

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN ARACIN ELEKTRİK VE ELEKTRONİK
SİSTEMİNİN MİKRODENETLEYİCİLER İLE TASARIMI VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgisayar Öğr. Metin SUNAN

Ana Bilim Dalı: Mekatronik Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. H. Metin ERTUNÇ

HAZİRAN 2006

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN ARACIN ELEKTRİK VE ELEKTRONİK
SİSTEMİNİN MİKRODENETLEYİCİLER İLE TASARIMI VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metin SUNAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 HAZİRAN 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 27 HAZİRAN 2006

Tez Danışmanı

Üye

Üye

Yrd. Doç.Dr. H. Metin ERTUNÇ

Yrd.Doç.Dr. Zafer BİNGÜL

Yrd.Doç.Dr. Mehmet BAYRAK

()

()

()

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Güneş enerjisi gibi maliyeti olmayan ve kaynağı hiç bitmeyen enerjilerden faydalanmak fikri insanoğlunun gündeminde hep vardı. Bu fikirlerden birisi ise ulaşımın bu ücretsiz kaynaklar ile yapılmasıdır. Güneş arabaları üzerine yapılmış olan araştırma ve çalışmalar henüz bu fikri tam olarak yerine getirememiş olsa bile yapılan çalışmalar bilimin farklı alanlarına kaynak teşkil etmiştir. Bu tasarımı yapılan araçta güneş panelleri, aküler, motorlar, mikro denetleyiciler, LCD ekranlar ve birçok sensorlar kullanılarak ülkemizin teknoloji kullanımı ve yerli tasarım gücü arttırılmaya çalışılmıştır.

Tez çalışmalarım sırasında karşılaştığım her türlü problemimde, desteklerini benden esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Metin ERTUNÇ'a, bu tez ve diğer tüm çalışmalarım sırasında bana her zaman moral desteği sağlayan eşim Hatice SUNAN'a ve değerli arkadaşım Metin KESLER'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLOLAR DİZİNİ	ix
SİMGELER	x
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	3
2.1. Isıl Güneş Teknolojileri	6
2.1.1. Düşük sıcaklık sistemleri	7
2.1.1.1. Düzlemsel güneş kolektörleri	7
2.1.1.2. Ürün kurutma ve seralar	7
2.1.2. Yoğunlaştırıcı sistemler	8
2.1.2.1. Parabolik oluk kolektörler	8
2.1.2.2. Parabolik çanak sistemler	9
2.1.2.3. Merkezi alıcı sistemler	10
2.2. Güneş Işınımı	10
2.2.1. Güneş pilleri (fotovoltaik piller)	11
2.2.2. Güneş pillerinin yapısı ve çalışması	12
2.2.3. Güneş pili sistemleri	14
3. DC-DC ÇEVİRİCİLER	20
3.1. Buck Çevirici	23
3.2. Boost Çevirici	30
3.3. Buck-Boost Çevirici	34
3.4. Flyback Çeviriciler	37
3.5. İdeal Olmayan Durumlar	42
3.5.1. Buck çevirici	43
3.5.2. Boost çevirici	45
4. ELEKTRİK SİSTEMİ TASARIMI	49
4.1. Güneş Panelleri	51
4.2. Akü Grubu	54
4.3. Motor	55
4.4. Motor Sürücü	57
4.5. Elektrik Kumanda Paneli	60
4.6. Kablolarda Yerleşim	62
5. ELEKTRONİK SİSTEM TASARIMI	64
5.1. Maksimum Güç Noktası İzleyici	66
5.1.1. Tasarım	66
5.1.2. Tasarım kriterleri	68
5.1.3. Simülasyon	69
5.1.3.1. Güneş paneli modeli	70
5.1.3.2. DC-DC çevirici modeli	76

5.1.3.3. MPPT algoritması modeli	79
5.1.3.4. Değişken yük modeli	84
5.1.4. Donanım tasarımı	85
5.1.4.1. Boost çevirici ve PWM sürücü	86
5.1.4.2. Gerilim algılayıcıları	93
5.1.4.3. Akım algılayıcıları	96
5.1.4.4. Mikro denetleyici	99
5.1.4.5. Seri haberleşme	108
5.1.5. Yazılım tasarımı	110
5.1.6. Baskılı devre tasarımı	112
5.2. Sürücü Paneli	115
5.2.1. Sürücü kontrolleri	117
5.2.2. Sürücü ekranı	120
5.2.3. Tasarım	121
5.2.4. Simülasyon	123
5.2.5. Donanım tasarımı	124
5.2.6. Yazılım tasarımı	129
5.2.7. Baskılı devre tasarımı	130
5.3. Hız Ölçümü Devresi	131
5.3.1. Tasarım	131
5.3.2. Simülasyon	133
5.3.3. Donanım tasarımı	134
5.3.4. Yazılım tasarımı	137
5.3.5. Baskılı devre tasarımı	139
5.4. Akım Ölçümü Devresi	140
5.4.1. Tasarım	141
5.4.2. Simülasyon	141
5.4.3. Donanım tasarımı	141
5.4.4. Yazılım tasarımı	144
5.4.5. Baskılı devre tasarımı	146
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	148
KAYNAKLAR	151
EK A.1 NE80-EJE Güneş Paneli Veri sayfaları	153
EK A.2 Curtis 1227-37 Motor Sürücü Veri Sayfaları	154
EK A.3 IXFH 75N10 Veri Sayfaları	157
EK A.4 DSEI 60 Veri Sayfaları	158
EK A.5 TC4428 MOSFET Sürücü Entegresi Veri Sayfaları	159
EK A.6 TL494 PWM Kontrol Entegresi Veri Sayfaları	160
EK A.7 LA 55-P/SP1 Akım Sensörü Veri Sayfaları	163
EK A.8 75176 (MAX485) RS485 LVDS Entegresi Veri sayfaları	164
EK A.9 PIC16F877 Mikro Denetleyici Entegresi Veri Sayfaları	165
EK A.10 PG12864 Grafik LCD Ekranı Veri Sayfaları	166
EK A.11 PIC16F452 Mikro Denetleyici Entegresi Veri Sayfları	167
EK A.12 PIC16F628 Mikro Denetleyici Entegresi Veri Sayfaları	168
EK A.13 LM2575 Anahtarlamalı Regülatör Entegresi Veri Sayfaları	169
EK B.1 Güneş Paneli Simülasyon Programı Kaynak Kodları	170
EK B.2 MPPT Bloğu Microsoft Visual C++ Kaynak Kodları	173
EK C.1 MPPT Devre Şemaları	176
EK C.2 Sürücü Ekranı Devre Şemaları	183

EK C.3 Hız Ölçümü Devre Şemaları	189
EK C.4 Akım Ölçümü Devre Şemaları.....	192
ÖZGEÇMİŞ	197

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Güneş kolektörleri.....	7
Şekil 2.2: Seracılıkta kullanım	8
Şekil 2.3: Oluk kolektörler	8
Şekil 2.4: 350 MW gücünde parabolik oluk güneş santrali-Kaliforniya	9
Şekil 2.5: Parabolik Çanak Güneş Isıl Elektrik Santrali (İspanya)	9
Şekil 2.6: Solar I merkezi alıcı güneş ısı elektrik santrali (İspanya).....	10
Şekil 2.7: Güneşten Gelen Işınımın Dağılımı	11
Şekil 2.8: Güneş Pili.....	12
Şekil 2.9: Güneş pilindeki p ve n maddeleri	14
Şekil 2.10: Güneş enerjili sistem.....	15
Şekil 2.11: Güneş enerjisinden elektrik üretimi	16
Şekil 2.12: Çatısı Güneş Pili Kaplı Ev	17
Şekil 2.13: Güneş Pilleri ile Sokak Aydınlatması	17
Şekil 2.14: Güneş Pilleri ile Bahçe Aydınlatması.....	18
Şekil 2.15: Güneş Pillerinin Karayollarında Kullanımı	18
Şekil 2.16: Şebekeye Elektrik Veren Güneş Pili (PV) Sistemi.....	19
Şekil 3.1: Buck çevirici	21
Şekil 3.2: Boost Çevirici	21
Şekil 3.3: Buck-Boost çevirici	21
Şekil 3.4: Fly-Back çevirici.....	22
Şekil 3.5.a) Tek transistorlu Forward Çevirici	
Şekil 3.5.b) Çift transistorlu Forward çevirici	22
Şekil 3.6.a) Yarım köprü Push-Pull Çevirici	
Şekil 3.6.b) Tam köprü push-pull çevirici	23
Şekil 3.7: Temel devre elemanlarıyla Buck çevirici	23
Şekil 3.8.a) Anahtar kapalı	
Şekil 3.8.b) Anahtar açık.....	25
Şekil 3.9: Sürekli mod akım ve gerilimleri	26
Şekil 3.10: Buck çevirici çıkış gerilimi ve D ilişkisi	28
Şekil 3.11: Boost çevirici	30
Şekil 3.12: Boost çevirici akım ve gerilimleri	31
Şekil 3.13: Çeviricilerin çıkış gerilimi-D (İş zamanı) ilişkisi	32
Şekil 3.14: Buck-boost çevirici.....	34
Şekil 3.15: Buck-boost çeviricinin akım ve gerilim değişimleri.....	36
Şekil 3.16: Flyback çevirici	38
Şekil 3.17: Flyback çeviricinin akım ve gerilimleri.....	39
Şekil 3.18: İdeal olmayan devre elemanlarıyla buck çevirici	43
Şekil 3.19.a) Anahtar on durumunda	
Şekil 3.19.b) Anahtar off durumunda	44
Şekil 3.20: İdeal olmayan devre elemanlarıyla boost çevirici	45
Şekil 3.21: Anahtar kapalı olduğunda.....	46
Şekil 3.22: Anahtar açık olduğunda	46

Şekil 4.1: Aracın elektrik sisteminin genel hatlarıyla çizimi	49
Şekil 4.2: Sharp NE-80EJE güneş paneli	51
Şekil 4.3: Güneş panelleri	52
Şekil 4.4: Güneş panellerinin bağlantısı.....	53
Şekil 4.5: Akü grubunu oluşturan aküler	54
Şekil 4.6: Motor	56
Şekil 4.7: Motorun bağlantısı.....	57
Şekil 4.8.a) Curtis 1227-37 PM-DC Motor sürücüsü	
Şekil 4.8.b) PMC1307 Programlama terminali.....	58
Şekil 4.9: Elektronik gaz pedalı	59
Şekil 4.10: Pako şalter.....	60
Şekil 4.11: Elektrik sistemi ve kontrol şalterleri.....	61
Şekil 4.12 Elektrik panosu	62
Şekil 4.13: Kablo kanalları ve cihazların yerleşimi	63
Şekil 5.1: Güneş enerjisiyle çalışan aracın elektronik sistemi	65
Şekil 5.2: Güneş paneli akım-gerilim ve güç-gerilim eğrisi	66
Şekil 5.3: PSIM programı	69
Şekil 5.4: PSIM ile yapılmış bir simülasyonun çıktısı.....	70
Şekil 5.5: Güneş pili prensip eş değer devresi	71
Şekil 5.6: NE-80EJE Güneş paneli I-V ve P-V eğrileri.....	73
Şekil 5.7: Güneş panelleri modeli.....	74
Şekil 5.8: Güneş paneli modelinin güneş şiddetine göre değişen I-V eğrileri	75
Şekil 5.9: Modelin sıcaklıkla değişen I-V eğrileri	76
Şekil 5.10: DC-DC çevirici modeli.....	77
Şekil 5.11: TL494 entegresinin kısmi modeli.....	78
Şekil 5.12: DC-DC çevirici modelinin akım ve gerilimleri.....	79
Şekil 5.13: MPPT modeli.....	80
Şekil 5.14: MPPT modelinin test edildiği karşılaştırmalı uygulama devresi.....	81
Şekil 5.15: MPPT algoritmasının değişen gün ışığı ortamında testi sonuçları	82
Şekil 5.16: MPPT algoritmasının 2. testindeki güç eğrileri.....	83
Şekil 5.17: Değişen yük altındaki MPPT algoritmasının testi.....	84
Şekil 5.18: Değişken yük modeli	84
Şekil 5.19: MPPT blok çizimi.....	86
Şekil 5.20: Boost çevirici ve PWM katı.....	87
Şekil 5.21: Devrede kullanılan MOSFET ve DIYOT.....	88
Şekil 5.22: TC4428 MOSFET sürücüsü	90
Şekil 5.23: TL494 PWM kontrol entegresi iç yapısı.....	91
Şekil 5.24: TL494 dalga şekilleri	91
Şekil 5.25: Giriş gerilimi algılayıcısı	94
Şekil 5.26: Çıkış gerilimi algılayıcısı.....	95
Şekil 5.27: Seri direnç ile akım ölçümü	97
Şekil 5.28: LEM akım sensorunun yapısı	97
Şekil 5.29: Giriş akımı algılayıcısı ve koşullandırıcı yükseltici	98
Şekil 5.30: Çıkış akımı algılayıcısı ve koşullandırıcı yükseltici.....	99
Şekil 5.31: PIC16F877 mikro denetleyicisi bağlantı ayakları	101
Şekil 5.32: PIC16F877 Mikro denetleyicisinin blok yapısı.....	102
Şekil 5.33: Dahili ADC blok yapısı	103
Şekil 5.34: PWM sinyali	104
Şekil 5.35: TMR0 zamanlayıcı modülü	104

Şekil 5.36: ProtoPIC programlayıcı	105
Şekil 5.37: EPIC programlayıcı yazılımı	105
Şekil 5.38: ProtoPIC programlayıcısı devre şeması.....	106
Şekil 5.39: Mikro denetleyici bağlantıları.....	107
Şekil 5.40: Devrenin analog çıkış kısmı	108
Şekil 5.41: RS485 Seri haberleşme devresi	109
Şekil 5.42: RJ45 plug konektör	109
Şekil 5.43: RS485 iletişim standardı bağlantısı	110
Şekil 5.44: MPPT algoritması	111
Şekil 5.45: MPPT devresinin Protel DXP geliştirme ortamındaki tasarımı	112
Şekil 5.46: MPPT devresinin baskılı devresi	113
Şekil 5.47: MPPT devresi tasarım simülasyonu	114
Şekil 5.48: MPPT devresi PCB uygulaması	114
Şekil 5.49: Tasarlanan sürücü paneli	115
Şekil 5.50: Direksiyon ve sürücü panelinin uygulanması	116
Şekil 5.51: Sürücü panelinin bağlantıları	117
Şekil 5.52: Sürücü kontrollerinin bağlantısı	117
Şekil 5.53: Curtis 1227-37 DC motor sürücüsü bağlantıları.....	118
Şekil 5.54: Sürücü paneli dağıtım kartı açık şeması	119
Şekil 5.55: Sürücü paneli dağıtım kartı tasarımı	120
Şekil 5.56: Sürücü ekranı	121
Şekil 5.57: PG12864 Grafik LCD bellek yapısı	122
Şekil 5.58: Bir şeklin LCD ekran için hazırlanması	122
Şekil 5.59: Proteus simülasyon programı	124
Şekil 5.60: Sürücü ekranı güç kaynağı devresi	125
Şekil 5.61: PIC18F452 Mikro denetleyicisi özellikleri ve ayak bağlantıları	126
Şekil 5.62: Mikro denetleyici ve grafik LCD bağlantıları	126
Şekil 5.63: Sürücü ekranı devresinin araç seri yoluna bağlantısını sağlayan kısmı.....	127
Şekil 5.64: Sürücü ekranı yazılımı ana programı.....	129
Şekil 5.65: Sürücü ekranı devresinin baskılı devre tasarımı	130
Şekil 5.66: Sürücü ekranı devresi uygulaması açılış ekranı.....	130
Şekil 5.67: Sürücü ekranı devresi uygulaması çalışma ekranı.....	131
Şekil 5.68: Sürücü ekranı devresi uygulaması	131
Şekil 5.69: Hız ölçümü simülasyon devresi.....	133
Şekil 5.70: Hız ölçümü simülasyonu	134
Şekil 5.71: Güç kaynağı devresi	135
Şekil 5.72: Mikro denetleyici devresi	135
Şekil 5.73: Hız algılayıcı kısım.....	136
Şekil 5.74: Hareketi elektrik palslerine çeviren devre	137
Şekil 5.75: Hız ölçümü yazılımına ait main () fonksiyonu	138
Şekil 5.76: Hız ölçümü yazılımının ISR fonksiyonu	139
Şekil 5.77: Hız ölçüm devresi baskılı devresi	140
Şekil 5.78: Hız ölçüm devresi uygulaması.....	140
Şekil 5.79: Proteus'ta yapılan simülasyon devresi	141
Şekil 5.80: +12V'tan -9V üreten Buck-bost çevirici devre	142
Şekil 5.81: Analog kısmın pozitif beslemesini üreten devre.....	142
Şekil 5.82: +9V ve +5V besleme devresi.....	143
Şekil 5.83: LEM sensor koşullandırma devresi	143
Şekil 5.84: Akım okuyan mikro denetleyici devre.....	144

Şekil 5.85: main () fonksiyonu.....	145
Şekil 5.86: Akım ölçümü yazılımının ISR servisi	146
Şekil 5.87: Akım ölçüm devresinin baskılı devre çizimi	147
Şekil 5.88: Akım ölçüm devresi uygulaması	147
Şekil 6.1: MPPT devresi üretilen gücü arttırmıştır	149

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1: Kıtalar bazında güneşlenme miktarları	4
Tablo 2.2: Türkiye'deki güneşlenme oranları	5
Tablo 2.3: Türkiye'nin bölgelerine göre güneş enerjisi potansiyeli	5
Tablo 4.1: Güneş paneli teknik bilgileri	53
Tablo 5.1: Formüllerdeki elemanlar	71
Tablo 5.2: NE-80EJE güneş paneli I-V bilgileri	74
Tablo 5.3: Birinci simülasyon sonuçları	85
Tablo 5.4: İkinci simülasyon sonuçları	85
Tablo 5.5: Hesaplamalarda kullanılacak katalog bilgileri	89
Tablo 5.6: Giriş gerilimi değerleri	95
Tablo 5.7: Çıkış gerilimi değerleri	96
Tablo 5.8: PIC16F877 mikro denetleyicisi çevresel donanım özellikleri	100
Tablo 5.9: 7x5 yazı fontunu oluşturan tanımlama örnekleri	123
Tablo 5.10: Grafik LCD ayak bağlantıları	127
Tablo 5.11: Hız ölçümünde kullanılan değişkenler	132

SİMGELER

D	: Duty Cycle. (İş Zamanı oranı)
E	: DC-DC çevirici için giriş gerilimi
V_C	: DC-DC çevirideki çıkış kondansatörü gerilimi
I_C	: DC-DC çevirideki çıkış kondansatörü akımı
V_L	: DC-DC çevirideki bobin gerilimi
I_L	: DC-DC çevirideki bobin akımı
I_R	: DC-DC çeviri için çıkış akımı
I_{\max}	: DC-DC çeviri için girişten çekilen maksimum akım
I_{\min}	: DC-DC çeviri için girişten çekilen minimum akım
T	: DC-DC çeviri için peryot zamanı
R_L	: Bobin iç direnci
R_S	: Anahtarlama elemanı iletim direnci
I_L	: Güneş pili için foto enerjisi akımı
I_0	: Güneş pili için diyot sızıntı akımı
I_{SC}	: Güneş pili için kısa devre akımı
$I_{SC(T1)}$: Güneş pili için T1 sıcaklığındaki kısa devre akımı
$I_{SC(T2)}$: Güneş pili için T2 sıcaklığındaki kısa devre akımı
V_{OC}	: Güneş pili için açık devre gerilimi
$V_{OC(T1)}$: Güneş pili için T1 sıcaklığındaki açık devre gerilimi
k	: Boltzman sabiti ($1.38e-23$)
g	: Bir elektron yükü ($1.5e-19$)
G	: Güneş ışınımı yoğunluğu ($1=1000W/m^2$)

Kısaltmalar

AR-GE	: Araştırma geliştirme
MPPT	: Maximum Power Point Tracker (Maksimum güç noktası izleyici)
PV	: Photovoltaic (Güneş pili)
GÇ (IO)	: Giriş-Çıkış
ADC	: Analog to Digital Converter (Analogtan dijitale dönüştürücü)
MIPS	: Mega Instruction Per Second (Saniyede komut işleme sayısı birimi)
MHz	: Mega Hertz
ICSP	: In Circuit Serial Programming (Devre üzerinden seri programlama)
LVDS	: Low voltage differential signal (Düşük gerilimli fark sinyali)
Trial	: Deneme sürümü
STC	: Standart Test Conditions (Standart test koşulları) $1000W/m^2$ ve $25^\circ C$)

PTC	: Pasifik test koşulları (Pasific Test Conditions) 1000W/m ² , 20°C, 1m/s rüzgar hızı
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişliği Modülasyonu)
DLL	: Dynamic Link Library (Dinamik bağlanabilen kütüphaneler)
CR	: Carriage Return character (Satır başı karakteri)
TMR	: Timer
USART	: Universal Synchronous and Asynchronous Receiver Transmitter (Evrensel senkron ve asenkron alıcı-verici)
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN ARACIN ELEKTRİK VE ELEKTRONİK SİSTEMİNİN MİKRODENETLEYİCİLER İLE TASARIMI VE UYGULAMASI

Metin SUNAN

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi, Fotovoltaik, Maksimum güç noktası izleyicisi, Mikro denetleyici, Güneş arabası

ÖZET: Alternatif enerji kaynaklarına ilgilinin giderek artmakta olduğu ve artmasının da zorunlu bir ihtiyaç olduğu günümüzde bu kaynakları günlük hayatta kullanabilmek için bilim insanları yoğun çalışmalar yapmaktadırlar. Bu tez yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili çalışmalara katkı sağlaması amacıyla hazırlanmıştır. Teze konu olan ve ‘GAYRET’ adı verilen güneş arabası 2005 Ağustos ayında Tübitak Bilim ve Teknik dergisinin organizasyonu ile düzenlenen “FormulaG Güneş Arabaları Yarışı” na katılmıştır. Tasarlanan güneş arabasında bulunan “Maksimum güç noktası izleyicisi” adlı devre güneş panellerinden elde edilen elektrik gücünü %5-%25 oranında arttırdığı görülmüştür. Bunun yanı sıra güneş arabasının içerisinde kullanılan elektronik sistemler günümüz modern araçlarda kullanılan sistemlere benzetilmeye çalışılmıştır. Örneğin hız ölçümü ya da araç içindeki sistemlerin birbirleri ile seri yoldan haberleşmesi gibi.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SOLAR POWERED VEHICLE'S ELECTRIC AND ELECTRONIC SYSTEMS WITH MICROCONTROLLER

Metin SUNAN

Keywords: Solar power, Photovoltaic, Maksimum power point tracker, Microcontroller, Solar vehicle

ABSTRACT: The Interesting in Alternative Energy sources is getting increase Because of using such renewable energy sources is getting an important requirement. So that . Scientists are studying very hard on renewable energy sources to generalizes such energies. This Thesis is prepered to contribution renewable energy sources . The subject of this thesis is based on a solar racing car called 'GAYRET (EFFORT)' that raced in Solar Car Racing organized in Istanbul Park International Race Pist in August, 2005. This car joined to this race "FormulaG Solar Car Racing" which arranged by TÜBİTAK. TÜBİTAK (TUBITAK - THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH COUNCIL OF TURKEY) was arranged Formula-G race to introduce renewable energ sources and generalize their usage in the country , and contribute scientific researches . There is a circuit in this designed car that called maximum power point tracker MPPT. It was seen that MPPT system could increase the electrical power generated by photovoltaic panels as approximately from % 5 to %25 depending on the solar radiation. In addition , The electronic systems which are used in this solar car are tried to simulate as the new technology used in modern cars' systems. For example: speed measurement and serial comminication among the systems inside the car.

1. GİRİŞ

Enerji günümüzün en önemli meseleleri arasındadır. Bir anlamda güneş, su ve toprak gibi yaşamın temel kaynaklarından biri olarak yaşamımızda yerini almıştır. Rönesans ve sanayi devriminden bu güne kadar tüketilen enerji, çoğunlukla fosil yakıtlardan temin edilmiştir. Fosil yakıtların kullanımının çevreye verdiği zarar zamanla kendisini göstermeye başlamış ve ileriki bir zamanda tüm insanların yaşamlarını tehdit edeceğinin uyarılarını göstermiştir. Bu tehlikeyi önlemenin tek yolu ise fosil yakıtların kullanımının azaltılmasıdır. Çünkü fosil yakıtlardan enerji üretimi yanma reaksiyonu ile yapıldığından çevreye ısı ve zararlı gazlar bırakılmaktadır. Fosil yakıt tüketimi de dünya çapında yüksek miktarlarda olduğundan zamanla bu zararlar doğanın dengesini tehdit eder boyutlara ulaşmıştır.

Günümüzde fosil yakıtlara alternatif olarak araştırma konusu olan enerji kaynaklarının arasında ön sıralarda yer alan çeşitlerden birisi güneş enerjisidir. Bunun en temel sebebi güneşin oldukça cömert bir şekilde ve hiç durmadan bu enerjiyi dünyamıza ulaştırması, bir diğeri ise bu enerjiyi kullanmak için gerekli tesis alt yapısının kurulmasının çok da zor olmamasıdır. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre insanların kullanımına kolaylıkla sunulabilen güneş enerjisinden insanlar kendi imkânlarıyla evlerinde faydalanabilmektedirler.

Alternatif enerji kaynakların tanıtılması ve bu enerjiler üzerindeki araştırma geliştirme çalışmalarını teşvik etmek amacıyla bu enerjileri kullanan sistemler arasında yarışmalar düzenlenmektedir. Bu proje yarışmaları sayesinde öğrenciler ve bilim insanları, bahsedilen alternatif kaynaklar üzerinde daha yoğun bir çalışma ve araştırma imkânı kazanmaktadırlar. Bu yarışmalardan bir tanesi de 2005 yılında Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi tarafından organize edilen FormulaG Güneş Arabaları yarışmasıdır.[1] Bu yarışmaya Türkiye genelinden 16 takım katılmıştır. Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Bölümü de bu yarışmaya “Gayret” isimli bir güneş arabasıyla iştirak etmiştir. Bu tezde, tasarımı yapıp uygulanan Gayret arabasının

elektronik ve elektrik sistemi incelenecektir. Gayret arabasının tasarımına başlanmadan önce tasarım kriterleri belirlendi. Bu kriterler FormulaG yarış komitesinin belirlediği katılım çağrısında yer almaktadır. Gayret arabasında önce elektrik sistemini oluşturan parçalar bir araya getirilmiş daha sonra ise aracın elektrik sistemi hakkında bilgileri toplayıp sürücü panelinde gösteren elektronik sistem tasarlanmıştır.

Bu tezdeki bölümlerde anlatılan konular ise şöyledir.

İkinci bölümde güneş enerjisinden faydalanma yöntem ve teknikleri incelenmiştir.

Üçüncü bölümde güneş enerjili sistemler için çok önemli bir yere sahip doğru akım gerilim çeviricilerinin çalışma prensipleri incelenmiştir. Bölüm dahilinde tüm çevirici çeşitleri kısa olarak tanıtılmış, bunlardan Buck, Boost, Buck-boost, fly-back çeviricilerinin çalışma ilkelerine ve hesaplamalarına ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde ise tasarımı yapılan güneş arabasının elektrik sisteminde kullanılan malzemeler incelenmiş ve elektrik sisteminin bağlantıları gösterilmiştir. Güneş arabasında kullanılan elektrik elemanlarının teknik özellikleri ve seçim ölçütleri bu bölümde incelenmiştir.

Beşinci bölümde ise tasarımı yapılan araçtaki elektronik devreler ve yazılımlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Güneş arabasında bulunan Maksimum güç noktası izleyici, sürücü ekranı, hız ölçümü, akım ve gerilim ölçümü devrelerinin çalışma prensipleri, devre hesaplamaları ve yazılımları anlatılmıştır.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Bu bölümde öncelikle güneş enerjisi ile temel bilgiler sunulmaktadır. Bölümün ilerleyen sayfalarında ise insanoğlunun güneşten nasıl faydalandığına ilişkin teknik ve yöntemler özet olarak anlatılmaktadır.

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir ve güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, aşağı yukarı sabit ve 1370 W/m^2 değerindedir, ancak yeryüzünde $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

Güneşe göre dik açı oluşturmasından dolayı Türkiye'nin de içinde bulunduğu, ekvatora yakın coğrafyaları kapsayan güneş kuşağında, güneş enerjisinden faydalanma daha verimli olabilmektedir. Güneş yılın çoğu zamanında olağanüstü boyutlarda enerji üretmektedir. Örnek vermek gerekirse güneş saniyede 1×10^{20} kilovatsaat'lik enerji sağlar ve bir kilovatsaatlik elektrik enerjisinin 1000 Watt'lık bir lambayı bir saat boyunca çalıştırabildiği düşünülduğünde bu enerjinin büyüklüğü daha iyi anlaşılır. Güneş ışınması sıfır maliyetle dünyada kullanılan enerjinin binlerce kat fazla enerji sağlar. Bu yüksek enerjiye rağmen bu günkü teknolojimiz ile güneş enerjisinden elektrik üretiminde %12-%19 arası verim sağlayan güneş pilleri geliştirilebilmiştir.

Sürdürülebilir enerji kaynaklarının verimini genelde enerji sağlanan kaynak belirler. Rüzgar çevrim santrallerinde rüzgar gücünün verimi etkilemesi gibi. Güneş enerjisinde bu durum daha farklıdır. Diğer sürdürülebilir enerji kaynaklarına kıyasla

güneş enerjisinin verimini belirleyen birçok harici etken vardır. Bu etkenlerin bir kısmını doğal koşullar oluşturur. Doğal koşullardan ilk akla geleni güneşin mevsimsel durumudur. Bunun yanı sıra havanın bulutlu, yağışlı ya da çok sıcak olması da verimi olumsuz yönde etkiler. Gün içerisinde belirli bir alana düşen güneş enerjisi miktarı bölgenin yeryüzü üzerindeki enlem değeri, yerel iklim koşulları, yılın hangi mevsiminde bulunduğu ve yerleştirilen güneş panelinin güneşle olan açısı gibi birçok faktöre bağlıdır. Örneğin yatay bir yüzeye düşen yıllık ortalama ısıma miktarı Orta Avrupa, Orta Asya ve Kanada'da ortalama 1000 kWh/m², Akdeniz civarındaki bölgelerde 1700 kWh/m² ve Afrika'nın Ekvatora yakın bölgeleriyle, Doğu Asya ve Avustralya çöllerinde 2200 kWh/m²'a kadar çıkmaktadır. Kısaca, güneş enerjisi uygulamalarında mevsimsel ve coğrafi faktörlerin hepsi önemli rol oynar. Tablo 2.1 de kıtalara göre güneşlenme miktarları verilmiştir. [2]

Tablo 2.1: Kıtalar bazında güneşlenme miktarları

Değişik bölgelerin güneşlenme oranları kWh/m ² gün cinsinden değerleri (güneye 30 derecelik dikey açıyla)				
	Güney Avrupa	Orta Avrupa	Kuzey Avrupa	Karayipler
Ocak	2,6	1,7	0,8	5,1
Şubat	3,9	3,2	1,5	5,6
Mart	4,6	3,6	2,6	6,0
Nisan	5,9	4,7	3,4	6,2
Mayıs	6,3	5,3	4,2	6,1
Haziran	6,9	5,9	5,0	5,9
Temmuz	7,5	6,0	4,4	6,0
Ağustos	6,6	5,3	4,0	6,1
Eylül	5,5	4,4	3,3	5,7
Ekim	4,5	3,3	2,1	5,3
Kasım	3,0	2,1	1,2	5,1
Aralık	2,7	1,7	0,8	4,8
Yıl Ort.	5,0	3,9	2,8	5,7

Türkiye güneş kuşağında bulunan bir ülkedir. Bu coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Türkiye'de toplanabilecek güneş enerjisi miktarının ortalama yıllık toplam süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo 2.2'de verilmiştir. [2]

Tablo 2.2: Türkiye'deki güneşlenme oranları

Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli			
AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Konumsal olarak Türkiye'de en fazla güneş enerjisi alan bölge Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Tablo 2.3' de verilmiştir. [2]

Tablo 2.3: Türkiye'nin bölgelerine göre güneş enerjisi potansiyeli

Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı		
BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Günümüz teknolojisinde güneş enerjisinden ısı üretimi ve elektrik üretimi olmak üzere iki şekilde faydalanılmaktadır. Güneş enerjisi yenilenebilir kaynaklar içinde kullanımı dünya ülkelerinde en çok yaygınlaşmış kaynaktır. Bunu sebebi güneşin enerjisini dünya geneline yayması ve enerji dönüşümü için büyük ve karmaşık yapılar inşaa edilmesi gerekmemesidir. Güneş enerjisinden bireyler kendi imkânları ile faydalanabilme imkânına sahipken, rüzgâr ve jeotermal gibi diğer yenilenebilir temiz enerji kaynaklarından faydalanabilmek için daha çok büyük organizasyonların kurabileceği gelişmiş tesislere ihtiyaç duyulmaktadır.

Ülkemizde hem bölgesel güneşlenme oranlarının hem de enerji maliyetlerinin yüksek oluşu güneş enerjisinin ilk-yatırım masrafının 2-3 sene gibi çok kısa sürelerde çıkmasını sağlayarak, bu yatırımı çok cazip hale getirmektedir. Kuzey Avrupa gibi güneşlenme oranlarının düşük olduğu coğrafyalarda dahi güneş enerjisi sistemleri tek başına sıcak su ihtiyacının % 50-70'ini karşılayabilmektedir. Güney Avrupa'da ise bu oran % 70-90 arasında olmaktadır.

Güneş enerjisini değerlendirme teknolojileri yöntem açısından ısı kullanım ve gün ışığının çevrimi olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir.

2.1. Isıl Güneş Teknolojileri

Güneşin yaydığı ışınlar bir ısı üretmektedir ve bu ısı güneşten enerji üretimi amacıyla kullanılan yöntemlerden birisinin kaynağını temsil etmektedir. Isıl kullanımların çoğu güneş ışığının oluşturduğu düşük ısıların farklı amaçlara göre oluşturulmuş düzeneklerde dönüştürülmesi şeklindedir. Bunlara örnek olarak kullanma suyunun ısıtılması ve seracılık verilebilir.

2.1.1. Düşük sıcaklık sistemleri

2.1.1.1. Düzlemsel güneş kolektörleri

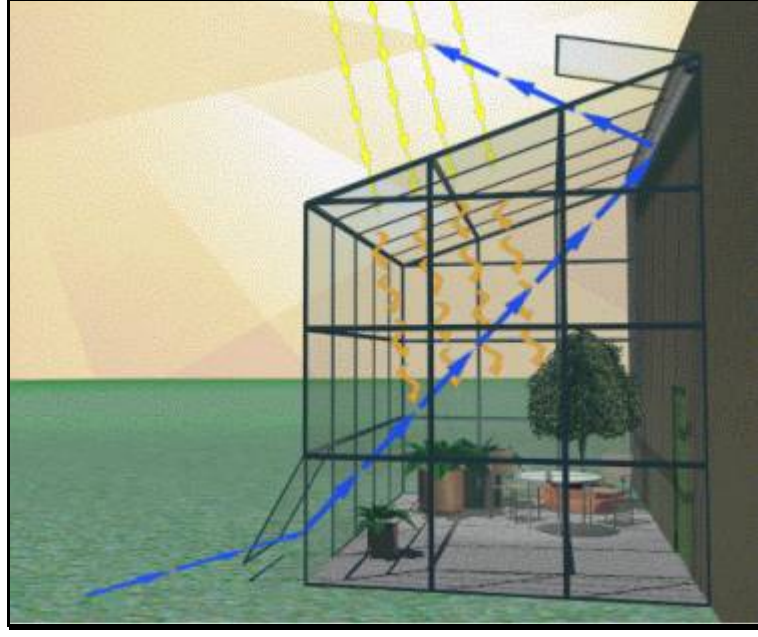
Düzlemsel güneş kolektörleri güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlardır.(Şekil 2.1) En çok evlerde sıcak su ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Ulaştıkları sıcaklık 70°C civarındadır. En fazla güneş kolektörü bulunan ülkeler arasında ABD, Japonya, Avustralya İsrail ve Yunanistan yer almaktadır. Türkiye, 7,5 milyon m² kurulu kolektör alanı ile dünyanın önde gelen ülkelerinden biri konumundadır.



Şekil 2.1: Güneş kolektörleri

2.1.1.2. Ürün kurutma ve seralar

Güneş enerjisinin tarım alanındaki uygulamalarıdır. Bu tür sistemler ilkel pasif yapıda olabileceği gibi, hava hareketini sağlayan aktif bileşenler de içerebilir. Bu sistemler dünyada kırsal yörelerde sınırlı bir biçimde kullanılmaktadırlar. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2: Seracılıkta kullanım

2.1.2. Yoğunlaştırıcı sistemler

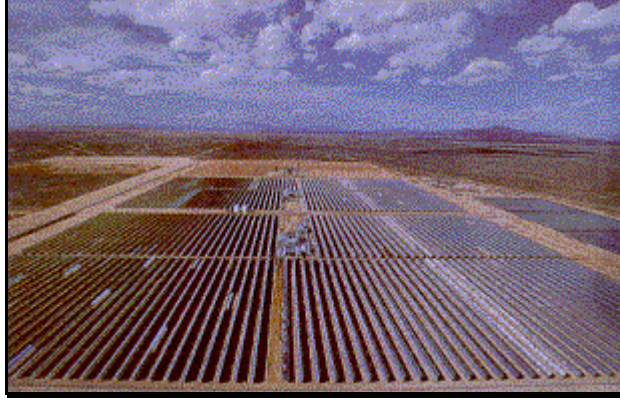
2.1.2.1. Parabolik oluk kolektörler



Şekil 2.3: Oluk kolektörler

Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemlerin en yaygınıdır. Kolektörler, kesiti parabolik olan yoğunlaştırıcı dizilerden oluşur. Kolektörün iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini, kolektörün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya odaklarlar. (Şekil 2.3) Kolektörler genellikle, güneşin doğudan batıya hareketini izleyen tek eksenli bir izleme sistemi üzerine yerleştirilirler. Enerjiyi toplamak için absorban boruda bir sıvı dolaştırılır. Toplanan ısı, elektrik üretimi için enerji santraline gönderilir. Bu sistemler yoğunlaştırma yaptıkları için

daha yüksek sıcaklığa ulaşabilirler. (350-400°C) Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemler ticari ortama girmiş olup, bu sistemlerin en büyük ve en tanınmış olanı 350 MW gücündeki Kramer&Junction santralidir. (Şekil 2.4)



Şekil 2.4: 350 MW gücünde parabolik oluk güneş santrali-Kaliforniya

2.1.2.2. Parabolik çanak sistemler

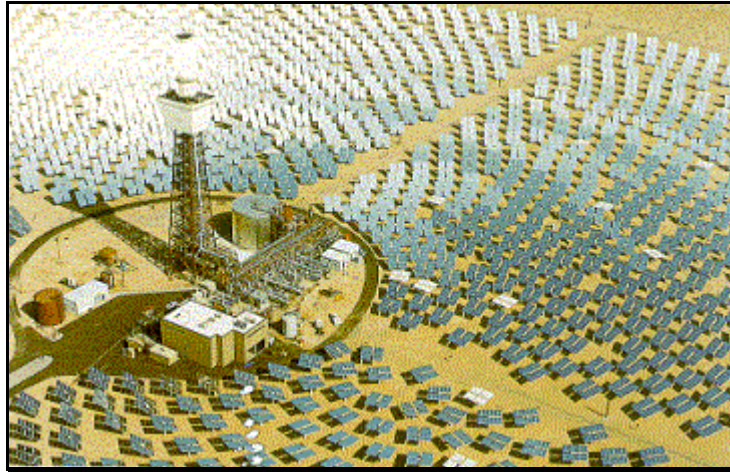


Şekil 2.5: Parabolik Çanak Güneş Isıl Elektrik Santrali (İspanya)

İki ekseninde güneşi takip ederek, sürekli olarak güneşi odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar. Termal enerji, odaklama bölgesinden uygun bir çalışma sıvısı ile alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilebilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling makine yardımı ile elektrik enerjisine çevrilebilir. Çanak-Stirling bileşimiyle güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde % 30 civarında verim elde edilmiştir. (Şekil 2.5)

2.1.2.3. Merkezi alıcı sistemler

Tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen aynalardan oluşan bir alan, güneş enerjisini, alıcı denen bir kule üzerine monte edilmiş ısı eşanjörüne yansıtır ve yoğunlaştırır. Alıcıda bulunan ve içinden akışkan geçen boru yumağı, güneş enerjisini üç boyutta hacimsel olarak absorbe eder. Bu sıvı, Rankine makineye pompalanarak elektrik üretilir. Bu sistemlerde ısı aktarım akışkanı olarak hava da kullanılabilir, bu durumda sıcaklık 800°C'ye çıkar. Heliostatlar bilgisayar tarafından sürekli kontrol edilerek, alıcının sürekli güneş alması sağlanır. Bu sistemlerin kapasite ve sıcaklıkları, sanayi ile kıyaslanabilir düzeyde olup Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. (Şekil 2.6)

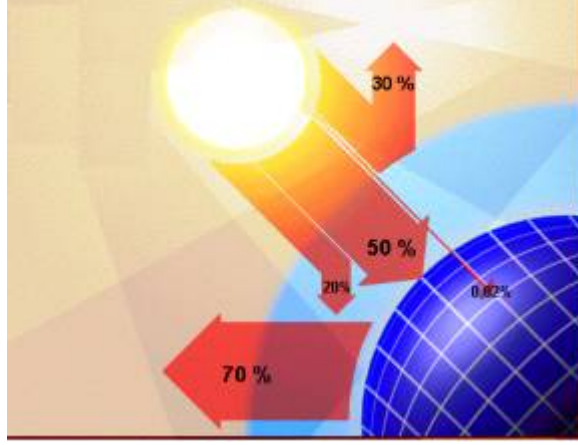


Şekil 2.6: Solar I merkezi alıcı güneş ısı elektrik santrali (İspanya)

2.2. Güneş Işınımı

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme

göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.



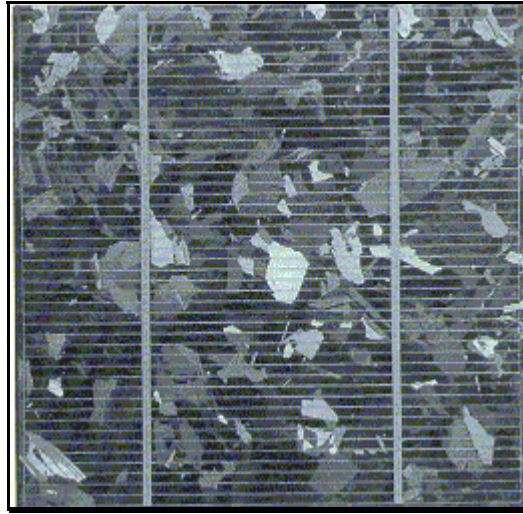
Şekil 2.7: Güneşten Gelen Işığın Dağılımı

Güneş ışınının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz, %30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır. Güneş ışınının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgar hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Güneşten gelen ışınının %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur. Yer yüzeyine gelen güneş ışınının %1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. (Şekil 2.7) Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Dünya'ya gelen bütün güneş ışınımı, sonunda ısıya dönüşür ve uzaya geri verilir.

2.2.1. Güneş pilleri (fotovoltaik piller)

Güneş pilleri (fotovoltaik piller) (Şekil 2.8), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Bu pillerin seri ve paralel bağlanmaları ile yüksek güce sahip Güneş Panelleri elde edilmektedir. Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman

uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan megaWatt'lara kadar sistem oluşturulur.



Şekil 2.8: Güneş Pili

Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeleri aşağıdaki başlıklar altında toplayabiliriz.

2.2.2. Güneş pillerinin yapısı ve çalışması

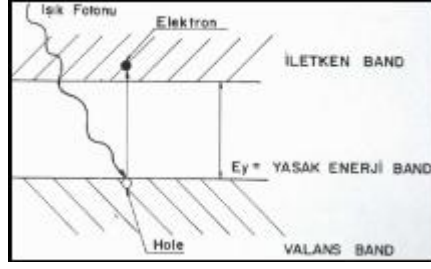
Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleri de, yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir.

Yarı-iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkılamaları gereklidir. Katkılama, saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin n ya da

p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyum'un dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle V. grup elementlerine "verici" ya da "n tipi" katkı maddesi denir.

P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna hol ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de "p tipi" ya da "alıcı" katkı maddeleri denir.

P ya da n tipi ana malzemenin içerisine gerekli katkı maddelerinin katılması ile yarıiletken eklemler oluşturulur. N tipi yarıiletkende elektronlar, p tipi yarıiletkende holler çoğunluk taşıyıcısıdır. P ve n tipi yarıiletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Yani p tipinde negatif enerji seviyeleri ile hol sayıları eşit, n tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. PN eklem oluştuğunda, n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine "geçiş bölgesi" ya da "yükten arındırılmış bölge" denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan "yapısal elektrik alan" olarak adlandırılır. Yarıiletken eklem için güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaj dönüşümünün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır.



Şekil 2.9: Güneş pilindeki p ve n maddeleri

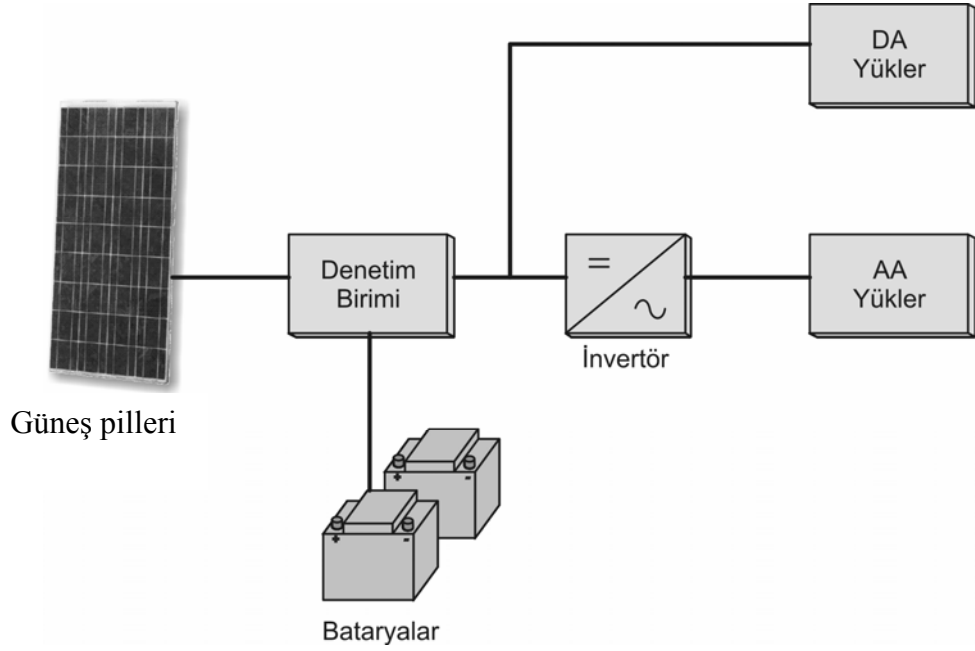
Yarıiletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bantlar valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans banttaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, PN eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-hol çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları N bölgesine, holleri de P bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Yarıiletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-hol çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar.

2.2.3. Güneş pili sistemleri

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür.

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere

genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz.lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur. Şekil 2.10'da şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sisteminin şeması verilmektedir.



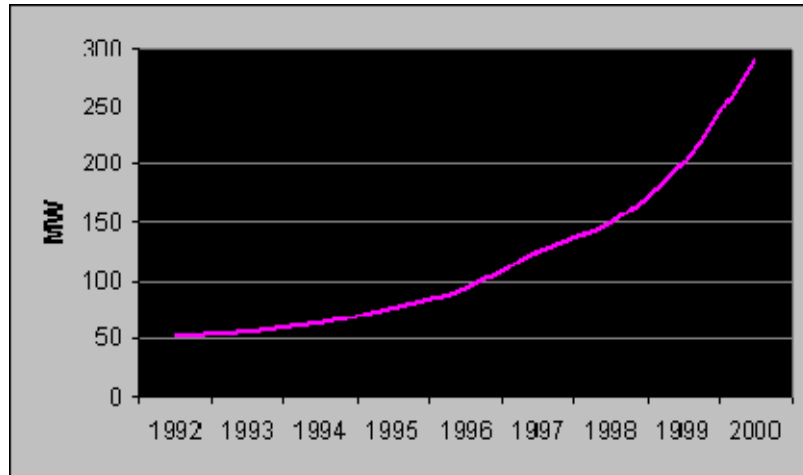
Şekil 2.10: Güneş enerjili sistem

Şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri yüksek güçte-santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir.

Güneş pili sistemlerinin şebekeden bağımsız (stand-alone) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb) korozyondan korunması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları
- Bina içi ya da dışı aydınlatma
- Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları

Şekil 2.11’de güneş pilleri ile dünya çapındaki enerji üretiminin yıllara göre gelişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Güneş enerjisinden elektrik üretimi

Aşağıdaki resimlerde ise güneş pili uygulamalarına örnekler verilmiştir.



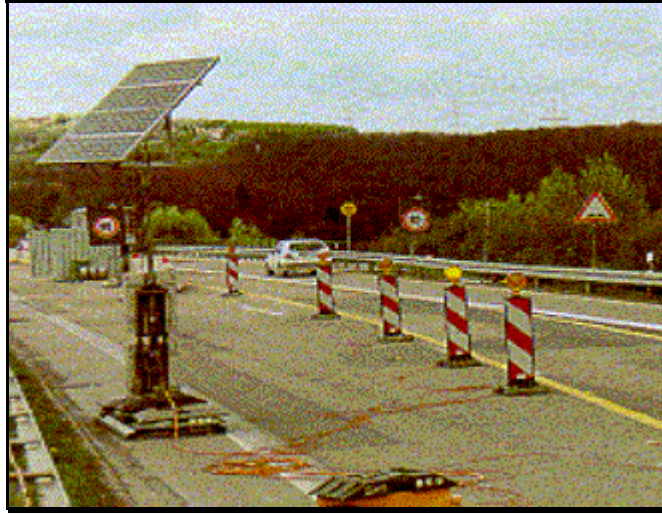
Şekil 2.12: Çatısı Güneş Pili Kaplı Ev



Şekil 2.13: Güneş Pilleri ile Sokak Aydınlatması



Şekil 2.14: Güneş Pilleri ile Bahçe Aydınlatması



Şekil 2.15: Güneş Pillerinin Karayollarında Kullanımı



Şekil 2.16: Şebekeye Elektrik Veren Güneş Pili (PV) Sistemi

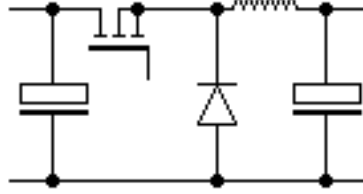
3. DC-DC ÇEVİRİCİLER

DC-DC çeviriciler DC gerilimi başka bir seviyedeki gerilime dönüştürmek ve aynı zamanda regülasyon yapmak için kullanılan devrelerdir. DC-DC çevirici devrelerinin temel çalışma prensibi önce doğru gerilimin dalgalı hale dönüştürülmesi, elde edilen dalgalı gerilimin bir bobin ya da trafo üzerinden seviyesinin değiştirilmesi, son olarak da seviyesi değiştirilmiş olan dalgalı gerilimin tekrar doğrultulması şeklindedir. Trafoların ya da bobinlerin yüksek frekanstaki kayıpları daha az olduğu için DC-DC çeviricilerde çevrim frekansı yüksek tutulmaktadır. Böylece bu tip dönüştürücülerde çevrim verimi %90'ın üzerine çıkabilmektedir. Bir DC-DC çevirici yapmanın birçok yöntemi vardır. Yöntemleri ayırt eden husus temel devre elemanlarının bağlantı stilidir. Farklı bağlantı stilleri temel prensip aynı olmasına rağmen kimisinde gerilimi düşürürken kimisinde ise gerilimi katlamaktadır. Çeviriciye eklenecek olan basit bir kontrol düzeneği de çıkış geriliminin regülasyonlu olmasını sağlayabilir.

DC-DC çeviricilerin tekniği, bilim adamları tarafından ilk geliştirildiği yıllarda, askeri sır kapsamında korunmaktaydı ve temel üretim amacı uydularda kullanılmasıydı. Bilim adamları uydularda ihtiyaç duyulan gerilim çevrimlerinde bu yöntemi kullanmışlardı. Günümüzde hayli yaygın bir kullanım alanı olan DC-DC çeviriciler çevremizdeki birçok cihazda bulunmaktadır. Örneğin televizyonlarda, bilgisayarlarda, arabalarda, telekomünikasyon cihazlarında vs.

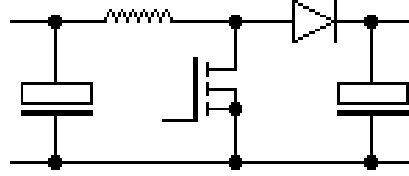
DC-DC çeviriciler temel devre elemanlarının bağlantı şekillerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar.

Buck (Azaltan) Çevirici: Giriş gerilimini düşük bir gerilime dönüştürülür. Bu tip çeviricide giriş gerilimi izolesiz olarak dönüştürülür ve bu tarz çeviriciler düşük güçlü devrelerin besleme kaynağı olarak yoğun bir şekilde çevremizdeki birçok cihazda kullanılmaktadır.



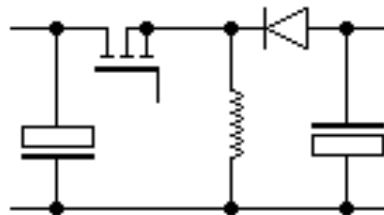
Şekil 3.1: Buck çevirici

Boost (Arttıran) Çevirici: Giriş gerilimini daha yüksek bir gerilime dönüştürülür. Yalıtılmamış çıkış gerilimi her zaman için giriş geriliminden yüksektir. Bu tarz çeviriciler daha çok batarya ile beslenen devrelerde gerekli yüksek gerilimleri üretmek için kullanılır.



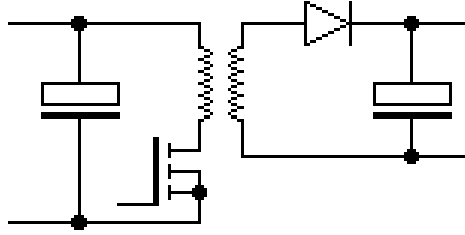
Şekil 3.2: Boost Çevirici

Buck-Boost (Azaltan Arttıran) Çevirici: Giriş gerilimini negatif gerilime dönüştürülür. Tek besleme gerilimi olan ya da batarya ile beslenen devrelerde ihtiyaç duyulan negatif besleme gerilimini üretmek için bu tarz çeviriciler tercih edilmektedir.



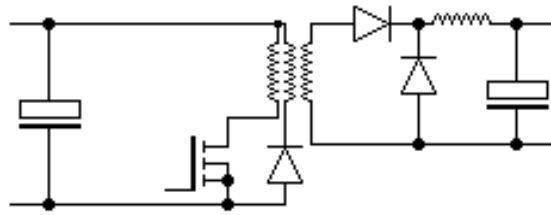
Şekil 3.3: Buck-Boost çevirici

Fly-Back (Tepkili) Çevirici: Giriş geriliminden bir ya da birden fazla yalıtılmış çıkış gerilimi üretir. Çıkış geriliminin seviyesi pozitif ya da negatif olmak üzere 1-250 kat olabilir. Bu tarz çeviriciler genellikle düşük güçlü çevrim uygulamalarında kullanılmaktadır. Örneğin televizyonların horizontal katları ve bilgisayar güç kaynaklarında.

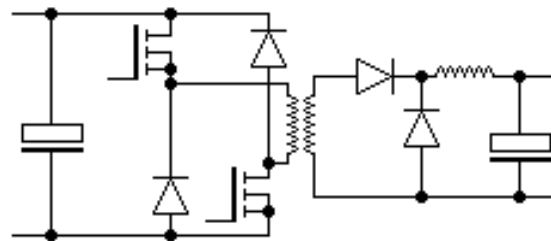


Şekil 3.4: Fly-Back çevirici

Forward (İleri) Çevirici: Yalıtılmış olarak yaklaşık 1000W'a kadar olan güçlerdeki çevrimlerde kullanılır.



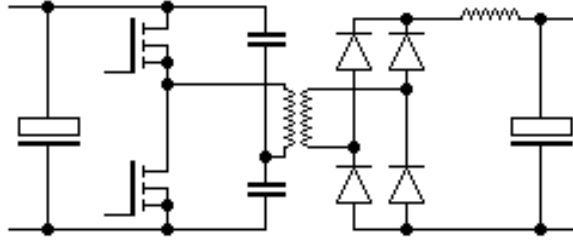
(a)



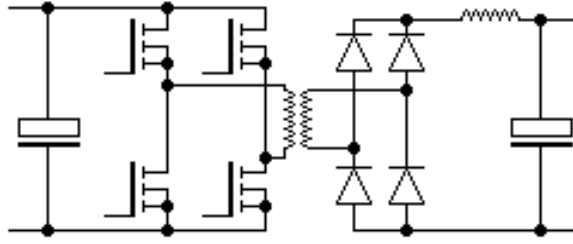
(b)

Şekil 3.5.a) Tek transistorlu Forward Çevirici
b) Çift transistorlu Forward çevirici

Push-Pull Çevirici: KW seviyesindeki çıkış güçlerine ihtiyaç duyan çeviricilerde kullanılır.



(a)

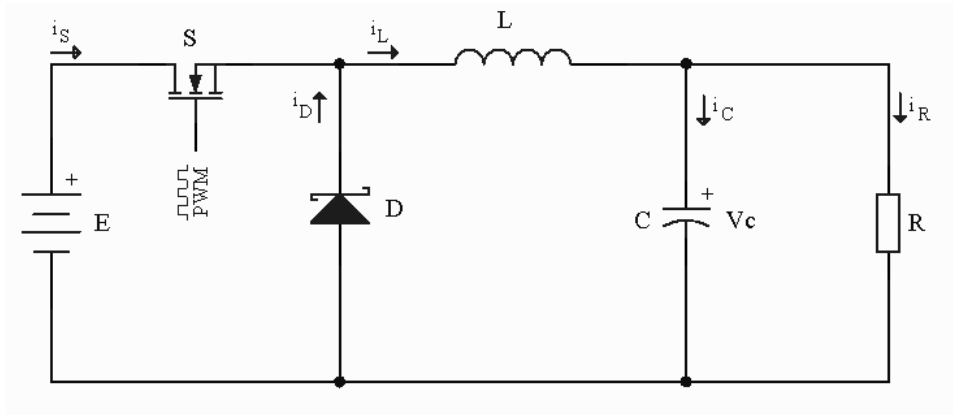


(b)

Şekil 3.6.a) Yarım köprü Push-Pull Çevirici
b) Tam köprü push-pull çevirici

3.1. Buck Çevirici

Buck çevirici giriş gerilimini daha düşük seviyedeki başka bir gerilime çevirir. Buck çeviriciler geleneksel seri gerilim regülatörlerinin yerine yoğun olarak tercih edilmektedirler. Şekil 3.7’de temel devre elemanları ile bir buck çevirici görülmektedir [3].



Şekil 3.7: Temel devre elemanlarıyla Buck çevirici

Şekil 3.7'deki transistör yüksek frekanslı PWM (Pulse Width Modulation – Darbe genişliği modülasyonu) uygulanmış kontrol gerilimi tarafından sürülen bir anahtar olarak çalışmaktadır.

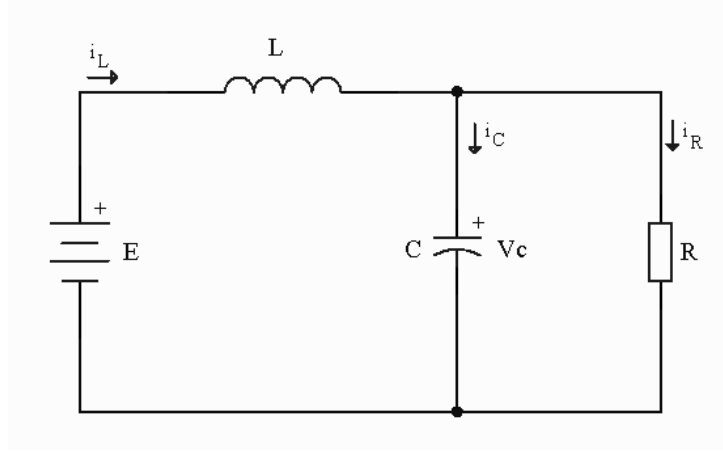
Transistörün kapalı kalma süresi ile PWM'li kontrol sinyalinin periyodu arasındaki orana Duty cycle (İş oranı) denir.

Bobin ve kondansatör, çıkış geriliminin sadece sınırlı bir dalgalanmada kalmasını sağlayan alçak geçiren bir filtre işlevi yaparlar. DC-DC çeviriciler için bobin ve kondansatör değerleri, bobinin akımına bağlı olarak belirlenen iki farklı moddan birisinde çalışacak şekilde seçilirler. Bu modlar sürekli akım ve süreksiz akım modlarıdır. Sürekli akım modunda bobin ve kondansatörün değerleri yüksek tutulduğu için bobin akımı asla sıfır olmaz. Diğer süreksiz akım modunda ise bobin akımı PWM periyodunun bir kısmında mutlaka sıfır olur. Devrenin analizi her iki durum için farklı şekilde değerlendirilir.

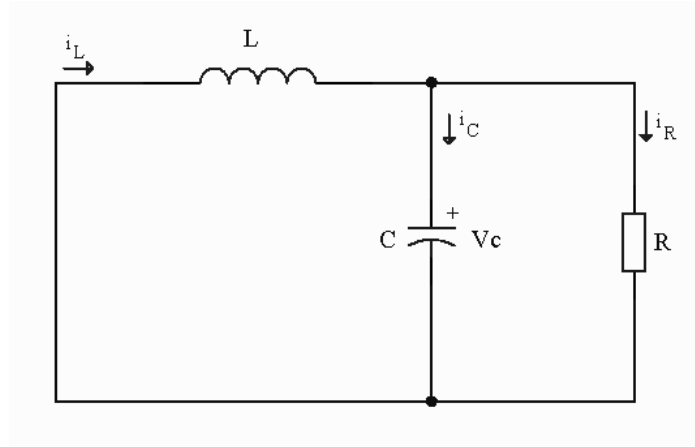
Şekil 3.7'deki devrede S anahtarı PWM kontrol sinyaline göre periyodik olarak açılıp kapatılır. Toplam periyot süresi T ve iş zamanı süresi çarpanı D ile gösterilirse anahtarın açık olduğu süre (1-D) olur.

Anahtarın kapalı olduğu sürede, devre Şekil 3.8 (a)'da görüldüğü gibidir. Anahtar açık olduğu zaman, bobin akımını diyot üzerinden tamamlar ve sonuç devre Şekil 3.8 (b)'de gösterilmiştir. Anahtarın kapalı olduğu zamandaki devrenin gerilim eşitliği (3.1) denkleminde bulunmuştur.¹

¹ Devre elemanlarının ideal olduğu varsayılmıştır.



