolojisi gerektiren uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmış olan mikrodenetleyiciler, mikroişlemcilere göre çok daha basit ve ucuzdur. Günümüz mikrodenetleyicileri otomobillerde, kameralarda, cep telefonlarında, fax-modem

cihazlarında, fotokopi, radyo, TV, bazı oyuncaklar gibi sayılamayacak kadar pek çok alanda kullanılmaktadır [20].

Mikroişlemci ile kontrol edilecek bir sistemi kurmak için en azından şu üniteler bulunmalıdır; CPU, RAM, I/O ve bu ünitelerin arasındaki veri alış verişini kurmak için DATA BUS (data yolu) gerekmektedir. Elbette bu üniteleri yerleştirmek için baskılı devreyi de unutmamak gerekmektedir. Mikrodenetleyici ile kontrol edilecek ise yukarıda saydığımız ünitelerin yerine geçecek tek bir chip (mikrodenetleyici) ve bir de devre kartı kullanmak yetecektir. Tek chip kullanmak elektronik çözümler üretmenin maliyetinin daha düşük olacağı kesindir. Ayrıca da kullanım ve programlama kolaylığı da ikinci bir avantajıdır. İşte yukarıda saydığımız nedenlerden dolayı son zamanlarda bilgisayar kontrolü gerektiren elektronik uygulamalarda mikrodenetleyici kullanmaya eğilimin artmasının haklılığını ortaya koyuyor [20].

Günümüz tekniğinde mikrodenetleyiciler artık vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir. Mikrodenetleyiciler, programlanabilir olduklarından son derece esnek bir yapıya sahip, çok küçük bir yere sığdırılmış komple bir bilgisayar olduklarından, bir bilgisayar tarafından kontrol edilebilecek olan birçok sistemin kontrolünde, PC'den daha ucuz ve daha küçük ebatlara sahip olmaları nedeniyle tercih edilmekte ve görevini PC kadar güçlü bir şekilde yerine getirebilmektedir [22].

Bu sistemlere örnek vermek gerekirse, telekomünikasyon, otomotiv ve tüketici elektroniği gibi daha birçok alanda çok geniş bir şekilde uygulanmaktadır diyebiliriz [22].

Mikrodenetleyiciler, mikroişlemcilere göre oldukça avantajlıdır. Örneğin mikroişlemcili bir sistemde ilave olarak bellek ve giriş/çıkış birimi gibi ilave sistemler gereklidir. Bu nedenle tasarım ve yapım zor, maliyet de yüksektir. Mikrodenetleyicili bir sistem için ise sadece bir mikrodenetleyici ve osilatör devresi yeterlidir. Mikrodenetleyicilerde bellek, giriş/çıkış, A/D çevirici gibi birimler dahili olarak mevcut olduğundan, mikrodenetleyicili sistemler daha basit yapıda ve daha

küçük boyuttadırlar. Bu nedenle de mikrodnetleyici sistemlerin maliyetleri de daha düşük olmaktadır.

PIC Mikrodnetleyiciler

PIC, adını İngilizce'deki Peripheral Interface Controller cümlesindeki kelimelerin baş harflerinden almış olan bir mikrodnetleyicidir. Eğer bu cümleyi Türkçe'ye çevirirsek, çevresel üniteleri denetleyici arabirim gibi bir anlam çıkacaktır. PIC gerçekten de çevresel üniteler adı verilen lamba, motor, röle, ısı ve ışık sensörü gibi I/O elemanlarının denetimini çok hızlı olarak yapabilecek şekilde dizayn edilmiş bir chiptir [20].

Günümüz mikrodnetleyicileri birçok chip üreticisi tarafından üretilmektedir. Her firma ürettiği chipe farklı isimler vermektedir. Örneğin Microchip firması ürettiklerine PIC adını verirken, Intel'in ürettiği ve 1980'lerin başında piyasaya sürdüğü 8051, bazen de MCS-51 olarak da adlandırılır [20].

Her firma ürettiği chipe bir isim ve özelliklerini birbirinden ayırt etmek için de parça numarası vermektedir. Örneğin, Microchip ürettiklerine PIC adını, parça numarası olarak da 16F84, 16F872, 16F877 gibi kodlamalar verir. Intel ise ürettiği mikrodnetleyicilere MCS-51 ailesi adını vermektedir. Genel olarak bu adla anılan mikrodnetleyici ailesinde farklı özellikleri bulunan ürünleri birbirinden ayırt etmek için parça numarası olarak da 8031AH, 8051AH, 8751AHP, 8052AH, 80C51FA gibi kodlamalar kullanmaktadır [20].

PIC Mikrodnetleyicilerin Tercih Sebepleri

Çeşitli sistemlerin kontrolleri amacıyla mikrodnetleyiciler kullanılmaktadır. Üretici firmalara bağlı olarak değişik yapı ve özelliklerde mikrodnetleyiciler mevcuttur. Bunlardan PIC mikrodnetleyicilerin tercih edilme sebeplerini şu ana başlıklar altında açıklayabiliriz [21]:

Kod Verimliliği

PIC, Harvard mimarisi temelli 8 bitlik bir mikrodenetleyicidir. Bu, bellek ve veri için ayrı yerleşik veriyollarının bulunduğu anlamına gelir. Böylelikle akış miktarı veriye ve program belleğine simultane erişim sayesinde arttırılmış olur. Geleneksel mikrodenetleyicilerde veri ve programı taşıyan bir tek yerleşik veriyolu bulunur. Bu, PIC'le karşılaştırıldığında işlem hızını en az iki kat yavaşlatır.

Güvenirlilik

Tüm komutlar 12 ya da 14 bitlik bir program bellek sözcüğüne sığar. Yazılımın, veri kısmına atlamaya ve veriyi komut gibi çalıştırmasına gerek yoktur. Bu 8 bitlik veriyolu kullanan ve Harvard mimarisi temelli olmayan mikrodenetleyicilerde gerçekleşmektedir.

Komut Seti

16C5X ailesinde yazılım yaratmanız için 33 komut öğrenmeniz yeterlidir. 16CXX araçları içinse bu sayı 35'tir. PIC tarafından kullanılan komutların hepsi yazmaç (register) temellidir ve 16C5X ailesinde 12 bit 16CXX ailesindeyse 14 bit uzunluğundadır. CALL, GOTO ve bit test eden BTFSS, INCFSSZ gibi komutlar dışında, her bir komut, tek bir çevrimde çalışır.

Hız

PIC, osilatör ve yerleşik saat yolu (clock bus) arasına bağlı yerleşik bir (divide by 4) 4'lü bölünmeye sahiptir. Bu, özellikle 4MHz'lik kristal kullanıldığında komut sürelerinin hesaplanmasında kolaylık sağlar. Her bir komut döngüsü 1 μ S'dir. PIC oldukça hızlı bir mikrodur. Örneğin 5 milyon komutluk bir programın, 20 MHz'lik bir kristalle adımlanması yalnız 1 saniye sürer. Bu süre 386SX33 hızının neredeyse 2 katıdır.

Statik İşlem

PIC tamamıyla statik bir mikroişlemcidir. Başka bir deyişle saati durdurduğunuzda, tüm yazmaç içeriği korunur. Pratikte bunu tam olarak gerçekleştirmeniz mümkün değildir. PIC'i uyutma moduna geçirdiğinizde, saat durur ve PIC'e uyutma işleminden önce hangi durumda olduğunu size hatırlatacak çeşitli bayraklar kurar. PIC uyuma modunda yalnızca 1 μ A'dan küçük bir değere sahip bekleme (standby) akımı çeker.

Sürücü Kapasitesi

PIC, yüksek sürücü çıkış kapasitesine sahiptir.

Seçenekler

PIC ailesinde her tür ihtiyacınızı karşılayacak çeşitli hız, sıcaklık, kılıf, I/O hatları, zamanlama (timer) fonksiyonları, seri iletişim portları, A/D ve bellek kapasite seçenekleri bulunur.

Çok Yönlülük

PIC çok yönlü bir mikrodur ve ürünün içinde, yer darlığı durumunda birkaç mantık kapısının (logic gate) yerini değiştirmek için düşük maliyetli bir çözüm bulunur.

Güvenlik

PIC endüstride en üstünler arasında yer alan bir kod koruma özelliğine sahiptir. Koruma bitinin programlanmasından itibaren, program belleğinin içeriği, program kodunun yeniden yapılandırılmasına olanak verecek şekilde okunamaz.

Geliştirme

PIC, geliştirme amacıyla yeniden programlanabilen (EPROM) ve seri üretim amacıyla OTP (One Time Programmable - Bir kere programlanabilir) için pencereli formda bulunabilir. Geliştirme araçlarının temini mümkündür ve fiyatları bir ev kullanıcısı için bile satın alınabilir düzeydedir.

