

**MİKRODENETLEYİCİLİ SICAKLIK VE HIZ KONTROLLÜ
TERMOELEKTRİK YARIİLETKEN ÜRETİM SİSTEMİ**

Erkan ÖKTEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2007
ANKARA**

**MİKRODENETLEYİCİLİ SICAKLIK VE HIZ KONTROLLÜ
TERMOELEKTRİK YARIİLETKEN ÜRETİM SİSTEMİ**

Erkan ÖKTEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2007
ANKARA**

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Erkan ÖKTEN

Erkan ÖKTEN tarafından hazırlanan MİKRODENETLEYİCİLİ SICAKLIK ve HIZ KONTROLLÜ TERMOELEKTRİK YARIİLETKEN ÜRETİM SİSTEMİ adlı bu tezin Yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Raşit AHISKA

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof.Dr.N. Fatma GÜLER

Üye : Doç. Dr. Raşit AHISKA

Üye : Yrd.Doç.Dr.Mahir DURSUN

Tarih : 26.01.2007

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

**MİKRODENETLEYİCİLİ SICAKLIK VE HIZ KONTROLLÜ
TERMOELEKTRİK YARIİLETKEN ÜRETİM SİSTEMİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Erkan ÖKTEN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2007**

ÖZET

Bu çalışmada Mikrodenetleyicili Hız ve Sıcaklık Kontrollü Yarıiletken Üretim Sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen cihaz, bölgesel eritme yöntemiyle yarıiletkenlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Yarıiletken üretim cihazının mekanik kısmı bölgesel eritme yöntemini gerçekleştirecek şekilde özel olarak yapılmıştır. Termoelektrik yarıiletken üretim teknolojisine uygun üretiminin sağlanması için sıcaklık ve hız kontrollü özel elektronik devreler tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bu tasarımdaki elektronik kontrol işlemleri için PIC mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Mikroişlemciyi çalıştırmak için ise PIC C dilinde özel bir program oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen cihaz ile N tipi yarıiletken üretilmiş, fiziksel özellikleri araştırılmış ve yarıiletkenin termoelektrik sistemlerde kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 705.1.036
Anahtar Kelimeler : Termoelektirik, Bölgesel Eritme Yöntemi, PIC Mikroişlemci, BEC
Sayfa Adedi : 145
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Raşit AHISKA

**HEAT AND SPEED CONTROLLED THERMOELECTRIC SEMI-
CONDUCTOR PRODUCTION SYSTEM WITH MICRO CONTROL
MECHANISM
(M.Sc. Thesis)**

Erkan ÖKTEN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE
January 2007**

ABSTRACT

Heat And Speed Controlled Thermoelectric Semi-Conductor Production System With Micro Control Mechanism has been designed and realized. The device helps to produce semi-conductors with the local dissolving method. The mechanical part of the semi-conductor device has specifically been designed for obtaining local dissolving method. Special heat and speed controlled electronic circuits have been designed and applied to obtain the production convenient for thermoelectric semi-conductor production technology. PIC microprocessors have been used for electronic control systems in this design. A special software has been written in C language to operate the micro-processor. With the device built N type semi-conductors have been produced, their features have been researched and it has been determined that semi-conductors are convenient for use in thermoelectric systems.

Science Code	: 705.1.036
Key Words	: Thermoelectric, Local Dissolving Method, PIC Microprocessor, BEC
Number of Pages	: 145
Administrator	: Assoc. Prof. Raşit AHISKA

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca sağladığı destek ve katkıdan dolayı danışmanım Doç. Dr. Raşit AHISKA'ya yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Yeter Makine'nin sahibi İsa YETER'e manevi destek ve teşvikleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eşim ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
RESİMLER LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. TERMOELEKTRİK OLAYLAR VE ELEMANLAR	3
2.1. Joule Yasası	3
2.2. Termoelektrik Olaylar.....	3
2.3. Mikromodül ve Termoelektrik Modül.....	6
2.3.1. Mikromodül (Termoelement).....	7
2.3.2. Termoelektrik modül.....	9
3. KRİSTAL BÜYÜTME METOTLARI.....	11
3.1. Verneuil Metoduyla Kristal Büyütme.....	11
3.2. Stockberger ve Bridgman Metoduyla Kristal Büyütme	12
3.3. Czochralski Metoduyla Kristal Büyütme	14
3.4. Kyropoulos Metoduyla Kristal Büyütme.....	15
3.5. Üçlü (Ternary) Kristalleri Büyütmenin Temel Teknikleri	16
3.5.1. Elementlerin doğrudan eritilip katılaştırılması.....	16

Sayfa

3.5.2. Kimyasal buhar transferi	16
3.5.3. Bir çözeltiliden çökeltme metodu.....	17
3.5.4. Normal / doğrultulmuş	17
3.5.5. Czochralski tekniği.....	17
4. BÖLGESEL ERİTME YÖNTEMİ	19
4.1. Kompozisyon Gradientlerinin Karakteristiği.....	20
4.2. FGM Alan Erimesinin Avantajları	24
4.3. Bölgesel Eritme Tekniği ile Bridgman Tekniğinin Karşılaştırılması	25
4.4. Geliştirme Cihazları ve Parametreler.....	26
4.5. Ölçüm Teknikleri	27
4.6. Deneysel Sonuçlar	29
4.6.1. Yataya karşı dikey Bridgman gelişimi	29
4.6.2. Bölgesel geliştirmeye karşı Bridgman geliştirme	32
4.7. Bölgesel Eritme ve Bridgman Yönteminin Karşılaştırılmasının Sonuçları....	35
5. MİKROİŞLEMCİLER	36
5.1. Mikrodenetleyiciler ve PIC.....	37
5.1.1. Pic mikrokontrollerinin tercih sebepleri.....	38
5.2. Pic Mikrokontrolörlerinin Donanımsal İncelenmesi	42
5.2.1. Pic mikro kontrolörlerinin iç yapısı.....	42
5.2.2. Genel tanımlama.....	43
5.2.3. Elektrikle silinebilen mikro kontrolörler	45
5.2.4. Bellek organizasyonu	45
5.2.5. Program bellek organizasyonu	46

	Sayfa
5.2.6. Veri bellek organizasyonu	46
5.2.7. Özel işlev yazmaçları	47
5.2.8. Giriş/Çıkış portları (I/O portları)	47
5.2.9. Veri Eeprom ve flash program hafızası.....	52
5.2.10. CPU' nun spesifik özellikleri	61
6. BÖLGESEL ERİTME CİHAZI (BEC)	63
6.1. BEC'deki Mekanik Tasarım	64
6.2. BEC'deki Elektronik Tasarım	69
6.2.1. BEC devresinin anakartı.....	70
6.2.2. Sıcaklık algılayıcı termokupl ve kompanzasyon devresi	73
6.2.3. BEC devresinin motor sürücü devresi.....	83
6.2.4. BEC devresinin rezistans sürücü devresi	89
6.2.5. Transformatör ve varyak	89
6.2.6. BEC gösterge panosu	94
6.2.7. BEC'in çalışması	95
6.2.8. BEC elektronik devresi simulasyonu	96
6.3. BEC'de Kullanılan İzolasyon Malzemeleri.....	96
6.3.1. Ateş tuğlası	97
6.3.2. Seramik bez	99
6.4. BEC'de Kullanılan Rezistans	99
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	102
KAYNAKLAR	105
EKLER.....	108

Sayfa

EK-1 BEC’de kullanılan programın C dilinde yazılmış kodu	109
EK-2 PIC16F87X ayak bağlantıları	117
EK-3 40 Pin PIC 16F87X ayak ölçüleri	118
EK-4 MOC 3010 entegresinin özellikleri	119
EK-5 BT138 triyağın özellikleri	121
EK-6 Termokupl eleman tel cinsleri	122
EK-7 K tipi termokupl sıcaklık mV tablosu	123
EK-8 Kanthal D tipi rezistansın teknik özellikleri	124
EK-9 BEC anakart baskıdevresi	126
EK-10 BEC sıcaklık algılayıcı baskıdevresi	127
EK-11 BEC motor sürücü devresi baskıdevresi	128
EK-12 BEC rezistans sürücü devresi baskıdevresi	129
ÖZGEÇMİŞ	130

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Alaşım ile dopant ilavelerinin düzenlenmesi	27
Çizelge 5.1. PIC16F87X ailesi özellikleri.....	44
Çizelge 6.1. Termokupl eleman çaplarına göre sıcaklık limitleri	78
Çizelge 6.2. Termokupl bükülme çapları	80
Çizelge 6.3. Step motorun saat yönünde dönüşü için gerekli komutlar.....	85
Çizelge 6.4. Step motorun saatin ters yönünde dönüşü için gerekli komutlar	85

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Seebeck olayını açıklayan devre	4
Şekil 2.2. Peltier olayını açıklayan devre	5
Şekil 2.3. Thomson olayını açıklayan devre	6
Şekil 2.4. Termoelementin yapısı	7
Şekil 2.5. Termoelektrik termoelement üzerinde oluşan ısı yükler	8
Şekil 2.6. Termoelektrik modülün genel görüntüsü	9
Şekil 2.7. Termoelektrik modülün yapısı	10
Şekil 2.8. Termoelektrik modülün jeneratör olarak çalışması	10
Şekil 3.1. Verneuil tekniği	12
Şekil 3.2. Bridgman tekniği	13
Şekil 3.3. Czochralski metodu	15
Şekil 3.4. Kyropoulos tekniği	15
Şekil 4.1. Bölgesel eritme yöntemi	20
Şekil 4.2. Seebeck taraması ve antimon tellurid'ten bizmut tellurid'e geçiş	21
Şekil 4.3. Seebeck taraması ve antimon tellurid'ten bizmut tellurid'e geçiş	22
Şekil 4.4. Kristalin konsantrasyon profili	24
Şekil 4.5. P-tipi materyal için elektriksel dirence karşı ilişkin pozisyon	30
Şekil 4.6. Bridgman geliştirme ve RCA P-Tipi alaşımın elektriksel direnci	31
Şekil 4.7. N-Tipi materyalin elektriki direnci ve termoelektrik özellikleri	31
Şekil 4.8. N-tipi materyalin elektriki direnç profili	33
Şekil 4.9. P-tipi materyalde yükseltilmiş kazanç profili	33
Şekil 4.10. Yatay bölge metodu ile Bridgman tekniklerinin karşılaştırılması.	34

Şekil	Sayfa
Şekil 4.11. N-tip materyalin elektriki özellikleri	35
Şekil 5.1. Mikroişlemci basit blok diyagramı	36
Şekil 5.2. Temel PIC blok diyagramı	42
Şekil 5.3. PIC 16F874/877 basitleştirilmiş iç yapısı	44
Şekil 5.4. PIC16F876/877 program bellek haritası	46
Şekil 5.5. PORT A blok diyagramı	48
Şekil 5.6. B portunun iç yapısı	50
Şekil 5.7 C portunun iç yapısı	51
Şekil 5.8. D Portu I/O blok diyagramı	51
Şekil 5.9. E Portu blok diyagramı	52
Şekil 5.10. EECON1 yamacı.....	54
Şekil 5.11. ADCON0 yazmacı	56
Şekil 5.12. A/D blok diyagramı	57
Şekil 5.13. A/D transfer fonksiyonu	61
Şekil 6.1. BEC devresi blok diyagramı	69
Şekil 6.2. BEC anakart devresi	70
Şekil 6.3. Termokupl'da sıcak ve soğuk nokta sıcaklığı önemlidir.	75
Şekil 6.4. Termokupl sıcaklık-mV eğrileri	76
Şekil 6.5. Termokuplun izelatör tipleri	77
Şekil 6.6. Termokupl'un iç bağlantı şekli	80
Şekil 6.7. Sıcaklık algılayıcı kompanzasyon devresi	81
Şekil 6.8. AD595 entegresi blok diyagramı	82
Şekil 6.9. Bipolar Step Motor	84

Şekil	Sayfa
Şekil 6.10. Step motorun sağa doğru dönmesi için gereken kutuplaşma.....	86
Şekil 6.11. Step motor saat yönünde dönerken PIC de olması gereken gerilimler....	87
Şekil 6.12. Step ve DC motor sürücü devresi	87
Şekil 6.13. Rezistans sürücü devresi	89
Şekil 6.14. Monofaze transformatörde sargıların nüveye oturtuluş biçimleri	91
Şekil 6.15. Transformatör nüvenin kesit	92
Şekil 6.16. Oto transformatör	92
Şekil 6.17. Varyak fiziksel görüntüsü	93
Şekil 6.18. Gösterge panosunun 3 boyutlu görünümü	94
Şekil 6.19. BEC elektronik devresi simulasyon görünümü	96
Şekil 6.20. Ateş tuğlası ölçüleri	97
Şekil 6.21. Ateş tuğlasının içinin ve dışının görüntüsü.....	98
Şekil 6.22. BEC’de yalıtım malzemesi olarak kullanılan seramik bez	99
Şekil 6.23. Kanthal D tipi sarılmamış rezistans teli	100
Şekil 6.24. BEC’te kullanılan Kanthal D tipi sarılmış rezistans teli.....	101

RESİMLER LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Bec fiziksel görünümü	63
Resim 6.2. BEC’deki hareketli mekanik kısım.....	65
Resim 6.3. BEC üstten görünüm.....	66
Resim 6.4. Quarz camın bağlantısı.....	67
Resim 6.5. Motor ve dişli sistemi.....	68
Resim 6.6. BEC mekanik tasarımının yan görünüşü	68

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
Q_j	Joule Isısı
I	Akım
R	Direnç
ΔV	Potansiyel Fark
α	Seeback Katsayısı
T	Sıcaklık
Q_p	Peltier Isısı
π	Peltier Katsayısı
Q_t	Thomson Isısı
dm	Materyal miktarı
c	Sağlanan Materyalin İlk Konsantrasyonu
A	Temel Yüzey
δ	Erime Alanının Yüksekliği
v	Büyüme Hızı
K_{sam}	Örneğin Termal İletkenliği
Δ_{std}	Standarttan Geçen Isı Farkı
L_{std}	Standardın Uzunluğu
ΔT_{sam}	Örnekten Geçen Isı Farkı
L_{sam}	Örneğin Uzunluğu
K_{std}	Termal İletkenlik Standartı
A_{sam}	Örneğin Çapraz Bölge Alanı
A_{std}	Standartın Çapraz Bölge Alanı
Z	Geliştirilen Materyalin Kalite Parametresi

Kısaltmalar**Açıklama**

FGM	Functionally Graded Mixed Crystal
BEC	Bölgesel Eritme Cihazı
PIC	Peripheral Interface Controller
BUS	Yol
I/O	Giriş Çıkış
BUG	Yazılım Hatası
PC	Bilgisayar
MPSIM	Bilgisayar Destekli Pic Simulasyon Programı
MPLAB	Elektronik Simulasyon Programı
ICE	Elektronik Devre Simulasyon Programı
HEX	Kaynak Dosyanın Asembler Edilmiş Hali
RISC	Mikroişlemci Mimarisi
A/D	Analog Dijital Çevirici
OTP	Yalnızca Bir Kez Programlanabilen PIC
EEPROM	Elektrikle Silinebilen Hafıza Entegresi
ALU	Aritmetik-Mantık Birimi
ALU,W	Veri Transfer Etme Yazmacı
CMOS	Elektrikle Silinebilen Hafıza
LP	Kristal Seramik Rezinatör
RC	Direnç ve Kondansatörden Oluşan Rezinatör
XT	Kristal Rezanatör
SFR	Özel İşlev Yazmacı
TRISA	A Portunu Yönlendiren Yazmaç
TRISB	B Portunu Yönlendiren Yazmaç
TRISC	C Portunu Yönlendiren Yazmaç
TRISD	D Portunu Yönlendiren Yazmaç
TRISE	E Portunu Yönlendiren Yazmaç
ADRESH	A/D Yüksek Sonuç Yazmacı
ADRESL	A/D Düşük Sonuç Yazmacı
ADCON0	A/D Kontrol Yazmacı

Kısaltmalar**Açıklama****ADCON1**

A/D Kontrol Yazmacı

POR

Güç Kaynağı Reseti

PWRT

Yüksek Güç Timer

OST

Osilatör Başlangıç Timer

LST

Hata Kod Listesi

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi katı hal fiziği ve özellikle yarıiletken fiziği hızla gelişmektedir. Bunun nedeni, yarıiletkenlerin üstün özelliklere sahip olmaları ve elektronik malzemelerinin tümünde kullanılmalarıdır. Temel bilimsel bulguların yeni ürün ve teknolojilere aktarılması yeni bilimsel problemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu problemlerin çözümü ise dünyadaki teknolojilerin gelişmesini artırarak devam ettirmektedir.

Yarıiletken teknolojisi 21. asrın en önemli teknolojilerinin başında bulunmaktadır. Yarıiletkenin elde edilmesinden başlamak üzere bunların özelliklerinin araştırılması ve özelliklerini kullanarak cihaz ve sistemlerin yapılması ve geliştirilmesine ve bu sistemlerin sanayiye kazandırılmasına kadar uzanan ve bir çok teknolojiyi içeren yarıiletken teknolojileri üzerinde dünyada geniş çapta araştırmalar yapılmaktadır.

Yarıiletkenlerin çok fazla çeşitleri ve özellikleri mevcuttur. Bunların kullanım alanları o kadar geniştir ki yarıiletkenlerin kullanılmadığı alan kalmamıştır. Dünyada son yıllarda ısı enerjisini direkt elektrik enerjisine dönüştürme ve elektrik enerjisini direkt ısı enerjisine çevirmek gibi problemler ile ilgili yarıiletkenlerin termoelektrik özelliklerinin araştırılması ağırlık kazanmıştır. Ayrıca yarıiletkenlerin termoelektrik özelliklerinin araştırılması yarıiletken fiziğinin temel araştırmalarından olup bu bilim dallarının gelişmesi açısından da önem taşımaktadır. Termoelektrik yarıiletkenler şu anda bile en çok kullanım alanına sahip oldukları ve ileride bu malzemelerin daha çok kullanılacağı bilinmektedir. Bu nedenlerden dolayı yarıiletkenlerin elde etme teknikleri üzerindeki çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Gündemde olan diğer bir araştırma konusu ise kullanım alanını genişletecek yüksek performanslı termoelektrik yarıiletkenlerin elde edilmesidir.

Termoelektrik yarıiletkenlerden yapılan sistemler uzay teknolojisinin den beyaz eşya teknolojisine kadar uzanan geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu sistemlerin araştırılması günden güne derinleşerek ve genişleyerek devam etmektedir. Çünkü burada elde edilen temel bilgiler diğer teknolojilere göre daha kısa süre içinde

sanayiye aktarılmakta ve para kazandırmaktadır. Buna göre en çok araştırmalar termoelektrik yarıiletkenlerin elde edilmesi, bunların özelliklerinin araştırılması termoelektrik teknolojilerinin geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmış bulunmaktadır.

Bu çalışmada Mikrodenetleyici Hız ve Sıcaklık Kontrollü Yarıiletken Üretim Sistemi BEC (Bölgesel Eritme Cihazı) tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. BEC'in amacı termoelektrik yarıiletken üretim tekniklerinden Bölgesel Eritme Yöntemi ile termoelektrik yarıiletken üretilmesini sağlamaktır. Ayrıca BEC ile elde edilen yarıiletkenlerin yüksek performanslı olmasını sağlayacak yeni teknolojilerin üretilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen BEC'deki gerekli kontrol sistemleri için günümüzde en çok kullanılan kontrol entegrelerinden olan PIC (Peripheral Interface Controller) entegresi kullanılmıştır. PIC'in gereken şekilde çalışmasını sağlamak için C programlama dili kullanılarak özel bir yazılım hazırlanmıştır.

Bu çalışma 6 bölümden oluşmaktadır. 2.Bölümde Yarıiletkenlerdeki termoelektrik olaylar ele alınmış, termoelektrik yarıiletkenlerin tanımı verilmiş, termoelektrik modüllerin yapısı incelenmiş ve termoelektrik modüllerin kullanımı hakkında bilgi verilmiştir. 3. Bölümde günümüzde kullanılan yarıiletken elde etme yöntemleri üzerinde durulmuştur. 4. Bölümde BEC'de kullanılan bölgesel eritme yöntemi üzerinde durulmuş ve bu yöntemin Bridgman yönteminden avantajları vurgulanmıştır. 5. Bölümde BEC'de kullanılan PIC Mikroişlemcisi hakkında ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. 6. Bölümde tasarlanan ve gerçekleştirilen BEC'in mekanik elektronik yalıtım ve rezistans kısımları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca BEC sisteminin nasıl çalıştığı ele alınmıştır.

2. TERMOELEKTRİK OLAYLAR VE ELEMANLAR

Herhangi bir maddeyi karakterize eden, uygulama açısından da önemli olan, maddenin elektriksel özellikleridir. Elektriksel özellikleri karakterize eden Joule ve termoelektrik olaylarıdır[1,2].

2.1. Joule Yasası

James Prescott Joule'un elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümünü ifade eden ve kendi adı ile isimlendirilen kanununa göre, akım taşıyan bir iletken, direnci ve içinden geçen akımın karesiyle orantılı olarak ısısını artırır.

Bir elektrik devresinde birim zamanda ortaya çıkan Joule ısı miktarı (Watt olarak) Eş.2.1 ile ifade edilir.

$$Q_j = I^2 R \quad (2.1)$$

Burada Q_j , devreden geçen I akımının etkisi ile ortaya çıkan toplam Joule ısı yükünü, I devreden geçen akım miktarını R ise devrenin elektrik akımına gösterdiği toplam direnç miktarını ifade etmektedir.

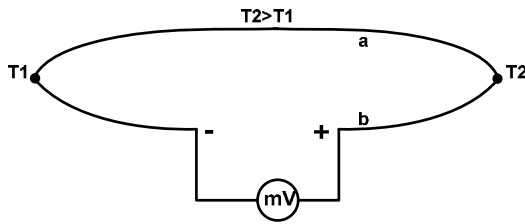
2.2. Termoelektrik Olaylar

Isı enerjisi ile elektrik enerjisinin birbirlerine doğrudan dönüşümünü termoelektrik olayını tanımlar. Bu tanım, İngiliz fizikçi James P. Joule'un tanımladığı geri dönüşümü olmayan elektrik-ısı dönüşümü ile Seebeck, Peltier ve Thomson tarafından keşfedilen ve kendi adlarıyla anılan üç tersine çevrilebilir etkiyi kapsar.

Seebeck etkisi: Alman fizikçi Thomas J. Seebeck 1820'de, farklı metallerden yapılmış iki tel parçasının uçlarını birleştirerek bir kapalı devre meydana getirildiğinde ve metallerin birleşim noktaları arasında bir sıcaklık farkı meydana

getirildiğinde, sıcaklık farkıyla doğru orantılı bir gerilim meydana geldiğini bulmuştur. Böyle bir devre “termokupl” olarak adlandırılır.

Şekil 2.1’de gösterildiği üzere a ve b gibi farklı maddelerden oluşan ve temas uçları arasında sıcaklık farkı ($\Delta T = T_2 - T_1$) meydana getirildiğinde bu uçlar arasında potansiyel farkı (ΔV) meydana gelir.



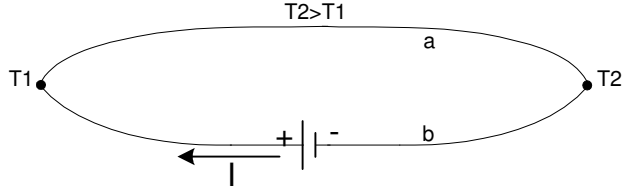
Şekil 2.1. Seebeck olayını açıklayan devre

$$\Delta V = \alpha \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

Burada α Seebeck katsayısını veya termo emk’yı ifade eder. Birimi $V / ^\circ C$ ‘dir. α ’nın değeri devreyi oluşturan maddelerin özelliklerine bağlıdır. Örneğin bakır konstandan yapılan bir termokupl için $\alpha = 40 \mu V / ^\circ C$ ’dır. Yani her $1 ^\circ C$ sıcaklık farkı için $40 \mu V$ ’luk bir emk üretir. Yarıiletkenlerde bu değerler çok daha yüksektir. α ’nın değeri $100 \mu V / ^\circ C$ ’den büyük olan yarıiletkenlere “termoelektrik yarıiletkenler” denir. Yarıiletkenlerin tipine göre α ’nın işareti değişmektedir. N tipi yarıiletkenler için α negatif, p tipi yarıiletkenler için ise pozitifdir. Metallerde Seebeck olayı, termokupl veya ısı algılayıcısı gibi, termoelektrik yarıiletkenlerde ise jeneratör gibi kullanılır.

Peltier etkisi: 1834’de Fransız fizikçi Jean C. A. Peltier (1785–1845), Seebeck etkisinin tersi bir durum keşfetti. Eğer termokupl içerisinde bir akım geçerse, Joule ısısı ile birlikte bir eklem noktasından ötekisine ısı transferi sağlayacak şekilde bir ucun sıcaklığı düşerken ötekisinin sıcaklığı yükselir. Joule ısısından farklı olarak ortaya çıkan bu ısıya *Peltier ısısı* denir. Açığa çıkan ısı miktarı, uygulanan akım

şiddetiyle orantılıdır ve yönü akım yönünün değiştirilmesi ile değişir. Peltier olayını açıklayan devre Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Peltier olayını açıklayan devre

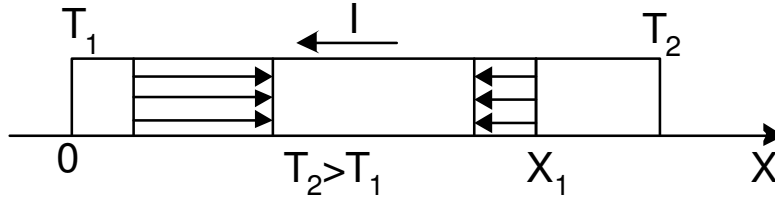
Birim zamanda üretilen Peltier ısısı (Watt olarak) Eş.2.3 ile bulunur. Burada π , Peltier katsayısını ifade eder.

$$Q_p = \pi I \quad (2.3)$$

Thomson etkisi: İskoç bilim adamı William Thomson (daha sonraları Lord Kelvin olarak anılacaktır), 1856’da termoemk (α) ile Peltier katsayısı (π) arasındaki bağıntıyı kaydetmiştir.

$$\alpha = \frac{\pi}{T(^{\circ}K)} \quad (2.4)$$

Buna ek olarak kendi ismini taşıyacak olan yeni bir olayın hipotezini ortaya atmıştır. Bu olay 1867’de Leru tarafından deneysel olarak kanıtlanmıştır. Thomson olayı şöyle açıklanabilir. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi, akım taşıyan bir iletkenin herhangi iki noktası arasında bir sıcaklık farkı varsa akım yönüne göre iletkende Joule ısısına ek olarak Thomson ısısı (Q_T) açığa çıkmaktadır.



Şekil 2.3. Thomson olayını açıklayan devre

Birim zamanda ortaya çıkan Thomson ısısı, akım şiddeti (I), sıcaklık farkı (ΔT) doğru orantılıdır.

$$Q_T = I \alpha_\tau \Delta T = \alpha_\tau (T_2 - T_1) \quad (2.5)$$

İki farklı metalden oluşan bir devre için Thomson termo emk'ları arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntıda ifade edilmiştir.

$$\alpha_\tau = (\alpha_{\tau a} - \alpha_{\tau b}) \frac{T_2 - T_1}{T_2} \quad (2.6)$$

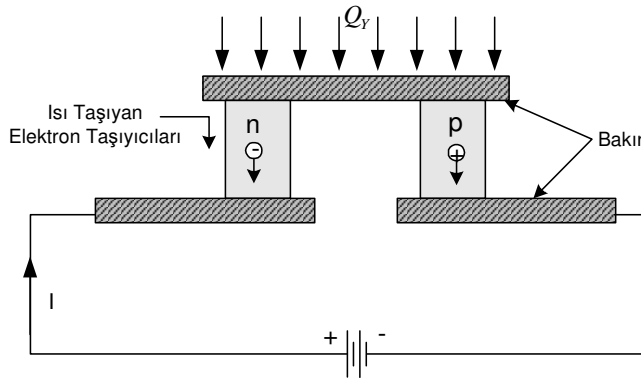
Buradaki α_τ Thomson olayında meydana gelen termo emk dır. Formüldeki $\alpha_{\tau a}$ ve $\alpha_{\tau b}$ sayıları farklı maddelerden oluşan devreyi ifade etmek için kullanılmaktadır. Termoelektrik olaylar oluşan devrelerde Thomson olayını yok etmek için α_τ değerleri eşit olan malzemeler seçilmelidir.

2.3. Mikromodül ve Termoelektrik Modül

Herhangi bir termoelektrik cihaz veya sistemin temelinde mikromodüllerden (termoelementler) oluşan termoelektrik modül bulunmaktadır. Bir termoelektrik modül termoelementlerin elektriksel olarak seri ve termal olarak paralel bağlanmasıyla meydana gelir [3].

2.3.1. Mikromodül (Termoelement)

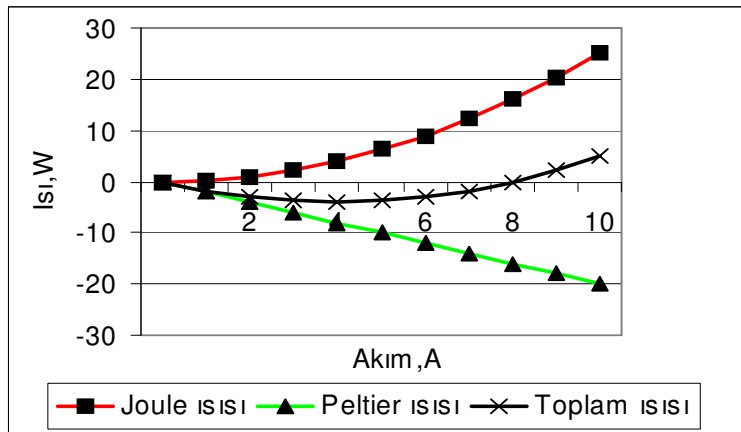
Bir termoelement, n ve p tipi yarıiletkenlerin, Şekil 2.4’de gösterildiği gibi, bir iletkenle (Bakır) elektriksel olarak seri bağlanmasıyla oluşur. Burada n tipi yarıiletken termoelement’in negatif, p tipi yarıiletkende termoelementin pozitif kolları olarak tanımlanır[4]. Bir termoelementin çalışma prensibine bakılırsa, eğer termoelemente Şekil 2.4’deki gibi DC bir gerilim uygulanırsa, yük taşıyıcıları, enerji seviyesi düşük olan üstteki bakırdan yarıiletkene geçerler. Bakır ile yarıiletken arasında mevcut olan enerji duvarını aşmak için elektron ve delikler bakırın örgüsünden enerji sağlarlar. Böylece üstteki bakırın sıcaklığı düşecektir. Altta bakıra gelince, yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine geçen yük taşıyıcıları sahip oldukları fazla enerjiyi alttaki iletkenle aktararak ısınmasına neden olacaktır. Bu geçiş sırasında soğuyan yüzeyden ısı emilirken soğuk yüzeyin sıcaklığı düşecek, ısının pompalandığı sıcak yüzeyin sıcaklığı ise artacaktır. Devreye uygulanan akımın yönü değiştirilirse soğuyan yüzey ısınır ısınan yüzey soğur. Eğer çalışan bir termoelementin sıcak yüzeyinde açığa çıkan ısıyı herhangi bir ısı transfer sistemiyle çevreye yayarak T_1 sıcaklığı sabit tutulursa devreden geçen I akım şiddetine bağlı olarak soğuk yüzey sıcaklığı belli bir T_2 değerine kadar düşer. Bir termoelement üzerinden geçen akım şiddeti sabit tutulduğunda T_2 sıcaklığının değeri soğuk yüzeye gelen ve emilen Q_y ısı yüküne bağlıdır. Bu ısı yükü çevreden ve sıcak levhadan soğuk levhaya ısı iletiminden dolayı gelen ve termoelement devresinden geçen akım şiddeti etkisi ile açığa çıkan Joule ısısından oluşur.



Şekil 2.4. Termoelementin yapısı

Şekil 2.5’de bir termoelementin soğuyan levhasına düşen Joule (Q_J) ve Peltier (Q_P) ısılarını ve bu ısıların ($Q = Q_J + Q_P$) toplamının akım şiddetine (I) göre değişim grafikleri gösterilmiştir. Peltier ve Joule olayları aynı elektrik devrede gerçekleştiğinden dolayı uygulanan herhangi bir akım şiddeti için bir termoelementin ısısal dengesi Q_P ve Q_J ‘nin cebirsel toplamı olan $Q = Q(I)$ fonksiyonu ile karakterize edilmektedir.

Şekil 2.5’deki $Q = Q(I)$ grafiği bir minimumdan geçmektedir. Toplam ısısın minimuma ulaştığı akım şiddetine maksimum akım (I_{max}) denir. Bir termoelemente maksimum akım uygulandığında soğuyan levha üzerindeki sıcaklık düşümü maksimum olur. Bir termoelementin veya termoelementlerden oluşan bir modülün maksimum akım şiddetinin değeri termoelementin üretiminde kullanılan termoelektrik yarıiletkenlerin kalitesine, boyutlarına ve yapısal özelliklerine göre değişir. Bir termoelemente uygulanan akım şiddeti, I_{max} ‘dan büyük olduğunda Joule ısısı Peltier ısısından fazla olur. Bu nedenle soğuma etkisi azalır ve akımı maksimum akımın iki katına ($I = 2I_{max}$) ‘a ulaştığında soğutma gerçekleşmez. Bu durumda Peltier ısısı Joule ısısını dengeler. Akım değeri daha da arttığında, yani $I > I_{max}$ olduğunda ısısal denge bozulur. Joule ısısı Peltier ısısından daha fazla olur ve termoelement soğutma özelliğini kaybeder. Bu durumda termoelement bir rezistans gibi davranır ve ısınır [5,6].

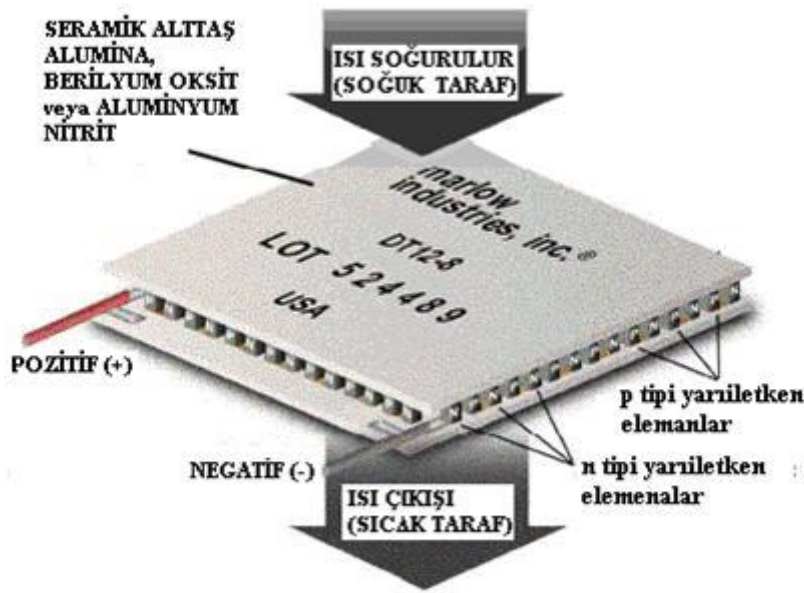


Şekil 2.5. Termoelektrik termoelement üzerinde oluşan ısı yükleri

Bir termoelementin çalışmasını en çok etkileyen Joule ısısıdır. Peltier ısısı akım şiddeti ile doğru orantılı iken Joule ısısı akım şiddetinin karesi ile doğru orantılıdır. Bir yaklaşım olarak, termoelementin üzerinde açığa çıkan Joule ısısının levhalar arasında eşit paylaştığını kabul edersek soğuyan levhaya düşen ısı miktarı Joule ısısının yarısıdır.

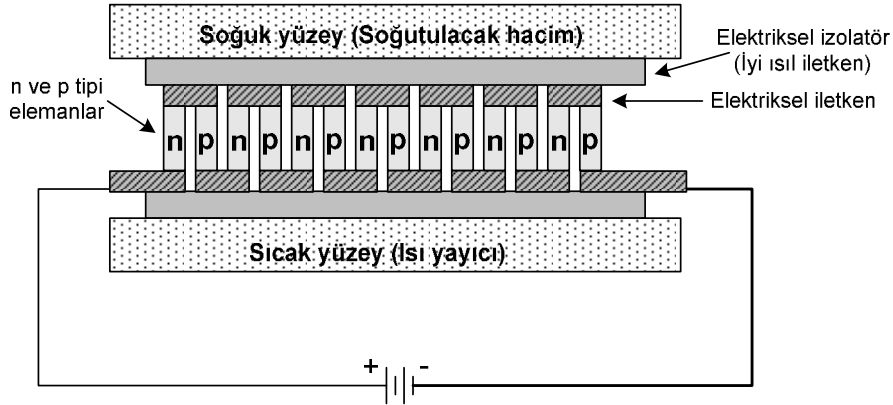
2.3.2. Termoelektrik modül

Onlarca termoelement, elektriksel olarak seri termal olarak paralel, bağlanarak çeşitli amaçlar için çeşitli büyüklüklerde termoelektrik modüller elde edilmektedir.



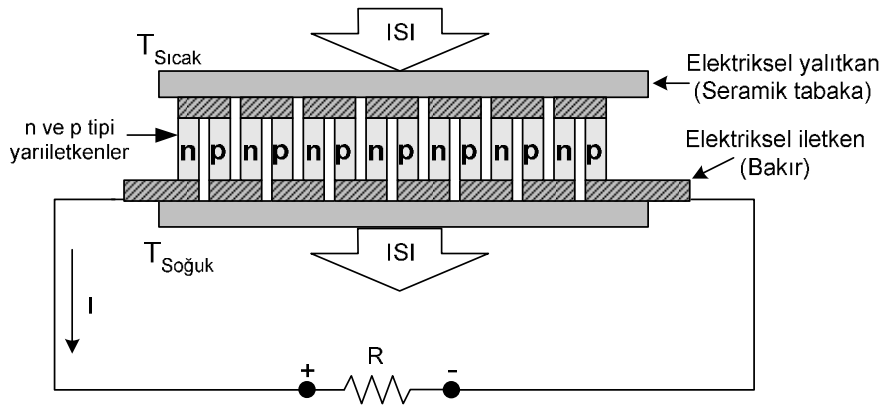
Şekil 2.6. Termoelektrik modülün genel görüntüsü

Termoelektrik modüller, hareketli parçası olmayan küçük birer ısı pompasıdır. Termoelektrik modüller genelde alan sınırlamasının olduğu, güvenilirliğin önemli olduğu ve zararlı soğutucu gazların kullanılmasının istenmediği ortamlarda tercih edilirler. Termoelektrik soğutucu, DC gerilimle çalışmakla beraber akım yönünün değiştirilmesiyle soğutma veya ısıtma rejimine kolayca geçebilmektedir. Soğutma, termoelektrik modülün bir yüzeyindeki ısının diğer yüzeye taşınmasıyla gerçekleşmektedir [7]. Şekil 2.7’de bir termoelektrik modülün yapısı görülmektedir.