(a)



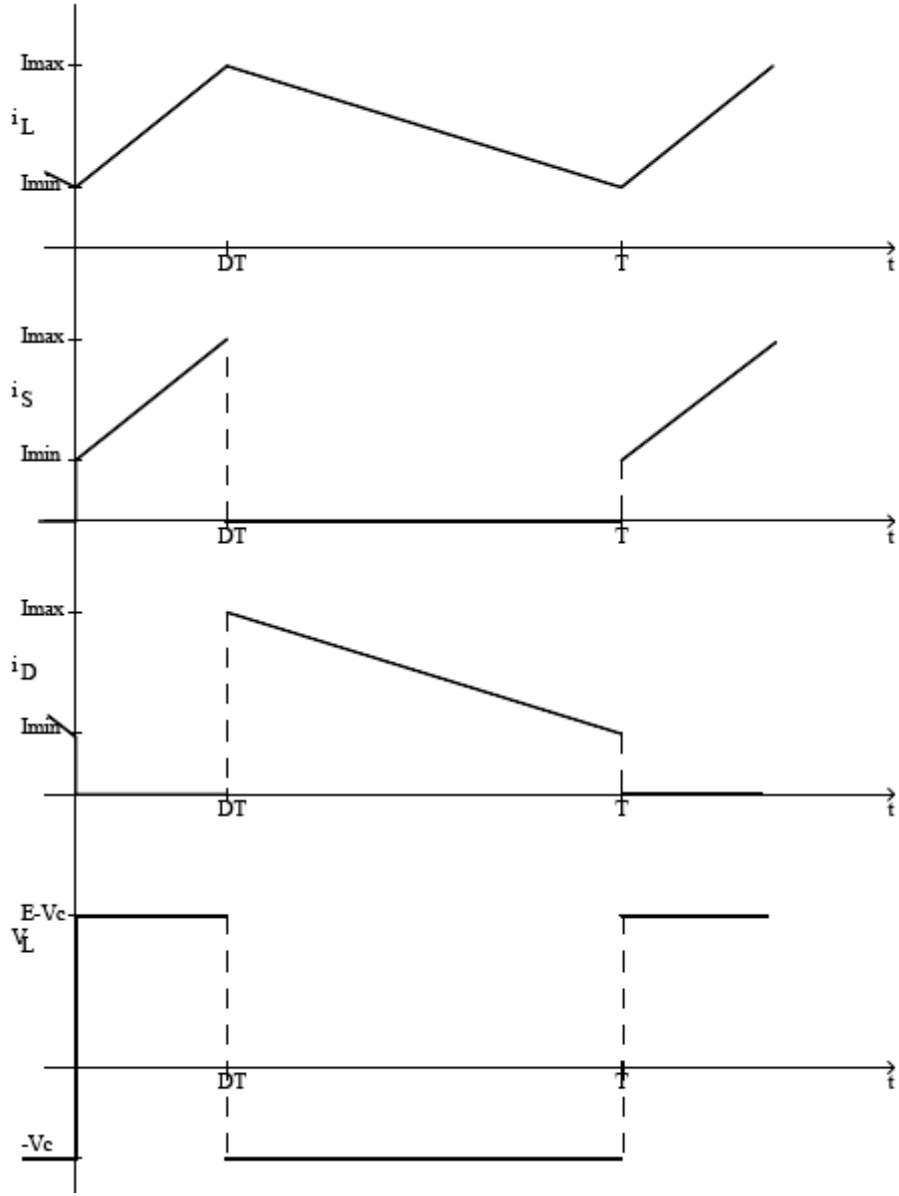
(b)

Şekil 3.8.a) Anahtar kapalı
b) Anahtar açık

$$E = V_L + V_C \quad (3.1)$$

$$E = L \left(\frac{\partial i_L}{\partial t} \right) + V_C \quad (3.2)$$

$$\left(\frac{\partial i_L}{\partial t} \right) = \frac{E - V_C}{L} \quad (3.3)$$



Şekil 3.9: Sürekli mod akım ve gerilimleri
 Anahtarın kapalı olduğu bu DT uzunluğundaki zaman aralığında, bobin akımı doğrusal olarak artar. Bu durum

Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Anahtar kapandığı anda I_{min} olan bobin akımı, anahtar açılana kadar I_{max} değerine ulaşır.

Anahtar açılınca ise devre Şekil 3.8 (b)'deki gibi düşünülebilir ve bu aralıktaki akım gerilim ilişkisi denklem (3.4)'te verilmiştir.

$$0 = V_L + V_C \quad (3.4)$$

(3.4) eşitliği (3.5) ve (3.6) olarak yeniden düzenlenirse:

$$0 = L \frac{\partial i_L}{\partial t} + V_C \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial i_L}{\partial t} = -\frac{V_C}{L} \quad (3.6)$$

Böylece, $(1-D)T$ zaman aralığı süresince, bobin akımı, I_{\max} 'dan I_{\min} 'a doğrusal olarak azalır. Sondaki bu akım değeri, operasyon sürekli tekrar ettiğinden başlangıçtaki I_{\min} değeri ile aynı olmalıdır. Bu sebeple, anahtarın kapalı ve açık olduğu zamanlardaki değişim miktarları da aynı olmalıdır. Analizi sürekli akım modunda yaptığımızı varsaydığımız için, I_{\min} sıfırdan büyüktür. Bu ifadeler denklem (3.7) ve denklem (3.8)'de denkleme dökülmüştür.

$$I_{\max} - I_{\min} = \left(\frac{E - V_C}{L} \right) DT \quad (3.7)$$

$$I_{\min} - I_{\max} = \left(-\frac{V_C}{L} \right) (1 - D)T \quad (3.8)$$

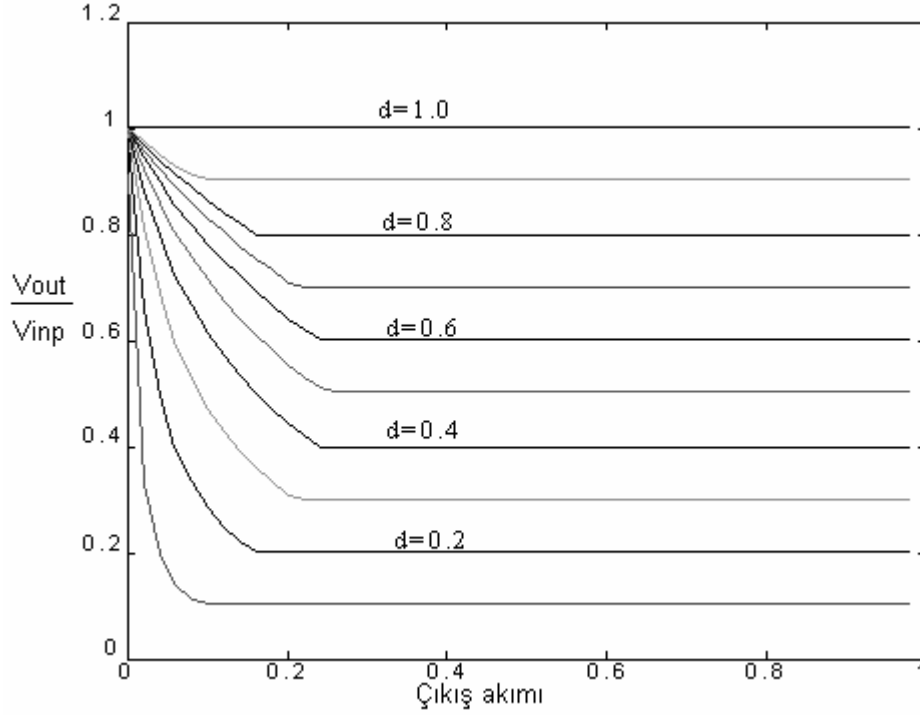
Bu iki denklemin çözümü ile denklem (3.11) elde edilir:

$$\left(\frac{E - V_C}{L} \right) DT = \left(\frac{V_C}{L} \right) (1 - D)T \quad (3.9)$$

$$(E - V_C)D = V_C(1 - D) \quad (3.10)$$

$$V_C = DE \quad (3.11)$$

Böylece, kapasitör gerilimi yani çeviricinin çıkışı, duty-cycle'a bağlı olur. Denklem (3.11) eşitliğinde devrenin giriş gerilimini azalttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.10: Buck çevirici çıkış gerilimi ve D ilişkisi

Şekil 3.9'ün incelenmesiyle bobin akımının ortalama değerine de ulaşabiliriz.

$$I_L = \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2} \quad (3.12)$$

Yük direncinin üzerindeki akım değeri denklem (3.13) denklemindeki gibidir. Periyodik operasyon sonucu ortalama kondansatör akımı sıfır olduğundan, bir periyottaki akım denklemi (3.13) eşitliğindeki terimlerin ortalaması alınarak denklem (3.14) olarak yazılabilir.

$$I_L = I_C + I_R \quad (3.13)$$

$$I_L = I_R \quad (3.14)$$

I_R 'nin değeri denklem (3.15) deki gibidir. Bu veriyi kullanarak denklem (3.16) elde edilir.

$$I_R = \frac{V_C}{R} \quad (3.15)$$

$$I_{\max} + I_{\min} = 2 \frac{V_C}{R} \quad (3.16)$$

Eğer denklem (3.7) ve denklem (3.16) denklemlerini birleştirirsek I_{\max} ve I_{\min} değerlerini bulabiliriz.

$$I_{\max} = (DE) \left[\frac{1}{R} + \frac{(1-D)T}{2L} \right] \quad (3.17)$$

$$I_{\min} = (DE) \left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)T}{2L} \right] \quad (3.18)$$

Çeviricinin sürekli akım modunda kalabilmesi için gerekli bobin ve kondansatör değerleri içi ise denklem (3.18)'de I_{\min} değerini sıfıra eşitleyerek gerekli minimum bobin değerini denklem (3.19) da görülen denklemlerle hesaplayabiliriz.

$$L = \left(\frac{TR}{2} \right) (1-D) \quad (3.19)$$

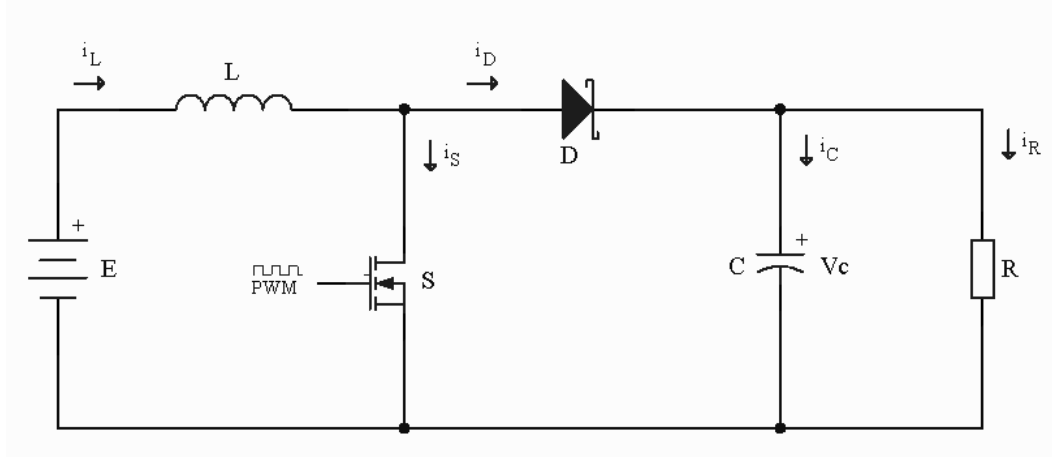
Devredeki kondansatörün değeri ise

$$C = \frac{(I_{\max} - I_{\min})T}{8\Delta V_C}$$

ile bulunur. ΔV_C kondansatördeki gerilim dalgalanmasını ifade etmektedir.

3.2. Boost Çevirici

Buck çevirici üzerinde yapılacak küçük bir değişimle boost çevirici elde edilebilir. Bkz. Şekil 3.11. Boost çeviriciler giriş gerilimini daha yüksek çıkış gerilimlerine çevirebilirler. Bu çeviricilerin diğer bir adı ise step-up çeviricilerdir.



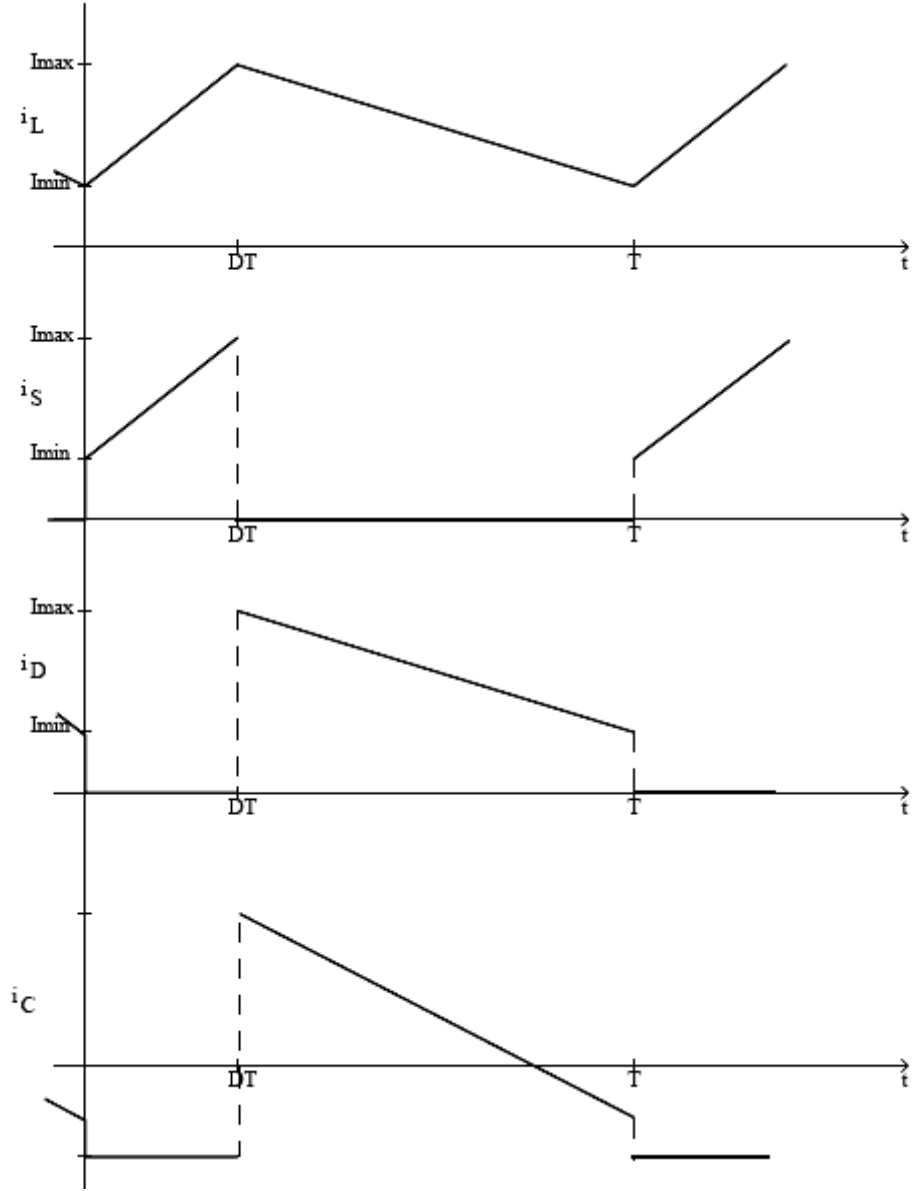
Şekil 3.11: Boost çevirici

Anahtarın kapalı olduğu zaman süresinde, bobin akımı (3.20) denkleminde verilen türevle doğrusal olarak artar.

$$\frac{\partial i_L}{\partial t} = \frac{E}{L} \quad (3.20)$$

Aynı zamanda bu aralıkta diyot ters polarımalanırılmıştır. Kondansatör yüke akım sağlar ve i_C negatiftir. Anahtar açılınca, bobinin üzerindeki gerilim ters olarak düşünülebilir ve E gerilimine seri bağlı bir kaynak şeklinde çalışır. Bu durumda bobin akımı doğrusal olarak azalmaktadır. Bu durum Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Denklem (3.21)’de ise anahtarın açık olduğu zamandaki akımın değişimi ifade edilmiştir.

$$\frac{\partial i_L}{\partial t} = \frac{E - V_C}{L} \quad (3.21)$$



Şekil 3.12: Boost çevirici akım ve gerilimleri

Bobin akımının, anahtarın kapalı olduğu zamandaki değişimi ile anahtarın açık olduğu zamandaki değişimi eşit olduğu için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

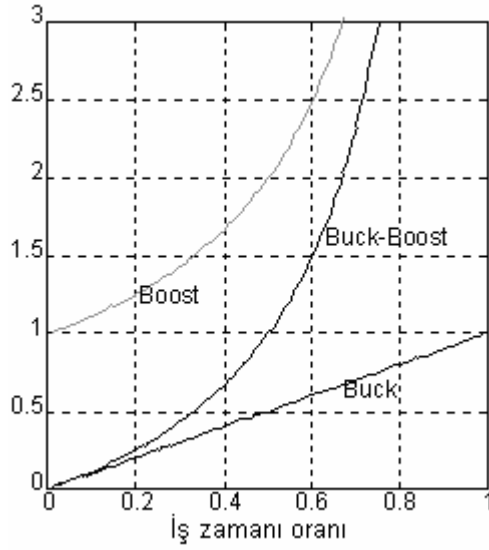
$$I_{\max} - I_{\min} = \left(\frac{E}{L}\right)DT \quad (3.22)$$

$$I_{\min} - I_{\max} = \left(\frac{E - V_C}{L}\right)(1-D)T \quad (3.23)$$

Denklemleri eşitlesek

$$V_c = \frac{E}{1-D} \quad (3.24)$$

Elde edilir. Eşitlikten devrenin giriş gerilimini arttırdığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.13’de bu durum grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Çeviricilerin çıkış gerilimi-D (İş zamanı) ilişkisi

Şekil 3.12’de işlemin bir periyottaki, bütün akımları görülmektedir. Diğer akımların bulunabilmesi için, I_{max} ve I_{min} değerlerinin de bulunması gerekir. Devredeki elemanları ideal olarak kabul ettiğimiz için giriş gücünü çıkış gücüne eşitleyerek bu değerlere ulaşabiliriz.

$$P_{inp} = \frac{1}{2}(I_{max} + I_{min}) \quad (3.25)$$

$$P_{out} = \frac{V_c^2}{R} \quad (3.26)$$

(3.24) eşitliğindeki, giriş-çıkış gerilim ilişkilerini de kullanarak, bu güç değerlerinin çözümü ile denklem (3.27) elde edilir.

$$I_{\max} + I_{\min} = \frac{2E}{R(1-D)^2} \quad (3.27)$$

Denklem (3.23), (3.24) ve (3.27) eşitliklerinin birleştirilmesi ise (3.28) ve (3.29) eşitlikleri elde edilir.

$$I_{\min} = \frac{E}{R(1-D)^2} - \frac{E}{2L}DT \quad (3.28)$$

$$I_{\max} = \frac{E}{R(1-D)^2} + \frac{E}{2L}DT \quad (3.29)$$

Çeviricinin sürekli akım durumunda çalışabilmesi için gerekli olan bobin ve kondansatörün en küçük değerini bulmak için I_{\min} 'in sıfır olduğunu varsayarsak

$$L = \frac{RT}{2}D(1-D)^2 \quad (3.30)$$

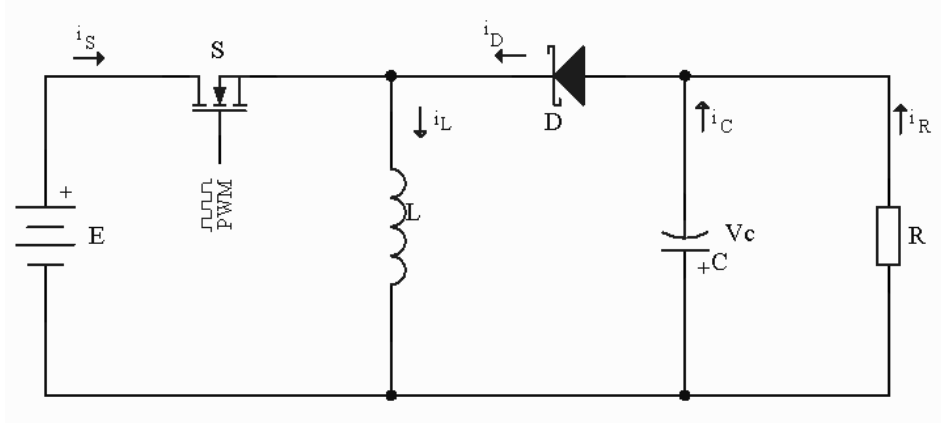
Formülünü elde ederiz. Devredeki kondansatörün değeri ise

$$C = \frac{VcDT}{\Delta V_c} \quad (3.31)$$

formülü ile bulunur. ΔV_c Kondansatördeki gerilim dalgalanmasını ifade etmektedir.

3.3. Buck-Boost Çevirici

Buck-boost çeviriciler pozitif giriş gerilimini, negatif gerilime çevirmek amacıyla kullanılırlar.



Şekil 3.14: Buck-boost çevirici

Şekil 3.14'deki devrede S anahtarının kapalı olduğu durumda, diyot üzerindeki gerilim ters yönlü ve i_D sıfırdır. Aynı zamanda, kaynak gerilimi bobin üzerinde sıkıştırılmış ve i_L zamana bağlı olarak artmaktadır. S'nin açık olduğu durumda ise çıkışın kaynakla olan ilişkisi kesilmiştir ve diyot akımı bobin akımına eşittir. Bobin akımının değişimleri için eşitlikler yazıldığında, giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişki de bulunmuş olur.

Anahtar kapalı iken, bobin akımı (3.32) ve (3.33) eşitliklerinde olduğu gibi değişim gösterir.

$$\frac{\partial i_L}{\partial t} = \frac{E}{L} \quad (3.32)$$

$$I_{\max} - I_{\min} = \frac{E}{L} DT \quad (3.33)$$

Anahtarın açık olduğu durumda ise değişimler (3.34) ve (3.35) denklemlerinde olduğu gibidir.

$$\frac{\partial i_L}{\partial t} = -\frac{V_C}{L} \quad (3.34)$$

$$I_{\min} - I_{\max} = \left(-\frac{V_V}{L}\right)(1-D)T \quad (3.35)$$

i_L 'deki bu değişim eşitlenerek, denklem (3.36) bulunur.

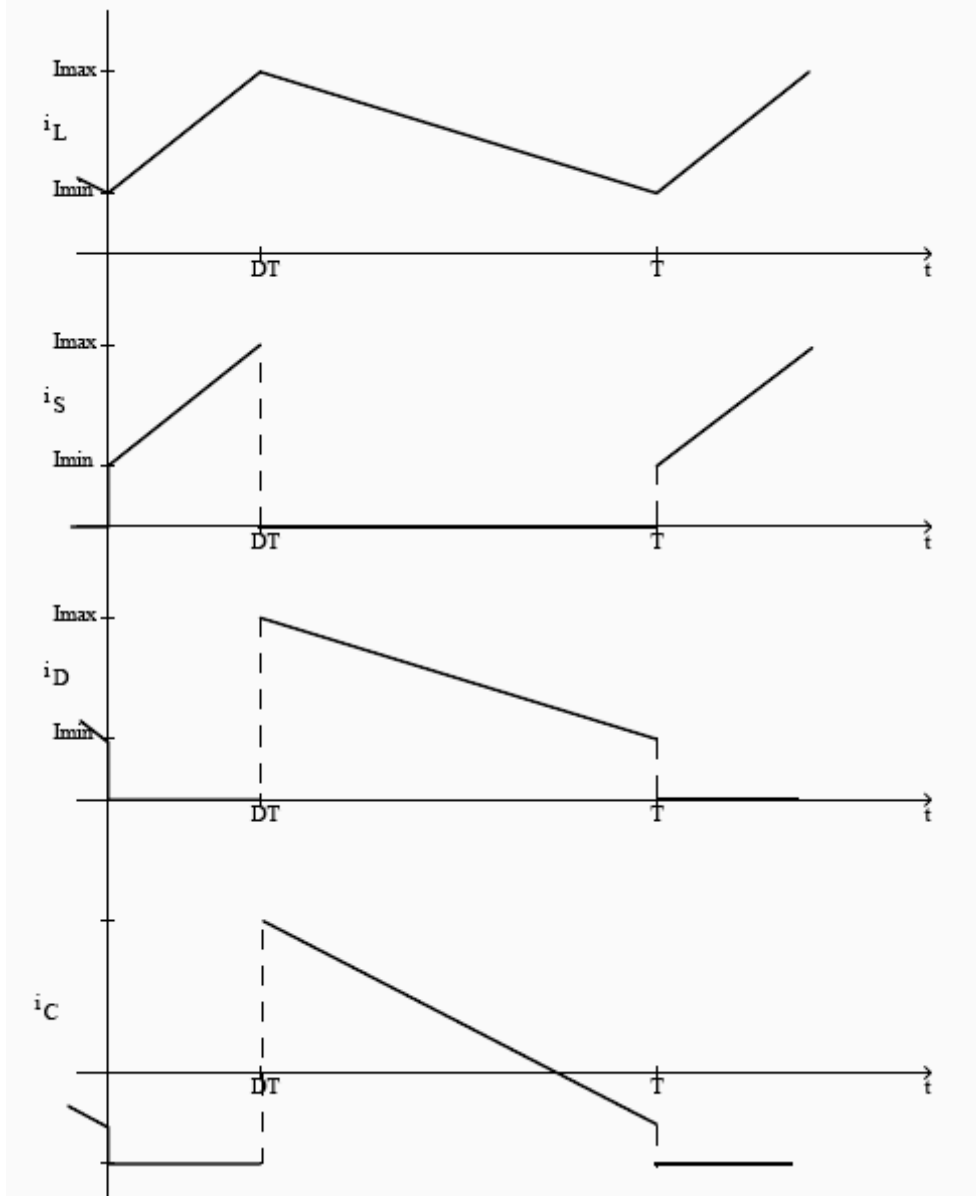
$$V_C = \left(\frac{D}{1-D}\right)E \quad (3.36)$$

Bu devredeki akım ve gerilimler Şekil 3.15'de gösterilmiştir. Devredeki giriş gücünü çıkış gücüne eşitleyerek akımdaki minimum ve maksimum değerleri bulabiliriz. Burada anahtar gerilimi giriş gücünün hesabında hesaba dahil edilmek zorundadır.

$$I_{Sort} = \left(\frac{I_{\min} + I_{\max}}{2}\right)D \quad (3.37)$$

Bu formül yardımıyla da ortalama giriş gücüne ulaşabiliriz.

$$P_{ort} = EI_{Sort} = \left(\frac{I_{\min} + I_{\max}}{2}\right)DE \quad (3.38)$$



Şekil 3.15: Buck-boost çeviricinin akım ve gerilim değişimleri

Giriş gücüyle çıkış gücü eşitlenip, denklem 4.36'yı da denkleme katarsak (3.39) denklemini elde ederiz.

$$I_{\max} + I_{\min} = \left(\frac{2DE}{R(1-D)^2} \right) \quad (3.39)$$

Denklem (3.35)'den de faydalanarak (3.40) ve (3.41) deki eşitlikleri elde edebiliriz.

$$I_{\min} = \frac{2DE}{R(1-D)^2} - \frac{EDT}{2L} \quad (3.40)$$

$$I_{\max} = \frac{2DE}{R(1-D)^2} + \frac{EDT}{2L} \quad (3.41)$$

Bobinin ve kondansatörün değerleri ise

$$L = \frac{RT}{2}(1-D)^2 \quad (3.42)$$

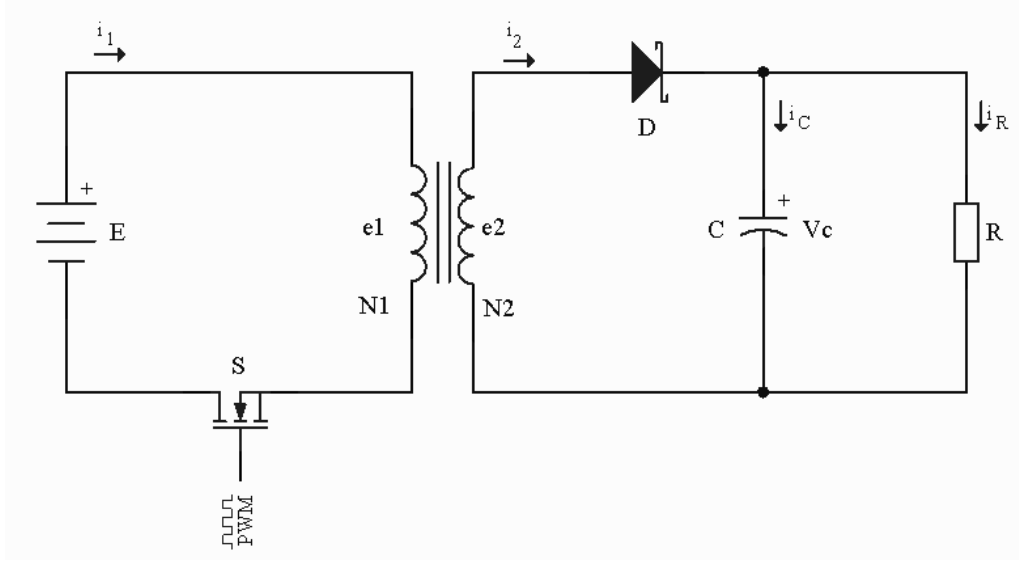
$$C = \frac{V_c DT}{R\Delta V_c} \quad (4.43)$$

Formülleri ile bulunur.

3.4. Flyback Çeviriciler

Daha önceki üç başlık altında anlatılan çeviriciler yalıtımsız temel çevirici tipleridir. Bu çeviriciler elektriksel izolasyonun gerekmediği durumlarda ve çıkış geriliminin giriş geriliminden çok büyük bir katsayı ile farklılık göstermediği durumlar için uygundur. Fakat daha güvenli bir sistem ya da giriş-çıkış arasında çok fazla bir gerilim farkı olması durumlarında manyetik olarak yalıtılmış çeviriciler tercih edilir. İzolasyonsuz çeviricilerde olduğu gibi manyetik olarak yalıtılmış çeviricilerde de çok farklı çevrim çeşitleri vardır. Flyback çeviricideki manyetik olarak yalıtılmış devrenin seçiminde çıkış gücü ve gerilimi önemli bir faktördür.

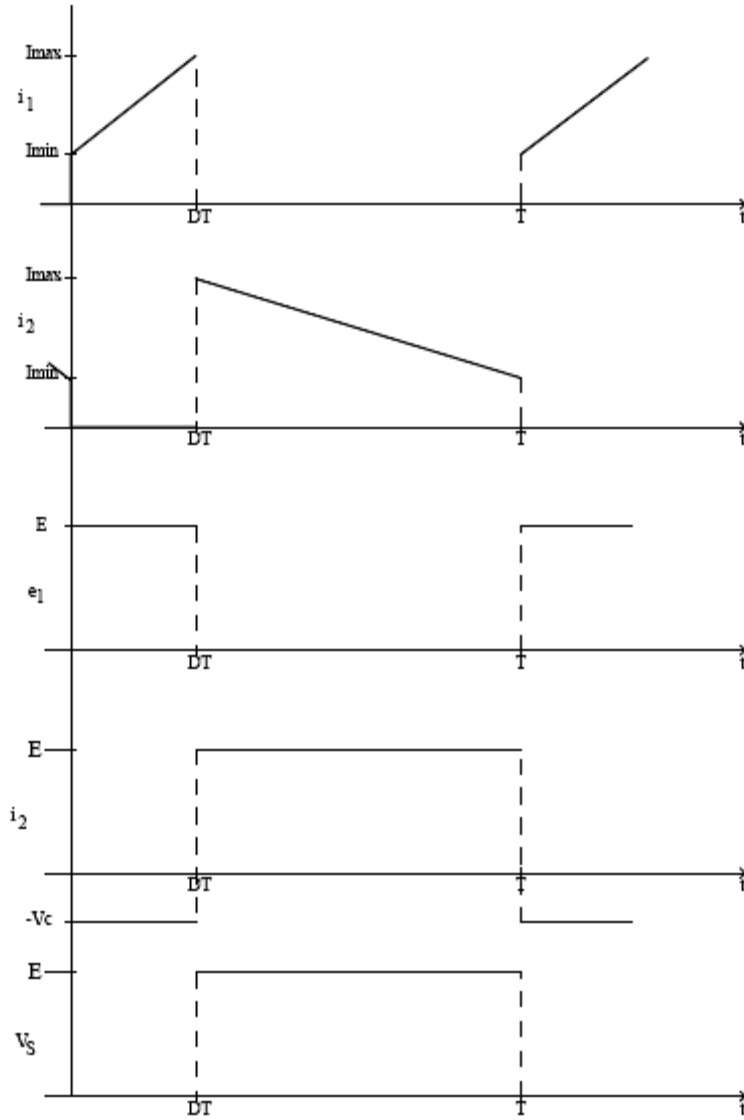
Flyback çevirici kullanılan en eski çevirici tiplerinden birisidir. Şekil 3.16'da temel flyback çevirici devresi görülmektedir.



Şekil 3.16: Flyback çevirici

Devrenin analizinin kolay yapılabilmesi için devre elemanlarının ideal olduğu ve bobinin spir sayıları olan N_1 ve N_2 'nin eşit olduğu varsayılmalıdır.

Anahtar kapalı olduğu zaman süresince, i_1 (E/L_1) A/s verilen oranıyla artar. Bu zaman süresince, i_2 sıfırdır. Diyot, V_C ve e_2 'nin birleşik etkisiyle ters polarmalandırılmıştır. Anahtarın kapalı olduğu sürenin sonunda, i_1 değeri bir adım fonksiyonu olarak sıfıra düşer. Depolanan manyetik enerji, i_2 akımı oluşmasını sağlar. $N_1=N_2$ olduğundan, i_2 'nin değeri i_1 'in sondaki değeri ile aynı olur. Bu aşamada i_2 sıfırdan büyük olduğundan, diyot ileri yönde iletme başlar, e_2 yaklaşık olarak ($-V_C$)'ye eşit olur. Bu durum Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17: Flyback çeviricinin akım ve gerilimleri

Anahtarın kapatılmasının başlangıcındaki i_1 değeri önceki periyottaki i_2 'nin son değeridir. Aynı şekilde, anahtarın açık durumunun başlangıcındaki i_2 'nin değeri DT zamanındaki i_1 ile aynıdır. Bu iki uç akım değeri I_{max} ve I_{min} ile gösterilir.

Anahtar kapalı olduğu sürece

$$\frac{\partial i_1}{\partial t} = -\frac{E}{L_1} \quad (3.44)$$

$$I_{\max} - I_{\min} = \left(\frac{E}{L_1} \right) DT \quad (3.45)$$

Anahtar açıkken

$$\frac{\partial i_2}{\partial t} = \frac{V_c}{L_2} \quad (3.46)$$

$$I_{\min} - I_{\max} = \left(-\frac{V_c}{2} \right) (1-D)T \quad (3.47)$$

Bu dört eşitlikte $N_1=N_2$ olduğundan $L_1=L_2$ olur. Bu eşitliklerden yola çıkarak (3.48) denklemini elde edilir.

$$V_c = \left(\frac{D}{1-D} \right) E \quad (3.48)$$

Bu eşitliğin buck-boost çeviricideki (3.36) eşitliği ile aynı olduğu görülmektedir. Fakat devredeki önemli bir farklılık, çeviricide elektriksel bir izolasyon olması ve N_2 'nin farklı bir değeri ile çıkış geriliminin değiştirilebilmesidir. Eğer $N_2 > N_1$ seçilirse çevirici girişe göre çıkış gerilimini artırır; eğer $N_2 < N_1$ seçilirse çevirici girişe göre çıkış gerilimini azaltır.

Giriş gücünün çıkış gücüne eşit olduğu varsayılarak I_{\max} ve I_{\min} değerlerine ulaşabiliriz.

$$I_{ort} = \frac{1}{2} (I_{\min} + I_{\max}) D \quad (3.49)$$

$$P_{inp} = E I_{ort} = \frac{1}{2} (I_{\min} + I_{\max}) DE \quad (3.50)$$

$$P_{out} = \frac{V_c^2}{R} \quad (3.51)$$

(3.50) ve (3.51) denklemleri birleştirilince denklem (3.52) bulunur.

$$I_{min} + I_{max} = \left(\frac{2E}{R} \right) \left(\frac{D}{(1-D)^2} \right) \quad (3.52)$$

(3.47) denkleminde $I_{max}+I_{min}$ ifadesi bulunduğundan bu iki denklem eşlenince I_{max} ve I_{min} değerlerini bulabiliriz.

$$I_{min} = \left(\frac{E}{R} \right) \left(\frac{D}{(1-D)^2} \right) - \left(\frac{E}{2L_1} \right) DT \quad (3.53)$$

$$I_{max} = \left(\frac{E}{R} \right) \left(\frac{D}{(1-D)^2} \right) + \left(\frac{E}{2L_1} \right) DT \quad (3.54)$$

Çeviricinin sürekli akım modunda kalabilmesi için $I_{min}=0$ yaparak L bobininin minimum değerine ulaşabiliriz.

$$L_1 = \left(\frac{RT}{2} \right) (1-D)^2 \quad (3.55)$$

Kondansatörün değeri ise

$$C = \frac{V_c DT}{R \Delta V_c} \quad (3.56)$$

ile bulunabilir. Formüldeki ΔV_c Kondansatördeki gerilim dalgalanmasını ifade etmektedir.

3.5. İdeal Olmayan Durumlar

DC-DC çeviricilerle ilgili olarak şu ana kadar yapılan analizler devrede kullanılan elemanların ideal özellikleri içerdiğini varsayılarak yapıldı. Çevirici devrelerindeki ideal olmayan devre elemanlarının devrenin genel çalışmasına yaptığı etki az olmasına karşın yine de tasarım sırasında bu etkilerinde hesaplara dâhil edilmesi ve seçilen malzemelere uygun toleransların verilmesi gereklidir.

DC-DC çeviricilerde tasarım aşamasında ideal olmayan durumları dikkate alınması gereken elemanlar, yarı iletken elemanlar, bobin ve çıkış kondansatörüdür.

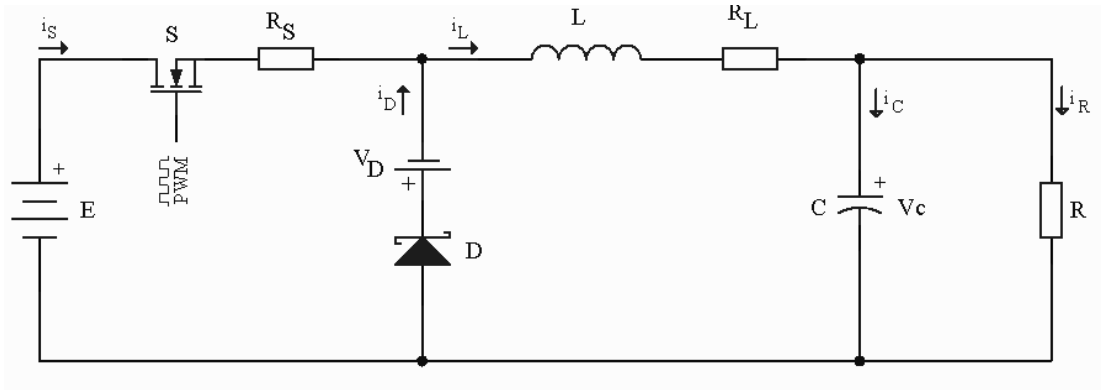
Anahtarlama çeviricilerde anahtarlama elemanı olarak genelde BJT'ler ve MOSFET'ler kullanılmaktadır. MOSFET'lerin ideal olmayan durumunu anahtarlama elemanına seri bağlanmış bir direnç ile ifade edebiliriz. Bu direncin değeri ise MOSFET'in veri sayfalarında belirtilmektedir.

Dikkate alınması gereken başka bir direnç de, çeviricideki bobininin sahip olduğu omik dirençtir. Bu direnç çok küçük olmakla birlikte yüksek akımlı sistemlerde ve duty-cycle oranının yüksek tutulduğu sistemlerde devrenin çalışmasındaki etkileri artmaktadır. Devrede kullanılan çıkış kondansatörünün sahip olduğu ESR'de (Equivalence Serial Resistor) ideal olmayan durumlardan birini oluşturur. Bu değer oldukça küçük bir değerdir ve kondansatörün veri sayfalarından öğrenilebilir. Devrede kullanılacak kondansatör Low-ESR olarak üretilen sınıftan olması sistemin verimini arttıracaktır.

DC-DC çeviricilerde kullanılan diyotların sisteme olan istenmeyen etkisi ise ileri sürüm gerilim düşümüdür. Her diyot ileri yönde iletme geçtiği zaman üzerinde bir miktar gerilim düşümüne sebep olmaktadır. Bu gerilim düşümü tercih edilen diyotun veri sayfasından öğrenilebilir.

3.5.1. Buck çevirici

Şekil 3.18’de buck çevirici devresinin, devre elemanlarının ideal olmayan durumdaki eşdeğerleri ile yeniden düzenlenmiş hali görülmektedir. Devrede bobin, MOSFET ve diyota veri sayfalarından değerleri öğrenilebilecek seri direnç ve gerilim kaynağı eklenmiştir.



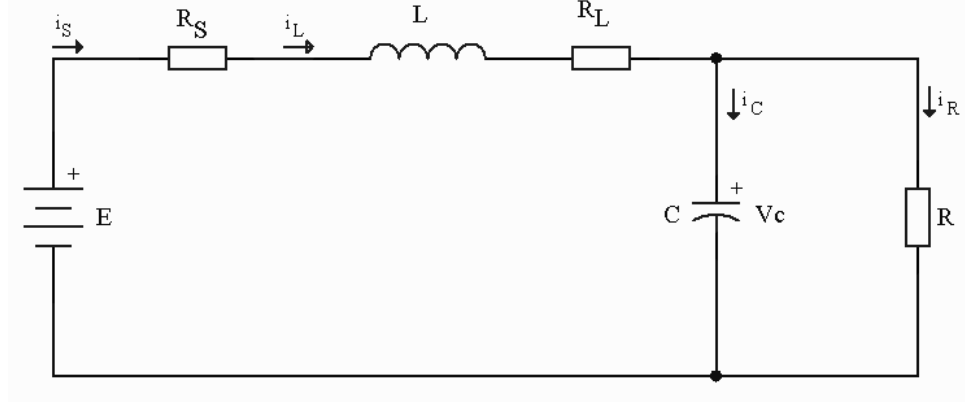
Şekil 3.18: İdeal olmayan devre elemanlarıyla buck çevirici

Devredeki elemanlar değiştiği için, devreyi tanımlayan eşitliklerinde tekrar baştan yazılması gerekir. Anahtarın durumuna göre çeviricinin eşdeğer çizimleri Şekil 3.19’da gösterilmiştir.

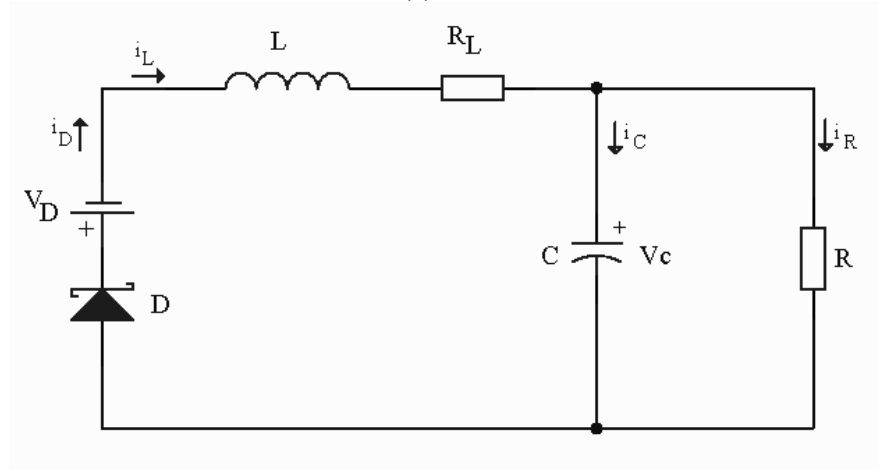
Anahtar kapalı durumdayken gerilimlerin toplanması denklem (3.57) ve devamında (3.58) deki eşitlikleri verir.

$$E = i_L R_S + \frac{\partial i_L}{\partial t} L + i_L R_L + V_C \quad (3.57)$$

$$\frac{\partial i_L}{\partial t} = \frac{E - V_C - i_L (R_S + R_L)}{L} \quad (3.58)$$



(a)



(b)

Şekil 3.19.a) Anahtar on durumunda
b) Anahtar off durumunda

Anahtar açıldığı zaman ise devredeki gerilim toplamlarından (3.59) ve (3.60) denklemlerini elde ederiz.

$$0 = \frac{\partial i_L}{\partial t} L + i_L R_L + V_C + V_D \quad (3.59)$$

$$\frac{\partial i_L}{\partial t} = \frac{-i_L R_L - V_C - V_D}{L} \quad (3.60)$$

Şekil 3.9’da devrenin akım ve gerilimleri görülebilir. Bu şemadaki i_L akımının maksimum ve minimum değerleri her periyot için benzerdir. Bu durumdan faydalanarak (3.61) ve (3.62) eşitliklerini yazabiliriz.

$$I_{\max} - I_{\min} = \left(\frac{E - V_C - i_L(R_S + R_L)}{L} \right) DT \quad (3.61)$$

$$I_{\min} - I_{\max} = \left(\frac{-i_L R_L - V_C - V_D}{L} \right) (1 - D) T \quad (3.62)$$

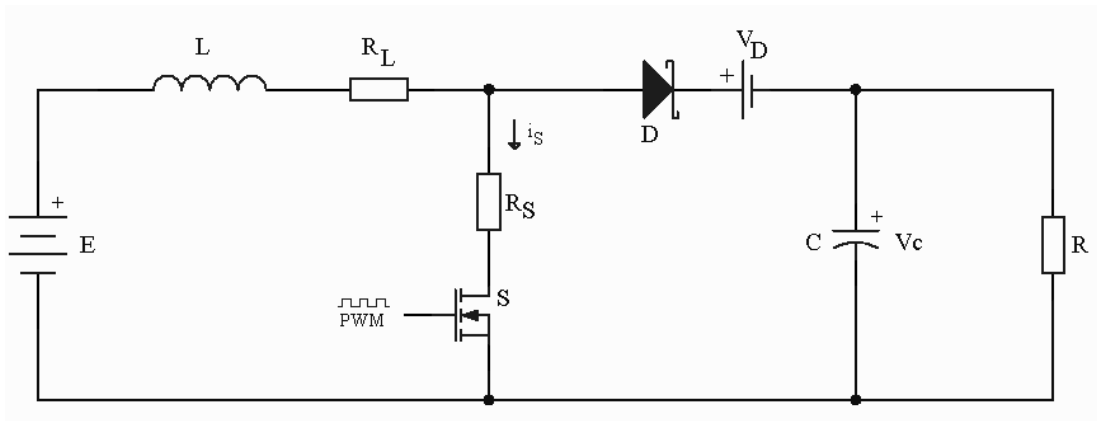
Devrede ortalama i_L ’nin, ortalama i_R ’ye eşit olduğu da göz önünde bulundurularak aşağıdaki gibi bir eşitlik yazılabilir.

$$i_L = i_R = \frac{V_C}{R} \quad (3.63)$$

Denklem (3.63), (3.61) ve (3.62) birleştirilerek (3.64) eşitliği elde edilmiştir.

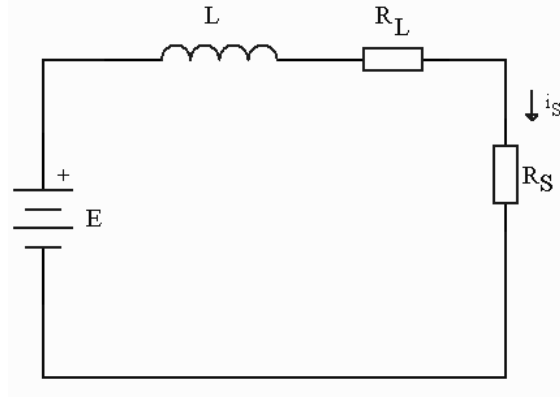
$$V_C = \frac{D(E + V_D) - V_D}{1 + \frac{R_L + DR_S}{R}} \quad (3.64)$$

3.5.2. Boost çevirici



Şekil 3.20: İdeal olmayan devre elemanlarıyla boost çevirici

Şekil 3.11'deki devreye ideal olmayan elemanların eşdeğerlerinin eklenmesiyle Şekil 3.20'deki çizim elde edilmiştir.

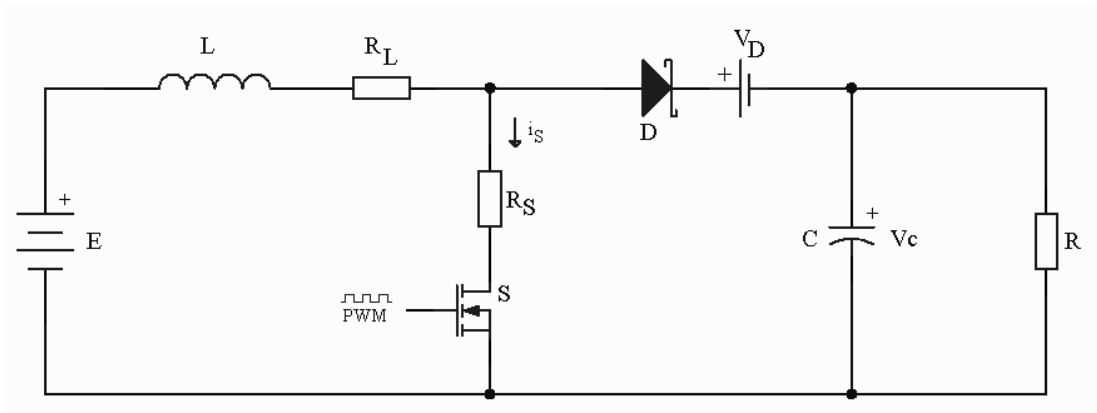


Şekil 3.21: Anahtar kapalı olduğunda

Devrenin yeni haliyle matematiksel ifadesini çıkartmak için anahtarın kapalı ve açık olduğu durumlar yeniden ele alınmalıdır. Anahtar kapalı olduğunda (3.65) ve (3.66) denklemleri elde edilir.

$$E = \frac{\partial i_L}{\partial t} L + i_L (R_L + R_S) \quad (3.65)$$

$$\frac{\partial i_L}{\partial t} = \frac{E - i_L (R_L + R_S)}{L} \quad (3.66)$$



Şekil 3.22: Anahtar açık olduğunda

Anahtarın açık olduğu durumda ise denklem (3.67) ve (3.68) elde edilir.

$$E = \frac{\partial i_L}{\partial t} L + i_L R_L + V_D + V_C \quad (4.67)$$

$$\frac{\partial i_L}{\partial t} = \frac{E - i_L R_L - V_D - V_C}{L} \quad (4.68)$$

Şekil 3.12’de boost çeviricinin akım ve gerilim şekilleri görülmektedir. i_L ’nin maksimum ve minimum değerleri her periyot için benzer olacağından bu eşitliklerden yola çıkarak çıkış gerilimini bulabiliriz. Şekildeki i_L akımının eğimi aynı zamanda türevi olan $\frac{\partial i_L}{\partial t}$ ’ye eşit olacağından denklem (3.69) ve (3.70) yazılabilir.

$$I_{\max} - I_{\min} = \left(\frac{E - i_L (R_L + R_S)}{L} \right) DT \quad (3.69)$$

$$I_{\min} - I_{\max} = \left(\frac{E - i_L R_L - V_D - V_C}{L} \right) (1 - D) T \quad (3.70)$$

Bu iki eşitliğin çözülebilmesi için i_L ’nin eşdeğer ilişkisine ihtiyacımız vardır. i_L Akımının ortalama değeri i_L akımına eşit olmalıdır. Bu durumu göz önünde bulundurarak denklem 3.71 yazılabilir.

$$i_L (1 - D) = i_R = \frac{V_C}{R} \quad (3.71)$$

Denklem (3.69), (3.70) ve (3.71) birleştirildiğinde çıkış gerilimini hesaplayan 3.72 denklemini elde edilir.

$$V_c = \frac{E - V_D(1-D)}{1-D + \frac{DR_s + R_L}{R(1-D)}} \quad (3.72)$$

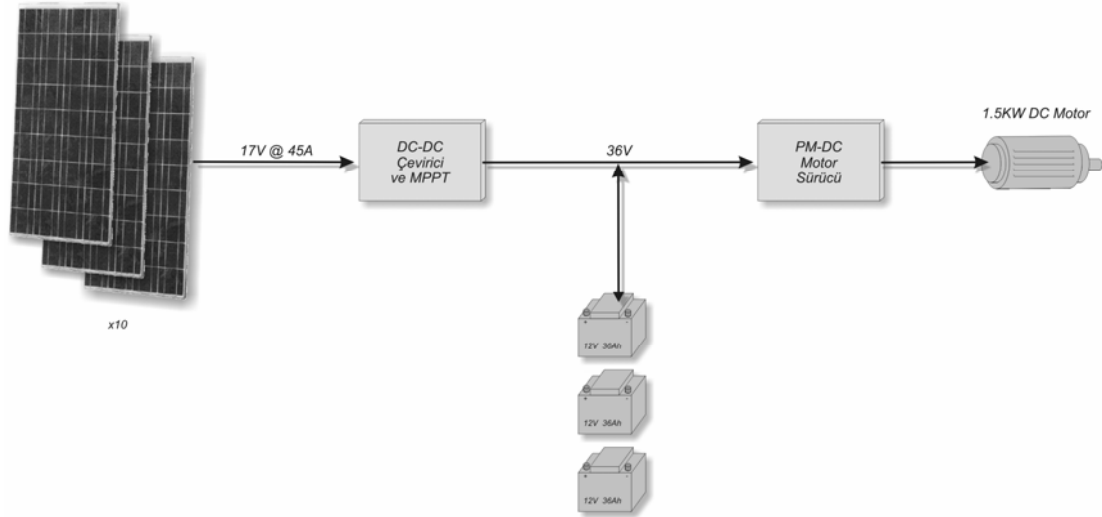
Her iki formül arasındaki fark (3.24 ve 3.72) ideal olmayan devre elemanlarının DC-DC çeviricinin çalışma performansı üzerindeki etkisini göstermektedir. Çeviricideki diyotun ileri yön gerilim düşümü, anahtarlama elemanı olan MOSFET'in iç direnci ve bobinin omik direnci, kritik çalışma durumu olan çeviricilerde (yüksek verim gerekliliği ya da çok yüksek güçteki çeviriciler) hesaplara katılması gereken önemli değerlerdir.

Bu değerlerin idealden uzaklaşması özellikle de yüksek dolu oranlı PWM sinyallerinde çeviricinin çalışması üzerinde önemli ölçüde olumsuz etkileri vardır. Bu olumsuz etkiler ise formüllerden çıkartılabileceği gibi çevirici veriminin düşmesi ve gerilim çevrim oranlarının kısıtlanmasıdır.

4. ELEKTRİK SİSTEMİ TASARIMI

Bu bölümde aracın yüksek akımlı olan elektrik sistemi anlatılacaktır. Elektrik sistemi üreteçler, gerilim çeviricileri, almaçlar ve şalterlerden oluşmaktadır. Elektronik sistem, elektrik sistemi üzerinde bir etkisi olmayacak şekilde tasarlanmıştır. Böylece sistemlerden birisindeki bir problemin diğerini etkilemesi engellenmiştir. Her aracın elektrik sistemi ve elektrik malzemelerinin seçimi verim ve güvenlik açısından önemlidir. Güneş enerjisi ile çalışan aracın elektrik sisteminde üç ana unsur vardır. Bu unsurlar akım üretici, enerji depolama elemanları ve yük şeklindedir. Bunlara sigortalar, kablolar ve komütatörler de eklenebilir.

Güneş enerjisiyle çalışan aracın elektrik sisteminin genel bir bakış açısıyla çizilmiş hali Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Çizimde oklar akımın dolaşma yönünü göstermektedir.



Şekil 4.1: Aracın elektrik sisteminin genel hatlarıyla çizimi

Elektrik sisteminde enerji kaynağı olarak her birisi 80W gücünde elektrik enerjisi üretebilen 10 adet güneş paneli bir birlerine paralel bağlanmıştır. Güneş panellerinin ürettikleri akım, coğrafi konum, mevsim ve hava durumuna bağlı olarak

değişmektedir. Bunu yanında güneş panellerinin çıkış gerilimleri ise panelden çekilen akıma göre doğrusal olmayan bir şekilde değişmektedir. Bu durum giriş gücünün değişken olmasına sebep olmaktadır. Giriş gücündeki bu değişim MPPT (Maximum Power Point Tracker – Maksimum Güç Noktası İzleyici) devresi yardımıyla en üst noktada tutulur ve çıkış gerilimi, giriş geriliminin düşmesinden dolayı elektrik sisteminin devre dışı kalmasını engelleyebilecek bir seviyeye dönüştürülür. MPPT devresi güneş panellerinin ürettiği 17V'luk gerilimdeki 45A'lik akımı 36V (Pratikte bu gerilim 41.1V'tur) ve 22A'e çevirir. MPPT devresi bu gerilim çevrimini olabilecek en iyi verimle gerçekleştirmeli ve güneş pillerinin elektrik modelinden kaynaklanan verim düşüşünü de engellemek için mikro denetleyici tarafından yürütülen bir algoritmaya da sahip olmalıdır.

Güneş enerjisi ile çalışan araçlarda enerjini kaynağının temel kullanım amacı sistemdeki batarya ya da akü grubunun şarj edilmesidir. Çünkü elektrik sistemi üzerindeki alıcı, elektrik sistemine ani yüklenmeler yapacaktır. Bu gibi durumlarda aküler bu yüksek güç ihtiyacını karşılayacaktır. Bu tezde tasarımı anlatılan güneş enerjili araçta 12V-36Ah'lik üç adet kurşun-asitli akü kullanılmıştır. Araçtaki motor DC 36V ile çalıştığından dolayı bu üç akü birbirlerine seri olarak bağlanmıştır. Bu seri bağlama akülerdeki asit yoğunluğu aynı oldukça bir sorun oluşturmamaktadır.

Güneş enerjisi ile çalışan araca hareket verebilmek için 1.5KW gücündeki sabit mıknatıslı DC motor tercih edilmiştir. Motorun 1.5KW tercih edilmesinin sebebi güneş panellerinin 800W güç üretmesi ve akü grubunun toplamda vereceği enerjinin 1000W olmasıdır. Motorun sarımları 36V'da 45A çekebilecek şekilde sarılmıştır. Buna karşın motor ilk kalkış esnasında 60A ve daha fazlası akım çekebilmektedir. Bu durum aracın ilk kalkışında yani motora ilk hareketin verildiği durumlarda elektrik sistemine büyük yük bindirmekte, akülerin kısa sürede boşalmasını sağlayıp aynı zamanda da kablolarının ısınarak yanabilme ihtimalini ortaya çıkartmaktadır. Motorun kontrolsüz bir şekilde çalışması hareketin aktarımını sağlayan mekanik sistemi de zorlayarak mekanik aktarım organlarının yıpranmasını hatta bozulmasına sebep olmaktadır. Buna karşın ilk kalkıştaki bu yüksek güç ihtiyacını elektrik sistemi tam olarak karşılayamadığı için motorun devrini alması zaman almakta ve harcanan enerjiye karşılık üretilen hareket az olmaktadır. Bu durumlar elektrikle çalışan tüm

motorlar için geçerlidir. Bu sebeple elektrik sisteminde DC motor sürücü kullanılmıştır.

DC motor sürücü kokpitteki gaz pedalı aracılığı ile motorun yavaş bir devirle kalkmasını sağlayarak yukarıda bahsedilen tüm istenmeyen durumların önüne geçilmesini sağlar.

4.1. Güneş Panelleri

Aracın temel enerji kaynağı olan güneş ışınlarını elektriğe çevirmek için Sharp firmasının ürünü olan ve her birisi 80W enerji üretebilen NE-80EJE güneş panellerinden 10 adet kullanıldı. Şekil 4.2’de bu güneş panelinin fotoğrafı görülmektedir. Ek-A.1 ‘de bu güneş panelinin veri sayfaları listelenmiştir.



Şekil 4.2: Sharp NE-80EJE güneş paneli

Şekil 4.3’ de ise güneş panellerinin araç üzerinde monte edilmiş hali görünmektedir.



Şekil 4.3: Güneş panelleri

Seçilen bu paneli Sharp firması genel kullanım amacı ile üretmiştir ve bu paneller out-door uygulamalarında güvenle kullanılabilir. Panelin, doğanın bozucu etkilerine karşı uzun süre görevini gerçekleştirmesi için içerdiği yarı iletken malzemenin üzeri ısıya dayanıklı cam ile korunmuştur. Aynı zamanda bu cam su geçirmezliği de sağlamaktadır. Bilindiği gibi güneş panelleri fiziksel etkiye maruz kaldığında zarar görmekte ya da bozulmaktadır. Bu da güneş arabasının kullanım ömrünü kısaltmakta ve enerji/hareket üretimini azaltmaktadır. Güneş paneli araçta kullanılacağından titreşim, darbe ve sarsıntı olması ise kaçınılmazdır. NE-80EJE güneş paneli metal çerçeve ile desteklenmiştir. Güneş pili hücrelerinin esnemesini önleyen bu çerçeve panellerin kullanım ömrünü uzatmakta aynı zamanda panelin araca montesini de sağlamaktadır. [4]

Panelde yarı iletken malzeme olarak “Multi-crystal silicon” teknolojisi kullanılmıştır. Panellerin her birisi maksimum güç noktasında 17.1V gerilim ve 4.67A akım üretebilmektedir. Yine maksimum güç noktasındaki çevrim kazancı ise %12.60’dır. Panelin teknik bilgileri Tablo 4.1’deki gibidir.

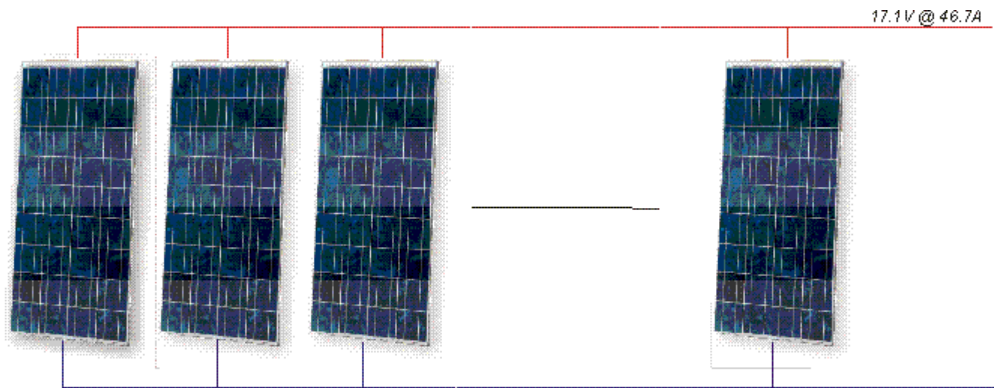
Tablo 4.1: Güneş paneli teknik bilgileri

Hücre özelliği	Multi-kristal silikon
Hücre sayısı ve bağlantı şekli	36 hücre, seri bağlı
Açık devre gerilimi (V_{OC})	21.3V
Maksimum güç gerilimi (V_{PM})	17.1V
Kısa devre akımı (I_{SC})	5.3A
Maksimum güç akımı (I_{PM})	4.67A
Maksimum güç (P_m)*	80W
Minimum güç (P_m)*	72W
Güneş hücresi verimi	%14.00
Modül verimi	%12.60
PTC'deki çıkış gücü **	70.20W
Maksimum sistem gerilimi	600VDC
Seri sigorta değeri	10A
Çıkış terminal tipi	Kutu bağlantısı

* STC (Standart test koşulları) 25°C, 1kW/m²

** PTC (Pasifik test koşulları) 20°C, 1kW/m², 1m/s rüzgar hızı

Araçta güneş panelleri paralel bağlanarak 17.1V - 46.7A'lık bir güç elde edilmiştir. Güneş panellerinin ürettiği elektrik enerjisini maksimum verimle kullanabilmek için ise paralel bağlanmış olan panellerle (Şekil 4.4) araç gerilim barası arasına maksimum güç noktası izleyicisi adı verilen devre eklenmiştir. Bu devre 17.1V olan panel gerilimini 36V'a yükseltip gücün atıl vaziyette kalmasını engeller.