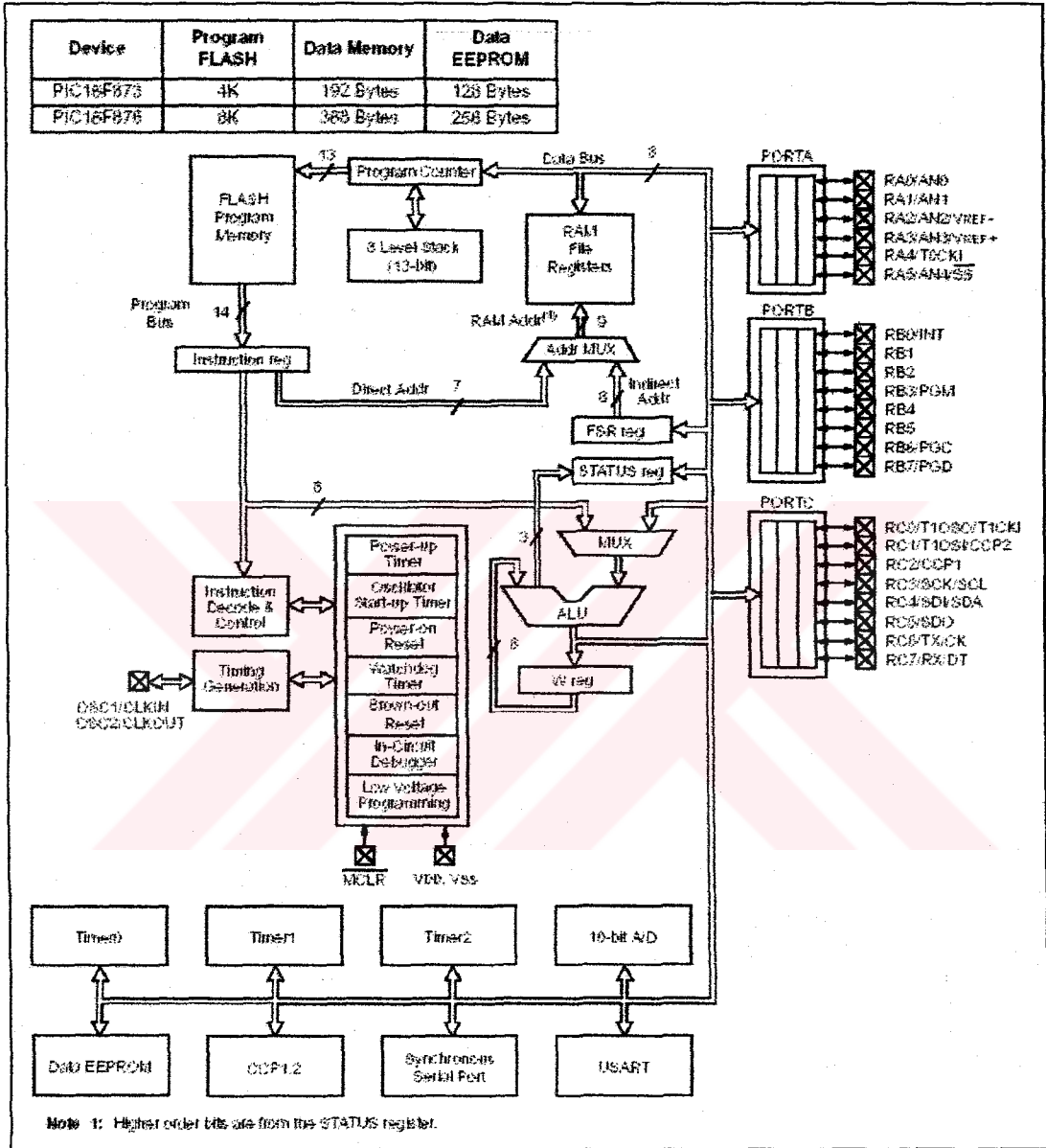


PIC 16F877 Mikrodenetleyici Temel Özellikleri

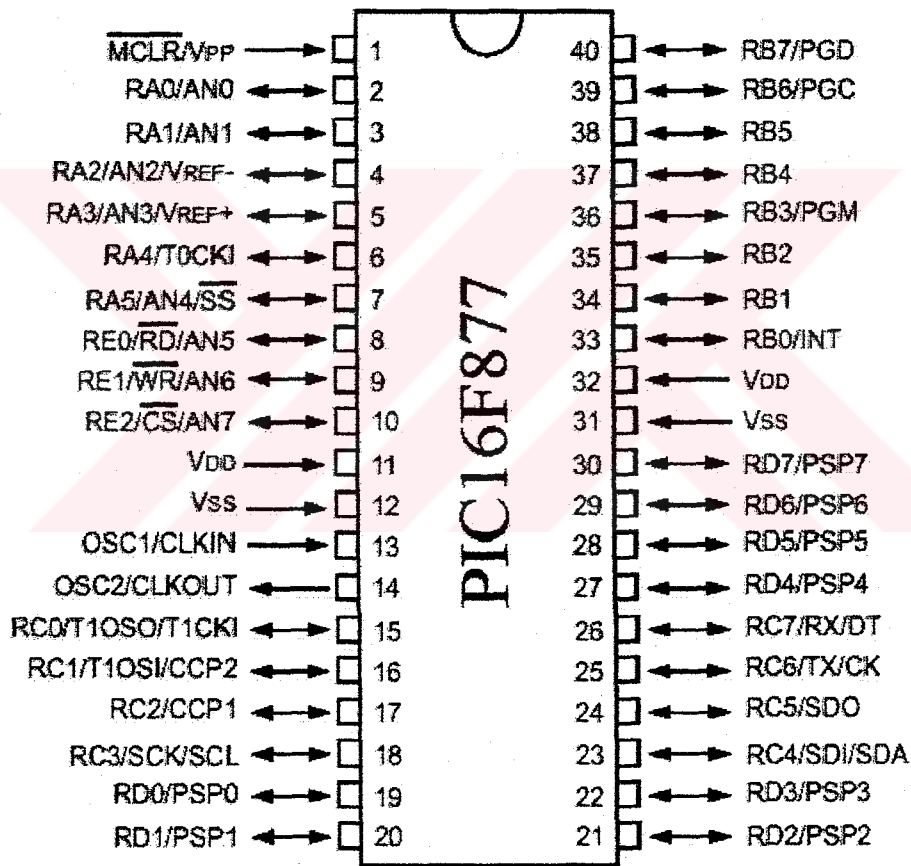
- Yüksek performanslı RISC CPU.
- Sadece 35 komuttan oluşan set.
- Dallanma komutları iki saykıl, diğer komutları tek saykıl ile tamamlama.
- Çalışma hızı = DC – 20 MHz saat girişi
= DC – 200ns komut saykılı.
- 8K x 14 Word Flash Program Belleği
368 x 8 Byte Veri Belleği (RAM)
256 x 8 Byte Veri Belleği (EEPROM)
- PIC16C73B/4B/76/77 pin uyumluluğu
- 14 adet kesme seçeneği
- 8 seviyeli donanım aygıtı
- Dorudan, dolaylı ve göreceli adresleme modları
- Açılışta reset (POR)
- Açılış zamanlayıcısı (RWRT) ve osilatör başlangıç zamanlayıcısı (OST)
- Bekçi zamanlayıcısı (WDT) güvenilir çalışma için RC osilatörüyle beraber
- Programlanabilir kod koruması
- Enerji tasarrufu sağlayan uyku (SLEEP) modu
- Seçilebilir osilatör seçenekleri
- Düşük güçlü, yüksek hızlı CMOS FLASH/EEPROM teknolojisi
- Tamamıyla statik tasarım
- İki bacakla devrede seri programlama (ICSP)
- Tek 5V ile seri programlama yeteneği
- Devrede iki bacakla hata ayıklama
- Program belleğine okuma/yazma amaçlı işlemci erişimi
- Geniş çalışma voltaj aralığı : 2.0 V - 5.5 V
- High sink/source current : 25 mA
- Ticari, endüstriyel ve uzatılmış sıcaklık aralıkları
- Düşük güç harcaması
 - 3V, 4MHz'de, 0.6mA'den az akım tüketimi
 - 3V, 32KHz'de, 20µA akım tüketimi
 - Tipik standby akımı 1µA'den az

PIC 16F877 Mikrodenetleyici Çevresel Birim Özellikleri

- Timer 0 : 8 Bit zamanlayıcı/sayıcı (ön bölücülü/prescaler)
- Timer 1 : 16 Bit zamanlayıcı/sayıcı (ön bölücülü TMR1 uyku anında harici kristal/ saat kullanılarak artırılabilir.)
- Timer 2 : 8 Bit periyot yazmacı, prescaler ve postscaler ile birlikte zamanlayıcı/sayıcı
- İki tane Yakalama/Karşılaştırma/PWM modülü
Yakalayıcı 16 Bit, maksimum çözünürlük değeri 12.5ns
Karşılaştırıcı 16 Bit, maksimum çözünürlük değeri 200 ns
PWM maksimum çözünürlüğü 10 Bit
- 10 Bit, çok kanallı Analog/Dijital Çevirici
- SPI ve I²C ile birlikte Senkronize Seri Port (SSP)
- 9 Bit adres dedektörlü Senkronize Asenkronize Alıcı Verici (USART/SCI)
- 8 Bit genişliğinde, harici $\overline{RD}$, $\overline{WD}$ ve $\overline{CS}$ kontrolleri ile birlikte Paralel Slave Port (PSP)
- BOR (Brown-Out Reset) devresi için Brown-Out dedektörü



Şekil 1. PIC16F877 mikrodnetleyici blok diyagramı



Şekil 2. PIC16F877 mikrodnetleyici bacak bağlantı diyagramı

PIC16F877 Mikrodenetleyici Bacak Bağlantıları

Bacak No	Bacak Adı	Açıklama
13	OSC1/CLKIN	Osilatör Kristal Giriş/Dış saat kaynak girişi
14	OSC2/CLKOUT	Osilatör Kristal Çıkış. Kristal Osilatör modunda kristale ya da rezonatöre bağlanır. RC modunda, OSC2 bacağı CLKOUT çıkışıdır. OSC1 frekansının ¼'üne sahiptir ve komut saykıl oranını gösterir.
1	$\overline{\text{MCLR}}/V_{PP}$	Master Clear (Reset) girişi ya da programlama gerilim girişi. Bu bacak bir aktif low durumunda devreyi reset eder.
2	RA0/AN0	PORTA iki yönlü giriş/çıkış portu RA0 analog giriş 0 RA1 analog giriş 1 RA2 analog giriş 2 ya da negatif analog referans gerilimi RA3 analog giriş 3 ya da pozitif analog referans gerilimi RA4, Timer0 zamanlayıcı/sayıcı saat girişi. Çıkış açık drain tip. RA5 analog giriş 5 ya da senkronize seri port için 'slave select'
3	RA1/AN1	
4	RA2/AN2/ V_{REF-}	
5	RA3/AN3/ V_{REF+}	
6	RA4/TOCKI	
7	RA5/ $\overline{\text{SS}}$ /AN4	
33	RB0/INT	PORTB iki yönlü giriş/çıkış portu. PORTB, tüm girişlerin içsel uyandırılması için yazılım programlanması yapılabilir. RB0 bacağı, dış kesme için de kullanılabilir. RB3 bacağı, düşük gerilim programlama girişi için kullanılabilir. RB4 bacağı, bacak gerilim değişiminde kesme özellikli kullanılabilir. RB5 bacağı, bacak gerilim değişiminde kesme özellikli kullanılabilir. RB6 bacağı, bacak gerilim değişiminde kesme özellikli ya da devrede hata ayıklayıcı bacaktır. Seri olarak saat programlama. RB7 bacağı, bacak gerilim değişiminde kesme özellikli ya da devrede hata ayıklayıcı bacaktır. Seri olarak veri programlama.
34	RB1	
35	RB2	
36	RB3/PGM	
37	RB4	
38	RB5	
39	RB6/PGC	
40	RB7/PGD	

PIC16F877 Mikrodenetleyici Bacak Bağlantıları (Devam)

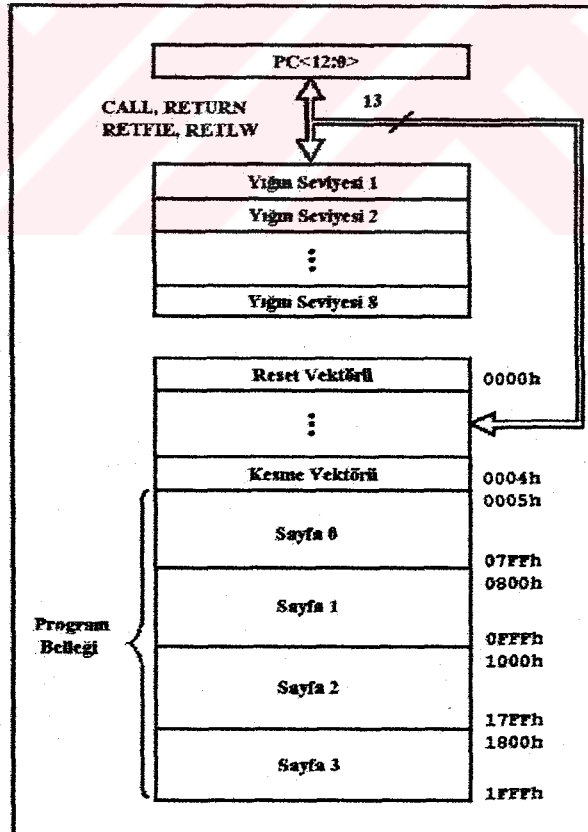
Bacak No	Bacak Adı	Açıklama
15	RC0/T1OSO/T1CKI	PORTC iki yönlü giriş/çıkış portu.
16	RC1/T1OSI/CCP2	RC0 bacağı, Timer1 osilatör girişi ya da Timer1 saat girişidir.
17	RC2/CCP1	RC1 bacağı, Timer1 osilatör girişi ya da Yakala2 girişi/ Karşılaştırmacı çıkışı/ PWM2 çıkışıdır.
18	RC3/SCK/SCL	RC2 bacağı, Yakala1 girişi/ Karşılaştırmacı çıkışı/ PWM1 çıkışıdır.
23	RC4/SDI/SDA	RC3 bacağı, SPI ve I ² C modlarının her ikisi için senkronize seri saat giriş/çıkışı olabilir.
24	RC5/SD0	RC4 bacağı, SPI modunda SPI veri girişi ya da I ² C modunda veri giriş/çıkışı.
25	RC6/TX/CK	RC5 bacağı, SPI modunda SPI veri çıkışı.
26	RC7/RX/DT	RC6 bacağı, USART asenkronize verici ya da senkronize saat.
		RC7 bacağı, USART asenkronize alıcı ya da senkronize veri.
19	RD0/PSP0	PORTD, iki yönlü giriş/çıkış portu ya da bir mikroişlemci veriyoluna arabirimlendiğinde "parallel slave port"
20	RD1/PSP1	
21	RD2/PSP2	
22	RD3/PSP3	
27	RD4/PSP4	
28	RD5/PSP5	
29	RD6/PSP6	
30	RD7/PSP7	
8	RE0/ $\overline{RD}$ /AN5	PORTE iki yönlü giriş/çıkış portu
9	RE1/ $\overline{WR}$ /AN6	RE0, PSP için okuma kontrolü ya da analog giriş 5
10	RE2/ $\overline{CS}$ /AN7	RE1, PSP için yazma kontrolü ya da analog giriş 6
12,31	VSS	RE2, PSP için select kontrolü ya da analog giriş 7
11,32	VDD	Toprak Referansı
		Pozitif Kaynak Uçları

Bellek Organizasyonu

PIC 16F877 mikrodnetleyicide üç adet bellek bloğu vardır. Program belleği ve veri belleği ayrı veriyoluna sahiptir. Bu belleklere aynı anda erişim mümkündür.

Program Bellek Organizasyonu

PIC 16F877 mikrodnetleyicide 13 bit program sayacı ile 8Kx14 word program bellek uzayı adreslenebilir. Ayrıca 8Kx14 word Flash program belleğine sahiptir. Reset vektörü 0000h ve kesme vektörü 0004h adresindedir. Mikrodnetleyici bellek haritası Şekil 3'de görölmektedir.



Şekil 3. PIC 16F877 Mikrodnetleyici bellek haritası

Veri Bellek Organizasyonu

Veri belleği çoklu banklara bölünmüş, Genel Amaçlı Yazmaçlar ve Özel Fonksiyon Yazmaçlarını içerir. Durum Yazmacının RP0 ve RP1 bitleri bu bankları seçmek için kullanılmaktadır.

RP1:RP0	Bank
00	0
01	1
10	2
11	3

Her bank 7Fh (128) bayt genişliğindedir. Her bankın düşük adresleri Özel Fonksiyon Yazmaçları için ayrılmıştır. Üst adreslere statik RAM gibi Genel Amaçlı Yazmaçlar yerleşmiştir.

Genel Amaçlı Yazmaç Dosyası

Genel Amaçlı yazmaç dosyasına doğrudan ya da Dosya Seçim Yazmacı (FSR-File Select Register) ile dolaylı olarak ulaşılabilir.

Özel Fonksiyonlu Yazmaçlar

Özel Fonksiyon Yazmaçları, aygıtın istediği işlemlerin kontrolü için CPU ve çevre birimlerince kullanılan yazmaçlardır. Bu yazmaçlar statik RAM şeklindedir. Özel Fonksiyon Yazmaçları, CPU ve çevre birimleri için kullanılabilir.

Durum Yazmacı

Durum yazmacı, ALU aritmetik durumu, Reset durumu ve veri belleğinin seçim bitlerini içermektedir. Durum yazmacı, herhangi bir komut için kaynak olabilir. Eğer durum yazmacı herhangi bir komut için kaynaksa, Z, DC ve C bitlerine olan etkiler için yazma yetkisi yoktur. Bu bitlerin set ya da sıfırlanması aygıt mantığına göre olmaktadır.

Giriş/Çıkış Portları

PIC 16F877 mikrodenetleyicide PORTA, PORTB, PORTC, PORTD ve PORTE'den oluşan toplam beş adet port bulunmaktadır. Bu portların bazı bacakları, devredeki çevresel özellikler için alternatif fonksiyonlu yapıya sahiptir.