Şekil 2.7. Termoelektrik modülün yapısı

Termoelektrik modüller sadece soğutma ısıtma amaçlı değil aynı zamanda enerji üretiminde de kullanılmaktadır. Eğer termoelektrik modülün iki yüzeyi arasında sıcaklık farkı meydana getirilirse o zaman modülde meydana gelen Seebeck olayından dolayı, modül bir DC güç kaynağı gibi davranır. Mevcut olan güneş pillerinden farklı olarak termoelektrik jeneratörler yüksek derecede akım ve orta derecede gerilim üretebilmektedir. Termoelektrik modülün jeneratör olarak çalışmasını sağlayan devre Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Termoelektrik modülün jeneratör olarak çalışması

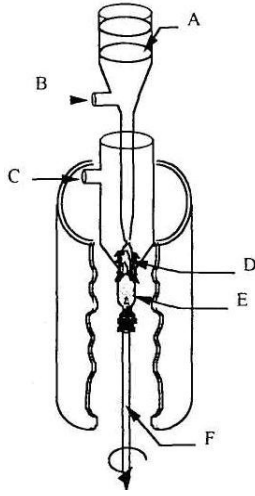
3. KRİSTAL BÜYÜTME METOTLARI

Kristal, belirli bir yerleşim düzeni içerisinde bir araya gelen atomların ortaya koydukları yerleşim düzeninin üç boyutta tekrarı ile oluşur. Kristaller, tabii olarak var olabileceği gibi istenilen amaca uygun olarak gerekli doğrultu ve stokiyometrik oranlarda yapay olarak laboratuvarında büyütülebilirler. Büyütülmek istenen kristallerin özelliklerine göre çeşitli kristal büyütmeye metotları geliştirilmiştir. Bu metotların başlıcaları kronolojik sıraya göre şunlardır[9,10].

1. Verneuil metoduyla kristal büyütmeye (1902)
2. Bridgman metoduyla kristal büyütmeye (1914)
3. Czochralski metoduyla kristal büyütmeye (1914)
4. Kyropoulos metoduyla kristal büyütmeye (1936)

3.1. Verneuil Metoduyla Kristal Büyütmeye

Bu metotla kristal büyütmeye işlemi pudra gibi ince öğütülmüş maddenin oksijen-hidrojen alevi altındaki çekirdek kristal üzerine sürekli olarak eriyip eklenmesiyle gerçekleşir. Büyüyen kristalin yüzeyinde düzgün bir sıcaklık gradiyenti sağlamak için toz madde alevin üzerindeki bir noktada gaz içine püskürtülür. Bu metotla kristal büyütmenin başlıca avantajı eriyiği taşıyan bir potanın olmamasıdır. Bu, daha yüksek erime sıcaklığına sahip ve pota ile etkileşmesi olan maddelerden kristal büyütmeyi sağlar. Bugün Verneuil tekniği daha da geliştirilerek iyi nitelikli kristaller büyütülmektedir[11,12].



Şekil 3.1. Verneuil tekniği

Şekil 3.1’de Toz bir kovadan (A) tüpe boşaltılır ve oksijen (B) ve hidrojen ile (C) karıştırılır. Bu gazlar yakıldığında (D) çok sıcak bir alev ortaya çıkar ve toz eriyerek küçük eriyik damlacıkları meydana getirir. Bu damlacıklar seramik bir çubuğun (F) üzerine damlar ve sonuçta bir kristal biçimlenir.(E) Bu çubuk kristal eridikçe döndürülür ve aşağıya çekilir[13].

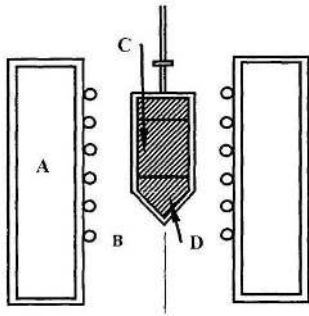
3.2. Stockberger ve Bridgman Metoduyla Kristal Büyütme

Stockberger metoduyla kristal büyütme Bridgman tekniğinin geliştirilmiş şeklidir. Bridgman tekniğinde sabit bir sıcaklık gradyentine sahip sabit fırın içinde ampul hareketliyken Stockberger metodunda ampul ve fırın hareketli olmayıp fırın tüpünün sıcaklık gradyenti belirli adımlarla düşürülür. Birinci durumda büyütülmek istenilen kristal, fırın tüpü boyunca oluşan sıcaklık gradyenti boyunca düşey veya yatay olarak hareket ettirilebilir. Bu metotlara sırasıyla düşey Bridgman ve yatay Bridgman metotları denilmektedir. Bu metotla kristal büyütme için genellikle iki zonlu veya üç zonlu fırınlar kullanılmaktadır. Fırının üst zonu bileşiğin erime sıcaklığından 50-100°C fazla, alt zonu ise 50-100°C düşük sıcaklarda tutulur. Büyütme tüpü önce soğuma bölgesine girecek şekilde ucu aşağı doğru olacak pozisyonda yönlendirilir. Bu kristalin bir doğrultuda büyümesini sağlar. Konik şeklindeki uçların en uygun tüp şekilleri olduğu gözlenmiştir. Silika ile etkileşmeyen fakat onun yumuşama sıcaklığının

üstündeki bir sıcaklıkta eriyen ve buhar basıncı 1 atmosferden büyük olan maddeler silika ampul içinde büyütülebilir.

Silika ampul oturağının sıcaklık gradiyenti boyunca sabit hızlarla indirilmesi için çeşitli teknikler uygulanmaktadır. Potanın oturağı bir metal çubuk üzerine oturtulur. Bu çubuk mekanik olarak ya elle ya da bir elektrik motoru ile aşağı doğru indirilir. İnme hızı 0.05-0.10 cm/saat arasında değişmektedir. Daha nitelikli kristaller için daha düşük iniş hızları gerekmektedir. Silika ampulün bir seramik çubuk yerine bir metal çubuk üzerine oturtulmasının sebebi ısı akışının kristal boyunca olmasını sağlamak içindir. Fırın içindeki izotermeler yatay doğrultuda oluşmaktadır. Bunun sonucu olarak, büyümekte olan katı-sıvı ara yüzeyindeki sıcaklık izoterm eğrileri de yatay doğrultuda olur. Bu ara yüzey hızlı büyüme sonunda konkavlaşırsa kenar soğumaları aşırı derecede boşluk gibi, kristal bozukluklarının oluşmasına sebep olur.

Stockberger metoduyla kristal büyütmek için genellikle yaklaşık $25^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ sıcaklık gradiyenti uygun olmakla beraber bazı kristaller için daha keskin gradiyentler gerekebilir. Kristalleşmenin ampulün ucundan başlayıp yukarı doğru devam etmesini sağlamak için ampul oluşturulan sıcaklık gradiyenti boyunca uygun bir noktaya sabitleştirilir. Büyütülmek istenilen kristalin özelliklerine göre sıcaklık gradiyenti 4-10 $^{\circ}\text{C}/\text{saat}$ "lık adımlarla düşürülerek işlem sürdürülür.



Şekil 3.2. Bridgman tekniği

Şekil 3.2’de Bridgman tekniğinde özel şekli için istenen kristalle doldurulmuş bir pota (C) fırınının içine doğru daldırılır.(B). Toz erir ve potanın fırının soğuk bölgeye girmesi ile beraber potanın ucundan kristalleşmeye başlar. Erimiş malzemenin

katılaşması sonucu ir tek kristal büyür.(D) fırının giriş bölümü bir ısı izelasyon bölümü ile izole edilmiştir.

3.3. Czochralski Metoduyla Kristal Büyütme

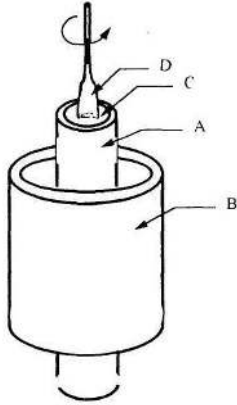
Eriyikten kristal çekme metoduna Czochralski metoduyla kristal büyütme denir. Czochralski metoduyla kristal büyütme işlemi birkaç aşamada oluşmaktadır.

1. Ham maddenin hazırlanması
2. Kristalin çekilmesi
3. Kristalin soğutulması

1. Kristal ham maddesinin hazırlanması : İnce pudra gibi öğütülmüş bileşiklerin ham maddeleri belirli oran ve miktarda alınıp iyice temizlenmiş bir cam beherde karıştırıldıktan sonra 25-50 cm³ saf platin pota içerisinde bir radyo frekans güç kaynağıyla yavaş yavaş eritilir.

2. Kristalin çekilmesi: Kristal; paslanmaz çelik veya molibden çekme çubuğu ucuna bağlanan bir çekirdek kristalin ham madde eriyiğinin yüzeyine dokundurularak kristalin büyüdüğü ara yüzey sıcaklık denge durumu oluşturulduktan sonra sabit bir büyütme sıcaklığında yavaş yavaş yukarı çekilme suretiyle büyütülür. Kristallerin uzunluk ve çaplan büyüme ara sıcaklığı ve çekme hızı ile değiştirilebilir.

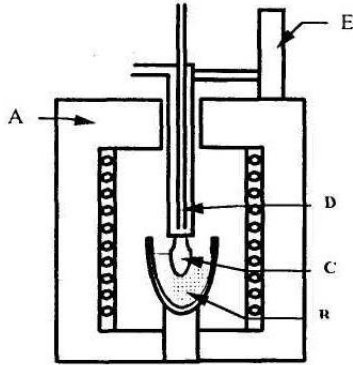
3. Kristalin Soğutulması : Büyütülen kristalin ucundaki sıcaklık 1200-1300°C arasında değişmektedir. Kristal, baştan sona bu sıcaklıkta iken radyo frekans güç kaynağının bağlı olduğu sıcaklık kontrol ünitesi yardımıyla tedrici olarak soğutulur. Ani soğutma durumunda kristalde pek çok bozukluk oluşur.



Şekil 3.3. Czochralski metodu

Şekil 3.3'deki (A) istenilen kristalin toz hali (C) ile dolu pota . Fırının içinde (B) eritilir . Bu çubuk , eriyik ile temas edecek biçimde eriyik üzerine indirilir ve yavaşça döndürülür. Böylece bir kristal (D) elde edilmiş olur. Bu yöntemle çok büyük kristaller elde edilmiş olur. Bu yöntemle çok büyük kristaller büyütülebilir.

3.4. Kyropoulos Metoduyla Kristal Büyütme



Şekil 3.4. Kyropoulos tekniği

Şekil 3.4'deki (A) Fırın. (B) eriyik haldeki malzemenin bulunduğu pota. (D) Sıvı soğutmalı bir çubuk tohum (C) eriyik içine daldırılarak hareketsiz olarak tutulur. Tohum pozisyonu ayarlanabilir(E). Fırın kapatıldığında tohum içerisinde kristalleşme başlar.

3.5. Üçlü (Ternary) Kristalleri Büyütmenin Temel Teknikleri

Üçlü yarıiletkenlerin tek kristal olarak büyütülmesi için birçok metot kullanılmıştır. Bugüne kadar kullanılan metotların birçoğu aşağıda tartışılmıştır.

3.5.1. Elementlerin doğrudan eritilip katılaştırılması

Bu, genellikle tek zonlu bir fırın içerisinde kuartz ampul içerisine kapatılmış elementlerin ısıtılıp soğutulması (füsyon) suretiyle yapıla gelmiştir. Buharlaştırılabilir element ihtiva eden bileşiklerin ilave buhar basıncını ortadan kaldırabilmek için bazen iki zonlu fırınlar kullanılmıştır. Bu yöntemle geniş tek kristal bölgeleri elde etmek için düşük soğutma hızları uygulaması gerekir.

3.5.2. Kimyasal buhar transferi

Bu metotla AB_2X_4 (burada $A=Zn, Cd$; $B=Ga, In$ ve $X=Se, S$) şeklinde üçlü bileşiklerin iyot transferi yapılarak büyütüldüğü ilk olarak Nitsche (1961) tarafından rapor edilmiştir. Benzer olarak bu metotla $CuAlS_2$ ve $CuAlSe_2$ kristallerini iğne veya tabakalı formda büyütmeyi Honeyman (1969) başarmıştır. Bir kuartz ampul içine komponent element olarak Cu_2Se ve Ga_2Se_3 ikili bileşikleri ve In transfer edici element olarak kullanılarak -5 mm^3 hacimli $CuGaSe_2$ tek kristalleri Sugiyama et al., (1987) tarafından elde edilmiştir. Aynı grubun yaptığı benzer iki çalışmanın birincisinde (Sugiyama et al., 1989) 28 mm boyunda ve 1 cm çapında büyütülen $CuGa(Se_xTe_{1-x})$ quaternary yarıiletkenlerinin stokiometriden sapma karakterleri incelenirken, ikinci çalışmada (Sugiyama et al., 1988) Te transfer edici element olarak kullanılarak büyütülen $CuGaSe_2$ yarıiletkenlerindeki komponent elementlerin oranlarına bağlı olarak çinko blend-kalkopirit kristal yapı dönüşümü üzerinde durulmuştur.

Benzer olarak $CuInS_2$ tek kristalini büyütme için Cu, In ve S komponent element olarak kullanılırken İndiyum elementi transfer edici element olarak kullanılmıştır.

3.5.3. Bir çözeltiden çökeltme metodu

Bu metotla şimdiye kadar yalnızca $A^{II}B^{IV}C_2$ bileşikleri hazırlanabilmiştir. Bu metot, erime sıcaklığında, büyük ayrışma buhar basıncına sahip yüksek erime noktalı bileşikler için daha uygundur.

3.5.4. Normal / doğrultulmuş

Soğutma Tekniği : Zalar (1966), düşey Bridgman tekniği kullanarak $CuInTe_2$ bileşiğinin kabaca polikristal külçelerinin, Austinet al.,(1956) $A^{II}B^{III}C_2$ (burada $B=In$) formundaki çeşitli üçlü bileşiklerin doğrudan katılaştırma tekniğini kullanarak büyütüldüğünü rapor etmişlerdir. Neumann et al.,(1983), Shih et al., (1984b) ve Shih et al., (1986) sırasıyla düşey Bridgman ve yatay Bridgman metotlarını kullanarak büyütülen polikristal külçe içinde $CuInSe_2$ tek kristallerini cm boyutlarında parçalar şeklinde elde etmeyi başarmışlardır. Buna benzer diğer iki çalışma da Tomlinson (1986) ve Tomlinson (1987) , düşey Bridgman /Stockberger tekniği kullanılarak cm boyutlarında kaliteli tek kristaller elde etmek için uyulması gerekli işlemleri ayrıntılı olarak vermiştir. Weng (1988) "accelerated crucible rotation" tekniğini (ACRT) uygulamak amacıyla Czochralski çekme sistemini düşey Bridgman sistemine adapte ederek $CuInSe_2$ tekli kristalini büyütmeyi amaçlamış ve 50 mm^3 hacimli tek kristaller elde etmiştir. Horinaka et al., (1990) başlangıç elementleri olarak $CdSe, GaSe_3$ ikili bileşiklerini farklı stokiyometrik oranlarda tertipleyerek stokiyometriye bağlı olarak düşey Bridgman tekniği ile büyütülen $CdGa_2Se_4$ tek kristallerinin kaliteleri üzerinde durmuşlardır.

3.5.5. Czochralski tekniği

Bu silisyum ve germanyum yarıiletkenlerini büyütmek için çok ilgi çekici bir metot olmasına rağmen buhar basıncı problemleri bu metodun bileşiklere uygulanmasını zorlaştırır. Meltz (1962) , Hiscocks ve West (1968), sıvı kaplama (encapsulation) ile ince çekirdek tekniğini beraber kullanmak suretiyle $Pb_{1-x}Sn_xTe$ kristalini büyütmeyi başarak sıvı ile kaplama tekniğini takdim etmeleri bu tekniğin

uygulama alanını genişletmiştir. Daha sonraki yıllarda kapalı bir pota içerisinde Czochralski tekniğini uygulamaya çalışan Ciszek (1986), pota içerisindeki eriyiğin üzerini sıvı B_2O_3 (Bortriksit) ile kaplarken zehirli selenyum buharının dışarı çıkmasını önlemek için argon gazı kullanılarak B_2O_3 üzerinde yüksek bir basınç oluşturmuştur. Çalışmanın ilk sonuçları LEC (Liquid Encapsulated Czochralski)' tekniği için ümit verici olduğu halde, uygun çekirdek materyalinin her zaman mevcut olmayışı ve nispeten yüksek çekme hızlarının kullanılması metodun uygulanabilirliğine engel teşkil etmektedir.

4. BÖLGESEL ERİTME YÖNTEMİ

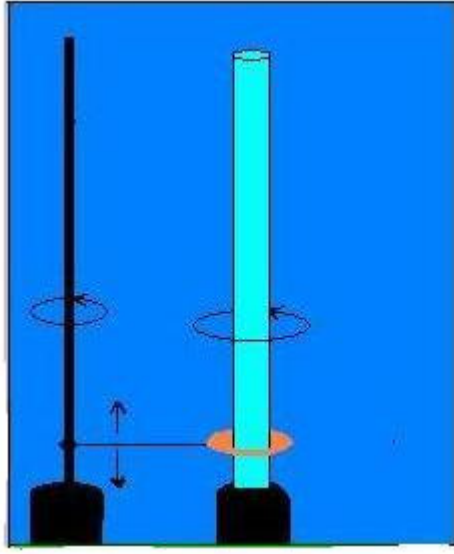
Bölgesel erime yönteminde asıl amaç tüpün içerisine konulan Bi_2Te_3 'den Sb_2Te_3 elde edilmesiyle yeni materyaller meydana getirmektir. Bunun için 10 mm çaplı ampul uzunluğunun iki katının fazlasına kadar homojen bir kompozisyon ile doldurulmuştur. Bunun üzerine eşit uzunlukta Sb_2Te_3 homojen parçası yerleştirilir. Bu işlem Bi_2Te_3 'den Sb_2Te_3 'e erimeyle geçişi meydana getirir. Tam ters geçişi için ilk ve ikinci dolgular yer değiştirilmelidir[14].

Ampulün alt ucunda büyüme işleminin başında kristal tohum seçimi için 20-30 mm²'lik boş bir uç kısmı vardır. Pilli ampul doldurulduktan sonra hidrojen ile durulanır ve açık uç erimesiyle oksidasyon ve buharlaşmadan korumak için kapatılır. Başka bir düşük basınçlı hidrojen ile dolu pilli tüp güvenlik için kullanılır.

Ampulün içerisine Bi, Sb, Te kompozisyonları küçük parçalar halinde atılır. Kristalin homojen bir karışım olmasını sağlamak için ampul 5-10mm/h hızla döndürülerek çalkalanır. Ayrıca ampul çevresindeki ısıtıcı vasıtasıyla bölgesel olarak ısıtma yaparak ampul içerisindeki kompozisyonun erimesi sağlanır. Isıtıcı Kuarts ampulün alt ucundan başlayarak yukarıya doğru hareket edip, yukarı ucundan tekrar aşağı hareket ederek bu kompozisyonun sıcaklığının korunmasını sağlar. Bu yapı bizmut tellürid tellerin büyümesi için uygun bir yapıdadır.

Farklı Bi:Sb:Te kompozisyonları elde etmek için ampullerin içindeki materyalleri ampul başına 2/35 mol miktarında konularak ayarlanır. Bu kompozisyonlardan homojen çubuk elde edilebilmesi için 24 saat 720° C'de tam karıştırılır ve suda aniden soğutulur. Bu çubuklardan gerekli miktar kesilir. Böyle farklı kompozisyonda homojen parçalar FGM erimesi ile yukarıdaki gibi ampul içinde homojen bir kompozisyonun elde edilmesi sağlanır.

Bi_2Te_3 'den Sb_2Te_3 'e geçiş de aşağı yukarı ters şekilde yapılır.



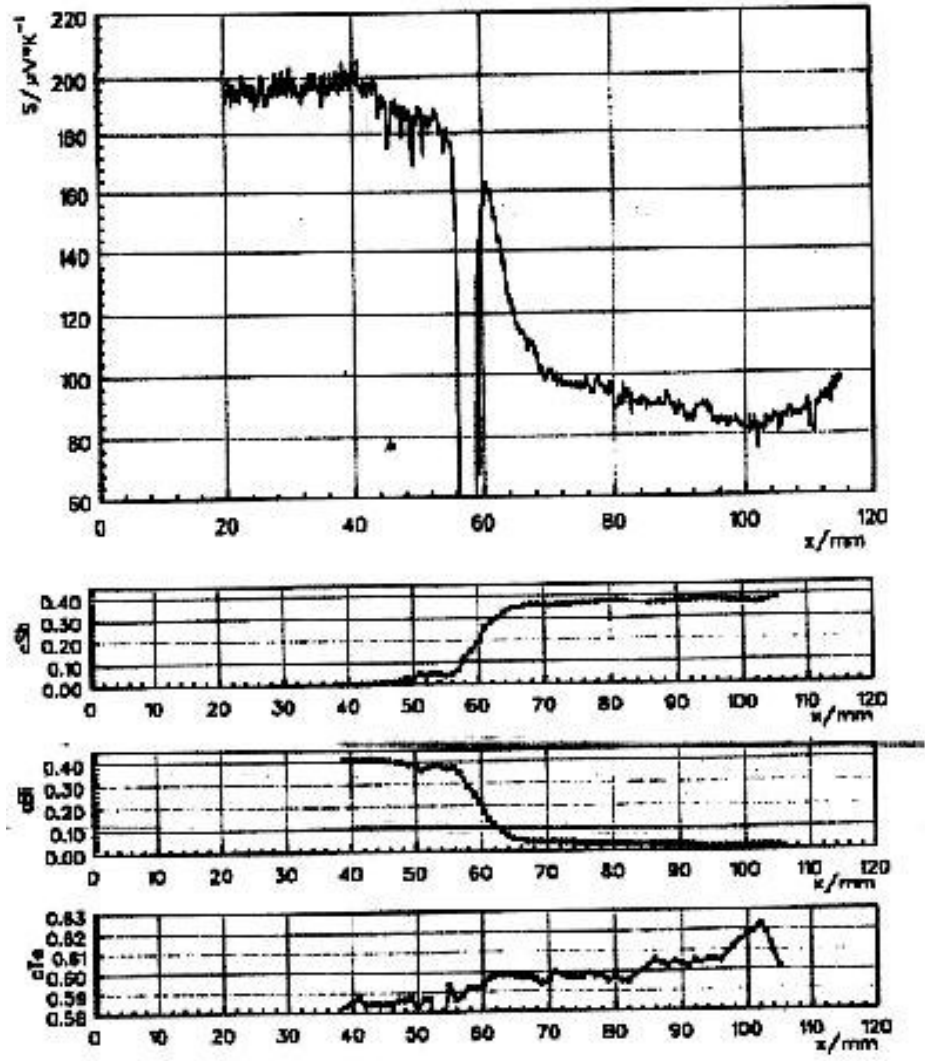
Şekil 4.1. Bölgesel eritme yöntemi

4.1. Kompozisyon Gradientlerinin Karakteristiği

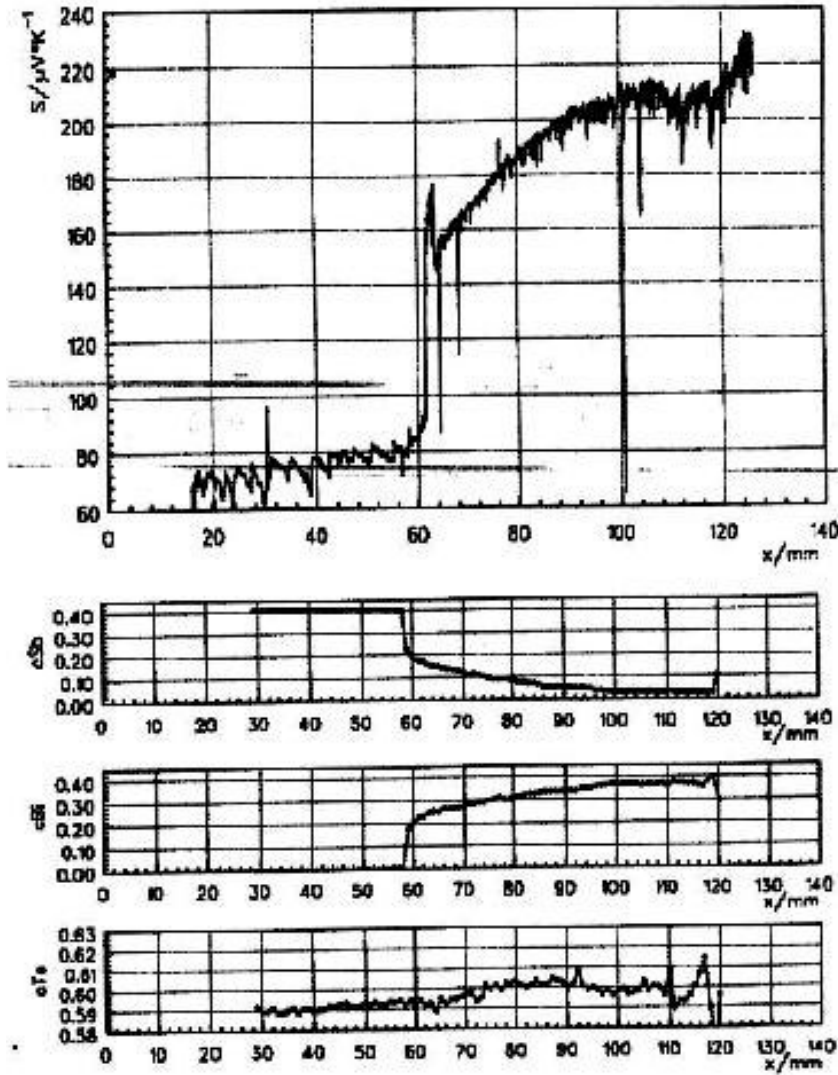
50 μm aralıklarla elde edilen kristal Seebach mikroprobe tekniği kullanılarak başka yerlerde (REINSHAUS 1999) cihazla ölçülmüştür. Ölçümler büyüyen kristal yüzeyi ve iç kısımlarda yapılmıştır.

Yuvarlak kristal çubuk kurşun kalem gibi altıgen şeklinde bir yapı sağlamak için SiC toz topraklanır. Toprak yüzleri elektro cilalıdır. Bu hazırlanma SEEBECK taramalarının temel işlevini etkilemez, fakat ölçümlerin düzgünlüğünü korur.

Büyüyen kristallerin kompozisyonu, 20 kV gerilimde ve CAMEBAX sistemini kullanarak test edilmektedir. Bu test işlemi elektron gönderme analizi ile çalışmaktadır. Bi_2Te_3 kristali içindeki bizmut ve tellerium içeriğinin analizi için Bi $M\alpha$ ve Te $L\alpha$ radyasyonu standart olarak kullanılmaktadır. Antimon içeriği Sb $L\alpha$ radyasyonu ve Sb_2Te_3 standart materyali kullanılarak analiz edilir.



Şekil 4.2. Seebeck taraması ve antimon tellurid'ten bizmut tellurid'e geçiş



Şekil 4.3. Seebeck taraması ve antimon tellurid'ten bizmut tellurid'e geçiş

Şekil 4.2 SEEBECK taraması antimon tellurid'ten bizmut tellurid'e geçiş ile kristal oluşumunu ifade etmektedir. Geçiş bölgesi antimonun keskin bir dönüşü ile bizmutu keskin artışının %50 değeriyle karakterize edilir. Seebeck taraması ve mikro analiz uygunluk içerisinde.

Şekil 4.3 aynı ölçümün bizmut telluriden antimon telluride olanını göstermektedir. Konsantrasyonlardaki keskin düşüşler görülmektedir. Bu da geçiş bölgesindeki kristallerden kaynaklanan bir uyumsuzluğun olduğunu göstermektedir.

FGM Alan Erimesinin Modellenmesi

Aşağıda bahsedilen model erimede yapı dengesine dayanmaktadır. Sağlanan materyaldeki içerik kompozisyonunun artışı erimenin zenginleşmesine sebep olmaktadır. Bu arada kristal materyalinde de konsantrasyonu arttırır. Tam ve ani karışmanın en basit örneğinde eritilen materyal veya üst sınırdaki çözünücü ($z^1 + \delta$ pozisyonu) erime hacminin konsantrasyonu değişecek veya büyüyen kristalden bağımsız olacaktır. Bu durum aşağıdaki eşitlikte yazılmıştır:

$$dm \cdot c_i (z^1 + \delta) = A \cdot \delta \cdot \rho_i \cdot dc_i + A \cdot dz^1 \cdot \rho_s \cdot c_s (z^1) \quad (4.1)$$

dm : Materyal miktarı,

c_i : Sağlanan materyaldeki ilk konsantrasyon,

A : Temel yüzey,

δ : Erime alanının yüksekliği,

c ve ρ : Konsantrasyon ve katı fazın yoğunluğu (s) ve sıvı fazın (l)

z : Faz sınırlarından sıvı faza olan koordinat. Bu arada $z^1 = z + vt$ büyüyen kristale sabitlenen koordinattır.

v : Büyüme hızı.

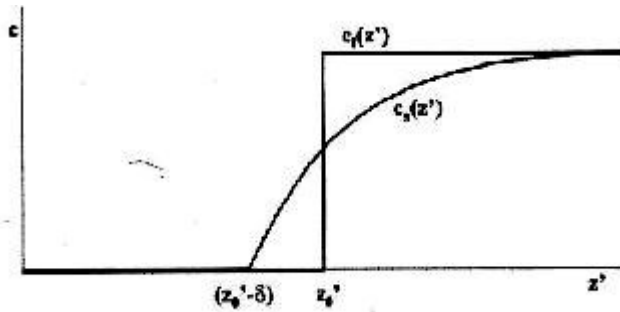
$dm = \rho_s \cdot A \cdot dz$ ile bu gerçekleşir. $k = c_s / c_l$ ayırma katsayısıdır. Bu oran faz diyagramı verilmiştir ve idea olarak karışıktır.

$$\frac{dc_s}{dz^1} + \frac{\rho_s \cdot k}{\rho_l \cdot \delta} \cdot c_s (z^1) - \frac{\rho_s \cdot k}{\rho_l \cdot \delta} \cdot c_i (z^1 + \delta) = 0 \quad (4.2)$$

Sağlanan materyalin ilk konsantrasyonundaki değişim c_{i0} kadar z_0 pozisyonunda iken, bu eşitlik büyüyen kristalde üssü bir değişime yol açar.

$$c_s (z^1) = c_{i0} \cdot \left[1 - \exp \left[- \frac{\rho_s \cdot k}{\rho_l \cdot \delta} \cdot (z^1 - (z_0^1 - \delta)) \right] \right] \quad (4.3)$$

Geçiş bölgesinin başlama noktası, ilk yoğunlaşma profili ile karşılaştırıldığında yüksek δ alanından daha düşük z^1 değerlerine doğru kayar. Yüksek δ alanına bağlı olarak büyüyen kristalde üslü geçiş bölgesinin genişliği, katılaşma süresince büzülme ρ_s / ρ_l ve ayırma katsayısı $k = c_s / c_l$ olur. Bunlar mantıklı sonuçlardır. Farklı yoğunlaşma profillerinde farklı davranış dağıtım sonuçlarıdır. Bu yüzden, bu teknik farklı yapıların dağılım katsayılarını kıyaslamada uygundur.



Şekil 4.4. Kristalin konsantrasyon profili

Gerçekte, bu metot yukarıda verilen modelde anlatıldığı gibi güç olabilir. Bununla birlikte eriyiğin eksik karışımında, sınır fazındaki kristalleşme işlemlerindeki gibi daha karışık çözümlemelerde ve hatta eriyik kalınlaşmasının varyanslarında, büyüme işlemleri boyunca eriyik kompozisyon varyansına bağlı olarak erime noktalarındaki varyanslar yüzünden sorunlar olabilir.

4.2 FGM Alan Erimesinin Avantajları

Bu kristal büyüme teknolojisi fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kristallerin büyümesi için geliştirilmiştir. Bu FGM eriyik alanı (yapı) bizmut telluriden antimon telluride ani geçiş durumlarında ve tam tersinde olduğu gibi en kötü durumlarda bile çalışır.

Bizmut telluriden – antimon telluride geçiş faz diyagramı kesin karışımı gösterir. Eriyikteki sapma göreceli olarak daha küçüktür, bizmut tellurid için 587° C ve

antimon telluride için 617°C 'dir. Ayırma katsayısı her iki yöntem için yaklaşık 1'dir. Sb için 1.07 ve Bi için 0.94.

Bizmuttan antimon telluride veya tam tersi geçişlerdeki farklar maddelerin erimelerindeki farklardan kaynaklanmaktadır. Sb'den Bi'ye geçişte erime sıcaklığı düşer. Bu da hızlı bir erime alanı büyümesine yol açar. Ayrıca erime yapısındaki hızlı değişim büyüme kristalin yapısında etkiler. Bu durum geçişin başlangıcındaki keskinliğide açıklar(bkz Şekil 4.2). Artan erime sıcaklığı olan yüksekliğinin alçalıp tekrar yükselmesine yol açar. Daha yüksek erime sıcaklıklı materyalleri geçişi daha zor görünmekte, çünkü katı materyal erime alanına kayar(Şekil 4.3). Her şeye karşı değişkenlikler büyümenin hızı 10 mm/h 'ten 3.3 mm/h 'e düşürülerek giderilebilir.

FGM olan erime işlemi en kötü durumda çalışmaktadır. Böylece %50'den %75 Sb kompozisyonunun varyasyonu selenyum termoelektrik özelliklerin adaptasyonu gibi daha sabit durumlarda büyümektedir.

Geçiş bölgesi 10 mm sırasındadır. Bu ölçek termoelektrik aletlerin teknolojik ihtiyaçlarını karşılamada uyumludur.

4.3. Bölgesel Eritme Tekniği ile Brigman Tekniğinin Karşılaştırılması

Bir veya birkaç teknikle hazırlanmış birçok termoelektrik materyaller üzerine çalışmalar mevcuttur. Fakat dikey ve yatay Bridgman ve bölgesel geliştirme tekniklerinin her ikisini de kullanmış hiçbir grup bulunmamaktadır. Bir grubun sonuçlarını diğer grubun sonuçlarıyla kıyaslamak çok zordur çünkü tanımlama ve ölçüm teknikleri farklılıklara neden olmaktadır. Bağıntılı olarak; yapılabilecek herhangi bir değişimin güvenilir olabilmesi için ölçüm tekniklerinde bir standarda sahip olacak ve gelişme tekniklerini çoğaltmış bir gruba sahip olmak çok önemlidir[15].

$(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{72}(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{25}(\text{Sb}_2\text{Se}_3)_3$ p-tipi ve $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{90}(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_5(\text{Sb}_2\text{Se}_3)_5$ n-tipi alaşımlar; p-tipi için $3,4 \times 10^{-3}\text{K}^{-1}$ değeri ve n-tipi alaşım için $3,2 \times 10^{-3}\text{K}^{-1}$ lik değerler

termoelektrik soğutma için uygun bulunmuştur. Bu materyal; Bridgman ve bölgesel gelişmeyi’de içeren bir çok teknikler tarafından geliştirilmiştir.

4.4. Geliştirme Cihazları ve Parametreler

$\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Se}_3$ alaşımı Alfa Aesar’da sağlanmış yüksek saflık oranına (%99,99) elementlerden elde edilmiştir. Her element için uygun miktar; Hk 160, model bir Metler terazisinde tam 0,0001 g olarak tartılmıştır. P-tipi materyalde fazla Te, materyal içindeki boşlukları elektriksel olarak aktif nonstometrik tellurium ile dengelemek için bir dopant olarak kullanılmıştır. Te’nin ilavesi, öz direnci ortalama $1,1\Omega$ ‘un yukarısına çıkartmaz. N-tipi materyalde; SbI_3 formundaki iyot dopant olarak kullanılmıştır. Yüksek değerli rakamlar için; her materyal için dopantın optimum miktarları çizelge 4.1’de verilmiştir. Elementler, GM Associate’ten sağlanmış, eritilmiş silis tüpleri içine yerleştirilmiştir. Ampuller daha sonra bir absorpsiyon pompası tarafından 0,8 atmosferlik bir basınca eşit olan bir argonluk basınç altında birkaç kez boşaltılır. Materyaller; bir RF fırında mühürlenmiş ampullerin birkaç saat kalarak gelişmesi için önceden tam olarak homojen hale getirilmiştir. RF’den sonra; dikey bölge yatay bölge, dikey Bridgman veya yatay Bridgman tekniklerinden biri ile materyal geliştirilir.

Yatay ve dikey Bridgman çalışmalarında; gelişme hızı aynı, yaklaşık $5,5 \text{ mmh}^{-1}$ dir. Özelliklerine ayrıışmamış bu materyaller için verilen hız çok fazladır. Yatay ve dikey Bridgman fırınlarında katı-sıvı ara yüzeyinde ısı değişimi ortalama 25°C/cm dir. Bölgesel geliştirilmiş örnekler yatay ve dikey olarak yönlendirilmiştir ve her iki sistemde de gelişme hızı 5 mmh^{-1} dir. Yatay bölge yüzeyi; bir RF jeneratörüne tutturulmuş $3/8''$ çaplı bakır tüpten oluşmuştur. Bakır bobin, içi boşluk olan bir karbon silindir içinde ısıtılır. Bobin; yaklaşık 1,2 mm çapında ve 1,5 cm uzunluğunda bir sıcaklık gradyenti oluşturur. Bu sıcak bölge, külçe boyunca hareket ettirilir. Sıcak bölgenin her bir kısmında; daha soğuk yüzlerdeki tortulardan uçucu materyal sağlamak için soğuk bölgeyi yeterince serin tutabilmek gerekiyor ve bunun içinde daha geniş ayırmalı RF bobinleri kullanılmıştır. Dikey bölge tekniğinde; yatay bölge gelişmesindekine benzer bir şekilde, ampul bir nikel tel üzerine eğilir. Dikey

durumda; RF ışınlamı materyali direkt olarak ısıtır. Dikey bölge ısı değişim bölümleri kolayca ölçülemez. Yatay bölge gelişmesinde gözlemlendiği gibi, bölge uzunluğu bobinleşmiş helezonun uzunluğu kadar olduğu kabul edilir. Geliştirme tekniğine bağlı olarak; külçelerin farklılıkları toplam uzunlukta 100-400 mm arasındadır. Külçelerin çapı 8-10 mm'dir. Yukarıdaki tekniklerdeki kristaller, birkaç geniş taneli kristalin düzenlenmiş şeklidir. Bu çalışmada, tek kristal materyal geliştirmek için hiçbir girişim yoktur.