Şekil 4.4: Güneş panellerinin bağlantısı

4.2. Akü Grubu



Şekil 4.5: Akü grubunu oluşturan aküler

Güneş enerjisi ile çalışan araçlarda, hareketin temel kaynağı güneş ışınlarıdır. Buna rağmen, güneşten faydalanma imkânının az olduğu sabah-akşam saatlerinde ya da araçla güneş arasına bir bulut girdiğinde bu enerji yetersiz olabilmektedir. Yine buna benzer olarak ilk kalkışlarda ihtiyaç duyulan anlık yüksek gücü karşılayabilmek için araçta bir enerji depolama biriminin bulundurulması zorunludur. Bu sebeple araç elektrik sistemine üç adet akünün oluşturduğu akü gurubu eklenmiştir. Akü seçimi olarak ise Mutlu Akü A.Ş.'nin üretimi olan 12V-36Ah'lik kurşun asitli akü tercih edilmiştir. Aküler Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Bu üç akü birbirleri arasında seri bağlanarak 36V'luk bara gerilimi sağlanmıştır. Bu gerilim seçilen motorun nominal çalışma gerilimi ile uyum halindedir.

Normal çalışma sırasında güneş panelleri motora enerji verirken aynı zamanda aküleri de şarj etmektedir. Fakat yukarıda bahsedilen güneşin olmadığı ya da hareket için ihtiyaç duyulan enerji güneş panelleri tarafından sağlanamadığı durumlarda bataryalar güç sistemine takviyede bulunacaklardır. Güneş arabasında kullanılan

sabit mıknatıslı DC motorun maksimum akımı etiket değerlerine göre 45A'dır. Buna göre

$$\text{Deşarj süresi} = \frac{\text{Akükapasitesi}}{\text{Çekilenakım}} = \frac{36Ah}{45A} = 48dk. \text{ dir.}$$

Fakat bu süre 10 saatten az olduğu için pratikteki deşarj süresini bulabilmek için yaklaşık %70'i alınır. Böylece aküler tam dolu iken ve motor 45A'lık tam yükte iken araç 33dk. süresince tam kapasite ile hareket edebilir.

Aküler tamamen boş durumdayken sadece güneş panelleri ile kaç saatte şarj edilebileceği Güneş Arabaları için önemli bir bilgidir. Güneş panelleri maksimum güneş ışınımı etkisindeyken MPPT devresi aracılığı ile 41V, 20A şarj akımı üretebilmektedir.

4.3. Motor

Güneş arabası hareketi, 1.5KW güce sahip sabit mıknatıslı (Permanent Magent) DC motor ile üretir. FEMSAN A.Ş.'nin özel üretimi olan bu motor nominal 36V çalışma geriliminde 45A'e kadar akım çekebilmektedir. Güneş arabasında kullanılmak üzere özel olarak tasarlanan bu motor ısınma, aşırı yüklenme ve buna bağlı olarak aşırı akım çekmesi durumunda oluşabilecek bozulmalara karşı dayanımlıdır. Şekil 4.6'de motor görülmektedir.



Şekil 4.6: Motor

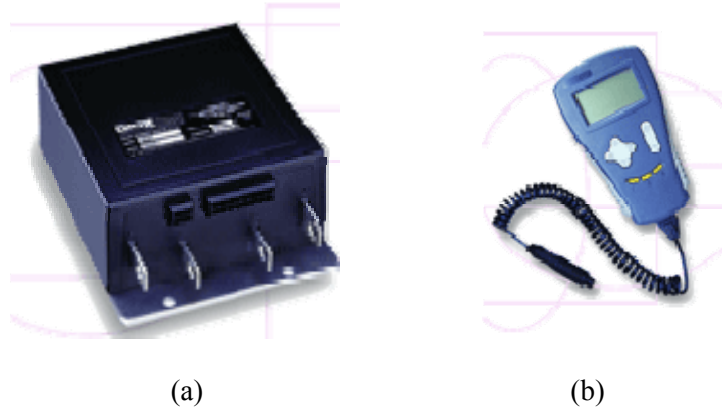
Bu motorun gövdesi normal 1.5KW'lık motorlara göre daha hacimli ve ağırdır. İlk düşüncede bu bir dezavantaj gibi gözükse de aracın ısınma ve aşırı yüklenmeye karşı dayanımı açısından faydaları daha fazladır. Motorun ürettiği hareketi tekerleklere aktarmak için ise bir adet 1/3 oranında zincir-dişli düzeneği, ona ilaveten 1/2 oranında ek zincir-dişli düzeneği kullanılmıştır. Bu durumda toplam olarak motorun devri 6 kez düşürülmüştür. Bu istenilen bir durumdur çünkü aracın yokuş çıkarken gösterilen zorluğu ya da ilk kalkış anındaki eylemsizlik ataletini yenebilmesi gerekmektedir. Şekil 4.7'de motorun mekanik bağlantısı, devir düşürmek için kullanılan zincir ve zincir dişlileri görülmektedir.



Şekil 4.7: Motorun bağlantısı

4.4. Motor Sürücü

Güneş arabasında pilotun hızı kontrol edebilmesi ve özellikle de ilk kalkış anında motorun çekeceği aşırı akımın kontrol altında olabilmesi için bir motor sürücü kullanılması zorunludur. Gayret güneş arabasında motor sürücü olarak Curtis firmasının ürettiği 1227-37 model numaralı sabit mıknatıslı DC motor sürücüsü tercih edilmiştir. Bu sürücünün veri sayfaları EK-A.2’de verilmiştir. Şekil 4.8’de motor sürücü ve programlama terminali görülmektedir.



Şekil 4.8.a) Curtis 1227-37 PM-DC Motor sürücüsü
b) PMC1307 Programlama terminali

Tam köprülü MOSFET’li sürme katına sahip bu sürücü ile yüksek çalışma kazancına sahiptir. Verimin çok önemli olduğu güneş enerjili sistemlerde bu çok önemli bir parametredir. Yine sürücünün diğer bir özelliği de DC motorun yönünü elektronik olarak kontrol edebilmemizi sağlamasıdır. Bu özellik bizi harici bir kontaktör kullanmaktan kurtarmaktadır. Sürücüyü programlayarak hızlanma eğrisini ve süresi tanımlayabilir, aşırı akım koruması ile araç elektrik tesisatını ve motoru koruyabiliriz. Sürücünün diğer bir önemli özelliği ise regenerative breaking yeteneği sayesinde frenleme anında ve sürücünün çalışmadığı (gaza basılmadığı) zamanlarda aracın yönü ve ivmesi ne olursa olsun bataryaları şarj edebilmesidir.[5]

Curtis 1227-37 sürücüsü 28V-48V aralığında çalışabilmekte düşük ve aşırı gerilim koruması ile araç elektrik sistemini ve motoru korumaktadır. Bu sürücü ile kısa süreli olarak 160A’ye kadar olan yükler sürebilir.

Araç pilotunun motor devrini kontrol edebilmesi için Şekil 4.9’da resmi görülen ve içerisinde bir ayarlı direnç bulunan gaz pedalı sürücü kokpitine eklenmiştir.



Şekil 4.9: Elektronik gaz pedalı

Curtis 1227-37 DC motor sürücüsünün teknik özellikleri aşağıda listelenmiştir.[5]

- Tam köprü güç MOSFET tasarımı ile ayarlanabilir ileri/geri sürme ve frenleme kontrolü, sessiz yüksek frekanslı sürme tekniği ile yüksek verim.
- Curtis PMC1307 el programlayıcısı ile sürücü parametrelerinin kolaylıkla ayarlanabilmesi, hata ayıklama ve testlerin görsel olarak yapılabilmesi
- Durum gösterge lambası ile çalışma durumunun dışarıdan izlenebilmesi
- Hacri wig-wag, pedal ve rotary gaz bağlanabilir. 0-5V gaz girişini kabul eder.
- Sürücü parametreleri dışarıdan seçilebilen iki farklı modda ayarlanabilir.
- Harici potansiyometre ile hız limiti seçilebilir.
- Doğrusal hızlanma ve yavaşlama eğrileri seçilebilir. Modlara arasında yumuşak geçiş yapar.
- Akım sınırlamalı motor sürme ve akım geriüretimi
- Isıya karşı limitli ve dayanıklı güç sistemi
- Ters bağlantı girişi korumalı
- Harici anahtarlar ile mod ve yön seçilebilmesi

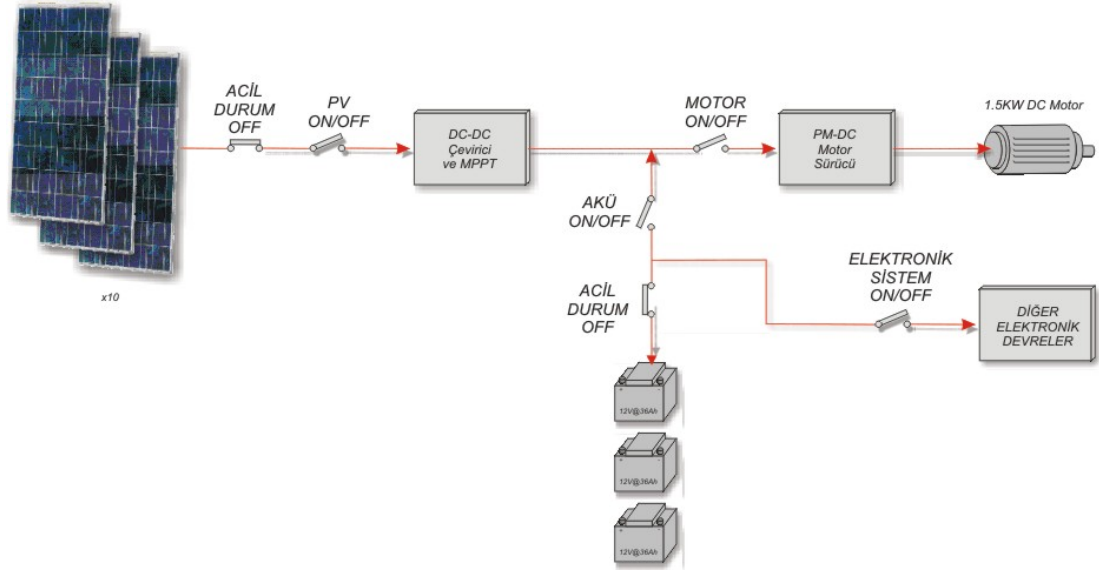
4.5. Elektrik Kumanda Paneli

Her elektrik sisteminde olduğu gibi güneş enerjisi ile çalışan araçta da elektrikli sistemlerin açılıp kapanabilmesini sağlayan anahtarlar, güvenlik içinde acil durum düğmesi ve sigortaların olması zorunludur. Elektrik sistemindeki her bir ünite için ayrı bir açma kapama şalteri ve bir adet acil durum düğmesi düşünülmüştür. Açma kapama yapmak için pako şalterler tercih edilmiştir. Şekil 4.10’da kullanılan pako şalterlerin resmi görölmektedir.



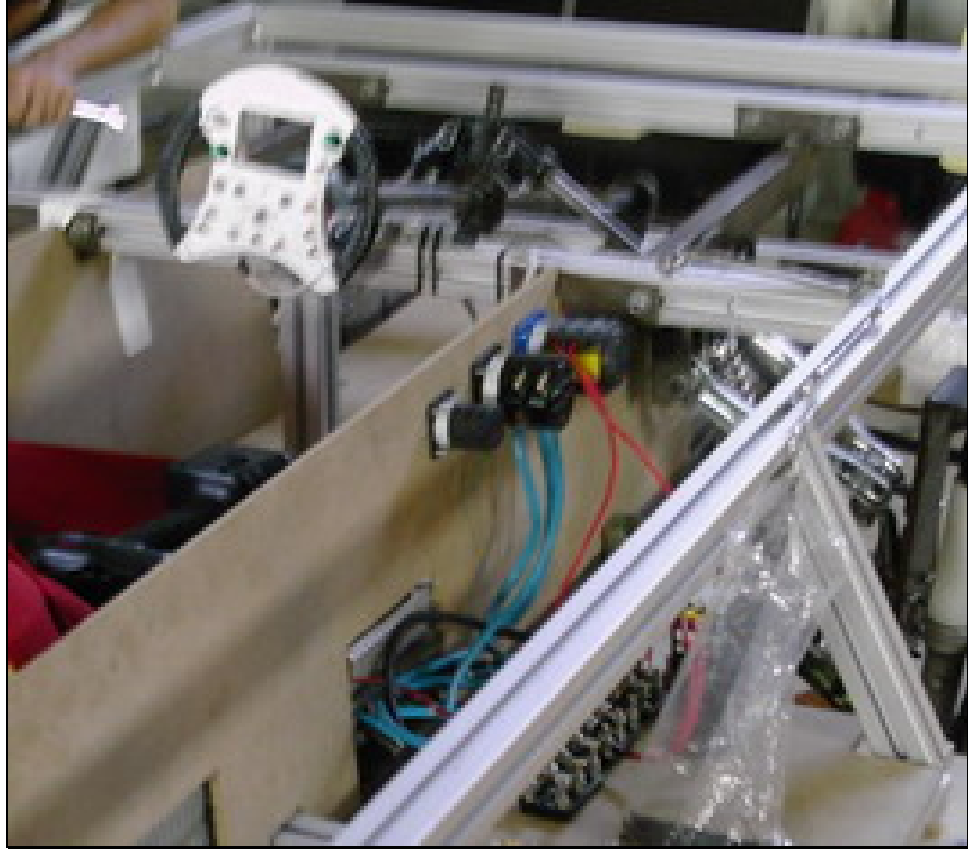
Şekil 4.10: Pako şalter

Elektrik sistemi kontrol şalterlerinin gösterildiği çizim Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Elektrik paneli toplam dört adet pako şalter ve bir adet acil durum düğmesinden oluşmaktadır.



Şekil 4.11: Elektrik sistemi ve kontrol şalterleri

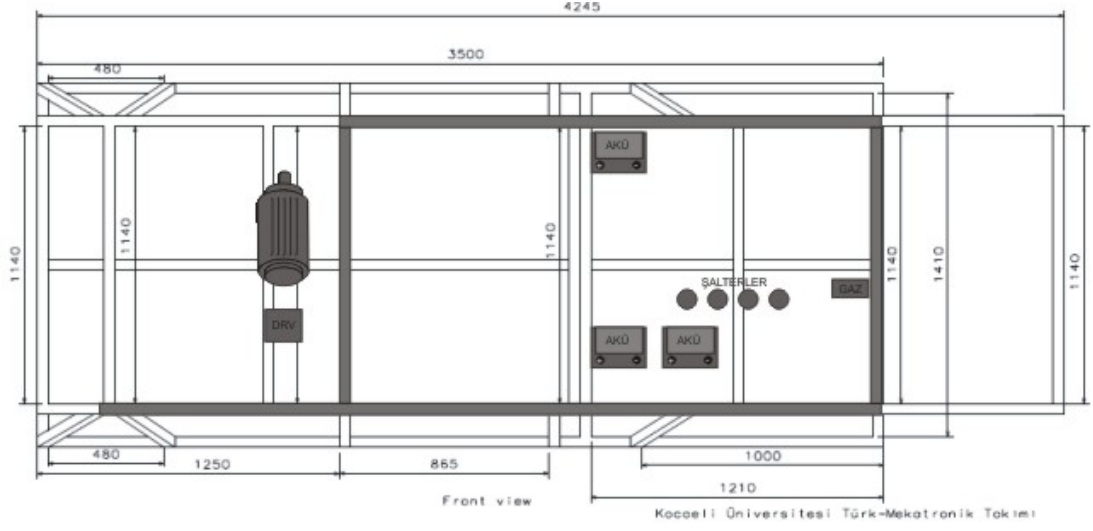
Güneş panellerinden çekilebilecek maksimum akım 45A olduğu için bu kısmı açıp-kapatacak olan pako şalterin dayanma akımı 60A olacak şekilde seçilmiştir. Yine acil bir durum olduğunda güneş panellerinin sisteme enerji vermesini engellemek için ikinci bir acil durum kontağı da güneş panellerinin enerji hattı üzerine eklenmiştir. Herhangi bir acil durumda sürücü, acil durum düğmesine basarak normalde kapalı olan bu kontağın açılmasını sağlar ve elektrik sistemine güç sağlayan kısımlar sistemden çıkartılmış olur. Elektrik sisteminde akü grubunu devreye almak ya da çıkartmak için seri olarak bağlanmış bir adet pako şalter bulunur. Bu şalter de 60A akımı geçirebilmektedir fakat motor kalkışta ve yüke binme durumlarında bazen 60A'yi aşabileceği düşünülerek pako şalterdeki üç adet bağlantı yolu paralel bağlanmış ve şalterden kaynaklanabilecek verim kaybı ve tehlikeler önlenmiştir. Yine sadece güvenlik açısından motora da bir adet şalter bağlanmış ve akü grubunda olduğu gibi şalter üzerindeki üç yol paralel bağlanarak aşırı akımın şaltere zarar vermesi engellenmiştir. Şekil 4.12'de şalterler araca monte edilirken görülmektedir.



Şekil 4.12 Elektrik panosu

4.6. Kablolar ve Yerleşim

Elektrik sisteminin tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan birisi de kablo kesitleri ve kabloların geçiş yollarıdır. Eğer seçilen kablonun kesiti, çekilen hatta göre küçük olursa kablo ısınma ve daha ileri bir aşamada yangın çıkartacaktır. Bu da çok riskli bir durumdur. Araçlarda titreşim çok olduğu için kablonun yalıtkanı dayanıklı olmalı ayrıca çok telli olmalıdır çünkü tek telli kablolar titreşim ve sarsıntıdan dolayı zamanla bağlantı yapılan kısımlarından kırılma oluşturabilirler. Şekil 4.13' de ise kabloların dolaştırıldığı kanallar ve elektrik cihazlarının yerleşimi gösterilmiştir. Yerleşim aracın yük dengesini bozmayacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 4.13: Kablo kanalları ve cihazların yerleşimi

Güneş enerjisi ile çalışan arabanın elektrik sistemini oluşturan parçaların seçiminde yarışma kuralları, parçaların elektriksel olarak birbirine uyumlu olması göz önünde bulundurulmuştur.

5. ELEKTRONİK SİSTEM TASARIMI

Bu bölümde anlatılan konular daha çok belirli bir tasarım sonucu üretilmiş olan sistemlerdir. Konu başlığı her ne kadar elektronik sistem olarak isimlendirilmişse de tasarlanan her elektronik birim arka planda bir yazılımı da içermektedir. Güneş enerjisi ile çalışan araç temelde elektrikli bir araç olmasına karşın, verimin artırılması, bir kısım sürücü kontrolleri, sistem parametrelerinin sürücü tarafından izlenmesi ve güvenlik gibi işlevleri sağlayan bir elektronik sistem de araçta bulunmalıdır. Buna karşın tasarımı yapılan güneş enerjili araçta, elektrik sistemi ile elektronik sistemi olabildiğince bir birinden bağımsız olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bunun sebebi ise hata oluşma ihtimali daha yüksek olan elektronik sistemdeki bir problemin aracın komple iş yapmaz duruma getirmesini önlemektir. Araçtaki elektronik sistem daha çok çeşitli kısımlardan ölçüm yapıp sürücüyü bilgilendirmesi amacıyla tasarlandı. Elektronik sistemdeki kısımlar ve görevlerini şu şekilde listeleyebiliriz.

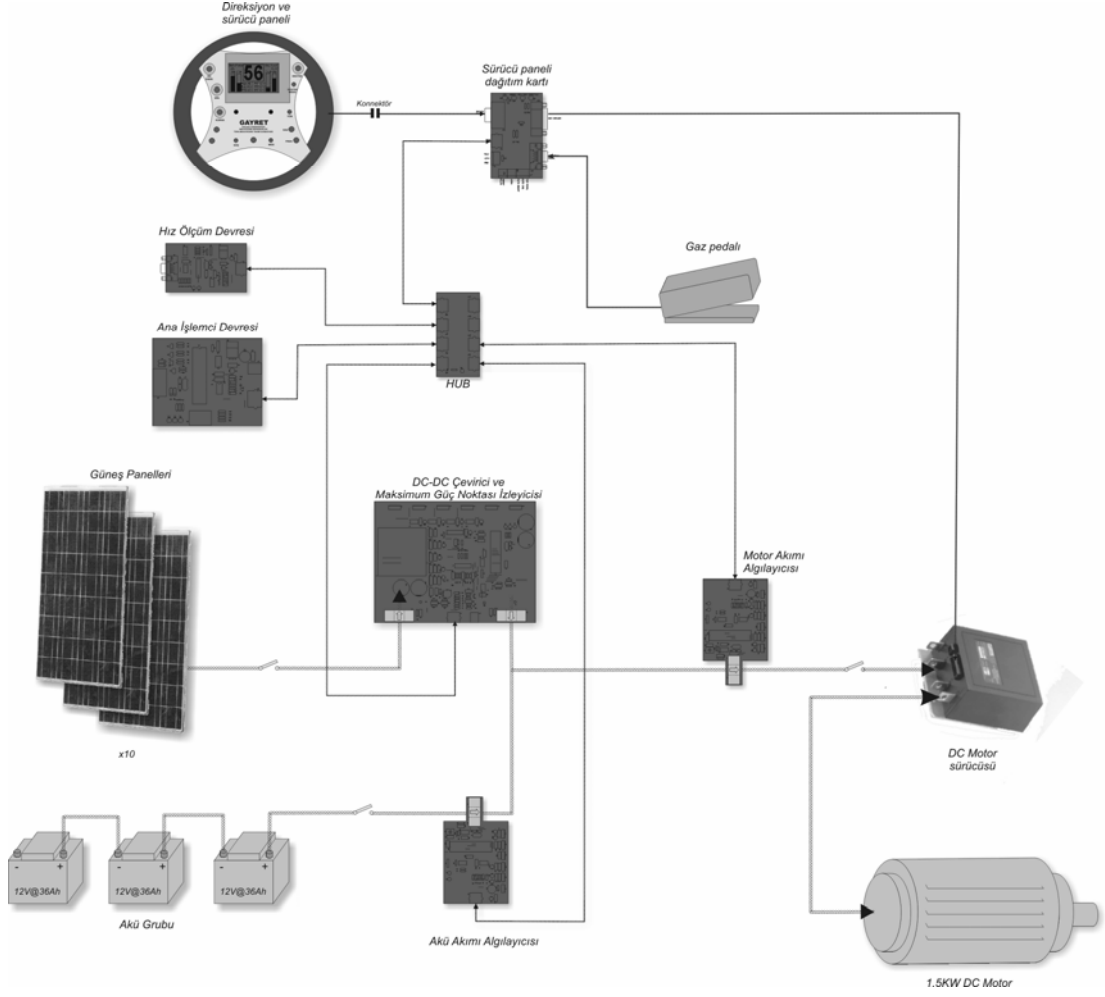
MPPT: Güneş panellerinden alınan enerjinin yaklaşık %30 daha verimli kullanılmasını sağlar, farklı güneş ışınım şiddetlerinde sistemdeki gerilimin düzenli olmasını sağlar ve aynı zamanda gerilim dönüşümü yapar.

Sürücü paneli: Motorun kumandası ile alakalı kontroller ve ölçülen bilgilerin grafik LCD ekran üzerinden sürücüye gösterilmesini sağlar.

Akım algılayıcıları: Güneş panelinden, akülerden alınan akımlar ve motorun çektiği akımın ölçülmesini ve seri yoldan sürücü ekranına iletilmesini sağlar.

Hız algılayıcı: Tekerlekteki hız sensorunun bilgilerini yorumlayarak hızı seri yoldan ekrana iletir.

Araç seri yolu: Elektronik kartlar arasındaki veri iletişimini sağlar.



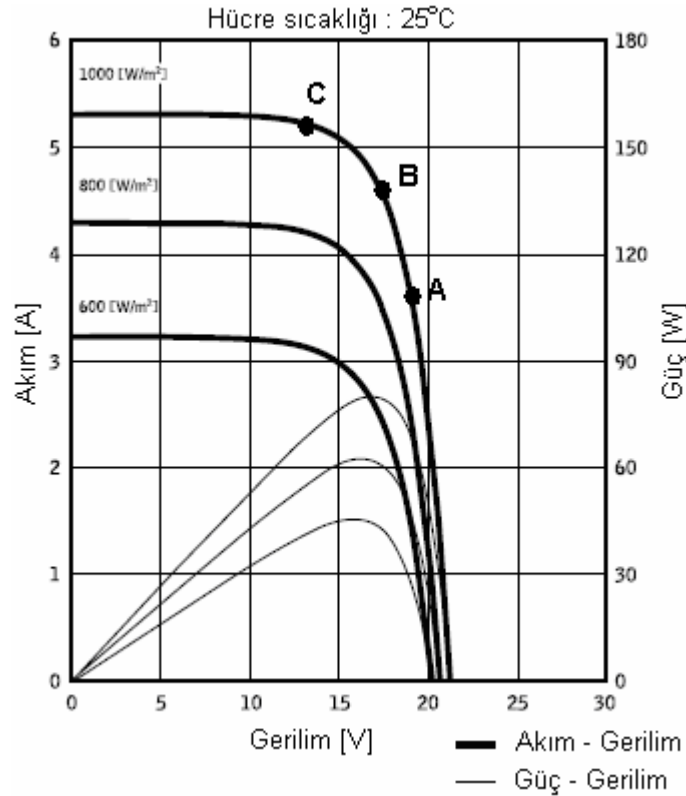
Şekil 5.1: Güneş enerjisiyle çalışan aracın elektronik sistemi

Elektronik sistemdeki tüm devreler RS485 standartını kullanan bir seri yolla bir birine bağlıdır. Elektronik devrelerin topladığı bilgiler bu seri yol üzerinden sürücü ekranına aktarılır. Araç seri yolu Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Çizimde seri haberleşme yolunun dağıtımı için kullanılan HUB’da görülmektedir. Şekilde enerji hatları takip edilirse MPPT devresi haricinde elektrik sistemi ile elektronik sistemin tamamen ayrı bir şekilde dizayn edildiği anlaşılmaktadır.

5.1. Maksimum Güç Noktası İzleyici

5.1.1. Tasarım

Güneş panelini kaynak olarak kullanan elektrikli sistemlerde, panellerin yapısından dolayı çekilen akıma göre çıkış geriliminde doğrusal olmayan bir değişim oluşur. Bu değişim Şekil 5.2’de görülmektedir. Panellerin çıkış gerilimi, çekilen akıma bağlı olduğu gibi, panellerin üzerinde düşen güneş ışığı yoğunluğuna ve ortam ısısına bağlı olarak da farklılık göstermektedir. Ticari güneş panellerinin anılan çıkış gücü, birim alana düşen güneş ışığı yoğunluğunun 1000W/m^2 olduğu ortamda, panelin üretebildiği elektrik enerjisi olarak tespit edilmiştir. Anılan çıkış gücünün panelin verebileceği maksimum güç olduğu varsayılır. Güneş ışığı yoğunluğu düştükçe güneş panelinden çekilebilecek akımında azaldığı Şekil 5.2’deki eğrilerde görülmektedir.



Şekil 5.2: Güneş paneli akım-gerilim ve güç-gerilim eğrisi

Şekil 5.2’de $1000\text{W}/\text{m}^2$ güneş ışığının olduğu bir ortamda çekilen akım 3.8A iken gerilimin 19V olduğu görülmektedir (A noktası). Bu durumda A noktasındaki üretilen güç $3.8\text{A}\times 19\text{V}=72\text{W}$ ’dır. Yine aynı güneş ışığı ortamında ($1000\text{W}/\text{m}^2$) güneş panelinden daha fazla akım çektiğimizi varsayarak, çekilen akımın 4.6A olduğunu düşünelim. Bu durumda eğriden çıkış geriliminin 17V ’a düştüğünü görürüz. (B noktası) Yeni akım ve gerilim değerlerine göre üretilen güç $4.6\text{A}\times 17\text{V}=78.2\text{W}$ olmuştur. Aynı durumu C noktası içinde düşünecek olursak, güneş panelinden C noktasında 5.1A çekilmesine karşılık çıkış geriliminin 14V ’a düştüğü görülür. Bu durumda C noktasındaki üretilen çıkış gücü $5.1\text{A}\times 13\text{V}=66.3\text{W}$ ’a düşmüştür.

Bu değerlerden de anlaşıldığı gibi aynı güneşlenme ortamında, yükün giderek artmasına karşın güneş panelinden alınabilecek güç miktarı doğrusal olmayan bir şekilde farklılık göstermiştir. Bir noktaya kadar üretilen güç yüke bağlı olarak artmış fakat bir noktadan sonra yükün artmasına rağmen üretilen güçte azalma olmuştur. Eğer bu durum kontrol altında tutulmazsa sistem düşük bir verimle çalışacaktır. Maksimum güç noktası takip edici adı verilen sistemler değişim gösterebilen bu çıkış gücünü hep en üst tepe noktasında tutmaya çalışırlar. MPPT devreleri basit bir akım sınırlayıcıdan çok daha öte bir tasarım alt yapısını içermektedirler. Çünkü güneş panellerindeki maksimum güç noktası panelin üzerinde düşen güneş ışınlarının enerjisine göre yer değiştirebilmektedir. Güneş panelindeki bu güç noktasının yeri güneşli bir günde, araç bir gölgelikten geçerken bile değişmektedir. Güç izleyici ise her türlü durumda etkin güç noktasını hemen tespit edip enerji kullanım verimini en üstte tutmaya çalışacaktır [6,7].

Tasarlanan bu devredeki başka bir özellik ise gerilim çevirimi yapmasıdır. Güç izleyici devre güneş panellerinden alınan 17V seviyesindeki gerilimi motorun nominal çalışma gerilimi olan 36V ’a yükseltmektedir. Bu çevrimi boost tipi DC-DC çevirici ile gerçekleştirir.

Tasarımı ve uygulaması yapılan güneş enerjili arabadaki MPPT devresi, devredeki akım sensorları yardımıyla giriş ve çıkış akımlarını, gerilimlerini ve güçlerini okuyup sürücü ekranında görünmesi için bu bilgileri hazırlar.

5.1.2. Tasarım kriterleri

Güneş arabasında çalışacak bir MPPT devresini tasarlamaya başlamadan önce aşağıdaki kriterlerin göz önünde bulundurulması gerekir

- Elektriksel karakteristiği: Güneş panellerinden 0-21V arası değişebilen bir çıkış gerilimine karşın 0-45A arası bir akım alınabilmektedir. Bu giriş gerilimlerinin yanında çıkış gerilimi 42V olmalı ve 25A'e kadar akım verebilmelidir.

- Kazanç: Sistem bir arabada kullanılacağı için en önemli kriterlerden birisi de kazanç olacaktır. DC-DC çeviricilerde, ideal olmayan elemanlar yüzünden hiçbir zaman giriş gücü, çıkış gücüne eşit değildir. Gerek bobinin omik direncinde, gerek anahtarlama elemanının iç direncinde ve gerekse de diyotun oluşturduğu ileri yönlü gerilim düşümü ve diğer ısı vs. gibi durumlar mutlaka ekstra bir güç sarfiyatı oluşturacaktır. Önemli olan bu sarfiyatın en aza indirilmesidir.

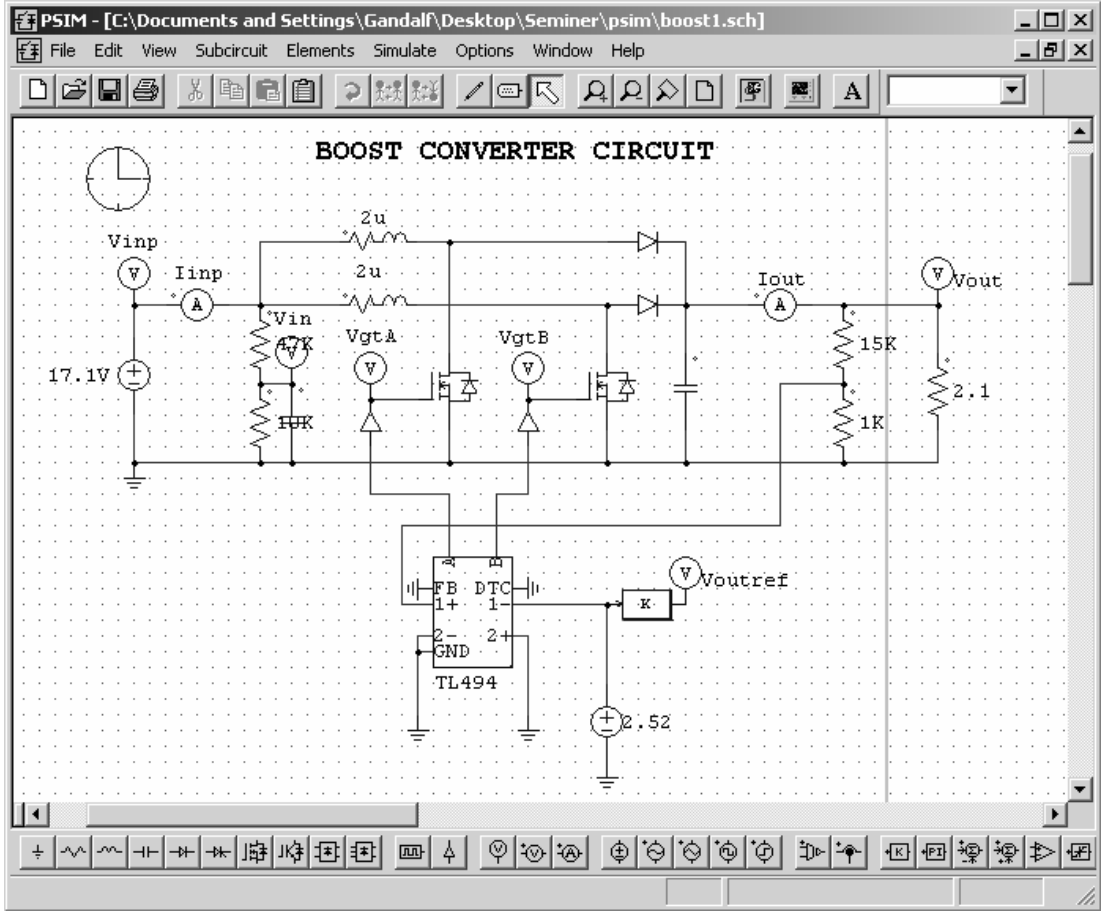
- Algoritmanın esnekliği ve hızı: MPPT devresi, bir araçta kullanılacağı için güneş panelleri sürekli ve hızlı bir şekilde değişken güneş ışını yoğunluğu altında kalacaktır. MPPT algoritması görevini yürüten her türlü değişken giriş gücüne olabildiğince hızlı bir şekilde tepki vererek maksimum güç noktasını hemen tespit edebilmelidir.

- Elverişsiz ortam şartları: Devre, dış çevreden kaynaklanan bozucu etkilere karşı özellikle de yüksek çevre ısısına ve titreşime karşı dayanıklı olmalıdır.

- Maliyet: Ticari MPPT devrelerinin ortalama satış fiyatı 1000-2000\$ arasındadır. Bu fiyat MPPT devresinin gücüne göre büyük oranda artış gösterebilmektedir. Üretilecek güç izleyici devrenin maliyeti de bu miktarları geçmemelidir.

5.1.3. Simülasyon

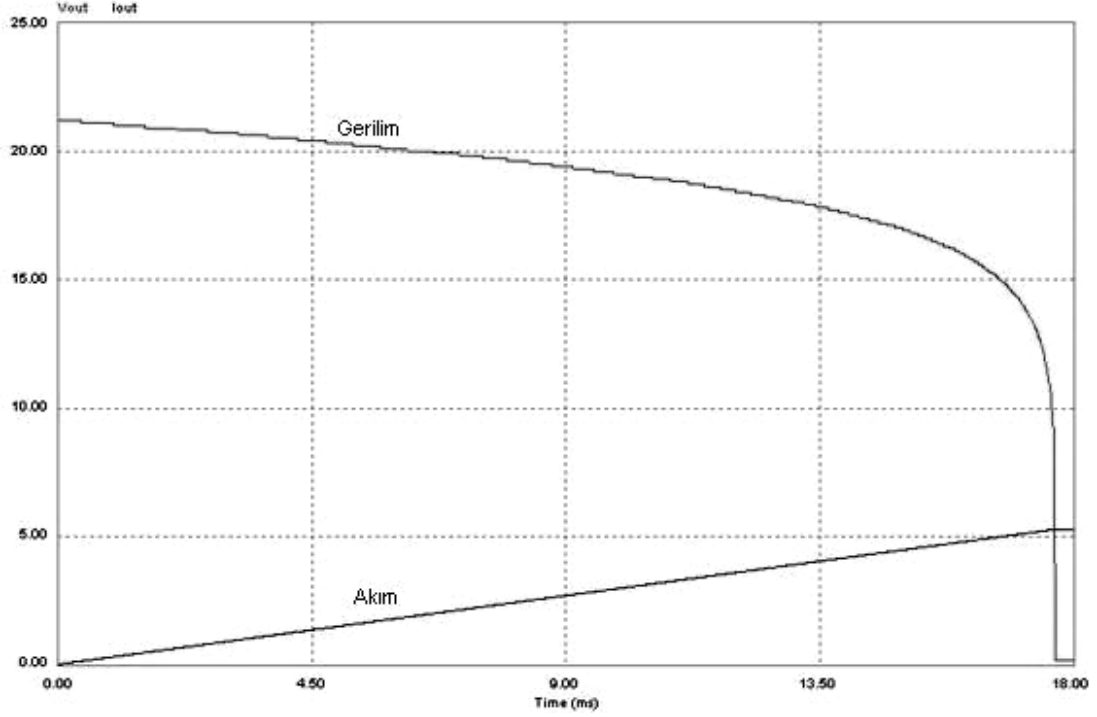
MPPT devresinin simülasyonu PowerSim firmasının bir ürünü olan PSIM adlı programda yapılmıştır. PSIM güç elektroniği ve motor kontrolü uygulamalarının simülasyonu için geliştirilmiş basit kullanım ve uygulama ara yüzüne sahip bir programdır [10].



Şekil 5.3: PSIM programı

Programın kütüphanesi bir çok güç ve kontrol elemanını içermesi ve bu elemanların ideal olmayan durumlarını da desteklemesi sebebiyle bir çok güç elektroniği sisteminin tasarımında kullanılmaktadır. Program yapılan devreleri gerçek zamanlı olarak çalıştırıp gerilim ve akımları son derece hassas olarak çizebilmektedir. (Şekil 5.4). PSIM programı simülasyon çıktılarını zamana göre çizdirilebilmektedir. Bu sebeple bu tezdeki tüm simülasyon çalışmaları PSIM programı ile yapılmasına

rağmen, PSIM programının ürettiği simülasyon çıktıları MATLAB programına aktarılmış ve tekrar çizdirilmiştir.

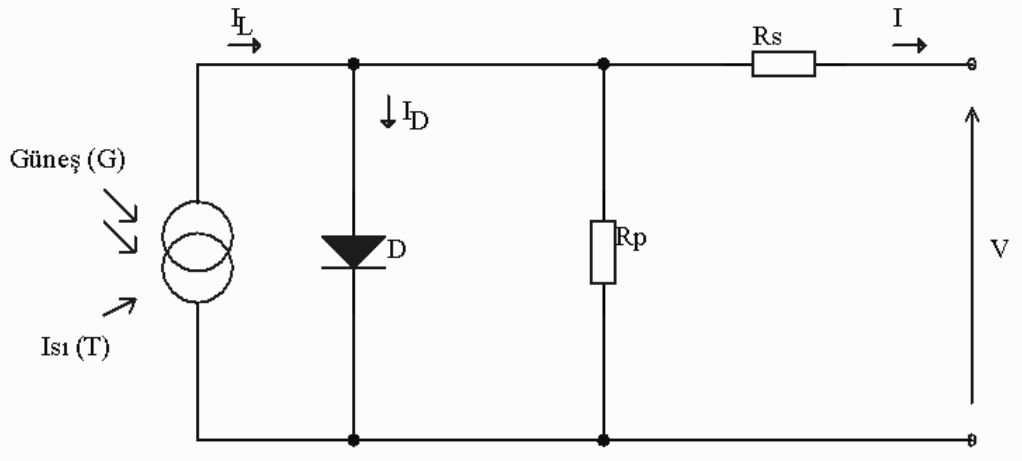


Şekil 5.4: PSIM ile yapılmış bir simülasyonun çıktısı

MPPT devresinin simülasyonunu yapabilmek için güneş paneli, DC-DC çevirici, ayarlı yük ve MPPT algoritması olmak üzere dört adet sistemin modeli üretilmiştir.

5.1.3.1. Güneş paneli modeli

Bir güneş pilinin tek diyotlu prensip eş değer devresi Şekil 5.5'de görüldüğü gibi tanımlanabilir [11].



Şekil 5.5: Güneş pili prensip eş değer devresi

Tanımlanan eş değer devrede çıkış akımı olan I değerini bulmak için denklem (5.1) yazılabilir.

Tablo 5.1: Formüllerdeki elemanlar

I	Çıkış akımı
I_L	Foto enerjisi akımı
I_0	Diyot sızıntı akımı
I_{SC}	Kısa devre akımı
$I_{SC(T1)}$	T_1 sıcaklığındaki kısa devre akımı
$I_{SC(T2)}$	T_2 sıcaklığındaki kısa devre akımı
V_{OC}	Açık devre gerilimi
$V_{OC(T1)}$	T_1 sıcaklığındaki açık devre gerilimi
R_S	Eşdeğer seri direnç
R_P	Eşdeğer paralel direnç (Hesaplamalarda ihmal edilmiştir.)
k	Boltzman sabiti ($1.38e-23$)
q	Elektron yükü ($1.5e-19$)
G	Güneş ışığı yoğunluğu ($1=1000W/m^2$)
$G_{(nor)}$	STC'deki maksimum güneş yoğunluğu ($1=1000W/m^2$)
T	Ortam ısısı
T_1	Üretici tarafından verilen 1. çıkış akım ve gerilimi için sıcaklık değeri
T_2	Üretici tarafından verilen 2. çıkış akım ve gerilimi için sıcaklık değeri

$$I = I_L - I_0(e^{q(V+IR_s)/nkT} - 1) \quad (5.1)$$

Bu denklem ve sonraki denklemlerde kullanılan semboller Tablo 5.1’de listelenmiştir. Formüldeki I_L akımını bulmak için üretici tarafından verilen STC’deki akım ve gerilim değerlerinden faydalanılabilir. (Denklem (5.2.),(5.3),(5.4)).

$$I_L = I_{L(T1)}(1 + K(T - T1)) \quad (5.2)$$

$$I_{L(T1)} = \frac{G}{G_{(nor)}} I_{SC(T1)} \quad (5.3)$$

$$K = \frac{(I_{SC(T2)} - I_{SC(T1)})}{T - T_1} \quad (5.4)$$

Güneş pili modelinin ısıya bağımlı olabilmesi için denklem (5.4)’de güneş pilinin akım çıkışının ısıya göre değişimi bulunmuş ve denklem (5.2)’de üretilen güneş enerjisi akımına ısıyla değişebilen bir etki yapabilmesi sağlanmıştır. Güneş pilinin ürettiği akım güneş ışığıyla doğru orantılı olarak değişmektedir. (Denklem (5.3)) Diyot sızıntı akımı ise daha karışık bir denklemle hesaplanabilmektedir. (Denklem (5.5))

$$I_0 = I_{0(T1)} \left(\frac{T}{T_1} \right)^{\frac{3}{n}} e^{-qV_g / nk(1/T - 1/T_1)} \quad (5.5)$$

$$I_{0(T1)} = \frac{I_{SC(T1)}}{e^{qV_{OC(T1)}/nkT_1} - 1} \quad (5.6)$$

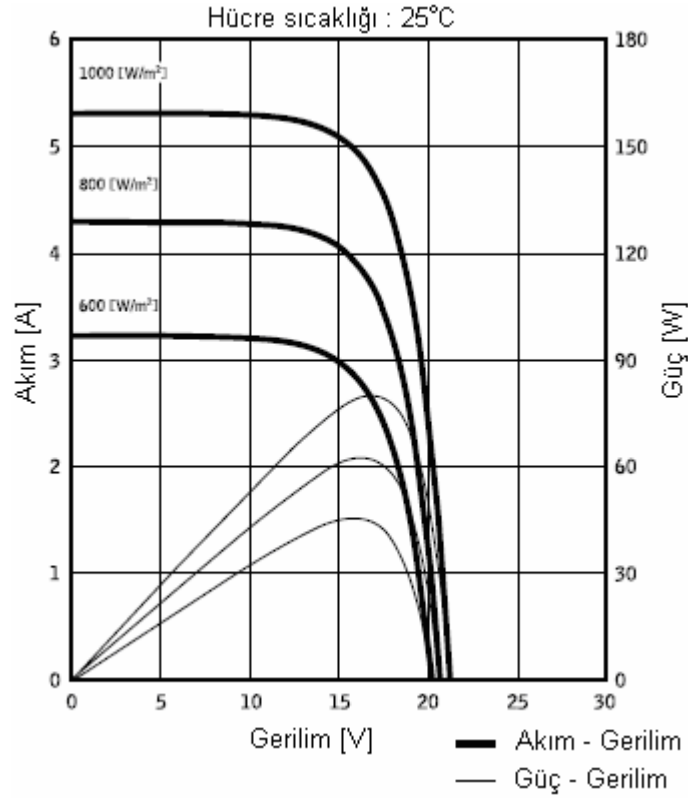
Eşdeğer devredeki R_s direncinin hesaplanması güneş pilinin üretici tarafından verilen I-V eğrisindeki (Şekil 5.6) V_{OC} değerinin yaklaşık olarak doğrusal olmasından

faýdalanılarak bulunur. Denklem (5.7) ve (5.8) de R_S direncine ait eşitlikler görülmektedir.

$$R_S = -dV / dI_{V_{oc}} - 1 / X_V \quad (5.7)$$

$$X_V = \frac{qI_{0(T1)}}{nkT_1 e^{qV_{oc}(T1)/nkT_1}} \quad (5.8)$$

Modeli çıkartılan güneş piline ait üreticinin sağladığı I-V eğrisi Şekil 5.6'de görülmektedir.[4]



Şekil 5.6: NE-80EJE Güneş paneli I-V ve P-V eğrileri

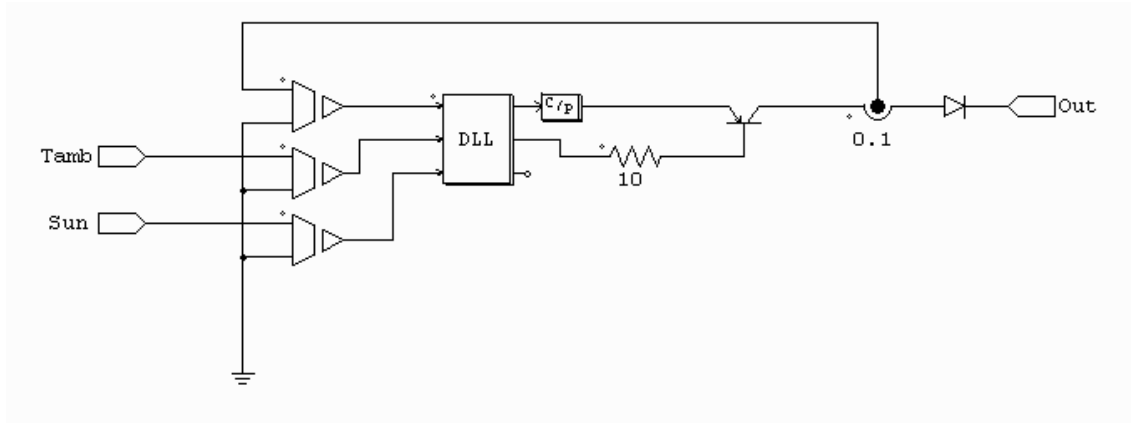
Bu güneş panelinin modellenmesi için kullanılan teknik veriler

Tablo 5.2'de listelenmiştir.

Tablo 5.2: NE-80EJE güneş paneli I-V bilgileri

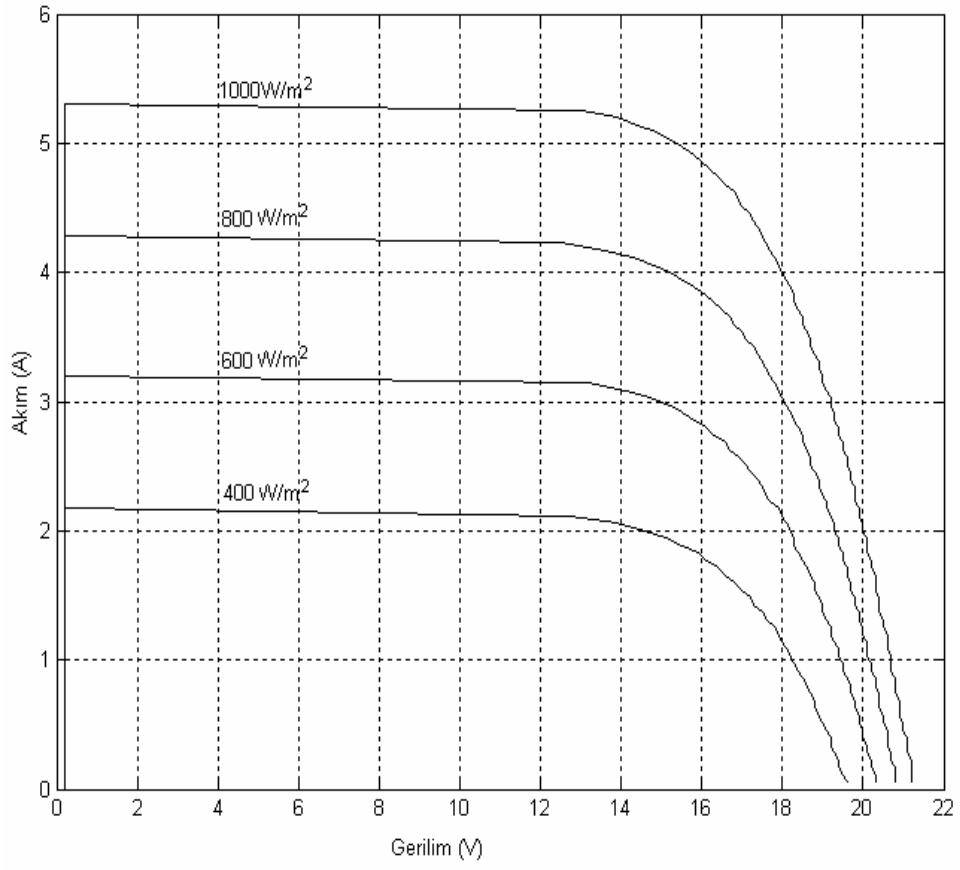
$I_{SC(T1)}$	5.3A
$I_{SC(T2)}$	5.4A
$V_{OC(T1)}$	21.3V
G	1
T_1	25°C
T_2	75°C

Güneş panelinin PSIM programı ile yapılan modeli Şekil 5.7’de görülmektedir.



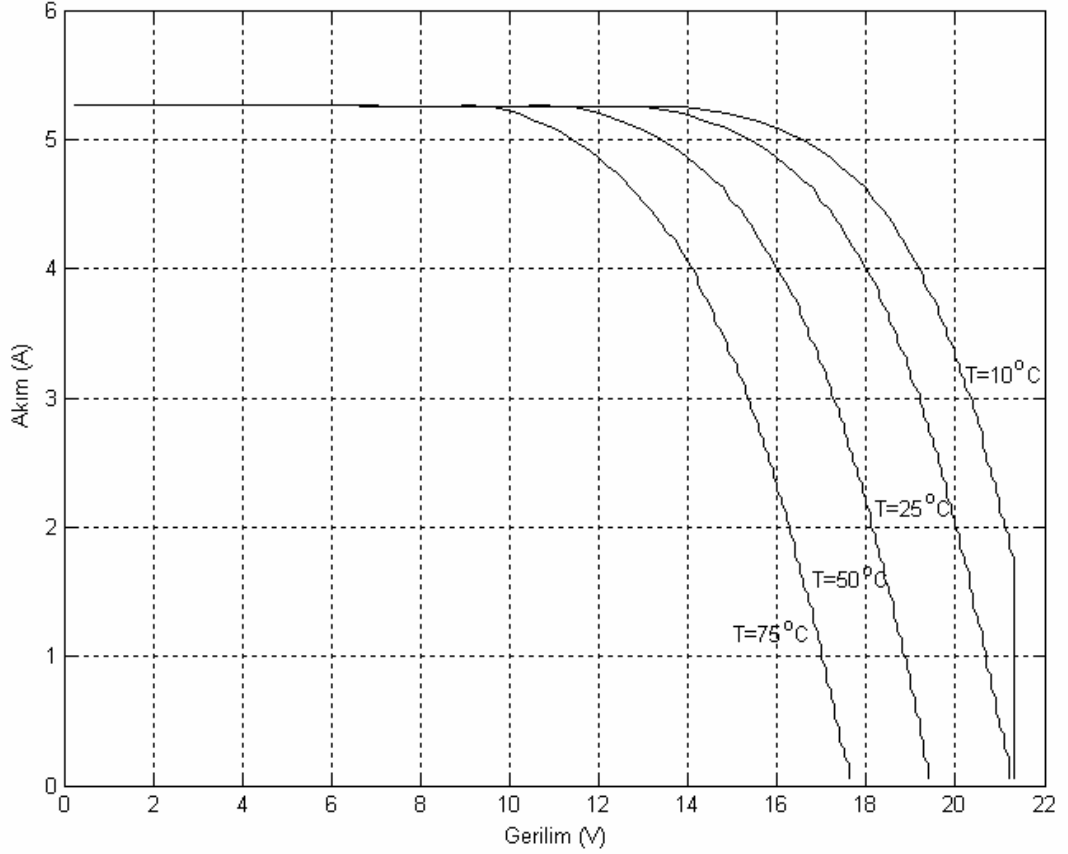
Şekil 5.7: Güneş panelleri modeli

Tasarlanan bu model 10 adet paralel bağlı güneş panelinin işlevini yapmaktadır. Bu modelin başka bir özelliği ise ortam ısı ve güneş yoğunluğu girildiği zaman çıkış akımını ve gerilimini kendisi ayarlamasıdır. Şekil 5.7’deki DLL bloğu Microsoft Visual C++ ile yazılmış bir DLL dosyasını temsil etmektedir. PSIM programı DLL dosyalarına gömülmüş olan fonksiyonları diğer devre elemanlarıyla birlikte çalıştırabilmektedir. Güneş paneli için yazılan DLL dosyasının kodları EK B.1’de listelenmiştir. Şekil 5.8’de bir tasarımı yapılan güneş paneli modelinin gün ışığına göre değişen I-V çizimleri görülmektedir.



Şekil 5.8: Güneş paneli modelinin güneş şiddetine göre değişen I-V eğrileri

Güneş paneli modelinin çıkışını etkileyen diğer bir faktör ise sıcaklıktır. Bu değişim Şekil 5.9'deki çizimlerde görülmektedir.



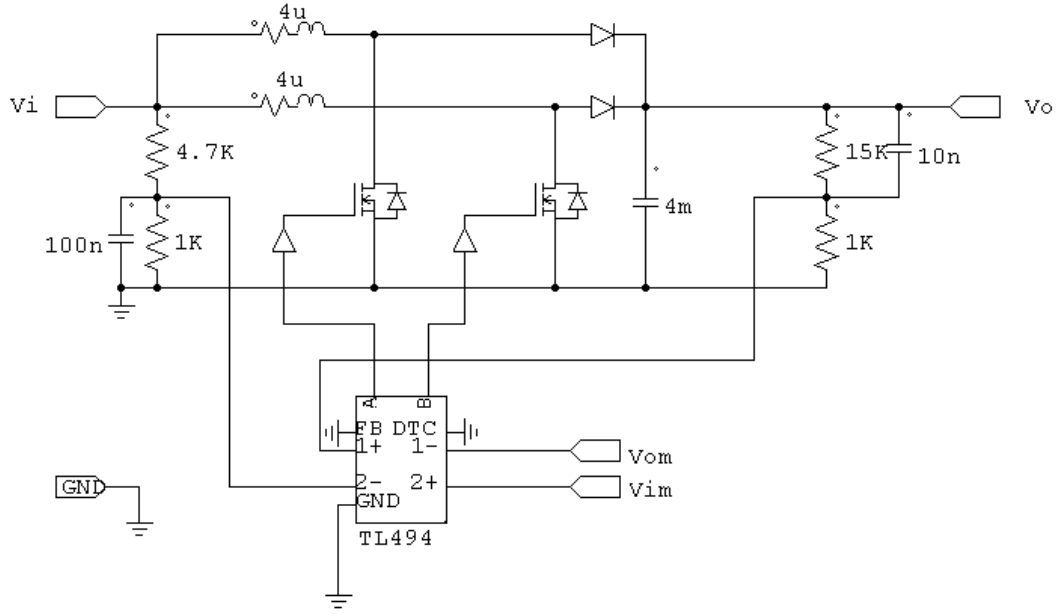
Şekil 5.9: Modelin sıcaklıkla değişen I-V eğrileri

Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'de görüldüğü gibi güneş ışınımındaki değişim güneş panelinin çıkış akımını doğrusal olarak değiştirmekte, ortam sıcaklığı ise güneş paneli çıkış geriliminin değişmesine sebep olmaktadır.

5.1.3.2. DC-DC çevrici modeli

DC-DC çeviricilerin matematiksel hesaplamaları bölüm 4'de incelenmişti. Şekil 5.10'de tasarlanan DC-DC çeviricinin şeması görülmektedir. Modeldeki Vom (Voutput_maksimum) maksimum çıkış gerilimini, Vim (Vinput_minimum) ise minimum giriş gerilimini temsil etmektedir.

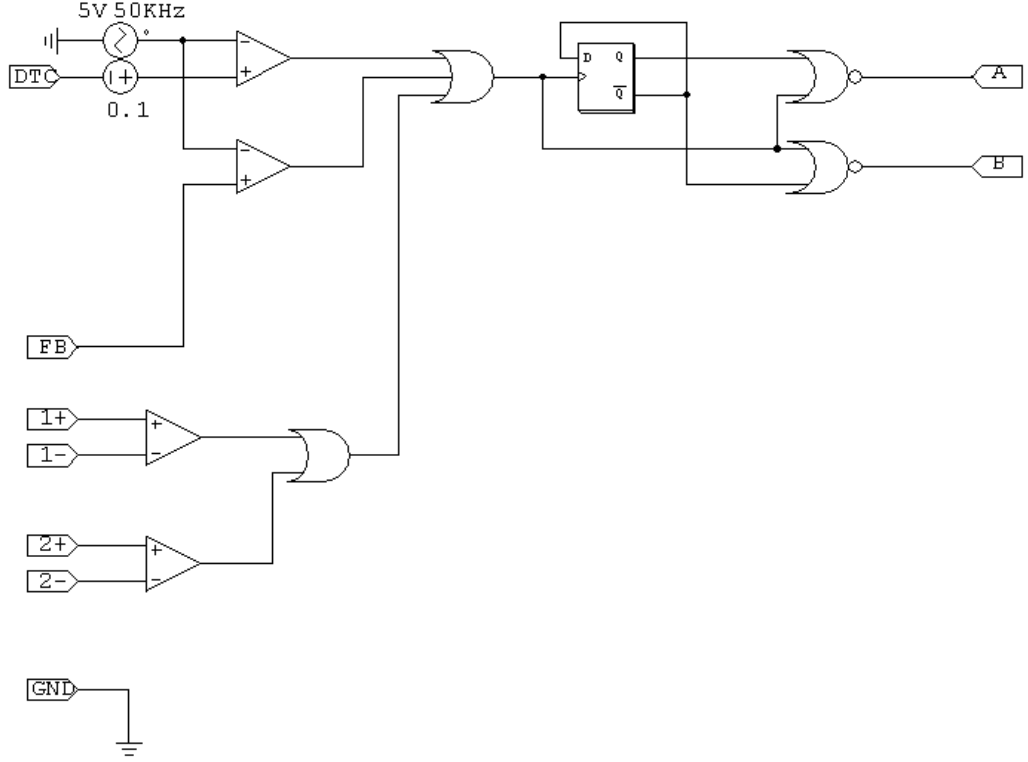
BOOST CONVERTER BLOCK



Şekil 5.10: DC-DC çevirici modeli

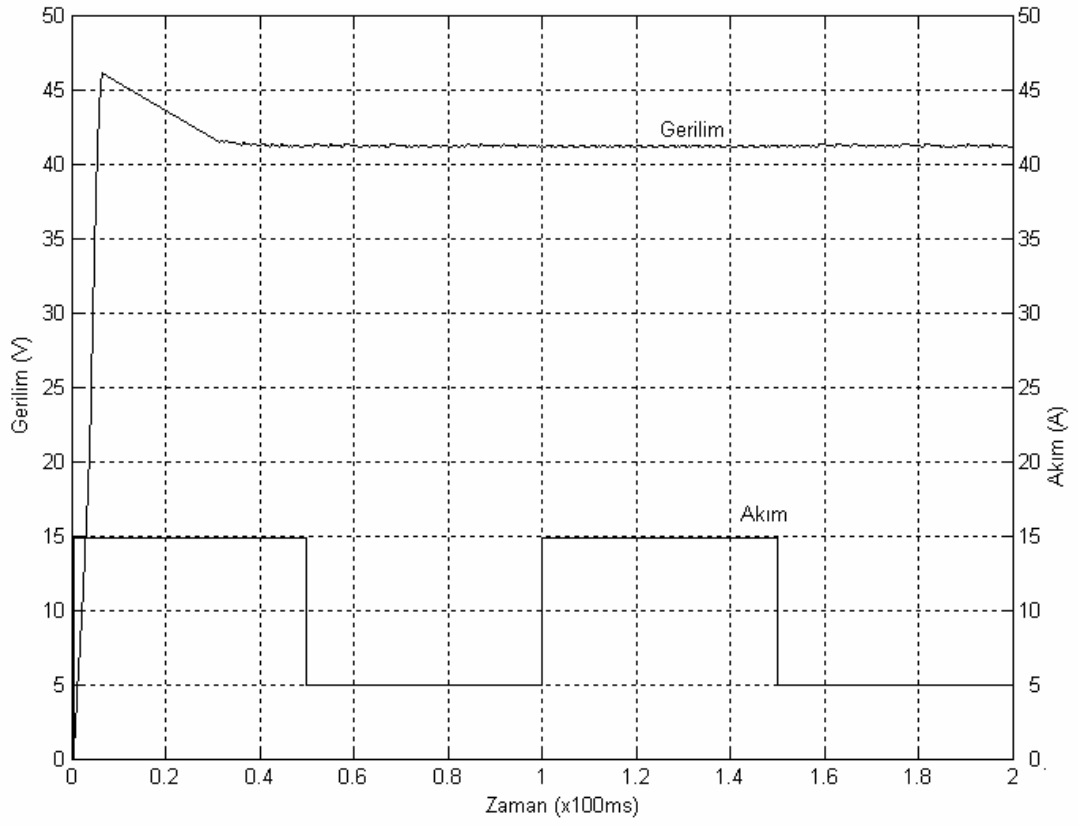
Boost çeviricide gerilimi dönüştüren eleman olan bobinin hacminin küçülmesi, sarımının kolaylaşması ve anahtarlama elemanının gücünün ve ısının azaltılması için sırayla çalıştırılan, kaskat bağlanmış, iki bobin ve MOSFET kullanılabilir [8]. Modeldeki TL494 bloğu, Texas Instrument firmasının bir ürünü olan TL494 entegresinin kısmi modelidir. TL494 entegresinin veri sayfaları EK A.6'da verilmiştir. TL494 entegresi için tasarlanan model ise Şekil 5.11'de görülmektedir.