PORTA ve TRISA Yazmacı

PORTA 6 bit genişliğinde, iki yönlü ve her biti birbirinden bağımsız olarak giriş ya da çıkış olarak belirlenebilmektedir. RA0, RA1, RA2, RA3 ve RA5 bitlerinden oluşan PORTA, analog giriş ya da dijital giriş/çıkış için ayarlanabilmektedir. PORTA bacaklarının yönü, TRISA yazmacı ile kontrol edilmektedir. TRISA'nın bir biti set edildiğinde PORTA'daki karşılığı olan bacak giriş olarak ayarlanır. Eğer TRISA'nın bir biti sıfırlanırsa, PORTA'nın ilgili bacağı çıkış olarak ayarlanmış olur.

Diğer PORTA bacakları da analog giriş ve analog VREF girişi olarak kullanılmaktadır. ADCON1 yazmacındaki kontrol bitlerinin sıfırlanıp set edilmesiyle her bacağın çalışma şekli seçilebilir. Böylelikle port bacağının analog giriş ya da dijital giriş çıkış olarak tanımlanması yapılmış olur.

TA4 bacağı, Timer0 modülü saat girişi olarak da görev yapabilir. RA4/TOCK1 bacağı Schmitt tetikleyici giriş ve bir açık drain çıkıştır. Diğer port bacakları ise TTL giriş seviyesine ve CMOS çıkış sürücülerine sahiptir.

TRISA yazmacı, RA bacaklarının yönünü kontrol eder. Kullanıcı PORTA bacaklarını analog giriş olarak kullanacaksa, TRISA yazmacında bu bacakların giriş olarak düzenlendiğinden emin olmalıdır.

İşlemci ilk çalıştırıldığında RA4 bacağı hariç diğer beş bacak A/D çevirici durumundadır.

YAZMAÇ	BANK	ADRES
PORTA	Bank0	05h
TRISA	Bank1	85h
ADCON1	Bank1	9Fh

PORTB ve TRISB Yazmacı

PORTB 8 bit genişliğinde, iki yönlü ve her biti birbirinden bağımsız olarak giriş ya da çıkış olarak belirlenebilmektedir. PORTB bacaklarının yönü, TRISB yazmacı ile kontrol edilmektedir. TRISB'nin bir biti set edildiğinde PORTB'deki karşılığı olan bacak giriş olarak ayarlanır. Eğer TRISB'nin bir biti sıfırlanırsa, PORTB'nin ilgili bacağı çıkış olarak ayarlanmış olur.

PORTB'nin RB3, RB6 ve RB7 bacakları düşük gerilim programlama modunda da kullanılabilmektedir.

PORTB'nin RB4, RB5, RB6 ve RB7'den oluşan dört bacağı eğer giriş olarak ayarlanmışsa, herhangi bir değişimde kesme özelliğine sahiptirler. PORTB'nin RB4, RB5, RB6 ve RB7 bacağı, PORTB'nin son okunan eski değerleri ile yeni okudukları değerleri karşılaştırırlar. Uyumsuz RB4, RB5, RB6 ve RB7 çıkışları RB port değişim kesmesi üretmek için, INTCON yazmacının RBIF bayrak biti ile OR işlemine tabi tutulur. Bu kesme, devreyi Sleep durumundan uyandırabilir. Kullanıcı, kesme servis altıordamında, kesmeyi şu yollarla kaldırabilir:

- PORTB'nin herhangi bir okuma veya yazmasında. Uyumsuzluk durumunu sona erdirir.
- RBIF bayrak biti sıfırlanarak.

Uyumsuzluk durumu RBIF bayrak bitini set etmeye devam edecektir. PORTB'nin okuması uyumsuzluk durumunu sona erdirecektir ve RBIF bayrak bitini sıfırlayacaktır.

YAZMAÇ	BANK	ADRES
PORTB	Bank0	06h
	Bank2	106h
TRISB	Bank1	86h
	Bank3	186h

PORTC ve TRISC Yazmacı

PORTC 8 bit genişliğinde, iki yönlü ve her biti birbirinden bağımsız olarak giriş ya da çıkış olarak belirlenebilmektedir. PORTC bacaklarının yönü, TRISC yazmacı ile kontrol edilmektedir. TRISC'nin bir biti set edildiğinde PORTC'deki karşılığı olan bacak giriş olarak ayarlanır. Eğer TRISC'nin bir biti sıfırlanır, PORTC'nin ilgili bacağı çıkış olarak ayarlanmış olur.

PORTC'nin bacakları, çevre birim fonksiyonları için çok amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca PORTC bacakları, Schmitt tetikleyici giriş tamponlarına sahiptir. Çevre birim fonksiyonları kullanıldığında, PORTC için her bacağın doğru olarak tanımlanmış olması gerekmektedir.

YAZMAÇ	BANK	ADRES
PORTC	Bank0	07h
TRISC	Bank1	87h

PORTD ve TRISD Yazmacı

PORTD 8 bit genişliğinde, iki yönlü ve her biti birbirinden bağımsız olarak giriş ya da çıkış olarak belirlenebilmektedir. PORTD bacaklarının yönü, TRISD yazmacı ile kontrol edilmektedir. TRISD'nin bir biti set edildiğinde PORTD'deki karşılığı olan bacak giriş olarak ayarlanır. Eğer TRISD'nin bir biti sıfırlanır, PORTD'nin ilgili bacağı çıkış olarak ayarlanmış olur.

PORTD bacakları Schmitt tetikleyici giriş tamponlarına sahiptir. PORTD, TRISE yazmacının PSPMODE kontrol bitinin set edilmesiyle 8 bit genişlikte mikroişlemci portu gibi ayarlanabilir.

YAZMAÇ	BANK	ADRES
PORTD	Bank0	08h
TRISD	Bank1	88h
TRISE	Bank1	89h

PORTE ve TRISE Yazmacı

PORTE 3 bit genişliğinde, iki yönlü ve her biti birbirinden bağımsız olarak giriş ya da çıkış olarak belirlenebilmektedir. RE0, RE1, RE2'den oluşan her üç bacağı da analog giriş ya da dijital giriş/çıkış için ayarlanabilmektedir. PORTE bacaklarının yönü, TRISE yazmacı ile kontrol edilmektedir. TRISE'nin bir biti set edildiğinde PORTE'deki karşılığı olan bacak giriş olarak ayarlanır. Eğer TRISE'nin bir biti sıfırlanırsa, PORTE'nin ilgili bacağı çıkış olarak ayarlanmış olur. Kullanıcı PORTE bacaklarını analog giriş olarak kullanacak ise, TRISE yazmacında bu bacakların giriş olarak düzenlendiğinden emin olmalıdır.

Her üç bacak da Schmitt tetikleyici giriş tamponuna sahiptir.

YAZMAÇ	BANK	ADRES
PORTE	Bank0	09h
TRISE	Bank1	89h
ADCON1	Bank1	9Fh

İşlemci ilk çalıştırıldığında, PORTE'nin üç bacağı da A/D çevirici şeklindedir. ADCON1 yazmacında gerekli ayarlar yapılarak bu bacaklar dijital giriş/çıkış olarak ayarlanabilir. A/D çevirici modunda iken giriş tamponları TTL şeklindedir.

PIC 16F877 ANALOG/DİJİTAL ÇEVİRİCİ

40 pinli PIC 16F877 mikrodnetleyicide 8 adet analog giriş mevcuttur. 28 pinli diğer mikrodnetleyicilerde ise 5 adet analog giriş bulunmaktadır. PIC 16F877' de bulunan A/D çeviriciler, analog bir giriş sinyalinin, 10 bit sayısal bilgiye çevrilmesini sağlarlar. A/D çevirici Sleep modunda iken işlem yapabilme yeteneğine sahiptir. Sleep modda iken, A/D saati A/D çeviricinin içsel RC osilatöründen türetilmelidir.

A/D modülü dört yazmaca sahiptir. Bu yazmaçlar :

- * A/D Sonuç Yazmacı (Yüksek Seviye) : (ADRESH)
- * A/D Sonuç Yazmacı (Düşük Seviye) : (ADRESL)
- * A/D Kontrol Yazmacı 0 : (ADCON0)
- * A/D Kontrol Yazmacı 1 : (ADCON1)

Şekil 5'de görülen ADCON0 yazmacı, A/D birimin çalışmasını kontrol eder. Şekil 6'da görülen ADCON1 yazmacı, port bacaklarının fonksiyonlarının ayarlanmasını sağlar.

Port bacakları analog giriş ya da dijital giriş/çıkış olarak ayarlanabilir.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	-	ADON
Bit 7							Bit 0

Şekil 5. 1Fh adresli ADCON0 yazmacı

Bit 7-6 ADCS1:ADCS0 : A/D Çevrim Saat Seçme Bitleri

$$00 = F_{osc}/2$$

$$01 = F_{osc}/8$$

$$10 = F_{osc}/32$$

$$11 = F_{RC} \text{ (Saat sinyali, iç A/D modül RC osilatörden elde edilir.)}$$

Bit 5-3 CHS2:CHS0 : Analog Kanal Seçim Bitleri

000 = Kanal 0, (RA0/AN0)

001 = Kanal 1, (RA1/AN1)

010 = Kanal 2, (RA2/AN2)

011 = Kanal 3, (RA3/AN3)

100 = Kanal 4, (RA5/AN4)

101 = Kanal 5, (RE0/AN5)

110 = Kanal 6, (RE1/AN6)

111 = Kanal 7, (RE2/AN7)

Bit 2 $\overline{GO/DONE}$: A/D Çevrim Durum Biti

Eğer ADON=1 ise :

1 = A/D Çevrim işleminde.

(Bu bitin set edilmesi A/D çevrimi başlatır.)

0 = A/D Çevrim işleminde değil.

(A/D çevrim işlemi tamamlandığında, donanım tarafından bu bit otomatik olarak sıfırlanır.)

Bit 1 Uygulanmaktadır. "0" gibi okunur.

Bit 0 ADON : A/D işlem biti

1 = A/D çevirici modül işleminde.

0 = A/D çevirici modül kapalı ve akım çekmemektedir.

R/W-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	-	-	-	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
Bit 7							Bit 0

Şekil 6. 9Fh adresli ADCON1 yazmacı

Bit 7 ADFM : A/D Modülün Format Seçim Biti

1 = Sağa yanaşık. ADRESH yazmacının en önemli 6 biti 0'dır.

0 = Sola yanaşık. ADRESL yazmacının en önemsiz 6 biti 0'dır.

Bit 6-4 Uygulanmamaktadır. "0" gibi okunur.

Bit 3-0 PCFG3:PCFG0 :A/D Port Ayarlama Kontrol Bitleri

PCFG3: PCFG0	AN7 RE2	AN6 RE1	AN5 RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	V_{REF}^+	V_{REF}^-	CHAN/ Refs
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	V_{DD}	V_{SS}	8/0
0001	A	A	A	A	V_{REF}^+	A	A	A	RA3	V_{SS}	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	V_{DD}	V_{SS}	5/0
0011	D	D	D	A	V_{REF}^+	A	A	A	RA3	V_{SS}	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	V_{DD}	V_{SS}	3/0
0101	D	D	D	D	V_{REF}^+	D	A	A	RA3	V_{SS}	2/1
011X	D	D	D	D	D	D	D	D	V_{DD}	V_{SS}	0/0
1000	A	A	A	A	V_{REF}^+	V_{REF}^-	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	V_{DD}	V_{SS}	6/0
1010	D	D	A	A	V_{REF}^+	A	A	A	RA3	V_{SS}	5/1
1011	D	D	A	A	V_{REF}^+	V_{REF}^-	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	V_{REF}^+	V_{REF}^-	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	V_{REF}^+	V_{REF}^-	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	V_{DD}	V_{SS}	1/0
1111	D	D	D	D	V_{REF}^+	V_{REF}^-	D	A	RA3	RA2	½

A = Analog Giriş D = Dijital Giriş/Çıkış R/W = Yazılabilir/Okunabilir
X = Bilinmiyor U = Uygulanmayan bit. "0" gibi okunur.

A/D çeviricinin 10 bitlik sonucu, ADRESH:ADRESL yazmaçlarında tutulmaktadır. A/D çevirme işlemi tamamlandığında, sonuç A/D sonuç yazmaç çiftine yüklenir, ADCON0 yazmacının GO/DONE biti sıfırlanırken, A/D kesme bayrak biti ADIF ise set edilir.