Çizelge 4.1. Alaşım ile dopant ilavelerinin düzenlenmesi

Alloy type	Standard composition weight percent				Doping material weight percent addition	
	Te	Bi	Sb	Se	Horizontal	Vertical
p-type Bridgman	55.78	15.70	27.45	1.07	Te 9.0	Te 6.0
p-type zone	55.78	15.70	27.45	1.07	Te 9.0	Te 2.0
n-type Bridgman	46.86	48.48	3.14	1.53	SbI ₃ 0.15	SbI ₃ 0.10
n-type zone	46.86	48.48	3.14	1.53	SbI ₃ 0.13	SbI ₃ 0.09

4.5. Ölçüm Teknikleri

Gelişmeden sonra; külçeler, erilmiş silis ampullerden çıkarılır ve elektriksel öz dirençleri külçe boyunca pozisyon fonksiyonu olarak ölçülür. Elektriksel öz direnci belirlemek için dört nokta araştırma metodu kullanıldı. Bir 60 Hz'lik alternatif akımın 2-5 A'i giriş örneğinden geçirilir. Akım; bir 75 Model Fluke kullanılarak ve gerilim de bir Keithley 195A dijital multimetre kullanılarak ölçüldü.

Külçelerden; Seebeck katsayısını ve termal iletkenliğini ölçmek için seçilmiş örnekler kesildi. Örnekler, bir Metler yavaş hızlı testeresi üzerinde Norton elmas testeresi ile 5-10 mm uzunluğunda kesildi. Kenarlar düzgün ve paralel olsun diye; örneklerin sonu 600 grit SiC kağıt ile parlatıldı. Parçalar önce, bir ısı çanağı, bir kuvars standardı, bir ısıtıcı ve örneği içeren bir yığının düzenlenmesinden oluşan bir "mutlak" test aparatlarında ölçülür. Kuvars standardı; Bi₂Te₃-Sb₂Te₃-Sb₂Se₃ alaşımınıninkine benzeyen bir termal iletkenliğe sahiptir ki bu 13,60 mWcm⁻¹K⁻¹ dir.

Yığın 500mPa'lık bir vakumda yer alır. 3-5K'lık ısı farkı; ısı çanağının ve ısıtıcının standart kullanımına ve örneğe karşı oluşmuştur. Eşitlik 1 kullanılarak bilinen termal iletkenlik standardı ve ısı değişim ölçümlerinden biri ile, örneğin termal iletkenliği hesaplanabilir.

$$\kappa_{\text{sam}} = \kappa_{\text{std}} \frac{\Delta T_{\text{std}} A_{\text{std}} L_{\text{sam}}}{\Delta T_{\text{sam}} L_{\text{std}} A_{\text{sam}}}, \quad (4.4)$$

ΔT_{std} =standarttan geçen ısı farkı, L_{std} =standardın uzunluğu, ΔT_{sam} =örnekten geçen ısı farkı, L_{sam} =örneğin uzunluğu, κ_{std} =termal iletkenlik standardı (eritilmiş silis), A_{sam} =örneğin çapraz-bölgesel alanı, A_{std} =standardın çapraz bölgesel alanı

Bu aparatlar, Seebeck katsayısının da ölçümüne izin verir. Örneğe karşı ısı değişim ölçüsü Seebeck akımın indükler. Termokupl teller kullanılarak, örneğin üstü ve altı arasındaki voltaj farkı ölçülebilir. Seebeck katsayısı aşağıdaki eşitliği şöyle vermektedir;

$$\alpha_{\text{sample}} = \frac{\Delta V_{\text{low}} + \Delta V_{\text{high}}}{2\Delta T} + \alpha_{\text{correction}}, \quad (4.5)$$

ΔV =örnekten geçen voltaj farkı, ΔT =örnekten geçen ısı farkı, $\alpha_{\text{correction}}$ =mutlak Seebeck ölçeği üzerinde yer alan ölçümdür.

Mutlak ölçüm metodunun doğrulanışı bir değiştirilmiş Harman aparatları kullanılarak sağlanmıştır. Bu aparatlarda öz direnç, önce bir bilinen pulse edilmiş DC akımın eklenmesiyle ölçülür. Termokupl'lar akım geçmeye devam ederken voltaj ölçerler. Akım puls'inin süresi yeterince kısa tutulur ($\cong 15\text{ms}$) ki örneğe karşı hiçbir ısı değişim ölçüsü oluşturulmasın. Bu da dört-nokta araştırma metodunda olduğu gibi bağımsız bir öz direnç ölçümüne izin verir. Seebeck katsayısını ölçmek için; Peltier etkisi yaratsın diye, ısı farkı meydana getiren direkt akım örneğe uygulanır. Akım

kesilir ve ısı farkı Seebeck voltajının oluşumunu hatırlatır ki bu termokupllar tarafından ölçülebilir ve aynı termokupllar ısıyı ölçmek için kullanılır. Bilgisayar kullanarak bu ölçümler kolayca yapılabilir ve birçok doğru okunmuş veri noktaları ortalama olarak kabul edilebilir. İki ölçümlü sistem; Seebeck katsayısının ve öz direncin ölçümlerinde uyumluluk olduğunu göstermiştir. Bu aparatlardan elde edilen sonuçlar; New Jersey, Treton'daki Melcore Inc.'deki ölçülmüş materyal sonuçlarıyla da uyum içerisindedir.

Seebeck katsayısının ölçüm değerlerinden α , termal iletkenlik K ve elektriksel öz direnç ρ , değer şekli Z aşağıdaki eşitlikten çıkarılabilir.

$$Z = \frac{\alpha^2}{\kappa \rho}, \quad (4.6)$$

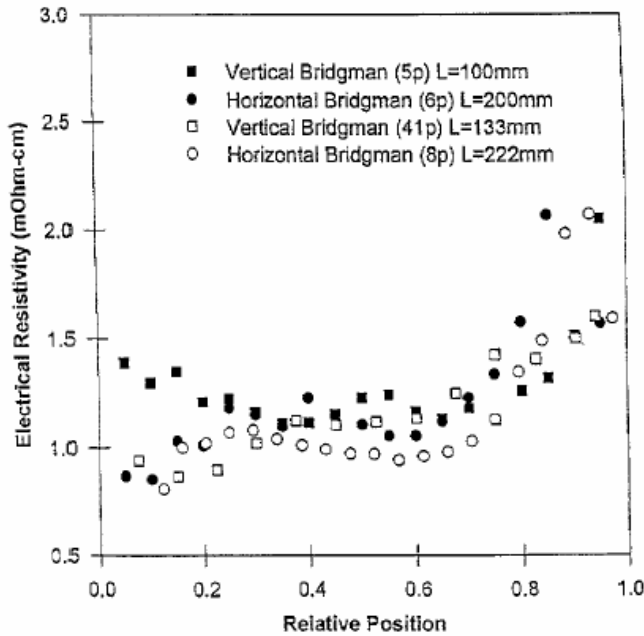
4.6. Deneysel Sonuçlar

4.6.1. Yataya karşı dikey Bridgman gelişimi

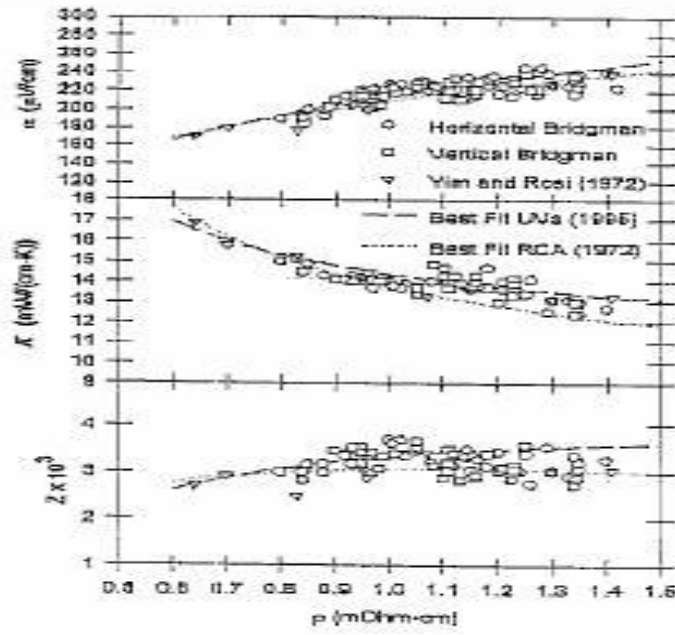
Elektriksel öz direncin değer şekliyle direkt olarak ilişkili olduğu sonraki araştırmalarda bulunmuştur. N ve P tipi materyallerin ikisi içinde en uygun değer şekli $\cong 1,1 \text{ m}\Omega$ 'luk tek bir dopant kullanarak bulunmuştur. (p-tipi için fazla Te, n-tipi için fazla SbI_3) Bu sonuçlar RCA ile nicel uyum içerisindedir. Yatay ve dikey Bridgman teknikleri; p-tipi materyaldeki külçenin %65'lik kısmına karşı gereksinilen öz dirence sahip, p-tipi külçeleri düzenli olarak üretir (Şekil 4.5). Bu çalışmalardaki tipik uzunluk 10-40cm'dir. Gelişme tekniklerinin her ikisinde de; öz dirençle kütlenin uzunluğunun %70 kadar hızlı bir artış vardır. Öz dirençteki bu hızlı artış ikinci-evre görünümü iledir, optik ve inceleyen elektron mikroskobu (SEM) ile ortaya çıkarıldı. Bu ikinci evre ön-baskın Te'dir.

Yatay Bridgman teknikleri tarafından geliştirilen p-tipi materyalin değer şekli, dikey Bridgman teknikleriyle geliştirilen P-tipi materyalinkiyle neredeyse aynıdır ve bu çalışma bunu belirtiyor. Seebeck katsayısı ve materyalin termal iletkenlik ölçümlerinde eşitlik ortaya çıkar (Şekil 4.6). P-tipi materyalin değer şekilleri $3,6 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ olarak ölçülmüştür.

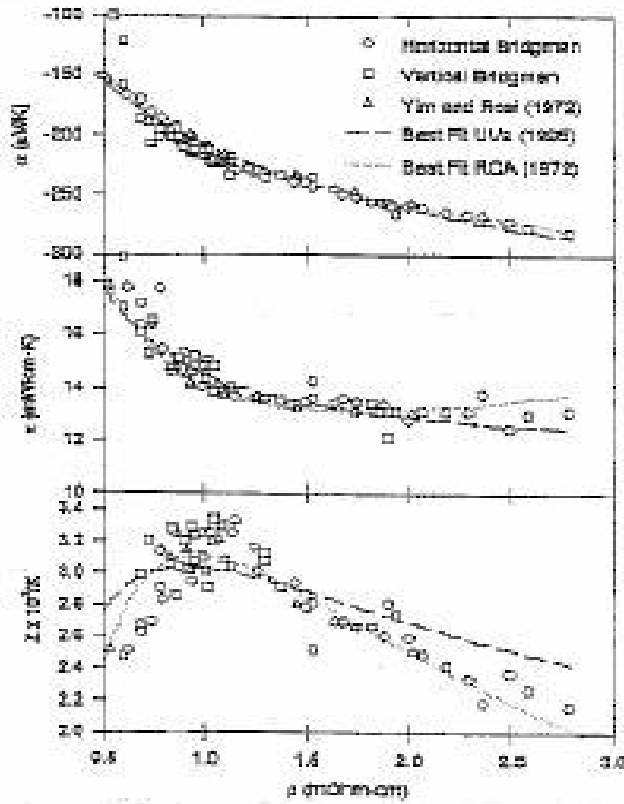
N-tipi materyalin değer şeklinden, onun geliştirme tekniğinden etkilenmediği ortaya çıkıyor. Elektriksel özellikler önemli bir farklılığın olmadığını belirtiyor (şekil 4.7). N-tipi materyalde; ikinci-evre parçacıkları görünmez. Geliştirme teknikleri arasındaki esas fark; n tipi materyalin toplam verimidir. Yatay Bridgman gelişim tekniği; külçenin uzunluğu boyunca, öz direncinin düzgün bir şekilde değiştiği bir örnek üretir (şekil 4.8). Öz direncin sabit olduğu bölge yoktur. Dikey Bridgman tekniği; külçe uzunluğunun %65'ini aşan, sabit öz direnç bölgesi üretir. Yatay yada dikey tekniklerin geliştirdiği n-tipi materyal için yapılan ölçümler maksimum değeri $3,2 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ olarak göstermiştir.



Şekil 4.5. P-tipi materyal için elektriksel dirence karşı ilişkin pozisyon



Şekil 4.6. Bridgman geliştirme ve RCA P-Tipi alaşımın elektriksel direnci



Şekil 4.7. N-Tipi materyalin elektriki direnci ve termoelektrik özellikleri

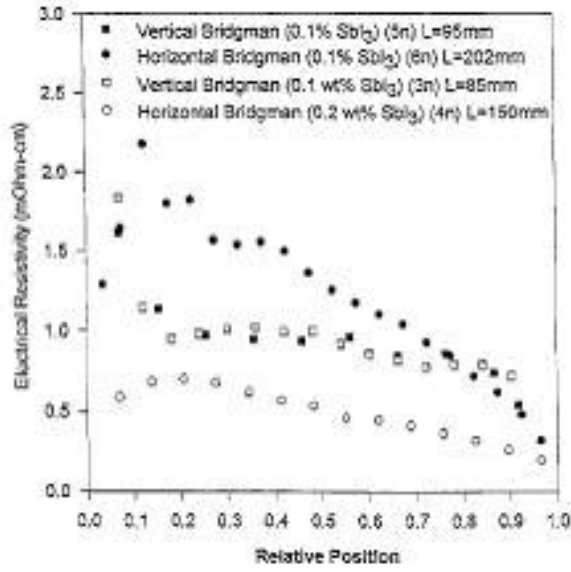
4.6.2. Bölgesel geliştirmeye karşı Bridgman geliştirme

P-tipi alaşımlar

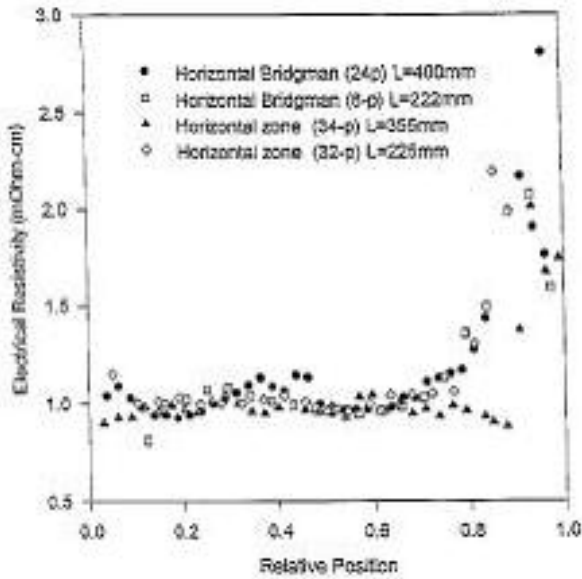
N ve P tipi alaşımların kristalleşmiş külçelerinin bulunduğu yatay bölgeyi oluşturmak için dikkatlice ayarlanmış aparatlar kullanılırdı. Bölge teknikleri ve Bridgman teknikleri tarafından geliştirilen külçeler arasındaki esas fark; bir sabit öz dirençte külçenin oranıdır. Bölge tekniği ile geliştirilen külçelerdeki sabit öz dirençteki materyalin oranı; uzunluktan bağımsız olan Bridgman tekniğiyle geliştirilen materyallerin aksine, külçenin uzunluğuna bağlıdır. Şekil 4.8’de külçenin uzunluğunun oranına karşılık öz direnç işaretlenmiştir ki bu uzunluk yatay bölge ve yatay Bridgman geliştirme teknikleri ile geliştirilen bir uzun ve kısa külçenin uzunluğudur. Bridgman geliştirilmiş külçeler sabit öz direnç bölgesinin nispi uzunluğunda önemli bir fark olmadığını gösterir.

Diğer taraftan, bölgesel geliştirilmiş daha uzun külçeler, sabit öz dirençli külçede daha geniş bir paya sahiptir. Külçenin sabit öz direnç bölümleri, p-tipi yatay Bridgman külçelerinin yaklaşık %65’ine uzanmaktadır ki bu değer yatay bölge p-tipi külçelerinde %80’e ulaşmaktadır. Bu; daha uzun kütleler ve daha kısa bölge uzunluklarıyla artırılabilir. Bölge tekniğindeki donma bölümündeki değişen öz direnç uzunluğunun ilk ve son hali, bölge uzunluğuna bağlıdır. Dikey bölge tekniği; sabit öz direnci uzunluk boyunca oranlı olan külçeler üretir. Geliştirmenin zorluğu yönlendirici deneylerin az olması Te dopantının yüksek buhar basıncı ve termal yayılmadaki farkın katı ve ampülü yok ettiği bir çok örneklerin olduğunu not etmek gerekir.

Bölgesel gelişmiş külçelerin elektriksel özellikleri; Bridgman tekniğinin özelliklerinde farkına varılan bir derecelenme olmadığını gösterir. Bölgesel gelişmiş külçeler gösteriyordu ki ikinci evreye sahip bölgelerdeki Te tabakalarına sahip parçacıklar optik tekniklerle açığa çıkartılır. Bridgman külçeleri; külçelerin uzunluklarının %65’inde yüksek öz direncin başlama noktasını gösteriyordu.



Şekil 4.8. N-tipi materyalin elektriki direnç profili

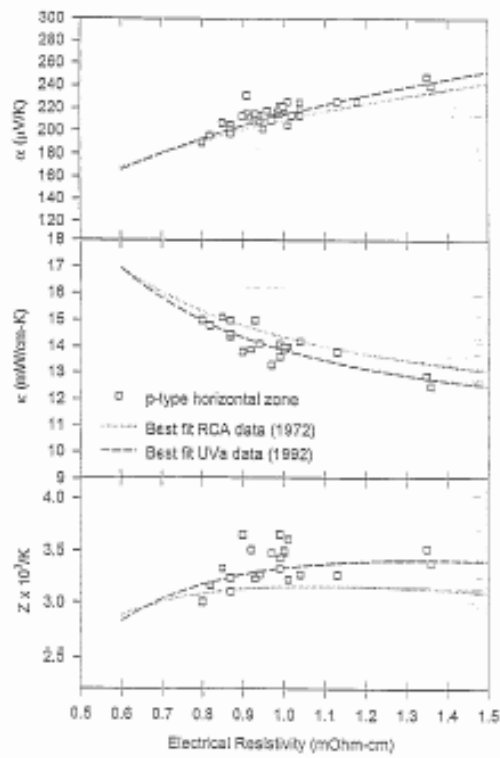


Şekil 4.9. P-tipi materyalde yükseltilmiş kazanç profili

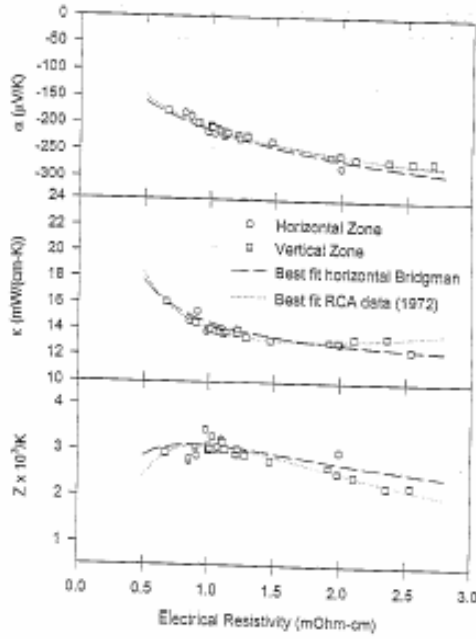
N tipi Alaşımlar

N-tipi materyaller; yatay ve dikey bölge tekniklerinin her ikisiyle de geliştiriliyordu. Dikey Bridgman tekniğiyle geliştirilenlere kıyasla dikey bölge tekniğiyle geliştirilen külçeler daha geniş sabit öz direnç uzunluğuna sahipti. Bölge tekniğiyle geliştirilen p-

tipi materyallerde gözlendiğine göre; sabit öz dirençli n-tipi materyalin oranı örneğin uzunluğuna bağlıdır. Bölge gelişim külçelerinin elektriksel özellikleri; diğer tekniklerle gerçekleştirilenlere eşittir (Şekil 4.11). Yatay bölge külçeleri de aynı zorluklara sahip görünür. Özelliklerin çeşitliliği; yatay Bridgman tekniğinde olduğundan bölgesel gelişmiş materyalde daha düşüktür. Çünkü verilen zamanda sıvı durumda materyal azdır. Dikey bölge tekniğinde dopantın kontrolü diğer tekniklere oranla daha kolaydır. Külçeler içinde optik mikroskoplar kullanarak ikinci evre parçacıkları bulunmamıştır.



Şekil 4.10. Yatay bölge metodu ile Bridgman tekniklerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.11. N-tip materyalin elektriki özellikleri

4.7. Bölgesel Eritme ve Bridgman Yönteminin Karşılaştırılmasının Sonuçları

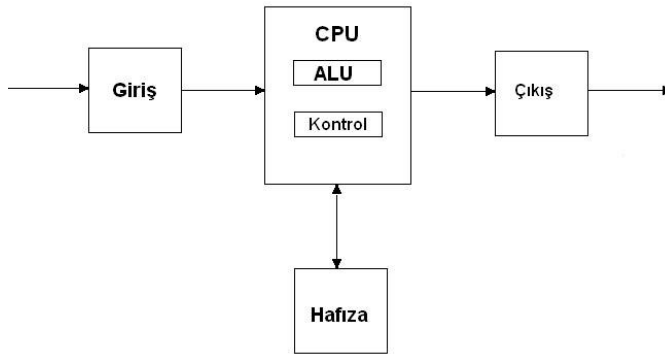
P-tipi materyal geliştirmek için yatay bölge tekniği en iyi yol olarak ortaya çıkar ki külçe boyunca yüksek verim değerlerinin yüksek şekli ile görülür. Nitelikli materyalin yüksek şekli sağlanırken ($3,6 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$) bölge sabit öz direncin yüksek bir oranını da sağlar (%80).

Yatay bölge tekniğinde yüksek verimli materyalin oranı külçenin uzunluğu arttıkça artar. Nitelikli n-tipi materyalin yüksek şekli, hem yatay hem de dikey Bridgman ve bölge teknikleriyle geliştirilebilir. Materyaldeki dopant seviyesini kontrol etmek zordur ve bu nitelikli materyalin verimini etkiler ($3,2 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$). Materyalden en iyi verimi alabilmek için dikey bölge tekniği en iyi ve en kolay uygulanabilir yöntem olarak bulunmuştur[16].

5. MİKROİŞLEMCİLER

Günümüzde mikroişlemci (microprocessor) kelimesi pek çok insan için yabancı olmayıp herkese farklı bir anlam ifade eder. Teknik olmayan pek çok kişi, mikroişlemcinin, bir kişisel bilgisayarda (Personal Computer—PC) kullanılan, bilgisayarın gücünü belirleyen çok önemli bir elektronik tümdevre (chip) olduğunu bilir. PC'lerden başlayıp, diz üstü PC'ler, mini bilgisayarlar, Cray Y-MP gibi süper bilgisayarlara kadar bütün bilgisayarlar, mikroişlemcinin görevini yerine getiren, daha genel ifadeyle, bir işlemciye (processor) sahiptir. Bilgisayarlardaki işlemciler, 1950'lerden günümüze çok değişik şekiller almıştır. Günümüzde tipik bir bilgisayar Şekil 5.1'de görülen üç ana birimden oluşur[17].

1. Merkezi İşlem Birimi (Central Processing Unit-CPU)
2. Hafıza (memory) ve
3. Giriş/Çıkış (I/O) birimleri.



Şekil 5.1. Mikroişlemci basit blok diyagramı

CPU, bilgisayarın değişik birimleri arasındaki veri akışı (data flow) ve veri işleme (data processing) görevlerini yerine getirir. Veri işlemenin çoğu, CPU içindeki aritmetik lojik birimde (ALU) gerçekleştirilir. CPU çeşitli komutları yürüterek, bilgisayar sisteminin çalışmasını yönetir. Bilgisayar hafızasında saklı olan komutlar, bilgisayarın yürüteceği programı oluşturur. Bir CPU'daki kontrol alt birimi, sistemdeki veri akışını yönetir, hafızadan okunan komutu çözer ve

komut tarafından belirlenen işlemi yerine getirir. İşlemler, veri transferi veya ALU'daki işlemlerdir. ALU, toplama, çıkarma, çarpma ve bölme gibi temel aritmetik işlemler ve lojik işlemleri yerine getirir. Lojik işlemler, tersleme, AND, OR ve EX-OR gibi işlemlerdir.

Basit bir teknik tanım ile mikroişlemci, yarıiletken tek bir tümdevre üzerine yerleştirilmiş CPU'ya denir. Mikroişlemciler genel amaçlı cihazlar olup birçok uygulama için uygundur. Bir mikroişlemci, temel olarak CPU'nun fonksiyonlarını yerine getirdiği için, pek çok kere, CPU ile mikroişlemci eş anlamda kullanılmaktadır.

5.1. Mikrodenetleyiciler ve PIC

Bir bilgisayar içerisinde bulunması gereken temel bileşenlerden RAM, I/O ünitesinin tek bir chip içerisinde üretilmiş biçimine mikrodenetleyici (Microcontroller) denir. Bilgisayar teknolojisi gerektiren uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmış olan mikrodenetleyiciler, mikroşlemcilere 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[18].

PIC, adını İngilizce'deki Peripheral Interface Controller cümlesindeki kelimelerin baş harflerinden almış olan bir mikrodenetleyicidir. Eğer bu cümleyi Türkçe'ye çevirirsek, çevresel üniteleri denetleyici arabirim gibi bir anlam çıkacaktır. PIC gerçekten de çevresel üniteler adı verilen lamba, motor, role, ısı ve ışık sensörü gibi I/O elemanların denetimini çok hızlı olarak yapabilecek şekilde dizayn edilmiş bir chip'tir. RISC mimarisi adı verilen bir yöntem kullanılarak üretildiklerinden bir PIC'i programlamak için kullanılacak olan komutlar oldukça basit ve sayı olarak da azdır. 1980'lerin başından itibaren uygulanan bir tasarım yöntemi olan RISC (Reduced Instruction Set Computer) mimarisindeki temel düşünce, daha basit ve daha az komut kullanılmasıdır.

5.1.1. Pic mikrokontrollerinin tercih sebepleri

- a) Lojik uygulamalarının hızlı olması,
- b) Fiyatının oldukça ucuz olması,
- c) Sekiz bitlik mikro kontroller olması ve bellek ve veri için ayrı yerleşik bus' ların kullanılması,
- d) Veri ve belleğe hızlı olarak erişimin sağlanması,
- e) PIC' e göre diğer mikro kontrolörlerde veri ve programı taşıyan bir tek bus bulunması, dolayısıyla PIC' in bu özelliği ile diğer mikro kontrolörlerden iki kat daha hızlı olması,
- f) Herhangi bir ek bellek veya giriş/çıkış elemanı gerektirmeden sadece 2 kondansatör ve bir direnç ile çalışabilmeleri,
- g) Yüksek frekanslarda çalışabilme özelliği,
- h) Standby durumunda çok düşük akım çekmesi,
- i) Interrupt kapasitesi ve 14 bit komut işleme hafızası,
- j) Kod sıkıştırma özelliği ile aynı anda birçok işlem gerçekleştirebilmesi PIC mikrokontrolörleri çeşitli özelliklerine göre PIC16C6X, 16C7X, 16C5X ,16F8X, 16F87X gibi gruplara ayrılırlar[19].

5.1.2. Pic mikrokontrolörlerin kullanımı için gerekli aşamalar

I/O (Giriş / Çıkış): Mikrokontrolcünün dış dünya ile ilişkisini sağlayan, girdi ve çıktı şeklinde ayarlanabilen bir bağlantı pinidir. I/O çoğunlukla mikrokontrolcünün iletişim kurmasına, kontrol etmesine veya bilgi okumasına izin verir[20].

Yazılım: Mikrokontrolcünün çalışmasını ve işletilmesini sağlayan bilgidir. Başarılı bir uygulama için yazılım hatasız (bug) olmalıdır. Yazılım C, Pascal veya Assembler gibi çeşitli dillerde veya ikilik(binary) olarak yazılabilir.

Donanım: Mikro kontrolcü, bellek, arabirim bileşenleri, güç kaynakları, sinyal düzenleyici devreler ve bunları çalıştırmak ve arabirim görevini üstlenmek için bu cihazlara bağlanan tüm bileşenlerdir.

Simulator: PC üzerinde çalışan ve mikro kontrolcünün içindeki işlemleri simüle eden MPSIM gibi bir yazılım paketidir. Hangi olayların ne zaman meydana geldiği biliniyorsa bir Simulator kullanmak tasarımları test etmek için kolay bir yol olacaktır. Öte yandan Simulator, programları tümüyle veya adım adım izleyerek bug'lardan arındırma fırsatı sunar. Şu anda en gelişmiş Simulator programı Microchip firmasının geliştirdiği MPLAB programıdır.

ICE: Proteus olarak da adlandırılır. PC ve Mikro kontrolcünün yer alacağı soket arasına bağlanmış yararlı bir gereçtir. Bu gereç yazılım, PC de çalışırken devre kartı üzerinde bir mikro kontrolcü gibi davranır. ICE, bir programa girilmesini, mikro içinde neler olduğunu ve dış dünyayla nasıl iletişim kurulduğunun izlenilmesini mümkün kılar.

Programcı: Yazılımın mikro kontrolcü belleğinde programlamasını ve böylece ICE' nin yardımı olmadan çalışmasını sağlayan bir birimdir. Çoğunlukla seri port 'a (örneğin PICSTART, PROMASTER) bağlanan bu birimler çok çeşitli biçim, ebat ve fiyatlara sahiptir.

Kaynak Dosyası: Hem assembler' ın hem de tasarımcının anlayabileceği dilde yazılmış bir programdır. Kaynak dosya mikro kontrolör' ün anlayabilmesi için önceden assemble edilmiş olmalıdır.

Assembler: Kaynak dosyayı bir nesne dosyaya dönüştüren yazılım paketidir. Hata araştırma bu paketin yerleşik bir özelliğidir. Bu özellik assemble edilme sürecinde hatalar çıktıkça programı bug'lardan arındırırken kullanılır. MPASM, tüm PIC ailesini elinde tutan Microchip' in son assemble edicisidir.

Nesne dosyası (object file): Assembler tarafından üretilen bu dosya; programcı, Simulator veya ICE' nin anlayabilecekleri ve böylelikle dosyanın işlevlerinin çalışmasını sağlayabilecekleri bir dosyadır. Dosya uzantısı assemble edicinin emirlerine bağlı olarak, OBJ veya HEX olur.

5.1.3. Pic mikro kontrolörlerinin özellikleri

Güvenirlik: PIC komutları bellekte çok az yer kaplarlar. Dolayısıyla bu komutlar 12 veya 14 bitlik bir program bellek sözcüğüne sığarlar. Hardware mimarisi teknolojisi kullanılmayan mikro kontrolörler de yazılım programının veri kısmına atlama yaparak bu verilerin komut gibi çalıştırılmasını sağlamaktadır. Bu da büyük hatalara yol açmaktadır. PIC' ler de bu durum engellenmiştir.

Hız: PIC oldukça hızlı bir mikrokontrolör'dür. Her bir komut döngüsü 1µsn' dir. Örneğin 5 milyon komutluk bir programın 20Mhz' lik bir kristalle işletilmesi yalnız 1sn sürer. Bu süre 386SX33 hızının yaklaşık 2 katıdır. Ayrıca RISC mimarisi işlemcisi olmasının hıza etkisi oldukça büyüktür.

Komut seti: PIC' in 16C5X ailesinde bir yazılım yapmak için 33 komuta ihtiyaç duyarken 16CXX araçları için bu sayı 35' tir. PIC tarafından kullanılan komutların hepsi yazmaç (register) temellidir. Komutlar 16C5X ailesinde 12 bit, 16CXX ailesindeyse 14 bit uzunluğundadır.

Statik İşlem: PIC tamamıyla statik bir işlemcidir. Yani saat durdurulduğunda da tüm yazmaç içeriği korunur. Pratikte bunu tam olarak gerçekleştirebilmek mümkün değildir. PIC mikroişlemcisi program işletilmediği zaman uyuma (sleep) moduna geçerek çok düşük akım çekmektedir. PIC uyuma moduna geçirildiğinde, saat durur ve PIC uyuma işleminden önce hangi durumda olduğunu çeşitli bayraklarla ifade eder. (elde bayrağı, 0 (zero) bayrağı... vb.) PIC uyuma modunda 1µA'den küçük değerlerde akım çeker.

Sürme özelliği (Sürücü kapasitesi): PIC yüksek bir çıktı kapasitesine sahiptir. Tek bacadan 40mA akım çekebilmekte ve entegre toplamı olarak 150mA akım akıtma kapasitesine sahiptir. Entegrenin 4mHz osilatör frekansında çektiği akım çalışırken 2mA, stand-by durumunda ise 2µA kadardır.

Seçenekler: PIC ailesinde her türlü ihtiyaçların karşılanacağı 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 mikroşlemcidir ve ürünün içinde, yer darlığı durumunda birkaç mantık kapısının yerini değiştirmek için düşük maliyetli bir çözüm bulunur.

Güvenlik: PIC endüstride en stnler arasında yer alan bir kod koruma özelliğine sahiptir. Koruma bitinin programlanmasından itibaren, program belleğinin içeriği, program kodunun yeniden yapılandırılmasına olanak verecek şekilde okunmaz.

Geliştirme: PIC program geliştirme amacıyla programlanabilip tekrar silinebilme özelliğine sahiptir. (EPROM, EEPROM) Aynı zamanda seri üretim amacıyla bir kere programlanabilir (OTP) zelliğine sahiptir.

Liste dosyası: Assembler tarafından yaratılan ve kaynak dosyadaki tüm komutları hexadecimal sistemdeki değerleri ve tasarımcının yazmış olduğu yorumlarıyla birlikte içeren bir dosyadır. Bir programı bug'lardan arındırırken araştırılacak en yararlı dosya budur. Çünkü bu dosyayı izleyerek yazılımlarda neler olup bittiğini anlama şansı kaynak dosyasından daha fazladır. Dosya uzantısı LST dir.

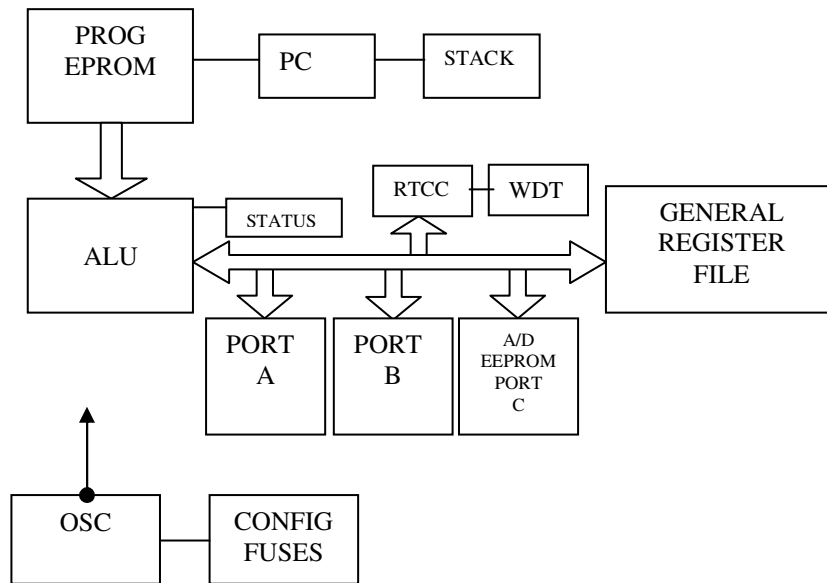
Diğer dosyalar: Hata dosyası (Error file: uzantısı ERR) hataların bir listesini içerir ancak bunların kaynağı hakkında hiç bir bilgi vermez. Uzantısı COD olan dosyalar Simulator tarafından kullanılırlar.

Bug 'lar: Tasarımcının farkında olmadan yaptığı hatalardır. Bu hatalar, basit yazılım hatalarından, yazılım dilinin yanlış kullanımına kadar uzanır. Hataların çoğu derleyici tarafından bulunur ve bir LST dosyasında görüntülenir. Kalan hataları bulmak ve düzeltmekte geliştiriciye düşer.

5.2. Pic Mikrokontrolörlerinin Donanımsal İncelenmesi

5.2.1. Pic mikro kontrolörlerinin iç yapısı

CPU bölgesinin kalbi ALU'dur. (Aritmetic Logic Unit-Aritmetik mantık birimi) ALU, W (Working-Çalışan) adında bir yazmaç içerir. PIC, diğer mikroişlemcilerden, aritmetik ve mantık işlemleri için bir tek ana yazmaca sahip oluşuyla farklılaşır. W yazmacı 8 bit genişliğindedir ve CPU'da ki herhangi bir veriyi transfer etmek üzere kullanılır. CPU alanında ayrıca iki kategoriye ayırabileceğimiz Veri Yazmaç dosyaları (Data Register Files) bulunur. Bu veri yazmaç dosyalarından biri, I/O ve kontrol işlemlerinde kullanılırken, diğeri RAM olarak kullanılır. PIC' ler de Harward Mimarisi kullanılır. Harward mimarisi mikro kontrolcülerde veri akış miktarını hızlandırmak ve yazılım güvenliğini arttırmak amacıyla kullanılır. Ayrı bus'ların kullanımıyla veri ve program belleğinde hızlı bir şekilde erişim sağlanır.



Şekil 5.2. Temel PIC blok diyagramı

PIC mikro kontrolör'lerini donanımsal olarak incelerken PIC 16F87X üzerinde durarak bu PIC' i temel alıp donanım incelenecektir. Bellek ve bazı küçük farklılıklar dışında burada anlatılanlar bütün PIC' ler için geçerlidir.