TL494 PWM IC



Şekil 5.11: TL494 entegresinin kısmi modeli

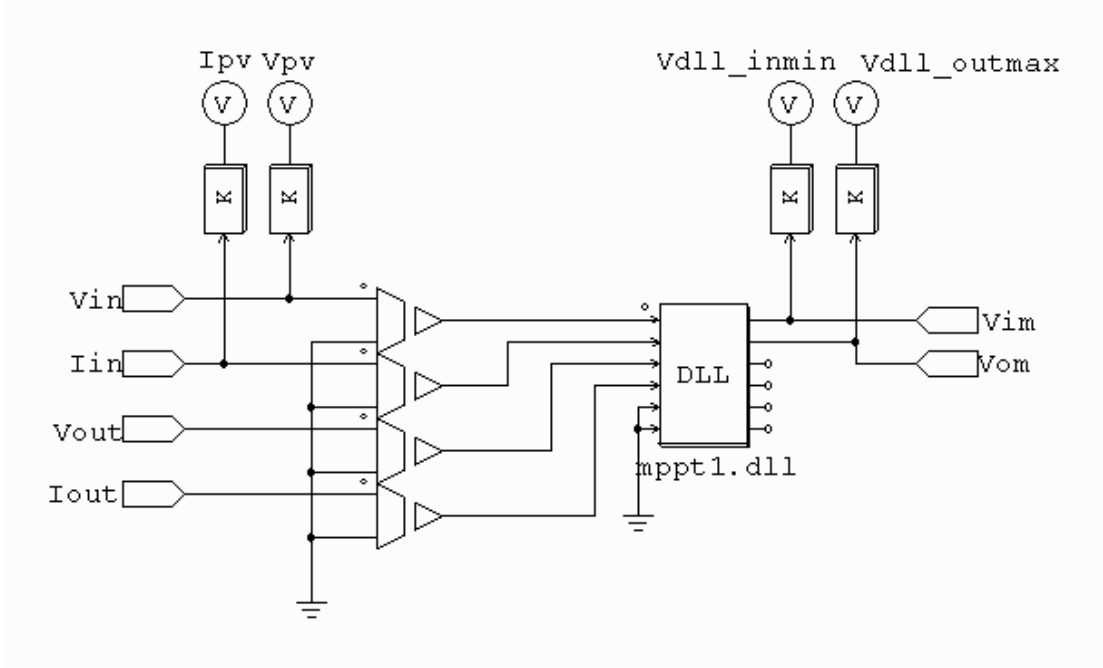
Modellenen TL494 entegresi 50KHz ile anahtarlama yaparak faz farka sahip iki çıkış üretmektedir. Bu çıkışların dolu-boş oranı FB girişi ile değiştirebileceği gibi model içerisinde bulunan iki adet karşılaştırıcı ile de yapılabilir. [12] Tasarlanan bu modele ait 17V giriş, 41V çıkış geriliminde, akımın 15A ve 5A arası değişmesiyle elde edilmiş çizimler Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12: DC-DC çevirici modelinin akım ve gerilimleri

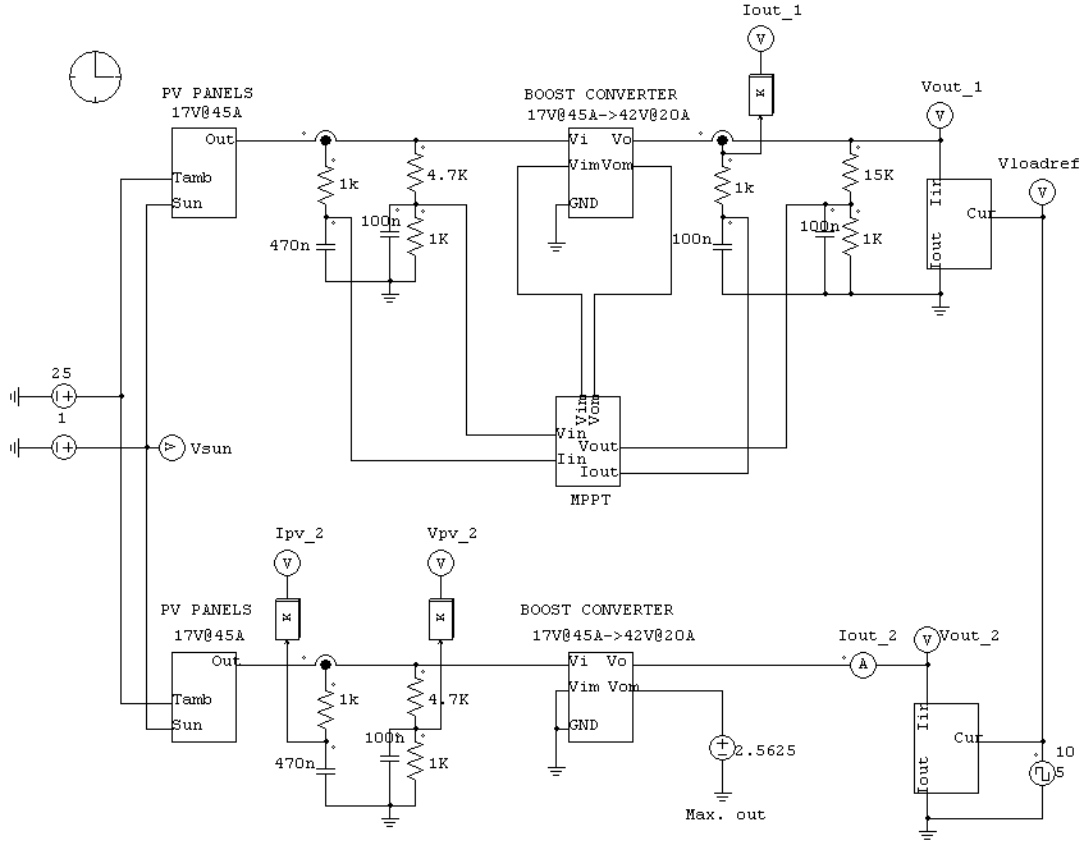
5.1.3.3. MPPT algoritması modeli

Bu model içerisinde barındırdığı yazılım yardımıyla DC-DC çevirici için kontrol sinyalleri üreterek güneş panellerinden daha yüksek verim alınmasını sağlar. Şekil 5.13'da bu model görülmektedir.



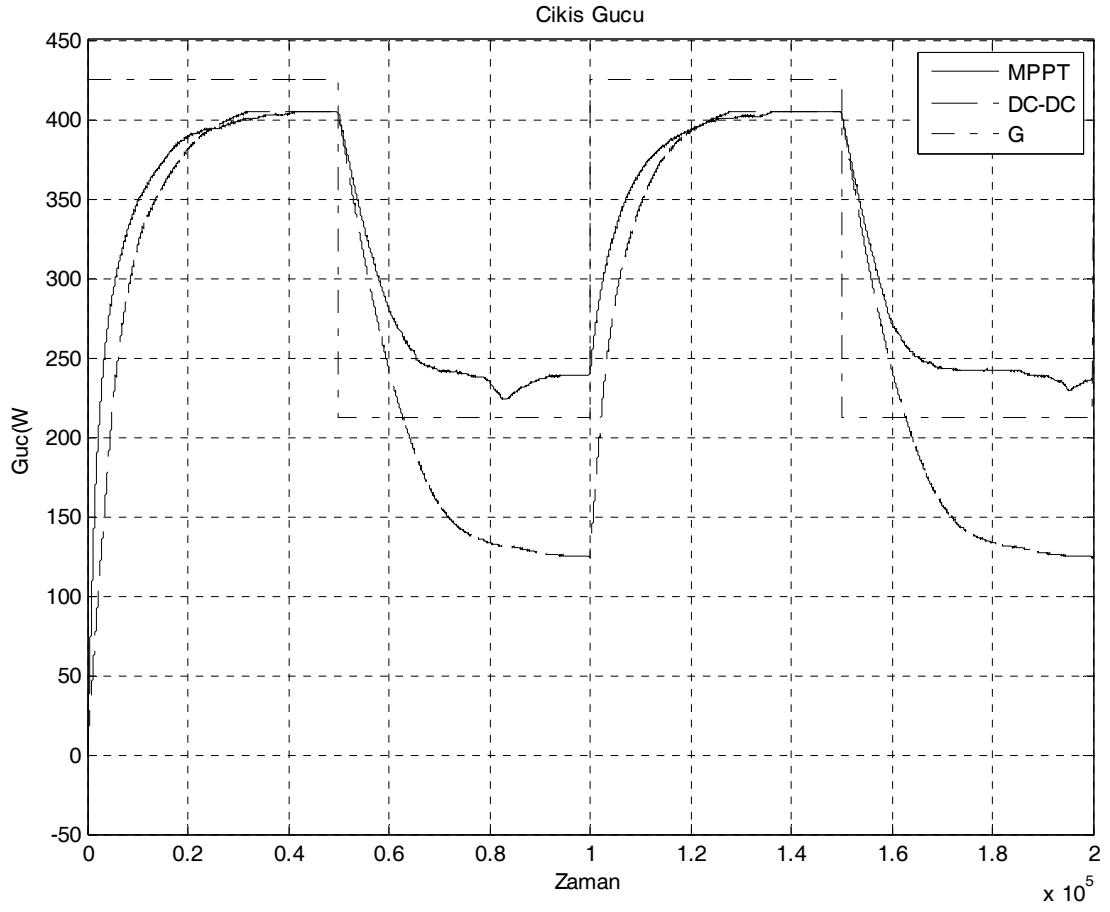
Şekil 5.13: MPPT modeli

MPPT algoritmasının çalışabilmesi için çıkış gücünün ve giriş geriliminin bilinmesi gerekmektedir. Model bu verileri devreden okuyarak DC-DC çeviricinin maksimum gücü üretecek şekilde çalışabilmesi için gerekli kontrol sinyallerini üretir. Şekil 5.13'deki DLL bloğu C++ ile yazılmış bir DLL dosyasını temsil etmektedir. DLL dosyasının kodları EK B.2'de görülmektedir. Bu modeli uygulayan simülasyon devresi Şekil 5.14'de görülmektedir.



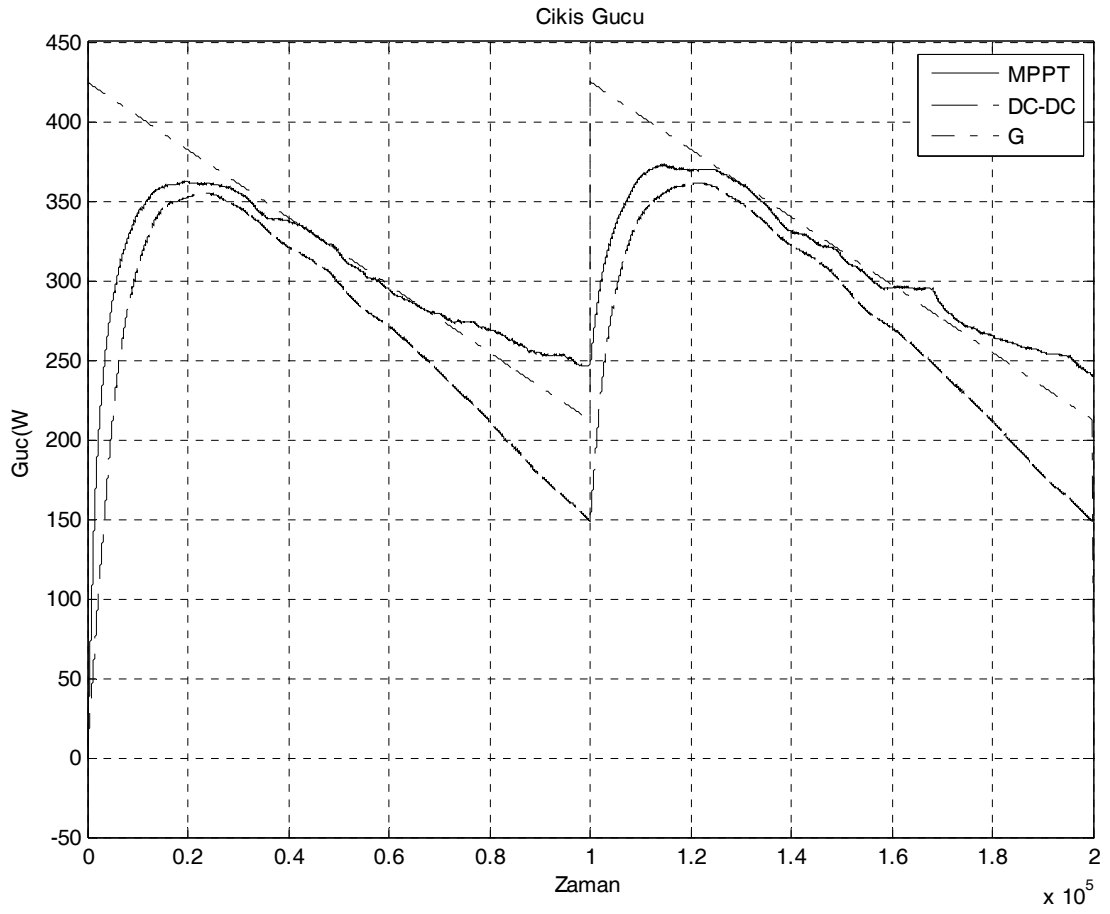
Şekil 5.14: MPPT modelinin test edildiği karşılaştırmalı uygulama devresi

Şekil 5.14’de güneş enerjisiyle çalışan bir birinden bağımsız iki devre görülmektedir. Bu devreler güneşten aldığı varsayıldığımız enerjiyi (V_{sun}) PV modeli ile gerilime çevirir. Üretilen gerilim DC-DC çevirici modeli ile 41V’a dönüştürülerek ayarlı yük üzerinden akım akıtılır. Bu işlemler, üst kısımdaki devrede MPPT algoritmasının denetiminde yapılmış, alt kısımda ise her hangi bir kontrol olmadan, doğrudan gerilim çevrimi yapılarak gerçekleştirilmiştir. MPPT algoritmasının sağladığı güç kazancını göstermek için üç farklı test her iki devreye de uygulanmış ve sonuçları grafik olarak çizilmiştir. Birinci testte her iki devredeki güneş panellerine sabit sıcaklık (25°C) ve sabit yük (10A) birlikte değişen oranda güneş ışığı uygulanmıştır. Bu durumda yapılan simülasyonda MPPT algoritmasının bağlı olduğu devrede üretilen gücün daha fazla olduğu Şekil 5.15’de görülmektedir. Bu çizimlerden de anlaşıldığı gibi MPPT algoritması güneş panellerinden alınan gücü yaklaşık %5-%25 oranında arttırabilmektedir.



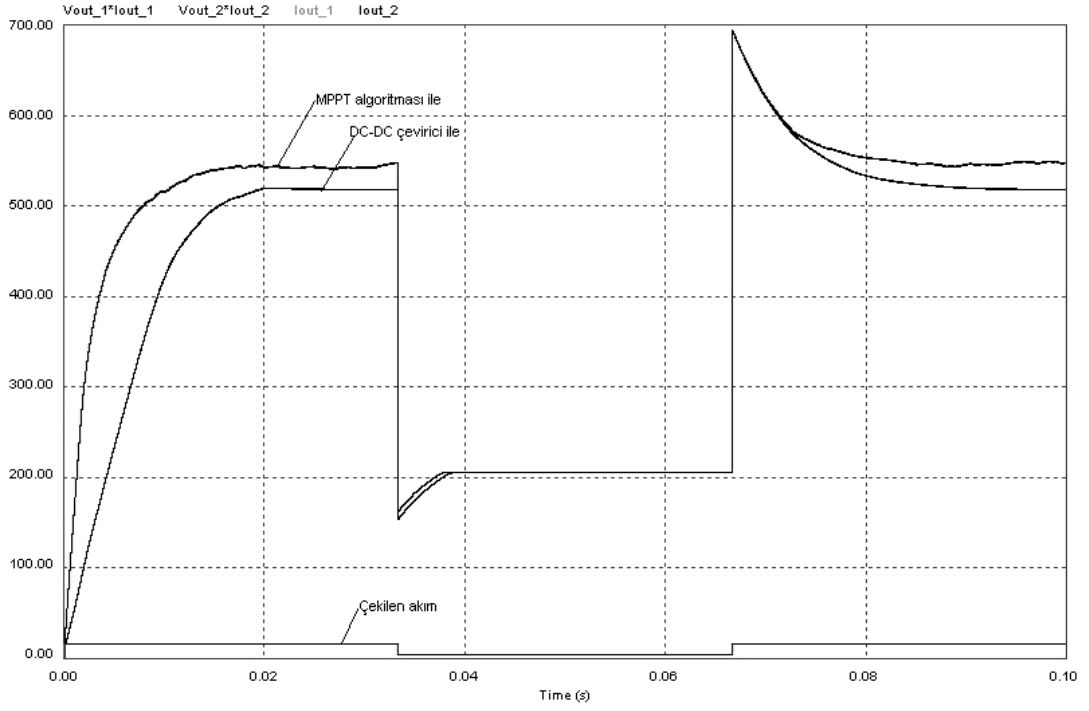
Şekil 5.15: MPPT algoritmasının değişen gün ışığı ortamında testi sonuçları

MPPT algoritmasına yapılan ikinci testte ise yine sabit sıcaklık ve yükte, gün ışığının düzenli olarak azalması sağlanmış ve yine MPPT algoritmasının DC-DC çeviriciye müdahale ise sistem gücünün arttırıldığı gözlemlenmiştir. (Şekil 5.16)



Şekil 5.16: MPPT algoritmasının 2. testindeki güç eğrileri

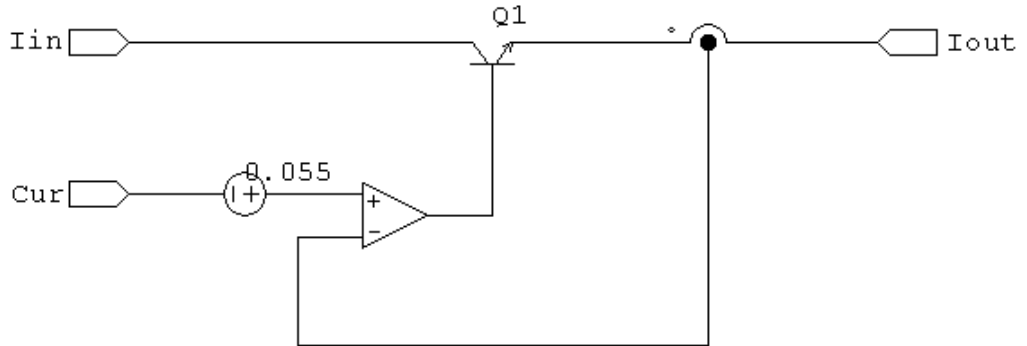
MPPT modeline uygulanan üçüncü test ise değişen yük durumunda sistemin davranışının kıyaslanması şeklindedir. Bu test için her iki sisteme de 6A ve 12A olarak değişen bir yük uygulanınca sistemdeki güç üretimi Şekil 5.17'deki gibi olmuştur.



Şekil 5.17: Değişen yük altındaki MPPT algoritmasının testi

5.1.3.4. Değişken yük modeli

Simülasyonlarda yük olarak kullanmak için Şekil 5.18’de görülen yük modeli tasarlanmıştır. Bu model, “Cur” girişine uygulanan gerilim değeri kadar akımı I_{in} girişinden I_{out} çıkışına doğru akıtmaktadır.



Şekil 5.18: Değişken yük modeli

Her üç test sonucunda da sistemin güneş panellerinde üretilen ortalama gücü arttırdığı sonucuna varılmıştır. Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’de simülasyon sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.3: Birinci simülasyon sonuçları

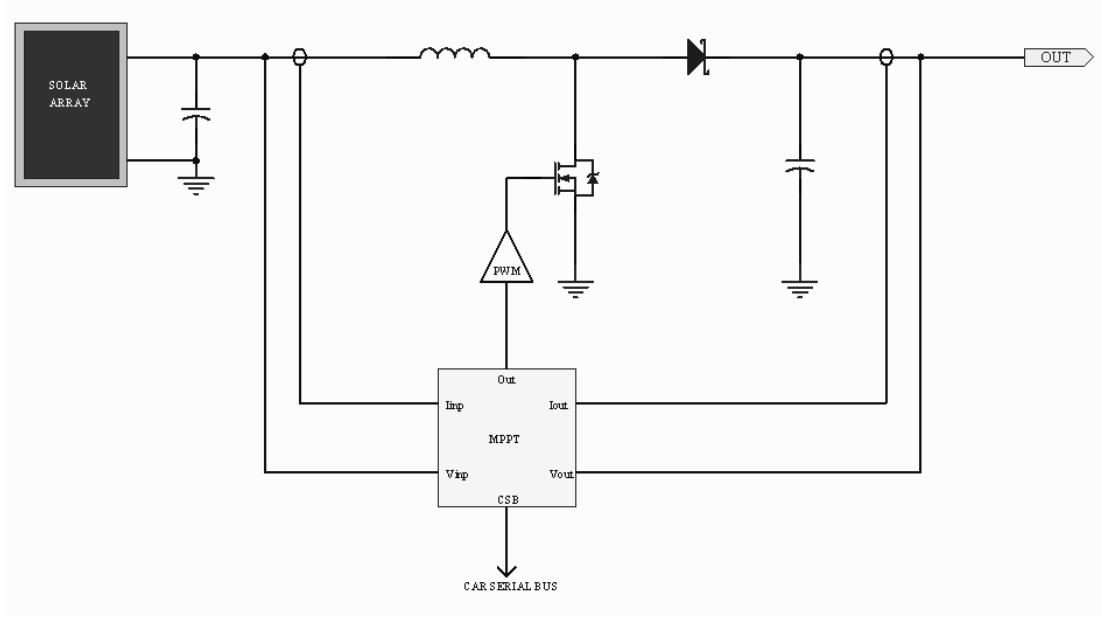
	Ortalama Çıkış gücü
Normal DC-DC Çevirici ile	271W
MPPT ile	317W

Tablo 5.4: İkinci simülasyon sonuçları

	Ortalama Çıkış gücü
Normal DC-DC Çevirici ile	270W
MPPT ile	306W

5.1.4. Donanım tasarımı

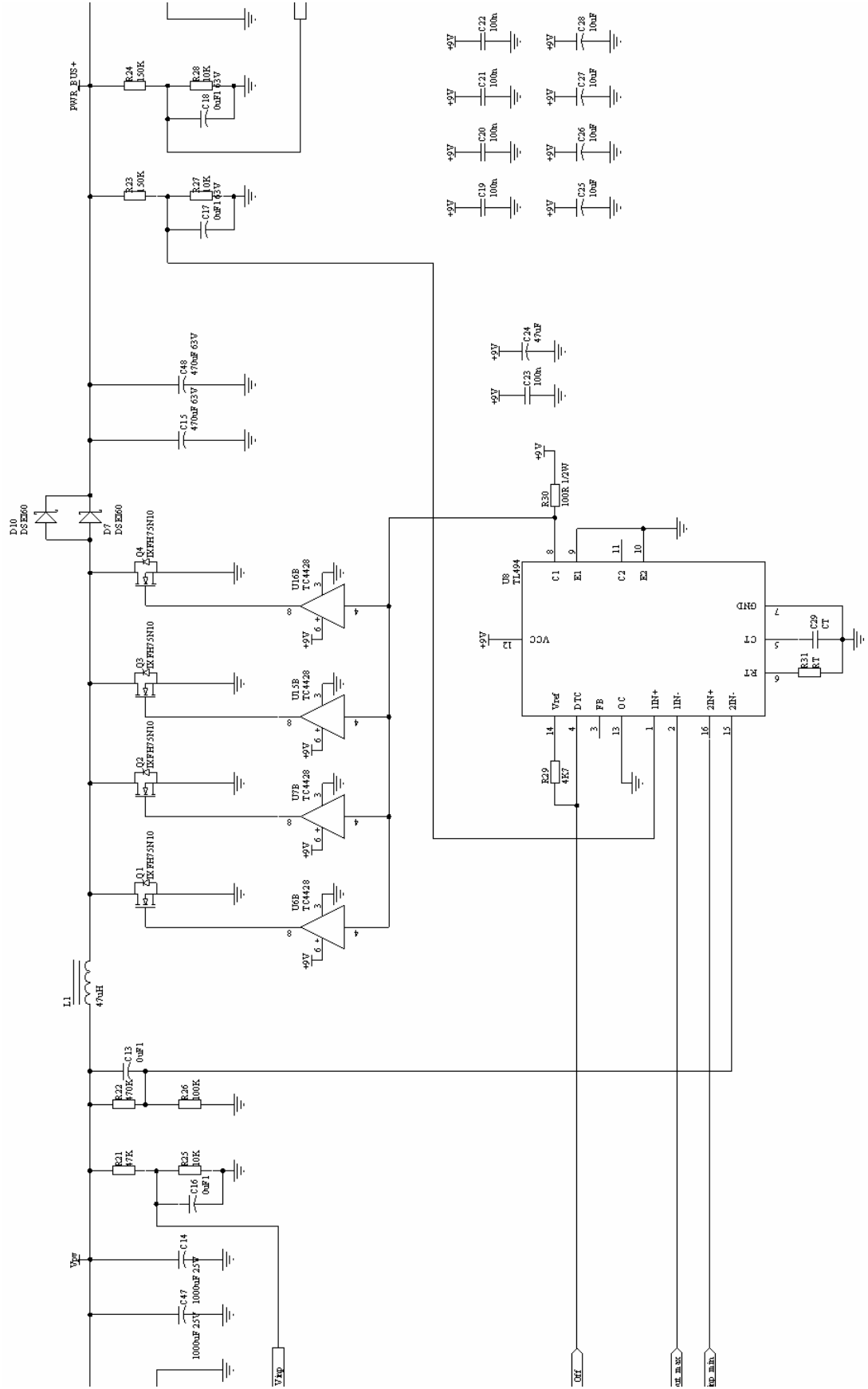
MPPT devresinin genel blok şeması Şekil 5.19’de görüldüğü gibidir. MPPT devresinin merkezini boost çevirici ve onu kontrol eden MPPT algoritması oluşturmaktadır. MPPT algoritması girişten ve çıkıştan okuduğu akım ve gerilimleri değerlendirerek bir kontrol sinyali üretir. Bu sinyale göre çalışan PWM denetleyicisi boost çeviricinin istenilen gerilimi regülasyonlu bir şekilde üretebilmesini sağlar.



Şekil 5.19: MPPT blok çizimi

5.1.4.1. Boost çevirici ve PWM sürücü

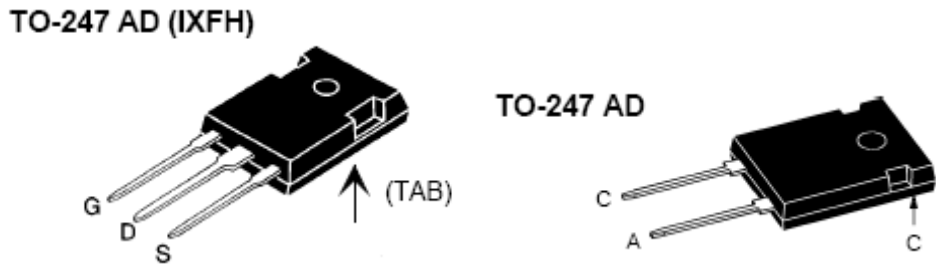
Şekil 5.20’de MPPT devresinin DC-DC çevirici ve PWM üretici görülmektedir. Devre ayrıntıları EK C.1’de verilmiştir.



Şekil 5.20: Boost çevirici ve PWM katı

gerilim çevirme ve maksimum noktayı takip işlemini donanımsal olarak gerçekleyecek olan bu kısmı bobin, MOSFET'ler, MOSFET sürücüleri ve PWM entegresi oluşturmaktadır. Sürücünün girişinde toplam 800W gücünde güneş paneli bulunduğu için anahtarlama elemanının da toplamında bu güçte olması gerekmektedir. Basit bir hesaplama ile $P_{in} = P_{out} = 800W$ 'tır. Devrede dört adet MOSFET kullanıldığı için transistör başına 200W'lık bir yük oluşur. Transistorların anahtarlayacağı gerilim 17V olduğu için de transistor başına yaklaşık 12A'lık bir akım yükü düşer. Bu şartları sağlayabilecek birçok MOSFET vardır. MOSFET seçimindeki önemli bir diğer husus ise veri sayfalarında R_{DS} ile gösterilen MOSFET iç direncidir. Bu değer ne kadar küçük olursa kayıplarda o kadar az olacaktır.

Yukarıda bahsedilen kriterler de göz önünde bulundurularak devrede dört adet IXFH75N10 MOSFET kullanılmıştır. Bu transistor ün veri sayfaları EK-A.3'de verilmiştir. Diyot olarak ise $V_f = 1.8V$ (ileri sürüm gerilim düşümü) ve $I_f = 60A$ (İleri sürüm akımı tepe değeri) olan DSEI60 malzemesi seçilmiştir. Bu diyotun veri sayfaları EK-A.4'te verilmiştir. Her iki malzeme de TO247 plastik kılıfa sahip olduğundan (Şekil 5.21) aynı soğutucu üzerinde rahatlıkla bağlanarak monte edilebilir.



Şekil 5.21: Devrede kullanılan MOSFET ve DIYOT

Boost çevirici ile ilgili temel hesaplama işlemleri Bölüm 3.5.2'de incelenmişti. Bu devredeki boost çevirici ile alakalı hesaplamalar için gerekli bilgi ve katalog değerleri Tablo 5.5'de listelenmiştir.

Tablo 5.5: Hesaplamalarda kullanılacak katalog bilgileri

Giriş gerilimi (E)	17.1V
Maksimum giriş akımı	45.6A
Çıkış gerilimi (V _C)	42V
Çıkış akımı (I _{max})	20A
MOSFET iç direnci (R _{DS} ya da R _S)	27mΩ
Bobin omik direnci (R _L)	20mΩ
Diyot ileri sürüm gerilimi (V _D)	1.8V
Yük direnci (R)	$R = \frac{V_C}{i_L} = \frac{42V}{20A} = 2.1\Omega$

Verilen giriş gerilimine göre istenilen çıkış gerilimini elde etmek için gereken denklem Bölüm 3.5.2’de tanıtılmıştı.

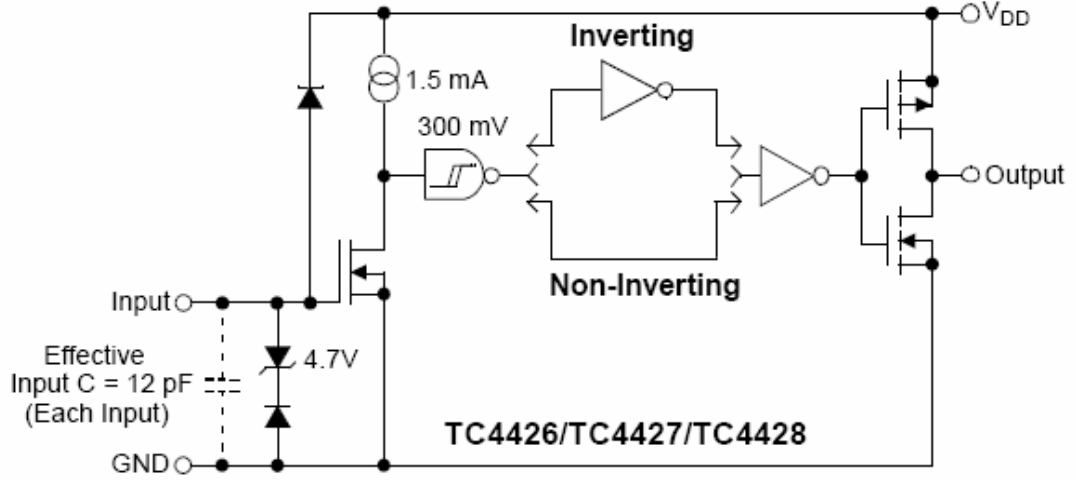
$$V_C = \frac{E - V_D(1-D)}{1-D + \frac{DR_S + R_L}{R(1-D)}} \quad (3.72)$$

(3.72) denkleminde, V_C ve E değerleri bilindiği için bize gerekli olan D yani iş yapma zamanı parametresini tespit edebiliriz. Verilen değerler denklemde yerine konulduğunda D yaklaşık olarak 0.66 değerini alır. Denklem (3.30) da ise çeviricinin sürekli moda çalışabilmesi için gerekli bobin değeri bulunmuştu.

$$L = \frac{RT}{2} D(1-D)^2 \quad (3.30)$$

Buradaki periyodu gösteren T’nin değeri PWM taşıyıcı frekansı 100KHz olduğu için 10us’dır. Gerekli hesaplamalar yapılnca bobinin değeri yaklaşık olarak 4μH bulunur. Fakat bu değer teorik olarak tam sürekli mod ile süreksiz mod çalışma sınırında yer aldığı için pratik uygulamada daha yüksek değerli bir bobin kullanılmıştır. Yüksek değer seçilmesinin başka bir sebebi ise giriş akımındaki dalgalanmaların azaltılmasını sağlamaktır.

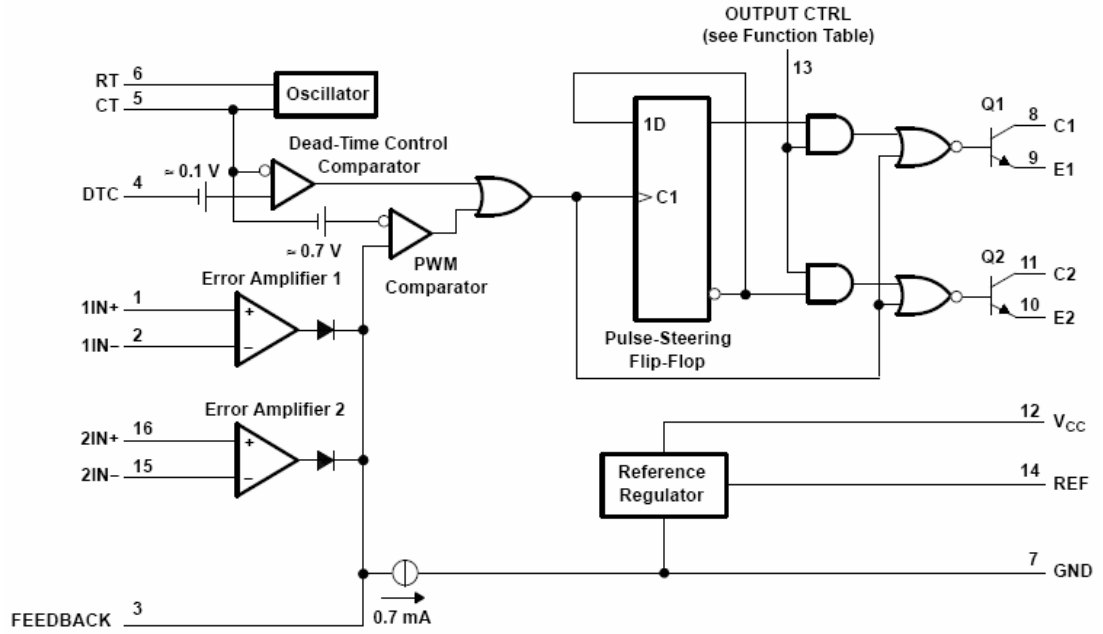
MOSFET'lerin sürülmesi için her bir transistora TC4428 MOSFET sürücü entegresi bağlanmıştır. Bu entegrenin veri sayfaları EK-A.5'te verilmiştir. Şekil 5.22'de bu entegre görülmektedir. TC4428 girişindeki TTL seviyeli sinyallere göre MOSFET'in ilettime ve kesime gidebilmesi için gerekli gerilim seviyelerinde tetikleme sinyali üretir. TC4428'in çıkışı doğrudan MOSFET'in gate ayağına bağlanabilir.



Şekil 5.22: TC4428 MOSFET sürücüsü

Boost çeviricinin çalışması için gereken PWM sinyali TL494 entegresi tarafından üretilir. Bu entegrenin veri sayfaları EK-A.6'da verilmiştir. TL494, 1KHz ile 300KHz arasında taşıyıcı frekansı olan ve iş zamanı minimum %45 oranında olabilen bir PWM sinyali üretebilir. Devredeki R31 ve C29 elemanları PWM frekansının 100KHz olmasını sağlamaktadırlar.

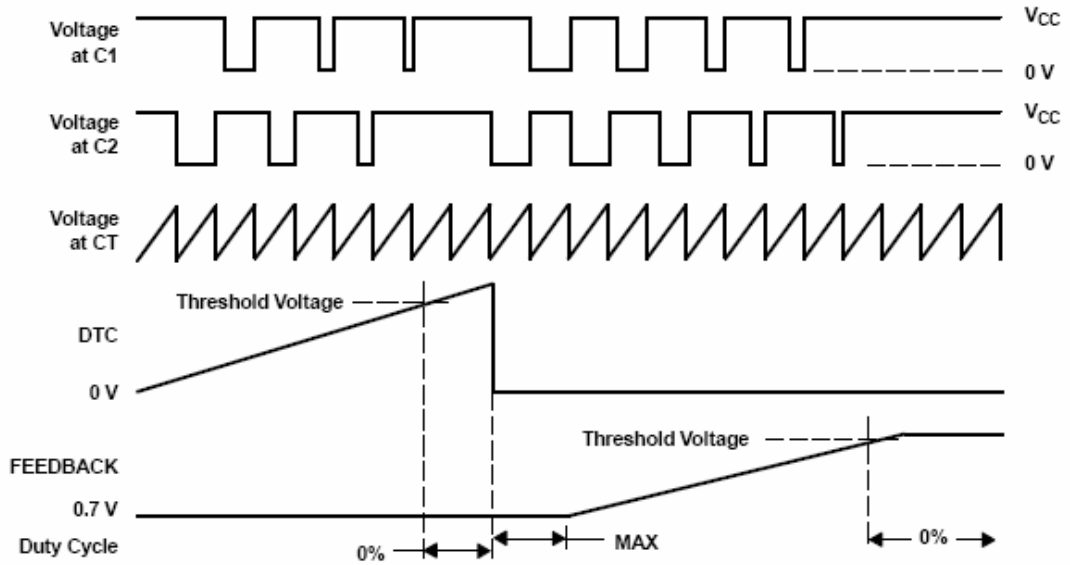
Şekil 5.23'de TL494'ün içyapısı görülmektedir.



Şekil 5.23: TL494 PWM kontrol entegresi iç yapısı

Entegredeki Feedback girişi PWM çıkışının iş zamanını belirlemektedir. Bu girişteki gerilim arttıkça çıkıştaki PWM sinyalinin iş zamanı oranı da artmaktadır. (

Şekil 5.24) Bu giriş 0V ile kesim (kesim) gerilimi olan 4V'a kadar değişen bir aralıkta PWM sinyali üretilmesini sağlar. MPPT devresinde geri besleme devredeki mikro denetleyici üzerinden yazılımla yapıldığı için bu giriş kullanılmamıştır.



Şekil 5.24: TL494 dalga şekilleri

Geri besleme girişine ek olarak entegreye iki adet karşılaştırıcı eklenmiştir. Bu karşılaştırıcılar genellikle akım sınırlama gibi regülasyon işlemlerinde kullanılırlar. Bu karşılaştırıcıların (-) girişi, (+) girişinden daha yüksek olunca entegre PWM sinyali üretmekte, aksi halde çıkışını durdurmaktadır. Bu iki karşılaştırıcıya, MPPT devresinin çalışmasında çok önemli görevler yüklenmiştir.

Şekil 5.20’de 1 numaralı karşılaştırıcının (+) girişi, gerilim bölücü dirençler R23 ve R27 üzerinden çıkışa bağlanmıştır. Çıkış 42V olduğu zaman 1. karşılaştırıcının (+) girişine ulaşacak gerilim basit bir hesaplamayla

$$V_{IN-} = \frac{V_{out}R27}{R23 + R27} = \frac{42V \times 10K\Omega}{150K\Omega + 10K\Omega} = 2.625V \text{ olur.} \quad (5.1)$$

Bu karşılaştırıcının (-) girişi ise devredeki mikro denetleyici tarafından üretilmektedir. Mikro denetleyici 0V ile 5V arasındaki bir gerilimi bu (-) girişe uygulayabilmektedir. Mikro denetleyici, çıkışın 42V olabilmesi için TL494’ün (-) girişine 2.625V uygulamaktadır. Eğer DC-DC çeviricinin çıkışı (1.karşılaştırıcının (+) girişi) bu gerilimin altındaysa, TL494 entegresi, PWM sinyali üreterek çıkışta gerilimin oluşmasını sağlamaya çalışacaktır. DC-DC çeviricinin çıkışı (1.karşılaştırıcının (+) girişi) bu gerilimin üstüne çıkınca ise TL494 entegresi çıkışını kapatacaktır. Böylece çevirici çıkışı da asla 42V’un üzerine çıkamayacaktır. Bu özellik bize regülasyon sağladığı gibi devre elemanlarının da fazla gerilim sonucu zarar görmesini engelleyecektir.

TL494 entegresinin içindeki 2. karşılaştırıcı ise DC-DC çeviricinin giriş gerilimini (güneş panellerinin çıkış gerilimi) denetlemektedir. (

Şekil 5.20) Bu karşılaştırıcı, diğerinin zıttı bir şekilde çalışmaktadır. 2. karşılaştırıcının (-) girişi DC-DC çeviricinin girişine (yani güneş panellerinin çıkışına) R22 ve R26 gerilim bölücü dirençleri aracılığı ile bağlıdır. Bu dirençler, güneş panelinin normal çıkış gerilimi olan 17.1V’da, karşılaştırıcının (-) girişinin 3V olmasını sağlar.

$$V_{2IN+} = \frac{V_{out}R_{22}}{R_{26} + R_{22}} = \frac{17.1V \times 10K\Omega}{47K\Omega + 10K\Omega} = 3V \quad (5.2)$$

Karşılaştırıcının (+) girişi ise mikro denetleyiciden gelmektedir. Mikro denetleyici bu girişe 0-5V arasında bir gerilim uygulayabilmektedir.

DC-DC çeviricinin çektiği akıma göre güneş panellerinin çıkış gerilimi doğrusal olmayan bir şekilde değişim göstermektedir. 2. karşılaştırıcı, güneş panellerinin çıkış gerilimi, mikro denetleyicinin belirlediği gerilimin altına düşünce DC-DC çeviriciyi kapatılmasını; güneş panellerinin gerilimi, mikro denetleyicinin istediği gerilimin üzerinde ise DC-DC çeviricinin çalışmasına izin verilmesini sağlar. Bu fonksiyon, araçtaki akım alıcılarının dilediği kadar akımı güneş panellerinden çekilmesini önleyebilmekte, alıcıya ne kadar akım gideceğine MPPT algoritmasını yürüten mikro denetleyici karar vermektedir.

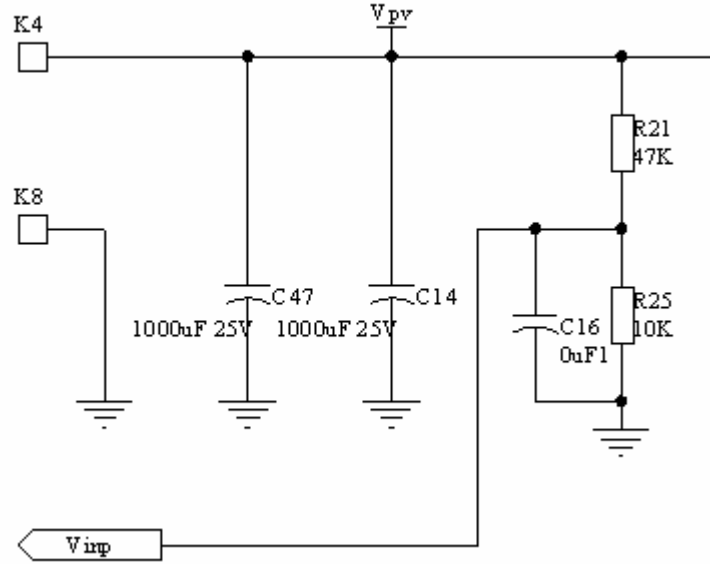
TL494 PWM entegresi sahip olduğu bu iki karşılaştırıcı sayesinde güneş panellerinin çıkış akımının, geriliminin ve DC-DC çeviricinin çıkış geriliminin mikro denetleyici tarafından belirlenebilmesini sağlar.

DTC girişi, TL494 PWM entegresinin iş zamanı oranının belirlenmesi için ayrılmış bir giriştir. Bu giriş PWM entegresinin istenildiği zaman kapatılması amacıyla kullanılmıştır. Mikro denetleyici bu giriş sayesinde MPPT devresini kapatabilmektedir.

5.1.4.2. Gerilim algılayıcıları

Şekil 5.19'de MPPT algoritmasının çalışabilmesi için giriş ve çıkış akım ve geriliminin okunması gerektiği anlaşılmaktadır. Giriş geriliminin algılanması Şekil 5.25'de görülen R21, R25 ve C16 malzemeleri üzerinden yapılmaktadır. Güneş panelleri boşa iken 21.3V gerilim üretmektedirler. Bu değer yüke binince azalmaktadır. Güneş panelinin ürettiği gerilimin mikro denetleyici tarafından okunacak sayısal karşılığı denklem (5.3) ve (5.4) de verilmiştir. Denklem (5.4)'de

bulunan 1023 rakamı mikro denetleyicideki ADC'nin 10 bit olmasından; 5000 rakamı ise ADC'nin referans geriliminin 5V olarak belirlenmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.25: Giriş gerilimi algılayıcısı

$$V_{inp} = \frac{V_{pv} \cdot R25}{R21 + R25} \quad (5.3)$$

$$\text{Ölçüm} = \frac{V_{inp} \cdot 1023}{5000} \quad (5.4)$$

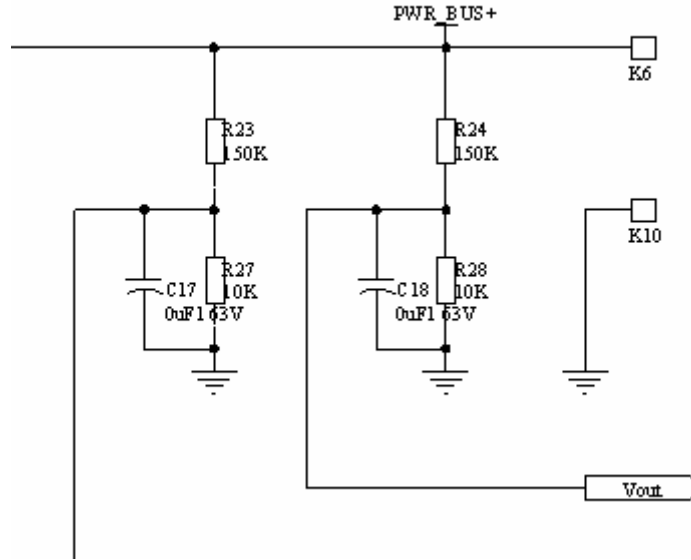
Tablo 5.6'de güneş panelinin ürettiği gerilimlere karşın mikro denetleyiciye ulaşan gerilimleri göstermektedir. 432 ve 765 rakamları minimum ve maksimum okuma gerilimlerinin karşılığıdır.

Tablo 5.6: Giriş gerilimi değerleri

	Minimum gerilim	Maksimum güç gerilimi	Açık devre gerilimi
Güneş paneli çıkışı (V_{PV})	12.00V	17.10V	21.30V
Mikro denetleyici tarafından ölçülen gerilim (V_{inp})	2.11V	3.00V	3.74V
Gerilimin sayısal karşılığı (Ölçüm)	432	614	765

C16 kondansatörü gerilim ölçümünün daha düzenli olmasını sağlar. Ölçülen hatta oluşabilecek gerilim piklerinin mikro denetleyici tarafından algılanarak hatalı ölçüm yapılmasını engeller.

Şekil 5.26'de MPPT devresinin çıkış gerilimini algılayan devre düzeneği görülmektedir.



Şekil 5.26: Çıkış gerilimi algılayıcısı

Çıkış gerilimi V_{OUT} ile isimlendirilmiş ve R24, R28 ve C18 devre elemanları üzerinden algılanmıştır.

$$V_{OUT} = \frac{V_{PWR} \times R28}{R24 + R28} \quad (5.5)$$

$$\text{Ölçüm} = \frac{V_{OUT} \times 1023}{5000} \quad (5.6)$$

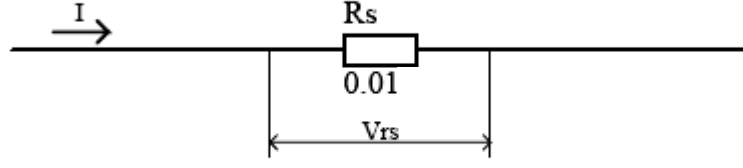
Tablo 5.7’de MPPT devresinin çıkış geriliminin mikro denetleyici tarafından okunmasına ilişkin veriler listelenmiştir

Tablo 5.7: Çıkış gerilimi değerleri

	V _{PWR} Çıkış gerilimi
MPPT çıkışı (V _{PWR})	42.00V
Mikro denetleyici tarafından ölçülen gerilim (V _{OUT})	2.63V
Gerilimin sayısal karşılığı (Ölçüm)	538

5.1.4.3. Akım algılayıcıları

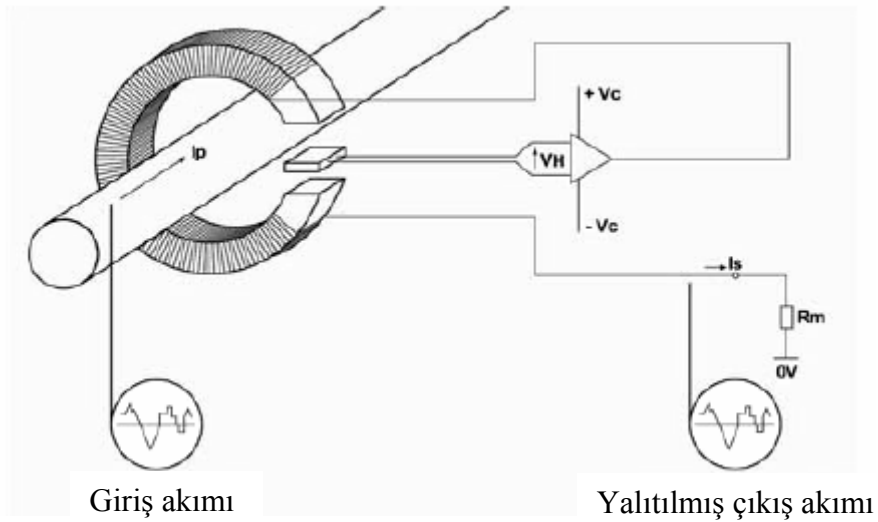
MPPT algoritmasının çalışabilmesi çıkış gücünün ölçülmesine bağlıdır. Bu algorithmadaki amaç, çıkış gücünü sürekli takip edilerek onu olabilecek en yüksek seviyede tutmaktır. Bu yüzden akımların yazılım tarafından bilinmesi gerekir. Akım algılamak için temelde iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birisi seri direnç kullanmaktır. (Şekil 5.27) Bu yöntemde omik değeri oldukça düşük olan bir direnç akım yolu üzerinde seri olarak eklenir. Direncin üzerinde düşen gerilim, devreden geçen akımla orantılı olacaktır. Şekil 5.27’de görülen seri dirençten geçen I akımının 10A olduğunu varsayarsak direncin üzerinde düşen gerilim V_{RS}=100mV olacaktır.



Şekil 5.27: Seri direnç ile akım ölçümü

Bu yöntemin bir çok dezavantajlı yönleri vardır. Geçen akıma bağlı olarak direncin üzerinde bir gerilim düşümü olmaktadır. Bu da verimin önemli olduğu sistemler için mahsurlu bir durumdur. Yine geçen akıma bağlı olarak ortaya çıkacak olan ısıda bir sorundur. Ayrıca seri direncin fiziksel boyutları da problemlere yol açabilmektedir.

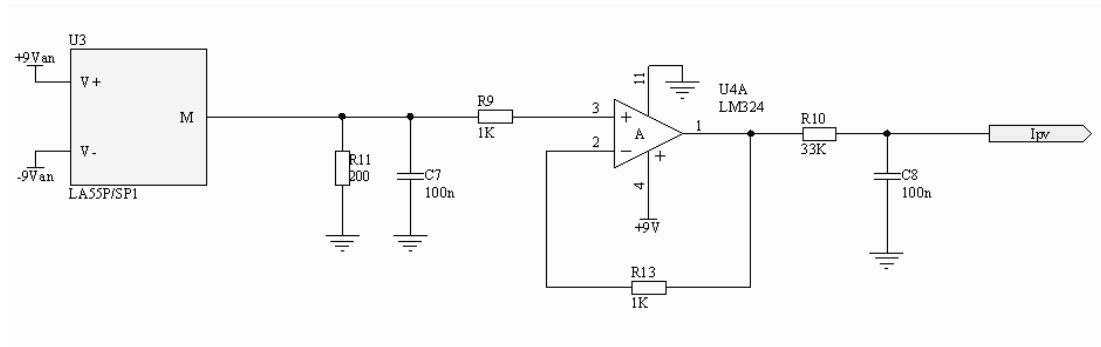
MPPT devresinde gerek giriş akımı gerekse de çıkış akımı yüksek değerleri içerdiğinden seri direnç ile akım ölçme yöntemi yerine LEM sensorler tercih edilmiştir. Akım ölçümünde kullanılan diğer bir yöntem ise akım geçtiği kablo üzerinde oluşturduğu manyetik alanı algılayan LEM sensorlardır. LEM sensorler ortasından akım geçen trodoidal nüvenin üzerinde sarılı olan bir bobinden ve bobinin üzerinde oluşan gerilimi koşullandıran devreden oluşmaktadır. (Şekil 5.28)



Şekil 5.28: LEM akım sensorunun yapısı

LEM sensorun çıkışında nüve içerisinde geçen akımın şiddetine ve yönüne bağlı olarak değişen bir gerilim oluşur. MPPT devresinde LA-55P-SP1-E adlı LEM sensörü tercih edilmiştir. [17] Bu elemanın veri sayfası EK-A.7’de verilmiştir. Bu sensör ile 100A’ye kadar olan akımları 1:2000 oranı ile ölçülebilmektedir. Şekil 5.28’de görülen R_m direnci üzerinden sensörün çıkış akımı akıtılarak üzerinde düşen gerilim ölçülür. Bu gerilim I_p akımı ile orantılıdır.

Şekil 5.29’de giriş akımını algılayan devre görülmektedir. U3 akımı sezen LEM sensörü simgelemektedir. U3 nüvesi içinden geçen akımı 2000 kat azaltarak çıkışına vermektedir. Güneş panelinden okuyabileceğimiz maksimum akım 45A olduğu için bu sensörün çıkışında maksimum 22.5mA oluşur (Denklem 5.7). Bu akımı 200Ω’luk bir direnç olan R11 üzerinden geçirdiğimizde bu direncin üzerinde düşen gerilim 4.5V’dur. Bu gerilimin mikro denetleyici tarafından sayısala çevrilince aldığı değer ise 920’dir. (Denklem 5.8)



Şekil 5.29: Giriş akımı algılayıcısı ve koşullandırıcı yükseltici

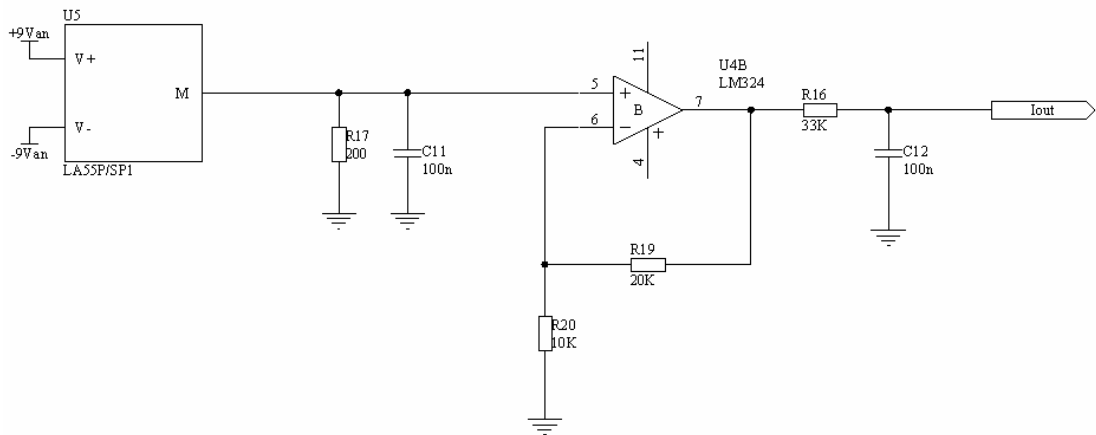
$$I_m = \frac{I_{PV}}{2000} \quad (5.7)$$

$$V_{R11} = I_m \times R11 \quad (5.8)$$

$$\text{Ölçüm} = \frac{V_{R11} \times 1023}{5000} \quad (5.9)$$

C7 kondansatörü ise V_{R11} gerilimindeki dalgalanmaları süzmektedir. U4A yükseltme oranı 1:1 olan gerilim izleyici op-amp olarak kullanılmıştır. Bu devre 0-45A olan giriş akımını yaklaşık olarak 0-5V gerilim seviyesine dönüştürür.

Şekil 5.30'da çıkış akımını algılayan devre kısmı görülmektedir. Bu devre de Şekil 5.29'deki devrede olduğu gibi bir LEM sensorüne sahiptir (U5). Boost çeviricinin çıkışı maksimum 20A olduğu için bu sensorun çıkışındaki akım maksimum 10.0mA olur. Bu akımı 200Ω 'luk bir direnç olan R17 üzerinden geçirdiğimizde bu direncin üzerinde düşen gerilim 2V'dur. U4B yükseltme oranı 1:2 olan çevirmeyen yükseltici op-amp olarak kullanılmıştır. Bu devre 0-20A olan giriş akımını yaklaşık olarak 0-4V gerilim seviyesine dönüştürür. Bu gerilimin mikro denetleyici tarafından sayısala çevrilince aldığı değer ise 818'dir.



Şekil 5.30: Çıkış akımını algılayıcısı ve koşullandırıcı yükseltici

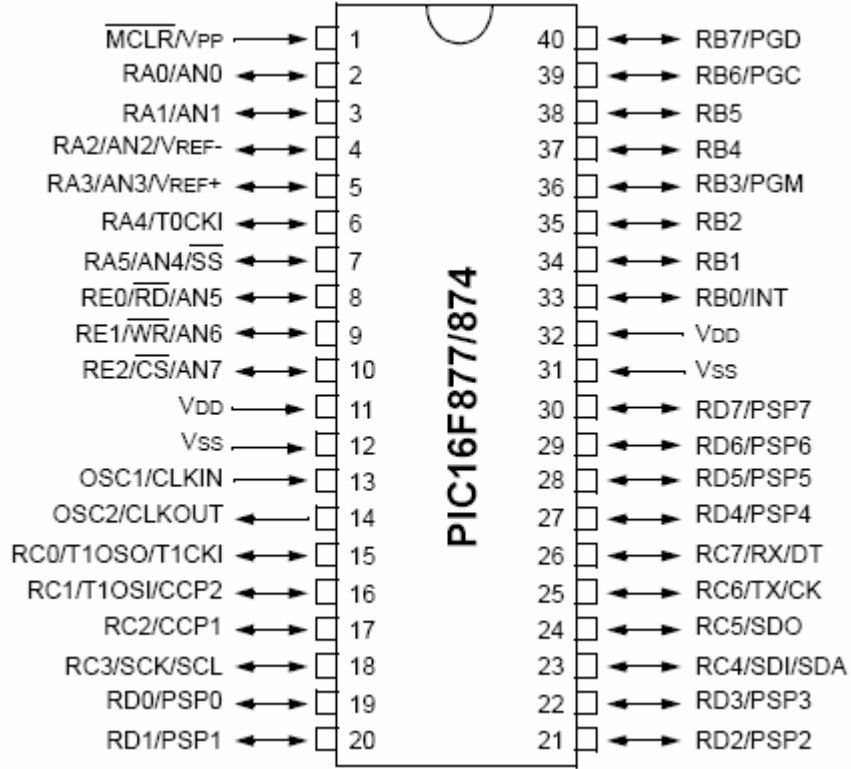
5.1.4.4. Mikro denetleyici

MPPT devresinde, boost çeviriciyi istenildiği düzeyde çalıştırmak ve MPPT algoritmasını yürütmek üzere Microchip firmasının üretimi olan PIC serisinden 16F877 mikro denetleyicisi tercih edildi. Bu işlemcinin tercih edilmesinin sebebi, maliyetinin az olması, rahatlıkla temin edilebilmesi, gerekli alt yapının yani programlayıcının ve yazılım geliştirme araçlarının hali hazırda mevcut olması gibi tamamen pratik uygulama ile ilgilidir. Bunun yanında mikro denetleyicinin sahip olduğu özelliklerde bu algoritmanın yürütülmesi için gerekli olan tüm donanımı

içermektedir. [19] PIC16F877 entegresine ait veri sayfaları EK-A.9’da verilmiştir. Tablo 5.8’de bu mikro denetleyicinin sahip olduğu donanımların listesi ve Şekil 5.31’de ise fiziksel pin bağlantısı görülmektedir. Şekil 5.32’de ise PIC16F877 mikro denetleyicisinin blok yapısı resme alınmıştır

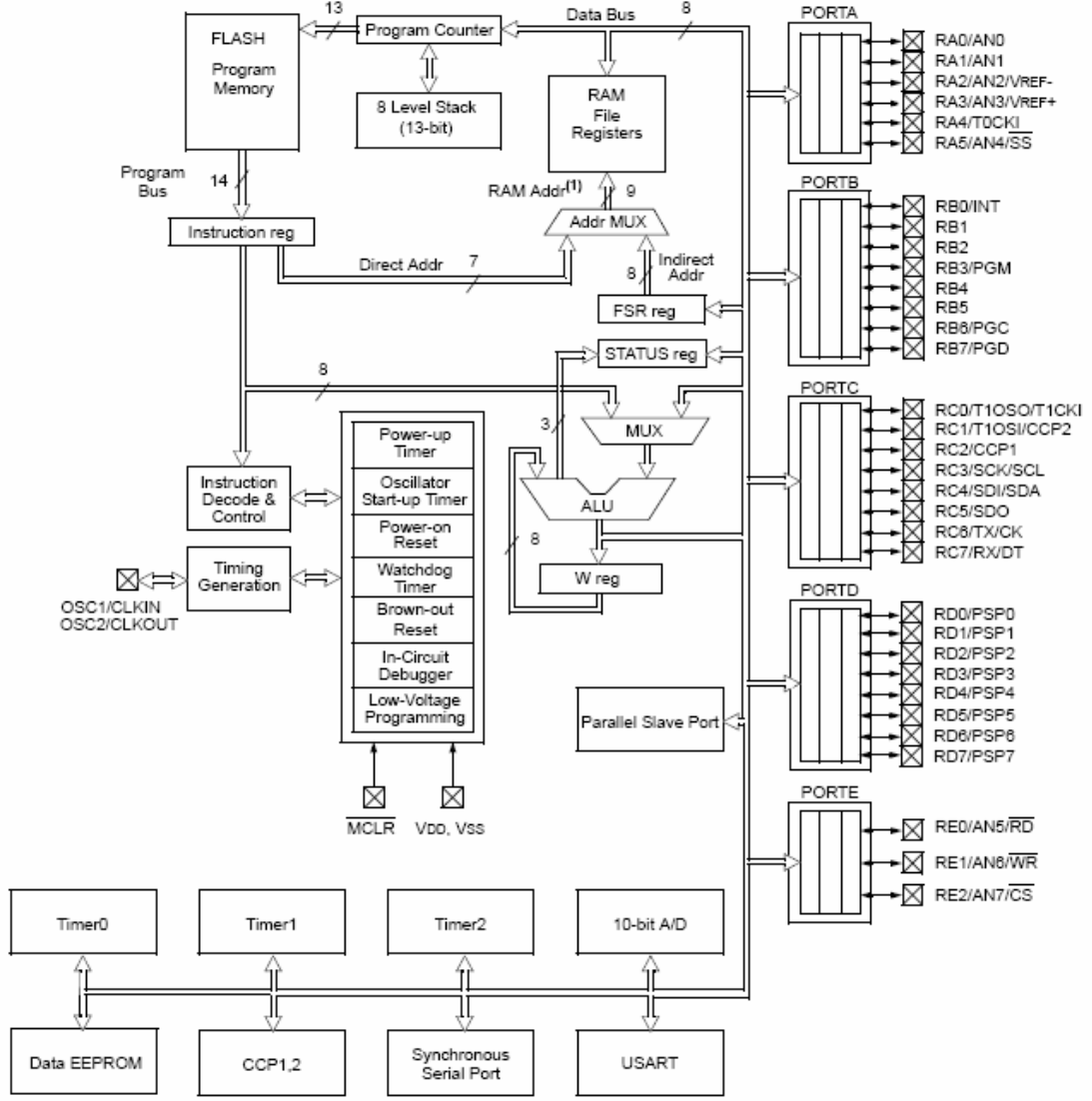
Tablo 5.8: PIC16F877 mikro denetleyicisi çevresel donanım özellikleri

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



Şekil 5.31: PIC16F877 mikro denetleyicisi bağlantı ayakları

Mikro denetleyici 33 adet genel kullanım amaçlı IO (giriş-çıkış) terminaline sahiptir. Bu terminaller PORTA, PORTB, PORTC, PORTD ve PORTE adı verilen portlar altında gruplanmışlardır. Her portun bitleri diğerlerinden bağımsız olarak giriş ya da çıkış olarak belirlenebilir. Bu IO terminalleri diğer çevresel birimlerle tümleşik olarak çalışmaktadır. Örneğin RA0 numaralı port terminali IO olarak kullanılabilirdiği gibi analog giriş (AN0) olarak da kullanılabilir. Ayrıca bu seçim yazılım tarafından yapılabilmektedir.