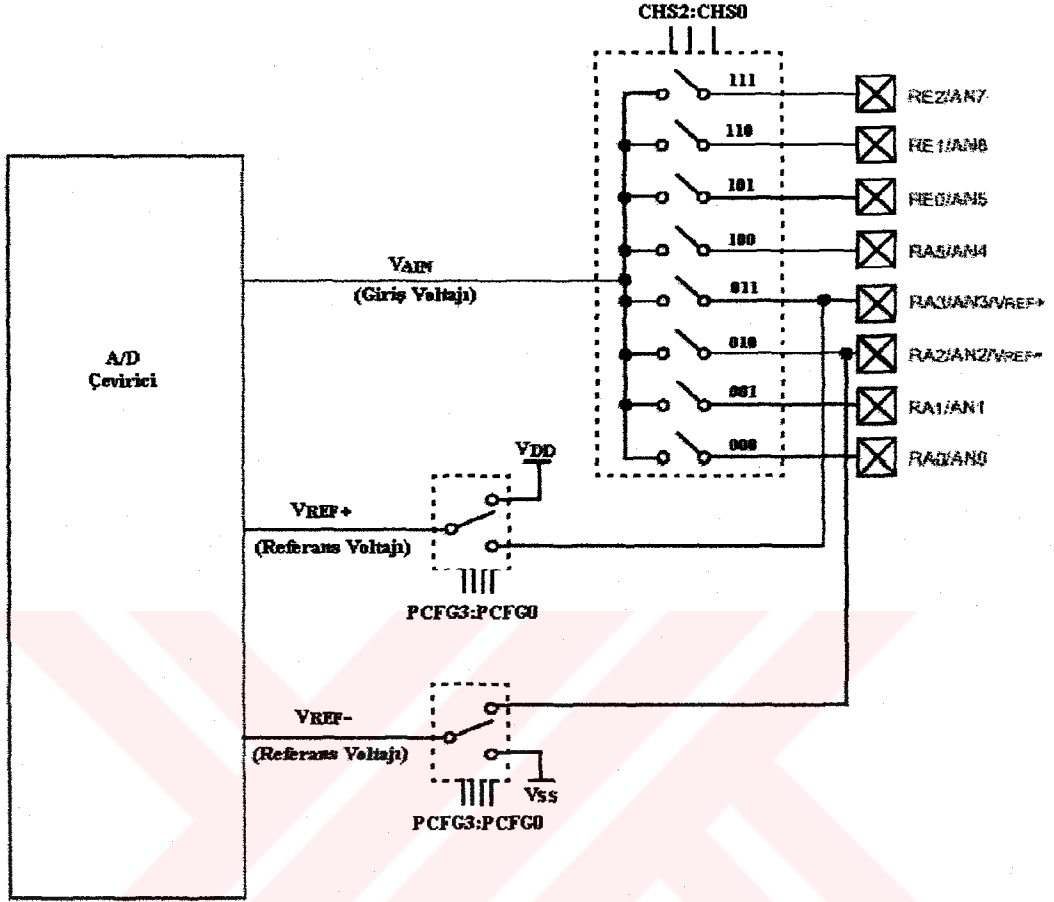
A/D modülün blok diyagramı Şekil 7'de görüldüğü gibidir. A/D modülü istenildiği gibi ayarlandıktan sonra, çevirme işlemine başlamadan önce kanal seçimi yapılmış olmalıdır. Analog giriş kanallarına ait TRIS bitleri giriş olarak seçili olmalıdır.

A/D çevrim adımlarını şu şekilde sıralayabilir :

1. A/D modülün ayarlanması

- Analog bacaklar, voltaj referansı ve dijital giriş/çıkışlar ayarlanır. (ADCON1)
- A/D giriş kanalı seçilir. (ADCON0)
- A/D çevrim saati seçilir. (ADCON0)

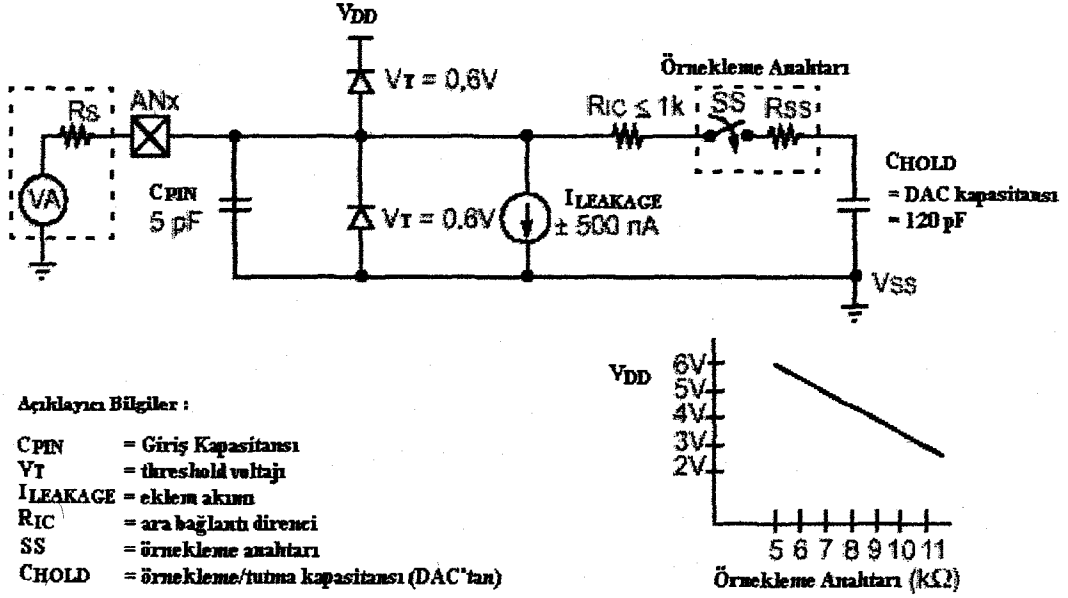
- A/D modülü açılır. (ADCON0)
2. A/D kesmesinin ayarlanması yapılır. (Eğer gerekiyorsa)
 - ADIF biti sıfırlanır.
 - ADIE biti set edilir.
 - PEIE biti set edilir.
 - GIE biti set edilir.
 3. Gereken “elde edip tutma” zamanı kadar beklenir.
 4. Çevirme işlemi başlar.
 - $\overline{GO/DONE}$ biti set edilir. (ADCON0)
 5. A/D çevirme işleminin tamamlanması için aşağıdakilerin herhangi biriyle beklenir.
 - $\overline{GO/DONE}$ biti sıfır olması için kutuplanır.
 - A/D kesmesi için beklenir.
 6. A/D sonuç yazmaç çifti (ADRESH:ADRESL) okunur, gerekli ise ADIF biti sıfırlanır.
 7. Gerekli ise sonraki çevrim işlemi için adım 1 ya da adım 2’ye gidilir. Her bitin A/D çevirme zamanı TAD olarak tanımlanmıştır. Sonraki kazanım başlamadan önce minimum 2TAD süresince bir bekleme gereklidir.



Şekil 7. A/D blok diyagram

A/D Acquisition Requirements (A/D KAZANMA ŞARTLARI)

A/D çevirici için şarj tutma kapasitörü (CHOLD)'nün giriş kanal voltaj seviyesine tam olarak dolmasına izin verilmelidir. Analog giriş modeli şekil.11-2'de görüldüğü gibidir. Kaynak empedansı (RS) ve iç örnekleme anahtarı empedansı (RSS); CHOLD kapasitörünün dolması için gereken zamanı doğrudan etkilemektedir. Örnekleme anahtar empedansı (RSS), aygıt voltajı VDD'ye göre Şekil 8.'de görüldüğü gibi değişmektedir. Analog kaynak için önerilen maksimum empedans 10 KΩ'dur. Empedans azaldığı gibi, kazanma tutma zamanı azalacaktır.



Şekil 8. Analog giriş modeli

A/D Çevrimi Saat Seçimi

A/D çevrimi zamanı her bit için T_{AD} kadar tanımlanmıştır. 10 bit için çevrim süresi ise tam olarak $12 T_{AD}$ 'dir. A/D çevrim saat kaynağı yazılımla seçilir. T_{AD} için dört seçim mümkündür :

- $2T_{OSC}$
- $8T_{OSC}$
- $32T_{OSC}$
- İçsel A/D modül RC osilatörü (2-6μs)

A/D çevrimin geçerliliği için, A/D çevrim saati (T_{AD}), minimum 1.6μs seçilmelidir.

Analog Port Bacaklarının Ayarlanması

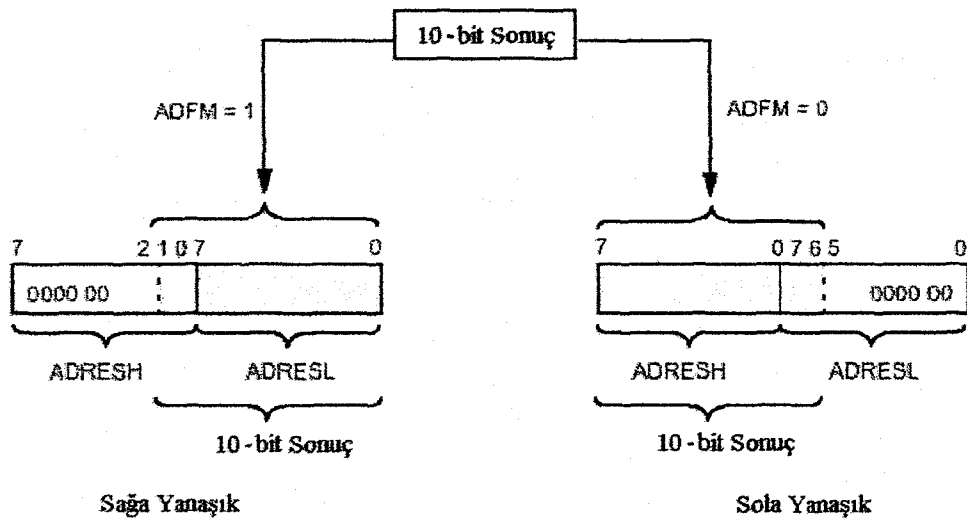
A/D port bacaklarını, $ADCON1$ ve $TRIS$ kaydedicileri kontrol etmektedir. Port bacakları, analog giriş olarak kullanılacak ise onlara karşılık gelen $TRIS$ bitleri set edilmelidir. Eğer $TRIS$ biri sıfırlanmış ise, dijital çıkış çevrilmiş olacaktır.

A/D Çevrimleri

Dönüşüm sırasında $\overline{GO/DONE}$ bitinin sıfırlanması ile dönüştürme işlemi yarıda bırakılacaktır. A/D sonuç kaydedici çifti kısmen tamamlanan A/D dönüştürme ile güncellenmeyecektir. **ADRESH** : **ADRESL** kaydedicileri önceki dönüşüm sonuçlarını içermeye devam edecektir. A/D dönüşümü bırakıldıktan sonra, bir sonraki yakalamaya başlamadan önce 2TAD'lik bekleme gerekmektedir. 2TAD'lik beklemeden sonra, seçili kanaldaki yakalama otomatik olarak başlamaktadır. $\overline{GO/DONE}$ biti set edilerek dönüşüm başlatılır.

A/D Sonuç Kaydedicileri

ADRESH : **ADRESL** kaydedici çiftine, A/D dönüşümün tamamlanmasında, 10 bit A/D sonuç yüklenir. Bu kaydediciler 16 bit genişliğindedir. A/D modül, 16 bit sonuç kaydedici çiftine 10 bit A/D sonuç değerini sağa ya da sola yanaşık olarak almaktadır. A/D format seçim biti (ADFM) ile bu sola ya da sağa yanaşık olma durumu kontrol edilir. Şekil 9'da A/D sonucunun yanaşık olma durum işlemi görülmektedir.



Şekil 9. A/D sonucun yazmaçta sola ve sağa yanaşık gösterilmesi

Sleep Sırasında A/D İşlemi

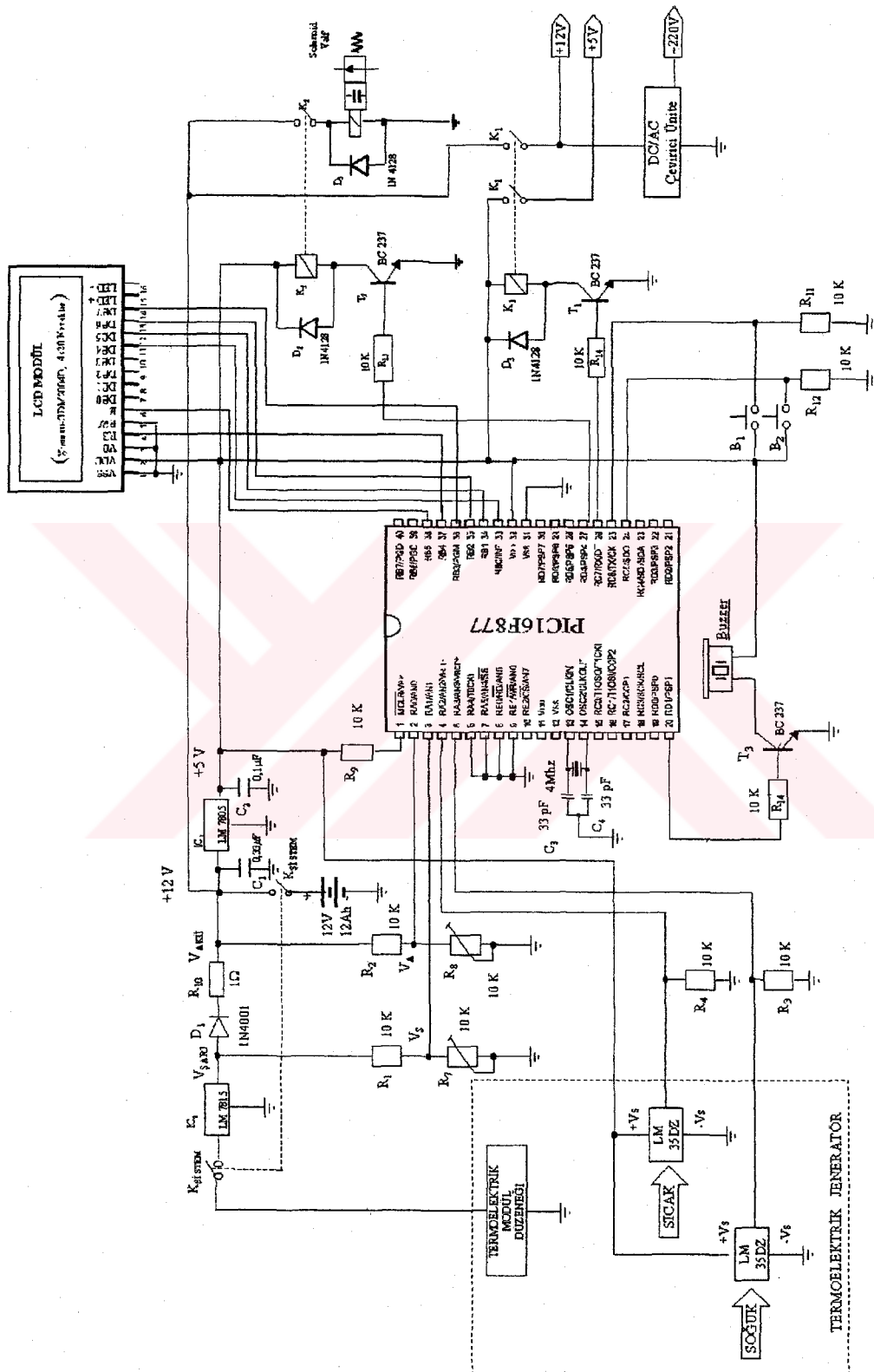
A/D modül, SLEEP modunda iken çalışabilmektedir. A/D modülün, Sleep modunda çalışması için A/D saat kaynağı RC olarak set edilmelidir. (ADCS1:ADCS0 = 11)