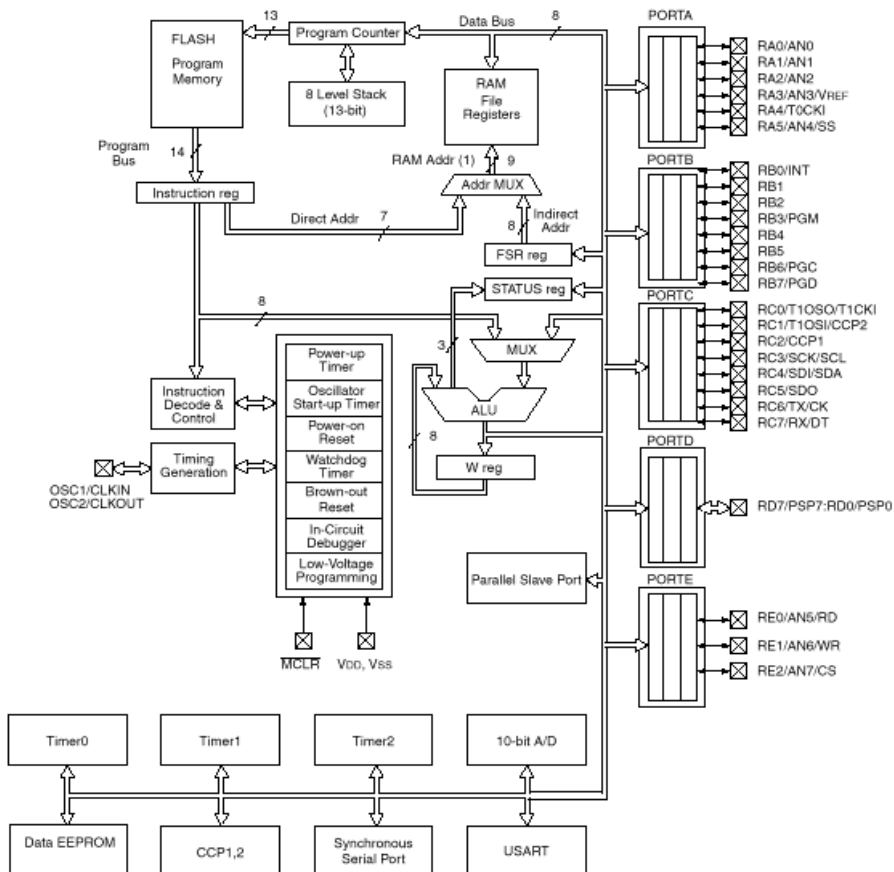
5.2.2. Genel tanımlama

PIC 16F87X Serisi yüksek performanslı, CMOS, full-statik, 8 bit mikro denetleyicidir. Tüm PIC 16/17 mikro denetleyiciler RISC mimarisini kullanmaktadır. PIC16F87X mikroları birçok esas özelliklere sahiptir. 14 seviyeli, derin küme ve çoklu iç ve dış kesme kaynaklarına sahiptir. 2 aşamalı komut hattı tüm komutların tek bir saykıl'la (çevrimle) işlenmesini sağlamaktadır. Yalnızca bazı özel komutlar 2 saykıl çekerler. Bu komutlar dallanma komutlarıdır. PIC16F873/874 microchip'i 192 bayt'lık RAM belleğine, 128 bayt EEPROM belleğine ve 22/33 (PIC 16F873-22/ PIC 16F874-33) I/O pin'ine sahiptir. Bunun yanı sıra, timer ve sayaç ta mevcuttur. PIC16F87X ailesi dış elemanları azaltacak spesifik özelliklere sahiptir ve böylece maliyet minimuma inmekte, sistemin güvenilirliği artmakta, enerji sarfiyatı azalmaktadır. Bunun yanı sıra tüm PIC ler de 4 adet osilatör seçeneği mevcuttur. Bunlarda tek pinli RC osilatör, düşük maliyet çözümünü sağlamakta (4 MHZ), LP osilatör (Kristal veya seramik rezonatör), enerji sarfiyatını minimize etmekte (asgari akım) (40 KHZ), XT kristal veya seramik rezonatör osilatörü standart hızlı ve HS kristal veya seramik rezonatörlü osilatör çok yüksek hıza sahiptir(20 MHZ). PIC mikro kontrolörlerinin en büyük özelliği sleep modu özelliğidir. Bu mod ile PIC işlem yapılmadığı durumlarda uyuma moduna geçerek çok düşük akım çeker. Kullanıcı bir kaç iç ve dış kesmelerle PIC'i uyuma modundan çıkarabilmektedir. Yüksek güvenilirlikli Watchdog Timer kendi bünyesindeki chip üstü RC osilatörü ile yazılımı kilitlemeye karşı korumaktadır. PIC16F87X EEPROM program belleği, aynı aygıt paketinin orijinali ve üretimi için kullanılmasına olanak vermektedir. Yeniden programlanabilirliği mikroişlemciyi uygulamanın sonundan kaldırmadan kodu güncelleştirmeye izin vermektedir. Bu aygıtın kolayca erişilemediği, fakat prototipinin kod güncelleştirmesi gerekli olduğu durumlarda, bir çok uygulamanın geliştirilmesinde yararlıdır. Bunun yanı sıra bu kodun güncelleştirilmesi diğer ayrı uygulamalarda da yararlıdır.

Aşağıda çizelge 5.1'de PIC16F87X' ailesinin özellikleri ve Çizelge 5.1 ile şekil 5.2' de basitleştirilmiş iç yapısı gösterilmektedir[21].

Çizelge 5.1. PIC16F87X ailesi özellikleri

	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Çalışma Frekansı(MHZ)	20	20	20	20
FLASH Program Belleği(14-Bit word)	4K	4K	8K	8K
Veri Hafızası (Byte)	192	192	368	368
EEPROM Veri Belleği (Byte)	128	128	256	256
Kesmeler	13	14	13	14
I/O Portları Sayısı	Port A,B,C	Port A,B,C,D,E	Port A,B,C	Port A,B,C,D,E
10-Bit ADC Modülü	5 Kanal	8Kanal	5Kanal	8 Kanal
Komut Seti	35 Komut	35 Komut	35 Komut	35 Komut



Şekil 5.3. PIC 16F874/877 basitleştirilmiş iç yapısı[22]

PIC'ler yüksek hızlı otomobillerden, motor kontrolü uygulamaları, düşük enerji sarfiyatlı uzaktan çalışan sensörler, elektronik kilitler, güvenlik aygıtları ve akıllı kartlara kadar bir çok uygulamalarda kullanılırlar. EEPROM teknolojisi uygulama programların (Transmitter kodları, motor hızları, alıcı frekansları, güvenlik kodları vb.) uygulamasını son derece hızlı ve uygun hale getirmektedir. Küçük boyutlarıyla bu mikro denetleyiciler alan sınırlaması bulunan uygulamalarda kusursuzdur. Düşük maliyet, düşük enerji sarfiyatı, yüksek performans, kullanım kolaylığı ve I/O esnekliği daha önce kullanılması hiç düşünülmemeyen alanlarda kullanılmasını sağlamaktadır. Seri sistem içi programlama özelliği(iki pinin üzerinden) ürünün tamamen toplanması ve test edilmesinden sonra ürünün alıştırılmasının esnekliğine olanak vermektedir. Bu özellik sayesinde ürün serileştirilebilmekte ve veriler saklanabilmektedir[23].

5.2.3. Elektrikle silinebilen mikro kontrolörler

Bu mikrolar, programının silinip yeniden yazılabilme özelliğine sahiptir ve oldukça düşük maliyetli plastik ambalajlar halinde bulunmaktadır. Aynı zamanda bu tip mikroların üretimi kadar prototipinin geliştirilmesi ve pilot programlar için kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bunun daha ötesindeki avantajlarından biri, bunların devre içi veya Microchip's PICSTARTplus veya PROMATE II programlayıcıları tarafından silinebilmesi ve yeniden programlanabilmesidir.

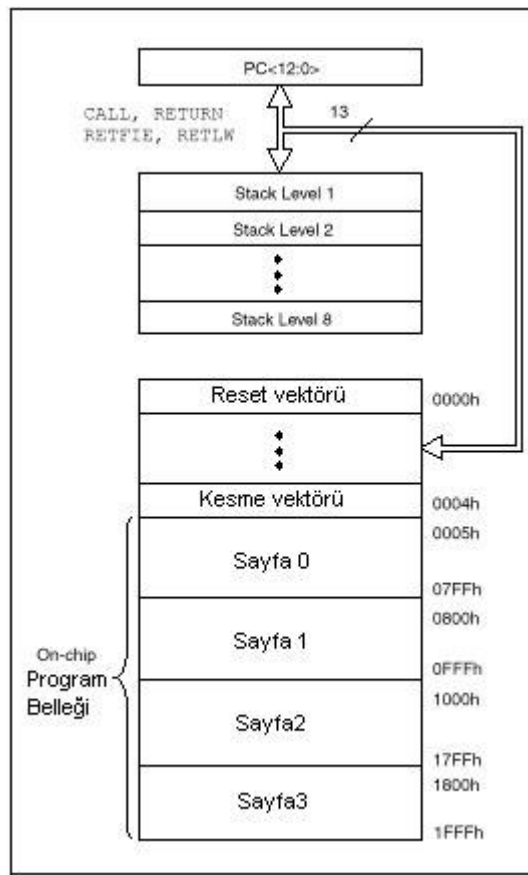
5.2.4. Bellek organizasyonu

PIC16F87X`de bellek bloğu mevcuttur. Bunlar program belleği, veri belleği ve bunları ayıran veri hattıdır. Her bir bellek kendi taşıyıcısına sahiptir; böylece her bir bloğa erişim aynı osilatör süreci boyunca meydana gelebilmektedir. Bunun ötesinde, veri belleği genel amaçlı RAM ve özel fonksiyon kayıtları (SFR) olmak üzere ikiye bölünür. SFR`ler her bir bireysel özelleşmiş modülü ele alan bölümde açıklanan özel modülleri kontrol etmek için kullanılmaktadır. Veri belleği EEPROM veri belleğini de içermektedir. Bu bellek, direkt veri belleğine planlanmamış, fakat indirekt olarak

planlanmıştır ve indirekt adres göstergeleri okumak/yazmak için EEPROM belleğinin adresini belirlemektedir.

5.2.5. Program bellek organizasyonu

PIC 16F87X 13 Bit program sayacına ve 8Kx14 adresleme kapasitesine sahiptir. PIC16F876/877 aygıtları 8Kx14 program belleğine sahiptir. Reset vektörü 0000h ve kesme vektörü 0004h adresindedir. Şekil 5.4'te PIC16F876/877 'nin program bellek haritaları görülmektedir.



Şekil 5.4. PIC16F876/877 program bellek haritası

5.2.6. Veri bellek organizasyonu

Veri belleği genel amaçlı yazmaçlar ve özel işlev yazmaçları (SFR) olmak üzere ikiye ayrılır. RP0 ve RP1 bitleri sıra seçim bitleridir.

RP1	RP0
-----	-----

= 00 Bank0

= 01 Bank1

= 10 Bank2

= 11 Bank3

Her bir banka 7Fh' ye kadar (128 bayt) uzanır. Her bankanın alt kısımları özel işlem yazmaçları için ayrılır. Üstteki özel işlem yazmaçları ise statik RAM olarak uygulanan yazmaçlardır. Bütün bankalarda özel işlem yazmaçları vardır. Özel işlem yazmaçlarındaki yüksek kullanım bir bankadan kod indirilmesi ve hızlı erişim için başka bankada gösterilebilir.

5.2.7. Özel işlem yazmaçları

Özel işlem yazmaçları, aygıtın istenen işlemi kontrol etmesi için CPU ve çevresel modüller tarafından kullanılan yazmaçlardır. Bu yazmaçlar statik yazmaç olarak kullanılırlar[23].

5.2.8. Giriş/Çıkış portları (I/O portları)

I/O Portları için bazı pinler aygıtta çevresel işlemlerde kullanılmak üzere yardımcı işlevlerle arttırılırlar. Genelde çevre birimleri etkinleştirildiğinde genel amaçlı giriş/çıkış pini kullanılmaz[24].

Porta ve Trisa yazmacı

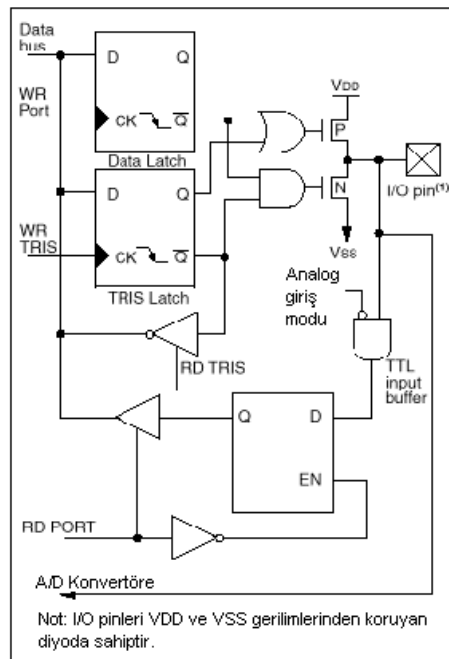
PORTA 6 bit yönlendirilebilir porttur. Bu portu yönlendiren yazmaç ise TRISA yazmacıdır. 8 Bitlik bu yazmacın hangi biti b'1' yapılmışsa aynı numaralı PORTA pininden girdi alınabilir. Girdi sinyali buton potansiyometre sensör... gibi araçlardan gelebilir. TRISA' nın hangi bitine b'0' yazılmışsa, aynı numaralı PORTA pini çıkış

olarak seçilmiştir. Çıkış olarak seçilmiş bir pine; led, buzzer, LCD birimleri, gibi çevre birimleri bağlanabilir ve PIC in çıktığı sinyali bu üniteler yoluyla izlenebilir. Giriş olarak seçilen pin, çıkış durumunda mikrodenetleyici içinde, yüksek empedans modunda çalışır.

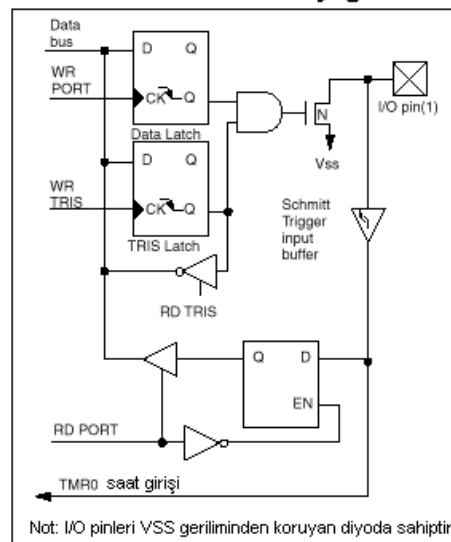
RA4 pininin ikinci bir işlevi de bu pinin istendiğinde TMR0 biriminin dış saat girişi olabilmesidir (RA4/T0CK). Giriş olarak seçilirse hem Schmitt Trigger, hem de TMR0 clock girişi özelliğiyle RA4 diğer PORTA pinlerinden ayrılır.

PORTA'daki diğer pinler, analog girdiler ve analog V_{REF} girdisiyle çoklanmıştır. ADCON1 yazmacının temizlenip, set edilmesiyle kontrol edilirler. Güç kesiminde, analog girdi olarak düzenlenmiştir ve '0' okunur. Şekil 5.5 A portunun iç yapısını göstermektedir.

RA0,RA3,RA5 Pinleri Blok Diyagramı



RA4/T0CKI Pini Blok Diyagramı



Şekil 5.5. PORT A blok diyagramı

Portb ve Trisb yazmacı

PORTB, 8 bit genişliğinde ve pinleri giriş/çıkış yönlendirilebilir bir porttur. 8-Bitiik PORTB pinleri sırasıyla; RB0, RB1, RB2, RB3, RB4, RB5, RB6, RB7 olarak adlandırılır. Sekiz pinin de TTL özelliği vardır. RB0 pini kesme girişi olarak seçilirse, Schmitt Trigger giriş özelliği gösterir. RB6 ve RB7 pinleri de seri programlama modunda kullanıldığında Schmitt-Trigger özelliği gösterir[24].

PORTB pinleri, TRISB yazmacıyla yönlendirilir. TRISB' nin herhangi bir bitine yazılacak b'l', PORTB de buna karşılık gelen biti giriş tanımlar. Aksi durumda ise aynı bit çıkış olarak tanımlanır. Giriş olarak seçilmiş bir pin, çıkış durumunda yüksek empedans modunda çalışır.

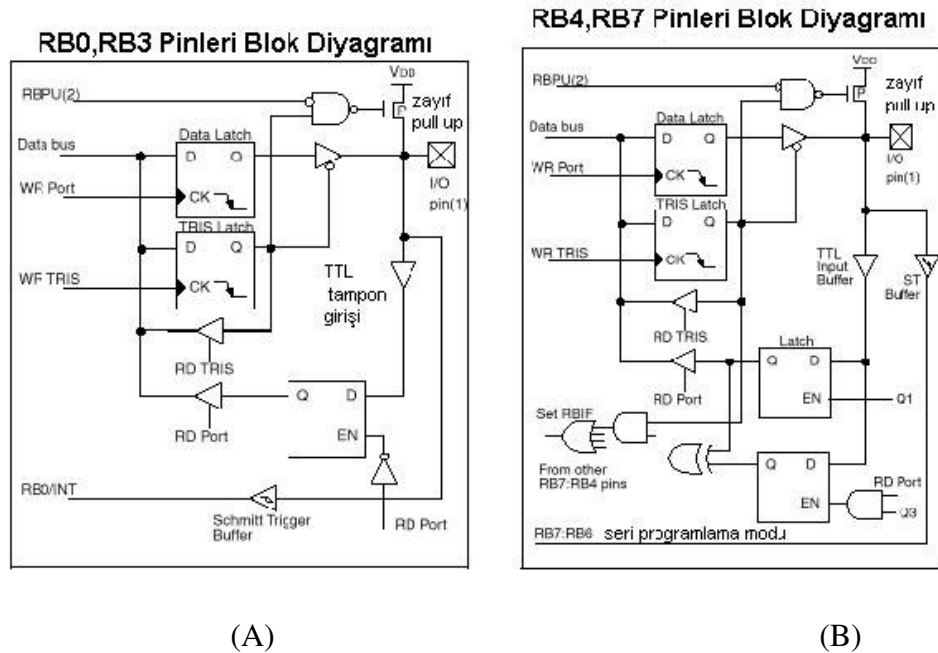
Mikroişlemciye girdi en sağlıklı elde edileceği şekle getirilmelidir. Girdi iki yolla alınabilir.

İlk yöntemde; girişlerde b'l' verilmesidir. İkinci yöntemde ise girişlerde b'0' uygulanır. Genellikle ilk yol tercih edilir. Yani işlemcinin girişinde b'l' hazır tutulur. Dolayısıyla dışardan gelen b'0' 'lar değerlendirilir. Özellikle buton, tuş benzeri giriş devrelerinde, 1.yol büyük kolaylık sağlamaktadır. Çünkü yüksek hızlı sistemlerde şebeke vb. kaynaklanan gürültüler, birer veri gibi sayılır. Bu gürültüler de girişe b'l' olarak gelir, b'l' girişe uygulanan 5V demektir. b'0' ise, girişte gerilim olmamasıdır. Bu durum giriş olarak işlem görürse, gürültü gelemes. Gürültülerin veri gibi algılanmaması için, sistem programlayıcısına fazladan çaba gösterir. Kart, gürültü girişini azaltacak şekilde tasarlanırsa, sistem programlayıcısının işi kolaylaşır.

RB0:RB3 pinlerine bağlanan bir tuşa basıldığında, her girişte b'0' uygulanmış olur. R_p direnci ise çekme direnci (pull-up) olarak adlandırılır. 16F87X ve 16F84 içinde PORTB devresinde çekme dirençleri hazır olarak bulunur. Programda çekme dirençleri OPTION_REG yazmacının 7.biti olan RBPU adlı bitine,

b'0' yüklenmesiyle devreye girer. RBPU bitine b'l' yüklendiğinde devreden çıkar.

PORTB'nin son 4 pini (RB7, RB6, RB5, RB4), kesme girişi olarak kullanılabilir. Bu kullanım, INTCON yazmacı ile birlikte anlatılmıştır. Bu kesme PIC'i uyku modundan çıkarır. RB0/INT pini, INTEDG biti ile (OPTION_REG<6>)aktifleştirilen bir dış kesme oluşturabilir. Şekil5.6-A ve Şekil 5.6-B'de , 16F87X ailesi için, RB7:RB4 ve RB3:RB0 pinlerinin blok şemaları gösterilmiştir.



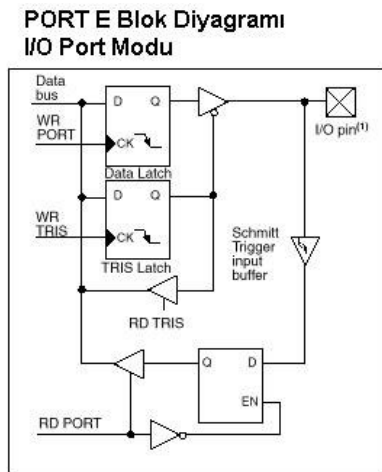
Şekil 5.6. B portunun iç yapısı A-) B Portunun 0-3 nolu pinleri B-) B portunun 4-7 nolu pinleri

Portc ve Trisc yazmacı

PORTC, 8 bitlik ve yönlendirilmemiş bir yazmaçtır. TRISC yazmacı ile yönlendirilir. TRISC de PORTC ye karşılık gelen bit b'l' yapıldığında, PORTC nin aynı biti de giriş olarak yönlenecektir. Eğer aynı bit b'0' yapılırsa, PORTC nin o biti çıkış olarak yönlenecektir. Başlangıçta TRISC yi tümüyle temizlenip, daha sonra yönlendirmelidir.

Bu bölüm 28 pinli aygıtlarda yoktur. PORTD 8 bit Schmitt trigger tampon girişli porttur. Bu port PSPMODE (TRISD) denetim biti tarafından kurulur. Giriş tamponu TTL tampondur. Şekil 5.8 de D portunun blok diyagramı görülmektedir.

Porte ve Trise Yazmacı



Şekil 5.9. E Portu blok diyagramı

Bu bölüm 28 pinli aygıtlarda yoktur Bu port RE0/RD/AN5, RE1/WR/AN6 ve RE2/CS/AN7 olmak üzere 3 adet pine sahiptir. Giriş veya çıkış portu olarak ayarlanabilir. PORTE kontrolü TRISE tarafından yapılır. PSPMODE(TRISE<4>) denetim biti tarafından ayarlanır. Şekil 5.9 da E portu blok diyagramı görülmektedir.

5.2.9. Veri Eeprom ve flash program hafızası

Veri EEPROM ve FLASH program hafızası normal işlem süresinde okunabilme ve yazılabilme özelliğine sahiptir. Veri belleği, kaydedici dosyaya doğrudan planlanmamıştır. Bunun yerine bu bellek, özel fonksiyon kaydı üzerinden dolaylı olarak adreslenmiştir. Burada bu belleği okuyan ve yazan 6 özel kaydedici mevcuttur.

- EECON1
- EECON2

- EEDATA
- EEDATH
- EEADR
- EEADRH

EEPROM veri belleği okuma ve yazmaya izin verir. EEDATA yazma/okuma için 8 bitlik veri tutar ve EEADR erişilen EEPROM adreslerini saklar. EEDATH ve EEADRH kaydedicileri veri EEPROM' u kullanmak için erişemezler. Bu aygıtlar 0H ile FFH genişliğindeki adresli EEPROM belleğinin 256 byte'ına sahiptir. EEPROM veri belleği yüksek silme/yazma süreçlerine oranlanmıştır. Yazma süresi yonga (chip) zamanlayıcısı tarafından denetlenmektedir. Yazma süresi chipten chipe olduğu gibi sıcaklık ve gerilimle değişmektedir. Program hafızası kelime okuma ve yazmasına izin verir. Byte veya word verisi otomatik olarak silinir ve yeni veri yazılır. Program hafızası arabirimi bloklandığı zaman, EEDATH EEDATA kaydedicileri oku/yaz için 14 bit veriyi 2 byte word halinde tutar. EEADRH ve EEADR kaydedicileri EEPROM'da 13 bitlik 2 byte word adresini tutar. Bu aygıtlar 0h ile 3FFFh arasındaki adreste 8K word program EEPROM'una sahiptir. Program hafızasına yazılan değer bir talimat olmayı gerektirmez. Bu yüzden kalibrasyon parametreleri, seri numaraları ASCII kodunda depolanabilir.

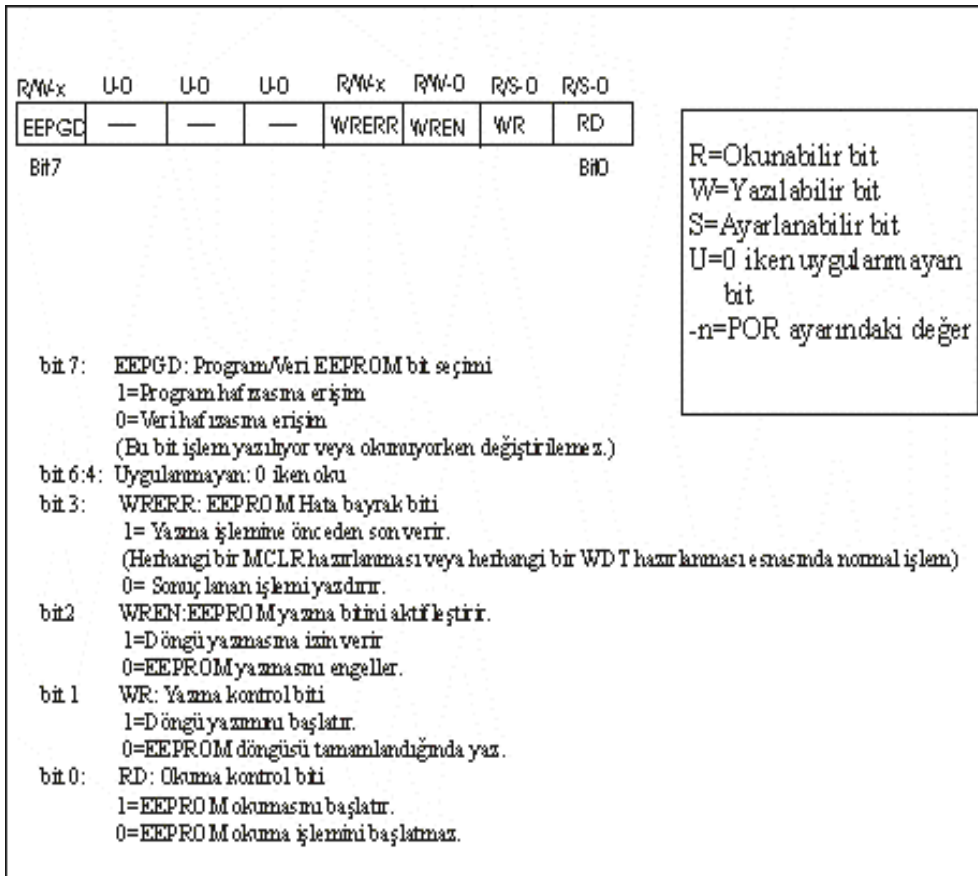
Eeadr

EEADR kaydı EEPROM verisinin maksimum 256 byte'ını veya FLASH'ın maksimum 8K Word'ünü adresleyebilir. Program adres değeri seçilirken EEADRH kaydedicisi adresin MSByte'ını yazar, EEADR kaydedicisi ise LSByte'ını yazar[18].

Eecon1 ve Econ2 yazmaçları

EECON1 belleğe ulaşmak için kontrol kaydedicisidir. EECON2 fiziksel kaydedici değildir. EECON2 yalnızca bellekteki yazı dizisini okumak için kullanılır. Eğer erişim, program veya veri belleğine ulaşma olacaksa buna EEPGD denetim biti karar verir. Veri belleği temizlendiğinde, sonradan yapılan işlemler veri belleğine

işlenirler. Bellek ayarlandığında ise yine sonradan yapılan işlemler belleğe işlenirler. RD ve WR kontrol bitleri sırasıyla oku-yaz işlemlerini başlatır.



Şekil 5.10. EECON1 yamacı (Adres 18Ch)

Flash program belleğinin okunması

Program belleğinin yeri EEADR ve EEADRH kaydedicilere adresin 2 byte'ı yazılarak okunabilir. [EEGD (EECON1<7>) ve RD (EECON1<0>) kontrol bitleri ayarlandığında] Okuma kontrol biti bir kez ayarlanıp mikrodenetleyici veriyi okumak için komut çevrimini kullanacaktır.

Flash program belleğinin yazılması

WRT Kurulum biti ayarlanır ise FLASH program belleği sadece yazılabilir duruma getirilir. FLASH Belleğe yazma yeri, adresin ilk iki byte'ı EEADR ve EEADRH

kaydedicilerine yazılarak ve EEPGD/RD kontrol bitleri 1 yapılarak ilk iki byte EEDATA ve EEDATH kaydedicilerine yazılarak tespit edilir.

Yazım doğrulanması

EEPROM verisine yazılan değerlerin yazılması istenen değerlerle doğrulanması gerekmektedir. Bu EEPROM biriminin spesifikasyon limitine yakın uygulamalarda kullanılmalıdır. Toplam kaldırma diski, uygunluk (rahatlık) derecesini belirlemeye yardımcı olacaktır. Genel olarak EEPROM yazım başarısızlığı "1" olarak yazılan, fakat geriye "0" olarak okunan bittten kaynaklanmaktadır[18].

Taklit yazılımlara karşı koruma

Şöyle durumlar olabilir ki, aygıt EEPROM veri belleğine yazmak istemeyebilir. Taklit yazılımlara karşı korunmak için, değişik mekanizmalar monte edilmiş, kurulmuştur. Yüksek güçte WREN temizlenir. Bunun yanı sıra, yüksek güç timer'i (72 msn süreli) EEPROM yazımını önler. Yazılımı başlatan ardışık ve WREN biti ikisi birlikte 'Brown-Out, güç arızası veya yazılım aksamasında tesadüfi yazılımları önlemeye devam eder.

Kod koruma süresince eeprom veri işlemi

Microişlemci, kod korumalı durumdayken düzene sokulan verileri okuyabilir ve EEPROM verisine yazabilir. ROM aygıtlarında iki koruma biti mevcuttur. Birisi ROM program belleği diğeri ise EEPROM veri belleği içindir.

Analog dijital konvertör modülü

Analog digital konvertör modülü 5 girişli 28 pinli elemandır. Analog giriş örnekle ve tut kondansatörünü şarj eder. Örnekle ve tut kondansatörünün çıkışı dönüştürücünün girişine uygulanır. Dönüştürücü, ardışık yaklaştırma yoluyla bu analog düzeyin sayısal sonucunu üretir. Bu A/D dönüşümde, analog giriş sinyali 10 bitlik sayı

karşılaştırma ile sonuçlanır. A/D çevirici eşsiz bir özelliğe sahiptir. İşlem yapmazken uyuma moduna geçer. Uyuma modunda A/D konvertörün saatinde bir iç RC osilatörü üretilmelidir. A/D Modül dört (4) kaydediciye sahiptir[24].

Bunlar;

- 1- A/D Yüksek sonuç kaydedicisi (ADRESH)
- 2- A/D Düşük sonuç kaydedicisi (ADRESL)
- 3- A/D Kontrol kaydedici 0 (ADCON0)
- 4- A/D Kontrol kaydedici 1 (ADCON1)

Şekilde bu kaydedicilerin kontrolü ile ilgili bitlerin kullanımı gösterilmektedir.

ADCON0 Yazmacı (Adres 1Fh)

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
bit7							bit0

R=Okunabilir bit
W=Yazılabilir bit
U=Kullanılmayan bit
0 olarak okunur
n=POR resetindeki değer

bit 7-6: **ADCS1:ADCS0**: A/D Dönüşüm saat bitleri seçimi

00 = Fosc/2
01 = Fosc/8
10 = Fosc/32
11 = FRC RC salınımı kadar saat türetir

bit 5-3: **CHS2:CHS0**: Analog kanal seçim bitleri

000 = channel 0, (RA0/AN0)
001 = channel 1, (RA1/AN1)
010 = channel 2, (RA2/AN2)
011 = channel 3, (RA3/AN3)
100 = channel 4, (RA5/AN4)
101 = channel 5, (RE0/AN5)⁽¹⁾
110 = channel 6, (RE1/AN6)⁽¹⁾
111 = channel 7, (RE2/AN7)⁽¹⁾

bit 2: **GO/DONE**: A/D Dönüşümü konum biti

If ADON = 1
1 = A/D Dönüşümü yapılıyor
0 = A/D Dönüşümü yapılmıyor

bit 1: **Unimplemented**: 0 lken oku

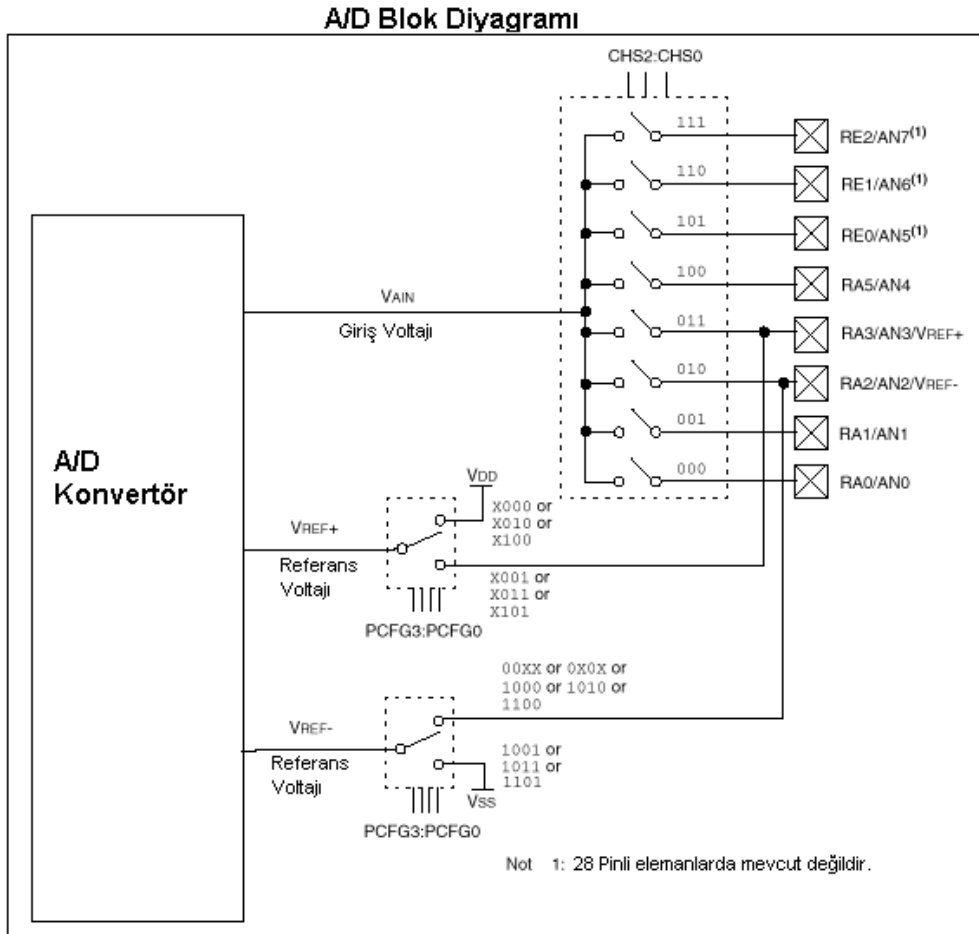
bit 0: **ADON**: A/D Açma biti

1 = A/D Dönüşüm biti işletiliyor
0 = A/D Dönüşüm biti işletilmiyor

Note 1: Bu kanallar 28 pinli elemanlarda mevcut değildir.

Şekil 5.11. ADCON0 yazmacı

ADRESH ADRES2L kaydedicileri A/D dönüşümün 10 bit sonucunu kapsar. A/D dönüşümü bittiği zaman, sonuç A/D sonuç kaydedicisinin içine yüklenir. A/D modülü şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12. A/D blok diyagramı

A/D Modülü konfigüre edildikten sonra, dönüştürme işlemi başlamadan önce kanal seçilmiş olmalıdır. Analog giriş kanallarında ilgili TRIS bitleri giriş için seçilmiş olmalıdır[25].

Aşağıdaki adımlar, A/D dönüşüm yapmak için takip edilmelidir.

1- A/D Modülü Konfigürasyonu

- Analog pinler, referans voltajları ve digital I/O konfigürasyonu (ADCON1)

- A/D giriş kanalı seçimi (ADCON0)
- A/D dönüşüm saat çekimi (ADCON0)
- A/D Modülünü açma

2- A/D Kesme Konfigürasyonu

- ADIF bitinin temizlenmesi
- ADIE bitinin ayarlanması
- GIE bitinin ayarlanması

3- Gerekli zamanı bekleme işlemi

4- Dönüşürken başlaması

- GO/DONE bitinin ayarlanması (ADCON0)

5- A/D dönüşümünün beklenmesi

6- A/D dönüşüm sonucunu okuma ve kaydetme

7- Diğer dönüşüm için 1. ve 2. kez adımları tekrarlama

A/D girdileri için gereksinimler

Belirlenmiş doğruluğu karşılaştırmak için A/D çeviricinin CHOLD kondansatörü giriş gerilimine şarj edilmelidir. CHOLD kondansatörü kaynak empedansı (RS) ve anahtar iç direnci (RSS) üzerinden şarj olur. Anahtar iç direnci, kaynak voltajının değerine göre değişir. Analog kaynaklar için tavsiye edilen maksimum empedans 10 KΩ dur. Dönüşüm yapılmaya başlamadan önce analog giriş kanalı seçilmiş olmalıdır[25].

Minimum giriş zamanı hesabı

$$TCAQ=TAMP+TC+TCOFF$$

TACQ=Minimum girdi zamanı

TAMP=Yükselteç yerleşme zamanı

TC= HOLD şarj zamanı

TCOFF= Sıcaklık katsayısı

A/D dönüşümünün saat seçimi

TAD bit başına A/D dönüşüm zamanı olarak tanımlanır. 10 bit dönüşümü için maksimum 12 TAD gerekir. TAD seçimi için mümkün olan 4 seçenek vardır.

- 2TOSC
- 8TOSC
- 32TOSC
- Dahili RC Osilatörü

A/D Dönüşümün doğru olarak yapılması için, TAD minimum 1,6 μ S seçilmiş olmalıdır.