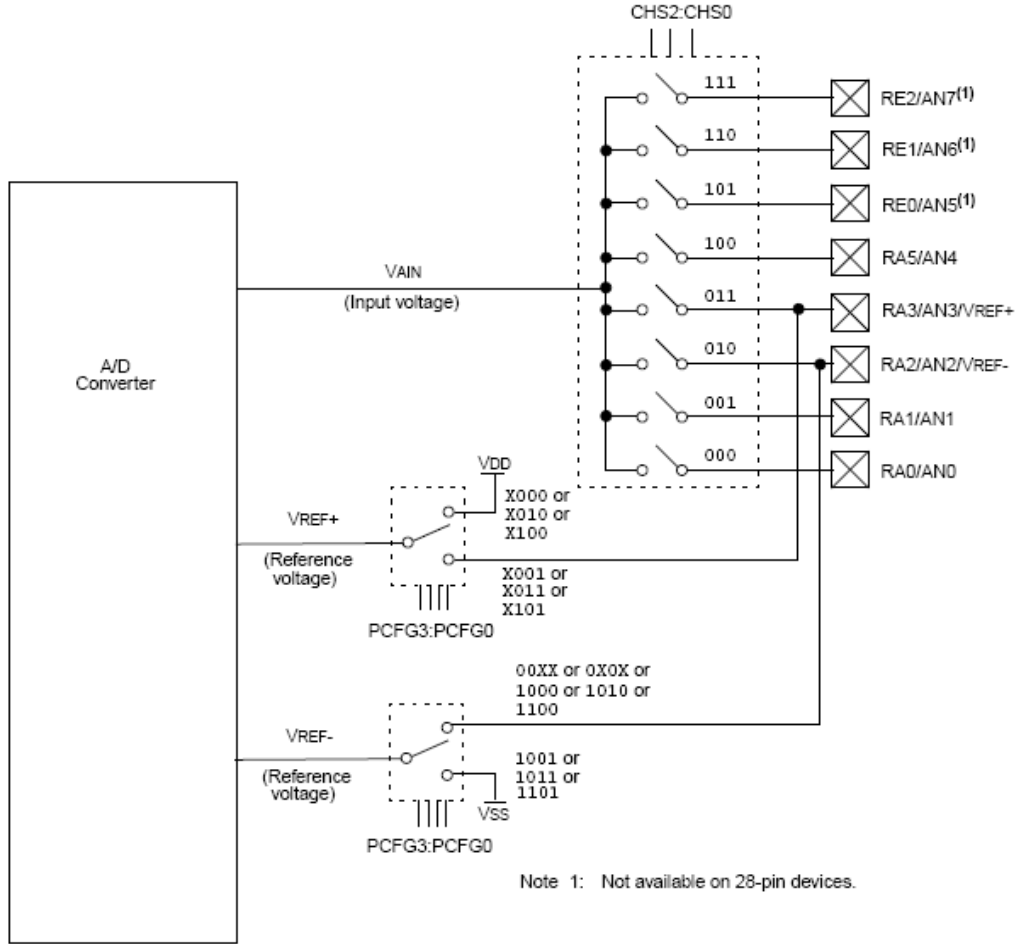


Şekil 5.32: PIC16F877 Mikro denetleyicisinin blok yapısı

PIC16F877 mikro denetleyicisi sahip olduğu 8K'lık flash program belleği sayesinde AR-GE işlemlerine pratik bir çalışma esnekliği getirmektedir. Flash program belleği ile geliştirilen programlar ek bir işlem gerekmeden çok kısa bir süre içinde mikro denetleyiciye yüklenerek test edilebilir. 368 baytlık data belleği ise yazılımların ihtiyaç duyduğu geçici bellek kullanımı içindir. Bu belleklere ek olarak mikro denetleyici içinde tümleşik olarak 256B'lık EEPROM da mevcuttur.

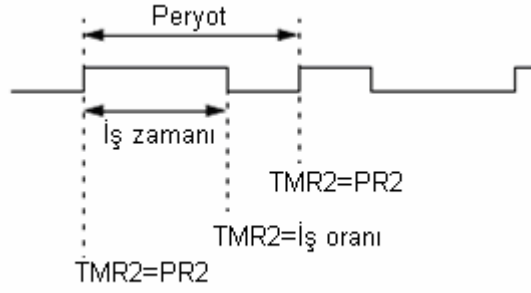
PIC16F877 mikro denetleyicisi, dahili 10 bit çözünürlükteki 8 kanallı ADC'e sahiptir. ADC kanalları giriş ve çıkıştaki akım ve gerilimleri okumak amacıyla

kullanılacaktır. ADC'ye referans olarak 5V verildiği için çevirici yaklaşık olarak 5mV hassasiyetle dijitalle çevrim yapabilmektedir.



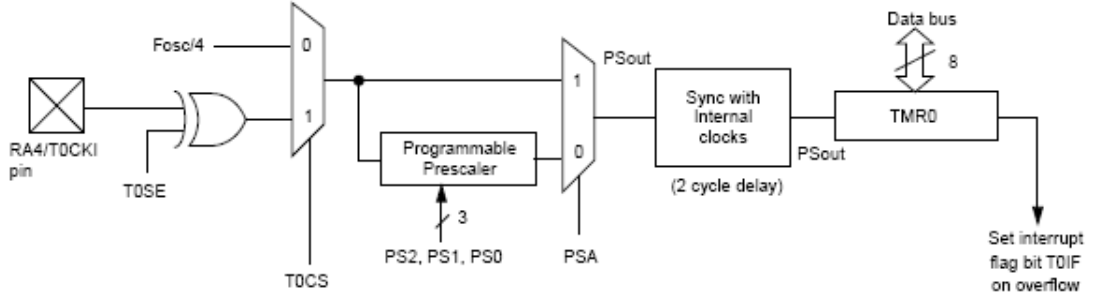
Şekil 5.33: Dahili ADC blok yapısı

Mikro denetleyici içinde yazılım olarak çalışan MPPT algoritmasının ürettiği sayısal sonuçları, fiziksel elemanlara uygulatabilmek için gerekli olan analog sinyaller denetleyici dahilinde bulunan iki adet PWM modülü ile üretilir. Bu modüller 10 bit çözünürlükte ve 1KHz'den 200KHz'e kadar olan aralıkta taşıyıcı frekansa sahip PWM sinyalleri üretebilirler. PWM sinyalinin iş zamanı ve taşıyıcı frekansı tamamen yazılımla belirlenebilen esnek parametreler olması mikro denetleyicinin sağladığı faydalardan birisidir.



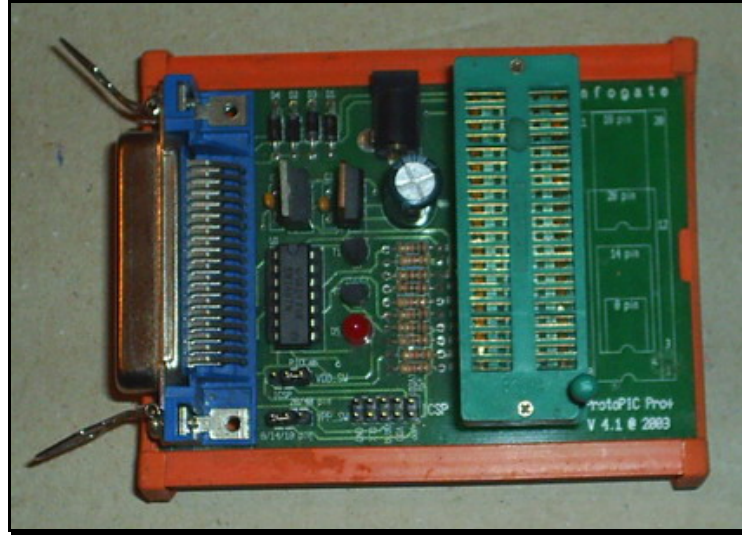
Şekil 5.34: PWM sinyali

Her yazılımda olduğu gibi MPPT algoritmasında da bazı kısımlarda zamanlama yapılması gerekmektedir. Mikro denetleyici içinde bulunan TMR0, TMR1, TMR2 ve TMR4 adındaki dört adet zamanlayıcı bu görevi üstlenmektedir. Bu zamanlayıcılar 8 bit ve 16 bit olarak çalışmakta ve yazılımla ön bölücü, arka bölücü ile zamanlama süresi ve hassasiyeti ayarlanabilmektedir.



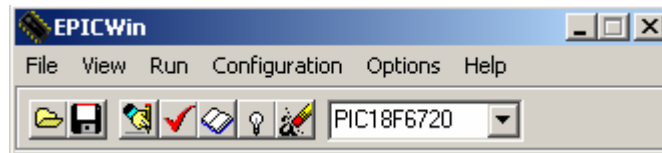
Şekil 5.35: TMR0 zamanlayıcı modülü

Yazılan programları mikro denetleyiciye yüklemek için ProtoPIC adlı programlayıcı kullanılmıştır. (Şekil 5.36) Bu programlayıcı Microchip firmasının ürettiği tüm PIC serisi mikro denetleyicileri programlayabilmektedir. Programlama işlemi, entegrenin programlayıcının üzerindeki ZIF sokete takılmasıyla yapılabileceği gibi devredeki ICSP konektörüne takılan kablonun devredeki programlama konektörüne bağlanmasıyla da yapılabilir. Bilgisayarın paralel portuna bağlanarak çalışan programlayıcının resmi Şekil 5.36'de, devre şeması ise Şekil 5.38'de görülmektedir.

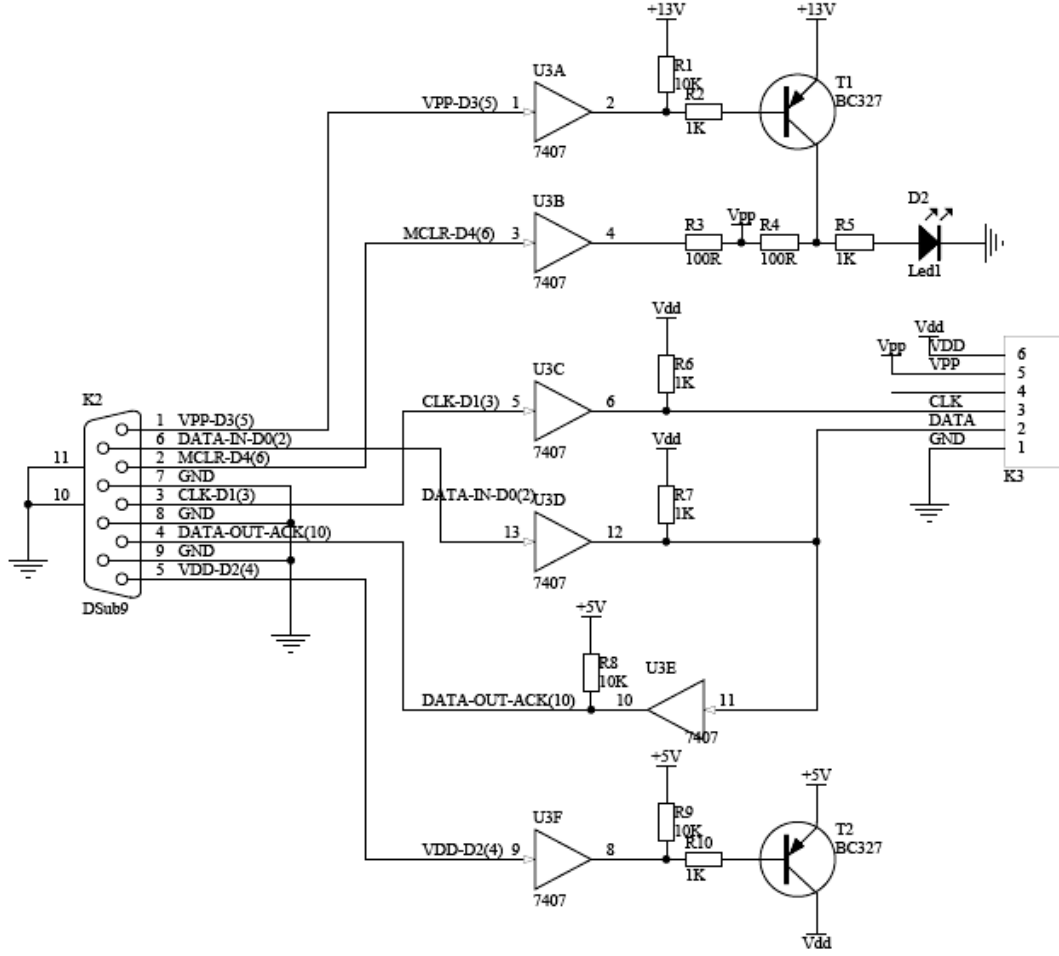


Şekil 5.36: ProtoPIC programlayıcı

Yapılan yazılımın PIC mikro denetleyicisine yazılabilmesi için ProtoPIC programlayıcısı ile uyumlu çalışan bir bilgisayar yazılımına da ihtiyacımız vardır. Bu projede programlayıcı yazılımı olarak EPIC adlı yazılım tercih edildi. (Şekil 5.37) Bu yazılım bir çok PIC serisi mikro denetleyiciyi destekleyebilmekte, konfigürasyon ayarlarını program üzerinden yapabilmemize izin vermekte ve yazma, okuma, silme ve denetim gibi bir çok işleve sahip bir yazılımdır.

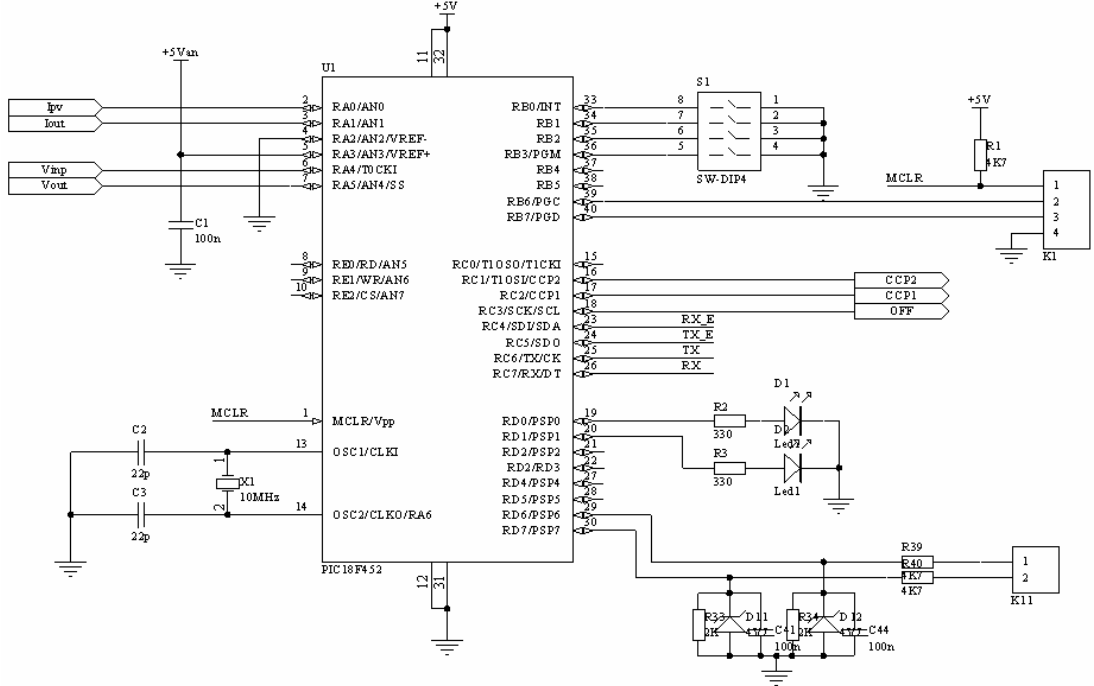


Şekil 5.37: EPIC programlayıcı yazılımı



Şekil 5.38: ProtoPIC programlayıcısı devre şeması

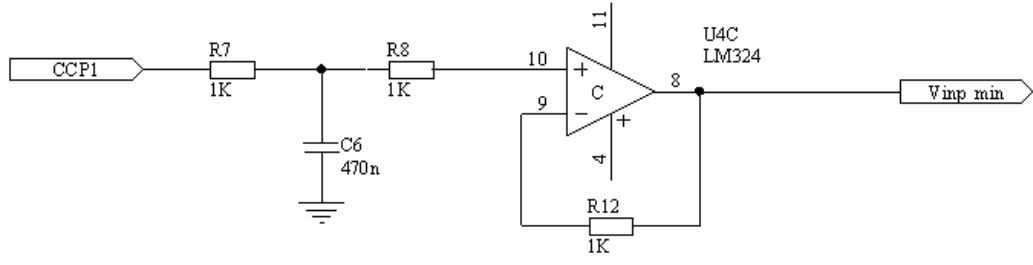
Şekil 5.39’de PIC16F877’nin devre bağlantıları görülmektedir. (Ayrıntılı devre şemaları EK C.1’de verilmiştir) Ölçümü yapılması gereken giriş ve çıkış akım ve gerilimleri mikro denetleyicinin analog girişlerine bağlanmıştır. ADC’nin referans girişine uygulanan referans gerilimi ise 5V’tur.



Şekil 5.39: Mikro denetleyici bağlantıları

Mikro denetleyiciye saat pulsi üretmesi için bir 20MHz kristal bağlanmıştır. Bu kristal ile mikro denetleyici 20MHz frekansında çalışabilecek ve bir komutun çevrim süresi 200ns olacak işlem hızı ise 5MIPS olacaktır. Devredeki K1 konektörü, ICSP programlama konektörüdür. ProtoPIC programlayıcısının kablosunu bu konektöre bağlayarak mikro denetleyiciyi yerinden sökmeden programı yükleyebiliriz. S1 DIP anahtar dizisi, araç içindeki aynı seri yola bağlı devrelerin adreslerini seçebilmek için sisteme eklenmiştir. D1 ve D2 ledleri ise devrenin çalışması ile ilgili görsel uyarılar verebilmek için devreye eklenmiştir. Yine devredeki K11 konektörü ise dışarıdan bir harici giriş kullanma ihtiyacı olması durumunda kullanılmak üzere opsiyonel giriş konektörüdür. Bu konektörün devamında gürültülü ve gerilim seviyesi yüksek olan sinyalleri devrenin kabul edebilmesini sağlayacak basit bir filtre devresi vardır.

Mikro denetleyici çalıştırdığı MPPT algoritmasının sonuçlarını CCP1, CCP2 ve OFF çıkışları ile analog sisteme iletmektedir. Bu çıkışların ilk ikisi PWM modülünün çıkışlarıdır. OFF çıkışı ise lojik bir çıkış olup gerekli durumda DC-DC çeviriciyi kapatmaktadır. PWM modüleli sinyalin analog gerilime çevrilmesi için ise Şekil 5.40'deki devre kullanılmıştır.

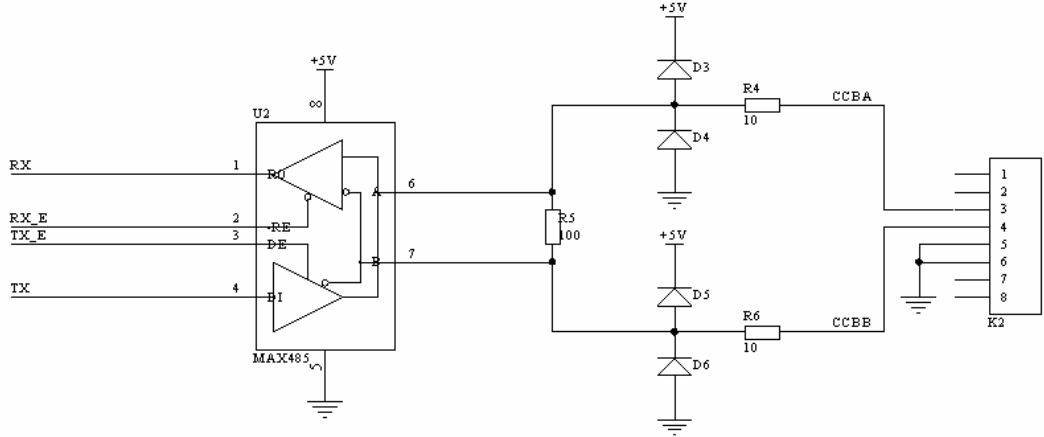


Şekil 5.40: Devrenin analog çıkış kısmı

Bu devredeki R7 ve C6 alçak geçiren filtre olarak çalışarak PWM sinyalini DC gerilime çevirir. Devrenin devamındaki U4C opampı ise gerilim izleyici olarak düzenlenmiştir. Gerilim izleyici, MPPT devresindeki TL494 PWM entegresine giden bu sinyallerde akım çekilmesinden dolayı gerilim düşümü olmaması için bir tampon olarak sisteme eklenmiştir. PIC16F877 entegresindeki PWM modülleri 10 bit çözünürlüğe sahip olduğu için, MPPT algoritması PWM modülünü 0-1023 arasındaki bir rakam ile set etmekte, bu rakam PWM sinyalindeki dolu-boş oranını değiştirmekte ve bu değişim de Şekil 5.40'deki devrenin çıkışında 0-5V arası bir analog gerilim oluşmaktadır.

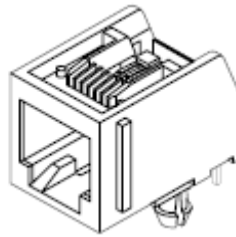
5.1.4.5. Seri haberleşme

Sürücünün güç sisteminin durumu hakkında bilgi sahibi olabilmesi için MPPT devresinin okuduğu akım, gerilim ve güç bilgilerinin sürücü ekranı devresine iletilmesi gerekmektedir. Güneş enerjili araç içinde buna benzer haberleşmelerin yapılabilmesi için kullanılan RS485 standardını kullanan ortak bir seri yol vardır. MPPT devresinin bu yol ile veri gönderebilmesi için Şekil 5.41'deki devre sisteme eklenmiştir.



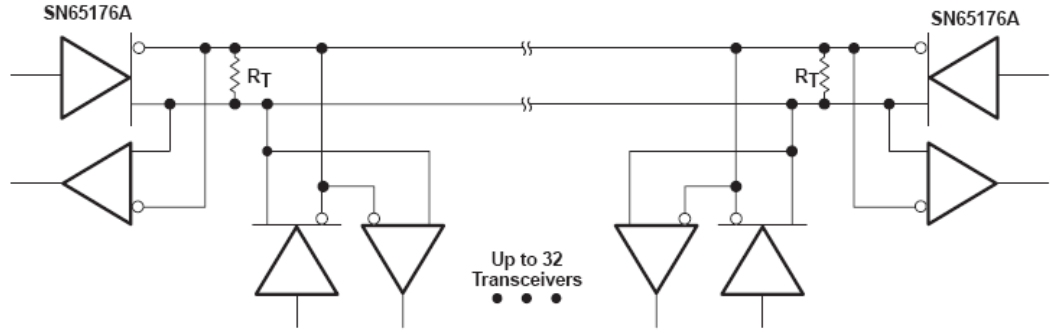
Şekil 5.41: RS485 Seri haberleşme devresi

MAX485 entegresi TTL sinyalleri RS485 standardı olan LVDS şekline dönüştürmektedir. [18] Araç içi haberleşme half-duplex yapıldığı için tek bir MAX485 entegresini devreye eklemek yeterli olmuştur. Mikro denetleyiciye bağlı olan MAX485'in DE ve RE terminalleri yapılacak haberleşmenin giriş ya da çıkış olmasını belirlemektedir. Seri haberleşme kablosunun takılması için MPPT devresine 8 pinli RJ45 plug konektör eklenmiştir. (Şekil 5.42) Bu konektörün bağlantısı tüm elektronik sistemde standarttır. MAX485 entegresinin veri sayfaları EK-A.8'de verilmiştir.



Şekil 5.42: RJ45 plug konektör

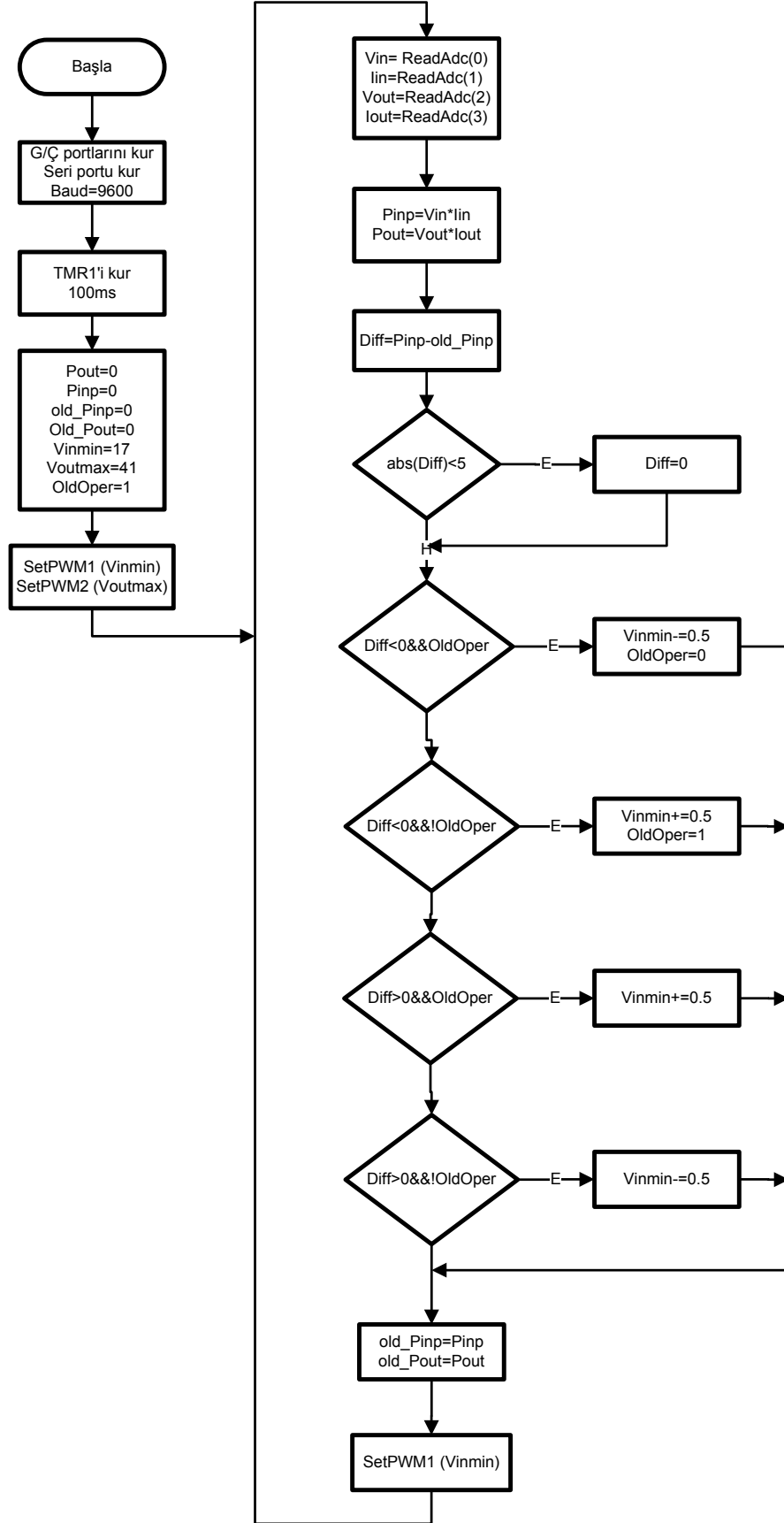
RS485 iletim standardı ile aynı iletişim hattına 32 adet alıcı/verici (terminal) bağlanabilir. (Şekil 5.43)



Şekil 5.43: RS485 iletişim standardı bağlantısı

5.1.5. Yazılım tasarımı

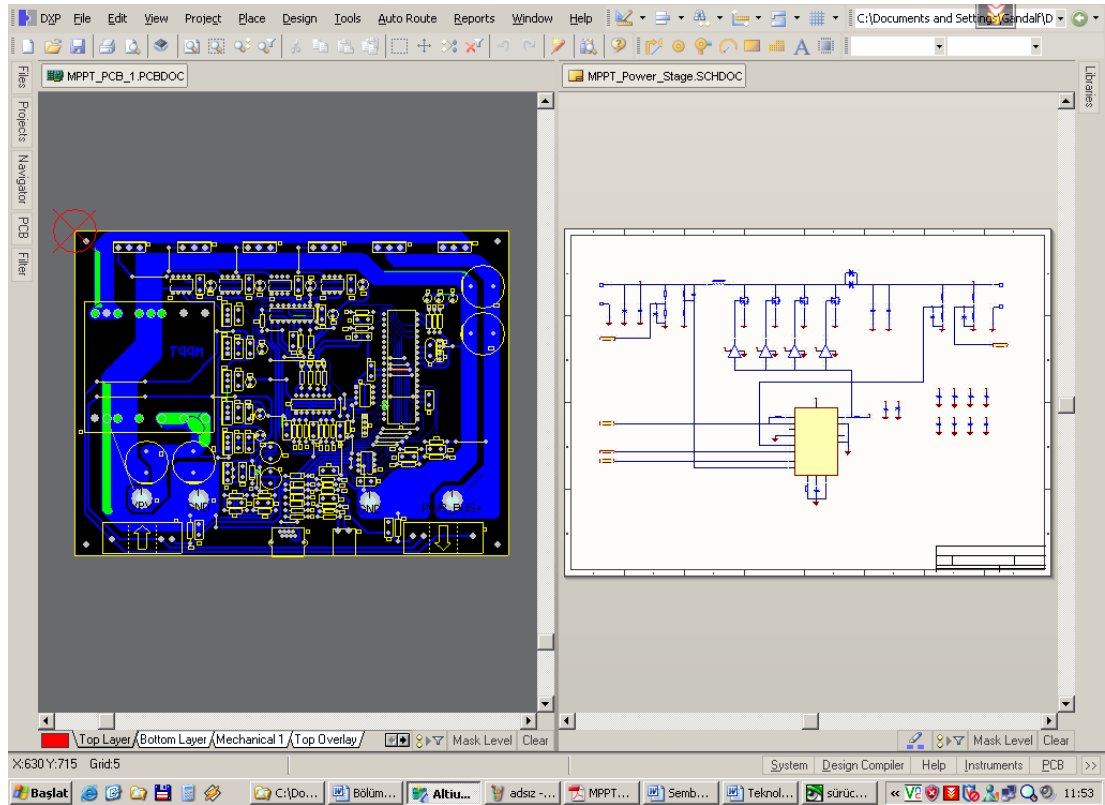
Şekil 5.44'de giriş gücünü arttıran MPPT algoritması görülmektedir. Bu yazılımda önce donanımsal birimlerin kurulması yapılmaktadır. Giriş gücünü kontrol etmek için kullanılan sinyal minimum PV gerilimidir. Yazılım bu değeri Vinmin adlı değişkende tutar. Algoritma bu değişken arttırmak ya da azaltmak suretiyle giriş gücünü değiştirir. Yapılan her artım ya da azaltımdan sonra mikro denetleyicinin PWM çıkışı Vinmin değişkeni ile güncellenir. Bu çıkış ile giriş gerilimi, DC-DC çevirici devresinde donanımsal olarak sınırlanır.



Şekil 5.44: MPPT algoritması

5.1.6. Baskılı devre tasarımı

Güneş enerjisiyle çalışan araçtaki tüm elektronik ve elektrik sistemindeki devrelerin baskılı devreleri Altium firmasının bir ürünü olan “Protel DXP 2004” programının deneme versiyonu kullanılmıştır. Protel programı elektronik bir sistemin tasarımı sırasında, başlangıçta devre kısımlarının simülasyonundan, açık devre şema çizimi, baskılı devre çizimi ve imalat için gerekli dosyaların hazırlanmasına kadar tüm AR-GE sürecindeki devre tasarımı ile ilgili gerekli çalışmaların yapılabileceği bir geliştirme ortamını tasarımcılara sunmaktadır. [17]

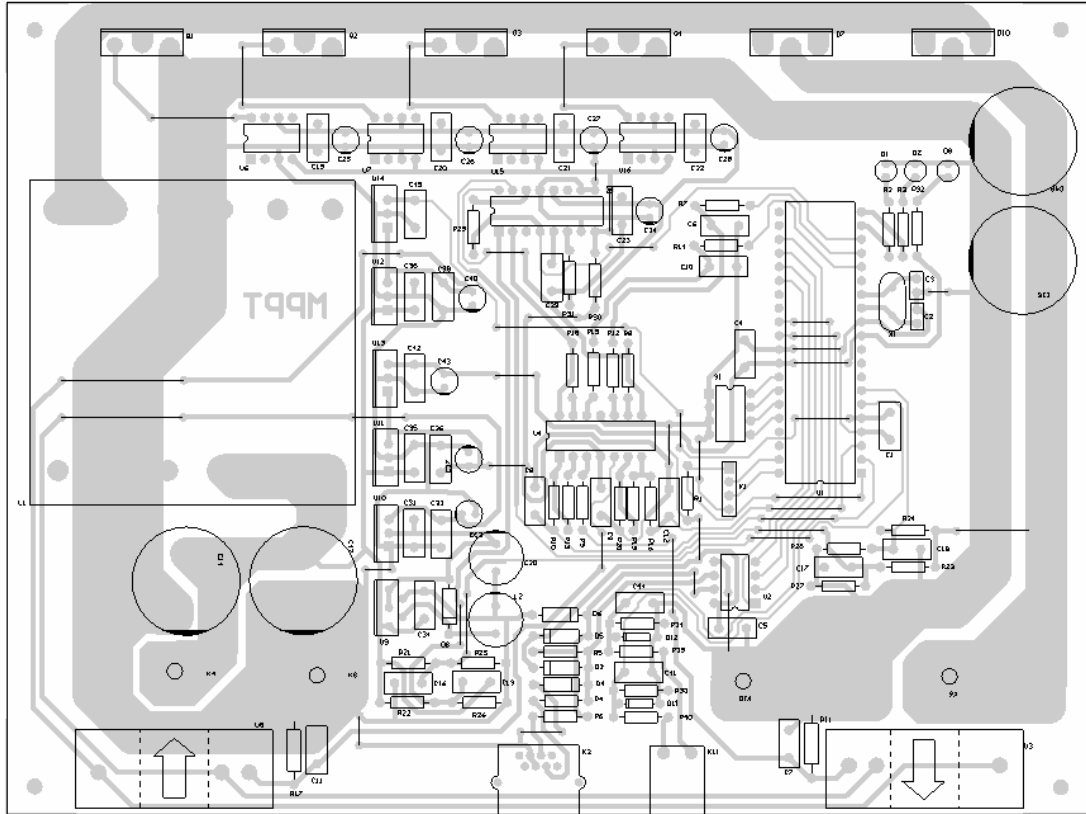


Şekil 5.45: MPPT devresinin Protel DXP geliştirme ortamındaki tasarımı

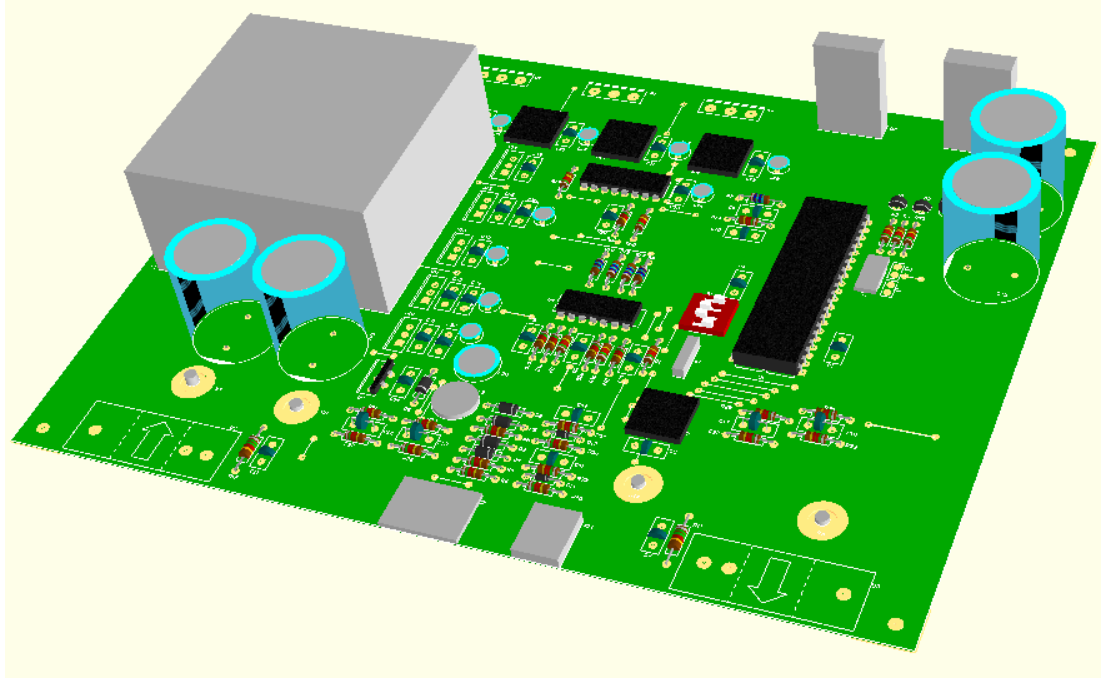
MPPT devresinin tasarım kriterleri arasında devrenin titreşim ve darbelere karşı dayanıklı olması gerektiği belirtilmiştir. (Bölüm 5.2.1.2) Bu kriterin sağlanması için devre elemanlarının montajının güvenli olması ve PCB'nin epoksi malzemeden imal edilmiş olması gerekir. Büyüklüğü ve ağırlığı fazla olan malzemelerin uygun bir şekilde vidalanması ve lehimleme adacıklarının yeterli düzeyde geniş olması gerekir.

Aksi halde titreşimden dolayı lehim noktaları kırılabilir ve devre tümüyle zarar görebilir.

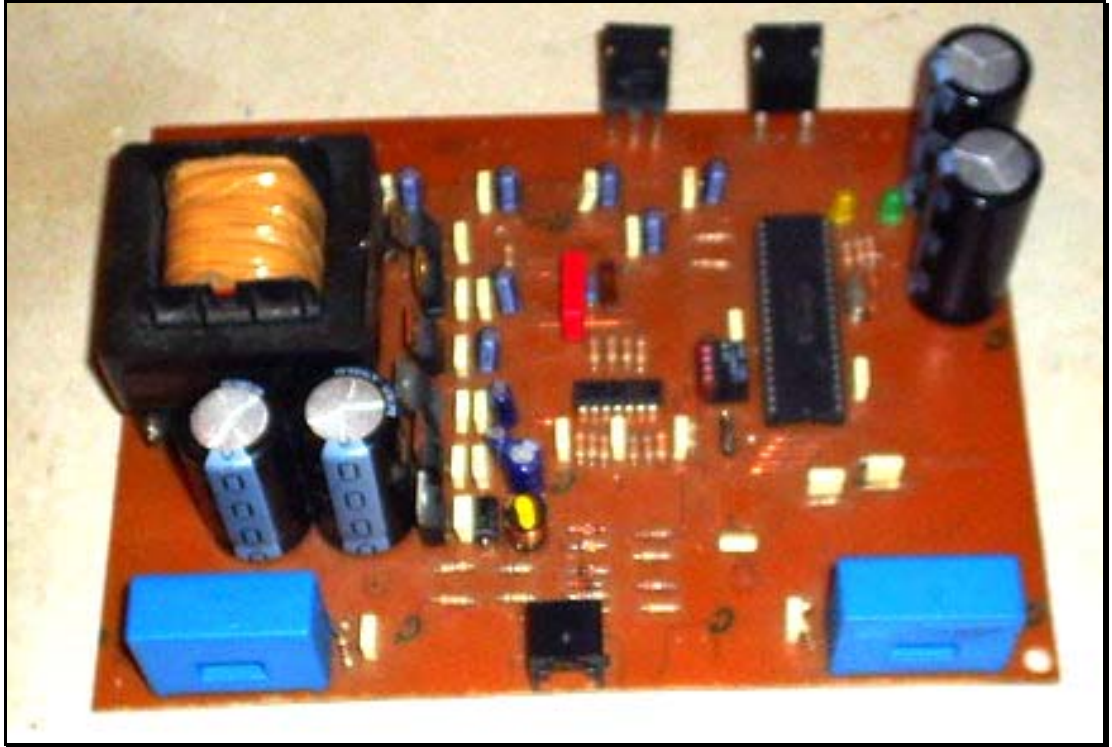
Anahtarlama güç kaynağı devrelerinin baskılı devre tasarımında güç elemanlarının fiziksel konuda çok önemlidir. Yüksek frekansta anahtarlama yapıldığı için akımın dolaşma yolları oldukça kısa tutulmalıdır. MOSFET'lerin tetikleme ayakları ile sürücüleri arasındaki mesafe bile bu konuda etkilidir. Akım her zaman en kısa yolu tercih edeceğinden bir malzemenin sadece elektriksel olarak bakırlı yola bağlı olması bu tarz sistemlerde yeterli değildir. Tüm elemanlar akımın akış yolu üzerinde yer almalıdır.



Şekil 5.46: MPPT devresinin baskılı devresi



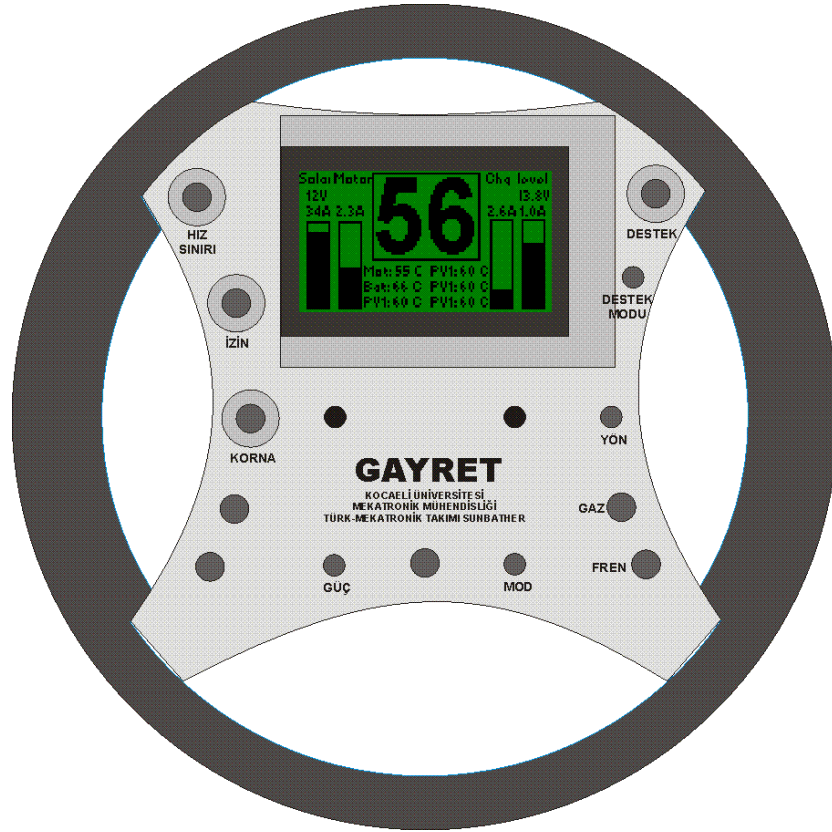
Şekil 5.47: MPPT devresi tasarım simülasyonu



Şekil 5.48: MPPT devresi PCB uygulaması

5.2. Sürücü Paneli

Sürücü panelinin iki görevi vardır. Bunlardan birincisi aracın kontrolü ile ilgili buton ve anahtarları bulundurmaktır, bu elemanlarla yapılan girişlerin motor sürücüsüne ve diğer kısımlara iletilmesidir. Diğer görevi ise araçtaki elektronik algılayıcıların RS485 seri yolu üzerinden gönderdikleri bilgileri grafik LCD ekranda göstermektir. Şekil 5.49’de tasarımı yapılan sürücü paneli görülmektedir.



Şekil 5.49: Tasarlanan sürücü paneli

Şekil 5.49’de de görüldüğü gibi sürücü paneli direksiyon üzerine monte edilmiştir. Bunu sebebi araçtaki kokpitin oldukça dar olması ve sürücü aracı kullanırken dikkatini yoldan ayırmadan tüm kontrolleri ve ekranı kullanabilmesini sağlamaktır.

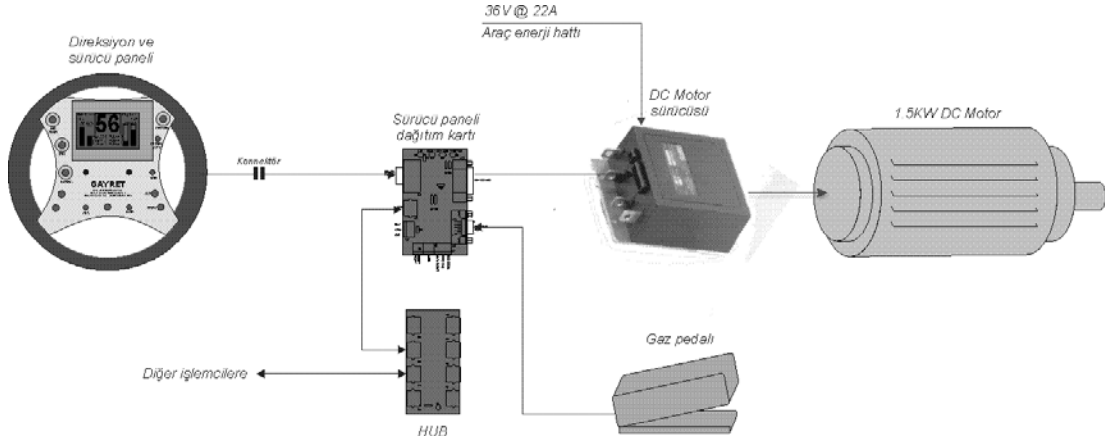


Şekil 5.50: Direksiyon ve sürücü panelinin uygulanması

Pilotun direksiyondaki panelden yapabildiği araç kontrolleri daha çok motor sürücüsü ile alakalı kontrollerdir ve şunları kapsamaktadır:

- Hız limiti. Bu özelliği donanımsal olarak DC motor sürücüsü sağlar ve aracın maksimum güç sarfiyatını dolaylı olarak da hızını belirler.
- Yön: Aracın ileri ya da geri yöndeki hareketini seçer.
- Güç: Motor sürücüyü açıp kapatır. Aracın kontak anahtarıdır denilebilir.
- Mod: Motorun iki farklı hız düzeninde çalışmasını seçer.
- İzin: DC motor sürücüyü aktif hale getirmek için bu düğme kullanılır. Normalde bu işlem gaz pedalına basılınca otomatik olarak yapılır.
- Status led: Motor sürücünün durumunu çeşitli ışık sıralamaları ile pilota bildirir.
- Korna: Sürücü araçtaki sireni bu düğme ile açıp-kapatabilir.

Sürücü panelindeki bu kontrol sinyalleri kolayca takılıp-ayrılabilen bir konektör aracılığı ile dağıtım kartına gönderilir. Dağıtım kartı sinyalleri DC motor sürücüsü, HUB ve Ana kontrol ünitesine dağıtır. Şekil 5.51’de direksiyon üzerindeki kontrol paneli sinyallerinin araç içinde nasıl dağıldığını gösteren çizim yer almaktadır.

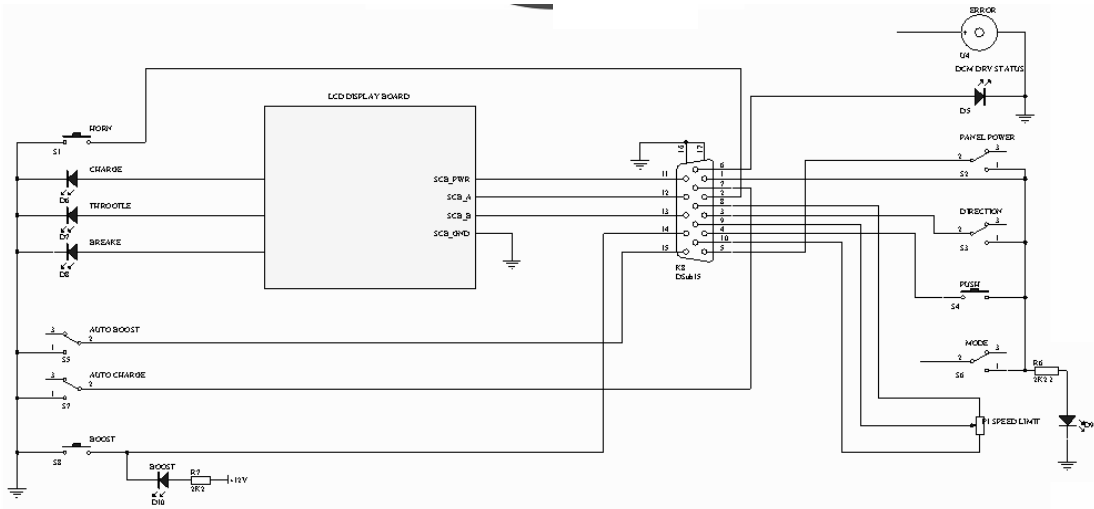


Şekil 5.51: Sürücü panelinin bağlantıları

Daha önce de bahsedildiği gibi sürücü panelini oluşturan iki unsur vardır. Bunlar sürücü kontrolleri ve sürücü ekranıdır. Bu iki kısım Şekil 5.51’de görüldüğü gibi aynı kablo üzerinden “Sürücü paneli dağıtım kartı” na bağlanır. Bu kart bu iki kısım ile ilgili sinyalleri ayırarak ilgili kısımların bağlandığı konektörlere iletir.

5.2.1. Sürücü kontrolleri

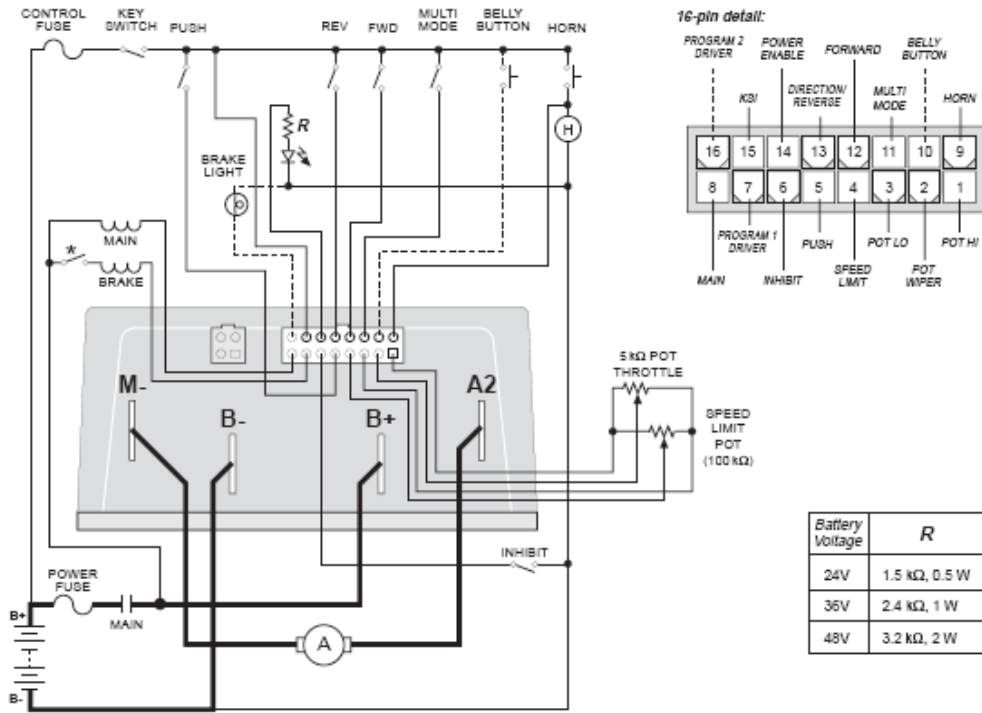
Direksiyonda bulunan sürücü kontroller anahtar ve LED lambalardan oluşmaktadır. Bu kontrollerin hemen hepsi DC motor sürücüsünün sağladığı donanımsal kontrollerdir. Şekil 5.49’de görülen bu kontroller sürücünün rahat kullanabilmesi için direksiyon üzerinde, hemen direksiyonun kavrandığı kısmın yanına dizilmişlerdir.



Şekil 5.52: Sürücü kontrollerinin bağlantısı

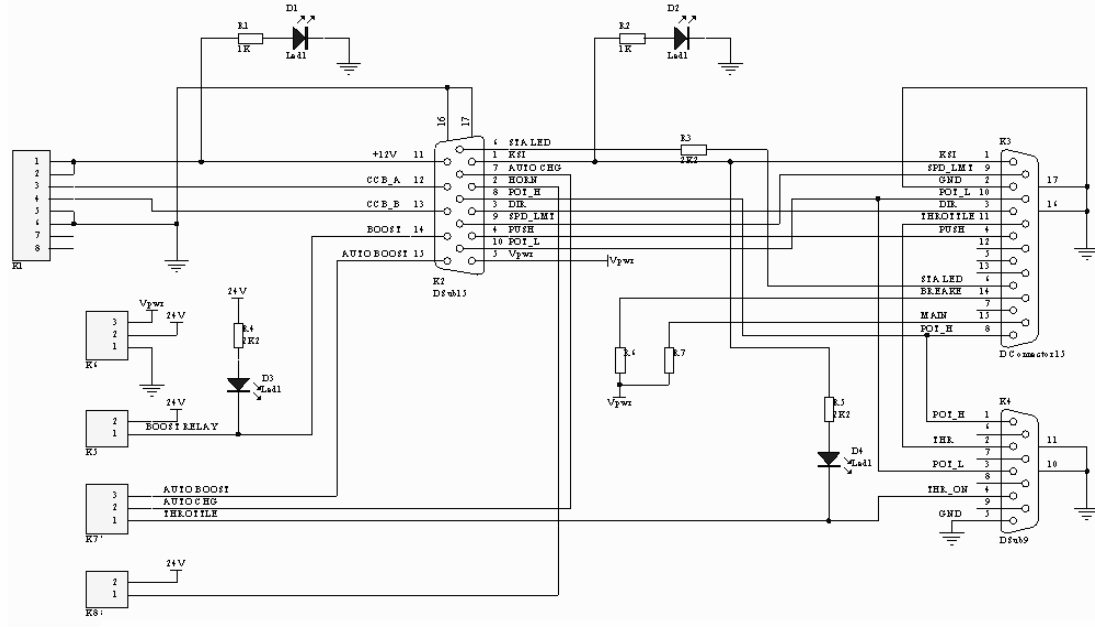
K8 konektörü, tüm bağlantıları taşıyan 15 telli kablunun bağlantısının yapıldığı ve direksiyonun istenildiği zaman çıkarılabilmesini sağlayan konektördür. Bu bağlantılara

Şekil 5.53'de görülen ve Curtis 1227-37 DC motor sürücünün bağlantıları esas alınarak geliştirilmiştir. Sürücü kontrolleri ve sürücü ekranı devre ayrıntıları EK C.2'de verilmiştir.



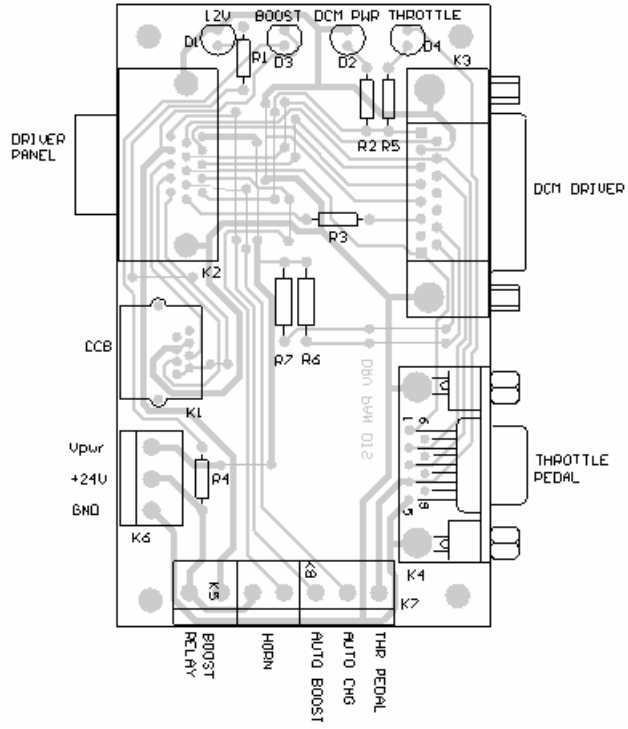
Şekil 5.53: Curtis 1227-37 DC motor sürücüsü bağlantıları

Şekil 5.52'de görülen K8 konektörüne takılan kablunun diğer ucu ise Şekil 5.51'de görüldüğü gibi "Sürücü paneli dağıtım kartı" na takılmaktadır. Bu kartın bağlantı şeması ise Şekil 5.54'de görülebilir. Bu devrede K2 direksiyondan gelen kablunun takıldığı konektördür. Bu kablo içinde bulunan sürücü ekranının devresine ait bağlantılar doğrudan K1 konektörüne taşınmıştır. Şekil 5.51'de görüldüğü gibi K1 konektörü de diğer devrelerle haberleşmeyi sağlamak amacıyla araç seri hattına bağlanmıştır.



Şekil 5.54: Sürücü paneli dağıtım kartı açık şeması

K4 konektörüne gaz pedalı bağlanır ve bu bağlantılar doğrudan DC motor sürücüyeye giden kablonun bağlandığı K3 konektörüne iletilir. Devredeki K5 ve K8, sürücü paneline ve DC motor sürücüyeye giden besleme hatlarının giriş yaptığı klemenslerdir. Diğer klemensler ise opsiyonel olarak ileride yapılacak genişlemelerin desteklenebilmesi amacı ile konulmuştur. Şekil 5.55’de bu devrenin PCB tasarımı görülmektedir.

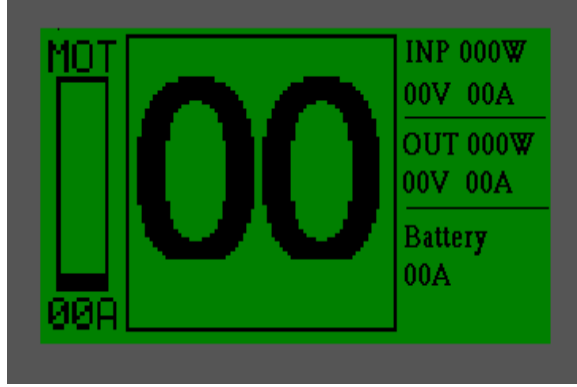


Şekil 5.55: Sürücü paneli dağıtım kartı tasarımı

5.2.2. Sürücü ekranı

Şekil 5.50 ve Şekil 5.56’de görülen sürücü ekranı aşağıdaki araç bilgilerini sürücüye göstermektedir.

- Büyük puntolu iki rakam şeklinde aracın KM biriminden hızı
- Sütun grafiği ve rakam olarak motorun çektiği akım.
- Güneş panellerinin çıkış gerilimi, akımı ve gücü
- MPPT devresinin çıkış gerilimi, akımı ve gücü
- Bataryalardan ne kadar akım çekildiği

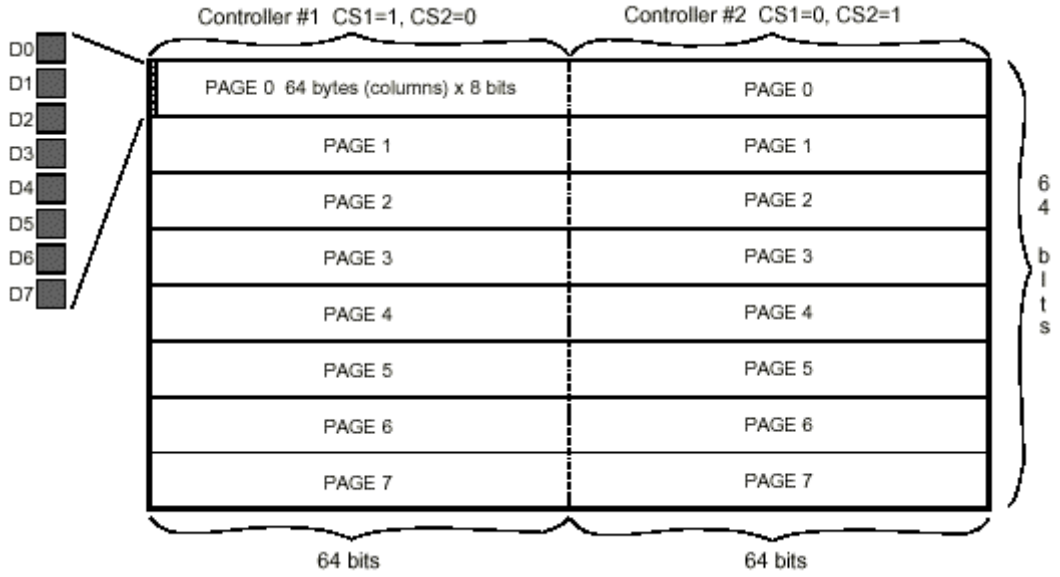


Şekil 5.56: Sürücü ekranı

5.2.3. Tasarım

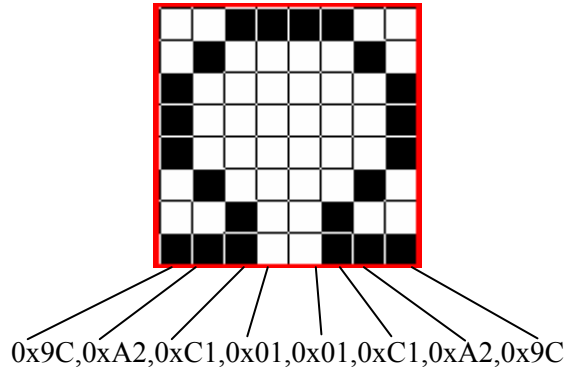
Araç ile ilgili çevresel bilgilerin sürücüye gösterilmesi kesin bir gereklilik içermemekle birlikte, sürücü ekranı, sürücünün araç toplam depolanmış gücü ve güneşten elde edilen gücü daha verimli kullanması, motora ne kadar yüklenebileceğine karar verebilmesi ve akülerin doluluk oranının bilinmesi gibi faydaları sağlamak amacıyla sisteme eklenmiştir. Bu faydaların yanında test ve eğitim amaçlı olmak üzere MPPT devresinin performansı da bu ekran üzerinden on-line olarak izlenebilir.

Sürücü ekranı devresinde gösterge olarak 128x64 çözünürlükteki tek renkle grafik LCD ekranı kullanıldı. [18] EK-A.10'da PG12864 LCD ekranına ait veri sayfaları verilmiştir. Bu LCD dâhili olarak bulundurduğu RAM'i ve display denetleyicisi sayesinde küçük bellek alanı olan mikro denetleyicili sistemlerde uygulama kolaylığı sağlamaktadır. PG12864 olarak adlandırılan bu LCD iki sayfa ve 8 satır halinde programlanabilmektedir. Şekil 5.57'de 1024 bayt olan belleğin ekrandaki piksellerle nasıl ilişkilendirildiği görülmektedir. LCD ekran üzerinde bir yazı ya da resim gösterilmesi istenildiğinde ekran belleğini resimdeki düzende baytlar yazılmalıdır.



Şekil 5.57: PG12864 Grafik LCD bellek yapısı

Örneğin LCD ekranı üzerine Ω şeklini çıkartmak istediğimi düşünelim. Bu durumda resmin pikseller şeklinde gösterilmesi ve LCD belleğine Şekil 5.58'de görüldüğü baytların yazılması gerekmektedir. PG12864 grafik LCD üzerinde çıkartılması istenen tüm yazı ve resimler için buna benzer işlemleri yapmak gerekir.