RESET Etkisi

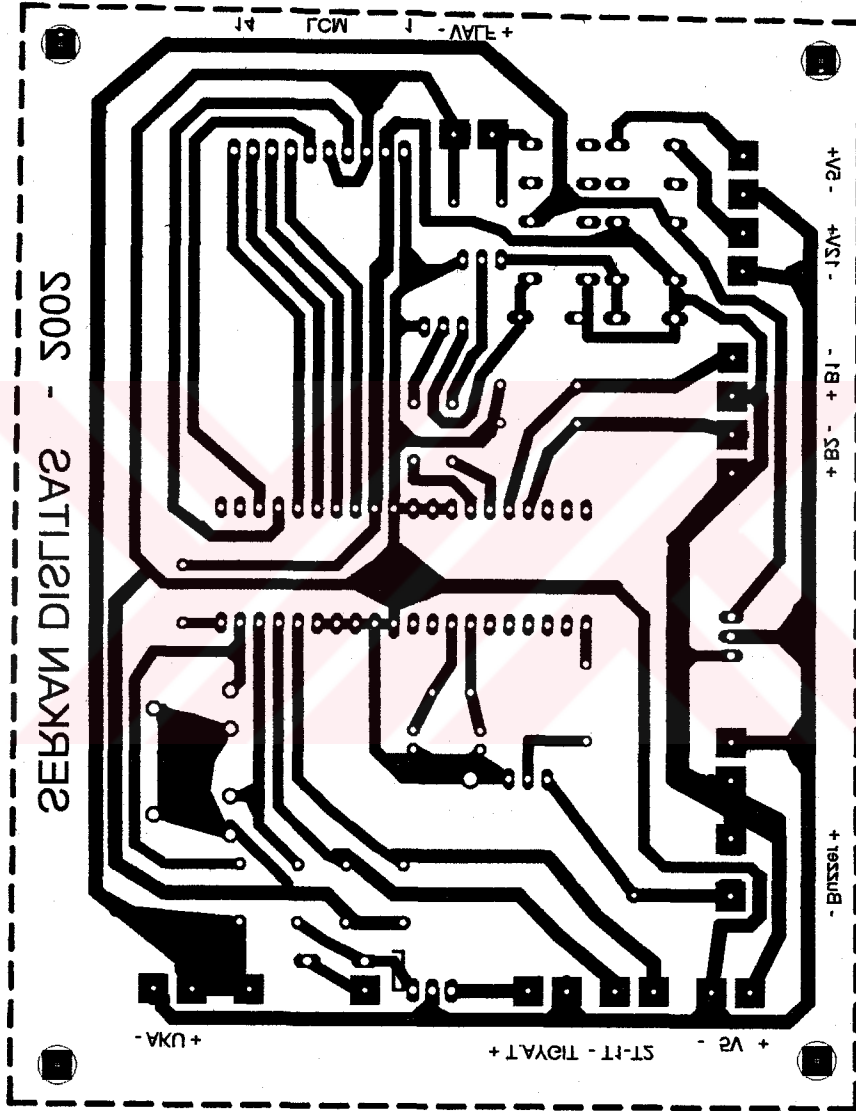
Aygıtın resetlenmesi ile A/D modül kapatılır ve herhangi bir dönüşüm varsa yarıda bırakılır. A/D giriş bacakları analog giriş gibi ayarlanır. ADRESH:ADRESL yazmaç içeriği reset ile düzenlenemez. Reset sonrasında ADRESH:ADRESL yazmaçları bilinmeyen bir veriyi içerecektir [19].



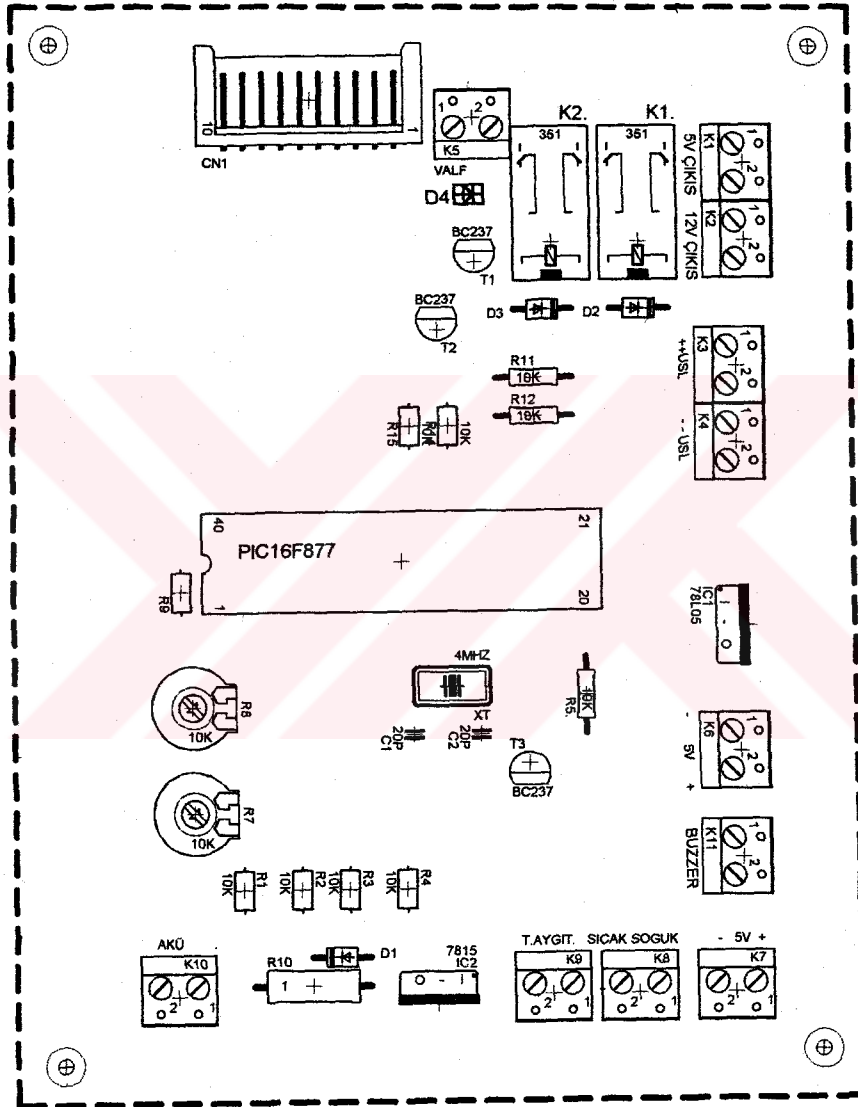
**EK-2 : TASARIMI GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEMİN KONTROL DEVRESİNE
AİT AÇIK VE BASKI DEVRE ŞEMASI**



Tasarlanan Sisteme Ait Elektronik Devre Şeması

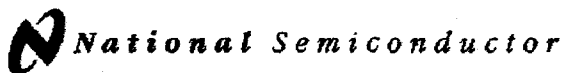


Tasarlanan Sisteme Ait Baskı Devre Şeması



Tasarlanan Sisteme Ait Baskı Devre Eleman Yerleşim Planı

**EK-3 : TASARIMI GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEME AİT ENTEGRE
DEVRELERİN KATALOG BİLGİLERİ**



September 1997

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

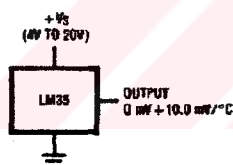
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\text{ }\mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40 to $+110^\circ\text{C}$ range (-10°C with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in

hermetic TO-48 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

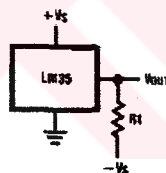
- Calibrated directly in Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\text{ mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55 to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\text{ }\mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\text{ }\Omega$ for 1 mA load

Typical Applications



DS005516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



DS005516-4

Choose $R_T = -V_S/50\text{ }\mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1.500\text{ mV at } +150^\circ\text{C}$
 $= +250\text{ mV at } +25^\circ\text{C}$
 $= -550\text{ mV at } -55^\circ\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

Connection Diagrams

**TO-46
Metal Can Package***



BOTTOM VIEW
DS000516-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H,
LM35AH, LM35CH,
LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number
H03H

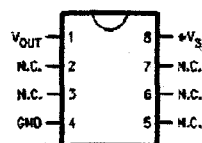
**TO-92
Plastic Package**



BOTTOM VIEW
DS000516-2

Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number
Z03A

**SO-8
Small Outline Molded Package**

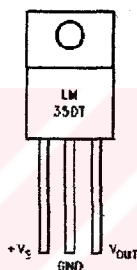


DS000516-21

N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

**TO-220
Plastic Package***



*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP

DS000516-24

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

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

Supply Voltage +35V to -0.2V
Output Voltage +6V to -1.0V
Output Current 10 mA

Storage Temp.:

TO-46 Package, -60°C to +180°C
TO-92 Package, -60°C to +150°C
SO-8 Package, -65°C to +150°C
TO-220 Package, -65°C to +150°C

Lead Temp.:

TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds) 300°C
TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds) 260°C
SO Package (Note 12) Vapor Phase (60 seconds) 215°C
Infrared (15 seconds) 220°C
ESD Susceptibility (Note 11) 2500V

Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)

LM35, LM35A -55°C to +150°C
LM35C, LM35CA -40°C to +110°C
LM35D 0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = -10^{\circ}\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	$^{\circ}\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^{\circ}\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^{\circ}\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^{\circ}\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^{\circ}\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^{\circ}\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^{\circ}\text{C}$

Electrical Characteristics

(Notes 1, 5)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$				± 0.9		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$				± 0.9		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^{\circ}\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$+10.0$	$+9.8$, $+10.2$		$+10.0$		$+9.8$, $+10.2$	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1\text{ mA}$	$T_A = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{ V}$, $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{ V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{ V}$, $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{ V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}$, $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+0.39$		$+0.7$	$+0.39$		$+0.7$	$\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	$+1.5$		$+2.0$	$+1.5$		$+2.0$	$^{\circ}\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^{\circ}\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150\text{ }^{\circ}\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +110\text{ }^{\circ}\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +100\text{ }^{\circ}\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{ V}$ dc and $I_{LOAD} = 50\text{ }\mu\text{A}$, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is 400 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ junction to ambient, and 24 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is 90 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^{\circ}\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

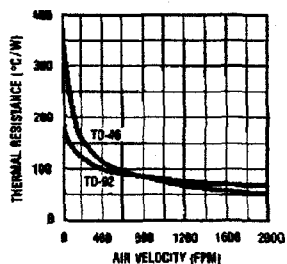
Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

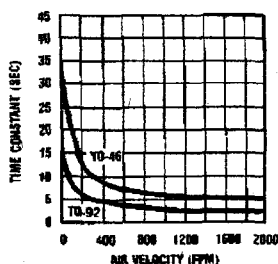
Typical Performance Characteristics

Thermal Resistance
Junction to Air



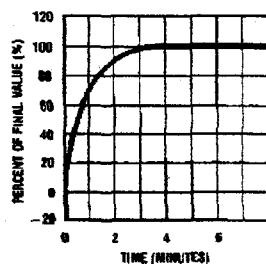
DS005516-25

Thermal Time Constant



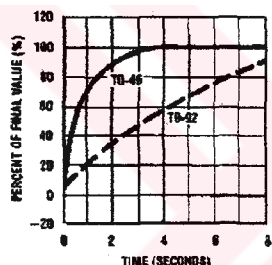
DS005516-26

Thermal Response
in Still Air



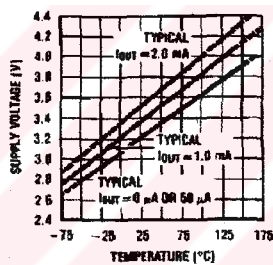
DS005516-27

Thermal Response in
Stirred Oil Bath



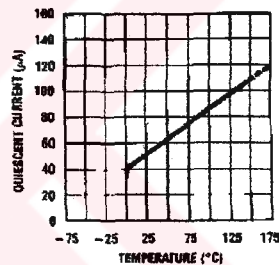
DS005516-28

Minimum Supply
Voltage vs. Temperature



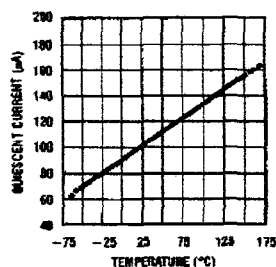
DS005516-29

Quiescent Current
vs. Temperature
(In Circuit of Figure 1.)



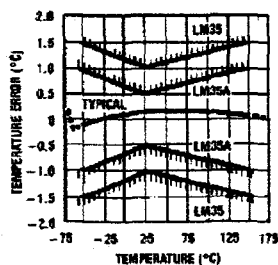
DS005516-30

Quiescent Current
vs. Temperature
(In Circuit of Figure 2.)