Analog port pinlerini yapılandırma

ADCON1 ve TRIS kaydedicileri kontrol ve işletim port pinleridir. Analog girişlerin TRIS bitlerinin karşılıklı olarak ayarlanması gerekir. TRIS biti temizlenmiş ise dijital çıkış seviyesine (VOH veya VOL) dönüştürme yapılmış demektir.

A/D dönüşümü

Analog pinler, analog girdiler olarak yapılandırılır. Analog referans gerilimleri VDD ve VSS dir. A/D kesmesi seçilir ve A/D dönüşüm saat frekansı (FRS) ile sola yanaşık olarak sonuçlandırılır. Dönüştürme RA/0/AN0 pinleri ile gerçekleştirilir.

A/D dönüşümü sırasında uyuma

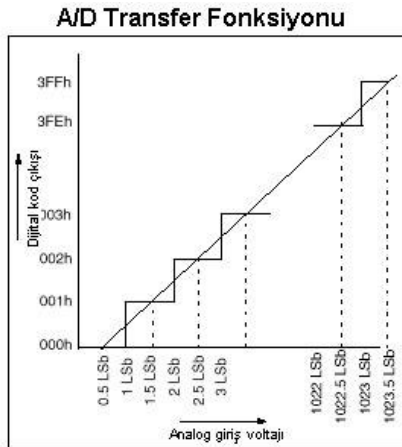
A/D Modül işletim sırasında uyuma modunda olacaktır. Bunun için A/D saat kaynağı ayarlanmalıdır. (ADCS1:ADCS0=11) RC saat kaynağı seçildiği zaman dönüştürme başlamadan önce A/D modül bir saat çevrimi süresi kadar bekler. Bu uyku talimatına izin verir. Dönüşümdeki tüm sayısal anahtarlama gürültüsü elemine edilmiş olur. Dönüştürme işlemi bittiği zaman GO/DONE biti temizlenir ve sonuç adres kaydedicisi içine yüklenir. A/D kesmesi etkinleştirilirse aygıt uykudan uyanır. A/D kesmesi pasifleştirilirse A/D modülü kapalı duruma dönse de bir süre açık kalacaktır.

A/D doğruluk/hata

Aygıt frekansı RC saatin alçak kullanımı olduğu sistemlerde tercih edilir. Yüksek frekans azaltılırken, TAD aygıt osilatörü türetilmelidir. A/D Dönüştürücü için belirtilen salt doğruluk, miktar ölçme hatası, integral hata, türevsel hata, tam skala hata, sapma hatalarının katkıları toplamını içerir. Herhangi bir kod için ideal geçişe karşı, güncel geçişten maksimum sapma olarak tanımlanır. Verilen bir analog giriş aralığı için sayısal çıkış kodu aynı olur. Bu sayısal kod analog girişten ölçülen miktar kadardır. Analog tan dijitale ölçme işleminde hata tipik olarak $\frac{1}{2}$ LSB kadardır.

Transfer fonksiyonu

A/D Dönüştürücünün transfer fonksiyonu aşağıda gösterildiği gibidir. Analog giriş voltajı/1024 ile bulunur.



Şekil 5.13. A/D transfer fonksiyonu

5.2.10. CPU' nun spesifik özellikleri

Mikro kontrolör'ü diğer işlemcilerden ayıran şey, gerçek zaman uygulamalarının gereksinimleri ile ilgili özel devrelerdir. PIC16F87X'te sistem güvenliğini maximize eden, dış elemanları ayırarak maliyeti minimize eden, güç tasarrufu, çalışma modu ve kod koruma gibi özellikleri taşımaktadır. Bu özellikler;

- OSC seçimi
- Reset
 - Güç kaynağı reseti (POR)
 - Yüksek güç timerı (PWRT)
 - Osilatör başlangıç Timer 1 (OST)
- Kesmeler
- Watchdog Timer
- Sleep
- Kod koruma
- ID yerleşimleri
- Devre içi seri programlama

PIC16F87X'te yalnızca konfigrasyon bitleri tarafından kapatılabilen Watchdog Timer mevcuttur. Güvenliği arttırmak için bu kendi RC osilatörünü de

çalıştırmaktadır. Yüksek güçte gereken esas gecikmeleri sağlayan 2 Timer mevcuttur. Bunlardan birisi Osilatör Başlangıç Timer'ıdır. Bu timer, kristal osilatör durgunlaşınca kadar çipi resette tutar. Diğer timer ise yalnızca nominal yüksek güçte 72ms sabit gecikme üreten Yüksek Güç Timer'ıdır. Bu güç kaynağı stabilize olurken aygıtı resette tutar. Bu iki çip üzeri Timer ile, uygulamaların çoğu hiçbir reset devrelerini gerektirmemektedir. SLEEP modu çok düşük enerjili alçak güç modunu sunmaktadır. Kullanıcı SLEEP ten çıkmak için dış reset, Watchdog Timer zaman aralığı veya kesmeleri kullanabilir. Bazı osilatör seçenekleri, kısımları uygulamaya yerleştirmek için elde edilmektedir. RC osilatör seçeneği sistem maliyetini, LP kristal seçeneği ise güç sarfiyatını düşürmektedir. Çeşitli seçenekleri seçmek için konfigürasyon bitler seti kullanılmaktadır[26].

6. BÖLGESEL ERİTME CİHAZI (BEC)



Resim 6.1. Bec fiziksel görünümü

Bölgesel eriteme yöntemiyle termoelektrik yarıiletken malzeme üretebilmek için quartz deney tüpünün çevresine yaklaşık 700°C ye ulaştırabilecek bir ısıtıcı olması ve bu ısıtıcının bizim verdiğimiz sıcaklık değerine geldiğinde bizim istediğimiz miktarda önce quartz tüpün boyu oranında P tipi termoelektrik yarıiletken madde için yukarı doğru hareket etmesi sonra en üst noktaya geldiğinde aşağı inmesi gerekmektedir. Bu önce yukarı sonra aşağı ve sonra tekrar yukarı şeklindeki döngüsel hareketin quartz tüpün bütün bölgelerinin aynı sıcaklığa gelene kadar devam etmesi gerekmektedir. Ayrıca quartz tüpün kendi ekseninde dönmesi sağlanarak quartz tüp içerisindeki kimyasal bileşiğin çalkalanması sağlanmaktadır.

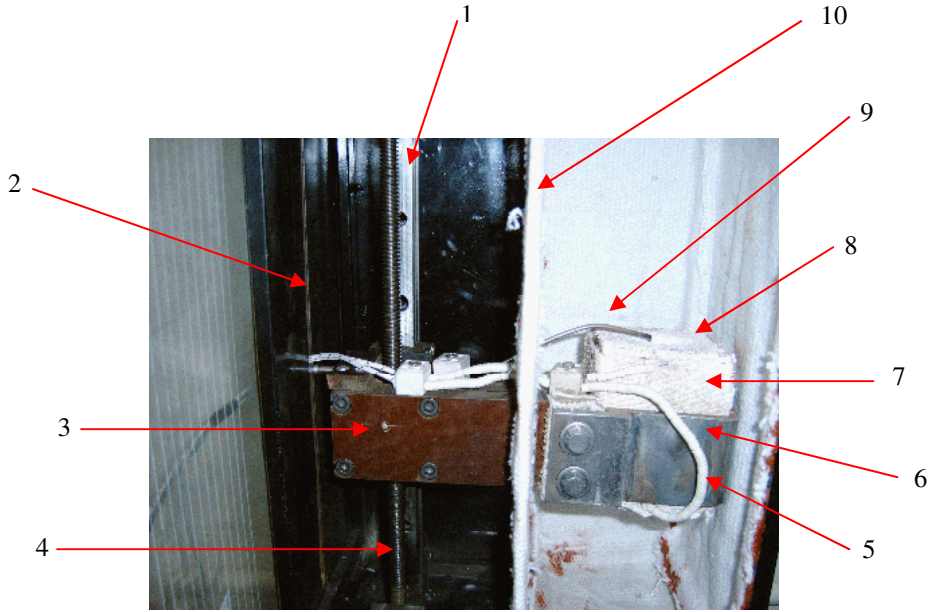
Bu amaç doğrultusunda BEC 4 kısımda incelenmiştir. Birinci kısım olan mekanik kısımda BEC'deki hareketli kısım olan ısıtıcı rezistansın yukarı ve aşağı hareket edebilmesi ve amaca uygun olarak diğer mekanik parçaların gerekli yerlere yerleştirilmesi gerekmektedir. İkinci kısım olan elektronik kısımda ise BEC'in istediğimiz doğrultuda çalışabilmesi için gerekli ölçme ve kontrol yapıların sağlanabilmesi gerekmektedir. Üçüncü kısım olan izelasyon kısmında ise BEC'in çok yüksek ısıdan dolayı mekanik ve elektronik kısmın zarar görmemesi için izelasyon kısmı gerekmektedir. Son olarak dördüncü kısımda ise BEC içerisindeki

quartz tüpün içerisindeki kimyasal bileşiğin eriyebilmesi için yaklaşık olarak 700 °C ısı verebilecek olan ısıtıcı rezistansın tasarlanması gerekmektedir.

6.1. BEC’deki Mekanik Tasarım

BEC’deki mekanik tasarımında dikkat etmemiz gereken ilk konu sıcaklık konusudur. Çünkü BEC’de kullanılacak olan sıcaklık derecesi yaklaşık olarak 700 °C dir. Bu durum başta mekanik aksam olmak üzere kabin içerisindeki koruma bloklarını ve alt kısımda bulunan elektronik devreyi tehdit etmektedir. Bir diğer bizi bağlayıcı nokta ise ısı kaybını elimizden geldiğince minimize ederek ısıtıcının istediğimiz sıcaklık derecesine gelmesini sağlamaktır.

Bu nedenlerden ötürü BEC içerisindeki mekanik kısmı soğuk ve sıcak kısım olarak ikiye ayırdık. Soğuk kısma yani ortam sıcaklığındaki kısma ısıtıcı kısmın bağlı bulunduğu ve ısıtıcı kısmı yukarı ve aşağı hareket ettirecek olan mekanizma tasarlandı. Bu soğuk bölgedeki metal mekanizma ısındığı zaman genleşme yapacağı düşünülmüş ve bu genleşmenin mekanizmaya zarar vereceği görülmüştür. Bu nedenden ötürü soğuk bölgede her hangi bir ısı dolaşımı olmaması ve ısınan havanın biran önce soğuk kısmı terk etmesi için soğuk kısmın bir tarafı yırtılmış ve aynı zamanda bu yırtık kısımdan ısıtıcı için ve algılayıcı için gereken kabloların geçmesi sağlanmıştır. Resim 6.2’de de bu gösterilmiştir.

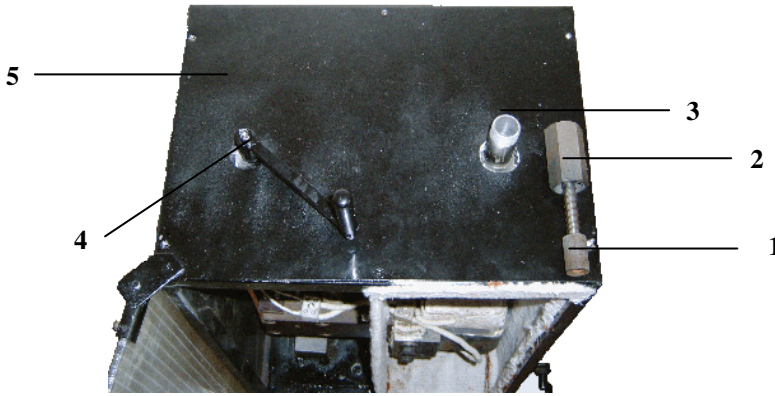


Resim 6.2. BEC'deki hareketli mekanik kısım

1- Mekanizmanın aynı eksen gitmesini sağlan metal ray 2- Soğutma ve Kabloların Geçmesi için kullanılan Yarık 3- Sıcaklığa Dayanıklı fiber ısı yalıtım malzemesi 4- Mekanizmanın yürümesini sağlayan sonsuz dişli demir mil 5- İçerisinde rezistans geçen seramik boncuk 6- Demir Kafes 7- Seramik Termal Battaniye (ısı yalıtım malzemesi) 8- İçerisinde rezistans sarılı bulunan Termal Seramik Yanmaz Tuğla 9- Sıcaklık algılayıcı K Tipi Termokupl 10- Soğuk ve sıcak bölgeleri ayıran izole edilmiş ara bölme

Mekanizmanın yukarı ve aşağı hareket etmesi mekanik olarak sonsuz dişli demir mil üzerine bağlanmış somunla sağlanmaktadır. Bu somuna yanmaz fiber yalıtım malzemesi bağlanmasıyla soğuk ve sıcak bölge arasındaki bağlantı sağlanmıştır. Bu yanmaz fiber malzeme 300°C dayanıklı ve işlenmesi kolay bir malzeme olduğu için kullanılmıştır. Ayrıca bu fiber malzemenin sıcak kısmına bağlı olan ısıtıcı beton taşın içerisinden quartz deney tüpü geçeceği için bu taşın sürekli aynı eksen de gitmesi gerekmektedir. Sonsuz dişliye bağlı olan somundaki en ufak bir dönme ısıtıcı beton taşın ekseninin değişmesine ve quartz tüpün sıkışarak kırılmasına sebep verebileceği düşünölmüştür. Bu sebepten sonsuz dişliye bağlı olan somunun aynı zamanda yukarı aşağı hareket edebilecek metal bir kızak sisteme bağlanmasıyla yukarı ve aşağı yöndeki hareket sonucunda her hangi bir eksen den kayma ihtimalinin önüne geçilmiş olmaktadır.

Ayrıca bu mekanizmanın yanında BEC’de kullanılacak olan deney quartz tüpünün yerleştirilmesi ve çevresindeki ısıtıcı taş betona olan uzaklığının ayarlanması gerekmiştir. Cam tüpün girebileceği şekilde yuvalar konularak cam tüpün 90 derecede düşey olarak durabileceği şekilde hizalama mekanizması gerçekleştirilir. Cam tüpün üzerine oturacağı malzemenin ısı iletim katsayısının çok düşük ve yüksek sıcaklığa dayanıklı bir malzeme olması gerekir. Bu sebepten ötürü cam tüpün oturacağı yuvalar yanmaz ağaç malzemeden oluşturulmuştur.



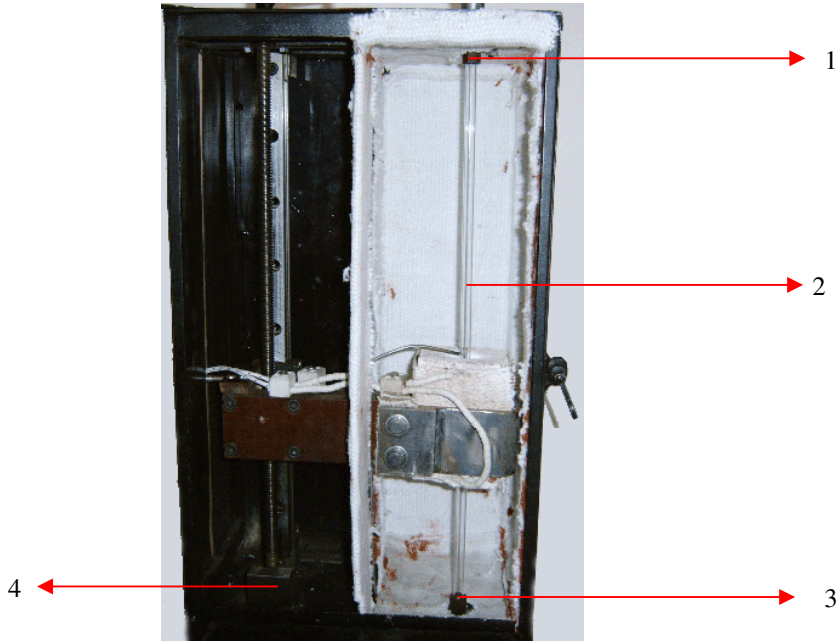
Resim 6.3. BEC üstten görünüm

1- Quartz deney tüpünün yerleştirilebilmesi için kullanılan üst yuva 2- Quartz deney tüpünü sabitlemek için kullanılan vida 3- vidalanacak dişli 4- Hareketli mekanizmanın başlangıç noktasına aylanması için kullanılan döndürme kolu 5- üst tabla

Resim 6.3’te de görüldüğü gibi quartz cam tüpün gireceği üst yuvadaki yanmaz ağaç malzemenin arkasında bir yay ve ona bağlı demir civataya bağlanmış ve bu civatanın da Resim 6.3’teki 3 numaralı yere yerleştirilerek buradaki dişlere vidalanması sağlanmıştır. Burada yay kullanılmasının sebebi ahşap yuvanın quartz cam tüpü aşağı doğru sıkıştırarak quartz cam tüpünün kendi ekseninde dönebilmesi için baskı uygulamasındandır.

BEC mekanik olarak çalışabilmesi için bir başlangıç noktasına ihtiyaç duymaktadır. BEC’in çalışma şekli ilk olarak aşağıdan yukarıya doğru olduğu için hareketli mekanizmanın en alt noktasında bir orijin noktasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu orijin noktası da soğuk kabin bölgesinde oluşturulmuştur. BEC mekanizmasının en üst

tarafında bulunan çevirme kolu (bkz Resim 6.3) ise bu hareketli mekanik kısmın başlangıç noktasına ayarlamamızı sağlayan koldur. BEC'i ancak bu başlangıç konumuna getirdikten sonra çalıştırmamız gerekmektedir.



Resim 6.4. Quartz camın bağlantısı

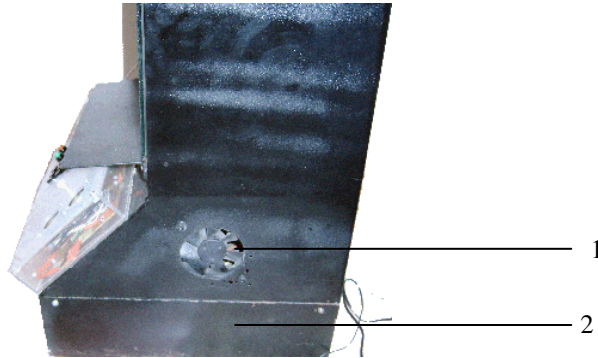
- 1- Quartz deney tüpünün yerleştirilebilmesi için kullanılan üst yuva 2- Quartz deney tüpü 3- Quartz deney tüpünün yerleştirilebilmesi için kullanılan alt yuva 4- Hareketli mekanizmanın başlangıç noktası

Resim 6.4'ün 3 numara ile gösterilen kısmı quartz deney tüpünün oturacağı alt yuvayı göstermektedir. BEC'de belirtildiği gibi quartz tüpün kendi eksenini etrafında dönmesi istenmektedir. Bu dönme hareketini quartz tüpün alt yuva kısmına bağlı bir motor yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Quartz tüpün sıcak bölgede olduğu ve ısıtma işleminin de alt kısımdan başlayacağı düşünüldüğünde bu bölgede yüksek bir sıcaklık oluşacağı ve bu sıcaklığında motor miline olumsuz etki yapacağı görülmüştür. Bu etki sonucunda motor mili ısınıp genleşecek ve motorun yanmasına sebep olacaktır. Bu olumsuz etkiyi yok edebilmek için motor direk olarak alt yuvaya bağlanmamış dişliler ve zincir kullanılarak motora yüksek ısının gelmesi engellenmiştir.



Resim 6.5. Motor ve dişli sistemi

Ayrıca Resim 6.5'teki dişli sisteminin aynısı soğuk bölgedeki sonsuz vidanın altında bulunan motora da yapılmıştır. BEC'in alt kısmına da dişli sistemin ve altta bulunan elektronik kısmın ısınmasını engellemek için sağ ve sol tarafa olmak üzere 2 adet fan konulmuştur.



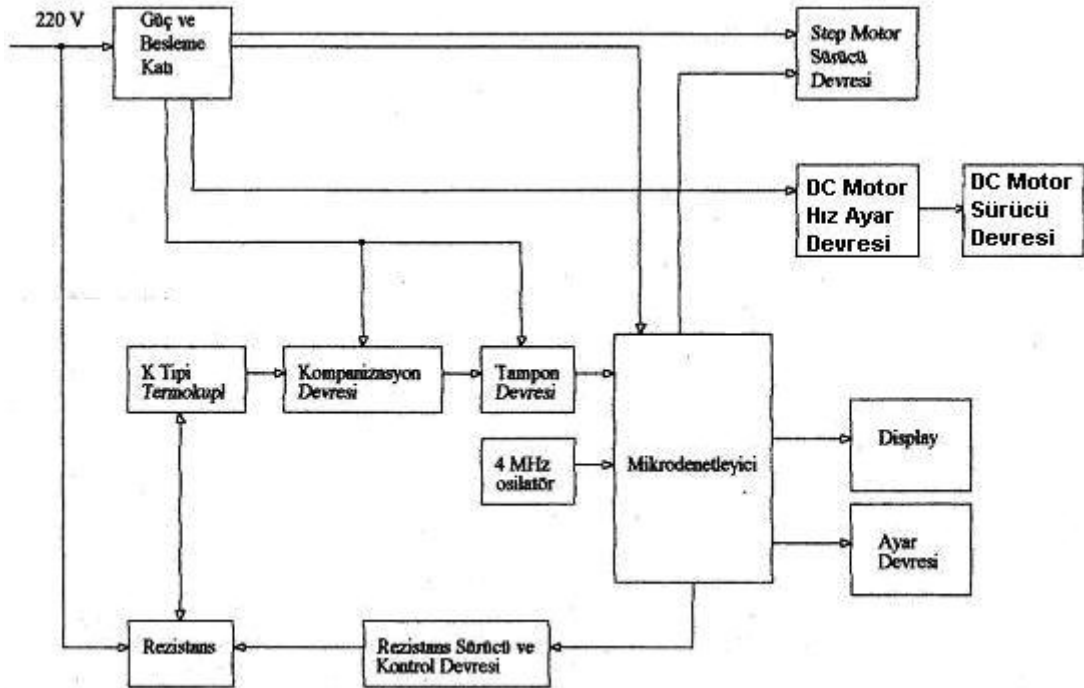
Resim 6.6. BEC mekanik tasarımının yan görünüşü 1- BEC'deki alt havalandırma fanı yuva 2- çıkartılabilir alt tabla

Resim 6.6'da görüldüğü gibi BEC'deki motor aksamın, dişli sistemin, güç kaynaklarının ve diğer elektronik kartların yerleştirilebilmesi için alt tabla kısmı konulmuştur. Bu kısmın kolay çıkarılabilir olmasına dikkat edilmiştir. Çünkü BEC'de oluşabilecek arızalara karşı pratik olarak alt kısma ulaşılması amaçlanmıştır.

6.2. BEC'deki Elektronik Tasarım

BEC'in elektronik kısmında (Pic Mikro denetleyici ile yarıiletken Büyütme teknikleri) tanıtımı, fonksiyonları, bölümleri, bölümlerde bulunan elemanların listesi, bu elemanlardan önemli olanları ve bunların görevleri ile devrenin çalışması açıklanacaktır. Ayrıca bölümün sonunda mikro denetleyicide yazılan programın 'c' uzantılı dosyası yer almaktadır.

Devre yarıiletken malzemelerin bölgesel eritme yöntemine göre büyütülmesi için hazırlanmış mekanik ve elektro mekanik bir sistemin kontrolünü sağlamak için özel olarak tasarlanmış ve içinde bir mikro denetleyici bulunan bir kontrol sistemidir. Bu kontrol sistemi blok şeması Şekil 6.1'de gösterilmektedir.



Şekil 6.1. BEC devresi blok diyagramı

Devrenin çalışmasını giriş niteliğinde özetleyecek olursak, mikro denetleyicinin kontrol ettiği rezistansın sıcaklık değeri sistem özelliklerini uygun olarak seçilmiş K tipi termokulp tarafından algılanmaktadır. Algılanan bu sıcaklık değeri kompanizasyon devresinde lineere erişerek mikro denetleyici girişlerine

Şekil 6.2’de BEC’deki anakart devresi verilmiştir. Bu Anakart devresi Şekil 6.1’de anlatılan Blok diyagramdaki PIC Mikroişlemci, LCD Ekran, Tuş takımı, veri giriş butonlarını içeren tümleşik bir yapıdır. BEC’deki tüm veri giriş ve kontrol yapıları bu kısımdan sağlanmaktadır.

Ana kartın besleme gerilimi 12V tur. Bu 12Volt DC gerilim 7805 tıyağı ile BEC’de kullanılan Pic Mikroişlemci ve LCD ekran için +5V gerilime dönüştürülmektedir. Bu gerilim ile ana kart üzerindeki tüm kontrol yapıları sağlanmaktadır.

Ana kartın asıl kontrol amacı bizim tuş takımından girdiğimiz ve bunu PIC Mikroişlemcisine kaydettiğimiz sıcaklık değerinin termokupl tarafından algılanan sıcaklık değerine eşit olup olmadığını saptamak. Ve eğer Termokupl tarafından algılanan sıcaklık değeri tuş takımından girilen sıcaklık değerine eşit veya büyük ise step motoru hareket ettirecek sinyali göndermektir. Step motorun ne kadar hareket etmesi gerektiği de kullanıcı tarafından girilmesi gerekmektedir.

Bu amaç ışında gerçekleştirilen Ana kart devresinde olması gereken parçaların başında tüm aritmetik, mantık ve kontrol işlemleri gerçekleştirecek Pic Mikroişlemci gelmektedir. BEC’de Pic Mikroişlemcisi olarak 16F877 kullanılmasının sebeplerini incelediğimizde şunlar ön plana çıkmaktadır.

- 1-) 10 Bit ADC (Analog Dijital Convertor) girişinin bulunması
- 2-) 5 portunun bulunması
- 3-) Kolay programlanması
- 4-) Ucuz ve piyasada kolay bulunmasıdır.

İşte bu sebeplerden dolayı 16F877 entegresi kullanılmıştır. Ayrıca HI-TECH PICC COMPILER VERSION 8.05pl2 ile C dilinde kodu yazılarak 16F877 entegresine aktarılmıştır. Bilgisayarda yazılmış bu kodun derlendikten (HEX kodu elde edildikten) sonra BEC’in elektronik yönden simülasyonu yapılmış ve bu simülasyonda çalıştığı görüldükten sonra icprog programı yardımıyla 16F877

entegresine aktarılmıştır. BEC'in elektronik similasyonu ve baskı devresi için Proteus 6 programı kullanılmıştır.

BEC'in ana kartı elektronik olarak tasarlanırken girdilerin tuş takımı ile yapılması ve girilen bilgilere onay verilmesi için de butonların kullanılması amaçlanmıştır. Bu şekilde kullanıcının veri girişi yaparken yapacağı hataları, onay butonuna basmadan düzeltmesine imkan sağlanmıştır. Ayrıca kullanıcı en yüksek gireceği sıcaklık derecesinin 1000°C olduğu ve bunun da 4 basamaklı olduğu düşünülürse 4 adet buton kullanılmıştır. Kullanıcı her basamak değeri bilgisini tuş takımından girdikten sonra o basamağın onay butonuna basarak o değerin hafızaya alınması sağlanmıştır.

BEC Anakart devresinde 8 adet buton bulunmaktadır. Bunların ilk 4 tanesi tuş takımından girilecek sıcaklık değeri için basamak onay butonudur. Bundan sonra gelen iki buton ise tuş takımından girdiğimiz sıcaklık derecesine termokupl dan gelen sıcaklık bilgisine eşit olduğu veya büyük olduğu durumda BEC'de bulunan step motorun kaç adım hareket etmesini ayarlamamızı sağlayan butondur. Bu butonlardan bir tanesi tur sayısını arttırmamızı bir tanesi ise tur sayısını azaltmamıza olarak sağlamaktadır.

Son iki butondan bir tanesi set(kurma) diğeri ise reset(yeniden başlat) butonudur. Set butonu bütün veri girişinin yapıldıktan sonra BEC devresinin otomatik olarak çalışmasına imkan sağlayacak olan son onay butonudur. Bu butona basıldıktan sonra LCD ekranın üst satırında kullanıcının cihazın çıkmasını istediği sıcaklık bilgisi görüntülenecek, alt kısımda ise termokupl'dan gelen sıcaklık bilgisi görüntülenecektir. Reset butonu ise bundan önce yapılan ayarlama işlemlerinde kullanıcı tarafından bir hata yapıldığında tekrar en baştan ayarlama yapmak için kullanılmaktadır.

Şekil 6.2'deki malzeme yerleşim planına baktığımızda iki adet giriş ucu iki adet ise çıkış ucu görülmektedir. Bu giriş uçlarından bir tanesi tuş takımı girişidir. Diğeri ise termokupl yükselteç devresinden gelen ve sıcaklık bilgisini 16F877 entegresine getiren kısımdır. Bilindiği üzere termokupl entegresinin 2 numaralı bacağı Analog

giriş bilgisini 10 bit dijital bilgiye dönüştüren kısımdır. Termokupl yükselteç devresinden gelen analog sinyaller Pic 16F877 entegresinin 2 numaralı bacağından giriş yaparak dijital sıcaklık bilgisine dönüştürülmekte ve bu şekilde de kontrol yapılarında kullanılmaktadır.

Çıkış uçlarından biri ise step motor sürücü devresine bağlanan kısımdır. Gerekli kontrol yapıları sağlandıktan sonra termokupl'dan gelen sıcaklık bilgisinin kullanıcının istediği sıcaklık değerine geldiğinde girilen adım sayısı tutarında motora hareket sinyalleri bu çıkış ucundan step motor sürücü devresine gönderilmektedir. Diğer bir çıkış ucu ise rezistans sürücü devresine giden uçtur. Bu uç deneysel olarak kolaylık yapması amacıyla led ile gösterilmiştir. Daha sonra bu led kaldırılarak buradan uç çıkarılmış ve bu uçta rezistans sürücü devresine bağlanmıştır.

Rezistans sürücü devresine bir çıkış sinyali gönderilmesindeki amaç rezistansın (ısıtıcı) elektriğini istediğimiz zaman kesip istediğimiz zaman tekrar vermektir. Bu çıkış sinyali ile step motora hareket sinyali gönderildiği anda rezistansın ısınmasını engellemek ve motorun hareketi bittikten sonra sıcaklık tekrar algılandığını da eğer algılanan sıcaklık değeri girilen sıcaklık değerinden düşük ise tekrar rezistansın çalışması amaçlanmıştır. Çünkü bölgesel eritme tekniğinde quartz cam tüpün içerisindeki maddelerin bölge bölge eritilmesi hedeflenmektedir.

Ayrıca rezistansı da bu şekilde çalıştırmak rezistansın ömrünü uzatmaktadır. Çünkü sıcak haldeki rezistans tellerinin hareket etmesi tellerin birbirlerine değmesine ve bu şekilde de tellerin kopmasına sebep olacaktır.

6.2.2. Sıcaklık algılayıcı termokupl ve kompanzasyon devresi

Gerçekleştirilen BEC devresi en önemli kısımlarından bir tanesi de sıcaklık algılayıcı kısımdır. Çünkü bütün kontrol yapıları algılanan sıcaklık değerine göre işlem yapmaktadır. Sıcaklık algılama işleminin genel hatlarıyla açıklayacak olursak termokupl tarafından algılanan Mikro Volt seviyesindeki sinyaller kompanzasyon devresinin giriş kısmına uygulanmaktadır. Bu sinyaller kompanzasyon devresi

tarafından Pic Mikroişlemcisinin algılayacağı şekilde mV mertebesinde sinyallere dönüştürülmektedir. Daha sonra Pic mikroişlemcisi içerisindeki Analog dijital çevirici kısım tarafından mV seviyesindeki sinyaller dijital bilgiye dönüştürülmekte bu bilgide pic mikroişlemcisine yüklenen yazılım sayesinde santigrad derece bilgisine dönüştürülmektedir. Bu şekildeki döngüsel olarak sürekli sıcaklık bilgisi okunmakta ve bu bilgiler ışığında gerekli kontrol sinyalleri uygulanmaktadır.

Sıcaklık Algılayıcı Kompanizasyon kısmını açıklamadan önce bu analog sıcaklık bilgisini gönderen termokupl ile ilgili bilgi verilmesi gerekmektedir.

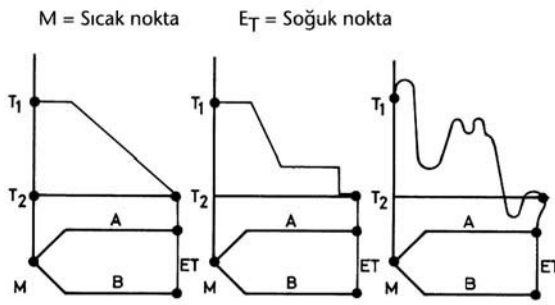
Sıcaklık Sensörleri ve Özellikleri

Sıcaklığın ölçülmesi ve kontrolü, çok önemli uygulama alanlarına sahip bulunduğundan doğruluk ve hassasiyet vazgeçilmez iki temel unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Ölçme ve kontrol işleminin istenilen performansı sağlayabilmesi, öncelikle yüksek kaliteli sıcaklık sensörlerinin kullanılması ile mümkündür. Günümüzde sıcaklık ölçme ve kontrolünde kullanılabilecek çok çeşitli sıcaklık sensörleri imal edilmektedir. Bu tip sensörler sıcaklığı elektiriksel işaretlere dönüştüren aygıtlar olup, bu elektiriksel işaretler bir A/D (Analog Dijital) çevirici yardımıyla sayısal değerlere çevrilerek sıcaklığın okunması sağlanır. Genellikle sensor olarak termoçift rezistif sıcaklık dedektörleri (RTD), termistörler, infrared sensörler ve özel tip tümleşik devre sıcaklık sensörleri kullanılır[27].

Termokupllar

Sıcaklık ölçümleri giderek artan oranda önemli bir konu haline gelmiştir. Sıcaklık tamamen fizik ile ilgili temel bir konudur. Çok çeşitli fiziksel özellikleri etkileyen bir parametre olması nedeniyle ölçülmesi gereken önemli bir değişkendir. Sıcaklık ölçümü için çok çeşitli yöntemler vardır. Bunlar içinde elektronik dünyasının en çok kullanıldığı sensörlerden birisi termokupl dur. Termokupllarla -200°C'ye kadar ölçüm yapılabilir[28].

Termokupl iki farklı alaşımın ucunun kaynaklanması ile oluşturan basit bir sıcaklık ölçü elemanıdır. Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta (veya referans noktası) olarak anılır. Termokupl olayı sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir. Termokuplun sıcak noktası ve soğuk noktası arasındaki sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim, sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına orantılıdır. Şekil 6.3’da gösterilmiştir.

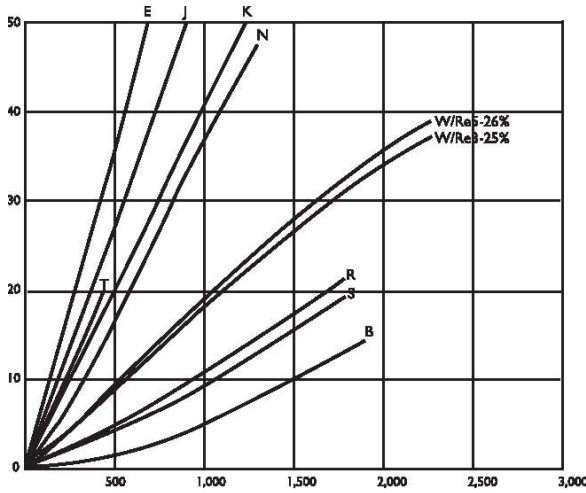


Şekil 6.3. Termokupl’da sıcak ve soğuk nokta sıcaklığı önemlidir.

Dolayısı ile soğuk noktanın sıcaklığı önemlidir. Sıcak nokta aynı kalmak kaydı ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiği takdirde farklı sıcaklıklar okunacaktır. Bu nedenle termokupl mV tablolarındaki değerlerde standardizasyon sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın 0°C’de tutulması ile elde edilmişlerdir. Örneğin 400°C’ye karşılık gelen mV değeri termokuplun sıcak noktası 400°C’de, soğuk nokta 0°C’de iken uç noktada ölçülen mV değeridir.

Termokupllar (ısı çifti) endüstride sıcaklık ölçümlerinde çok geniş uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Termokupl aslında iki farklı metal veya alaşım tel olmasına rağmen genelde prosese çıplak olarak daldırılmazlar. Çeşitli mekanik darbeler, fiziksel ve kimyasal aşındırıcı özellikler göz önüne alınarak belli özel koruyucu kılıflar içinde kullanılırlar. İki farklı eleman teli farklı kutuplarda oldukları için birbirlerinden izolator yardımıyla izole edilirler. İzolatörlerin seçiminde yine ortam şartlarının, sıcaklık limitlerinin önemi büyüktür. Gerek eleman tellerinin gerekse koruyucu tüplerin cinsleri termokuplların ömürlerine doğrudan etki etmektedir[27].

Bu eleman tellerinin sıcaklık-mV eğrilerini incelenecek olursa doğrusal olmadıkları görülür. Termokupl sıcaklık-mV eğrileri incelendiğinde her birinin sıcaklık ölçümü açısından diğerine nazaran daha uygun olduğu bölgeler vardır. Örneğin 0-800°C sıcaklık ölçümü yapabilen Fe-Const ile 0-1200°C'ye kadar ölçüm yapabilen NiCr-Ni eleman tellerinin mV eğrisi karşılaştırıldığında 300-600°C arasında Fe-Const, NiCr-Ni'e nazaran daha doğrusaldır. Bu nedenle bu aralıkta Fe-Const ile çalışma tercih edilir. Yine aynı yaklaşımla PtRh-Pt termokupllar için 800-1600°C arası uygun bir çalışma bölgesidir. 800°C'nin altında doğrusallık çok bozuktur.