Şekil 5.58: Bir şeklin LCD ekran için hazırlanması

Güneş enerjili aracın sürücü ekranında (Şekil 5.56) kullanılan dört türlü grafik vardır. Bunlardan ilki küçük yazıları oluşturan 7x5 yazı fontu'dur. Bu yazı fontunun tüm karakterleri Şekil 5.58'de görüldüğü gibi hazırlanarak Tablo 5.9'de görülen font5x7 karakter dizisi oluşturulmuştur.

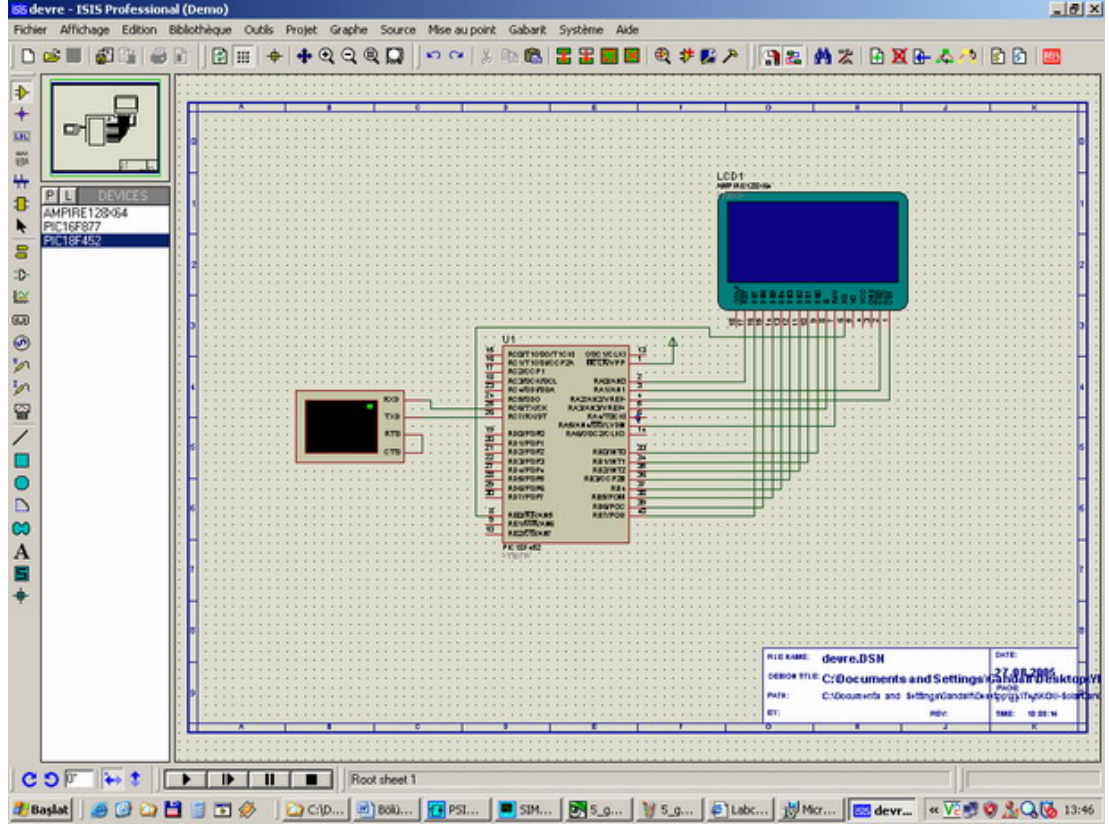
Tablo 5.9: 7x5 yazı fontunu oluşturan tanımlama örnekleri

```
unsigned char const font5x7[] =
{
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, // (space)
0x00, 0x00, 0x5F, 0x00, 0x00, // !
0x00, 0x07, 0x00, 0x07, 0x00, // "
0x14, 0x7F, 0x14, 0x7F, 0x14, // #
.....
.....
0x0C, 0x50, 0x50, 0x50, 0x3C, // y
0x44, 0x64, 0x54, 0x4C, 0x44, // z
0x00, 0x08, 0x36, 0x41, 0x00, // {
0x00, 0x00, 0x7F, 0x00, 0x00, // |
0x00, 0x41, 0x36, 0x08, 0x00, // }
0x08, 0x08, 0x2A, 0x1C, 0x08, // ->
0x08, 0x1C, 0x2A, 0x08, 0x08 // <-
};
```

İkinci görsel grafik ise büyük fontla gösterilen araç hızına ait rakamlardır. 5x7 yazı fontuna benzer bir şekilde 0-9 arası tüm rakamların 32x40 büyüklüğündeki Bitmap haritası oluşturularak mikro denetleyici yazılımına bir dizi olarak eklenmiştir. LCD ekranda gösterilen üçüncü grafik ise motorun hızını gösteren sütun grafiğidir. Bu grafik için içi dolu dikdörtgen çizen bir fonksiyon yazılmıştır. Bu fonksiyon dört köşesi belirlenen koordinata içi dolu bir dikdörtgen oluşturmaktadır. Akım ölçüm devresinden gelen akımın şiddetine göre sütun yüksekliği otomatik olarak değiştirilmektedir. Ekrandaki dördüncü grafik ögesi ise Hızın içinde bulunduğu dikdörtgendir. Bu dikdörtgen için sütun grafiğinde olduğu gibi bir içi boş dikdörtgen çizen fonksiyon yazılmıştır.

5.2.4. Simülasyon

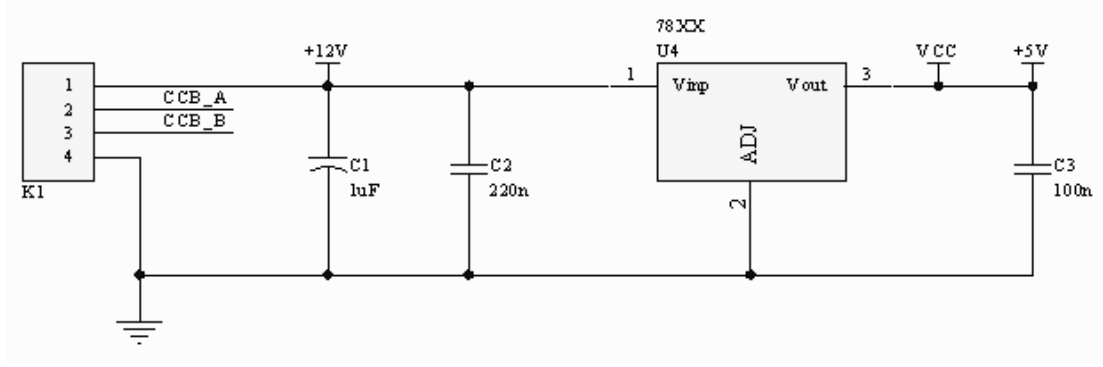
Sürücü ekranı devresinin simülasyonu “Labcenter Electronics” firmasının bir ürünü olan Proteus ile gerçekleştirilmiştir. Proteus bir sanal sistem modelleme programıdır. Bu program karışık moddaki “Spice” devreleriyle birlikte, animasyonlu devre elemanları ve mikro denetleyici modellerinin bir arada ortak simülasyonunu yapabilmektedir. [19] Böylece mikro denetleyici içeren sistemlerdeki yazılımları diğer donanımlarla birlikte çalıştırabilmektedir. (Şekil 5.59)



Şekil 5.59: Proteus simülasyon programı

5.2.5. Donanım tasarımı

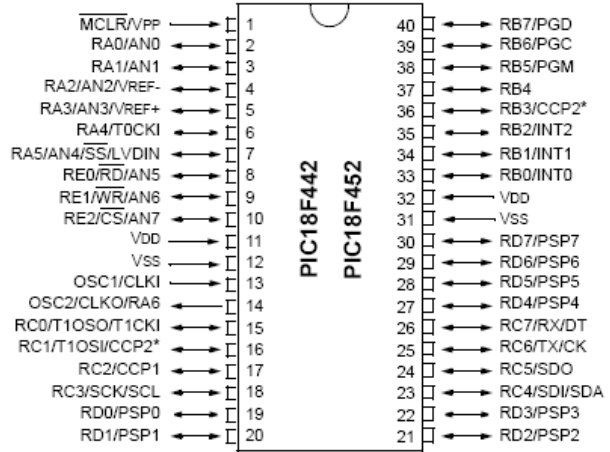
Sürücü ekranının donanımında dört temel kısım vardır. Bunlar güç kaynağı, mikro denetleyici, LCD ekran ve seri haberleşme kısımlarıdır. Ekran devresinin çalışabilmesi için sadece 5V'a ihtiyaç duymaktadır. Bu devrenin beslemesi araç seri yolundan gelen 12V'dur. Bu gerilimin 5V'a çevrilmesi için 7805 gerilim regülatörü kullanılmıştır. Bu devrede LCD ekran çok akım çektiğinden dolayı 7805 entegresinin soğutucuya bağlanması gerekmiştir.



Şekil 5.60: Sürücü ekranı güç kaynağı devresi

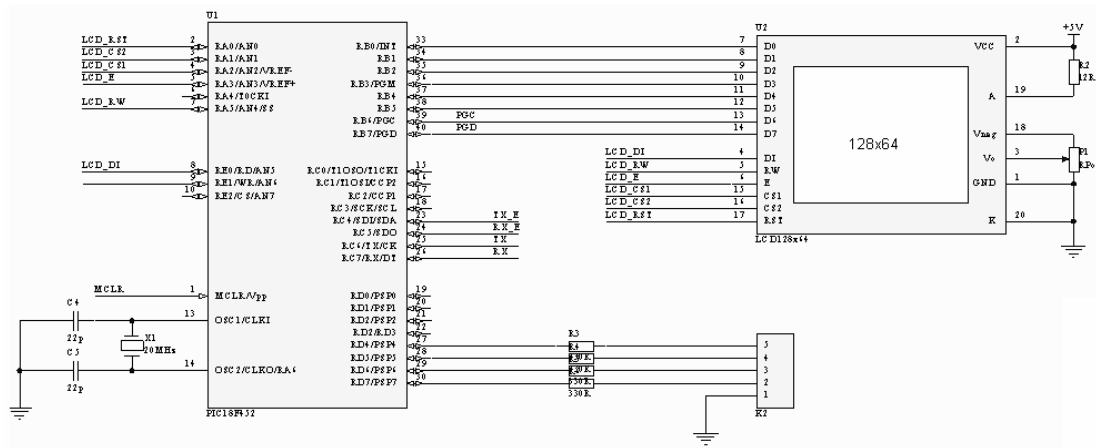
Sürücü ekranını kontrol için Microchip firmasının ürünü olan PIC18F452 mikro denetleyicisi tercih edilmiştir. Bu mikro denetleyici bölüm 5.2.1.3.4’de açıklanan PIC16F877 entegresi ile kılıf olarak aynı paket ve terminal adlarına sahip olmasına karşın çok daha fazla donanımsal özelliklere sahiptir. [16] Grafik içeren uygulamalarda diğer uygulamalara oranla daha yüksek miktarlarda program belleği ve RAM’a ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun yanı sıra ekran işlemlerinde yoğun olarak matematik denklemleri çözümlendiğinden işlemcinin komut çevrim hızının da yüksek olması beklenir. PIC18F452 işlemcisi 40MHz saat palsi girişiyle, 100ns komut çevrim hızına ulaşarak 10MIPS’lik bir işlem miktarını sağlayabilir. EK-A.11’de bu mikro denetleyiciye ait veri sayfaları verilmiştir.

Features	PIC18F452
Operating Frequency	DC - 40 MHz
Program Memory (Bytes)	32K
Program Memory (Instructions)	16384
Data Memory (Bytes)	1536
Data EEPROM Memory (Bytes)	256
Interrupt Sources	18
I/O Ports	Ports A, B, C, D, E
Timers	4
Capture/Compare/PWM Modules	2
Serial Communications	MSSP, Addressable USART
Parallel Communications	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	8 input channels
RESETS (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)
Programmable Low Voltage Detect	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes
Instruction Set	75 Instructions
Packages	40-pin DIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP



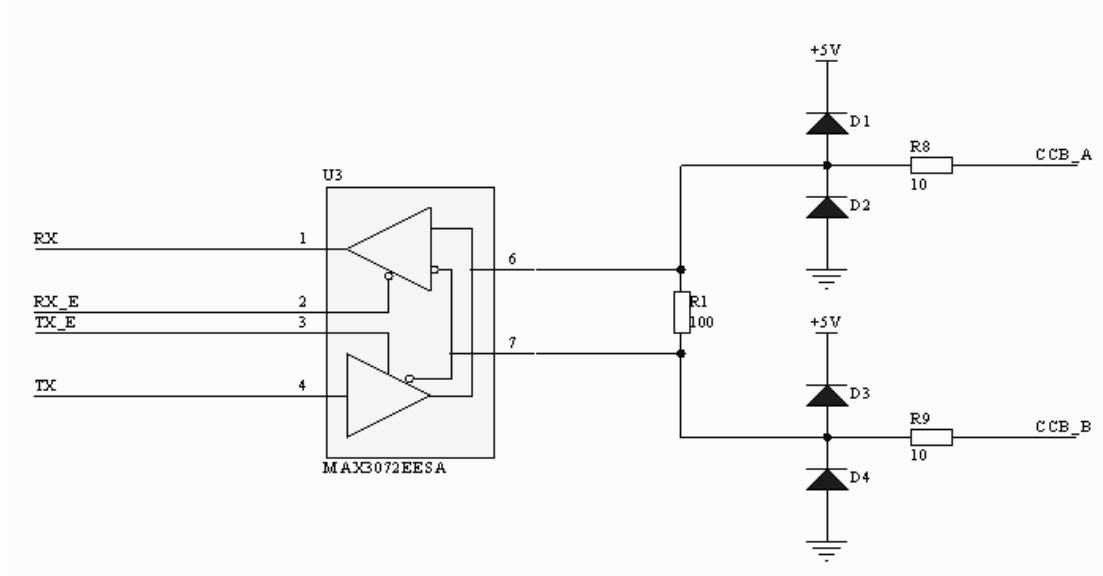
Şekil 5.61: PIC18F452 Mikro denetleyicisi özellikleri ve ayak bağlantıları

Mikro denetleyicinin devreyle olan bağlantısı ise 'de görülmektedir. Mikro denetleyiciye 20MHz kristal bağlanmıştır. Bu 200ns komut çevrim hızı sağlamaktadır. Devredeki K2 konnektörü direksiyon üzerinde opsiyonel olarak bulunan LED'ler için ayrılmıştır. İlerideki genişlemelerde kullanılacaktır.



Şekil 5.62: Mikro denetleyici ve grafik LCD bağlantıları

Mikro denetleyicinin temel iki görevi vardır. Bunlar araç seri yolundan bilgileri toplamak ve bu bilgileri grafik LCD ekrana göndermektir. Devrenin seri yol ile bağlantısı araçtaki tüm elektronik devrelerde olduğu gibi MAX485 entegresinin half duplex olarak araç seri yoluna bağlanması şeklinde olmuştur. (Şekil 5.63)



Şekil 5.63: Sürücü ekranı devresinin araç seri yoluna bağlantısını sağlayan kısmı

Devredenin asıl amacını gerçekleştiren grafik LCD ekranın ayak bağlantısı Tablo 5.10'de, bu pinlerin mikro denetleyici ile bağlantısı ise Şekil 5.62'de görülmektedir.

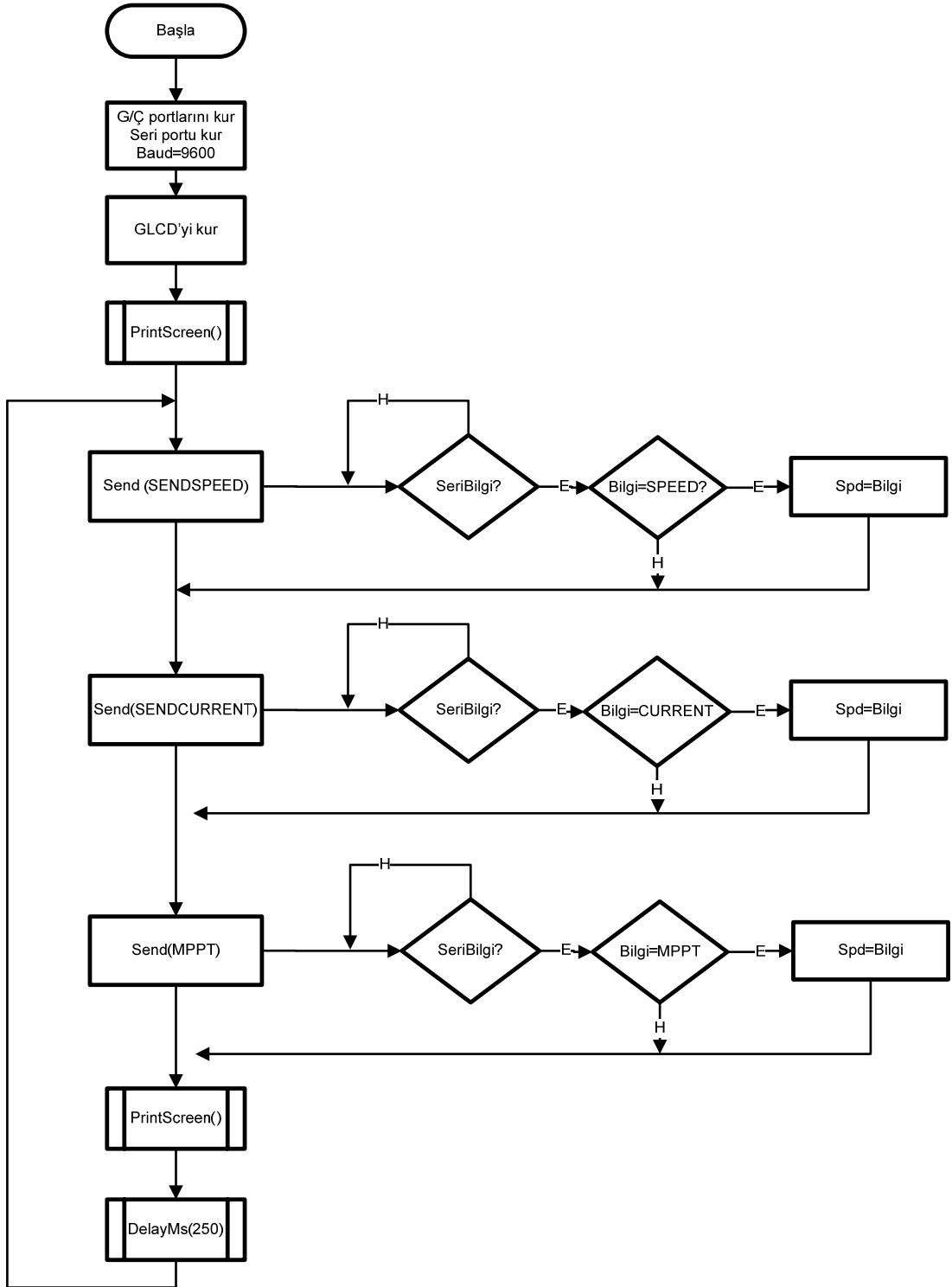
Tablo 5.10: Grafik LCD ayak bağlantıları

PIN ASSIGNMENT		
Pin no.	Symbol	Function
1	Vss	Power supply(GND)
2	Vdd	Power supply(+)
3	Vo	Contrast Adjust
4	D \bar{I}	Command / data input
5	R/ \bar{W}	Data read / write
6	E	Enable signal
7-14	DB0-DB7	Data bus line
15	CS1	Chip selection driver 1
16	CS2	Chip selection driver 2
17	RST	Reset
18	Vout	Negative voutage output
19	A	Power supply for LED B/L (+)
20	K	Power supply for LED B/L (-)

PG12864'ün mikro denetleyici ile haberleşme yapmak için DB0-DB7 isimli sekiz adet veri ayağı vardır. Bu pinler PIC18F452'nin B portuna bağlanmıştır. (Şekil 5.62) LCD kontrol ayaklarından CS1 ve CS2 Şekil 5.57'de görülen sayfaları seçmek için kullanılır. Bu iki hattan hangisi aktif ise tüm data ve kontrol hatları LCD'nin seçilen sayfasındaki işlemciye bağlanır. V_O girişi LCD'nin karşıtlık ayarının yapıldığı giriştir. Bu girişe GND ile -18V arasında değişen bir gerilim uygulamak gerekmektedir. LCD'nin V_{OUT} olarak isimlendirilmiş olan 18 numaralı ayağı negatif gerilim çıkışı olarak bu amaçla kullanılmaktadır. Şekil 5.62'de görüldüğü gibi LCD'nin 18 numaralı ayağı bir trimpot aracılığı ile V_O 'ya bağlanmıştır. P1 karşıtlık ayarını yapar. D/I, DB0-7 ayaklarına verilen 8 bitlik bilginin komut mu yoksa data mı olduğunun seçildiği pindir. PG12864'ün kendine has bir komut seti vardır. Bu komutlar kullanılarak ekran üzerinde, aktif yazma adresinin belirlenmesi gibi bir takım işlevler gerçekleştirilebilir. Eğer D/I girişi H ise verilen bilgiler grafik ekranın belleğine eklenir, L ise bilginin komut olduğu kabul edilir. R/W girişi yazma mı yoksa okuma mı yapılacağını belirler. RW belirlendikten sonra okuma ya da yazma işlemini başlatan palsin LCD'nin E isimli pininden verilmesi gerekmektedir.

5.2.6. Yazılım tasarımı

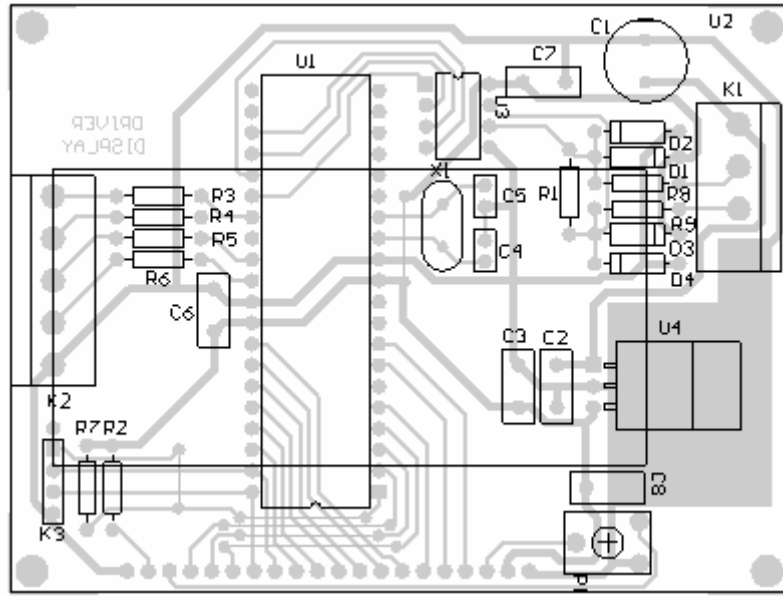
Sürücü ekranını oluşturan yazılıma ait main fonksiyonu Şekil 5.64'de çizilmiştir.



Şekil 5.64: Sürücü ekranı yazılımı ana programı

5.2.7. Baskılı devre tasarımı

Sürücü ekranını ekran direksiyona tümleşik olacağı için devre boyutunun oldukça küçük olması önemlidir. Bu sebeple PG12864 grafik LCD'si ile tasarlanan PCB alt alta konularak alandan tasarruf yapıldı.



Şekil 5.65: Sürücü ekranı devresinin baskılı devre tasarımı



Şekil 5.66: Sürücü ekranı devresi uygulaması açılış ekranı



Şekil 5.67: Sürücü ekranı devresi uygulaması çalışma ekranı



Şekil 5.68: Sürücü ekranı devresi uygulaması

5.3. Hız Ölçümü Devresi

5.3.1. Tasarım

Bir araçta, sürücüyü bilgilendirmek amacıyla yapılan ölçümlerin arasında en önemlilerinden birisi hız ölçümüdür. Günümüzdeki araçlarda hız ölçümü iki yöntemle yapılmaktadır. Bunlardan birincisi tekerlekten alınan dönme hareketinin

kadran arkasındaki bir bobine verilmesiyle elde edilen ibre hareketi şeklindedir. Diğer yöntem ise üretilen tüm modern araçlarda kullanılan elektronik yöntemdir. Bu yöntemde yine tekerlekten ya da şanzımandan alınan dönme hareketi bir opto-coupler üzerinden elektronik palslere çevrilir. Bu palsler genelde mikro denetleyici kontrolündeki gösterge işlemcisi tarafından izlenerek hız ve aracın kat ettiği mesafe ölçülür. Tasarımı yapılan güneş enerjisili araçta da elektronik yöntem kullanılmıştır.

Elektronik yöntemde üretilen iki pals arasındaki süre hesaplanmaktadır. Bu süre tekerleğin çapının da dâhil olduğu bir denklemden geçirilince hız bilgisine ulaşılmaktadır. Tablo 5.11’de hız ölçümünde kullanılan değişkenler görülmektedir.

Tablo 5.11: Hız ölçümünde kullanılan değişkenler

t : İki pals arasında geçen süre (ms)
n: Saatteki pals sayısı
r : Tekerleğin yarıçapı (cm)
e : Tekerleğin çevresi (cm)
S : Hız (KM)

t değişkeni elektronik alıcıdan gelen iki pals arasındaki süreyi tutmaktadır. Bu bilgi araca takılmış olan opto-izolatörden gelmektedir. Bu bilgiyi kullanarak bir saatte kaç pals geldiğini yani tekerleğin saatte kaç tur attığını bulabiliriz. (Denklem (5.9))

$$n = \frac{3600000}{t} \quad (5.9)$$

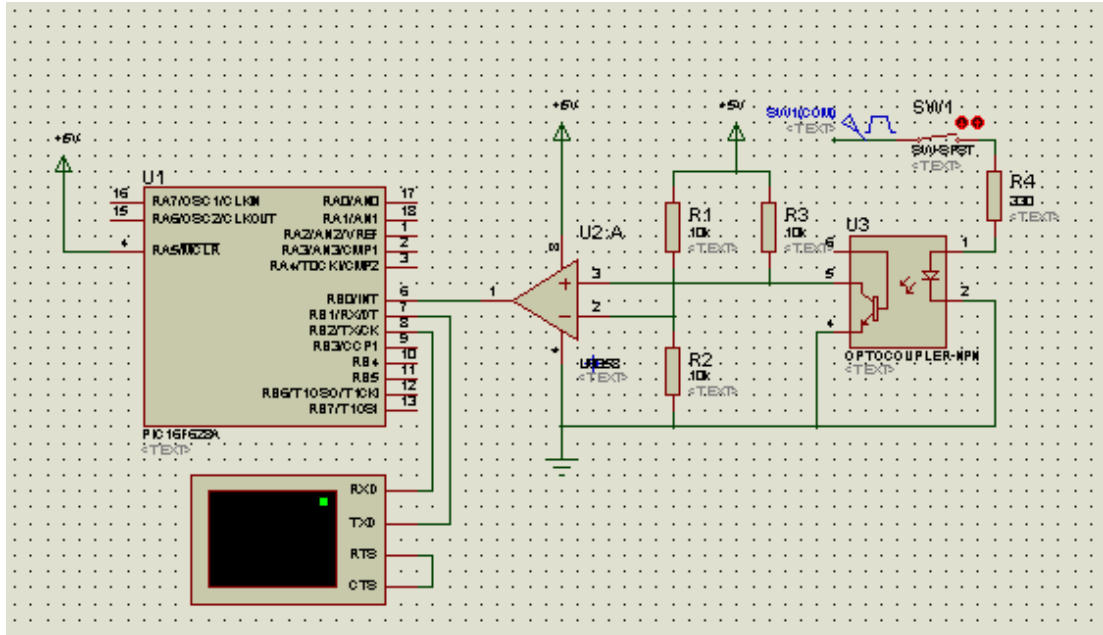
Tekerleğin çevresini hesaplamak için denklem (5.10) kullanılabilir. Bu denklem çevreyi metre biriminden hesaplamaktadır. Tekerleğin saatteki tur sayısının bilinmesi, bir saatte kaç KM yol kat ettiğinin de hesaplanmasını sağlar. (Denklem (5.11))

$$e = \frac{2\pi r}{100} \quad (5.10)$$

$$S = \frac{n \cdot e}{1000} \quad (5.11)$$

Denklem (5.11) hızı KM biriminden hesaplamaktadır.

5.3.2. Simülasyon



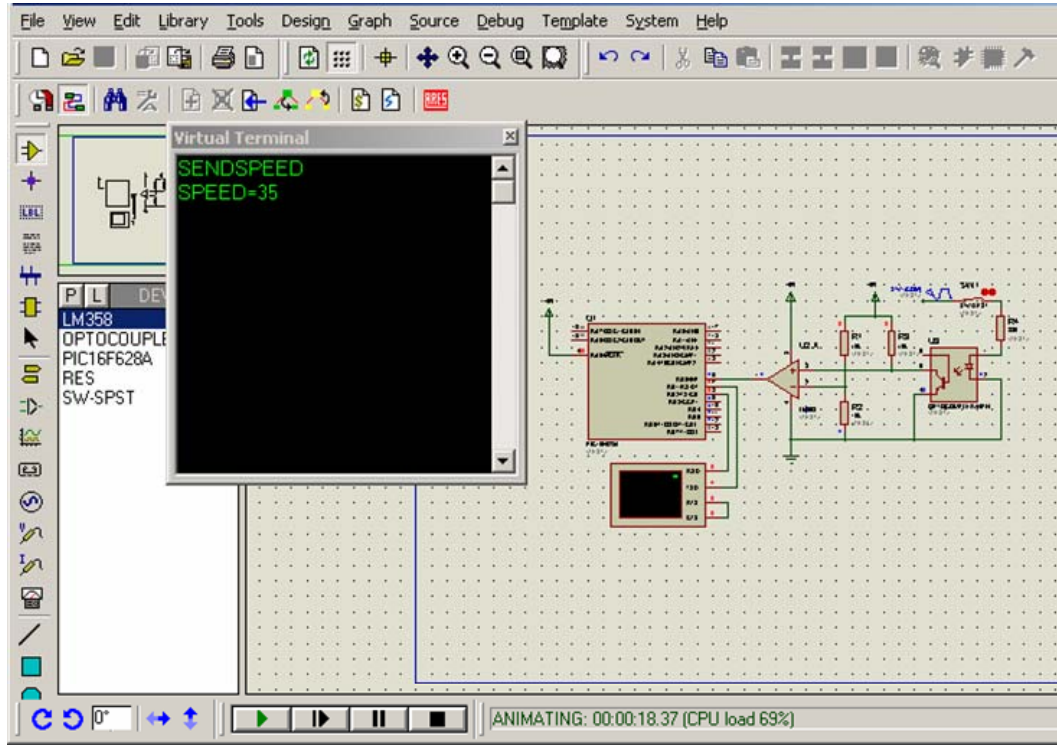
Şekil 5.69: Hız ölçümü simülasyon devresi

Şekil 5.69’da hız ölçüm yazılımı ve devresini uygulama öncesinde test etmek için Proteus programında oluşturulan simülasyon devresi görülmektedir. Devrede araçtan alınacak olan ve hızla orantılı olan palsleri üretmesi için bir kare dalga üretici kullanılmıştır. Bunun yanı sıra araç durduğunda pals’de göndermeyeceği için bu durumu simüle etmek üzere, pals girişine bir adet anahtar eklenmiştir. Simülasyon devresindeki mikro denetleyici palsleri okuyarak, önceki bölümde anlatılan denklemler yardımıyla hız bilgisini hesaplayıp, seri port üzerinden veriyi gönderir. Pals girişi olarak 25Hz girilip program çalıştırıldığında Şekil 5.70’deki sonuçlar alınır. 25Hz’lik bir sinyalin periyodu 40ms’dir. Buna göre aracın tekerleği bir saatte

$$n = \frac{3600000}{40ms} = 90000 \text{ tur atar. Tekerleğin çevresi } e = 2\pi r = 79.8cm \text{ dir. Tur}$$

sayısıyla tekerleğin çevresi çarpılınca saatte aldığı mesafe

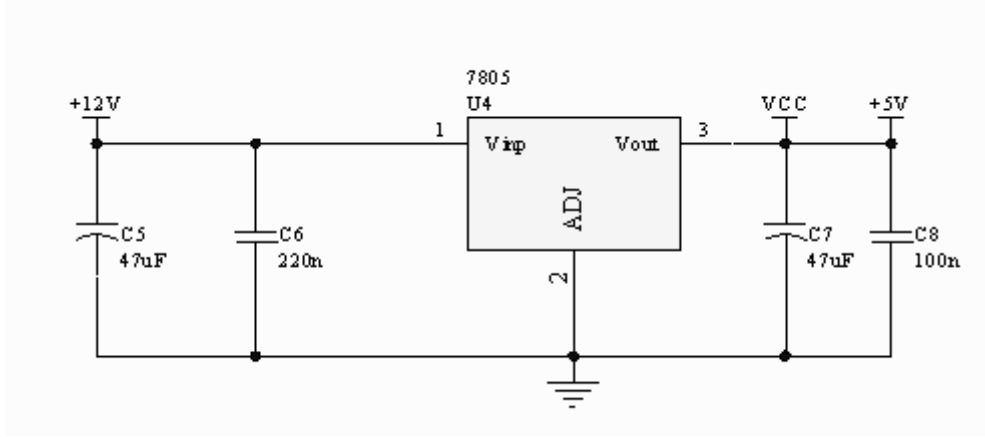
$s = ne = 90000 \times 79.8 = 7182000 \text{ cm}$ olur. Bu değer KM çevrilince 71.8KM eder. Araçtaki algılayıcı bir tekerlek turunda iki pals gönderdiği için bu rakamı ikiye bölerek 35KH/h sonucuna ulaşırız.



Şekil 5.70: Hız ölçümü simülasyonu

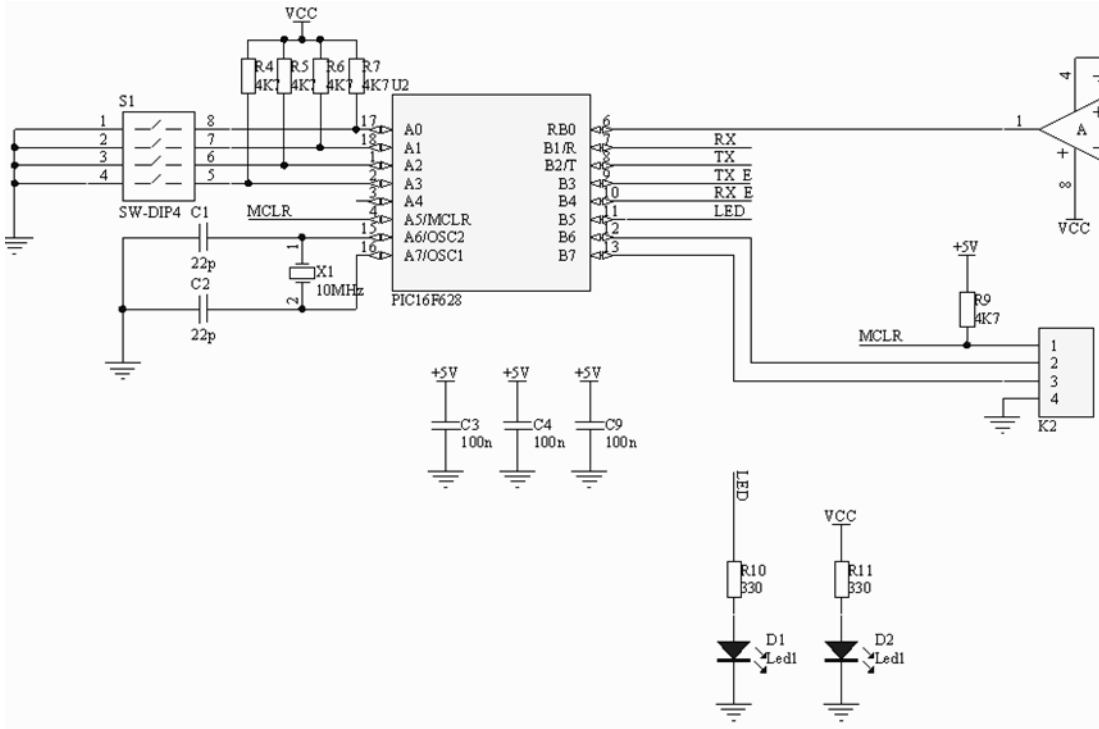
5.3.3. Donanım tasarımı

Hız ölçümü devresinde donanımsal olarak dört kısım vardır. Bunlar güç kaynağı, mekanik hareketi elektronik palslere çeviren kısım, mikro denetleyici ve seri haberleşme modülü şeklindedir. Şekil 5.71’de güç kaynağı devresi görülmektedir.



Şekil 5.71: Güç kaynağı devresi

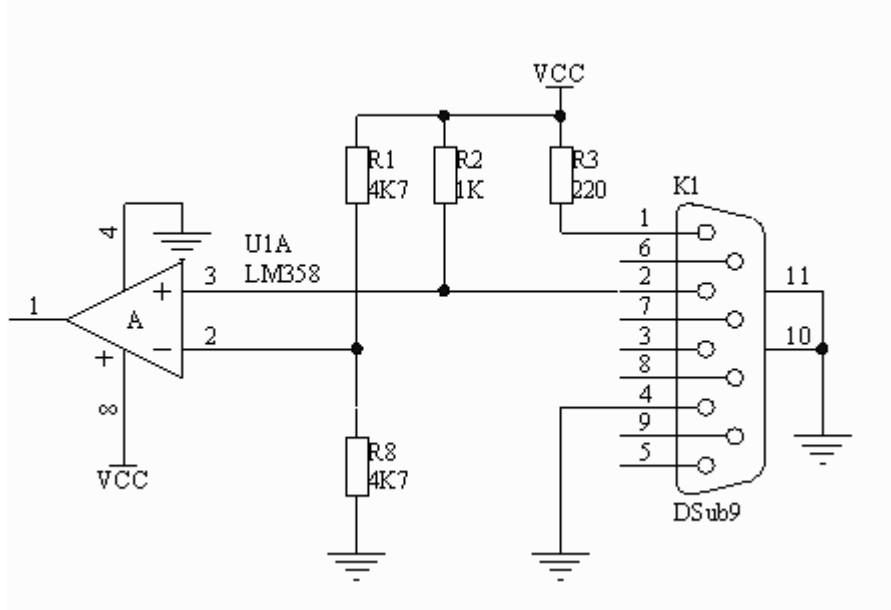
Hız ölçüm devresi çalışmak için enerjiyi araç seri yolunda bulunan +12V besleme hattı üzerinden alır. Şekil 5.72’de hız ölçümünü yapan mikro denetleyici devresi görülmektedir. Devre ayrıntıları EK C.3’de verilmiştir.



Şekil 5.72: Mikro denetleyici devresi

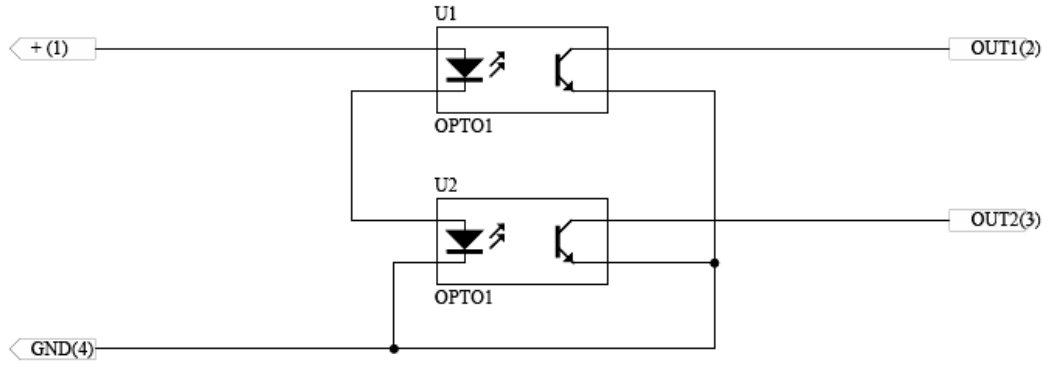
Hız ölçümü için Microchip firmasının bir ürünü olan PIC16F628 kullanılmıştır. Bu mikro denetleyici, işlemler için gerekli bellek miktarının fazla olmaması ve entegrenin kılıfının küçük olması sebebi ile tercih edilmiştir. PIC16F628 mikro

denetleyicisi 2KB program belleğine ve 224Byte'lık RAM'e sahiptir. Bunun yanında dahili seri portu, üç adet zamanlayıcısı PWM birimi ve 128Byte EEPROM belleğe sahiptir.[20] EK-A.12'de PIC16F628 entegresine ait veri sayfaları verilmiştir. Şekil 5.72'deki devrede S1 DIP anahtarı hız ölçümü devresinin haberleşme adresinin seçimi için eklenmiştir. K2 konektörü ise mikro denetleyiciye program yüklemek için kullanılan programlama konektörüdür. Şekil 5.73'de hızın elektrik sinyallerine çevrildiği devre bölümü görülmektedir.



Şekil 5.73: Hız algılayıcı kısım

Devre temel olarak bir karşılaştırıcıdan ibarettir. K1 konektörünün 2 numaralı ayağı Şekil 5.74'de görüldüğü gibi opto-izolatörün çıkışına bağlanmıştır.



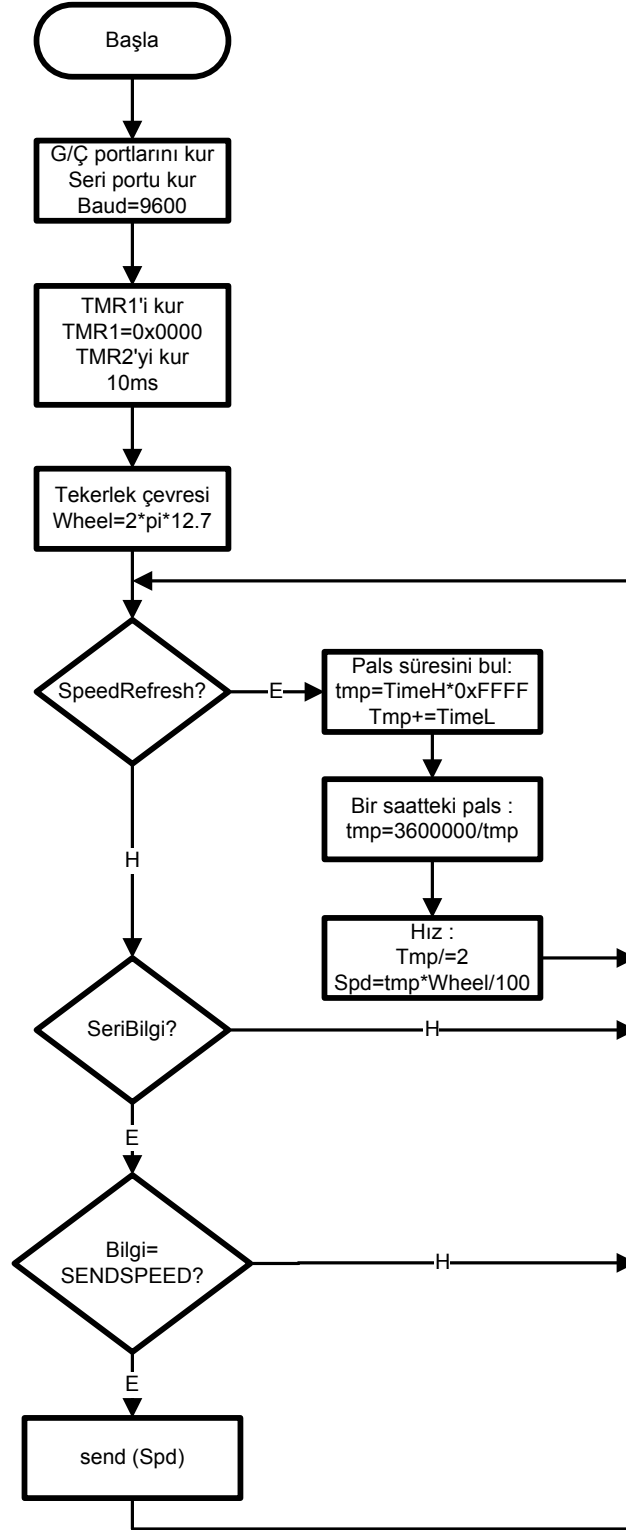
Şekil 5.74: Hareketi elektrik palslerine çeviren devre

Tekerleğin hareketi bir plakanın hareket etmesini sağlar ve Şekil 5.74'deki U1 ve U2 opto-izolatörleri böylece mekanik hareketi elektrik sinyallerine çevirmiş olur.

5.3.4. Yazılım tasarımı

Hız ölçümü yapan devredeki mikro denetleyici yazılımı iki ana kısım içermektedir. Birinci kısım olan main fonksiyonu Şekil 5.75'de görüldüğü gibidir. Bu fonksiyonda ilk donanımsal kurma işlemlerinden sonra içerisinde hız okuma ve seri haberleşme yapan iki kısmın bulunduğu program döngüsüne girilir. Eğer kesinti fonksiyonu "SpeedRefresh" bayrağı uyarısını gönderirse bölüm 5.2.3.1'de anlatımı yapılmış olan formüller hesaplanarak aracın hızı bulunur. Bulunan bu hız Spd adlı değişkende tutulur. Eğer bir seri porttan bir kelime gelirse ve bu kelime "SENDSPEED" ise yazılım daha önceden okumuş olduğu Spd değişkenini seri porttan iletir.

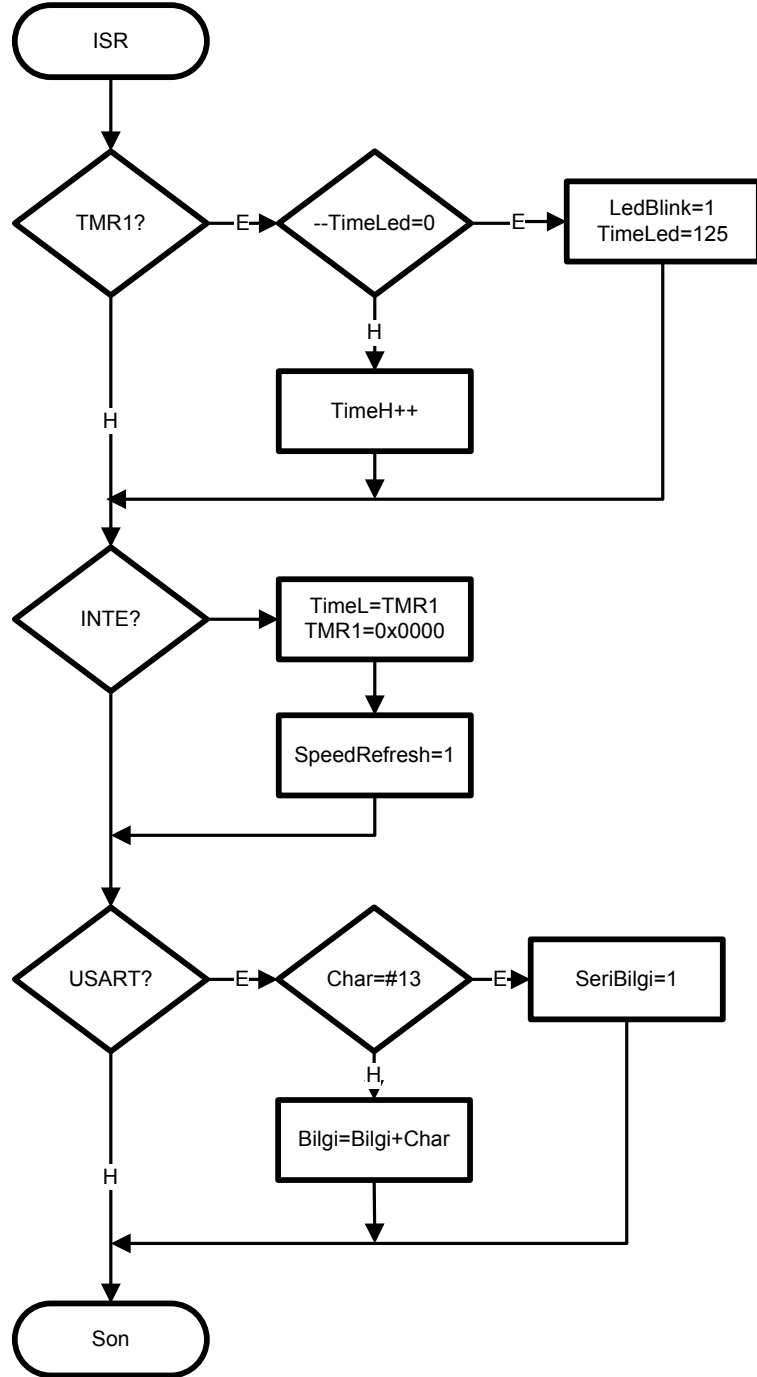
Şekil 5.76'de ise hız ölçümü yazılımına ait ISR servis fonksiyonu görülmektedir. Bu fonksiyonda üç ana kısım vardır. İlki TMR 0xFFFF→0x0000 geçişi olduğu anda TimeH değişkenini bir arttıran kısımdır. İki pals arasındaki süreyi ölçmek için pals bittiği anda TMR1 sıfırlanır ve ikinci pals gelince TMR1'in değeri TimeL'a aktarılır. Fakat bazen aracın çok yavaş hareket ettiği durumlarda iki pals arasında geçen süre TMR1'i aşacağı için TimeH değişkeni kullanılmıştır. Böylece toplam süre TimeH:TimeL değişkenlerinde tutulmuş olur.



Şekil 5.75: Hız ölçümü yazılımına ait main () fonksiyonu

ISR fonksiyonundaki ikinci kısım ise harici kesinti oluşunca çalışan kısımdır. Bu kısım biraz önce anlatıldığı gibi pals gelince TimeL değişkenine TMR1'i aktarır ve TMR1'i sıfırlar. Daha sonra da program ana döngüsüne uyarı gönderir. Üçüncü

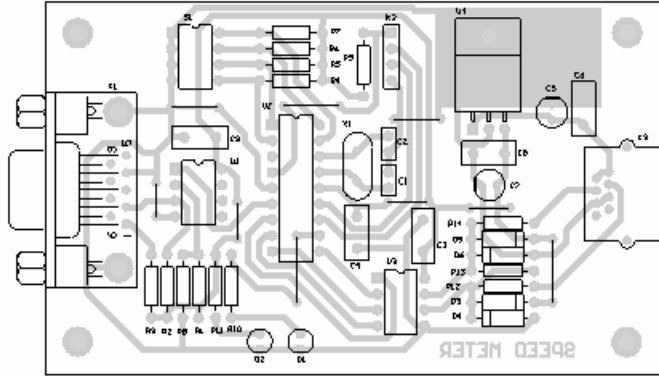
kısım olan USART ise seri porttan gelen bilgileri CR (#13) karakteri gelene kadar SeriBilgi adlı buffer'a ekler. CR karakteri gelince ise gelen bilginin ana döngüde değerlendirilmesi için uyarı bayrağı oluşturur.



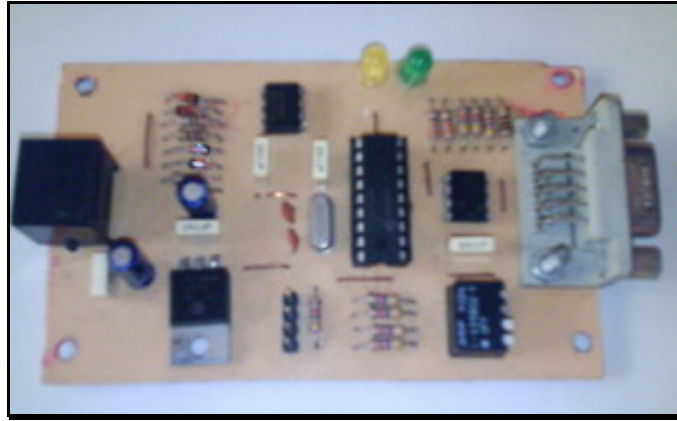
Şekil 5.76: Hız ölçümü yazılımının ISR fonksiyonu

5.3.5. Baskılı devre tasarımı

Şekil 5.77’de donanım ve yazılım tasarımı yapılmış olan hız ölçümü devresinin baskılı devre şeması görülmektedir.



Şekil 5.77: Hız ölçüm devresi baskılı devresi



Şekil 5.78: Hız ölçüm devresi uygulaması

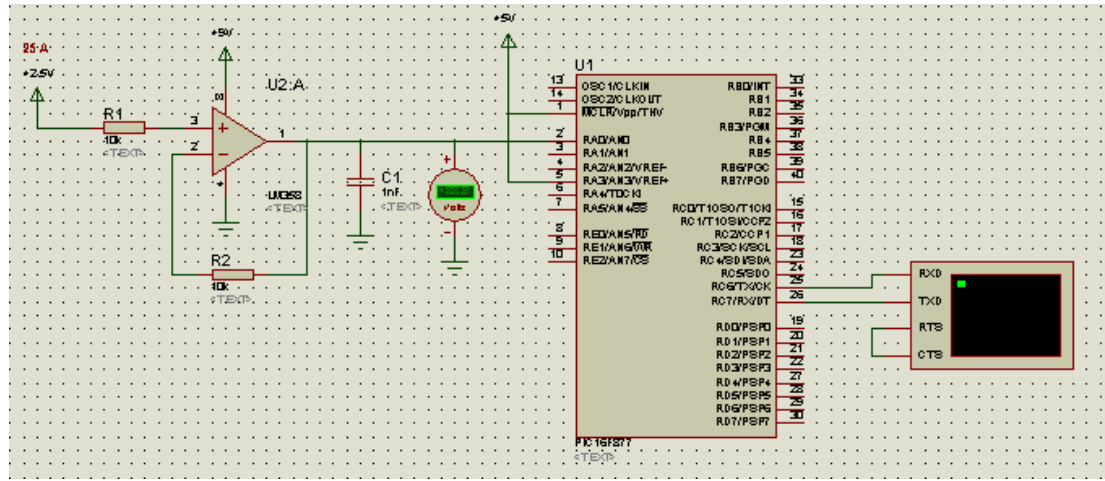
5.4. Akım Ölçümü Devresi

Tasarımı yapılan güneş enerjili araçta tamamen sürücüyü bilgilendirmek amacıyla MPPT devresinin yaptığı akım ölçümleri haricinde birisi bataryaların, diğeri de motorun olmak üzere iki noktadan daha akım ölçümü yapılmış ve bu bilgiler sürücü ekranına gönderilmiştir.

5.4.1. Tasarım

Akım ölçümü MPPT devresinde olduğu gibi LEM sensorlar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. LEM sensorlar nüve içerisindeki kablodan geçen akımı manyetik alan yardımıyla algılayabilmektedirler. Akım ölçüm devrelerinde LA-55P-SP1-E numaralı LEM sensor kullanılmıştır. Bu sensor ile 100A'ye kadar olan akımlar ölçülebilir. Sensor nüvesinden geçen akımlar 1:2000 oranında çıkışına aktarır.[17]

5.4.2. Simülasyon



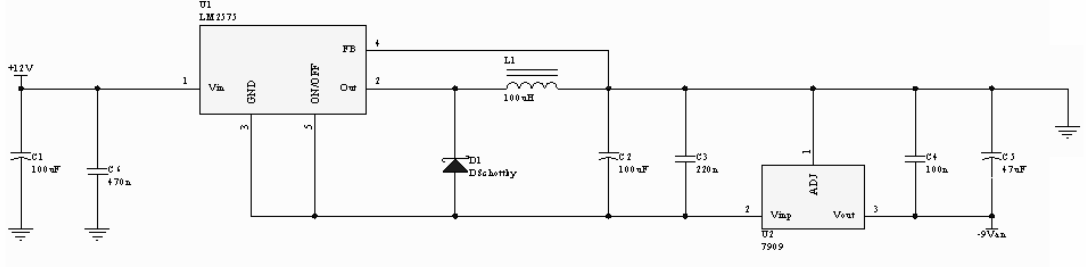
Şekil 5.79: Proteus'ta yapılan simülasyon devresi

Akım ölçme devresinin uygulamasına geçilmeden önce devreyi ve yazılımı test etmek için Proteus programında simülasyonu yapılmıştır. Şekil 5.79'da çizilen devre görülmektedir. Devrede akım girişi olarak değeri manuel olarak girilen bir gerilim devreye uygulanmış ve araç seri yolunu temsil eden "Virtual terminal" elemanı üzerinden akımın değerinin okunduğu görülmüştür.

5.4.3. Donanım tasarımı

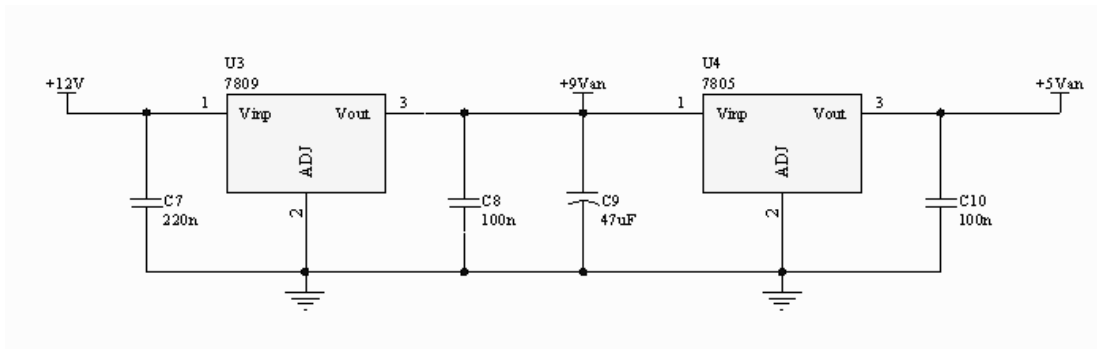
Akım ölçümü devresi dört bölümden oluşmaktadır. Bunlar güç kaynağı, mikro denetleyici, akım ölçüm devresi ve seri haberleşme modülüdür. Akım ölçümü devresinde bir çok gerilimin kullanılması gerekmektedir. Bunlar LEM sensor ve devamındaki op-amp'lı devreler için gerekli olan $\pm 9V$, ADC referans gerilimi için

5V ve devre elemanlarının kullanacağı 5V tur. Akım ölçüm devresinin ayrıntılı şemaları EK C.4’de verilmiştir.



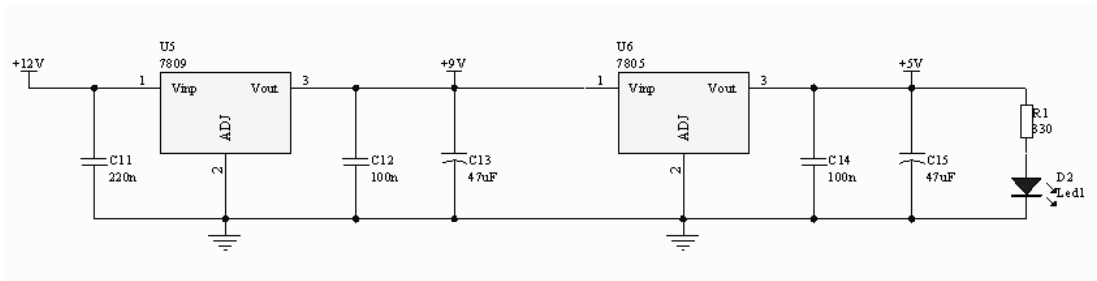
Şekil 5.80: +12V'tan -9V üreten Buck-bost çevirici devre

Şekil 5.80’da +12V’dan -9V üreten devre görülmektedir. LM2575 entegresi National firmasının ürettiği hem Buck, hem de buck-boost şeklinde çalışabilen bir anahtarlamalı regülatör entegresidir.[25] Bu entegrenin 5.0V, 12V ve ayarlı çeşitleri vardır. Bu tasarımda sabit 12V çıkış veren modeli tercih edilmiştir. LM2575 entegresine ait veri sayfaları EK-A.13’de verilmiştir. Anahtarlamalı güç kaynaklarının çıkış gerilimlerinde çok az da olsa gerilim dalgalanması olduğu için bu regülatörün çıkışına 7909 seri regülatör entegresi eklenmiş ve gerilim 9V’a düşürülmüştür. Bu gerilimi LEM sensor ve analog devre kısmı kullanacaktır. Bu gerilim sadece LEM sensor ve analog kısım tarafından kullanılacaktır. Şekil 5.81’de bu devre görülmektedir. Bu devrede ADC çeviricinin referans gerilimi olan +5V_{an}’da üreten ayrı bir regülatör vardır.



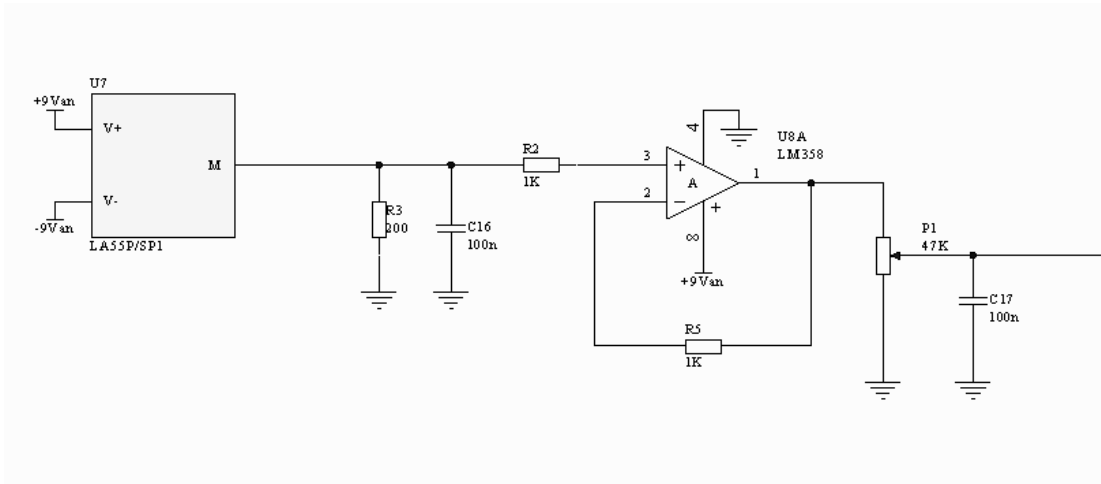
Şekil 5.81: Analog kısmın pozitif beslemesini üreten devre

Devre elemanlarının beslenmesi için gerekli olan +9V ve +5V gerilimleri üreten devre Şekil 5.82’de görülmektedir.



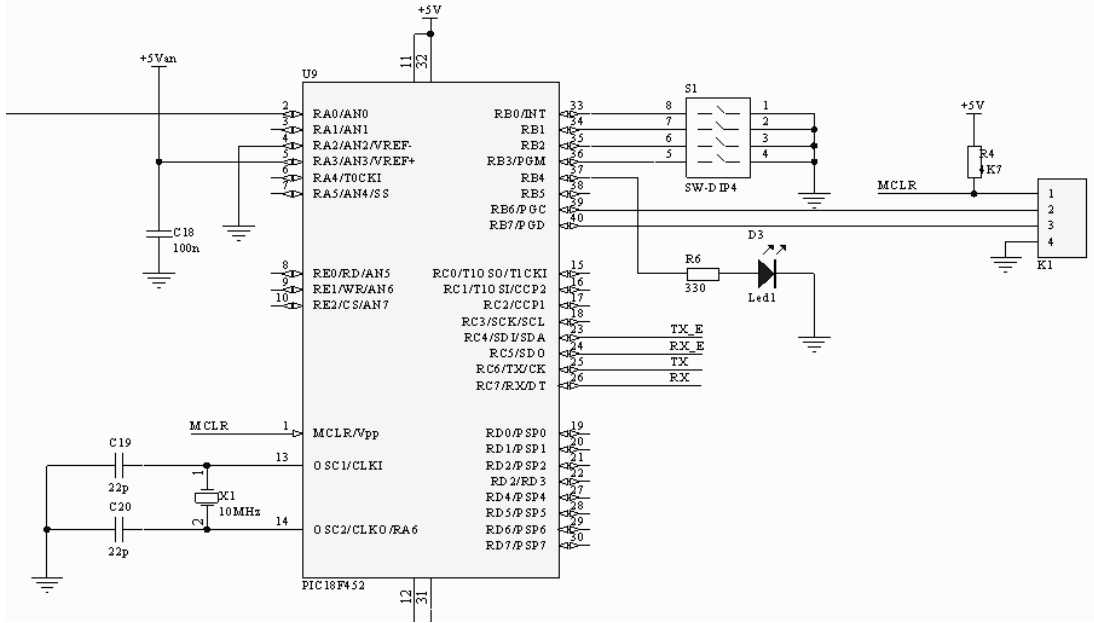
Şekil 5.82: +9V ve +5V besleme devresi

LEM sensor tarafından 1:2000 oranında düşürülen akım 200Ω 'luk R3 direnci üzerinden geçirilerek, direncin üzerinde oluşan gerilimi okunur. Bu gerilim, bir gerilim izleyici olarak çalışan U8A dan geçirilerek, gerekli ayarların yapılabilmesi için P1 trimpotu üzerinden ADC elemanına aktarılır. (Şekil 5.83)



Şekil 5.83: LEM sensor koşullandırma devresi

Akım ölçme devresinde LEM sensor’le algılanan akımın sürücü ekranına araç seri yolu üzerinden aktarılması için PIC16F877 mikro denetleyicisi kullanılmıştır. Bu entegrenin tek görevi düzenli olarak akımı okuyup, istenildiği anda seri porttan çıkış vermektir. Şekil 5.84’deki devrede S1 anahtarı akım okuyucunun adresini belirlemektedir. K1 konektörü ise programlama için kullanılmaktadır.