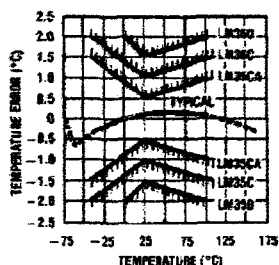
DS005516-31

Accuracy vs. Temperature
(Guaranteed)



DS005516-32

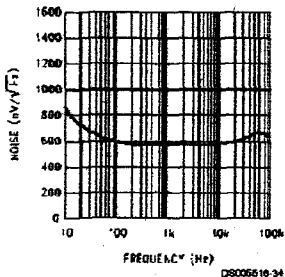
Accuracy vs. Temperature
(Guaranteed)



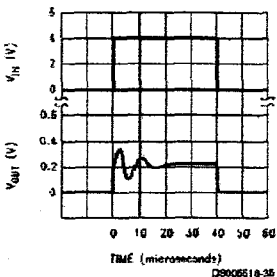
DS005516-33

Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01 C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-and metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, θ_{JA})

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8**, small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400 C/W	100 C/W	190 C/W	140 C/W	220 C/W	110 C/W	90 C/W
Moving air	100 C/W	40 C/W	90 C/W	70 C/W	105 C/W	90 C/W	28 C/W
Still oil	100 C/W	40 C/W	90 C/W	70 C/W			
Stirred oil	50 C/W	30 C/W	45 C/W	40 C/W			
(Clamped to metal infinite heat sink)		(24 C/W)				(55 C/W)	

*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

**TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

Typical Applications

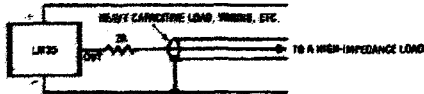


FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load

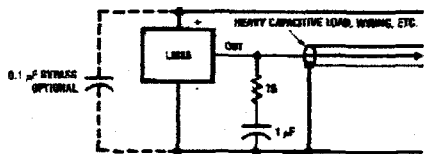


FIGURE 4. LM35 with R-C Dampers

CAPACITIVE LOADS

Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pf without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4. When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, Figure 6 or Figure 8 it is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc., as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figure 13, Figure 14, and Figure 16.

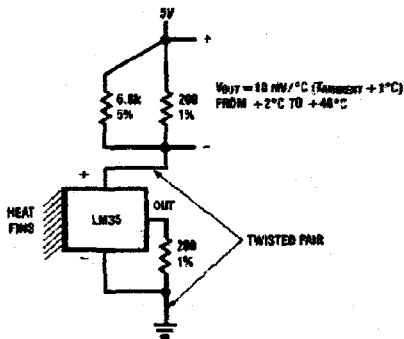


FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)

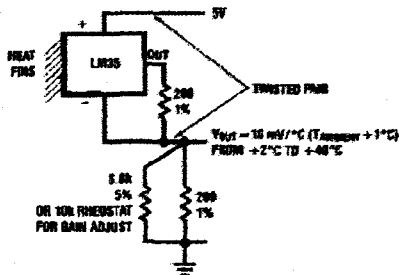


FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

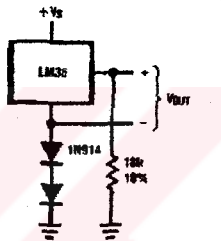


FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55° to +150°C

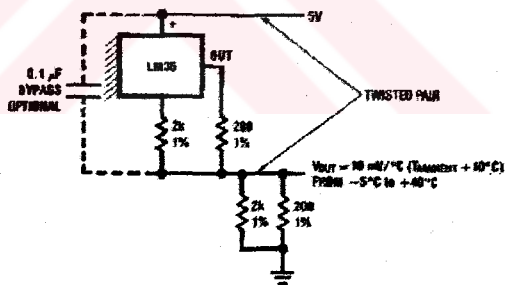


FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

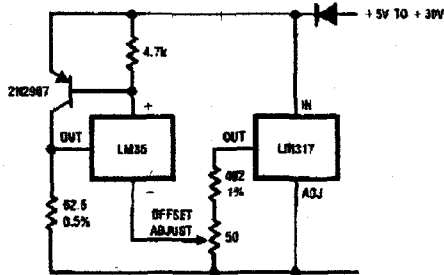


FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

Typical Applications (Continued)

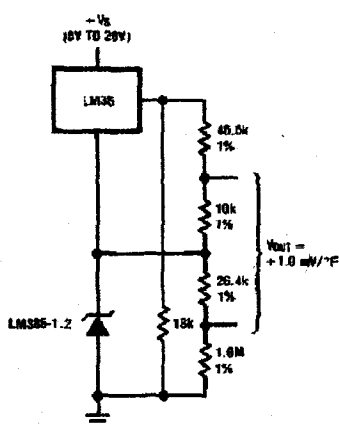


FIGURE 10. Fahrenheit Thermometer

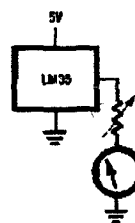


FIGURE 11. Centigrade Thermometer (Analog Meter)

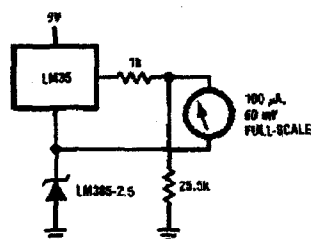


FIGURE 12. Fahrenheit Thermometer Expanded Scale Thermometer
(50° to 80° Fahrenheit, for Example Shown)

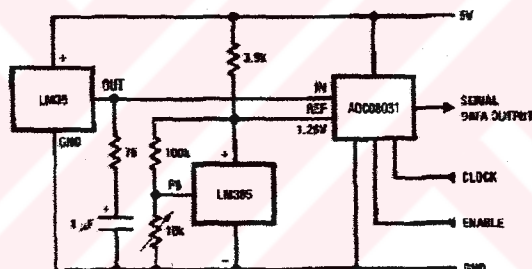


FIGURE 13. Temperature To Digital Converter (Serial Output) (+128'C Full Scale)

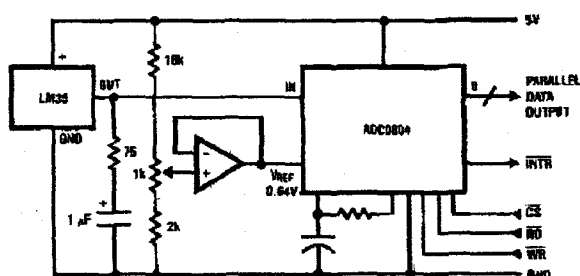
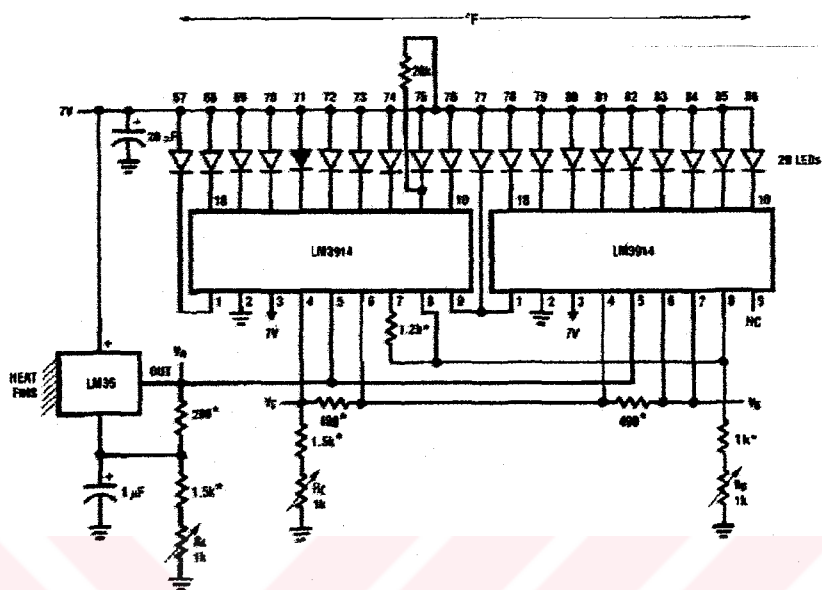


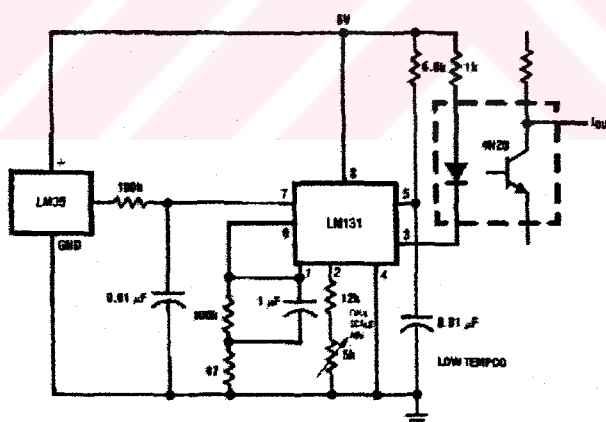
FIGURE 14. Temperature To Digital Converter (Parallel TRI-STATE® Outputs for Standard Data Bus to μ P Interface) (128°C Full Scale)

Typical Applications (Continued)

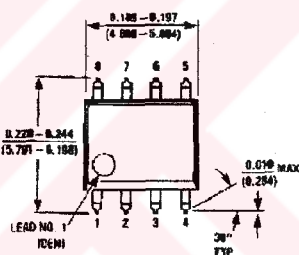
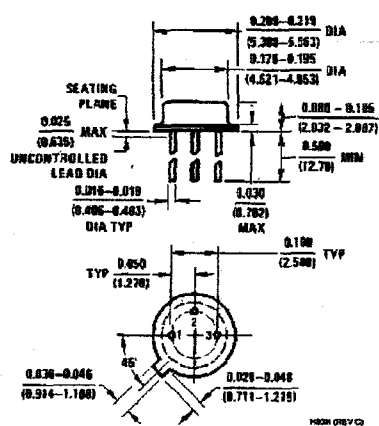


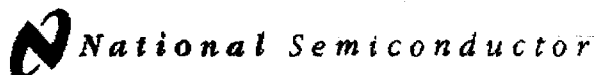
**= 1% or 2% film resistor
 Trim R_B for $V_B=3.075V$
 Trim R_C for $V_C=1.955V$
 Trim R_A for $V_A=0.075V + 100mV/V \cdot C \times T_{ambient}$
 Example, $V_A=2.275V$ at 22 C

FIGURE 15. Bar-Graph Temperature Display (Dot Mode)



**FIGURE 16. LM35 With Voltage-To-Frequency Converter And Isolated Output
(2°C to +150°C; 20 Hz to 1500 Hz)**

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



February 1985

LM78XX Series Voltage Regulators

General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number

of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

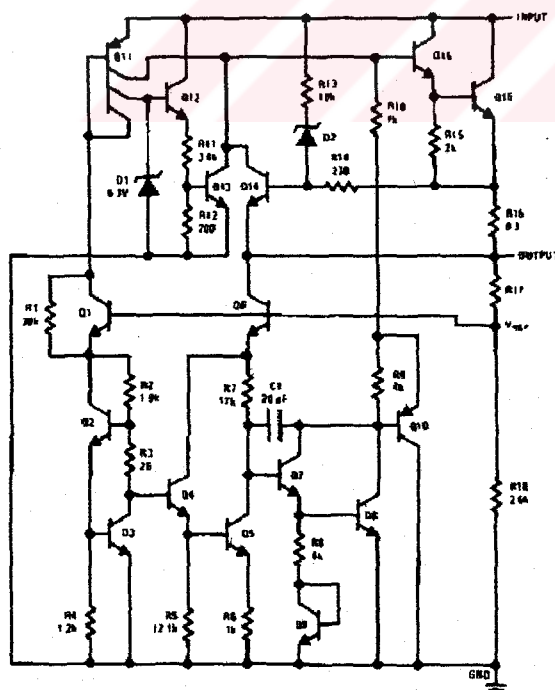
Features

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

Schematic and Connection Diagrams



TL/H/7748-1

Metal Can Package
TO-3 (K)
Aluminum

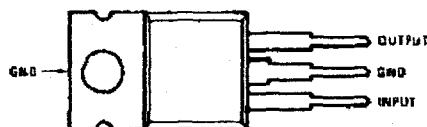


TL/H/7748-2

Bottom View

Order Number LM7805CK,
LM7812CK or LM7815CK
See NS Package Number KC02A

Plastic Package
TO-220 (T)



TL/H/7748-3

Top View

Order Number LM7805CT,
LM7812CT or LM7815CT
See NS Package Number T03B

Absolute Maximum Ratings

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

Input Voltage ($V_O = 5V, 12V$ and $15V$) 35V

Internal Power Dissipation (Note 1) Internally Limited

Operating Temperature Range (T_A) 0°C to $+70^\circ\text{C}$

Maximum Junction Temperature

(K Package)

150°C

(T Package)