Şekil 6.4. Termokupl sıcaklık-mV eğrileri

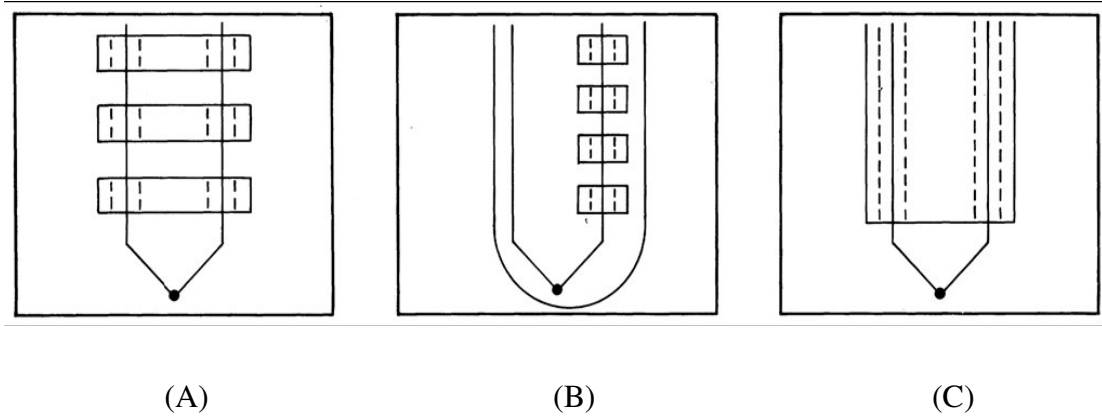
Eleman tellerin yalıtılması

Termokupl ucu kaynaklandıktan sonra koruyucu tüp içine yerleştirilsin yerleştirilmesin (+) ve (-) bacaklar bir birinden izole edilirler. İzelasyon için seramik izelatörler kullanılır. Bu izelatörlerde, sıcaklık limitlerine ve ortam şartlarına göre seçilirler. Genellikle DIN standardında KER 610 olarak bilinen özel porselen izelatörler çok yaygınca kullanılmaktadır.

Termokupl eleman tellerinde ilk yazılan bacak (+) referanslıdır. Yani diğer bacağa nazaran (+) yüklüdür. Diğer bacak (-) değerdedir. Bu yüzden termokupl cihaza (+) ve (-) uçları dikkate alınarak bağlanmalıdır. Dünya standartlarında termokupl uçları

belli renk kodları ile kodlanmıştır. DIN standartlarında (+) bacaklar kırmızı, negatif bacaklar termokuplların cinsine göre değişmektedir. IEC standartlarında (-) bacaklar beyaz, pozitif bacaklar termokuplların cinsine göre değişmektedir.

1400-1500°C'nin üzerinde veya özel ortam şartlarında KER 799 olarak bilinen saf alümina izelatörlerde kullanılır. 1200°C'nin altındaki sıcaklıklarda Cu-Const, Fe-Const, NiCr-Ni gibi eleman telleri genel olarak tek parça olmayan parçalı izelatörlerle, PtRh-Pt termokupllar tek parça izelatörle izole edilir. Şekil 6.5'de izelatör tipleri görülmektedir.



Şekil 6.5. Termokuplun izelatör tipleri

- A-) Termokuplun çift delikli tek tek izolatör iki bacak izole edilmiş hali
- B-) Yekpare tek izolatör ince telli termokupl şekli
- C-) Tek bacak izole seramik kılıf içindeki şekli

Eleman tellerinin sıcaklık limiti

Termokupl eleman tellerinin dayanabileceği sıcaklık limitleri eleman teli çapına bağlıdır. Çap kalınlaştıkça çıkabileceği max. sıcaklık arttığı gibi, kalın çaplı tel inceye nazaran daha uzun ömürlü olabilecektir. Termokupllar da kullanılan tellerin çapları seçilirken şüphesiz kullanılan boru çapları da göz önüne alınır. Ayrıca tablodan izleneceği üzere Cu-Const, Fe-Const, NiCr-Ni gibi eleman telleri 0.5 mm, 1 mm, 1.6 mm, 2 mm, 3 mm gibi çaplarda üretilirken PtRh-Pt eleman telleri en kalın 0.5 mm çapta olabilmekte, yaygın kullanılan çap 0.35 mm olmaktadır.

Çizelge 6.1. Termokupl eleman çaplarına göre sıcaklık limitleri

ELEMAN CİNSİ	SÜREKLİ °C	MAX °C	TEL ÇAPI	ELEMAN CİNSİ	SÜREKLİ °C	MAX °C	TEL ÇAPI
Cu-Const	300	600	0.2 mm	NiCr-Ni	600	800	0.5 mm
	300	600	0.5 mm		800	1000	1 mm
	300	600	1 mm		900	1100	1.38 mm
Fe-Const					900	1100	1.5 mm
	400	600	0.5 mm		1000	1200	2 mm
	600	800	1 mm		1000	1200	2.5 mm
	600	800	1.5 mm		1000	1200	3 mm
	700	900	2 mm	PtRh-Pt	1300	1600	0.35 mm
	700	900	2.5 mm		1300	1600	0.5 mm
	700	900	3 mm		1300	1700	0.6 mm

Termokupl mv değerleri

Dünya ülkelerinde çeşitli standartlarda üretilen termokupl eleman telleri “Uluslararası Elektronik Komitesi” tarafından 1977 yılından beri sürdürülen çalışmalar sonunda tek standarda döndürülmüştür. Bundan böyle eleman telleri standardı IEC 584 olarak anılacaktır.

K tipi nikel krom-nikel termokupl

Nikel (-) ve Nikelkrom (+) bacadan oluşan bu termokupl oksitleyici ortamlarda tercih edilir. 1300°C'ye kadar mV değeri üretmesine rağmen yaygın olarak 1200°C'ye kadar kullanılır. DIN 43710 ve IEC 584 standardına uygun tablo değerleri, soğuk noktanın 0°C'de tutulması ile elde edilmiştir.

Mineral termokupllar

Mineral izoleli termokupllar, çok çeşitli şartlarda ve ortamlarda, değişik sıcaklıklarda kullanılabilirler.

Kullanıldığı yerler;

- Tanklar, boru hatları, çeşitli makinalar ve aparatları, laboratuvar ve test merkezleri,
- Hava, gazlar, su, yağ gibi sıvı ve gaz ortamlar,
- Nükleer enerji santralleri, reaktörler, basınçlı kaplar, kimya endüstrileri'dir.

BEC'de 1200°C'ye kadar kullanılabilen standart tip mineral izoleli termokupl yer almaktadır.

Bükülebilir-kıvrılabilir ve düşük çaplarda verilebilir olması nedeniyle portatif uygulamalarda geniş kullanım imkanları vardır.

Sıcaklık limitleri olarak çalışabilecekleri ortamlarda kablo gibi dolaştırılabilirler. Uzun tünel fırınlarında araba altı sıcaklığını takip etmek için veya bir fırının sıcaklık profilini çıkarmak için tercihen kullanılırlar

Dizay ve seçim

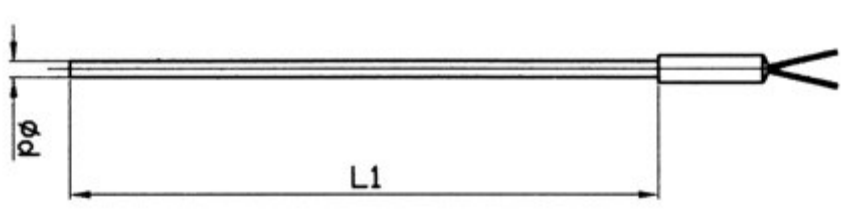
Tek veya çift elemanlı termokupl ince bir metal kılıf içine yerleştirilmiş ve kılıf içinde yüksek saflıkta metal oksit tozları sıkıştırılarak izole edilmişlerdir. Bu şekilde eleman telleri birbirlerinden ve aynı zamanda metal koruyucudan izole edilmişlerdir. Metal kılıf, metal oksit tozları ve eleman telleri özel yöntemlerle çok iyi sıkıştırılmış olması nedeniyle, termokupl bir kablo gibi bükülebilir, kıvrılabilir.

Koruyucu kılıflar

Mineral izoleli termokupllar özel yapıya sahip oldukları için, diğer termokupllardaki gibi değişik ve çok alternatifli kılıf kullanım imkanına sahip değildirler. Standartlarda yer alan mineral izoleli termokuplların dış kılıfları inconel veya 316 paslanmaz çelik olabilir. Elimko standartlarındaki mineral izoleli termokuplların dış koruyucu metalleri çoğunlukla inconel olup, 1200°C'ye kadar kullanılırlar. Genel olarak mineral izoleli termokupllarda, sıcak nokta kaynak ucu, dış koruyucu metal ile birlikte kaynaklanır. Yani montaj türü topraklı tiptedir.

BEC’de kullanılan termokupl özellikleri

BEC’de kullanılan Termokupl deneysel ortamlar için yapılmış ve ona göre izole edilmiş olduğundan dolayı mineral izoleli termokupl kullanılmıştır. BEC’in ihtiyaç duyduğu sıcaklık değeri yaklaşık 800 derece olduğundan dolayı 1200 dereceye kadar ölçüm yapılabilen K tipi termokupl kullanılması sağlanmıştır. Ayrıca bu termokupl ‘un kıvrılabilme özelliğinin de olması tam olarak istediğimiz noktanın sıcaklığını hassas olarak ölçme konusunda bize yardımcı olmuştur. Şekil 6.6’da görüldüğü gibi laboratuvar çalışmalarına uygun dış çapı 6mm boyu 500mm olan K tipi NiCr-Ni Termokupl kullanılmıştır.



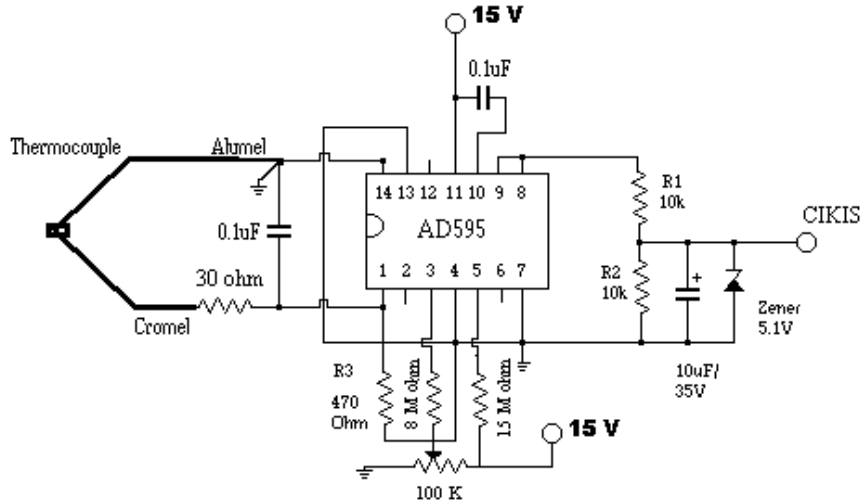
Şekil 6.6. Termokupl’un iç bağlantı şekli

Mineral izoleli termokuplların standartlarda belli çapları vardır. Bu çapların bükülebileceği minimum yarıçaplar sınırlıdır. Bu yarıçapın üzerine çıkılır ise termokupl zarar görür, kopabilir. Bu nedenle mineral izoleli termokuplları bükerken bu özelliğine dikkat edilmelidir. Bu sınırlar Çizelge 6.2’te verilmektedir.

Çizelge 6.2 Termokupl bükülme çapları

Fe-Const veya NiCr-Ni		
Termokupl Dış Çapı	Bükülebilir Minimum Yarıçap	Eleman Teli Yaklaşık Çapı
1.5 mm	8 mm	~ 0.18 mm
3.0 mm	15 mm	~ 0.45 mm
4.5 mm	23 mm	~ 0.7 mm
6.0 mm	30 mm	~ 1 mm
8.0 mm	36 mm	~ 1.2 mm

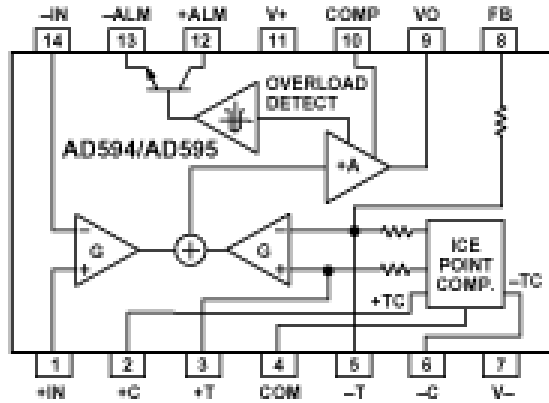
Kompanzasyon devresi



Şekil 6.7. Sıcaklık algılayıcı kompanzasyon devresi

Sıcaklık Kompanzasyon devresi Şekil 6.7’de görüntülenmektedir. Bu kompanzasyon devresi için AD595 termokupl yükselteç entegresi kullanılmıştır. Analog Devices AD595 entegresi soğuk nokta kompanzasyonu yapabilen Termokupl yükselteç entegresidir. Bu yükselteç termokupldan aldığı sinyalleri referans sıcaklığına bağlı olarak $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ olacak şekilde çıkış veren bir entegredir. Bu yükselteç belli bir noktanın sıcaklığını lineer olarak algılatırdığımız gibi birden fazla noktanın sıcaklığını da aynı anda algılamamıza ve bu şekilde anahtarlama yapmamıza imkan vermektedir.

AD595 entegresi sıcaklığı referans sıcaklığına göre ölçmektedir. Yani ortam sıcaklığı ile termokupl ucundaki sıcaklık farkı doğrultusunda çıkışa mV seviyesinde sinyal gönderir. Bu sebepten dolayı AD595 entegresinin kalibrasyon ayarlamasının yapılması gerekmektedir. Bu ayarlama AD595 entegresinin 3 ve 5 nolu bacaklarıyla gerçekleştirilmektedir. Bu bacaklara 8 ve 15 M ohm luk direçler bağlanmış ve 3 nolu direncede 100K lık potansiyometre bağlanmıştır. Ortam şartlarına göre bu potansiyometre ayarlanarak kalibrasyon ayarı yapılmaktadır[31].



Şekil 6.8. AD595 entegresi blok diyagramı

AD595 entegresi tek kaynakla çalıştırılmak istendiğinde Şekil 6.8'deki 7 numaralı bacağı -V ucu bağlanır. 4 numaralı uç ile 7 numaralı uç birleştirilir. Kaynağın +V ucu ise 11 numaralı bacağa bağlanır. AD595 entegresinin alarm çıkışı olan 13 numaralı uç kullanılmadığı zaman com ucuna yani 4 numaralı bacağa bağlanır. 8 numaralı çıkış ucu da $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ olacak şekilde çıkış verebilmesi için 9 numaralı bacakla birleştirilir.

AD595 entegresi 5 volttan 15 Volta bütün voltajlarda çalışabilir. Fakat voltaj yükseldikçe ölçebildiği maximum sıcaklık derecesi de değişmektedir. Bu sebepten dolayı yapacağımız BEC'de yaklaşık olarak 800 derece ölçebileceğimiz için voltajı 15 volta çıkartılmış ve maximum ölçme kapasitesi de K tipi termokupl ile 1250°C ye yükseltilmiştir.

AD595 entegresinin Termokupl giriş uçları 1 ve 14 numaralı bacaklardır. Termokupl topraklanması AD595 entegresi ile yapılacaksa termokupl un bağlandığı 1 numaralı bacak 470 ohm luk direnç ile 7 numaralı bacakta bulunan -V ucuna bağlanmalıdır.

Ölçüm hassasiyetinin doğru bir şekilde yapılabilmesi ve parazitlerin giderilebilmesi için AD595 entegresinin 10 numaralı bacağına $0.1\mu\text{F}$ kondansatör bağlanmıştır. Normalde AD595'in çalıştığı bant genişliği 3dB frekansı ise 10 kHz dir. $0.1\mu\text{F}$ lik kondansatör AD595 entegresinin 3dB bant genişliğinde ve 120 Hz frekans da

çalışmasını sağlamıştır. Buda ortamdan gelebilecek her hangi bir bozucu gürültü ve parazitin önüne geçmemizi sağlamıştır.

AD595 entegresinin giriş uçlarına uygulanacak termokupl boyunun uzun olması distorsiyona sebep olmaktadır. Bu distorsiyon da termokuplun doğru ölçme özelliğinin kaybolmasına sebep olmaktadır. Bu problemi gidermek için termokupl girişine RC filitre devresi yapılmıştır. Bunun için 0,1uF ve 30 ohm luk direç kullanılmıştır.

AD595 entegresi çıkışından 10mV/°C sinyal alacak şekilde dizayn edilmiştir. Fakat yaklaşık olarak 1000°C lik bir sıcaklık ölçmek istediğimiz zaman çıkışta 10 volt sinyal elde edilmektedir. Bu sinyal Pic Mikroişlemcisinin çalışmasını gereken voltajın çok üstündedir ve mikroişlemcinin yanmasına sebep olmaktadır. Bunu engellemek için AD595 entegresinin çıkışını gerilim bölücü ile bölerek 5mV/°C olacak şekilde ayarlanmıştır. Bunun için de 10K lık dirençler seri olarak bağlanmıştır. Buna rağmen oluşabilecek gerilim yükselmesiyle Pic mikroişlemcisine yüksek voltajın gitmesini engellemek için 5V zener diot bağlanmıştır.

Termokupl yükseltecinin blok diyagramı Şekil 6.8’de verilmiştir. +25 C’lik ortam sıcaklığı için K-tipi termokuplla elde edilen çıkış gerilimi 10mV/°C’dir. 0-50 °C’lik ortam sıcaklığı aralığında sistemin ölçüm hatası + 0,6 °C’dir. Termokuplla beraber sistemin toplam ölçüm hatası +1,2 °C olmuştur.

6.2.3. BEC devresinin motor sürücü devresi

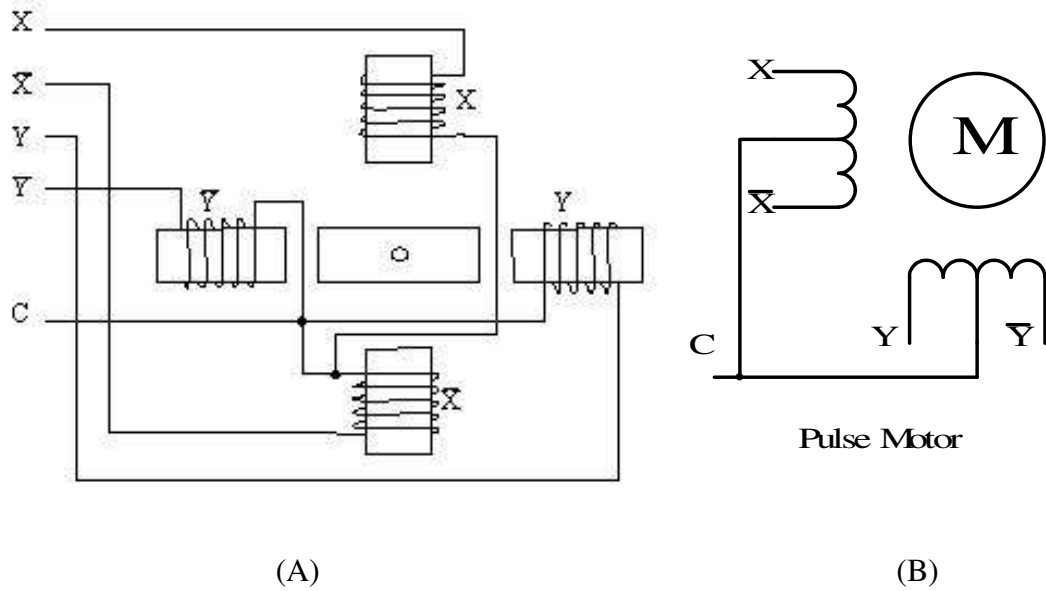
BEC devresinde iki adet motor kullanılmaktadır. Bu motorlardan bir tanesi ısıtıcının hareket etmesini sağlayan step motor kısmıdır. Diğer ise quartz tüpün alt kısmında bulunan quartz tüp içerisindeki kimyasal karışımın çalkalanmasını sağlayan DC motor kısmıdır.

Motor sürücü devresi anlatılmadan önce step motorların mikro denetleyiciden gönderilen uygun sinyaller ile ilgili bilgi verilmesi gerekmektedir.

Step motorların mikrodnetleyici ile kontrol edilmesi

Sanayide mikrodnetleyici kontrolü yolu ile kullanılan step motorlar hibrit step motorlar ailesinin üyeleri olan bipolar ve unipolar step motorlardır. Bölüm içerisinde bahsi geçen bu step motorların mikrodnetleyici ile kontrol edilmesi anlatılacaktır.

Hibrit step motorlardan olan bipolar step motor genellikle dört kablo çıkışlı olup ortak ucu yer almamaktadır. Dört uçlu olan bu step motorun uçları sırasıyla X,X,Y,Y olarak adlandırabiliriz. Step motordaki rotorun etrafını çevreleyen statorda N ve S kutupları yer almaktadır. Bu kutuplara uygulanacak gerilim ile ortada bulunan rotorun istenilen yöne doğru hareket etmesi sağlanır. X – X' ve Y - Y' uçlarına uygulanacak gerilimler elektromıknatıslarda oluşacak N – S kutuplarının yönünü tayin edecektir. Şekil 6.9'de bipolar step motorun gösterilişi ve iç yapısı basit olarak verilmiştir[32].



Şekil 6.9. Bipolar Step Motor A-) Bipolar step motorun basit iç yapısı B-) Bipolar step motor sembolü

Akımın geçiş yönü mıknatıslanmanın yönünü de belirleyeceğinden yukarıdaki şekillerde verilen kutuplaşmayı sağlayacak gerilimler X, X, Y, Y uçlarından verilir. PIC uçlarından verilen bu gerilimler için aşağıdaki tabloyu çıkarabiliriz.

Çizelge 6.3. Step motorun saat yönünde dönüşü için gerekli komutlar [32]

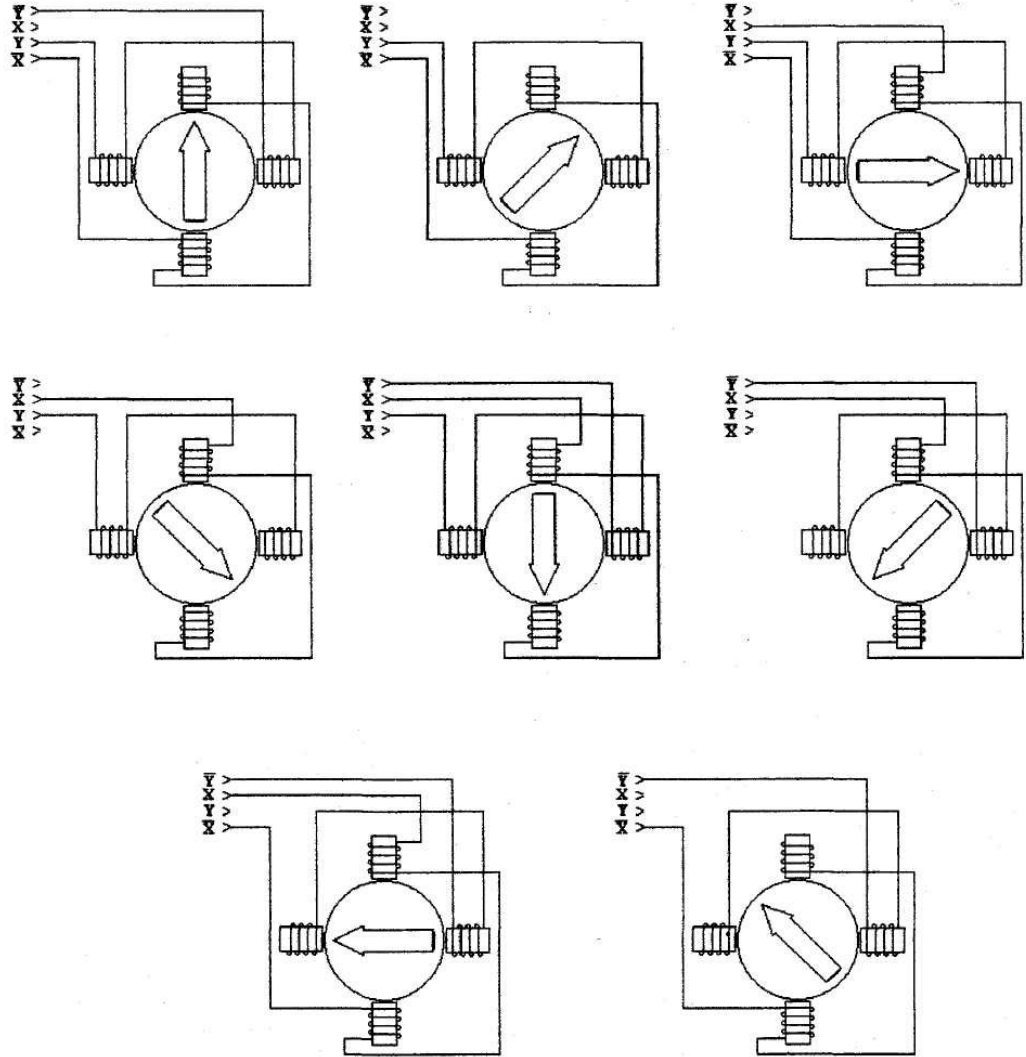
Adım	X	X'	Y	Y'
1	1	0	0	0
2	1	0	0	1
3	0	0	0	1
4	0	1	0	1
5	0	1	0	0
6	0	1	1	0
7	0	0	1	0
8	1	0	1	0
9(1)	Birinci adım ile aynı			

Çizelge 6.4. Step motorun saatin ters yönünde dönüşü için gerekli komutlar

Adım	X	X'	Y	Y'
1	1	0	0	0
2	1	0	1	0
3	0	0	1	0
4	0	1	0	0
5	0	1	0	0
6	0	1	0	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1
9(1)	Birinci adım ile aynı			

Yukarıdaki Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4 deki “1” ler, rotorun uçlarına uygulanacak olan gerilimleri ifade etmektedir. Bu gerilim 5 V olabileceği gibi, motor sürücü devresi (transistörlü yükselteç devresi) tarafından elde edilecek daha büyük bir gerilimde olabilir.

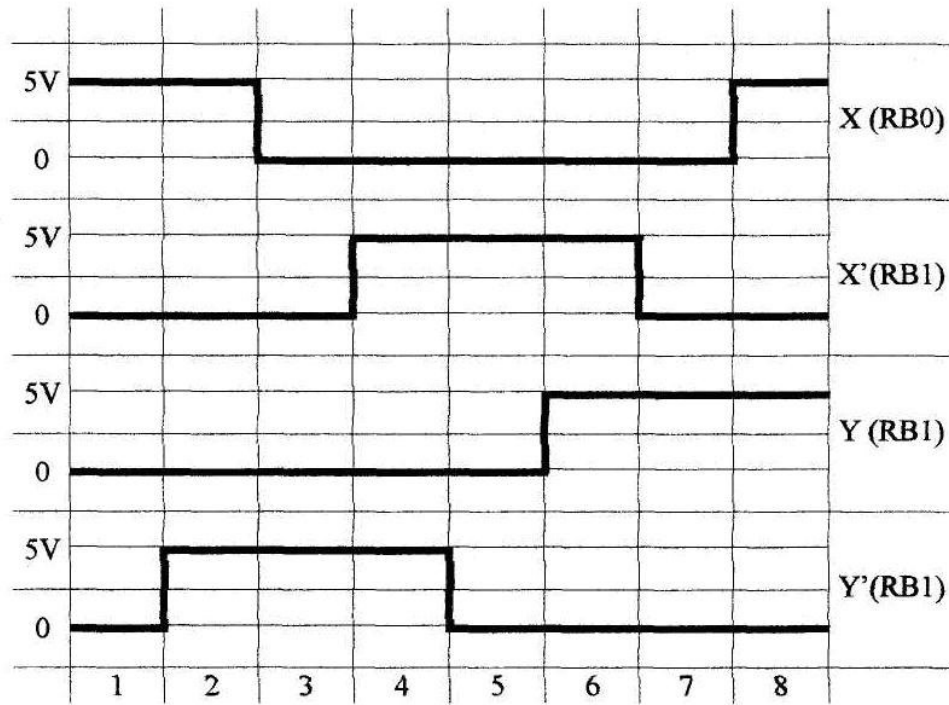
PIC'in çıkış uçlarını step motorun giriş uçlarına bağlamak mümkün değildir. Çünkü PIC 16F877'nin verebileceği çıkış akımı step motorun sürülmesi için yeterli olmayacaktır. Step motor çok fazla akım çektiğinden, PIC çıkışı muhakkak bir transistörlü sürücü devresi kullanarak motora bağlanmalıdır.



Şekil 6.10. Step motorun sağa doğru dönmesi için gereken kutuplaşma

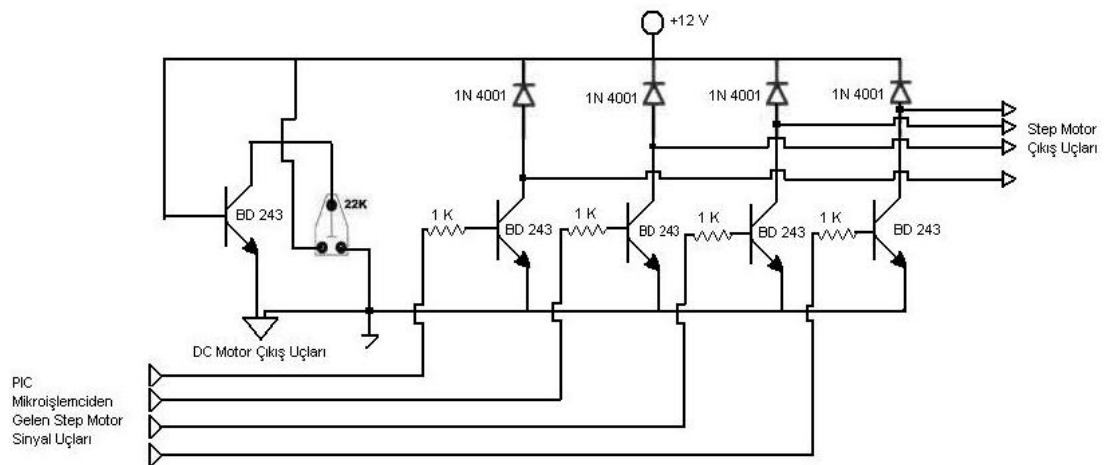
PIC çıkışından step motora uygulanan sinyalin frekansı çok yüksek olduğundan step motor be frekansta uygulanan gerilimlere yeterli kutuplaşma sağlayamayabilir. Bu nedenle çevrim tablosundaki adımlar arasında gecikme sağlayan alt program

muhtak kullanılmalıdır. Aşağıda PIC uçlarında gereken gerilimlerin zaman tablosu verilmektedir.



Şekil 6.11. Step motor saat yönünde dönerken PIC de olması gereken gerilimler

BEC’de kullanılan step motor sürücü devresi



Şekil 6.12. Step ve DC motor sürücü devresi

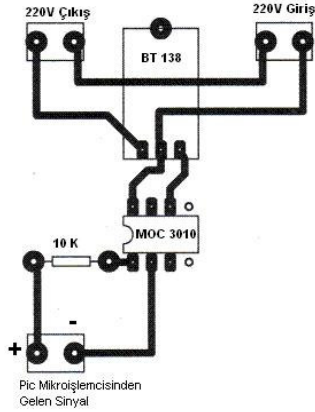
Step motorun hareket etmesi kullanıcı tarafından BEC çalıştırıldığı anda girilen adım sayısına bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. BEC’de kullanılan step motor 14 Watt gücünde ve step 1.8 olan bir motordur. Step motorun tam 360 derece dönebilmesi için 4 ucuna da (X, X, Y, Y) gereken sinyalin gönderilmesi ve bu sinyal doğrultusunda step motorun döneceği yön tayin edilmektedir. Kullandığımız motor her adımında 1,8 derece dönmektedir. Tam bir tur için $360/1.8 = 200$ sonucu bulunmaktadır. 4 adet ucumuz bulunduğundan dolayı $200/4=50$ sonucunu buluruz. Yani her uç kısmı 50 defa aynı sinyali gönderdiğinde step motor tam bir tur atmaktadır. Bu sonuç çerçevesinde kullanıcı adım sayısını girerken 50 adım olarak ayarladığında step motorun tam bir tur attığı görülmektedir.

Devrede kullanılan DC motor ise 12 Volt 120 devir/dakika dönüş hızına sahip bir motordur. DC Motorun üst kısmına monte edilen mekanizma sayesinde 10 kg-kuvvete kadar mukavemet göstermektedir.

Anakart sinyal uçlarından yani pic mikroişlemcisinden gelen sinyaller devrede bulunan BD243 güç transistörlerini tetikleyerek step motor uçlarına gereken sinyallerin iletilmesini sağlarlar. Devrede bulunan diotlar da ters yönde oluşabilecek her hangi bir akımı önlemek için yerleştirilmiştir.[33].

Devrede bulunan ikinci kısım ise DC motorun sürülmesi gereken kısımdır. Bu kısım 12V sinyalinin 22K lık trimpot ile motora giden akım sınırlandırılarak motorun devir sayısının ayarlanması sağlanmıştır.

6.2.4. BEC devresinin rezistans sürücü devresi



Şekil 6.13. Rezistans sürücü devresi

BEC’de kullanılan rezistansın pic mikroişlemcisi tarafından gönderilen kontrol sinyalleri ile açılıp kapatılması gerekmektedir. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için rezistans sürücü devresi geliştirilmiştir. Rezistans sürücü devresi AC 220 V olarak girişine uygulanan alternatif gerilimi MOC3010 ve BT138 triyağı kullanılarak anahtarlama görevi yapmaktadır. Bu anahtarlama işlemi için gerekli olan tetikleme sinyali de pic mikroişlemcisinden gönderilmektedir.

220 volt gibi yüksek gerilimler ile çalışıldığı zaman voltajın izole edilmesi çok önemlidir. Çünkü yüksek voltaj sonucunda herhangi bir kısa devre durumunda çok büyük problemler çıkmaktadır. İşte bu yüksek voltajın izole edilebilmesi ve de tetikleme sırasında oluşabilecek problemleri minimuma indirebilmek için Şekil 6.13 da gösterildiği gibi Moc 3010 entegresi kullanılmaktadır. Bu izelasyon entegresinin asıl görevi girişine uygulanan DC 3V ile aktif hale gelmesi ve triyağın tetiklenmesini sağlamasıdır. Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için MOC3010 ile daha ayrıntılı bilgi vermemiz gerekmektedir.

6.2.5. Transformatör ve varyak

BEC’deki ısıtıcı rezistansın istediğimiz oranda ısınmasını gerçekleştirebilmek için varyak kullanılmıştır. 220 V olarak gelen şebeke gerilimi varyağa girerek buradan

rezistans sürücü devresine oradan da rezistansa gönderilmiştir. BEC deneysel amaçlı olduğundan ve en kaliteli şekilde termo elektrik yarı iletken üretebilmek için bütün faktörlerin düşünülmesi gerekmektedir. Bu düşünceden hareketle rezistansa gelen gerilimin ayarlamalı olması deney parametrelerinin değiştirilmesine yardımcı olacaktır.

BEC’de varyak kullanılmasından dolayı transformatörler ve varyak hakkında bilgi vermemiz gerekmektedir.

Transformatörler

Transformatörler gerek elektrik alanında olsun, gerekse de elektronik alanında olsun çok kullanılan elemanlardır.

Transformatörlerin elektronik alanındaki başlıca kullanım yerleri şöyle sıralanabilir:

- Bağlaşma için
- Yükselteçlerde hoparlör çıkışı için
- Empedans uygunluğunun sağlanması için
- Güç kaynaklarında değişik gerilimler elde etmek için

Transformatörlerin yapısı ve çeşitleri

Yukarıda sıralanan elektronik devrelerde transformatör yalnızca tek fazlı olarak kullanılır. Tek fazlı transformatörde, saclar ile oluşturulan bir nüve (çekirdek) ve bunun üzerinde birincil ve ikincil sargıları vardır.

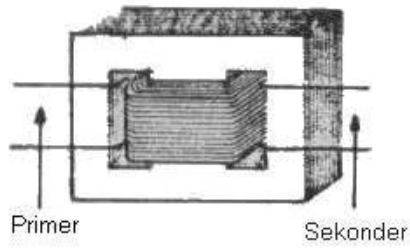
"Mono" nun kelime anlamı da "Tek" demektir. Normal olarak şehir elektrik şebekesi üç fazlıdır. Fazlar, R, S, T olarak adlandırılır. Bu üç fazın her biri ile toprak arası 220V 'tur. Küçük işyerleri ve evlerde genelde tek faz kullanılır. Elektronikte de tek faz kullanılır.

Monofaze transformatörler iki gruba ayrılır:

1. Çift sargılı transformatör.
2. Tek sargılı (oto) transformatör.

Çift sargılı transformatörler, oto transformatörlere göre çok daha fazla kullanılır. Bu nedenle tek fazlı transformatör denince genelde, çift sargılı transformatör anlaşılır.

Çift sargılı transformatörün yapısı

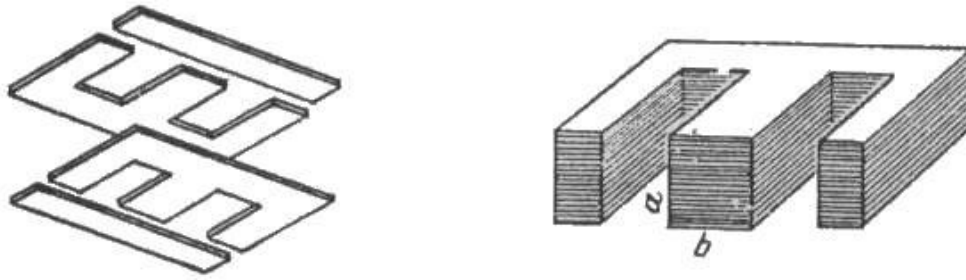


Şekil 6.14. Monofaze transformatörde sargıların nüveye oturtuluş biçimleri

Çift sargılı transformatörler, Şekil 6.14'de görüldüğü gibi, bir nüve (çekirdek) üzerine üst üste veya karşılıklı olarak oturtulan iki sargı vasıtasıyla gerilim değişimi sağlayan devre elemanıdır.

Transformatör nüveleri, Şekil 6.15'de görüldüğü gibi, 0,4 - 0,5 mm kalınlığındaki saclardan oluşur. Sacın malzemesi, histerezis kaybı az olan, kalıcı mıknatıs özelliği taşımayan ve kırılganlığı olmayan özel çeliktir. Sargılar ise, karkas adı verilen makaralara sarılır.

Sacın E ve I şeklinde kesilmiş parçaları Şekil 6.15'de görüldüğü gibi iki yönlü olarak, bobin makarasının içerisine teker teker yerleştirilir. Bu şekilde oluşan nüvenin kesit görüntüsü Şekil 6.15'de görüldüğü gibidir.



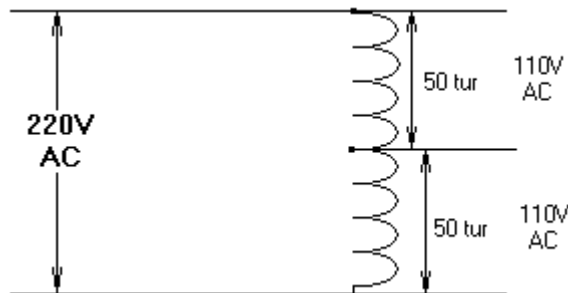
(A)

(B)

Şekil 6.15. Transformatör nüvenin kesit A-) Transformatör nüve saçlarının görüntüleri B-) Transformatör nüve saç bloğunun görüntüleri

Nüvenin bu şekildeki saçlardan oluşturulmasının nedeni, AC gerilimindeki değişim etkisiyle gelişen ve Fuko akımı adı verilen akımın yaratacağı ısınmayı önlemektir.