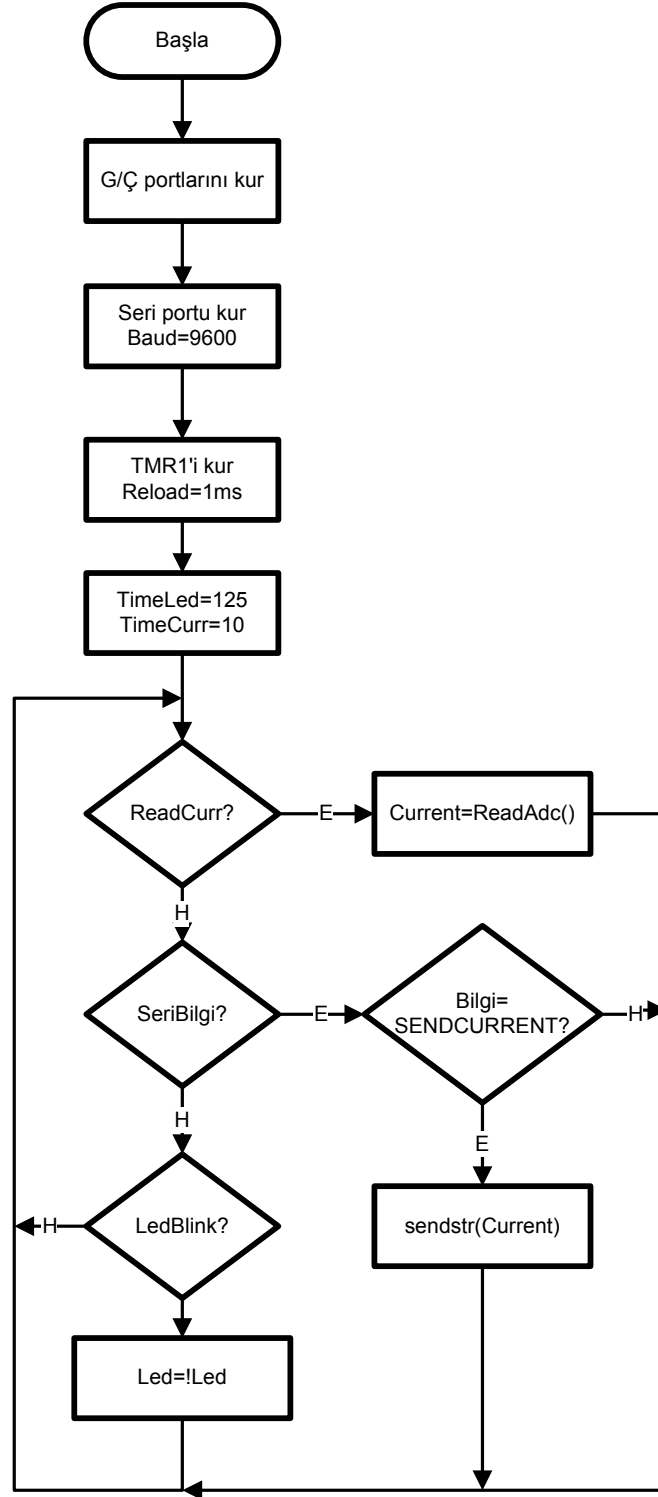


Şekil 5.84: Akım okuyan mikro denetleyici devre

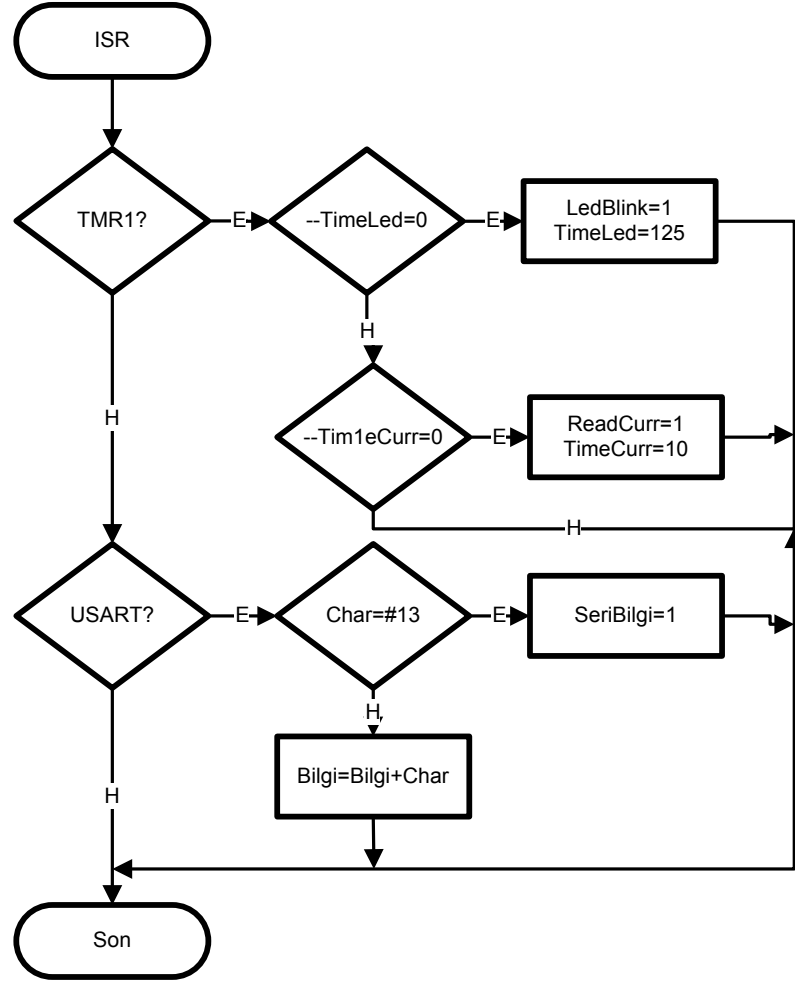
5.4.4. Yazılım tasarımı

Akım ölçümü yazılımının yaptığı iş sadece akımı okuyup gerektiğinde seri porttan sürücü ekranına göndermek olduğu için oldukça kısa bir yazılımdır. Şekil 5.85’de programın main fonksiyonu görülmektedir. main fonksiyonu mikro denetleyici ile ilgili kurma işlemlerini yaptıktan sonra içerisinde akım ölçümü, seri port kontrolü ve led işlemlerinin bulunduğu bir döngüye girer. Döngü içerisindeki işlemler, kesintiler tarafından belirlenen onaylama gerçekleşince çalışırlar.

Şekil 5.86’de ise ISR fonksiyonu görülmektedir. Bu fonksiyon donanımlar tarafından bir uyarı olunca mikro denetleyici tarafından otomatik olarak çalıştırılır. TMR zamanlayıcısı akım okuma ve Led’in yanma-sönmesini sağlamaktadır. Led 125ms’lik aralıklarla durum değiştirmektedir. Böylece Led bir saniyede dört kez yanmaktadır. Akım okuma işlem ise 10ms’de bir yapılmaktadır. TimeLed ve TimeCurr değişkenleri bu süreleri belirlemektedir. USART ise seri porttan gelen bilgileri CR (#13) karakteri gelene kadar SeriBilgi adlı buffer’a ekler. CR karakteri gelince ise gelen bilginin ana döngüde değerlendirmesi için uyarı bayrağı oluşturur.



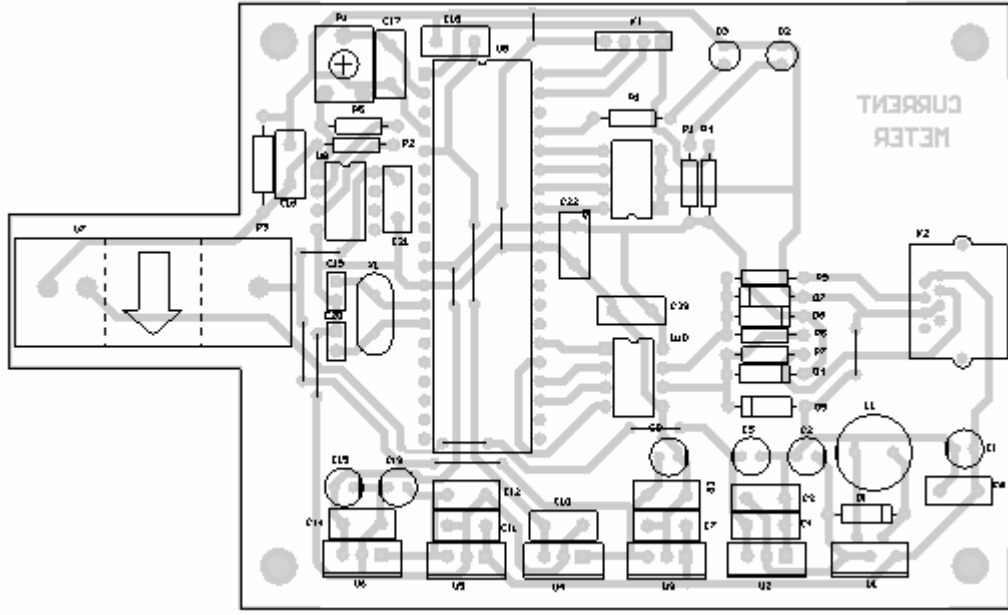
Şekil 5.85: main () fonksiyonu



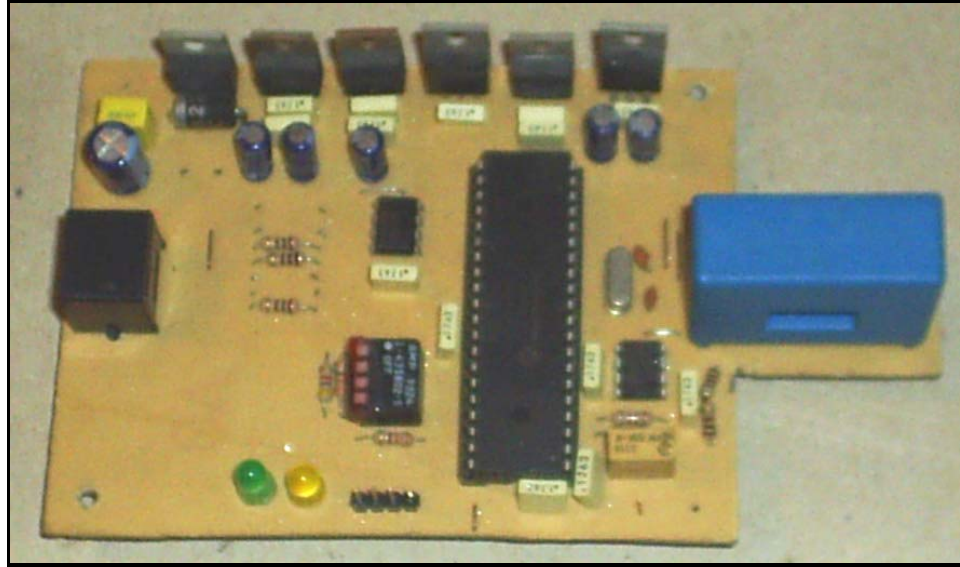
Şekil 5.86: Akım ölçümü yazılımının ISR servisi

5.4.5. Baskılı devre tasarımı

Akım ölçümü devresinin baskılı devresi Protel programı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.87’de tasarımı yapılan baskılı devre görülmektedir.



Şekil 5.87: Akım ölçüm devresinin baskılı devre çizimi

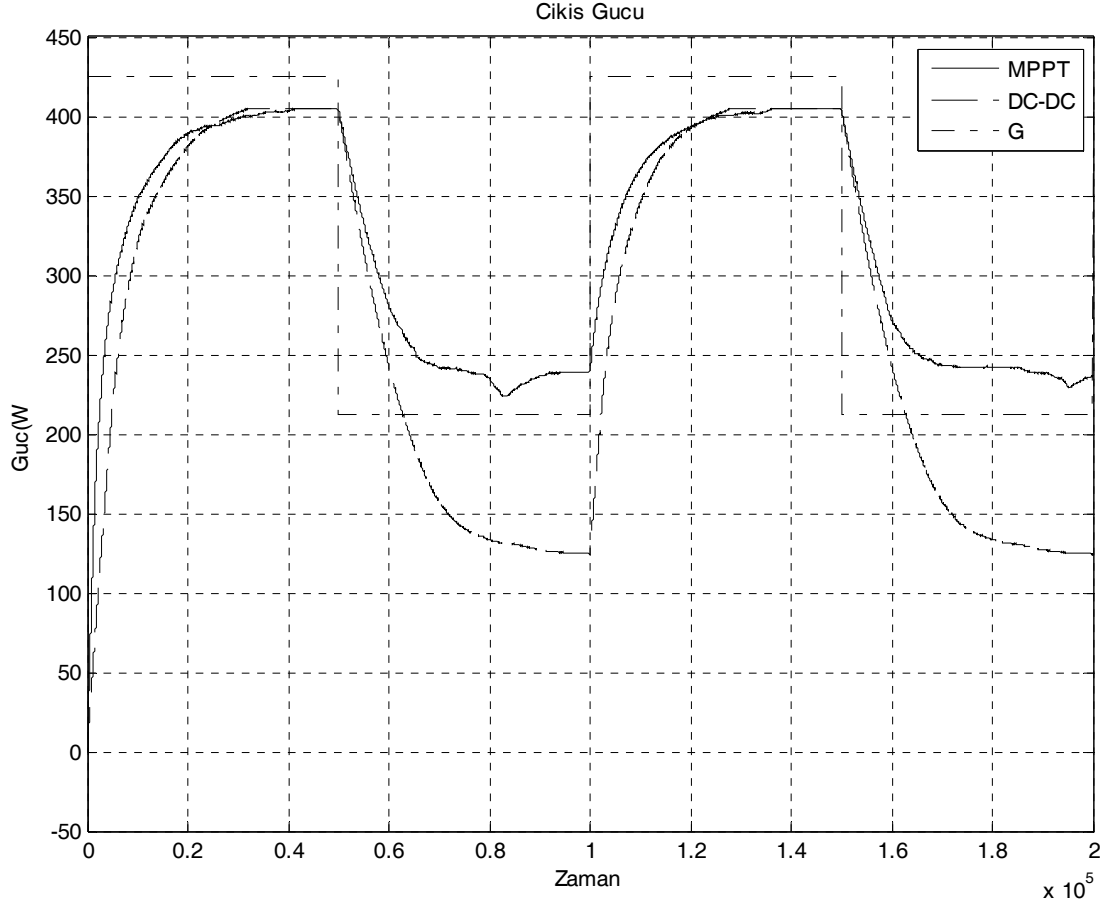


Şekil 5.88: Akım ölçüm devresi uygulaması

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel konusu her ne kadar güneş enerjisi ile çalışan bir aracın tasarımı olsa da çalışmanın en önemli getirisi bir aracın tasarlanması değil, alternatif enerji kaynaklarının kullanılması ile ilgili araştırmaların yapılmış olması ve bunların halk tabanına, en azından bilgi olarak yayılmasıdır.

Bu tez çalışmasının temel konusu olan güneş enerjisi ile çalışan araba projesinin uygulamalı üniversite ortamında geliştirilebilmiş, modern bir araçtaki bir çok elektronik sistem güneş arabasına entegre edilmeye çalışılmıştır. Bu tezde tasarımı yapılmış olan MPPT devresi güneşten üretilen elektrik enerji gücünü küçümsenmeyecek oranda arttırmıştır. Bu durum Şekil 6.1'deki çizimlerde görülmektedir. Algoritma güneş panellerinden üretilen enerjiyi %5-%25 arası değişen bir oranda arttırabilmiştir. Bu sonuçlardan anlaşıldığı üzere enerji çevriminde kullanılan güneş pilleri yüksek oranlı gün ışığında beklenen çıkışı vermektedir fakat gün ışığının düştüğü durumlarda örneğin araç bir binanın gölgesine girdiğinde güneş pillerinin performansı önemli ölçüde düşmektedir. Bu durum güneş pillerinin I-V grafiğinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.1: MPPT devresi üretilen gücü arttırmıştır

Bu tezde tasarımı yapılan MPPT devresi ve algoritması güneş panellerinde yaşanan bu olumsuz durum belirli bir oranda telafi etmek için kullanılan yöntemlerden birisidir.

Bu tezdeki MPPT devresi tasarımında DC-DC çevirici olarak boost çevirici modeli tercih edilmiştir. MPPT devresinin, güneş enerjili sistemlerde kullanımı ile ilgili en büyük sorunlardan birisi DC-DC çeviricilerde oluşan ve tamamen önlenmesi imkansız olan güç kayıplarıdır. Bu kayıplar bobinin iç direnci, anahtarlama elemanı olan MOSFET'in R_{DS} direncine ve iç kapasitansına, devrede kullanılan diyotun ileri sürüm gerilim düşümü ve iç direnci son olarak da çıkışta kullanılan kondansatörün sahip olduğu ESR direncinden kaynaklanmaktadır. DC-DC çeviricide bulunan bobin, MOSFET, güç diyotu ve kondansatörün olabildiğince verimli malzemelerden seçilmesi üretilen gücü arttıracaktır.

MPPT devrelerinde kullanılan algoritmalarda, günümüz klasik programcılığına alternatif olarak gelişmekte olan bulanık mantık, yapay sinir ağları gibi uzman sistemlerden yararlanılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Bilim ve Teknik Dergisi, 2005, *FormulaG Güneş Arabaları Yarışı* [online], Bilim ve Teknik dergisi, <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/formulag/> (**Ziyaret tarihi : 10.06.2006**)

[2] EİE Genel Müdürlüğü, 2001, *Güneş Enerjisi ve Teknolojileri* [online], Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/gunes.html> (**Ziyaret tarihi : 10.06.2006**)

[3] Gürdal, O. , “Güç Elektroniği (Analiz, Tasarım, Simülasyon)”, 255-327, (2000)

[4] Sharp USA Inc., 1999, *NE80-EJEA Datasheet* [online], Sharp USA Inc, http://solar.sharppusa.com/files/sol_dow_80W_SS.pdf (**Ziyaret tarihi: 10.06.2006**)

[5] Curtis Inc., 2000, *Curtis 1227/37* [online], Curtis Instruments, <http://www.curtisinst.com/index.cfm?fuseaction=cProducts.DownloadPDF&file=50045REVC1%2Epdf> (**Ziyaret tarihi: 11.09.2006**)

[6] Yusof, Y., Sayuti, S.H., “Modelling and Simulation of Maximum Power Point Tracker For Photovoltaic System”, *Naitonal Power & Energy Conference, Malaysia*, 88-93, (2004)

[7] Khaehintung, N., Pramotung, K., Turivat, B., “RISC-Microcontroller Based Built-In Fuzzy Logic Controller of Maksimum Power Point Tracking For Solar-Powered Light –Flasher Applications” *The 30th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society Korea*, 2673-2678, (2004)

[8] Mclandrich, A, “Sensorless Control Of A Bidirectional Boost Converter For a Fuel Cell Energy Management System”, Yüksek Lisans Tezi, *Master Of Science, Virginia Polytechnic Institute and State University*, (2003)

[9] Darmawasıkita, H., “DC/DC Converter Controller Using a PICMicro Microcontroller, Application Note From Microchip Inc”, Microchip Inc, http://direct.www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1824&appnote=en011794 (**Ziyaret Tarihi: 02.02.2006**)

[10] Powersim Inc., 2003, *PSIM Power Systems Simulation Software* [online], Powersim Inc., <http://www.powersimtech.com/psim.html> (**Ziyaret Tarihi: 15.02.2006**)

[11] Walker, Geoff, “Evaluating Mppt Converter Topologies Using A Matlab Pv Model”, *Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC'00*, 138-143, (2000)

- [12] *TL494 Datasheet* [online], Texas Instrument Inc., <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/tl494.html> (**Ziyaret Tarihi: 02.02.2006**)
- [13] *LA55-P/SPI Datasheet* [online], LEM Instruments, , www.lem.com (**Ziyaret Tarihi: 10.03.2006**)
- [14] *SN75176 Datasheet* [online], Texas Instrument Inc. <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/sn75176a.html> (**Ziyaret Tarihi: 05.04.2006**)
- [15] *PIC16F877 Datasheet* [online], Microchip Inc., http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1335&dDocName=en010241 (**Ziyaret Tarihi: 20.10.2005**)
- [16] *PIC18F452 Datasheet* [online], Microchip Inc., http://direct.www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1335&dDocName=en010296 (**Ziyaret Tarihi: 12.11.2005**)
- [17] *Altium Designer Software* [online], Altium Inc., www.altium.com (**Ziyaret Tarihi : 20.03.2006**)
- [18] *PG12864 Datasheet* [online], Powertip Inc., http://www.powertip.com.tw/product/PG%20SERIES/PG%2012864-A_K.pdf (**Ziyaret Tarihi : 12.11.2005**)
- [19] *Proteus Simulation Software* [online], Labcenter Inc., www.labcenter.co.uk (**Ziyaret Tarihi : 20.10.2005**)
- [20] *PIC16F628 Datasheet* [online], Microchip Inc., http://direct.www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1335&dDocName=en010209 (**Ziyaret Tarihi : 20.10.2005**)
- [21] *LM2575 Datasheet* [online], National Electronic Inc., <http://www.national.com/pf/LM/LM2575.html> (**Ziyaret Tarihi : 20.10.2005**)

EK A.1 NE80-EJE Güneş Paneli Veri sayfaları

MULTI-PURPOSE MODULE

80 WATT

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Cell	Multi-crystal silicon
No. of Cells and Connections	36 in series
Open Circuit Voltage (Voc)	21.3V
Maximum Power Voltage (Vpm)	17.1V
Short Circuit Current (Isc)	5.3A
Maximum Power Current (Ipm)	4.67A
Maximum Power (Pm)*	80W
Minimum Power (Pm)*	72W
Encapsulated Solar Cell Efficiency (η_c)	14.00%
Module Efficiency (η_m)	12.60%
PTC Rating (W)**	70.20
Maximum System Voltage	600VDC
Series Fuse Rating	10A
Type of Output Terminal	Junction box

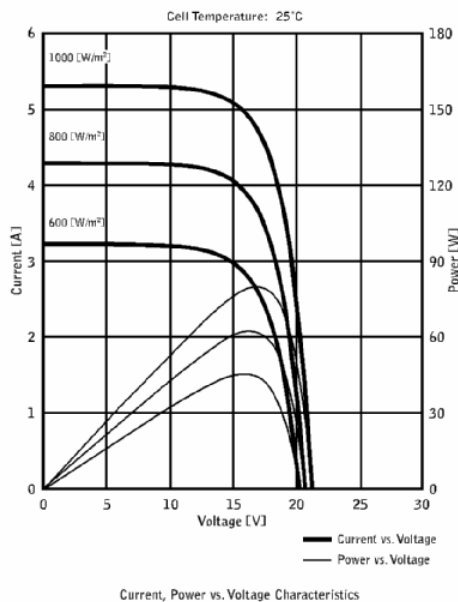
MECHANICAL CHARACTERISTICS

Dimensions (H x W x D)	47.28 x 21.14 x 1.81" / 1200 x 537 x 46mm
Weight	20.94 lbs / 9.5kg
Packing Configuration	1 pc per carton
Size of Carton	53.15 x 27.56 x 2.95" / 1350 x 700 x 75mm
Loading Capacity (20 ft container)	242 pcs (242 cartons)
Loading Capacity (40 ft container)	506 pcs (506 cartons)

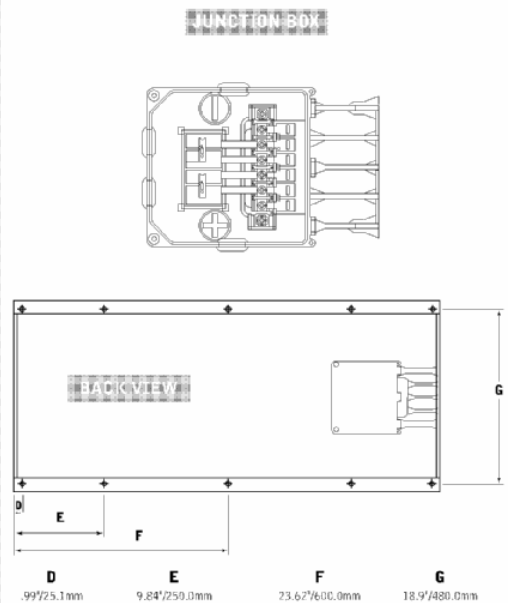
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Operating Temperature	-40 to 194°F / -40 to +90°C
Storage Temperature	-40 to 194°F / -40 to +90°C
Dielectric Isolation Voltage	2200 VDC max.

IV CURVES



DIMENSIONS



Specifications are subject to change without notice.

* (STC) Standard Test Conditions: 25°C, 1 kW/m², AM 1.5

** (PTC) Pacific Test Conditions: 20°C, 1 kW/m², AM 1.5, 1 m/s wind speed

In the absence of confirmation by product manuals, Sharp takes no responsibility for any defects that may occur in equipment using any Sharp devices. Contact Sharp to obtain the latest product manuals before using any Sharp device.

EK A.2 Curtis 1227-37 Motor Sürücü Veri Sayfaları

ADVANCED MICROPROCESSOR BASED PERMANENT MAGNET MOTOR SPEED CONTROLLERS

MODELS 1227/1237



DESCRIPTION

Curtis PMC Models 1227/1237 are advanced, programmable micro-processor based motor speed controllers which offer smooth, silent, cost-effective control of motor speed and torque. Four quadrant, full bridge power output stages provide for solid state motor reversing and full regenerative braking power. Model 1227 provides extensive standard features (•). Model 1237 provides additional features (••) for special industrial applications.

WARRANTY

One year from date of delivery.

CURTIS

Application

Curtis PMC Models 1227/1237 are designed for large permanent magnet motors, such as those used by large mobility aids, scrubbers, personnel carriers, small golf cars, small walkies etc.

Features

- Full bridge power MOSFET design provides infinitely variable forward, reverse, drive and brake control; silent high frequency and high efficiency operation.
- Programmable through the Curtis PMC 1307 handheld programmer, an optional universal unit used for programming, testing and diagnostics.
- Complete diagnostics also available through the status LED.
- Fully compliant with all applicable international standards and TÜV requirements.
- Available for wig-wag (center off) and single ended (speed pot and direction switch) throttles for both standard full stroke and restricted range 5k Ω potentiometers. Also accepts 0-5v throttle signals.
- Throttle calibration mode aids the mechanical centering of the throttle using the 1307 Programmer to enter the mode. The horn will sound and the status LED will be off whenever the throttle is outside the neutral band.
- MultiMode™ input selects between two different operating modes. MultiMode™ allows changes in speed, accel, decel, current limit, and IR compensation. This allows optimization of vehicle characteristics in each mode, for example indoor/outdoor.
- Speed limit input provides additional variable speed limiting, in both mode ranges, with an external pot.
- Linear acceleration and deceleration with softened response for smooth operation.
- Current limited in both driving and regenerative braking.
- Load compensation stabilizes speed on ramps and over obstacles. Compensates for battery voltage, voltage drops, and motor resistance.



EK A.2 Curtis 1227-37 Motor Sürücü Veri Sayfaları (devamı)

Features continued

- High pedal disable (HPD) function monitors status of the throttle during turn on and prevents operation until the throttle has been returned to neutral.
- Power off decel provides a controlled deceleration if the key switch is turned off while driving.
- Comprehensive fault detect function monitors main contactor, output stage, throttle demand vs. output, etc.
- Throttle fault circuitry shuts off controller if throttle signal goes out of range for any reason.
- Missing brake detector forces neutral in the event of an open brake circuit (programmable).
- Anti rollback/roll forward circuitry sets brake delay according to speed and direction for improved braking response and minimized rollback on hills, etc.
- Over-current protected brake driver protects the controller from shorts in the brake or its wiring. This low side output driver may also be programmed for side broom or brush contactor, hourmeter, BDI enable, etc.
- Brake PWM allows the brake driver to be programmed to a reduced holding voltage.
- Reverse output drives a piezo beeper (customer supplied) in reverse.
- "Push Too Fast" feature allows motor to coast with controller off and brake released. Pushing too fast automatically and safely shorts the motor to limit maximum coasting speed.
- Push input electrically releases brake for key-on pushing (requires that the vehicle be stopped first).
- Inhibit input disables the controller and puts the vehicle in a safe state during charging, etc.
- Power saver deactivates the main relay after 25 seconds and entire controller after 25 minutes of non-operation.
- Under voltage cutback function protects against low battery voltage.
- Thermally protected and compensated for stable output and overtemperature protection.
- Reverse polarity protected (battery input).
- Momentary input option with integral LED drivers. Allows the use of membrane on-off, reverse, and mode switches.

Model 1237 Only

- SRO input sequencing options.
- Emergency reverse (belly button) input causes immediate reversal.
- Programmable high side driver output for brake light, belly button check, BDI enable, hourmeter, side broom contactor, etc.

Specifications

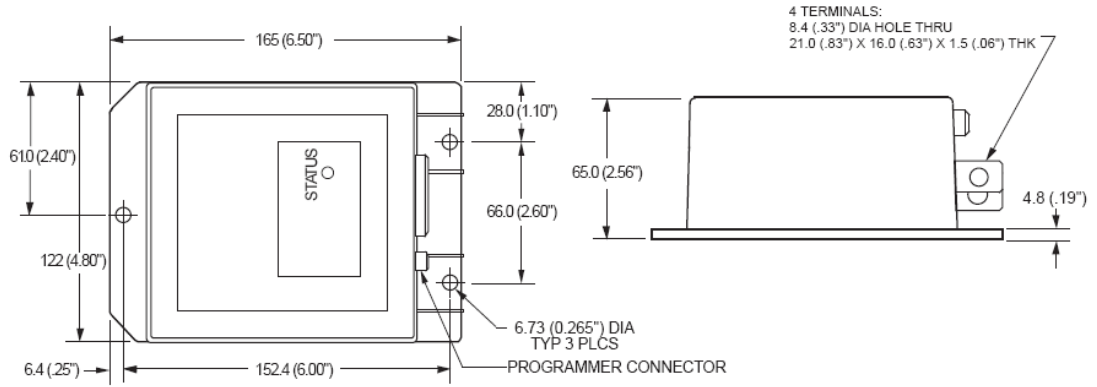
CURTIS PMC MODELS	NOMINAL BATTERY VOLTAGE (volts)	CURRENT LIMIT (amps)	1 MIN RATING (amps)	1 HOUR RATING (amps)	TYP. VOLTAGE DROP @ 20A (volts)	UNDER VOLTAGE CUTBACK (volts)	OVER VOLTAGE LIMIT (volts)
1227-21XX	24	150	150	80	0.20	16	36
1227-24XX	24	200	200	90	0.15	16	36
1227-31XX	36	120	120	65	0.20	26	48
1227-34XX	36	160	160	70	0.15	26	48
1227-41XX	48	100	100	55	0.40	35	64
1237-21XX	24	150	150	80	0.20	16	36
1237-24XX	24	200	200	90	0.15	16	36
1237-31XX	36	120	120	65	0.20	26	48
1237-34XX	36	160	160	70	0.15	26	48
1237-41XX	48	100	100	55	0.40	35	64

TÜV Compliance

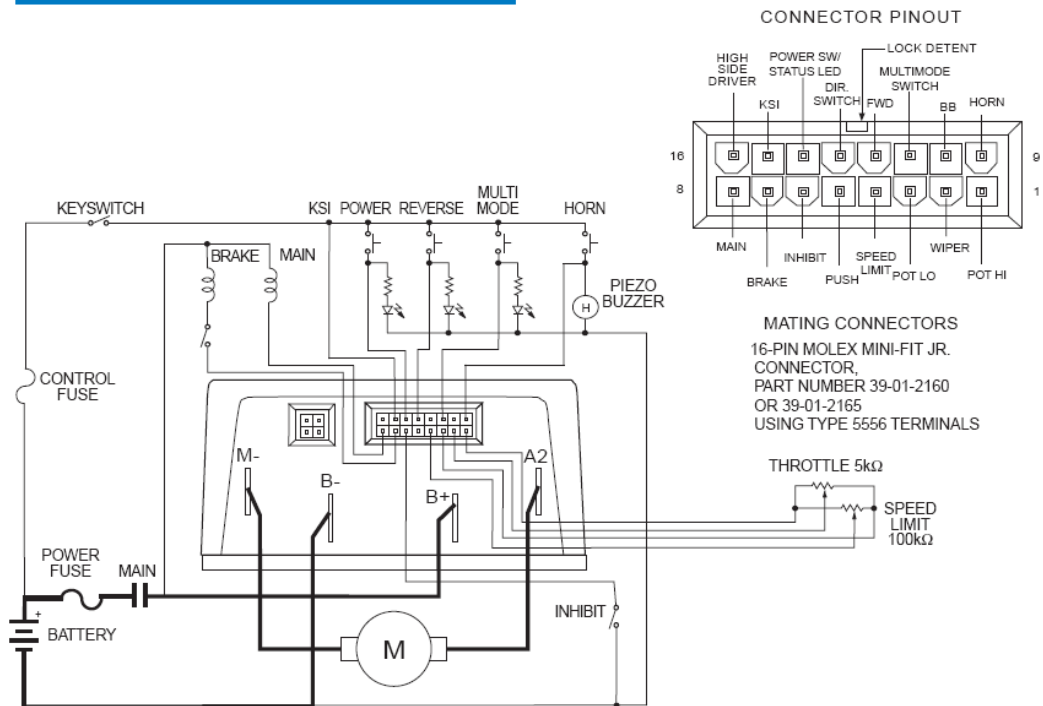
This Curtis product complies with the regulations of TÜV, the German service company which tests products and sets standards for product safety and quality. EMC compliance depends upon the installation and is the responsibility of the equipment manufacturer. Shielding may or may not be needed. When installed with the recommended shielding, the controller itself will meet TÜV EMC requirements. The deceleration adjustment must be set to meet all applicable TÜV braking distance requirements.

EK A.2 Curtis 1227-37 Motor Sürücü Veri Sayfaları (devamı)

Dimensions: mm (inches)



Typical Wiring Diagram



Specifications subject to change without notice

50019 REV B 11/98

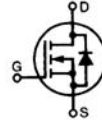
EK A.3 IXFH 75N10 Veri Sayfaları

IXYS

HiPerFET™ Power MOSFETs

IXFH/IXFM 67 N10
IXFH/IXFM 75 N10

N-Channel Enhancement Mode
High dv/dt, Low t_{rr}, HDMOS™ Family

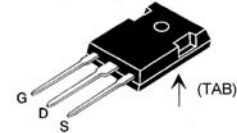


V _{DSS}	I _{D25}	R _{DS(on)}
100 V	67 A	25 mΩ
100 V	75 A	20 mΩ

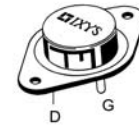
t_{rr} ≤ 200 ns

Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings	
V _{DSS}	T _J = 25°C to 150°C	100	V
V _{DGR}	T _J = 25°C to 150°C; R _{GS} = 1 MΩ	100	V
V _{GS}	Continuous	±20	V
V _{GSM}	Transient	±30	V
I _{D25}	T _C = 25°C	67N10 75N10	67 75
I _{DM}	T _C = 25°C, pulse width limited by T _{JM}	67N10 75N10	268 300
I _{AR}	T _C = 25°C	67N10 75N10	67 75
E _{AR}	T _C = 25°C	30	mJ
dv/dt	I _S ≤ I _{DM} , di/dt ≤ 100 A/μs, V _{DD} ≤ V _{DSS} , T _J ≤ 150°C, R _G = 2 Ω	5	V/ns
P _D	T _C = 25°C	300	W
T _J		-55 ... +150	°C
T _{JM}		150	°C
T _{stg}		-55 ... +150	°C
T _L	1.6 mm (0.062 in.) from case for 10 s	300	°C
M _d	Mounting torque	1.13/10	Nm/lb.in.
Weight		TO-204 = 18 g, TO-247 = 6 g	

TO-247 AD (IXFH)



TO-204 AE (IXFM)



G = Gate, D = Drain,
S = Source, TAB = Drain

Features

- International standard packages
- Low R_{DS(on)} HDMOS™ process
- Rugged polysilicon gate cell structure
- Unclamped Inductive Switching (UIS) rated
- Low package inductance
 - easy to drive and to protect
- Fast intrinsic Rectifier

Applications

- DC-DC converters
- Synchronous rectification
- Battery chargers
- Switched-mode and resonant-mode power supplies
- DC choppers
- AC motor control
- Temperature and lighting controls
- Low voltage relays

Advantages

- Easy to mount with 1 screw (TO-247) (isolated mounting screw hole)
- Space savings
- High power density

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values (T _J = 25°C, unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
V _{DSS}	V _{GS} = 0 V, I _D = 250 μA	100		V
V _{GS(th)}	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 4 mA	2.0		V
I _{GSS}	V _{GS} = ±20 V _{DC} , V _{DS} = 0			±100 nA
I _{DSS}	V _{DS} = 0.8 • V _{DSS} , T _J = 25°C V _{GS} = 0 V, T _J = 125°C			250 μA 1 mA
R _{DS(on)}	V _{GS} = 10 V, I _D = 0.5 I _{D25} Pulse test, t ≤ 300 μs, duty cycle d ≤ 2 %	67N10 75N10		0.025 Ω 0.020 Ω

IXYS reserves the right to change limits, test conditions, and dimensions.

91521F (10/95)

© 2000 IXYS All rights reserved

1 - 4

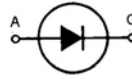
EK A.4 DSEI 60 Veri Sayfaları



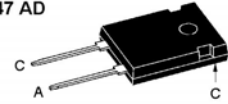
Fast Recovery Epitaxial Diode (FRED)

DSEI 60 $I_{FAVM} = 60 \text{ A}$
 $V_{RRM} = 600 \text{ V}$
 $t_{rr} = 35 \text{ ns}$

V_{RSM}	V_{RRM}	Type
V	V	
600	600	DSEI 60-06A



TO-247 AD



A = Anode, C = Cathode

Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings	
I_{FRMS}	$T_{VJ} = T_{VJM}$	100	A
I_{FAVM} ①	$T_C = 70^\circ\text{C}$; rectangular, $d = 0.5$	60	A
I_{FRM}	$t_p < 10 \mu\text{s}$; rep. rating, pulse width limited by T_{VJM}	800	A
I_{FSM}	$T_{VJ} = 45^\circ\text{C}$; $t = 10 \text{ ms}$ (50 Hz), sine	550	A
	$t = 8.3 \text{ ms}$ (60 Hz), sine	600	A
	$T_{VJ} = 150^\circ\text{C}$; $t = 10 \text{ ms}$ (50 Hz), sine	480	A
	$t = 8.3 \text{ ms}$ (60 Hz), sine	520	A
I_{tt}	$T_{VJ} = 45^\circ\text{C}$; $t = 10 \text{ ms}$ (50 Hz), sine	1510	A^2s
	$t = 8.3 \text{ ms}$ (60 Hz), sine	1490	A^2s
	$T_{VJ} = 150^\circ\text{C}$; $t = 10 \text{ ms}$ (50 Hz), sine	1150	A^2s
	$t = 8.3 \text{ ms}$ (60 Hz), sine	1120	A^2s
T_{VJ}		-40...+150	$^\circ\text{C}$
T_{VJM}		150	$^\circ\text{C}$
T_{stg}		-40...+150	$^\circ\text{C}$
P_{tot}	$T_C = 25^\circ\text{C}$	166	W
M_d	Mounting torque	0.8...1.2	Nm
Weight		6	g

Features

- International standard package JEDEC TO-247 AD
- Planar passivated chips
- Very short recovery time
- Extremely low switching losses
- Low I_{RM} -values
- Soft recovery behaviour
- Epoxy meets UL 94V-0

Applications


- Antiparallel diode for high frequency switching devices
- Anti saturation diode
- Snubber diode
- Free wheeling diode in converters and motor control circuits
- Rectifiers in switch mode power supplies (SMPS)
- Inductive heating and melting
- Uninterruptible power supplies (UPS)
- Ultrasonic cleaners and welders

Advantages

- High reliability circuit operation
- Low voltage peaks for reduced protection circuits
- Low noise switching
- Low losses
- Operating at lower temperature or space saving by reduced cooling

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values	
		typ.	max.
I_R	$T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$	$V_R = V_{RRM}$	200 μA
	$T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$	$V_R = 0.8 \cdot V_{RRM}$	100 μA
	$T_{VJ} = 125^\circ\text{C}$	$V_R = 0.8 \cdot V_{RRM}$	14 mA
V_F	$I_F = 70 \text{ A}$; $T_{VJ} = 150^\circ\text{C}$		1.5 V
	$T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$		1.8 V
V_{TO}	For power-loss calculations only		1.13 V
r_T	$T_{VJ} = T_{VJM}$		4.7 $\text{m}\Omega$
R_{thJC}		0.25	0.75 K/W
R_{thCK}			K/W
R_{thJA}			35 K/W
t_{rr}	$I_F = 1 \text{ A}$; $-di/dt = 200 \text{ A}/\mu\text{s}$; $V_R = 30 \text{ V}$; $T_{VJ} = 25^\circ\text{C}$	35	50 ns
I_{RM}	$V_R = 350 \text{ V}$; $I_F = 60 \text{ A}$; $-di_F/dt = 480 \text{ A}/\mu\text{s}$	19	21 A
	$L \leq 0.05 \mu\text{H}$; $T_{VJ} = 100^\circ\text{C}$		

EK A.5 TC4428 MOSFET Sürücü Entegresi Veri Sayfaları



MICROCHIP TC4426/TC4427/TC4428

1.5A Dual High-Speed Power MOSFET Drivers

Features

- High Peak Output Current – 1.5A
- Wide Input Supply Voltage Operating Range:
 - 4.5V to 18V
- High Capacitive Load Drive Capability – 1000 pF in 25 ns (typ.)
- Short Delay Times – 40 ns (typ.)
- Matched Rise and Fall Times
- Low Supply Current:
 - With Logic '1' Input – 4 mA
 - With Logic '0' Input – 400 μ A
- Low Output Impedance – 7 Ω
- Latch-Up Protected: Will Withstand 0.5A Reverse Current
- Input Will Withstand Negative Inputs Up to 5V
- ESD Protected – 4 kV
- Pin-compatible with the TC4426/TC4427/TC4428
- Space-saving 8-Pin MSOP and 8-Pin 6x5 DFN Packages

Applications

- Switch Mode Power Supplies
- Line Drivers
- Pulse Transformer Drive

General Description

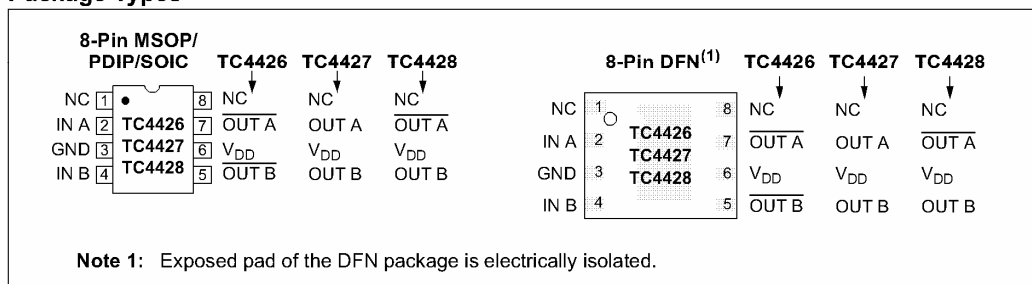
The TC4426/TC4427/TC4428 are improved versions of the earlier TC426/TC427/TC428 family of MOSFET drivers. The TC4426/TC4427/TC4428 devices have matched rise and fall times when charging and discharging the gate of a MOSFET.

These devices are highly latch-up resistant under any conditions within their power and voltage ratings. They are not subject to damage when up to 5V of noise spiking (of either polarity) occurs on the ground pin. They can accept, without damage or logic upset, up to 500 mA of reverse current (of either polarity) being forced back into their outputs. All terminals are fully protected against Electrostatic Discharge (ESD) up to 4 kV.

The TC4426/TC4427/TC4428 MOSFET drivers can easily charge/discharge 1000 pF gate capacitances in under 30 ns. These devices provide low enough impedances in both the on and off states to ensure the MOSFET's intended state will not be affected, even by large transients.

Other compatible drivers are the TC4426A/TC4427A/TC4428A family of devices. The TC4426A/TC4427A/TC4428A devices have matched leading and falling edge input-to-output delay times, in addition to the matched rise and fall times of the TC4426/TC4427/TC4428 devices.

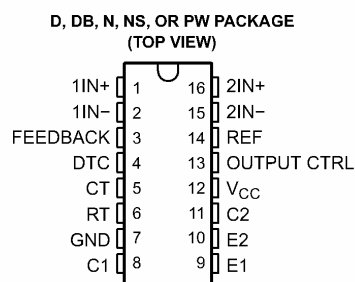
Package Types



EK A.6 TL494 PWM Kontrol Entegresi Veri Sayfaları

FEATURES

- Complete PWM Power-Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance
- Circuit Architecture Allows Easy Synchronization



DESCRIPTION

The TL494 incorporates all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation (PWM) control circuit on a single chip. Designed primarily for power-supply control, this device offers the flexibility to tailor the power-supply control circuitry to a specific application.

The TL494 contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from -0.3 V to $V_{CC} - 2\text{ V}$. The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator can be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it can drive the common circuits in synchronous multiple-rail power supplies.

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 provides for push-pull or single-ended output operation, which can be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

The TL494C is characterized for operation from 0°C to 70°C . The TL494I is characterized for operation from -40°C to 85°C .

AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGED DEVICES ⁽¹⁾				
	SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (N)	SMALL OUTLINE (NS)	SHRINK SMALL OUTLINE (DB)	THIN SHRINK SMALL OUTLINE (PW)
0°C to 70°C	TL494CD	TL494CN	TL494CNS	TL494CDB	TL494CPW
-40°C to 85°C	TL494ID	TL494IN	—	—	—

(1) The D, DB, NS, and PW packages are available taped and reeled. Add the suffix R to device type (e.g., TL494CDR).



EK A.6 TL494 PWM Kontrol Entegresi Veri Sayfaları (devamı)

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

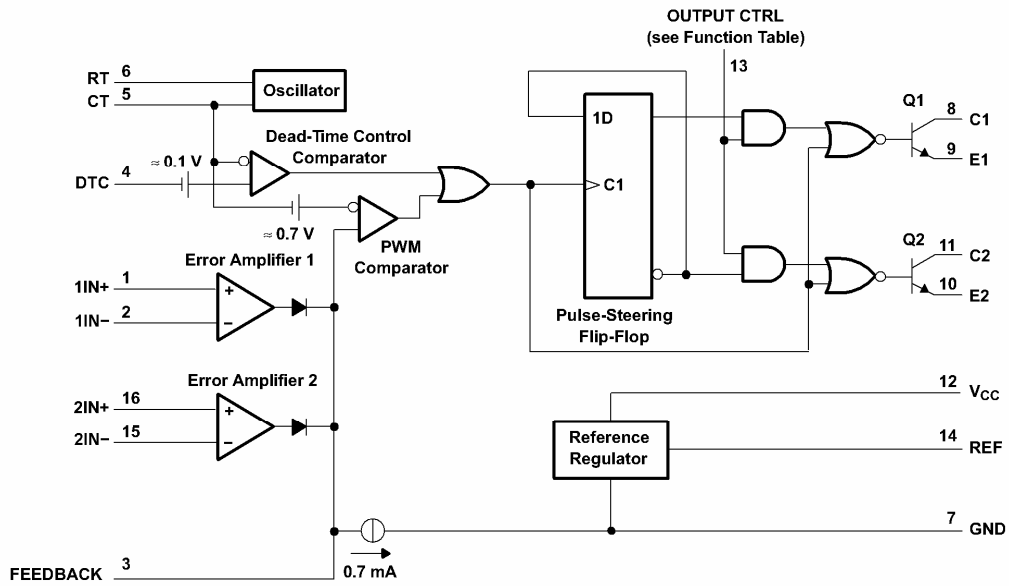
SLVS074E—JANUARY 1983—REVISED FEBRUARY 2005



FUNCTION TABLE

INPUT TO OUTPUT CTRL	OUTPUT FUNCTION
$V_1 = \text{GND}$	Single-ended or parallel output
$V_1 = V_{ref}$	Normal push-pull operation

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



EK A.6 TL494 PWM Kontrol Entegresi Veri Sayfaları (devamı)

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074E—JANUARY 1983—REVISED FEBRUARY 2005



PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

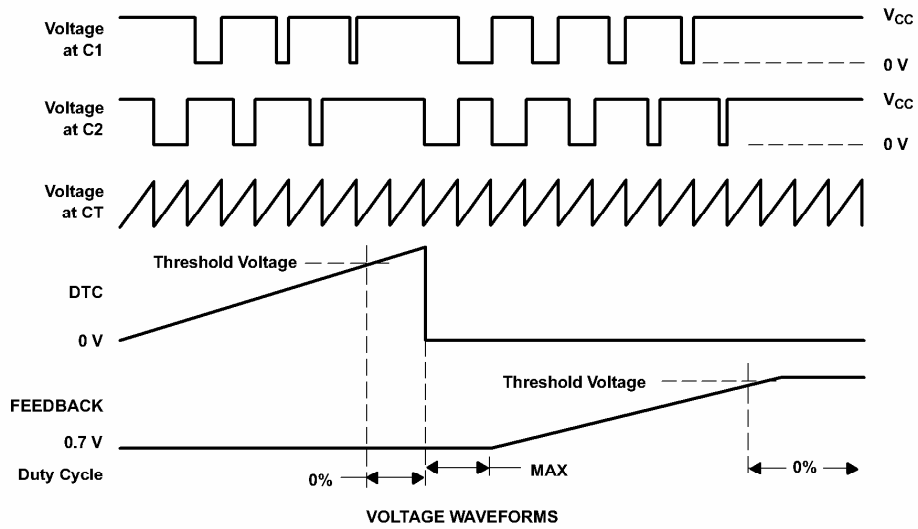
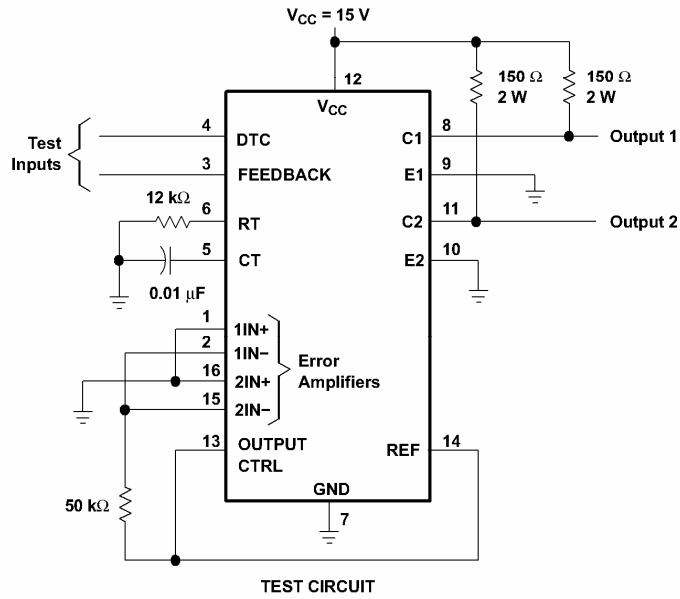


Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms

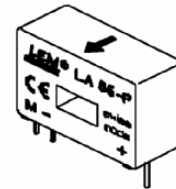
EK A.7 LA 55-P/SP1 Akım Sensörü Veri Syfaları



Current Transducer LA 55-P/SP1

For the electronic measurement of currents : DC, AC, pulsed..., with a galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).

$$I_{PN} = 50 \text{ A}$$



Electrical data							
I_{PN}	Primary nominal r.m.s. current	50	A				
I_P	Primary current, measuring range	0 .. ± 100	A				
R_M	Measuring resistance @	$T_A = 70^\circ\text{C}$					
		$T_A = 85^\circ\text{C}$					
		R_{Mmin}	R_{Mmax}	R_{Mmin}	R_{Mmax}		
	with $\pm 12 \text{ V}$	@ $\pm 50 \text{ A}_{max}$	0	215	0	210	Ω
		@ $\pm 100 \text{ A}_{max}$	0	35	0	30	Ω
	with $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 50 \text{ A}_{max}$	0	335	30	330	Ω
	@ $\pm 100 \text{ A}_{max}$	0	95	30	90	Ω	
I_{SN}	Secondary nominal r.m.s. current	25	mA				
K_N	Conversion ratio	1 : 2000					
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V				
I_C	Current consumption	10 (@ $\pm 15\text{V}$) + I_S	mA				
V_G	R.m.s. voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 mn	2.5	kV				

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Printed circuit board mounting
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Special features

- $I_P = 0 \dots \pm 100 \text{ A}$
- $K_N = 1 : 2000$.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

Accuracy - Dynamic performance data			
X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	@ $\pm 15 \text{ V}$ ($\pm 5\%$)	± 0.65 %
		@ $\pm 12 \dots 15 \text{ V}$ ($\pm 5\%$)	± 0.90 %
ϵ_L	Linearity error		< 0.15 %
I_O	Offset current @ $I_P = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ	± 0.10 mA
		Max	± 0.15 mA
I_{OM}	Residual current ¹⁾ @ $I_P = 0$, after an overload of $3 \times I_{PN}$		± 0.05 ± 0.25 mA
I_{OT}	Thermal drift of I_O	0 $^\circ\text{C}$.. + 70 $^\circ\text{C}$	± 0.05 ± 0.25 mA
		- 25 $^\circ\text{C}$.. + 85 $^\circ\text{C}$	± 0.05 ± 0.30 mA
t_{ra}	Reaction time @ 10 % of I_{PN}	< 500	ns
t_r	Response time ²⁾ @ 90 % of I_{PN}	< 1	μs
di/dt	di/dt accurately followed	> 200	A/ μs
f	Frequency bandwidth (-1 dB)	DC .. 200	kHz

General data			
T_A	Ambient operating temperature	- 25 .. + 85	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	- 40 .. + 90	$^\circ\text{C}$
R_S	Secondary coil resistance @	$T_A = 70^\circ\text{C}$	145 Ω
		$T_A = 85^\circ\text{C}$	150 Ω
m	Mass Standards	18	g
		EN 50178 (97.10.01)	

Notes : ¹⁾ Result of the coercive field of the magnetic circuit
²⁾ With a di/dt of 100 A/ μs .

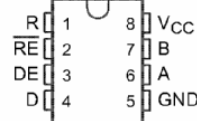
EK A.8 75176 (MAX485) RS485 LVDS Entegresi Veri sayfaları

SN75176A DIFFERENTIAL BUS TRANSCEIVER

SLLS100A – JUNE 1984 – REVISED MAY 1995

- Bidirectional Transceiver
- Meets or Exceeds the Requirements of ANSI Standards EIA/TIA-422-B and ITU Recommendation V.11
- Designed for Multipoint Transmission on Long Bus Lines in Noisy Environments
- 3-State Driver and Receiver Outputs
- Individual Driver and Receiver Enables
- Wide Positive and Negative Input/Output Bus Voltage Ranges
- Driver Output Capability . . . ± 60 mA Max
- Thermal-Shutdown Protection
- Driver Positive- and Negative-Current Limiting
- Receiver Input Impedance . . . 12 k Ω Min
- Receiver Input Sensitivity . . . ± 200 mV
- Receiver Input Hysteresis . . . 50 mV Typ
- Operates From Single 5-V Supply
- Low Power Requirements

D OR P PACKAGE
(TOP VIEW)



description

The SN75176A differential bus transceiver is a monolithic integrated circuit designed for bidirectional data communication on multipoint bus-transmission lines. It is designed for balanced transmission lines and meets ANSI Standard EIA/TIA-422-B and ITU Recommendation V.11.

The SN75176A combines a 3-state differential line driver and a differential input line receiver, both of which operate from a single 5-V power supply. The driver and receiver have active-high and active-low enables, respectively, that can be externally connected together to function as a direction control. The driver differential outputs and the receiver differential inputs are connected internally to form differential input/output (I/O) bus ports that are designed to offer minimum loading to the bus whenever the driver is disabled or $V_{CC} = 0$. These ports feature wide positive and negative common-mode voltage ranges making the device suitable for party-line applications.

The driver is designed to handle loads up to 60 mA of sink or source current. The driver features positive- and negative-current limiting and thermal shutdown for protection from line fault conditions. Thermal shutdown is designed to occur at a junction temperature of approximately 150°C. The receiver features a minimum input impedance of 12 k Ω , an input sensitivity of ± 200 mV, and a typical input hysteresis of 50 mV.

The SN75176A can be used in transmission-line applications employing the SN75172 and SN75174 quadruple differential line drivers and SN75173 and SN75175 quadruple differential line receivers.

The SN75176A is characterized for operation from 0°C to 70°C.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1995, Texas Instruments Incorporated

1

EK A.9 PIC16F877 Mikro Denetleyici Entegresi Veri Sayfaları



PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

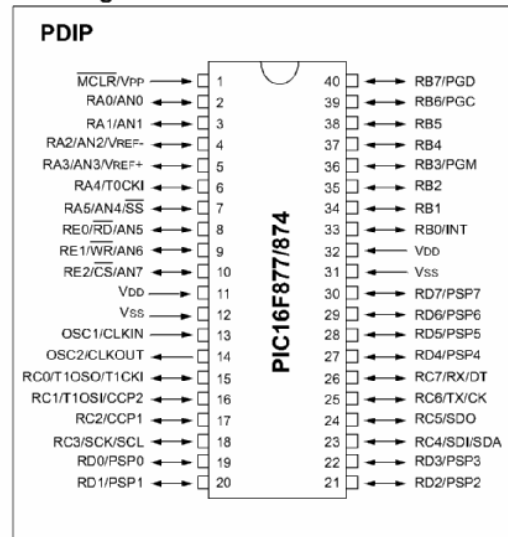
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

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

Pin Diagram



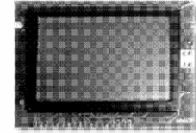
Peripheral Features:

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

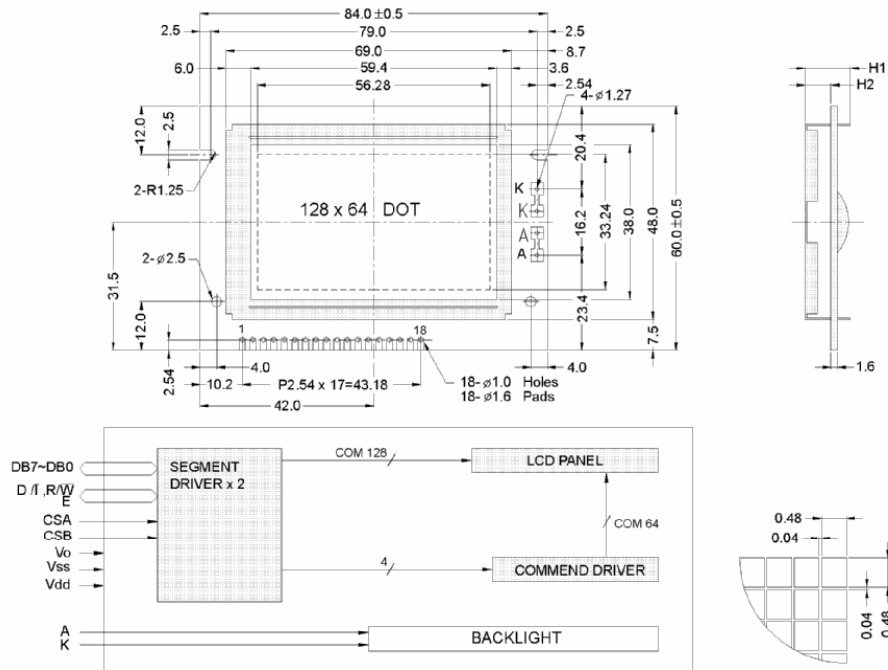
EK A.10 PG12864 Grafik LCD Ekranı Veri Sayfaları



PG 12864-D



..... OUTLINE DIMENSION & BLOCK DIAGRAM



The tolerance unless classified $\pm 0.3\text{mm}$

MECHANICAL SPECIFICATION			
Overall Size	84.0 x 60.0	Module	H2 / H1
View Area	59.4 x 38.0	W/O B/L	3.6 / 8.2
Dot Size	0.40 x 0.48	EL B/L	3.6 / 8.2
Dot Pitch	0.44 x 0.52	LED B/L	6.3 / 11.0

PIN ASSIGNMENT		
Pin no.	Symbol	Function
1-8	DB0-DB7	Data bus line
9	E	Enable signal
10	R/W	Data read / write
11	D/I	Command /Data select
12	Vo	Contrast Adjust
13	Vdd	Power supply(+)
14	Vss	Power supply(GND)
15	K	Power supply for LED B/L(-)
16	A	Power supply for LED B/L(+)
17	CSA	Chip selection driver 1
18	CSB	Chip selection driver 2

ABSOLUTE MAXIMUM RATING									
Item	Symbol	Condition	Min.	Max.	Units				
Supply for logic voltage	Vdd-Vss	25°C	-0.3	7.0	V				
LCD driving supply voltage	Vdd-Vee	25°C	-0.3	19.0	V				
Input voltage	Vin	25°C	-0.3	Vdd+0.3	V				
ELECTRICAL CHARACTERISTICS									
Item	Symbol	Condition	Min.	Typical	Max.	Units			
Power supply voltage	Vdd-Vss	25°C	4.5	-	5.5	V			
LCD operation voltage	Vop	Top	N	W	N	W	V		
		-20°C	-	14.3	-	14.7	-	15.1	V
		0°C	9.5	-	10	-	10.6	-	V
		25°C	8.8	13.2	9.3	13.6	9.8	14	V
		50°C	8.5	-	9	-	9.5	-	V
		70°C	-	12	-	12.4	-	12.8	V
LCM current consumption (No B/L)	Idd	Vdd=5V	-	1.5	3	mA			
Backlight current consumption	LED/edge	VB/L=4.2V	-	100	-	mA			
	LED/array	VB/L=4.2V	-	-	-	mA			

EK A.11 PIC16F452 Mikro Denetleyici Entegrasi Veri Sayflari



PIC18FXX2

28/40-pin High Performance, Enhanced FLASH Microcontrollers with 10-Bit A/D

High Performance RISC CPU:

- C compiler optimized architecture/instruction set
 - Source code compatible with the PIC16 and PIC17 instruction sets
- Linear program memory addressing to 32 Kbytes
- Linear data memory addressing to 1.5 Kbytes

Device	On-Chip Program Memory		On-Chip RAM (bytes)	Data EEPROM (bytes)
	FLASH (bytes)	# Single Word Instructions		
PIC18F242	16K	8192	768	256
PIC18F252	32K	16384	1536	256
PIC18F442	16K	8192	768	256
PIC18F452	32K	16384	1536	256

- Up to 10 MIPS operation:
 - DC - 40 MHz osc./clock input
 - 4 MHz - 10 MHz osc./clock input with PLL active
- 16-bit wide instructions, 8-bit wide data path
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single Cycle Hardware Multiplier

Peripheral Features:

- High current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupt pins
- Timer0 module: 8-bit/16-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1 module: 16-bit timer/counter
- Timer2 module: 8-bit timer/counter with 8-bit period register (time-base for PWM)
- Timer3 module: 16-bit timer/counter
- Secondary oscillator clock option - Timer1/Timer3
- Two Capture/Compare/PWM (CCP) modules. CCP pins that can be configured as:
 - Capture input: capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns ($T_{cy}/16$)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns (T_{cy})
 - PWM output: PWM resolution is 1- to 10-bit, max. PWM freq. @: 8-bit resolution = 156 kHz
10-bit resolution = 39 kHz
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module, Two modes of operation:
 - 3-wire SPI™ (supports all 4 SPI modes)
 - I²C™ Master and Slave mode

Peripheral Features (Continued):

- Addressable USART module:
 - Supports RS-485 and RS-232
- Parallel Slave Port (PSP) module

Analog Features:

- Compatible 10-bit Analog-to-Digital Converter module (A/D) with:
 - Fast sampling rate
 - Conversion available during SLEEP
 - Linearity ≤ 1 LSB
- Programmable Low Voltage Detection (PLVD)
 - Supports interrupt on-Low Voltage Detection
- Programmable Brown-out Reset (BOR)

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced FLASH program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory
- FLASH/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own On-Chip RC Oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options including:
 - 4X Phase Lock Loop (of primary oscillator)
 - Secondary Oscillator (32 kHz) clock input
- Single supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low power, high speed FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption:
 - < 1.6 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 25 μ A typical @ 3V, 32 kHz
 - < 0.2 μ A typical standby current



PIC16F62X

FLASH-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F627
- PIC16F628

Referred to collectively as PIC16F62X

High Performance RISC CPU:

- Only 35 instructions to learn
- All single cycle instructions (200 ns), except for program branches which are two-cycle
- Operating speed:
 - DC - 20 MHz clock input
 - DC - 200 ns instruction cycle

Device	Memory		
	FLASH Program	RAM Data	EEPROM Data
PIC16F627	1024 x 14	224 x 8	128 x 8
PIC16F628	2048 x 14	224 x 8	128 x 8

- Interrupt capability
- 16 special function hardware registers
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative addressing modes

Peripheral Features:

- 16 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
- Analog comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with external crystal/clock capability
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Capture, Compare, PWM (CCP) module
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit

- Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter USART/SCI
- 16 Bytes of common RAM

Special Microcontroller Features:

- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Detect (BOD)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Multiplexed MCLR-pin
- Programmable weak pull-ups on PORTB
- Programmable code protection
- Low voltage programming
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
 - FLASH configuration bits for oscillator options
 - ER (External Resistor) oscillator
 - Reduced part count
 - Dual speed INTRC
 - Lower current consumption
 - EC External Clock input
 - XT Oscillator mode
 - HS Oscillator mode
 - LP Oscillator mode
- In-circuit Serial Programming™ (via two pins)
- Four user programmable ID locations

CMOS Technology:

- Low power, high speed CMOS FLASH technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range
 - PIC16F627 - 3.0V to 5.5V
 - PIC16F628 - 3.0V to 5.5V
 - PIC16LF627 - 2.0V to 5.5V
 - PIC16LF628 - 2.0V to 5.5V
- Commercial, industrial and extended temperature range
- Low power consumption
 - < 2.0 mA @ 5.0V, 4.0 MHz
 - 15 μ A typical @ 3.0V, 32 kHz
 - < 1.0 μ A typical standby current @ 3.0V

EK A.13 LM2575 Anahtarlamalı Regülatör Entegrasi Veri Sayfaları



August 2004

LM1575/LM2575/LM2575HV SIMPLE SWITCHER® 1A Step-Down Voltage Regulator

General Description

The LM2575 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 1A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, 15V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The LM2575 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in many cases no heat sink is required.