150°C

Storage Temperature Range

-65°C to $+150^\circ\text{C}$

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

TO-3 Package K

300°C

TO-220 Package T

230°C

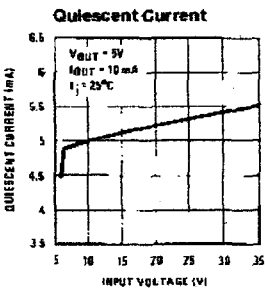
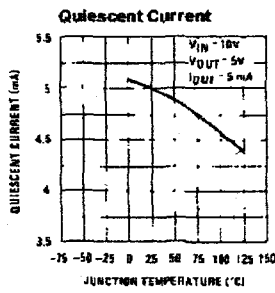
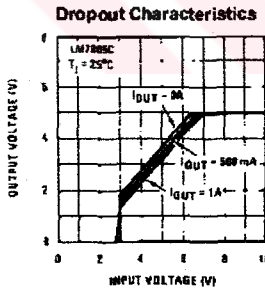
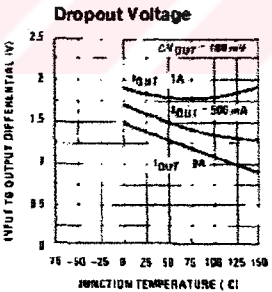
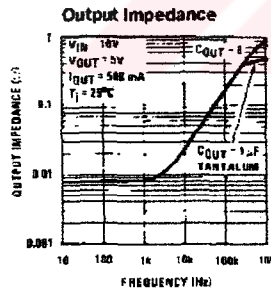
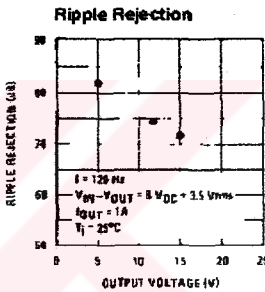
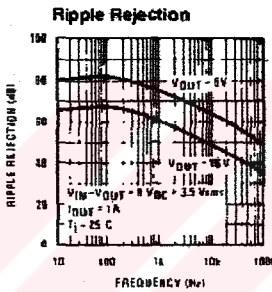
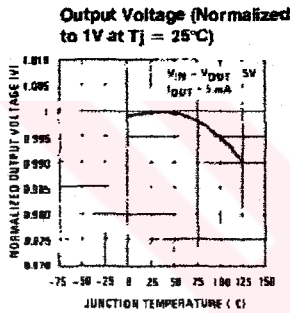
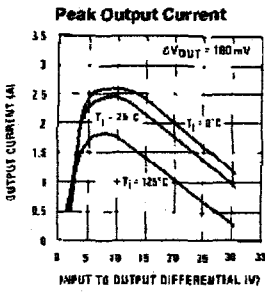
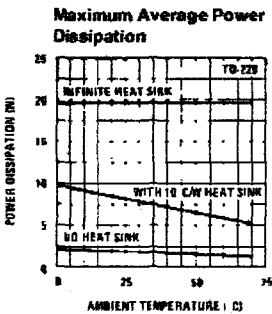
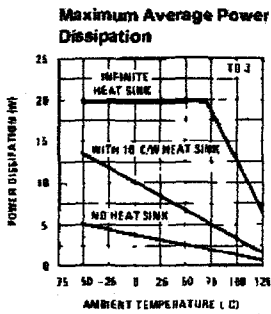
Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V _O	Output Voltage	T _J – 25°C, 5 mA ≤ I _O ≤ 1 A	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V
		P _D ≤ 15W, 5 mA ≤ I _O ≤ 1 A	4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V
		V _{MIN} ≤ V _{IN} ≤ V _{MAX}	(7.5 ≤ V _{IN} ≤ 20)			(14.5 ≤ V _{IN} ≤ 27)			(17.5 ≤ V _{IN} ≤ 30)			V
ΔV _O	Line Regulation	I _O = 500 mA		3	50		4	120		4	150	mV
		ΔV _{IN}	(7 ≤ V _{IN} ≤ 25)			(14.5 ≤ V _{IN} ≤ 30)			(17.5 ≤ V _{IN} ≤ 30)			V
		0°C ≤ T _J ≤ +125°C			50			120			150	mV
		ΔV _{IN}	(8 ≤ V _{IN} ≤ 20)			(15 ≤ V _{IN} ≤ 27)			(18.5 ≤ V _{IN} ≤ 30)			V
		I _O ≤ 1 A			50			120			150	mV
		ΔV _{IN}	(7.5 ≤ V _{IN} ≤ 20)			(14.6 ≤ V _{IN} ≤ 27)			(17.7 ≤ V _{IN} ≤ 30)			V
ΔV _O	Load Regulation	T _J – 25°C			50			120			150	mV
		5 mA ≤ I _O ≤ 1.5 A		10	50		12	120		12	150	mV
		250 mA ≤ I _O ≤ 750 mA			25			60			75	mV
		5 mA ≤ I _O ≤ 1 A, 0°C ≤ T _J ≤ +125°C			50			120			150	mV
I _O	Quiescent Current	I _O ≤ 1 A			8			8			8	mA
		0°C ≤ T _J ≤ +125°C			8.5			8.5			8.5	mA
ΔI _O	Quiescent Current Change	5 mA ≤ I _O ≤ 1 A			0.5			0.5			0.5	mA
		T _J – 25°C, I _O ≤ 1 A			1.0			1.0			1.0	mA
		V _{MIN} ≤ V _{IN} ≤ V _{MAX}	(7.5 ≤ V _{IN} ≤ 20)			(14.8 ≤ V _{IN} ≤ 27)			(17.9 ≤ V _{IN} ≤ 30)			V
		I _O ≤ 500 mA, 0°C ≤ T _J ≤ +125°C			1.0			1.0			1.0	mA
V _N	Output Noise Voltage	T _A – 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz			40			75			90	μV
		ΔV _{IN} ΔV _{OUT}	f = 120 Hz	62	80		55	72		54	70	dB
R _O	Dropout Voltage Output Resistance Short-Circuit Current Peak Output Current Average TC of V _{OUT}	I _O ≤ 1 A, T _J – 25°C or I _O ≤ 500 mA 0°C ≤ T _J ≤ +125°C	62	80		55	72		54	70	dB	
		V _{MIN} ≤ V _{IN} ≤ V _{MAX}	(8 ≤ V _{IN} ≤ 18)			(15 ≤ V _{IN} ≤ 25)			(18.5 ≤ V _{IN} ≤ 28.5)			V
		T _J – 25°C, I _{OUT} – 1 A		2.0			2.0			2.0		V
		f – 1 kHz		8			18			19		mΩ
		T _J – 25°C		2.1			1.5			1.2		A
V _{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	T _J – 25°C		2.4			2.4			2.4		A
		0°C ≤ T _J ≤ +125°C, I _O – 5 mA		0.6			1.5			1.8		mV/°C
V _{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	0°C ≤ T _J ≤ +125°C, I _O – 5 mA		0.6			1.5			1.8		mV/°C
		T _J – 25°C, I _O ≤ 1 A		7.5			14.6			17.7		V

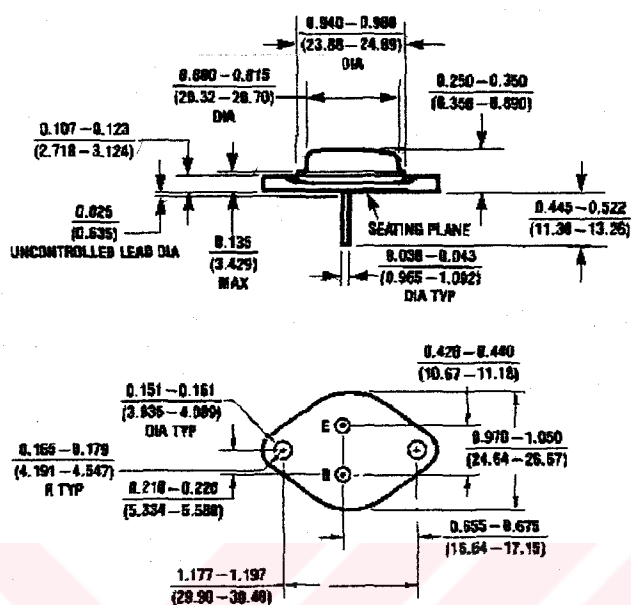
Note 1: Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically 4°C/W junction to case and 35°C/W case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically 4°C/W junction to case and 50°C/W case to ambient.

Note 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of $0.22\text{ }\mu\text{F}$, and a capacitor across the output of $0.1\text{ }\mu\text{F}$. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ($t_w \leq 10\text{ ms}$, duty cycle $\leq 5\%$). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

Typical Performance Characteristics

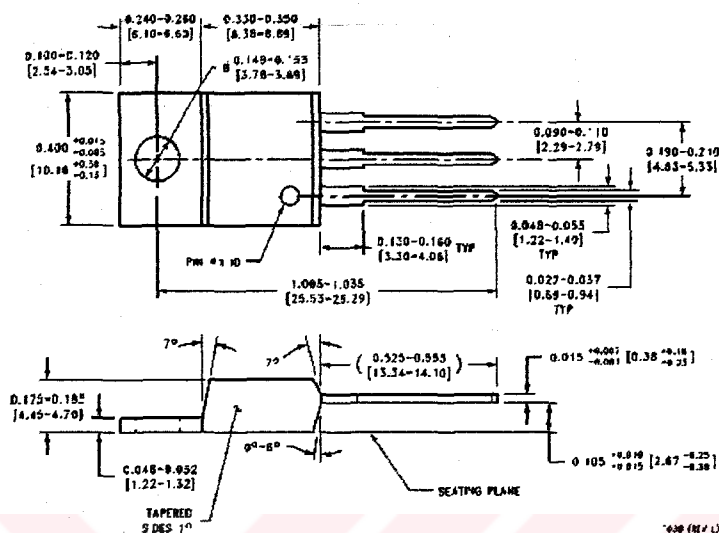


Physical Dimensions inches (millimeters)



KC02A (REV C)

Aluminum Metal Can Package (KC)
 Order Number LM7905CK, LM7812CK or LM7815CK
 NS Package Number KC02A

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)

TO-220 Package (T)
Order Number LM7805CT, LM7812CT or LM7815CT
NS Package Number T03B

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
 1111 West Bardin Road
 Arlington, TX 76017
 Tel: 1(800) 272-9959
 Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
 Fax: (+49) 0-180-530 85 86
 Email: cnpage@lsm2.nec.com
 Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 86
 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
 Français Tel: (+49) 0-180-532 83 38
 Italian Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
 13th Floor, Shinghi Block,
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.,
 Tsimshatsui, Kowloon
 Hong Kong
 Tel: (852) 2737-1800
 Fax: (852) 2736-8800

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-043-299-2309
 Fax: 81-043-299-2408

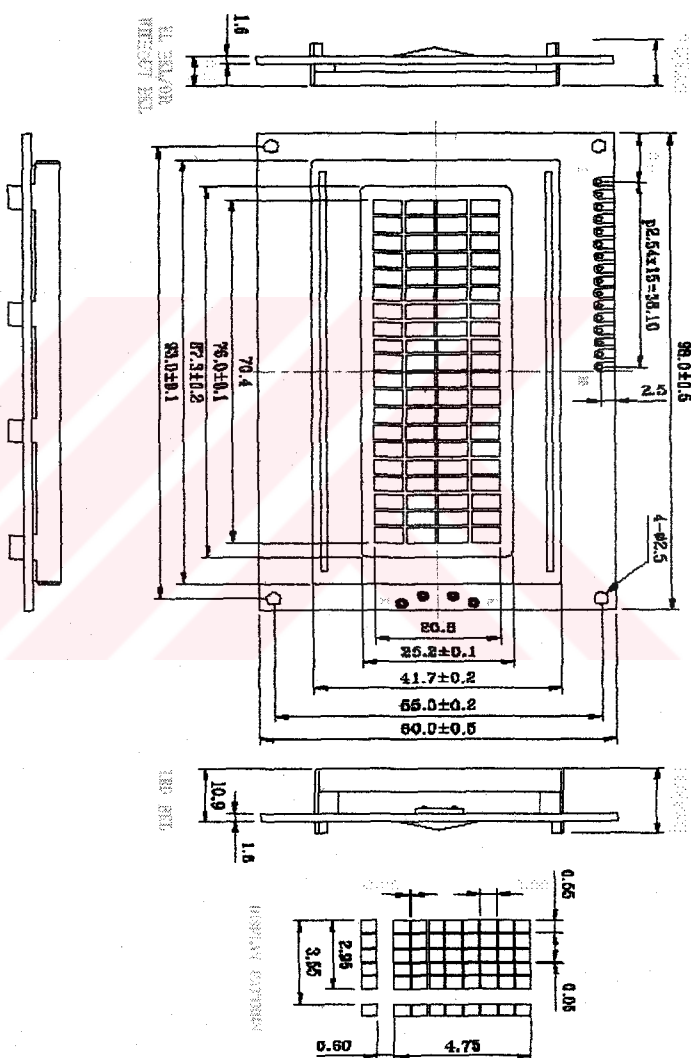
National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

LCD MODULE GDM2004D SERIES JULY 30, 1998

Mechanical Diagram

PERFORMANCE PARAMETERS	
1. FLUID	IPS
POLARIZER	REFLECTIVE, TRANSPARENT
COLOUR	GRAY/WHITE/BLUE
BRIGHTNESS	LED (YELLOW-GREEN)
TEMPERATURE RANGE	STANDARD MODE
CONTROLLER	KS066

Pin	Signal	Pin	Signal
1	VSS	9	DB2
2	VDD	10	DB3
3	VO	11	DB4
4	RS	12	DB5
5	R/W	13	DB6
6	E	14	DB7
7	DB0	15	LED+
8	DB1	16	LED-



XIAMEN OCULAR OPTICS CO.,LTD.

2

SOUTH 5/F, GUANGXIA BUILDING, TORCH HIGH-TECH DEVELOPMENT AREA,
XIAMEN 361006.P.R.CHINA TEL: 86-592-5650516 FAX: 86-592-5650695

Absolute Maximum Ratings

Item	Symbol	Min	Max	Unit
Power Voltage	$V_{DD}-V_{SS}$	0	7.0	V
Input Voltage	V_{in}	V_{SS}	V_{DD}	
Operating Temperature Range	T_{OP}	0	+50	°C
Storage Temperature Range	T_{ST}	-20	+60	

*Wide Temperature range is available

(operating/storage temperature as wide as -20,+70/-30,+80.).