Oto transformatörün yapısı (Varyak)



Şekil 6.16. Oto transformatör

Oto transformatörde Şekil 6.16'da görüldüğü gibi bir nüve üzerinde tek sargı vardır. Giriş bu sargının uçlarından yapılır.

Çıkış iki şekilde olabilir:

1. Belirli kullanılma gerilimine ihtiyaç varsa, sargının belirli noktalarından çıkış uçları alınır.
2. Değişik gerilimlere ihtiyaç olursa, transformatör üzerinde bir hat boyunca iletkenlerin izelasyonu kazınır ve bu hat üzerinde gezdirilebilen bir uç sargılara

temas ettirilir. Bu tür oto transformatörlere Varyak (Variac) adı verilmiştir. (Bkz. Şekil 6.17)



Şekil 6.17. Varyak fiziksel görüntüsü

Oto transformatörün avantajları:

1. Tek sargı kullanıldığı için küçük güçlerde daha az yer tutar.
2. Çıkış geriliminin istenildiği gibi ayarlanması olanağı vardır.
3. Daha az ısınır.

Oto transformatörün şu iki dezavantajı vardır:

1. Sargının tek sıra olması halinde (Varyakta) çok yer kaplar.
2. Normal bir transformatörde primer ve sekonder sargılar arasına yalıtkan bir bant konarak çıkışa kaçak yapma ihtimali önlendiğinden, çıkış bakımından daha güvenli hale getirilmektedir.

Oto transformatörde çıkış uçları, arasında kalan bir sarım koptuğunda giriş uçları arasındaki büyük gerilim çıkışa yansıyacak ve giriş akımının tamamı da çıkıştan devreyi tamamlayacaktır.

Böyle bir durumda;

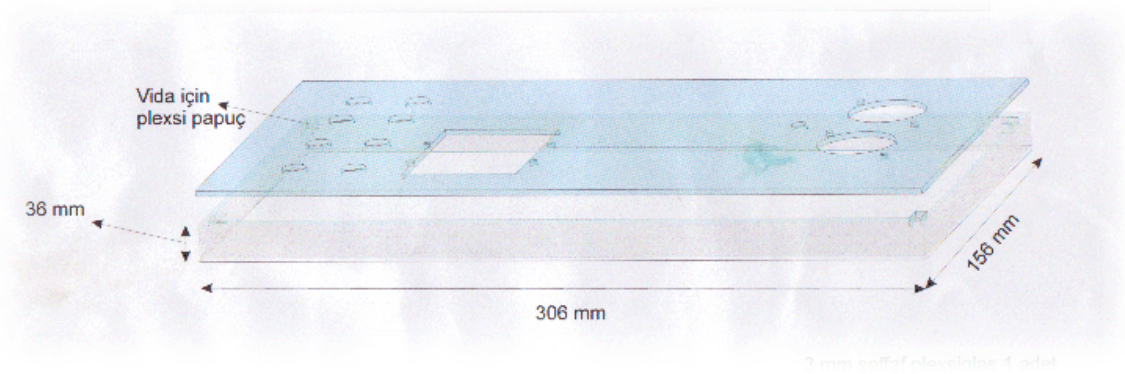
- Çıkış uçları arasındaki büyük gerilim hayati tehlike yaratabilir.
- Çıkış devresi de hassas elektronik elemanlar bulunabileceğinden, büyük gerilim ve büyük akım, devre elemanlarına zarar verecektir.

BEC’de max 5A akım çekebilen 220 V giriş gerilimi olan oto transformatör kullanılmıştır.

6.2.6. BEC gösterge panosu

BEC’de kullanılan elektronik kartların bir arada bulunabilmesi ve elektronik kartların oluşabilecek herhangi bir ısınmadan zarar görmemeleri için gösterge panonu yapılmıştır. Bu panonun yapılmasının diğer bir amacı ise görsel dizaynı güzelleştirmek ve cihazın kullanılabilirliğini basitleştirmektir.

Bu amaç doğrultusunda 3mm kalınlığında şeffaf plexsiglas malzemenin gösterge panosu oluşturulmuştur. Bu gösterge panosunun şekli şekil 6.18’te görülmektedir.



Şekil 6.18. Gösterge panosunun 3 boyutlu görünümü

Şekil 6.18’de görüldüğü gibi şeffaf plexsiglas malzemenin üst kısmında bazı yerler delinmiştir. Bu deliklerin sol tarafındakiler 8 adet buton ve tuş takımı için oluşturulmuştur. Sağ taraftaki delikler ise 2 adet fan ve DC motor ayar çubuğu için kullanılmıştır.

6.2.7. BEC'in çalışması

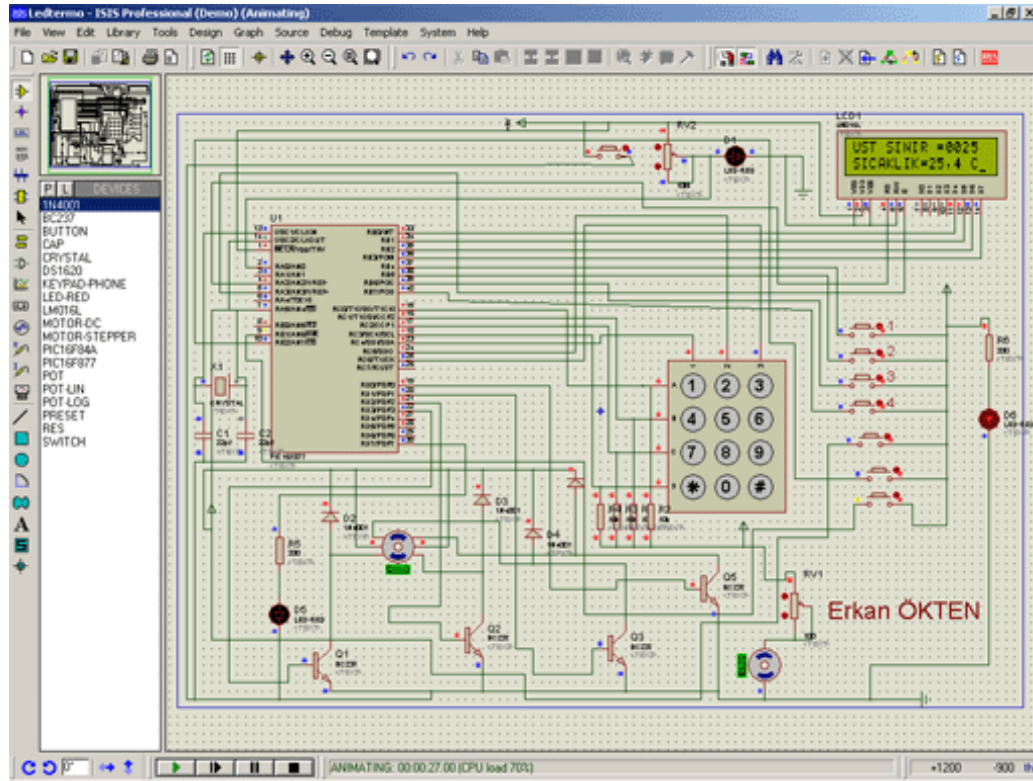
BEC'in çalıştırılabilmesi için öncelikle sonsuz dişliye bağlı olan kolun döndürülerek ısıtıcı mekanizmanın quartz tüpün en alt seviye olan referans noktasına getirilmesi gerekmektedir.

BEC'i çalıştırdığımızda LCD ekranda bizden referans sıcaklığını girmemizi isteyecektir. Bu referans sıcaklığı en fazla 4 basamaklı olabilmektedir. Bu değeri girerken tuş takımındaki numaraları kullanmaktayız. Binler basamağından başlamak şartı ile her tuşa bastıktan sonra bu bastığımız numaranın kaydedilebilmesi için yanda bulunan butonları kullanmaktayız. Binler basamağı için tuş takımından bir tuşa bastıktan sonra binler butona yüzler basamağı için tuş takımından bir tuşa bastıktan sonra yüzler butona onlar basamağı için tuş takımından bir tuşa bastıktan sonra onlar butona ve en son birler basamağı için tuş takımından bir tuşa bastıktan sonra birler butona basarak referans sıcaklık değerini girmektediriz.

Daha sonra LCD ekranda motorun tur sayısını girmemiz gerekmektedir. Bu da rezistans istenilen sıcaklık değerine geldikten sonra step motorumuz kaç tur atıp durması isteniyorsa bu tur sayısı girilmektedir. Unutulmamalıdır ki tur sayısı 50 olarak girildiği zaman motor tam bir tur atmaktadır. Bu değer daha altı veya üstüde girilebilir. Bunun için sol taraftaki arttır butonuna basarak bu sayıyı istediğimiz kadar arttırabiliriz. Eğer girdiğimiz değeri azaltmak istersek azalt butonuna basmamız gerekmektedir. Daha sonra set butonuna basarak tüm ayarlamaları yapmış oluruz. Bundan sonra devre otomatik olarak bizim verdiğimiz değerler ölçüsünde hareketine devam edecektir.

Devredeki diğer motor ise DC motordur. Bu motorda kuarts tüpünün içerisindeki karışımın homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak için devreyi çalıştırdığımız andan itibaren kendi eksenini etrafında dönmektedir. Bu motorun dönüş hızı ise motora bağlı potansiyometre ile sağlanmaktadır. Devrenin simulasyon görüntüsü şekil 6.19'da görülmektedir.

6.2.8. BEC elektronik devresi simülasyonu



Şekil 6.19. BEC elektronik devresi simülasyon görünümü[35]

6.3. BEC’de Kullanılan İzolasyon Malzemeleri

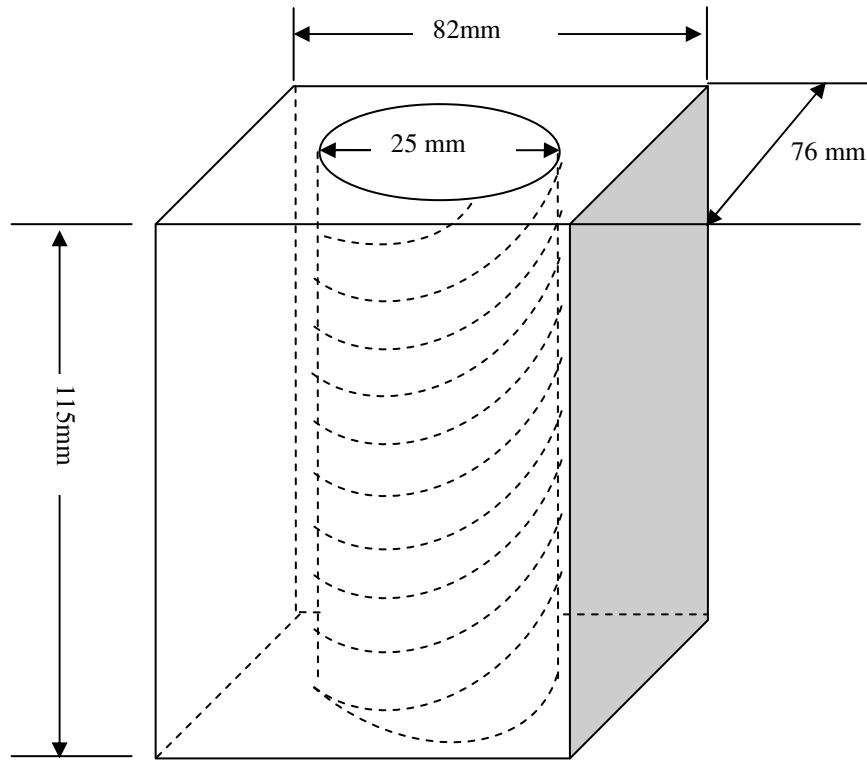
Bilindiği gibi BEC’de yüksek sıcaklık ile çalışılmaktadır. Bu yüksek sıcaklığın BEC’in mekanik ve elektronik aksamına zarar vermemesi için izolasyon malzemeleri kullanılmıştır.

Bu izolasyon malzemeleri BEC’de iki yerde kullanılmıştır. Bunlardan birincisi ve en önemlisi rezistansın içine sarıldığı ateş tuğlası ikincisi ise BEC’in sıcak bölgesinin iç yüzeyini kaplayan seramik bez dir.

Bu bölümde ateş tuğlası ve seramik bezle ilgili daha ayrıntılı bilgi verilecektir.

6.3.1. Ateş tuğlası

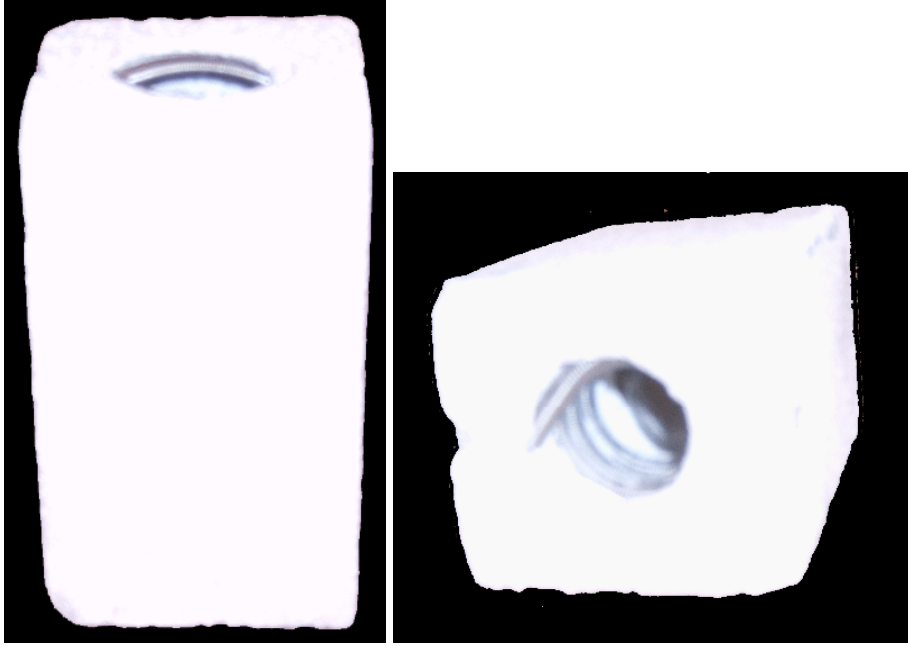
BEC'deki ısıtıcı blok rezistansın içine sarıldığı ateş tuğlasından oluşmaktadır. Bu ateş tuğlası Şekil 6.20'te görüldüğü gibi dikdörtgenler prizması şeklinde alınmış ve önce ortasından yuvarlak bir şekilde delik açılmış daha sonra bu deliğin içerisine rezistansın girebileceği şekilde kanallar oluşturulmuştur.



Şekil 6.20. Ateş tuğlası ölçüleri

Şekil 6.20'de BEC'de kullanılan ateş tuğlasının ölçüleri verilmektedir. Bu ölçüler içine konulacak rezistans göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Kullandığımız rezistansın açılmış haldeki boyu 800mm'dir. Ayrıca rezistansın kanal çapında 5.5 mm olması göz önüne alınarak tuğlanın içerisindeki kanal sayısı belirlenmiştir.

BEC'de kullanılan ateş tuğlası Avrupa standardı olan JM-26 standardına göre üretilmiştir. Şekil 6.20'de de bu ateş tuğlasının içine rezistans sarılmış şekli görülmektedir.



Şekil 6.21. Ateş tuğlasının içinin ve dışının görüntüsü

Şekil 6.21’de ki bu tuğla yüksek sıcaklıkların izole edilmesi için kullanılmaktadır. Bu seramik tuğla yüksek sıcaklıklardaki ateşe direç göstermektedir. Bu tuğla 1427°C ye kadar olan sıcaklıklarda yüksek mukavemet kararlılığına sahiptir. Ayrıca bu yanmaz tuğla yüksek düzeyde sıcaklık absorbe özelliği ile çok düşük oranda dışarıya ısı transferi yapmaktadır.

En çok kullanım alanları demir ocakları, seramik kireç ocakları, karbon pişirme fırınları, yüksek sıcaklıktaki kireç astarlama olarak bilinmektedir.

Bu bu yüksek yalıtım özelliğine sahip ateş tuğlalarının kullanılacak amaca yönelik çeşitli tipleri bulunmaktadır. Bizim BEC’de kullandığımız JM26 modeli yüksek sıcaklık için oluşturulmuş modeller arasında yer almaktadır. Bundan başka yüksek sıcaklık için benzer özelliklerde olan K-26, TC™-26, TC-26 HS, JM-28, JM-30 modelleri de kullanılmaktadır.

6.3.2. Seramik bez

Seramik bez BEC'in sıcak bölgesindeki ısı yalıtımı sağlamak için kullanılmıştır. Bu yalıtım ürünü yardımıyla hem sıcak bilge altında bulunan elektronik parçalar korunmuş hem de BEC'deki mekanik parçalar da oluşabilecek herhangi bir genleşme, sıkışma riski ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 6.22. BEC'de yalıtım malzemesi olarak kullanılan seramik bez

Şekil 6.22'de gösterilen seramik bez maximum 1260°C ye dayanıklı alüminosilikat liflerin bükülüp ve dokunarak özel bir teknoloji ile üretilmiş ısı sızdırmazlık ürünüdür.

BEC'de bu ürünün kullanılmasının asıl sebebi sıcaklığa karşı çok dayanıklı olması, esnek olması ve 2 mm kalınlığında olmasıdır. Bu ürün kırmızı silikon adı verilen sıcak bölge yapıştırma silikonu ile BEC'in sıcak bölgesindeki iç yüzeylere ve ateş tuğlasının çevresine sarılmıştır.

6.4. BEC'de Kullanılan Rezistans

BEC'de bilindiği gibi tüpün çevresini ısıtacak bir ısıtıcı kısmına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kısımda ısıtma işi için tel rezistansın yanmaz tuğla içerisine yerleştirilerek tüpün ısıtılması hedeflenmektedir. Çalıştığımız sıcaklık derecesinin

yaklaşık olarak 700°C olduğu düşünüldüğünde seçeceğimiz rezistansın belirlediğimiz ortamda bu sıcaklık derecesini vermesi gerekmektedir.

Bu amaç doğrultusunda seçeceğimiz rezistans çekeceği yük ile devrede bulunan varyağın kaldırabileceği akım özellikleri düşünüldüğünde şu sonuç çıkmaktadır. 220V şebeke geriliminde maximum 5 amper akım çekebilen bir varyak ile $220 \times 5 = 1100 \text{ watt}$ gücünde bir rezistans çalıştırılabilmektedir. Bu sebepten dolayı rezistans toleranslı olarak 1000 watt olarak seçilmiştir.

1000watt lık bu rezistans için gereken özellikleri şu şekilde açıklayabiliriz.

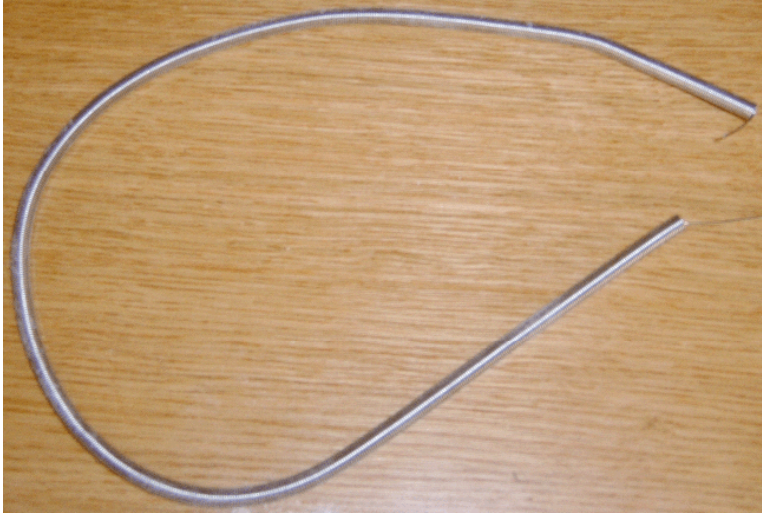
- Tel kesiti 0,255mm²
- Tel çapı 0,57mm
- Tel uzunluğu 11m
- Tel ağırlığı 22gr
- Tel direnci 48,5ohm
- Çekilen akım 4,55amper



Şekil 6.23. Kanthal D tipi sarılmamış rezistans teli

Bu özelliklere sahip olan bir telin aynı zamanda da max 700°C ye kadar dayanımının olması gerekmektedir. İşte bu özelliklerin tamamını sağlamak için Kanthal D tipi rezistans kullanılmıştır. Bu telin sarılmamış hali Şekil 6.23’de görülmektedir.

Kanthal D tipi rezistans 1300°C ye kadar kullanılabilen genellikle fırınlarda kullanılan rezistans telidir. Bu rezistans teli kalınlığı 5mm ve sarıldıktan sonra boyu 800mm olacak şekilde sarılarak BEC’de kullanılmak için ateş tuğlasının içine yerleştirilmiştir. Sarılmış rezistans Şekil 6.24’de görülmektedir.



Şekil 6.24. BEC’te kullanılan Kanthal D tipi sarılmış rezistans teli

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Mikrodenetleyici Hız ve Sıcaklık Kontrollü Yarıiletken Üretim Sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen cihaz bölgesel eritme yöntemiyle yarıiletkenlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Yarı iletken üretim cihazının mekanik kısmı bölgesel eritme yöntemini gerçekleştirecek şekilde özel olarak yapılmıştır. Termoelektrik yarıiletken üretim teknolojisine uygun üretiminin sağlanması için sıcaklık ve hız kontrollü özel elektronik devreler tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bu tasarımdaki elektronik kontrol işlemleri için PIC mikroişlemcisi kullanılmıştır. Mikroişlemciyi çalıştırmak için ise C dilinde özel bir program oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen cihaz ile N tipi yarıiletken üretilmiş, fiziksel özellikleri araştırılmış ve yarıiletkenin termoelektrik sistemlerde kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir.

Yarıiletken üretim cihazının mekanik kısmında ısı yalıtımının sağlanabilmesi amacıyla dişli zincir sistemi kullanılmıştır. Isıtıcının düzgün hareketini sağlamak için ray sistemi geliştirilmiştir. Yarıiletken üretim teknolojisi gereği olarak ısıtıcının hareketinin başlaması için referans noktasını seçebilme imkanı veren hareketli mekanik kol oluşturulmuştur. Ayrıca ısıtıcının yukarı ve aşağı yönde hareketini sağlamak için sonsuz vida sistemi kurulmuştur.

Geliştirilen BEC ile N veya P tipi yarıiletkenleri elde etmek için sıcaklık ölçüm ve kontrol sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen ölçüm devresi 0-1000°C de ölçüm yapabilmektedir. Bunu gerçekleştiren sıcaklık ölçüm devresi termokupl tarafından algılanan sıcaklık bilgisinin AD595 yükselteç entegresiyle °C başına 5mV olacak şekilde PIC16F877 entegresine analog sinyal göndermektedir. Bu sinyaller PIC tarafından dijital bilgiye dönüştürülerek LCD ekranda gösterilmektedir.

BEC'in verimli çalışabilmesi ve üretilen yarıiletkenlerin yüksek performanslı olması için sistemin hız ve sıcaklık kontrollü PIC 16F877 Mikroişlemcisi tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sıcaklık ölçüm devresinden gelen analog sinyallerin dijitalle çevrilmesi ve önceden girilmiş olan sıcaklık referans değeri ile

karşılaştırılması sonucu gerçekleştirilmektedir. Termokupl tarafından algılanan sıcaklık bilgisi tuş takımından girilen referans sıcaklık derecesine eşit olduğu anda sistemdeki step motor yardımı ile istenilen adım sayısı kadar step motorun hareket etmesi sağlanmaktadır. İsteğe bağlı olarak girilen bu adım sayısı step motorun hızını göstermektedir.

BEC'in termoelektrik yarıiletken üretim teknolojisine uygun olarak çalışmasını sağlamak için 16F877 Mikroişlemcisi içerisine C programlama dilinde yazılım oluşturulmuştur.

BEC ile yapılan deneysel araştırmalar sonucunda 800°C sıcaklığına yaklaşık olarak 2 saatte çıktığı tespit edilmiştir. Bu sıcaklığa ulaşmak için geçen zamanın isteğe bağlı olarak varyakla ayarlanabilmesi BEC'in pozitif yönleri arasında ön plana çıkmaktadır.

BEC'de kullanılan ısıtıcı taş içerisi 800°C ilen ısıtıcı taş çevresinde bulunan demir kafes sıcaklığının yaklaşık olarak 200°C olduğu anlaşılmıştır. Bu sıcaklığın da demir kafesin bağlı olduğu fiberde herhangi bir problem yaratmadığı gözlenmiştir. Ayrıca Sıcak bölgede bu sıcaklık dereceleri oluşurken soğuk bölge sıcaklığı ise 70°C olarak ölçülmüştür.

BEC çalıştırılmaya başlandığı anda girilen step motor adım sayıları değiştirilerek denemeler yapılmış ve bu denemeler sonucunda yukarı yönde maximum adım sayısı olan 6200 adıma geldiğinde step motorun yön değiştirerek aşağı yönde hareket ettiği gözlenmiştir. Ayrıca aşağı yönde maximum adım sayısı olan 6200 adıma geldiğinde step motor tekrar yön değiştirerek yukarı yönde hareket ettiği görülmüş ve bu hareketin döngüsel olarak oluştuğu kaydedilmiştir.

BEC'in üst kısmında bulunan çevirme kolunun çevrilerek sonsuz dişliye bağlı olan ısıtıcı kısmın çalıştırılmaya başlanmadan önce referans noktasına yani en alt noktaya getirilmesinin çok önemli olduğu görülmüştür. Çünkü eğer bu noktaya getirilmeden BEC çalıştırılırsa referans noktasına göre ayarlanan 6200 adımın tamamlanmadan

ısıtıcı mekanizma en üst noktaya geleceğinde üst noktada bir sıkışma olacak ve Ayrıca referans kolunu çevirirken kesinlikle BEC'e elektrik verilmemeli yani çalıştırılmamalıdır. Çünkü BEC çalıştırıldığı anda motorlara sinyal gitmekte ve motor bu sinyaller ışığında mıknatıslanmaktadır. Eğer BEC çalıştırıldıktan sonra çevirme kolu çevrilir ise zorlanma hissedilecektir. Bu zorlanmaya devam edilirse motor rotlarının mıknatıslık özelliği bozulacak ve motor çalışmayacaktır.

BEC çalıştırıldığında ve 800°C sıcaklığa ayarlandığında BEC'in alt tarafında bulunan elektronik kartların, güç kaynağının ve ön panelin sıcaklıktan etkilenmediği ve ortam sıcaklığında (25 °C) olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit BEC'te kullanılan yalıtım malzemeleri ile içerideki yüksek sıcaklığın ön panel ve alt kısma yansımadağını göstermektedir.

BEC'te bulunan quartz tüpü çalkalamak için kullanılan DC motorun ise isteğe bağlı olarak 0-120 dk/devir kademelerinde istenildiği şekilde ayarlanarak quartz tüpün kendi eksenini etrafında dönmesi sağlanmıştır. Bu çalkalama işlemi quartz tüp içerisinde oluşacak termoelektrik yarı iletken malzeme kalitesi için deneysel kriter oluşturmaktadır.

Tüm bu deneysel sonuçlar bölgesel eritme tekniği ile termoelektrik yarı iletken üretebilmek için BEC'in kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığını ayrıca isteğe bağlı olarak referans sıcaklığının, adım sayısının, ısınma süresinin, çalkalama hızının değiştirilebilir olması en önemli özellikleri arasında yer almaktadır.

KAYNAKLAR

1. Ahıska, R., Güler, N. F., Savaş, Y., “Termoelektrik Soğutucusunun Özelliklerinin Araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 2 (3):89-94,(1999).
2. Kapıdere,M.,“ Mikrodenetleyici Kontrollü Termohipoterm Tıp Cihazı Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi” Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Ankara, 14-22,(2005).
3. Rowe, D.M.,“CRC Handbook of Thermoelectrics”, *CRC Press* , 143-189 , (1995).
4. Jeffrey Snyder, G.,James, R. Lim, Huang,C.K., Fleurial, J.P., "Thermoelectric microdevice fabricated by a MEMS-like electrochemical process." *Nature Materials* 2 (8):528-531,(2003).
5. Sharp,J., Goldsmid, H. J., Nolas,G., Goldsmid,J., “Principles of Thermoelectrics: Basics and New Materials Development”, *Springer Series in Materials Science*, 300,(2001).
6. Tritt,T.“ Semiconductors and Semimetals”, *Recent Trends in Thermoelectric Materials Research Academic Press*,69,(2000).
7. Güler, N. F., Ahıska, R., “Design and testing of microprocessor-controlled portable thermoelectric medical cooling kit”, *Applied Thermal Engineering*, 22 1271-1276, (2002).
8. Dişlitaş,S.,“ Mikrodenetleyici Kontrollü Jeotermal Termoelektrik Jenaratör Tasarımı ve Uygulaması”,Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Ankara, 19-22,(2002).
9. Rowe, D.M., CRC Handbook of Thermoelectrics”, *CRC Press* , 83-131,(1995).
10. Güder , H.S., “ GaTe,GaTe:Er ve GaTe:Cu Yarıiletkenlerinin Büyütülmesi, Elektriksel ve Optik Karakterizasyon”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* ,Erzurum,1-11,(1999).
11. Rowe, D.M., Ph.D., Sc.D.,“CRC Handbook of Thermoelectrics”, *CRC Press* , 125-131 ,(1995).
12. Gürbudak , B., “Üçlü CuInSe₂ Tek Kristallerinin Büyütülmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Erzurum,14-19,(1999).
13. Yılmaz , O., “Bridgman-Stockbarger Yönetimi ile CsCdBr₃ Tek Kristallerinin Büyütülmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul,10-12,(1998).

14. Ueltzen, M., Heiliger, W., Reinshaus P., “On The Potential of Zone Melting for the Growth of Functionally Graded (Bi,Sb)₂ Te₃ –Mixed Crystals“, **2001 Cryst.Res.Technol.**, 36: 389-394,(2001).
15. Ueltzen, M., Heiliger, W., Reinshaus, P., “Improving yield and performance in pseudo-ternary thermoelectric alloys (Bi₂Te₃)(Sb₂Te₃)(Sb₂Se₃)“, **2001 Cryst.Res.Technol.**, 37: 411-427,(1996).
16. Kraft,T., Pompe,O., Exner,H.E.,The Influence of Temperature Gradient Zone Melting on Microsegregation,“**Metallurgical And Materials Transactions.**”, 29A: 359-365,(1998).
17. Gümüşkaya,H,“ Mikroişlemciler ve 8051 Ailesi” , **Alfa yayınları bilgisayar dizisi** , 25-29,(1998).
18. Altınbaşak, O., “Mikrodenetleyiciler ve PİC Programlama”, **Atlas yayınları**, 11-25,(2000).
19. Işık,M.F,“ Servo Sistemin Mikrodenetleyici (P1c) İle Denetimi” , Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara , 25-30,(2002).
20. Gardner, N,“ Yeni başlayanlar için PIC programlama el kitabı.” , Dinçer,G., /Yalçın,C., **Bilişim Yayıncılık**,6-18,(1998).
21. Smith,D.W,“Pic in Practice ” , **Bıçaklar Kitapevi basın Yayın ve Dağıtım ltd.şti**, 228-233,(2006).
22. KATZEN,S,“The Quintessential PIC Microcontroller”, **Bıçaklar Kitapevi basın Yayın ve Dağıtım LTD. ŞTİ** , 270-281,(2005).
23. Işık,H,“ Mikrodenetleyicili, Sıcaklık Kontrollü Amgk Sisteminin Tasarımı, Gerçekleştirilmesi ve Termoelektrik Sistemlere Uygulanması” Doktora Tezi , **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara , 45-53,(2002).
24. Bodur,Y,“ Adım Adım PIC Micro Programlama” ,**Era Bilgi Sistemleri Yayıncılık**, 106-118,(2004).
25. Doğan,İ, “PIC C ile Sıcaklık Projeleri”,**Era Bilgi Sistemleri Yayıncılık Elektronik San.Tic.Ltd.Şti**,122-138,(2003).
26. İbrahim,Prof. Dr. Doğan,“ PIC ve PC iletişim Projeleri ”,**Bileşim Yayıncılık Fuarcılık ve Tanıtım**,7-19,(2004).
27. Acar,S,“ Yüksek Sıcaklık Fırını Tasarımı ve Yapımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara , 18-20,(1996).

28. Başar,M. E.,“ Pı16C74B Mikrodenetleyici Tabanlı 5 Bölgesi Isıtma Kontrol Sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara , 9-11,(2002).
29. Doğan,İ, “ PIC C ile PIC Programlama”,**Era Bilgi Sistemleri Yayıncılık Elektronik San.Tic.Ltd.Şti**,115-125,(2003).
30. Doğan,İ.,Hamit,İ.M., “PIC Programlama ve İleri PIC Projeleri”,**Era Bilgi Sistemleri Yayıncılık Elektronik San.Tic.Ltd.Şti**,211-222,(2004).
31. Ahıska,R.,Ciylan,B.,Savaş,Y.,Güler,İ.,”Standart Termoelektrik Modülün Z parametresinin Ölçülmesi için Yeni Yöntem ve Yeni Sistem”, **Gazi Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Dergisi**, 19(4): 467-473,(2004).
32. Çelikdelen,H., “Step Motor Sürücü Devreleri”,Lisans Tezi,**Atatürk Üniversitesi Elk.Elektronik Müh.**, Erzurum , 72-79,(1998).
33. Maloğlu,H.,“ Step Motor ile Seviye Kontrolü”,Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Elk.Elektronik Müh.** , İstanbul , 47-52,(1997).
34. İskefiyel,M.,“ Step Motor ile Seviye Kontrolü” Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Elk.Elektronik Müh.** ,Ankara, 75-82,(1997).
35. Şahin,H, “Bilgisayar Destekli Tasarım PROTEUS”,**Altaş Yayıncılık Elektronik San.Tic.Ltd.Şti**,124-127,(2004).
36. Gerçek, C.,“ Yeni başlayanlar için Mikrokontroller” , Dinçer,G., /Yalçın,C., **Era Bilgi Sistemleri ve Yayıncılık**,1-5,(1998).
37. Dinçer,G.,Gerçek,C.,Bodur,A.,“PICBASIC PRO Pic Mikro Programlama”, **Era Bilgi Sistemleri ve Yayıncılık**,3-17,(1998).

EKLER

EK-1 BEC’de kullanılan programın C dilinde yazılmış kodu

```

/*bolgesel eritme yontemi ile pic entegresiyle kontrol*/
#include <pic.h>
#include <delay.c>
#include <lcd.c>
#include<stdio.h>
__CONFIG( XT&WDTDIS&PWRTDIS);
unsigned int binler=0;
unsigned int yuzler=0;
unsigned int onlar=0;
unsigned int birler=0;
unsigned int tur=0;
unsigned int tur1=0;
unsigned int r=0;
TUR()
{
    unsigned int sayac=0;
    unsigned char goster[]="TUR SAYISI= ";
    lcd_init();
    TRISE=0;
    while(RE1!=1)
    {
        lcd_clear();
        sprintf( goster+10," %d ",sayac) ;
        lcd_puts(goster);
        if(RE2==1){ sayac++; }
        DelayMs(250);
        RE2=0;
        if(RA5==1){
            if(sayac==0){ sayac==0;}
            else
                sayac--;
            DelayMs(250);
            RA5=0;
        }
        r=sayac;
    }
}
tersadimver(int t)
{
    unsigned int j;
    for(j=1;j<=t;j++)
    {
        if(tur1>=6200){tur=0;tur1=0; break;}
        RD3=1;
        RD2=0;
        RD1=1;
        RD0=0;
    }
}

```

EK-1 (Devam) BEC’de kullanılan programın C dilinde yazılmış kodu

```

        DelayMs(10);
        RD2=1;
        RD3=1;
        RD1=0;
        RD0=0;
        DelayMs(10);
        RD1=0;
        RD0=1;
        RD3=0;
        RD2=1;
        DelayMs(10);
        RD1=1;
        RD2=0;
        RD0=1;
        RD3=0;
        DelayMs(10);
        tur1=tur1+1;
    }
}
duzadimver(int k)

{
    unsigned int i;
    for(i=1;i<=k;i++)
    {
        if(tur>=6200){tur1=0; break; }
        RD2=1;
        RD3=0;
        RD1=0;
        RD0=1;
        DelayMs(10);
        RD2=1;
        RD3=1;
        RD1=0;
        RD0=0;
        DelayMs(10);
        RD1=1;
        RD2=0;
        RD3=1;
        RD0=0;
        DelayMs(10);
        RD0=1;
        RD2=0;
        RD1=1;
        RD3=0;
        DelayMs(10);
    }
}

```

EK-1 (Devam) BEC’de kullanılan programın C dilinde yazılmış kodu

```

        tur=tur+1;
    }
}

```

```

lcd_tus0(a)
{
    unsigned char tus[]="C DEGERI GIR= ";
    lcd_init();
    lcd_clear();
    sprintf(tus+13,"%d",a);
    lcd_puts(tus);
    DelayMs(250);
    DelayMs(250);
    DelayMs(250);
    DelayMs(250);
}

```

```

lcd_tus1(s)
{
    unsigned char tus[]="C DEGERI= ";
    lcd_init();
    lcd_clear();
    sprintf(tus+9,"%d",s);
    lcd_puts(tus);
    DelayMs(250);
}

```

```

lcd_tus2(s,t)
{
    unsigned char tus[]="C DEGERI= ";
    lcd_init();
    lcd_clear();
    sprintf(tus+9,"%d%d",s,t);
    lcd_puts(tus);
    DelayMs(250);
}

```

```

lcd_tus3(s,t,u)
{
    unsigned char tus[]="C DEGERI= ";
    lcd_init();
    lcd_clear();
}

```

EK-1 (Devam) BEC’de kullanılan programın C dilinde yazılmış kodu

```

sprintf(tus+9,"%d%d%d",s,t,u);
lcd_puts(tus);
DelayMs(250);
}
lcd_tus4(s,t,u,v)
{
unsigned char tus[]="UST SINIR = ";
lcd_init();
lcd_clear();
sprintf(tus+11,"%d%d%d%d",s,t,u,v);
lcd_puts(tus);
DelayMs(250);
}
lcd_yaz(i,j)
{
unsigned char goster[]="SICAKLIK= ";
lcd_init();
lcd_goto(0x40);
sprintf(goster+9,"%d,%d C",i,j);
lcd_puts(goster);
DelayMs(250);
}
tura()
{
    unsigned char bas1,bas2,bas3,bas4;
    bas1=0;
    bas2=0;
    bas3=0;
    bas4=0;
for(;;)
    {
        while (RB4!=1)
        {
            RC4=0;
            RC5=1;
            RC6=1;
            if(RC0==0){ bas1=1; lcd_tus1(bas1); }
            if(RC1==0){ bas1=4; lcd_tus1(bas1); }
            if(RC2==0){ bas1=7; lcd_tus1(bas1); }
            if(RC3==0){ bas1=10; lcd_tus1(bas1); }

            RC4=1;
            RC5=0;
            RC6=1;

```

EK-1 (Devam) BEC’de kullanılan programın C dilinde yazılmış kodu

```

    if (RC0==0){ bas1=2; lcd_tus1(bas1);    }
    if(RC1==0){ bas1=5; lcd_tus1(bas1);    }
    if(RC2==0) { bas1=8; lcd_tus1(bas1);    }
    if(RC3==0){ bas1=0; lcd_tus1(bas1);    }
        RC4=1;
        RC5=1;
        RC6=0;

    if (RC0==0){ bas1=3;lcd_tus1(bas1);    }
    if(RC1==0){ bas1=6;lcd_tus1(bas1);    }
    if(RC2==0) { bas1=9;lcd_tus1(bas1);    }
    if(RC3==0){ bas1=11;lcd_tus1(bas1);    }
}
binler=bas1;
while(RB5!=1)
{
    RC4=0;
    RC5=1;
    RC6=1;

    if(RC0==0){ bas2=1;lcd_tus2(bas1,bas2);}
    if(RC1==0){ bas2=4;lcd_tus2(bas1,bas2); }
    if(RC2==0){ bas2=7;lcd_tus2(bas1,bas2); }
    if(RC3==0){ bas2=10; lcd_tus2(bas1,bas2); }

    RC4=1;
    RC5=0;
    RC6=1;

    if (RC0==0){ bas2=2;lcd_tus2(bas1,bas2); }
    if(RC1==0){ bas2=5;lcd_tus2(bas1,bas2);    }
    if(RC2==0) { bas2=8;lcd_tus2(bas1,bas2);    }
    if(RC3==0){ bas2=0;lcd_tus2(bas1,bas2);    }

    RC4=1;
    RC5=1;
    RC6=0;

    if (RC0==0){ bas2=3;lcd_tus2(bas1,bas2);}
    if(RC1==0){ bas2=6;lcd_tus2(bas1,bas2);    }
    if(RC2==0) { bas2=9;lcd_tus2(bas1,bas2);    }
    if(RC3==0){ bas2=11;lcd_tus2(bas1,bas2);    }
}
yuzler=bas2;

```

EK-1 (Devam) BEC’de kullanılan programın C dilinde yazılmış kodu

```

while(RB6!=1)

{
    RC4=0;
    RC5=1;
    RC6=1;

    if(RC0==0){ bas3=1;lcd_tus3(bas1,bas2,bas3);}
    if(RC1==0){ bas3=4;lcd_tus3(bas1,bas2,bas3); }
    if(RC2==0){ bas3=7;lcd_tus3(bas1,bas2,bas3); }
    if(RC3==0){ bas3=10;lcd_tus3(bas1,bas2,bas3); }

    RC4=1;
    RC5=0;
    RC6=1;

    if(RC0==0){ bas3=2;lcd_tus3(bas1,bas2,bas3);}
    if(RC1==0){ bas3=5;lcd_tus3(bas1,bas2,bas3); }
    if(RC2==0){ bas3=8;lcd_tus3(bas1,bas2,bas3); }
    if(RC3==0){ bas3=0;lcd_tus3(bas1,bas2,bas3); }

    RC4=1;
    RC5=1;
    RC6=0;

    if(RC0==0){ bas3=3;lcd_tus3(bas1,bas2,bas3);}
    if(RC1==0){ bas3=6;lcd_tus3(bas1,bas2,bas3); }
    if(RC2==0){ bas3=9;lcd_tus3(bas1,bas2,bas3); }
    if(RC3==0){ bas3=11;lcd_tus3(bas1,bas2,bas3); }

}
onlar=bas3;
while(RB7!=1)

{
    RC4=0;
    RC5=1;
    RC6=1;

    if(RC0==0){ bas4=1;lcd_tus4(bas1,bas2,bas2,bas4);}
    if(RC1==0){ bas4=4;lcd_tus4(bas1,bas2,bas3,bas4); }
    if(RC2==0){ bas4=7;lcd_tus4(bas1,bas2,bas3,bas4); }
    if(RC3==0){ bas4=10;lcd_tus4(bas1,bas2,bas3,bas4); }

```

EK-1 (Devam) BEC’de kullanılan programın C dilinde yazılmış kodu

```

        RC4=1;
        RC5=0;
        RC6=1;
        if(RC0==0){ bas4=2;lcd_tus4(bas1,bas2,bas2,bas4);}
        if(RC1==0){ bas4=5;lcd_tus4(bas1,bas2,bas3,bas4); }
        if(RC2==0){ bas4=8;lcd_tus4(bas1,bas2,bas3,bas4); }
        if(RC3==0){ bas4=0;lcd_tus4(bas1,bas2,bas3,bas4); }
        RC4=1;
        RC5=1;
        RC6=0;

        if(RC0==0){ bas4=3;lcd_tus4(bas1,bas2,bas2,bas4);}
        if(RC1==0){ bas4=6;lcd_tus4(bas1,bas2,bas3,bas4); }
        if(RC2==0){ bas4=9;lcd_tus4(bas1,bas2,bas3,bas4); }
        if(RC3==0){ bas4=11;lcd_tus4(bas1,bas2,bas3,bas4); }

    }
    birler=bas4;

    lcd_tus4(bas1,bas2,bas3,bas4);
    break;
}
}
/* ANA PROGRAM */
main(void)
{
    const float lsb=5000.0/1024.0;
    int adc, sayac;
    float mV,toplam_adc,santigrat_tamsayi;
    unsigned int msb=0;
    unsigned int lsbi=0;
    unsigned int deger=0;
    binler=0;
    yuzler=0;
    onlar=0;
    birler=0;
    tur=0;
    tur1=0;
    r=0;
    TRISB=0b00000000;
    TRISA=1;
    TRISD=0b00000000;
    TRISE=0b00000000;
    TRISC=0b00001111;
    ADCON1 = 0x8E;

```

EK-1 (Devam) BEC’de kullanılan programın C dilinde yazılmış kodu

```

ADCON0 = 0x41;
lcd_tus0();
tara();

deger=binler*1000;
deger=deger+yuzler*100;
deger=deger+onlar*10;
deger=deger+birler*1;
TUR();
RD7=1;
RE1=0;
lcd_tus4(binler,yuzler,onlar,birler);
for(;;)
{
    toplam_adc=0;
    for(sayac=0;sayac<50;sayac++)
    {
        ADGO=1;
        while(ADGO!=0);
        adc=256*ADRESH+ADRESL;
        toplam_adc=toplam_adc+adc;
    }
    toplam_adc=toplam_adc/50;
    mV=toplam_adc*1sb;
    santigrat_tamsayi=mV/5;
    santigrat_tamsayi=santigrat_tamsayi+2.0;
    msb=(int)santigrat_tamsayi;
    lsbi=(int)(10.0*(santigrat_tamsayi-msb));
    lcd_yaz(msb,lsbi);
    if(deger<=msb)
    {
        RD7=0;
        if(tur==6200)
        { tersadimver(r);}

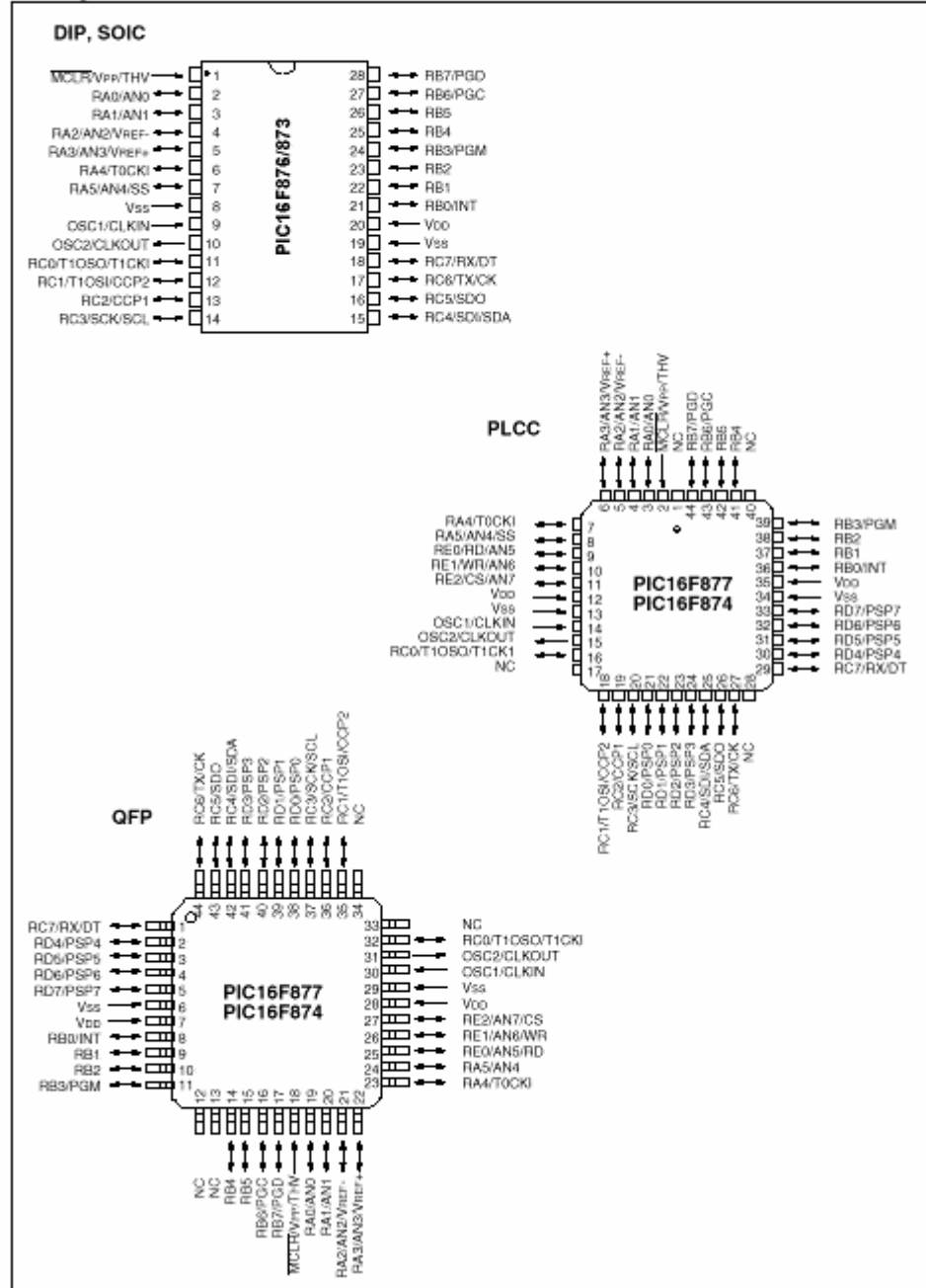
        if(tur<6200)
        { duzadimver(r);}
    }
    else
    { RD7=1;      }
}
}

```

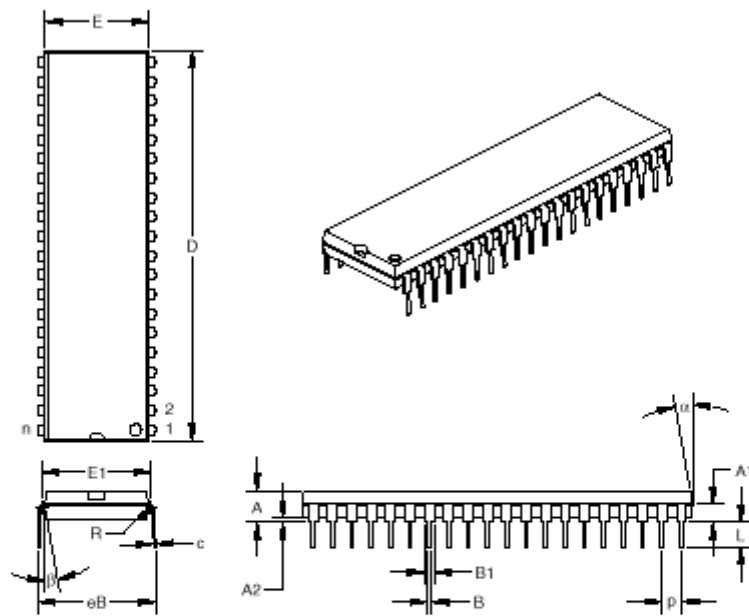
EK-2 PIC16F87X ayak bağlantıları

PIC16F87X

Pin Diagrams



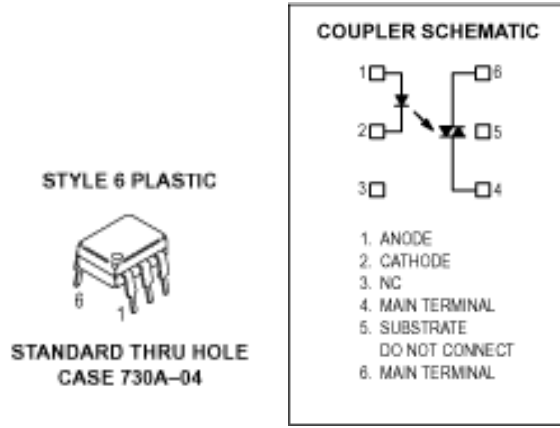
EK-3 40 Pin PIC 16F87X ayak ölçüleri

PIC16F87X**17.4 K04-016 40-Lead Plastic Dual In-line (P) – 600 mil**

Units		INCHES*			MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
PCB Row Spacing			0.600			15.24	
Number of Pins	n		40			40	
Pitch	p		0.100			2.54	
Lower Lead Width	B	0.016	0.018	0.020	0.41	0.46	0.51
Upper Lead Width	B1†	0.045	0.050	0.055	1.14	1.27	1.40
Shoulder Radius	R	0.000	0.005	0.010	0.00	0.13	0.25
Lead Thickness	c	0.009	0.010	0.011	0.23	0.25	0.28
Top to Seating Plane	A	0.110	0.160	0.160	2.79	4.06	4.06
Top of Lead to Seating Plane	A1	0.073	0.093	0.113	1.85	2.36	2.87
Base to Seating Plane	A2	0.020	0.020	0.040	0.51	0.51	1.02
Tip to Seating Plane	L	0.125	0.130	0.135	3.18	3.30	3.43
Package Length	D [§]	2.013	2.018	2.023	51.13	51.26	51.38
Molded Package Width	E†	0.530	0.535	0.540	13.46	13.59	13.72
Radius to Radius Width	E1	0.545	0.565	0.585	13.84	14.35	14.86
Overall Row Spacing	eB	0.630	0.610	0.670	16.00	15.49	17.02
Mold Draft Angle Top	α	5	10	15	5	10	15
Mold Draft Angle Bottom	β	5	10	15	5	10	15

EK-4 MOC 3010 entegresinin özellikleri

Moc 3010 entegresi yüksek voltajlı elektronik devrelerde izolatör triak tetikleyicisi olarak çalışmaktadır. Moc 3010 entegresinde gallium arsenid kızılötesi diod bulunmaktadır. Bu diot çift yönlü anahtarı tetiklemekte bu tetikleme işlemi ile de triyak için gerekli sinyal gönderilmektedir. Maximum 7500 V AC gerilimde kullanılmaktadır. Yüksek performansta elektrik izelasyonu küçüklüğü ve ucuz olması, uygulamalar da sıklıkla kullanılmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.1. MOC 3010 entegresinin iç yapısı ve simgesi

Şekilde gösterilen 6 bacaklı MOC 3010 entegresinin 1 ve 2 numaralı bacaklarına kızılötesi diod yerleştirilmiştir. 4 ve 6 numaralı bacaklara teminaller yerleştirilmiştir. Kızıl ötesinin tetiklemesi ile çift yönlü anahtar iletime geçerek 4ve 6 numaralı uçlar birleştirilmektedir.

EK-4 (Devam) MOC 3010 entegresinin özellikleri

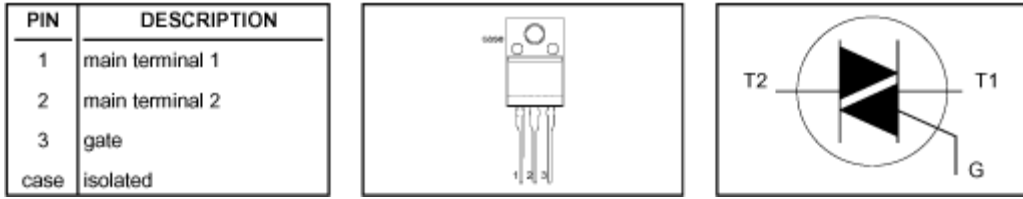
Çizelge 4.1. Moc 3010 entegresinin karakteristik özellikleri

Özellikler	Sembol	Değer	Birim
Kızılötesi Yayan Diod			
İletime geçirme voltajı	VR	3	Volt
İletime geçirme akımı	IF	60	mA
Toplam Güç	PD	100	mW
Çıkış Özellikleri			
Çıkış terminal voltajı	VDRM	250	Volt
Maximum çıkış akımı PW=1ms, 120 pps	ITSM	1	A
TOPLAM			
Maximum İzolasyon voltajı 60Hz	VISO	7500	VAC(PK)
Toplam Güç 25°C	PD	330	mW
Bağlantı Sıcaklığı	TJ	-40 +100	°C
Çalışma ortam sıcaklığı	TA	-40 +85	°C
Depolanma Sıcaklığı	Tstg	-40 +150	°C
Lehimleme Sıcaklığı 10s	TI	260	°C

EK-5 BT138 triyağın özellikleri

BT138 triyak

Rezistans sürücü devresinde kullanılan bir diğer eleman ise BT138 triyak tır. Bu triyak yüksek voltajlarda anahtarlama yeteneğinin olması sebebiyle kullanılmıştır. Gate ucuna gönderilecek sinyal ile terminal uçlarını anahtarlama görevi gerçekleştirmektedir.



Şekil 5.1. BT138 Triyak simgesi ve iç yapısı

Çizelge 5.1. BT138 triyak karakteristik özellikleri

Özellikler	Sembol	Değer	Birim
Maximum çalışma voltajı	V_{DRM}	800	V
Maximum gate akımı	I_{GM}	2	A
Maximum gate voltajı	V_{GM}	5	V
Maximum gate gücü	P_{GM}	5	W
Ortalama gate gücü	$P_{G(AV)}$ 20 ms period	0,5	W
Maximum Çalışma sıcaklığı	T_{STG}	-40 150	°C

EK-6 Termokupl eleman tel cinsleri

Termokupl

-200°C'den 2320°C'ye kadar çeşitli sıcaklık aralıklarında en çok kullanılan DIN 43710 ve IEC 584 standart termokupl eleman teli çeşitleri şöyledir:

- | | |
|--------------------|--|
| 1) Cu-Const (CuNi) | Bakır-Konstantan |
| 2) Fe-Const (CuNi) | Demir-Konstantan |
| 3) Cr-Al | Kromel-Alümel |
| 4) NiCr-Ni | Nikelkrom-Nikel |
| 5) Nikrosil-Nisil | Nikelkrom Silikon-Nikelsilikon magnezyum |
| 6) Pt%10Rh-Pt | Platin Rodyum-Platin (%10) |
| 7) Pt%13Rh-Pt | Platin Rodyum-Platin (%13) |
| 8) Pt%18Rh-Pt | Platin Rodyum-Platin (%18) |
| 9) Tn-Tn%26Re | Tungsten-Tungsten %26 Renyum |

Bu termokuplların sıcaklık limitlerini ve standart kodlarını sıralayacak olursak,

Çizelge 6.1. Çeşitli termokupllar ve sıcaklık limitleri

TEL CİNSİ	DIN 43710	DIN 43710 IEC 584	SICAKLIK ARALIĞI
Cu-Const	U	T	-200 ÷ 300 °C
Fe-Const	L	J	-200 ÷ 800 °C
Cr-Al		K	-200 ÷ 1200 °C
NiCr-Ni		K	-200 ÷ 1200 °C
Cr-Const		E	-200 ÷ 1200 °C
Nikrosil-Nisil		N	0 ÷ 1200 °C
Pt%10Rh-Pt		S	0 ÷ 1500 °C
Pt%13Rh-Pt		R	0 ÷ 1600 °C
Pt%18Rh-Pt		B	0 ÷ 1800 °C
Tn-Tn%26Re		W	0 ÷ 2000 °C

EK-7 K tipi termokupl sıcaklık mV tablosu

Çizelge 7.1. K tipi termokupl sıcaklık mV tablosu

°C	-100	-0	°C	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1.000	1.100	1.200	1.300	°C
-0	-3.553	0.000	0	0.000	4.095	8.137	12.207	16.395	20.640	24.902	29.128	33.277	37.325	41.269	45.108	48.828	52.398	0
-10	-3.852	-0.392	10	0.397	4.508	8.537	12.623	16.818	21.066	25.327	29.547	33.686	37.724	41.657	45.486	49.192	52.747	10
-20	-4.138	-0.777	20	0.798	4.919	8.938	13.039	17.241	21.493	25.751	29.965	34.095	38.122	42.045	45.863	49.555	53.093	20
-30	-4.410	-1.156	30	1.203	5.327	9.341	13.456	17.664	21.919	26.176	30.383	34.502	38.519	42.432	46.238	49.916	53.439	30
-40	-4.699	-1.527	40	1.611	5.733	9.745	13.874	18.088	22.346	26.599	30.799	34.909	38.915	42.817	46.612	50.276	53.782	40
-50	-4.912	-1.889	50	2.022	6.137	10.151	14.292	18.513	22.772	27.022	31.214	35.314	39.310	43.202	46.985	50.633	54.125	50
-60	-5.141	-2.243	60	2.436	6.539	10.560	14.712	18.938	23.198	27.445	31.629	35.718	39.703	43.585	47.356	50.990	54.466	60
-70	-5.354	-2.586	70	2.850	6.939	10.969	15.132	19.363	23.624	27.867	32.042	36.121	40.096	43.968	47.726	51.344	54.807	70
-80	-5.550	-2.920	80	3.266	7.338	11.381	15.552	19.788	24.050	28.288	32.455	36.524	40.488	44.349	48.095	51.697		80
-90	-5.730	-3.242	90	3.681	7.737	11.793	15.974	20.214	24.476	28.709	32.866	36.925	40.879	44.729	48.462	52.049		90
-100	-5.891	-3.553	100	4.095	8.137	12.207	16.395	20.640	24.902	29.128	33.277	37.325	41.269	45.108	48.828	52.398		100

EK-8 Kanthal D tipi rezistansın teknik özellikleri

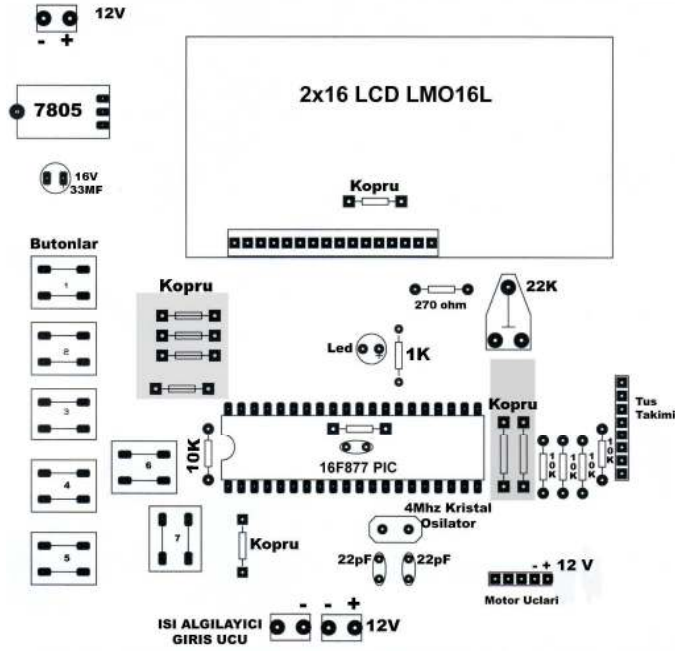
Çizelge 8.1. Kanthal D tipi rezistansın teknik özellikleri

	KANTHAL APM	KANTHAL A-1	KANTHAL AF	KANTHAL D	NIKROTHAL N80	NIKROTHAL N70	NIKROTHAL N60	NIKROTHAL N40
Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı,								
C	1425	1400	1300	1300	1200	1250	1150	1100
F	2600	2550	2370	2370	2190	2280	2100	2010
Nominal bileşim %								
Cr	22	22	22	22	20	30	15	20
AL	5,8	5,8	5,3	4,8	-	-	-	-
Fe	Kalanı	Kalanı	Kalanı	Kalanı	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-	80	70	60	35
20 C, direnç,Ω mm²m¹	1,45	1,45	1,39	1,35	1,09	1,18	1,11	1,04
68 F,Ω/cmf	872	872	836	812	655	704	668	626
Yoğunluk, g/cm³	7,1	7,1	7,15	7,25	8,3	8,1	8,2	7,9
lb/in³	0.256	0.256	0.259	0.262	0.300	0.296	0.296	0.285
	KANTHAL APM	KANTHAL A-1	KANTHAL AF	KANTHAL D	NIKROTHAL N80	NIKROTHAL N70	NIKROTHAL N60	NIKROTHAL N40
Isıl Genleşme katsayısı, K ⁻¹								
20-750 C,	14 10 ⁻⁶	14 10 ⁻⁶	14 10 ⁻⁶	14 10 ⁻⁶	17 10 ⁻⁷	16 10 ⁻⁶	16 10 ⁻⁶	18 10 ⁻⁶
68-1380 F								
20-1000 C,	15 10 ⁻⁶	15 10 ⁻⁶	15 10 ⁻⁶	15 10 ⁻⁶	18 10 ⁻⁶	17 10 ⁻⁶	17 10 ⁻⁶	19 10 ⁻⁶
68-1838 F								
20 C, ısıt etkenlik								
W m ⁻¹ K ⁻¹	13	13	13	13	13	13	13	13
68 F, Btu inf ^t ²h ⁻¹ F ⁻¹	90	90	90	90	104	90	90	90
Spesifik ısı kapasitesi								
KJ kg ⁻¹ K ⁻¹ , 20 C	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,5
Btu lb ⁻¹ F ⁻¹ ,68 F	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.119
Ergime sıcaklığı, C	1500	1500	1500	1500	1400	1380	1390	1390
F	2730	2730	2730	2730	2550	2515	2535	2535
Mekanik özellikler (yaklaşık)*								
Gerileme mukavemeti, Nmm ⁻²	680	680	680	680	750	875	750	750
Psi	99000	99000	99000	99000	109000	127000	10900	109
Kopma mukavemeti,Nmm ⁻²	445	445	445	445	450	450	450	450
Psi	65000	65000	65000	65000	65000	65000	65000	65000
Sertlik. Hv.	230	230	230	230	180	185	180	180
Kopma uzaması, %	19	19	19	19	30	30	30	30

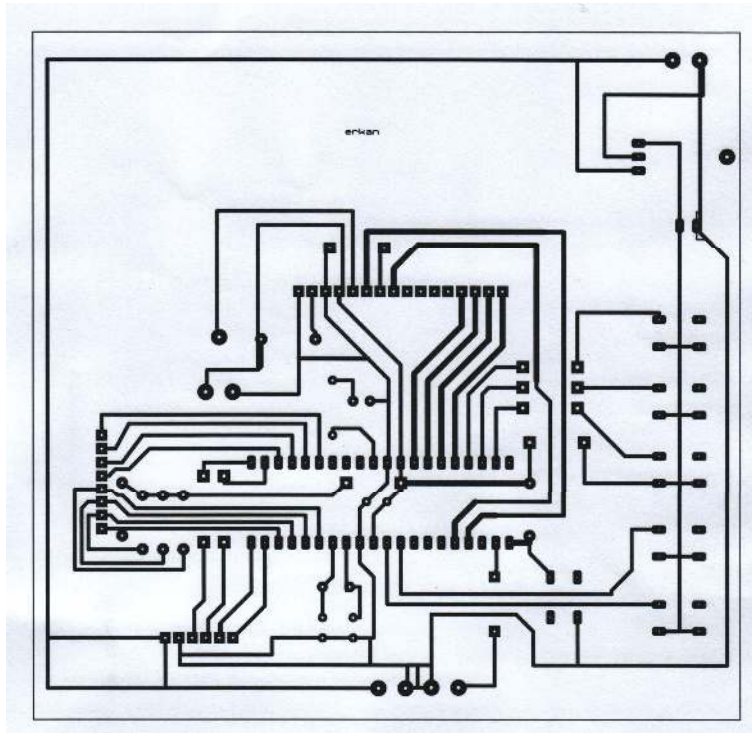
EK-8 (Devam) Kanthal D tipi rezistansın teknik özellikleri

	KANTHAL APM	KANTHAL A-1	KANTHAL AF	KANTHAL D	NIKROTHAL N80	NIKROTHAL N70	NIKROTHAL N60	NIKROTHAL N40
900 C,gerilme mukavemeti								
Nmm ²	40	34	37	34	100	120	100	120
1650 F, psi	5800	5000	5400	5000	14500	17400	14500	17400
800 C, sürünme muk.Nmm ²	14	6	8	6	15	15	15	20
1000 C, sürünme muk.,Nmm ²	01.Ağu	1	01.May	1	4	4	4	4
1470 F, psi	2000	870	1160	870	2160	2160	2160	2160
1830 F, psi	260	145	215	145	580	580	580	580
Manyetik Özellikler	Manyetik	(Curie	Noktası	600 C 1100 F)	**M.D.	M.D.	***Y.M.	M.D.
Yayınma, tam oksidasyon şartlarında	0,7	0,7	0,7	0,7	0,88	0,88	0,88	0,88

EK-9 BEC anakart baskıdevresi

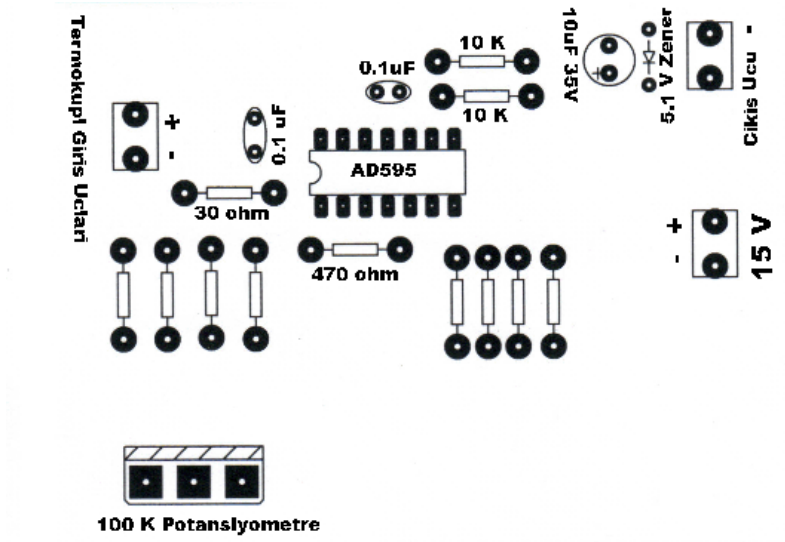


Şekil 9.1. BEC Anakart Malzeme Yerleşim Planı

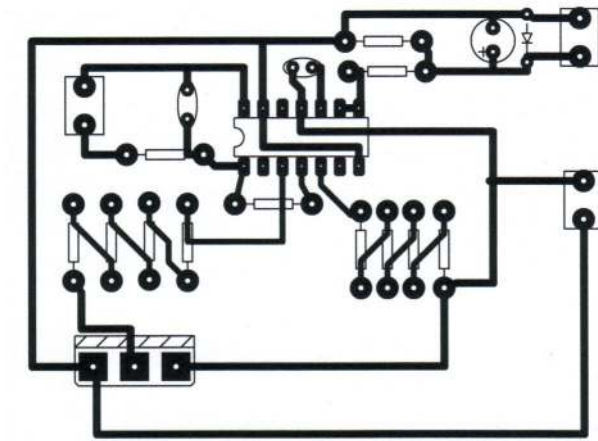


Şekil 9.2. BEC Anakart Baskıdevresi

EK-10 BEC sıcaklık algılayıcı baskıdevresi

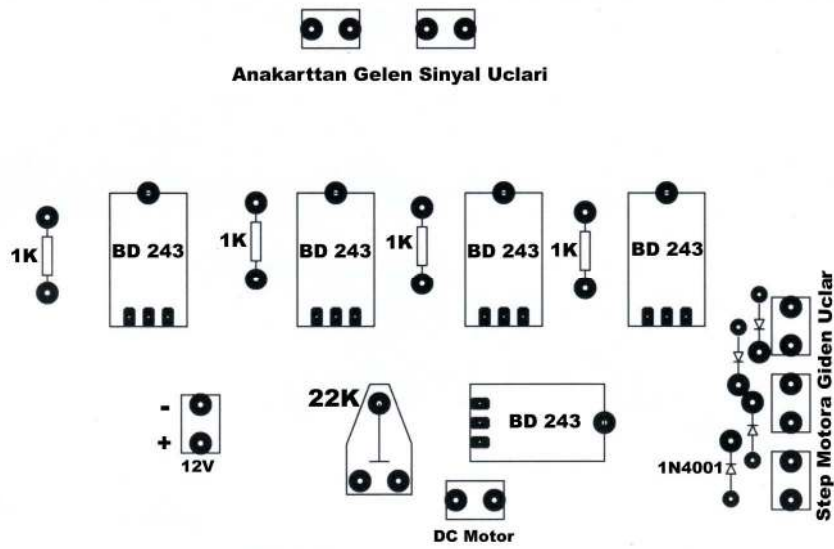


Şekil 10.1. BEC Sıcaklık Algılayıcı Malzeme Yerleşim Planı

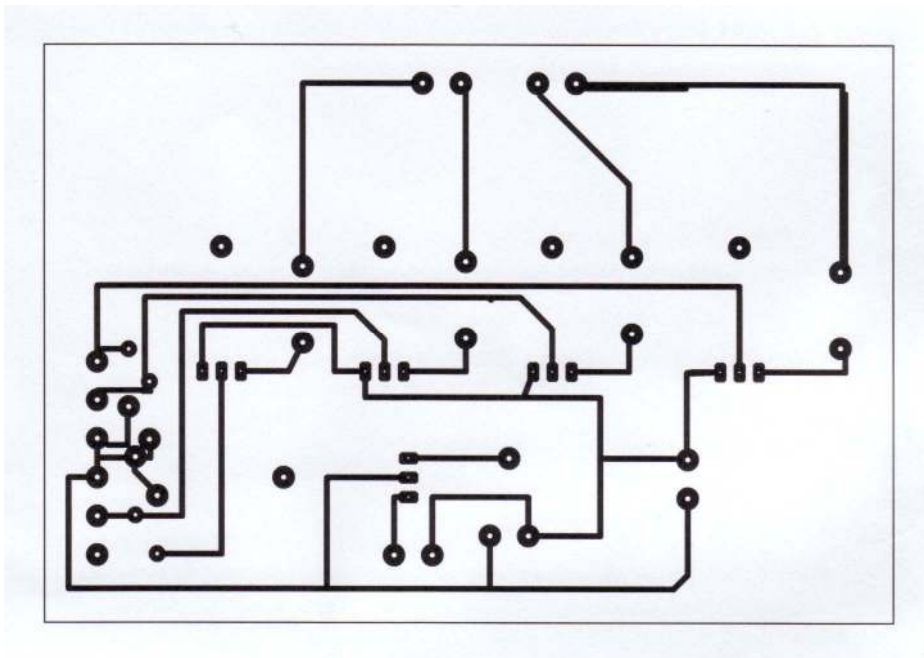


Şekil 10.2. BEC Sıcaklık Algılayıcı Baskıdevresi

EK-11 BEC motor sürücü devresi baskıdevresi

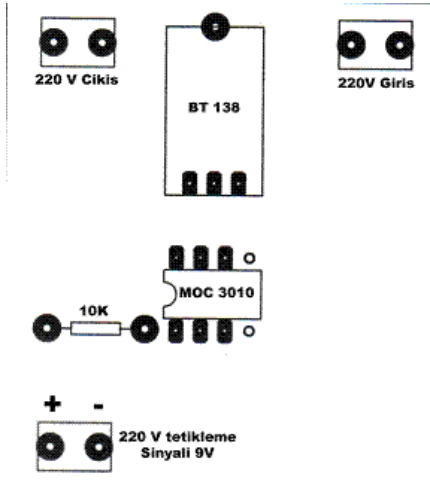


Şekil 11.1. BEC Motor Sürücü Devresi Malzeme Yerleşim Planı

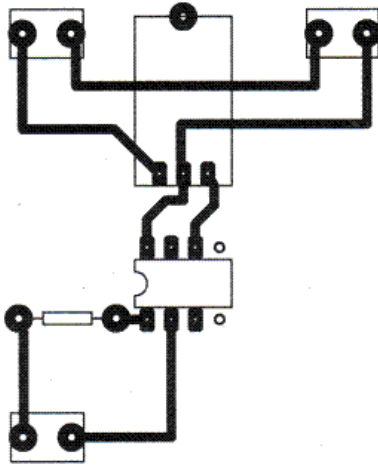


Şekil 11.2. BEC Motor Sürücü Devresi Malzeme Yerleşim Planı

EK-12 BEC rezistans sürücü devresi baskıdevresi



Şekil 12.1. BEC Rezistans Sürücü Devresi Malzeme Yerleşim Planı



Şekil 12.2. BEC Rezistans Sürücü Devresi Malzeme Yerleşim Planı

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖKTEN, Erkan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 25.09.1980 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 327 30 34
 Faks : 0 (312) 417 96 44
 e-mail : eokten@meb.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Bilgisayar Bölümü	2003
Lise	Y.mahalle Tek. Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003-2005	Ş.Koçhisar End. Mes. Lisesi	Bilgisayar Öğretmeni
2005-2006	M.E.B. İlköğretim Genel Müdürlüğü	Bilgi İşlem

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Satranç, Uçak Mekaniği, Futbol ,Bilardo