Description Of Terminals

Pin No.	Pin Name	Input/Output	External Connection	Function
1	VSS	—	Power Supply	VSS:GND
2	VDD	—		VDD: +5V
3	VO	—		V_{LCD} adjustment
4	RS	INPUT	MPU	Register select signal "0":Instruction register (when writing) Busy flag & address counter (When reading) "1":Data register (when writing & reading)
5	R/W	Input	MPU	Read/write select signal "0" for writing , "1" for reading
6	E	Input	MPU	Operation (data read/write) enable signal
7 / 10	DB0-DB3	Input	MPU	Low-order lines of data bus with 3-state, bi-directional function for use in data transaction with the MPU. These lines are not used when interfacing with a 4-bit microprocessor.
11 / 14	DB4-DB7	Input	MPU	High-order lines of data bus with 3-state, bi-directional function for use in data transactions with the MPU. DB7 may also be used to check the busy flag.
15 / 16	LED "+" LED "-"	Input	LED BACKLIGHT POWER SUPPLY	LED "+"VOLTAGE TYPE:4.2V MAX : 4.5V LED "-": GND

XIAMEN OCULAR OPTICS CO.,LTD.

3

SOUTH 5/F, GUANGXIA BUILDING, TORCH HIGH-TECH DEVELOPMENT AREA,
XIAMEN 361006.P.R.CHINA TEL: 86-592-5650516 FAX: 86-592-5650695

Optical Characteristics

for TN Type Display Module ($T_A=25^\circ$, $V_{DD}=5.0V\pm0.25V$)

Item	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Viewing angle	.	C_r4	-25	.	.	deg
			-30	.	30	
Contrast ratio	C_r	.	.	2	.	.
Response time(rise)	T_r	.	.	120	150	ms
Response time(fall)	T_r	.	.	120	150	ms

for STN Type Display Module ($T_A=25^\circ$, $V_{DD}=5.0V\pm0.25V$)

Item	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Viewing angle	.	C_r2	-60	.	35	deg
			-40	.	40	
Contrast ratio	C_r	.	.	6	.	.
Response time(rise)	T_r	.	.	150	250	ms
Response time(fall)	T_r	.	.	150	250	ms

Electrical Characteristics

DC Characteristics

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Type	Max.	Unit
Supply voltage for LCD	V_{DD}, V_O	$T_A=25^\circ$	—	4.6	—	V
Input voltage	V_{DD}		4.7	—	5.5	V
Supply current	I_{DD}	$V_{DD}=5.0V; T_A=25^\circ$	—	1.5	2.5	mA
Input leakage current	I_{LKG}	?	—	—	1.0	μA
"H" level input voltage	V_{IH}		2.2	—	V_{DD}	V
"L" level input voltage	V_{IL}	Twice initial value or less	0	—	0.6	V
"H" level output voltage	V_{OH}	$LOH = -0.25MA$	2.4	—	—	V
"L" level output voltage	V_{OL}	$LOL = 1.6MA$	—	—	0.4	V

XIAMEN OCULAR OPTICS CO.,LTD.

5

SOUTH 5/F, GUANGXIA BUILDING, TORCH HIGH-TECH DEVELOPMENT AREA,
XIAMEN 361006.P.R.CHINA TEL: 86-592-5650516 FAX: 86-592-5650695

Backlight voltage	supply	V_F		—	4.2	4.5	V
----------------------	--------	-------	--	---	-----	-----	---

AC Characteristics

Read Cycle ($V_{DD}=5.0V+10\%$, $V_{SS}=0V$, $T_a=25$.)

Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Type	Max.	Unit
Enable cycle time	t_c	E	500	.	.	ns
Enable pulse width	t_w	E	420	.	.	
Enable rise/fall time	t_r, t_f	E	.	.	25	
RS,R/W setup time	t_{su}	RS; R/W	100	.	.	
RS,R/W address hold time	t_h	RS; R/W	10	.	.	
Read data output delay	t_D	DB0-DB7	60	.	190	
Read data hold time	t_{DH}	DB0-DB7	20	.	.	

Write Cycle

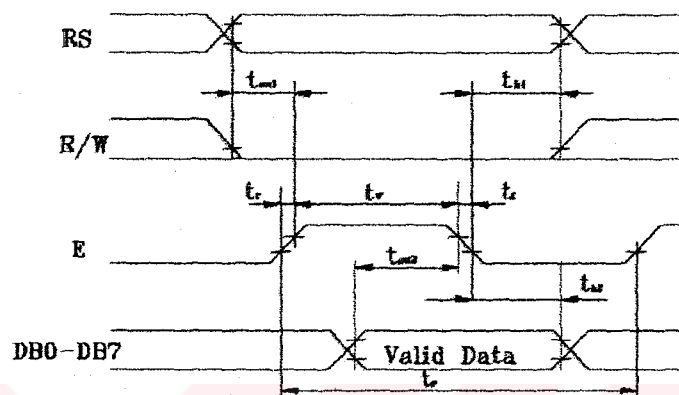
Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Type	Max.	Unit
Enable cycle time	t_c	E	500	.	.	ns
Enable pulse width	t_w	E	420	.	.	
Enable rise/fall time	t_r, t_f	E	.	.	25	
RS,R/W setup time	t_{su1}	RS; R/W	100	.	.	
RS,R/W address hold time	t_{h1}	RS; R/W	10	.	.	
Data setup time	t_{su2}	DB0-DB7	60	.	.	
Data hold time	t_{h2}	DB0-DB7	10	.	.	

XIAMEN OCULAR OPTICS CO.,LTD.

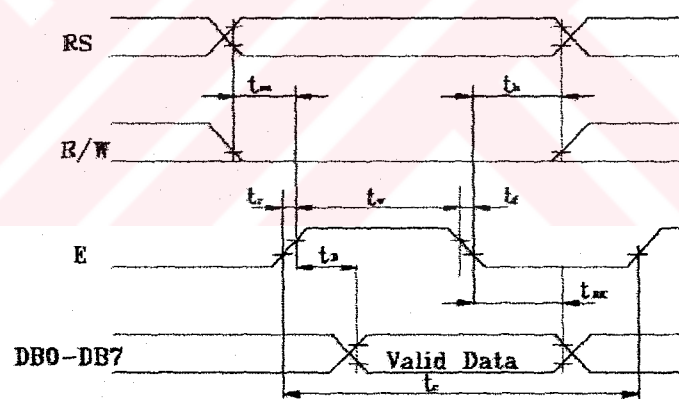
SOUTH 5/F, GUANGXIA BUILDING, TORCH HIGH-TECH DEVELOPMENT AREA,
XIAMEN 361006.P.R.CHINA TEL: 86-592-5650516 FAX: 86-592-5650695

Timing Characteristics

Write Timing



Read Timing

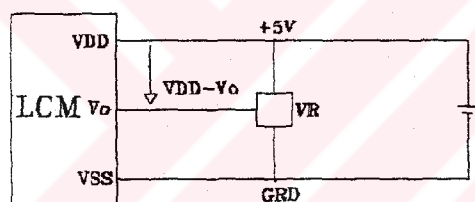
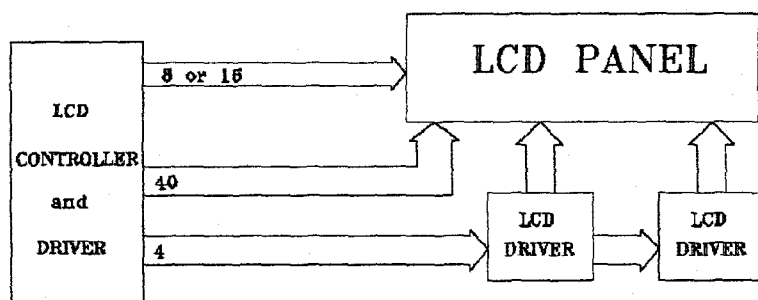


XIAMEN OCULAR OPTICS CO.,LTD.

7

SOUTH 5/F, GUANGXIA BUILDING, TORCH HIGH-TECH DEVELOPMENT AREA,
 XIAMEN 361006.P.R.CHINA TEL: 86-592-5650516 FAX: 86-592-5650695

Block Diagram



$V_{DD}-V_o$: LCD DRIVING VOLTAGE

VR: 10K-20K Ω

XIAMEN OCULAR OPTICS CO.,LTD.

8

SOUTH 5/F, GUANGXIA BUILDING, TORCH HIGH-TECH DEVELOPMENT AREA,
XIAMEN 361006,P.R.CHINA TEL: 86-592-5650516 FAX: 86-592-5650695

Display command

Parameter	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	Note	Executing time fosc=250 khz	
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		1.64ms	
Cursor home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*		1.64ms	
Entry Mode Set	0	0	0	0	0	0	0	1	1/D	S	DB1=1:Increment DB1=0:Decrement DB0=1:The display is shifted DB0=0:The display is not shifted	40.s	
Display on/off	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	DB2=1:Display on DB2=0: Display off DB1=1:Cursor on DB1=0: Cursor off DB0=1:Brinking on DB0=0:Brinking off	40.s	
Cursor / Display Shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	DB3=1:Shifts display one character DB2=1:Right shift DB2=0:Left shift	40.s	
System Set	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	DB4=1:8 bits DB4=0:4 bits lines display (1/16 duty) DB3=1:2 line display DB3=0:1 line display DB2=1:5 x 10 dots , 1/11 duty DB2=0:1:5x7 dots , 1/8 duty	40.s	
Set CG RAM Address	0	0	0	1	CG RAM address corresponds to cursor address						The address length that can be set is 64 address		40.s
Set DD RAM Address	0	0	1	DD RAM address						The address length that can be set is 80 address		40.s	
Read Busy Flag/Address Counter	0	1	BF	Address counter used for both DD&CG RAM address						DB7=1:Busy (instruction not accepted) DB7=0:Ready(for instruction)		40.s	
Write Data	1	0	Write data									46.s	
Read Data	1	1	Read data									46.s	

XIAMEN OCULAR OPTICS CO.,LTD.

9

SOUTH 5/F, GUANGXIA BUILDING, TORCH HIGH-TECH DEVELOPMENT AREA,
XIAMEN 361006.P.R.CHINA TEL: 86-592-5650516 FAX: 86-592-5650695

DD RAM Address:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Address for line 1	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13
Address for line 2	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53
Address for line 3	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20	21	22	23	24	25	26	27
Address for line 4	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	60	61	62	63	64	65	66	67

Reliability and Life Time

1.Reliability Test

Storage Condition	Content	Evaluations and Assessment*			
		Current consumption	Oozing	Contrast	Other appearances
Operation at high temperature and humidity	40? ,90% RH,240hrs	Twice initial value or less	none	More than 80% of initial value	No abnormality
High temperature storage	60., 240hrs	Twice initial value or less	none	More than 80% of initial value	No abnormality
Low temperature storage	-20? , 240hrs	Twice initial value or less		More than 80% of initial value	No abnormality

* Evaluations and assessment to be made two hours after returning to room temperature (25? ±5?).
*The LCDs subjected to the test must not have dew condensation.

2. Liquid crystal panel service life

50,000 hours minimum at 25±10.,45±20%RH.

XIAMEN OCULAR OPTICS CO.,LTD.

SOUTH 5/F, GUANGXIA BUILDING, TORCH HIGH-TECH DEVELOPMENT AREA,
XIAMEN 361006.P.R.CHINA TEL: 86-592-5650516 FAX: 86-592-5650695

Standard Character Pattern

xxxx0000	CG RAM (1)			0	Q	P		P				-	夕	ミ	α	P	
xxxx0001	(2)			!	1	A	Q	a	q			。	ア	チ	△	ä	q
xxxx0010	(3)			"	2	B	R	b	r			「	イ	ツ	×	ρ	θ
xxxx0011	(4)			#	3	C	S	c	s			」	ウ	テ	E	ε	ω
xxxx0100	(5)			\$	4	D	T	d	t			、	エ	ト	†	μ	Ω
xxxx0101	(6)			%	5	E	U	e	u			・	オ	ナ	1	σ	ü
xxxx0110	(7)			&	6	F	V	f	v			ヲ	カ	ニ	ヨ	ρ	Σ
xxxx0111	(8)			'	7	G	W	g	w			フ	キ	ヌ	ラ	g	π
xxxx1000	(1)			(	8	H	X	h	x			イ	ク	ネ	リ	♪	×
xxxx1001	(2)			)	9	I	Y	i	y			ウ	ケ	ル	ル	・	y
xxxx1010	(3)			*	:	J	Z	j	z			エ	コ	ハ	レ	j	〒
xxxx1011	(4)			+	;	K	[	k	{			オ	サ	ヒ	ロ	*	万
xxxx1100	(5)			,	<	L	¥	l	l			ヤ	シ	フ	ワ	¢	円
xxxx1101	(6)			-	=	M	]	m	}			ユ	ズ	ヘ	ン	も	÷
xxxx1110	(7)			.	>	N	^	n	→			ヨ	セ	ホ	°	°	
xxxx1111	(8)			/	?	O	_	o	€			ッ	リ	マ	°	ö	■

XIAMEN OCULAR OPTICS CO.,LTD.

SOUTH 5/F, GUANGXIA BUILDING, TORCH HIGH-TECH DEVELOPMENT AREA,
XIAMEN 361006.P.R.CHINA TEL: 86-592-5650516 FAX: 86-592-5650695

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Ankara’da Saimekadın İlkokulu, Şehitlik İlköğretim Okulu ve Abidinpaşa Teknik Lisesi’nde tamamladı. 1996 yılında Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Bilgisayar Sistemleri Teknolojisi Anabilim dalından mezun oldu. 1995-1996 yılları arasında Çorum Atatürk Lisesi’nde Bilgisayar Öğretmeni olarak görev yaptı. 1996 yılından bu yana Gazi Üniversitesi Çorum Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Programcılığı’nda öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babası olup yabancı dili İngilizce’dir.

Serkan DIŞLITAŞ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
MÜHÜRÜ