A standard series of inductors optimized for use with the LM2575 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a guaranteed $\pm 4\%$ tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and $\pm 10\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 50 μA (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

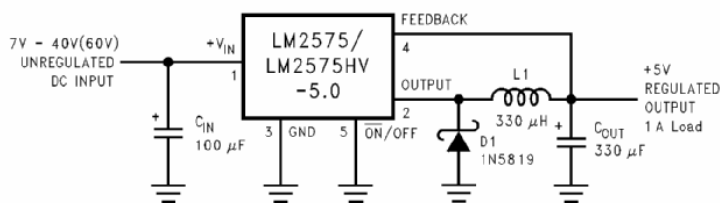
Features

- 3.3V, 5V, 12V, 15V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.23V to 37V (57V for HV version) $\pm 4\%$ max over line and load conditions
- Guaranteed 1A output current
- Wide input voltage range, 40V up to 60V for HV version
- Requires only 4 external components
- 52 kHz fixed frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability, low power standby mode
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current limit protection
- P⁺ Product Enhancement tested

Applications

- Simple high-efficiency step-down (buck) regulator
- Efficient pre-regulator for linear regulators
- On-card switching regulators
- Positive to negative converter (Buck-Boost)

Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)



Note: Pin numbers are for the TO-220 package.

01147501

SIMPLE SWITCHER® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

LM1575/LM2575/LM2575HV Series SIMPLE SWITCHER 1A Step-Down Voltage Regulator

EK B.1 Güneş Paneli Simülasyon Programı Kaynak Kodları

```
#include <math.h>

// Giriş ve çıkışlar
#define Ipv          in [0]
#define Ta          in [1]
#define Sun         in [2]
#define Vpvout     out [0]
#define Ipvout     out [1]

#define Vmax        21.5
#define k           1.38e-23 // Boltzman sabiti
#define q          1.60e-19 // Elektron yükü sabiti

double Iph_T1,
       Iph,
       Vt_Ta,
       Vc,
       TaK,
       Ir,
       Ia,
       Vt_T1,
       a,b,
       Ir_T1,
       Ir_T2,
       X2v,
       dVdI_Voc,
       Rs,
       A,
       Vg,
       Ns,
       T1,
       Voc_T1,
       Isc_T1,
       T2,
       Voc_T2,
       Isc_T2,
       TrK;

//-----
//-----
// v : Çıkış gerilimi
// s : Güneş oranı. 1=1000w/m2
// t : Panel ortam sıcaklığı
// Return : Panel çıkış akımı
//
double pv (double v, double s, double t)
{
    TaK = 273 + t; // array working temp

// Kısa devre akımı
    Iph_T1 = Isc_T1 * s;
```

```

Iph = Iph_T1 * (1 + a*(TaK - T1));
Ir = Ir_T1 * pow ((TaK/T1), (3/A)) * exp(-b*(1/TaK - 1/T1));

Vt_Ta = A * k * TaK / q;

Vc = v/Ns;
Ia=0;
Ia = Ia - (Iph - Ia - Ir*( exp((Vc+Ia*Rs)/Vt_Ta) -1))/ (-1 -
(Ir*( exp((Vc+Ia*Rs)/Vt_Ta) -1))*Rs/Vt_Ta);

return (Ia);
}

//-----
// Variables:
// t: Time, passed from PSIM by value
// delt: Time step, passed from PSIM by value
// in: input array, passed from PSIM by reference
// out: output array, sent back to PSIM (Note: the values of
out[*] can
// be modified in PSIM)
__declspec(dllexport) void simuser (t, delt, in, out)

// Note that all the variables must be defined as "double"
double t, delt;
double *in, *out;

{
double i,v;
static char x=0, Ipvold1, Ipvold2;

if (!x)
{
x=1; // bu kısım ilk çalışmada
aktif olacak
A= 2; // "diode quality" factor,
=2 for crystalline, <2 for amorphous
Vg= 1.12; // band gap voltage, 1.12eV
for xtal Si, ~1.75 for amorphous Si.
Ns= 36; // seri bağlı pv
hücresi sayısı
T1= 273+25; //
Voc_T1= Vmax/Ns; // T1 sıcaklığındaki açık
devre gerilimi
Isc_T1= 5.3; // T1 sıcaklığındaki kısa
devre akımı
T2= 273+75; //
Voc_T2= 17.2/Ns; // T2 sıcaklığındaki açık devre
gerilimi
Isc_T2= 5.4; // T2 sıcaklığındaki kısa
devre akımı
TrK= 273+25; // reference temp

a = (Isc_T2 - Isc_T1);
a= a / Isc_T1 * 1/(T2 - T1);

Vt_T1 = k * T1 / q;

```

```

    Ir_T1= Voc_T1/(A*Vt_T1);
    Ir_T1= exp (Ir_T1)-1;
    Ir_T1= Isc_T1/Ir_T1;
    // Ir_T1 = Isc_T1/(exp(Voc_T1/(A*Vt_T1))-1);

    Ir_T2 = Isc_T2/(exp(Voc_T2/(A*Vt_T1))-1);
    b = Vg * q/(A*k);

    X2v = Ir_T1/(A*Vt_T1) * exp(Voc_T1/(A*Vt_T1));
    dVdI_Voc = - 1.15/Ns / 2; // Voc'nin akıma göre
değişimi (dV/dI at Voc)
    // Bu değerler üretici veri sayfalarından çıkartıldı.
    Rs = -1*dVdI_Voc - 1/X2v; // hücre iç seri direnci
(Rs)
}

for (v=Vmax;v>0;v-=0.1)
{
    i= pv (v,Sun,Ta);
    if (i>=Ipv) break;
}

Vpvout= v;
Ipvout= pv (0.01,Sun,Ta);
Ipvout= Vpvout-Ipvout-0.7;
}

```

EK B.2 MPPT Bloğu Microsoft Visual C++ Kaynak Kodları

```
// Variables:
//      t: Time, passed from PSIM by value
//      delt: Time step, passed from PSIM by value
//      in: input array, passed from PSIM by reference
//      out: output array, sent back to PSIM (Note: the values of
out[*] can
//      be modified in PSIM)

#include <math.h>

#define Iinp in[1]
#define Vinp in[0]
#define Iout in[3]
#define Vout in[2]
#define Vimin out[0]
#define Vomax out[1]

__declspec(dllexport) void simuser (t, delt, in, out)

// Note that all the variables must be defined as "double"
double t, delt;
double *in, *out;

{

    static double    old_Pout=0.0,
                    old_Pinp= 0.0,
                    old_Oper= 1,
                    old_Vou_max= 0.0,
                    old_Vin_min= 0.0,
                    MPPT_Out= 0.0,
                    Time= 1,           // 20m
                    x=0,y=0;

    double    Vin, Iin,
              Vou, Iou,
              Vou_max=0.0, Vin_min=0.0,
              Pinp=0.0, Pout=0.0,
              Diff, Diff2;

    if (t<=0.010) // ilk çalışma anında 20ms
        bekle. DC-DC çevirici devreye girene kadar
        {
            Vin_min= 17; // Min girişi gerilimini belirle
            Vou_max= 41; // Max. çıkış gerilimini belirle
            old_Vin_min= Vin_min;
            old_Vou_max= Vou_max;
            goto son;
        }
}
```



```

    }

    // zaman gelmemişse...
    Time--;

    if (Time)
    {
        Vimin= old_Vin_min*0.175;           // eski giriş minimum
gerilimi
        Vomax= old_Vou_max*0.0625;       //     eski     çıkış
maksimum gerilimi

        out [2]= y;
        out [3]= 0;
        out [4]= 0;
        out [5]= 0;
        goto enson;
    }

    Time=500;           // 1ms

    Vin_min= old_Vin_min;
    Vou_max= old_Vou_max;

    if (y) y=0; else y=1;

    Vin= Vinp / 0.175;     // gerçek giriş gerilimi değeri
    Iin= Iinp / 0.1; // gerçek giriş akımı değeri
    Pinp= Vin * Iin;     // giriş gücü

    Vou= Vout / 0.0625;   // gerçek çıkış gerilimi değeri
    Iou= Iout / 0.2; // gerçek çıkış akımı değeri
    Pout= Vou*Iou;       // çıkış gücü

    if (!x)           //     bir     kere     çalışacak
değişkenleri kurma rutinleri
    {
        x= 1;
        old_Oper= 0;
        old_Pinp= Pinp;
        Vin_min= 17;
        Vou_max= 41;
        old_Vin_min= Vin_min;
        old_Vou_max= Vou_max;
    }

    Diff= Pinp-old_Pinp;

    Diff2= Diff;
    if (Diff2<0) Diff2*= -1;
    if (Diff2<5) Diff= 0;

    if (Diff<0) // güç düşmüşse
    {
        if (old_Oper) // önceki operasyon artım ise
        {
            Vin_min-= 0.5;
            old_Oper= 0;

```

```

        }
        else // azaltım ise
        {
            Vin_min+= 0.5;
            old_Oper= 1;
        }
    }
    else if (Diff>0) // güç artmış ise
    {
        if (old_Oper) // önceki operasyon artım ise yine
            arttır
            {
                Vin_min+= 0.5;
            }
        else // azaltım ise yine azalt
        {
            Vin_min-= 0.5;
        }
    }

    old_Pinp= Pinp;
    old_Pout= Pout;

    old_Vin_min= Vin_min;
    old_Vou_max= Vou_max;

    // Vin_min= 9 * 0.175; // Min girişi gerilimini
    belirle
    // Vou_max= 41 * 0.0625; // Max. çıkış gerilimini belirle

    son:

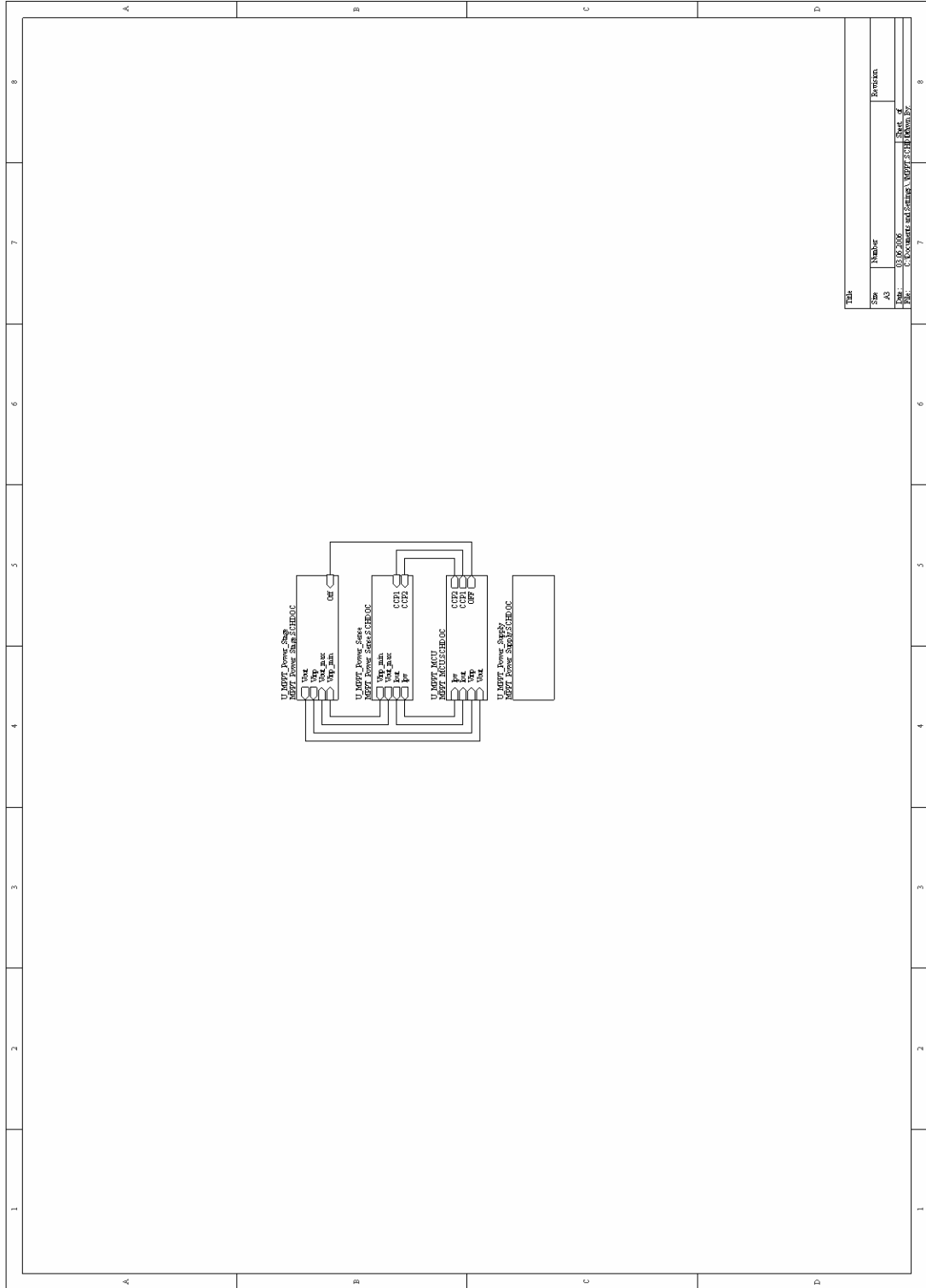
    Vimin= Vin_min*0.175; // girişi sınırla
    Vomax= Vou_max*0.0625; // çıkışa sınırla

    out [2]= y;
    out [3]= 0;
    out [4]= 0;
    out [5]= 0;

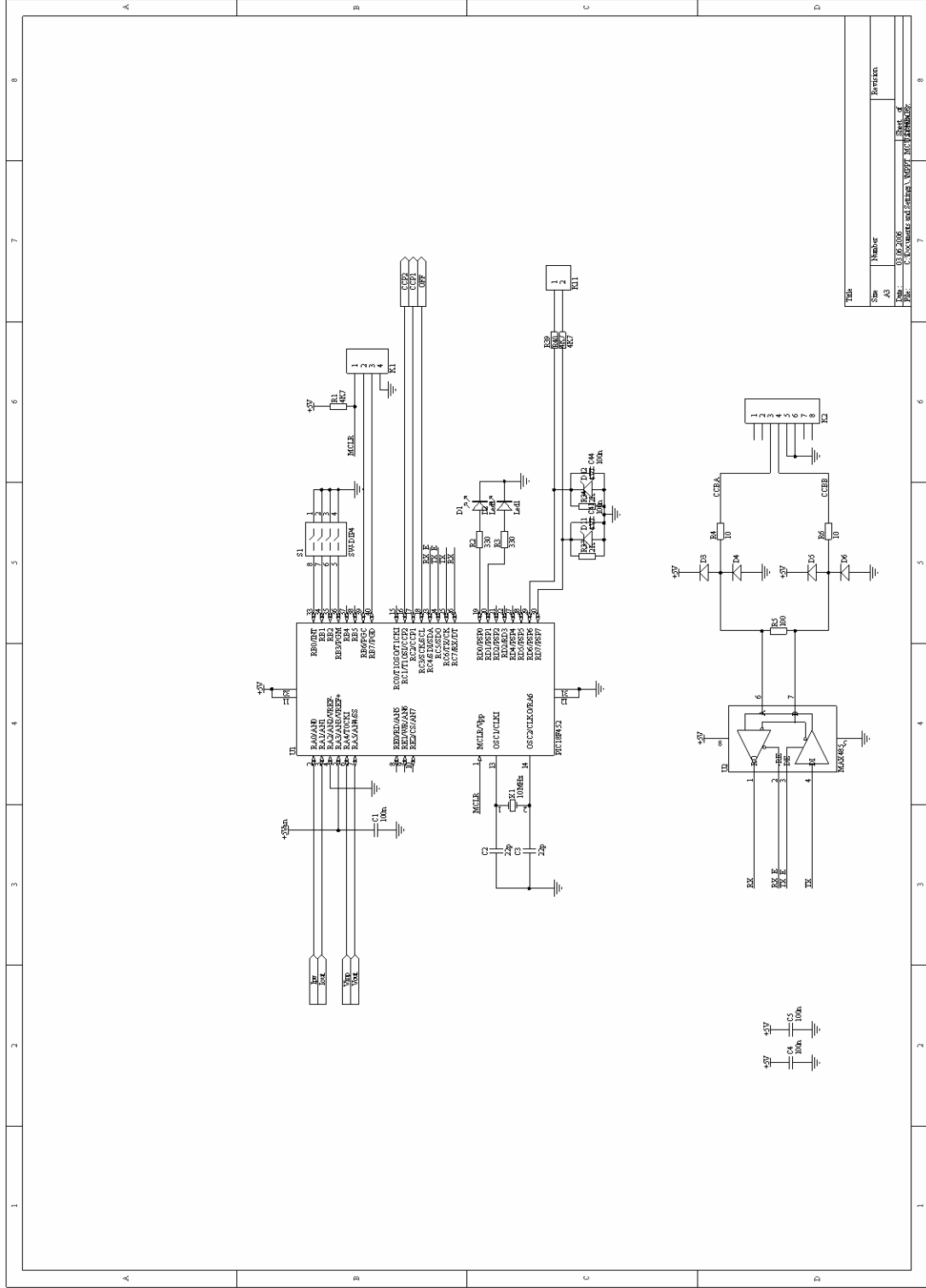
    enson;;
}

```

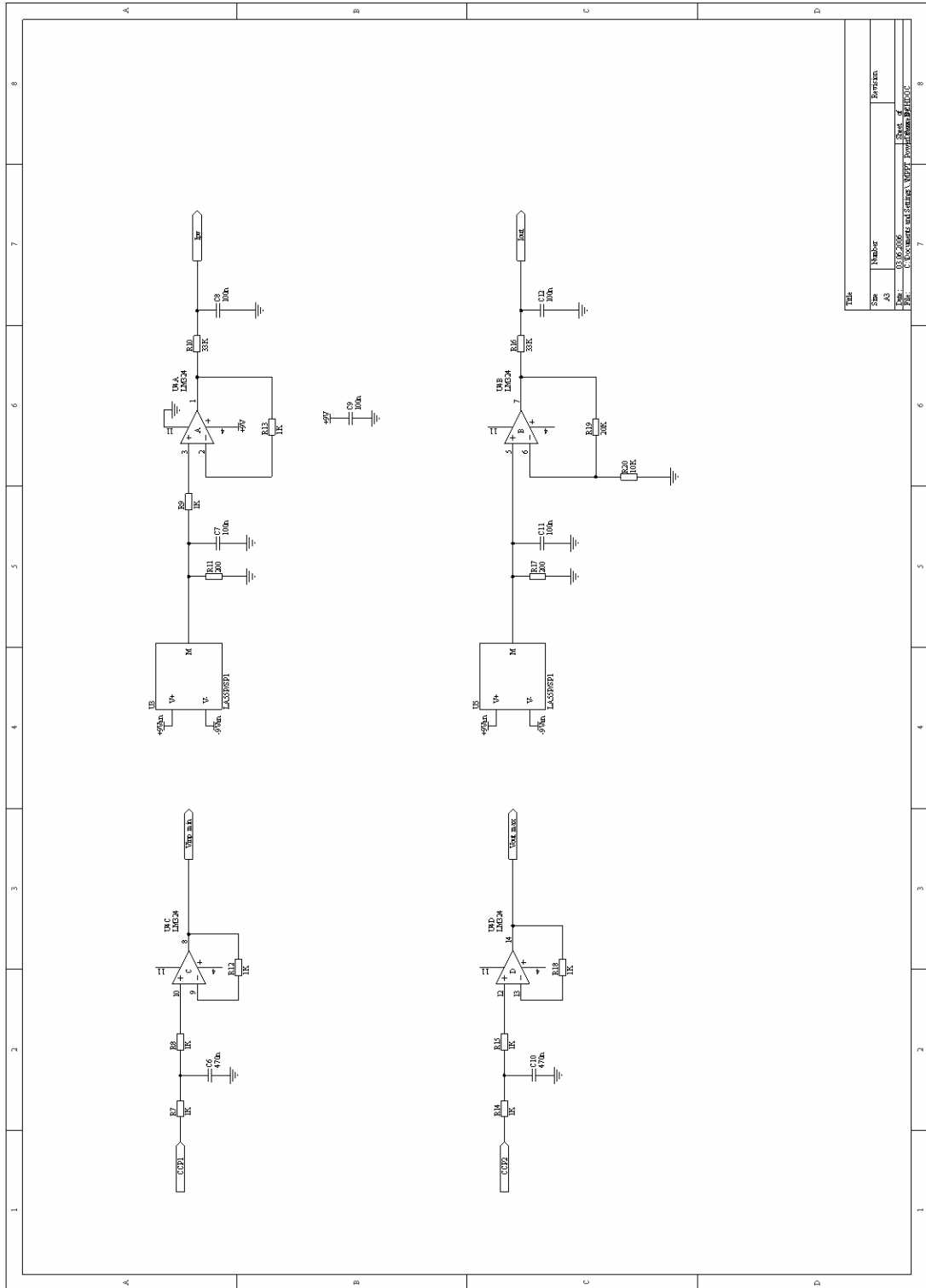
EK C.1 MPPT Devre Şemaları



EK C.1 MPPT Devre Şemaları (Devamı)

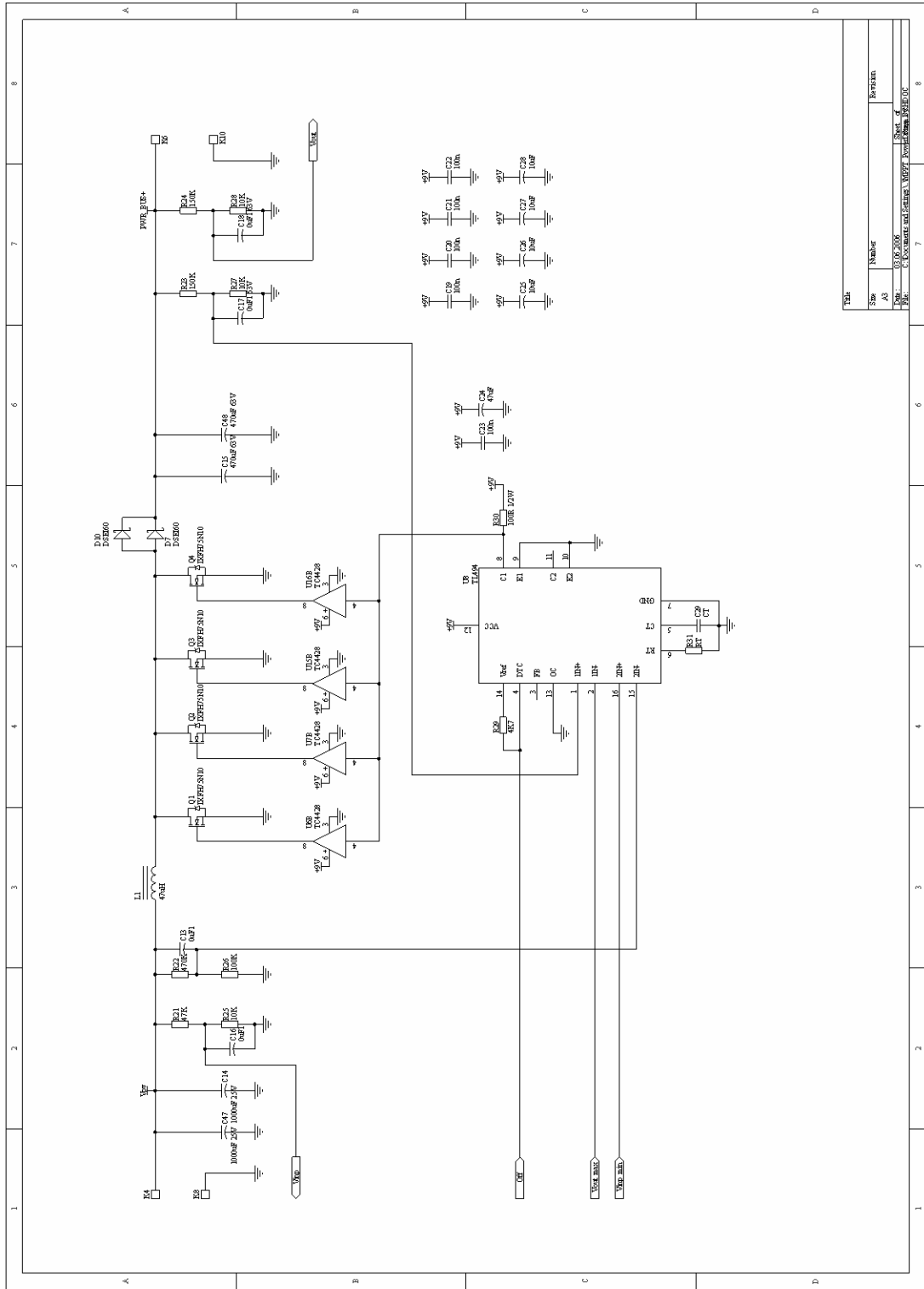


EK C.1 MPPT Devre Şemaları (Devamı)



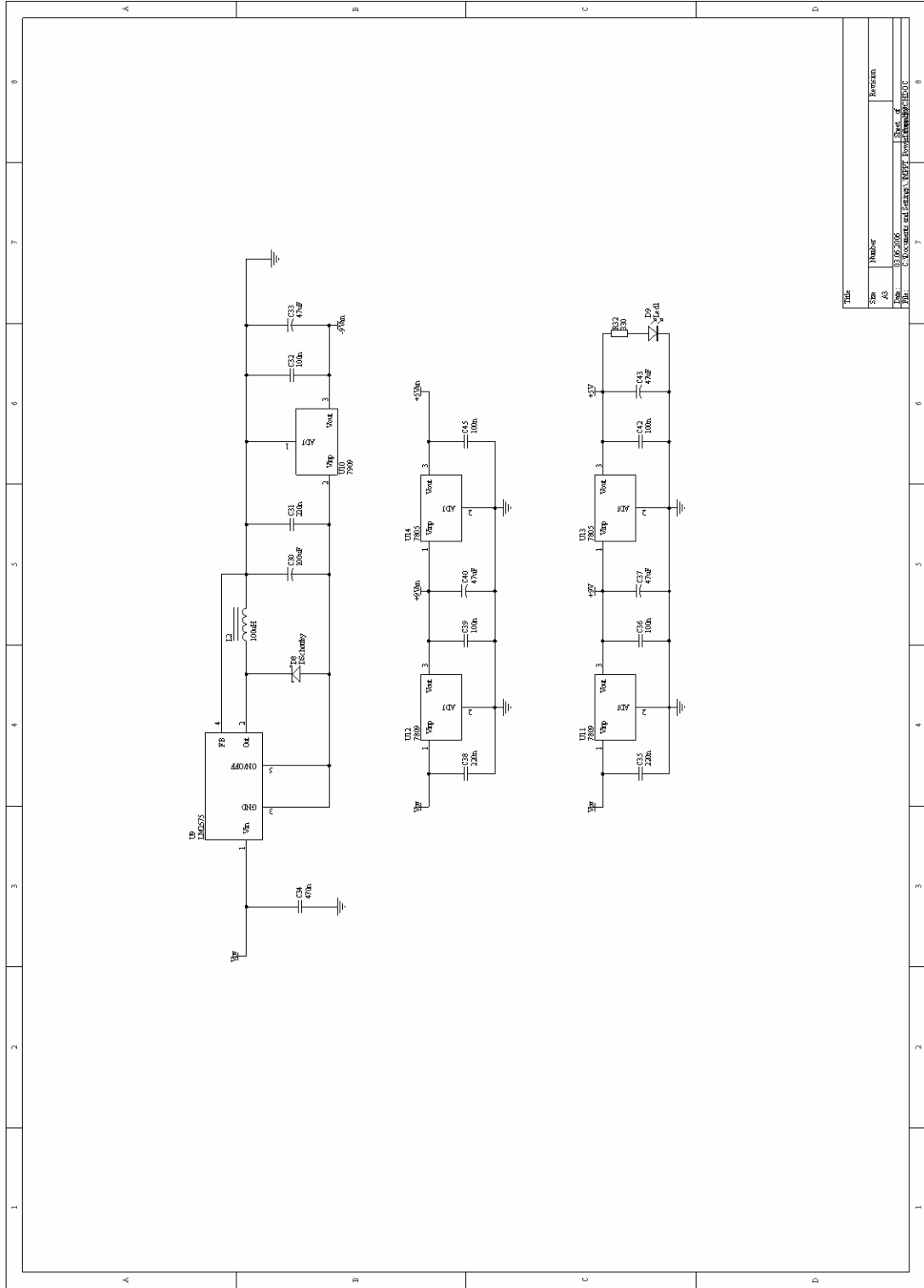
Yazan	
Çiz	Member
Denetleyen	Bozarslan
Tarih	03.06.2016
Proje Adı	C:\Document and Settings\Member\My Documents\MPPT Devre Şemaları\MPPT01

EK C.1 MPPT Devre Şemaları (Devamı)



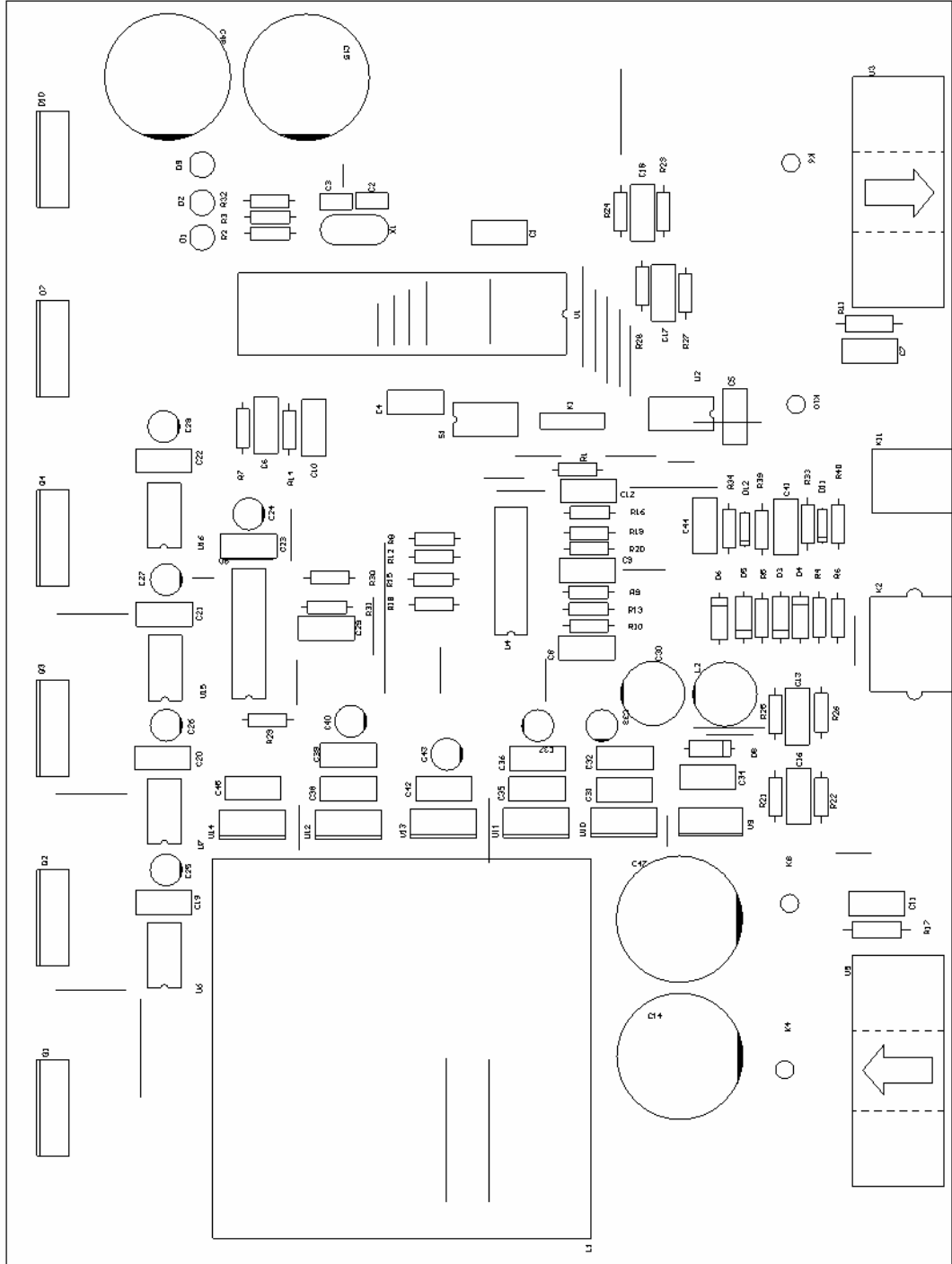
Yazı	Yazı	Yazı	Yazı
Şişe	Şişe	Şişe	Şişe
A3	A3	A3	A3
03.06.2006	03.06.2006	03.06.2006	03.06.2006
03.06.2006	03.06.2006	03.06.2006	03.06.2006

EK C.1 MPPT Devre Şemaları (Devamı)

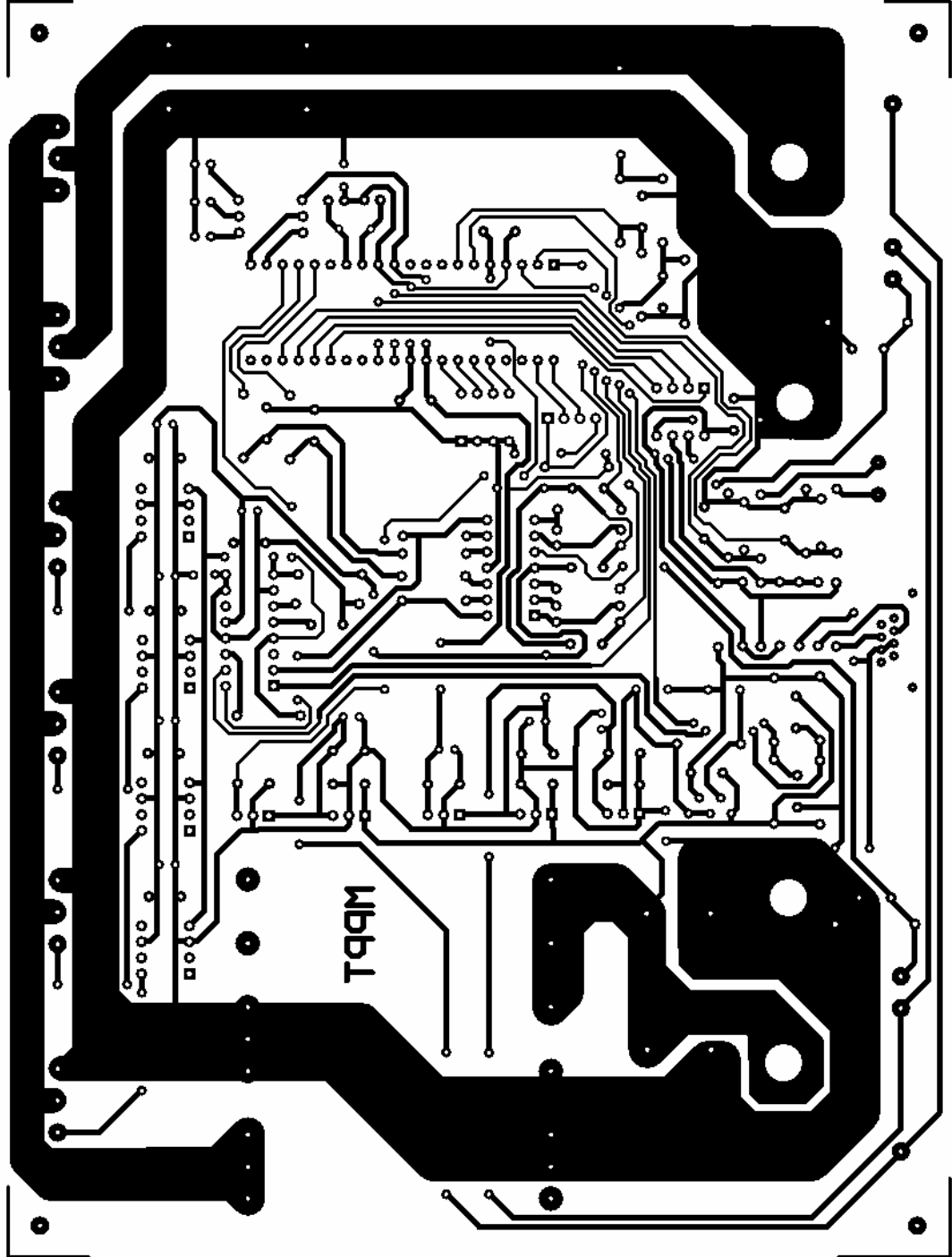


Yazı	Yazı	Yazı
Şirket	İstanbul	Beyoğlu
Yazı	A3	
Yazı	01.06.2006	Şirket
Yazı	01.06.2006	Şirket

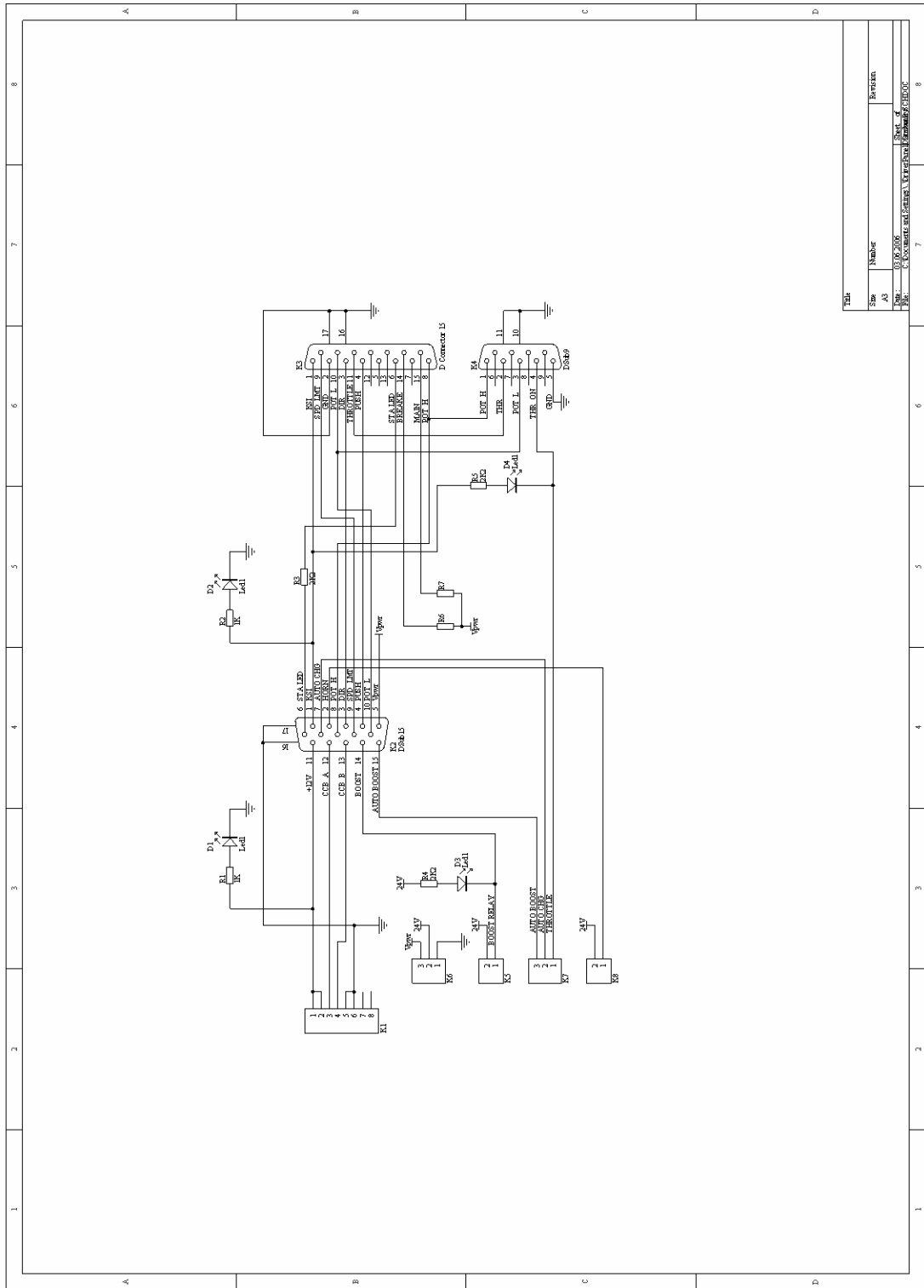
EK C.1 MPPT Devre Şemaları (Devamı)



EK C.1 MPPT Devre Şemaları (Devamı)

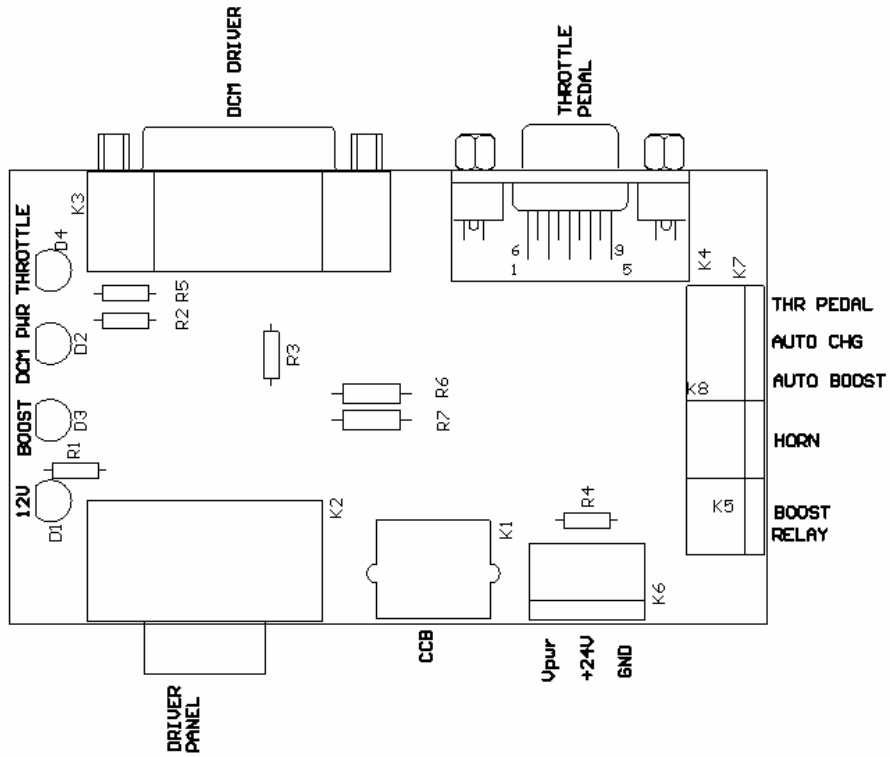
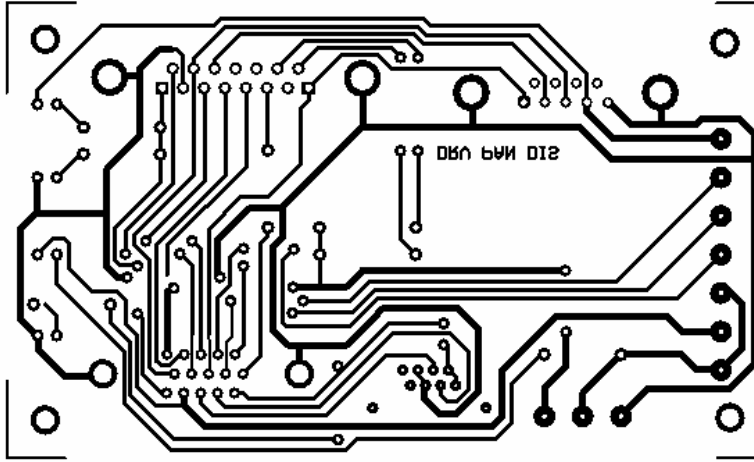


EK C.2 Sürücü Ekranı Devre Şemaları

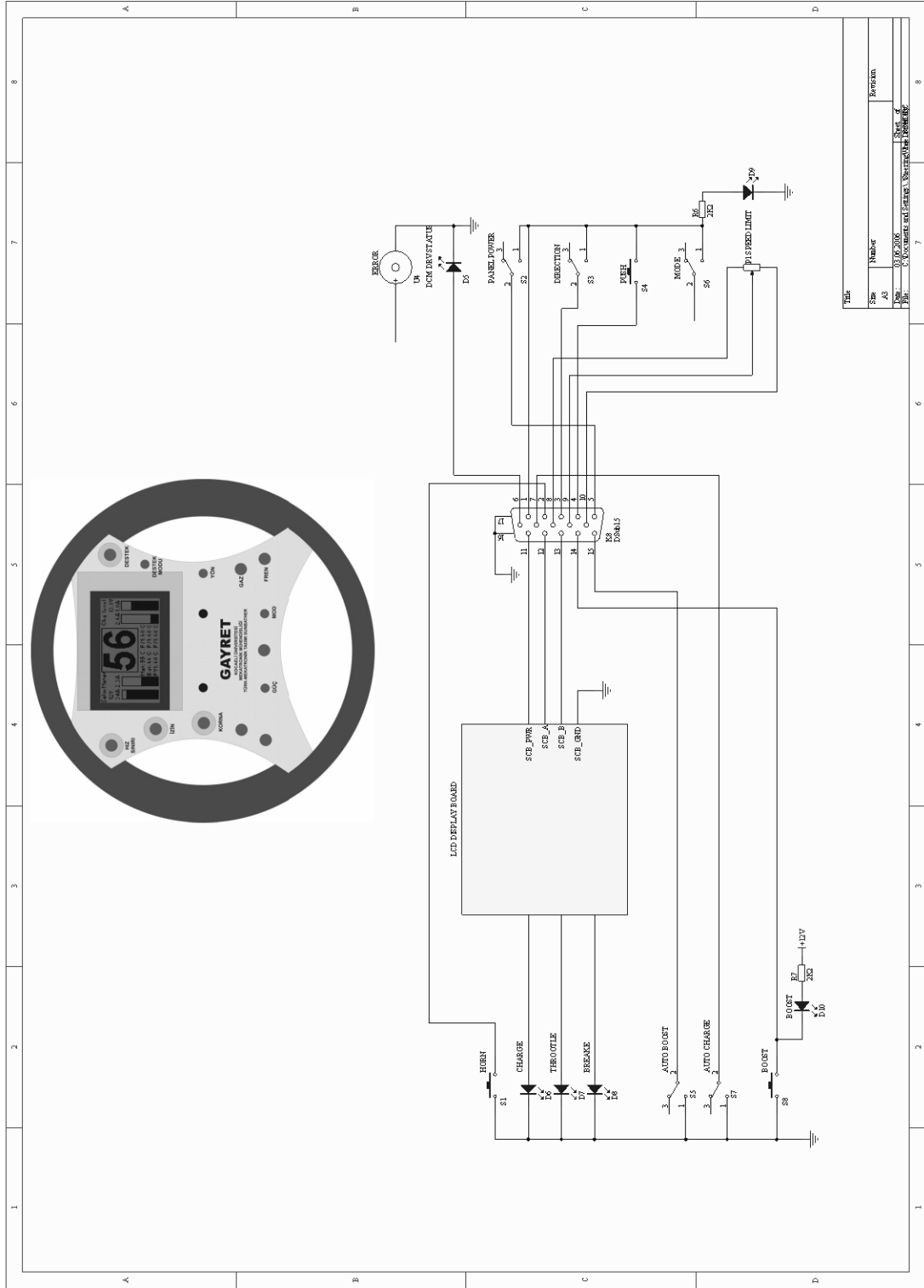


Revizyon	
Revizyon No	Revizyon İçeriği
Revizyon 1	Revizyon İçeriği
Revizyon 2	Revizyon İçeriği
Revizyon 3	Revizyon İçeriği
Revizyon 4	Revizyon İçeriği
Revizyon 5	Revizyon İçeriği
Revizyon 6	Revizyon İçeriği
Revizyon 7	Revizyon İçeriği
Revizyon 8	Revizyon İçeriği

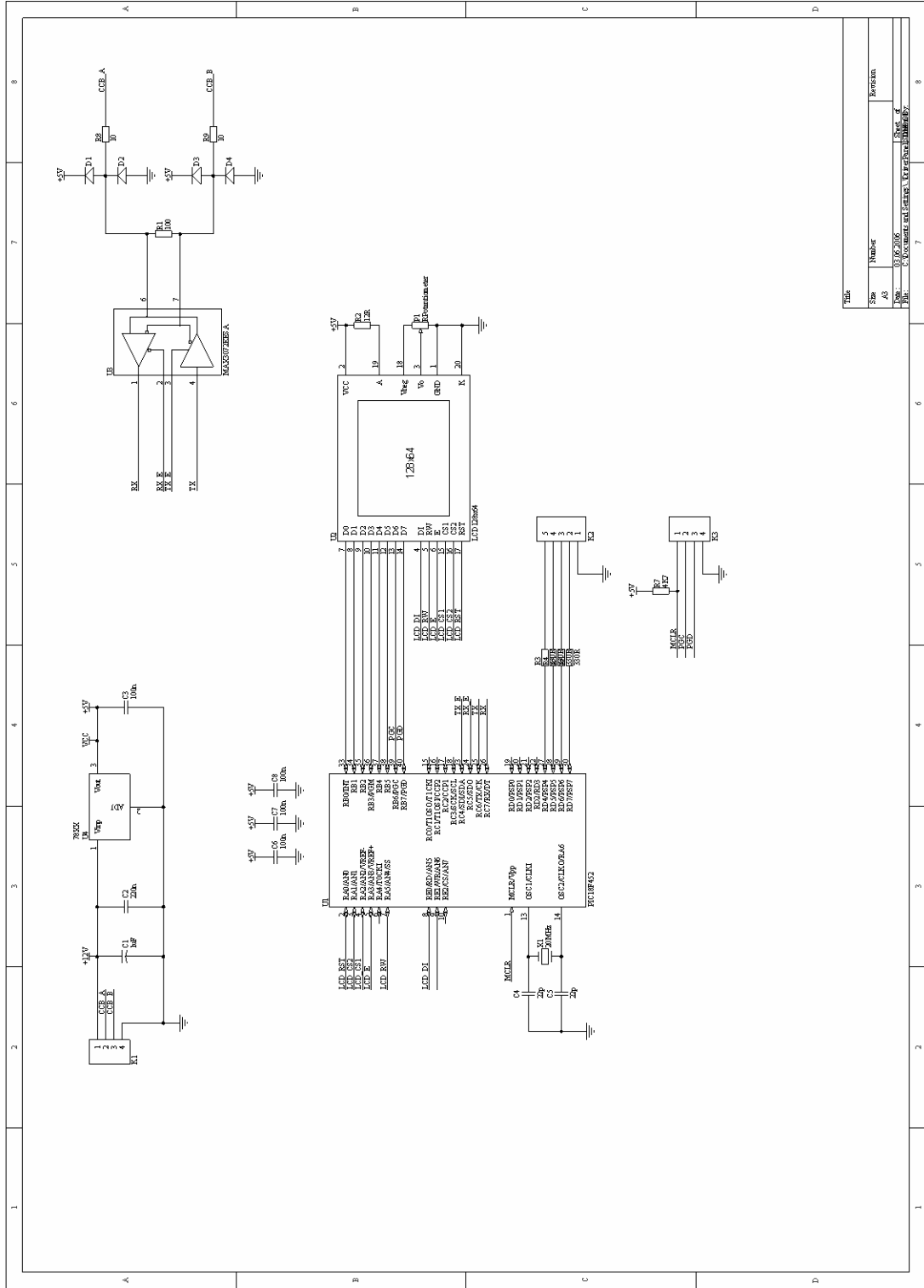
EK C.2 Sürücü Ekranı Devre Şemaları (Devamı)



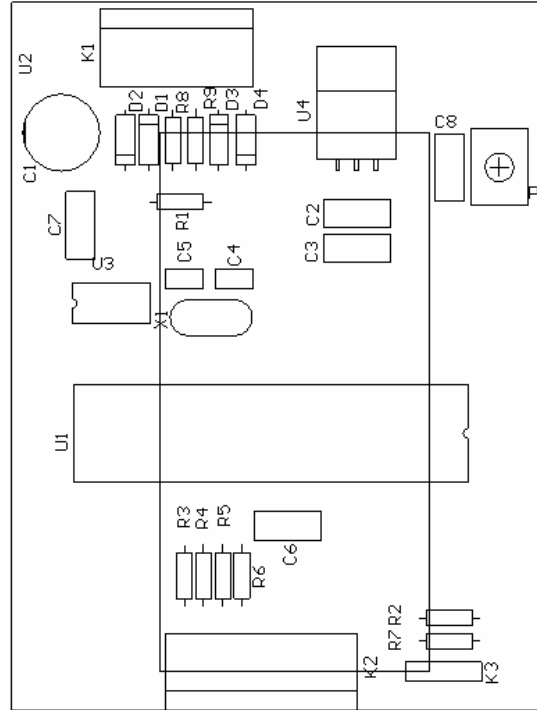
EK C.2 Sürücü Ekranı Devre Şemaları (Devamı)



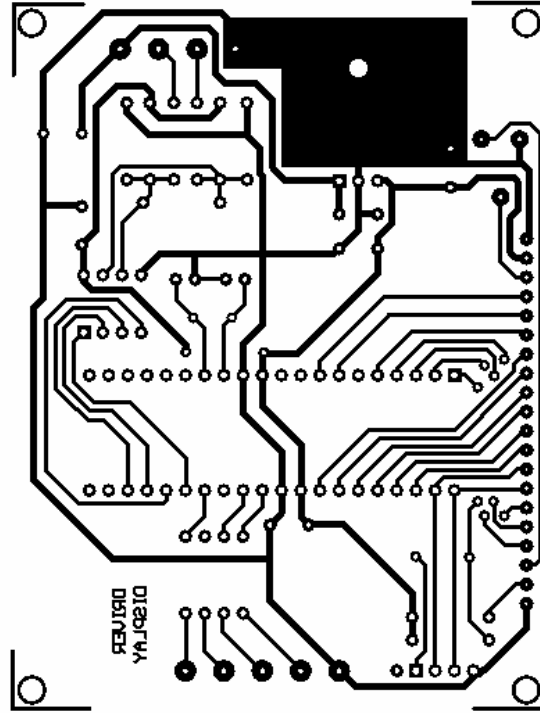
EK C.2 Sürücü Ekranı Devre Şemaları (Devamı)



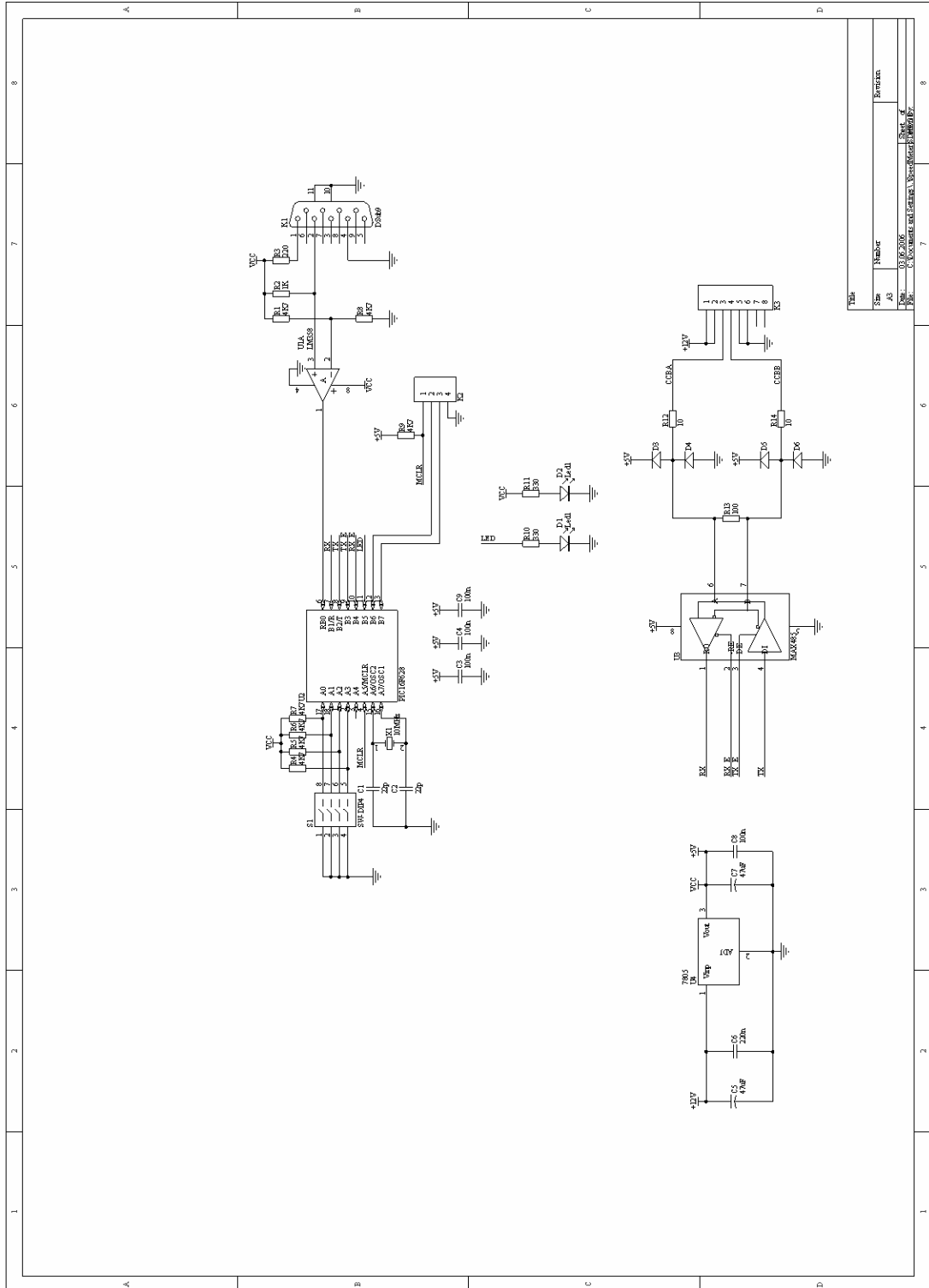
EK C.2 Sürücü Ekranı Devre Şemaları (Devamı)



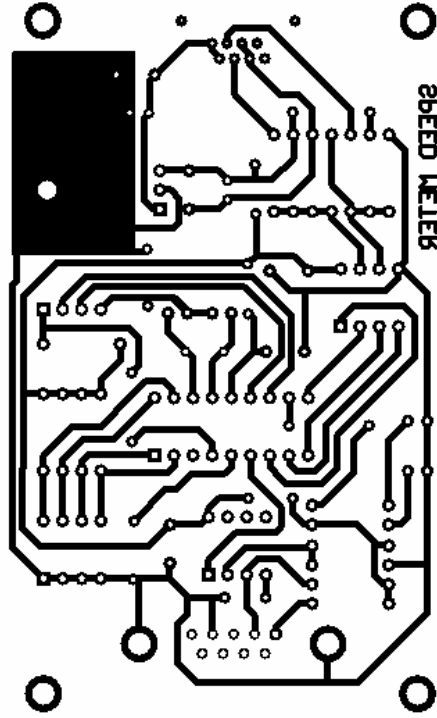
EK C.2 Sürücü Ekranı Devre Şemaları (Devamı)



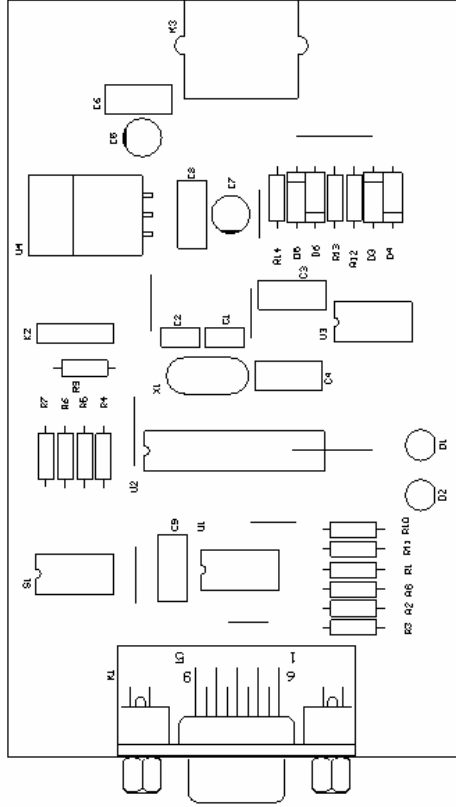
EK C.3 Hız Ölçümü Devre Şemaları



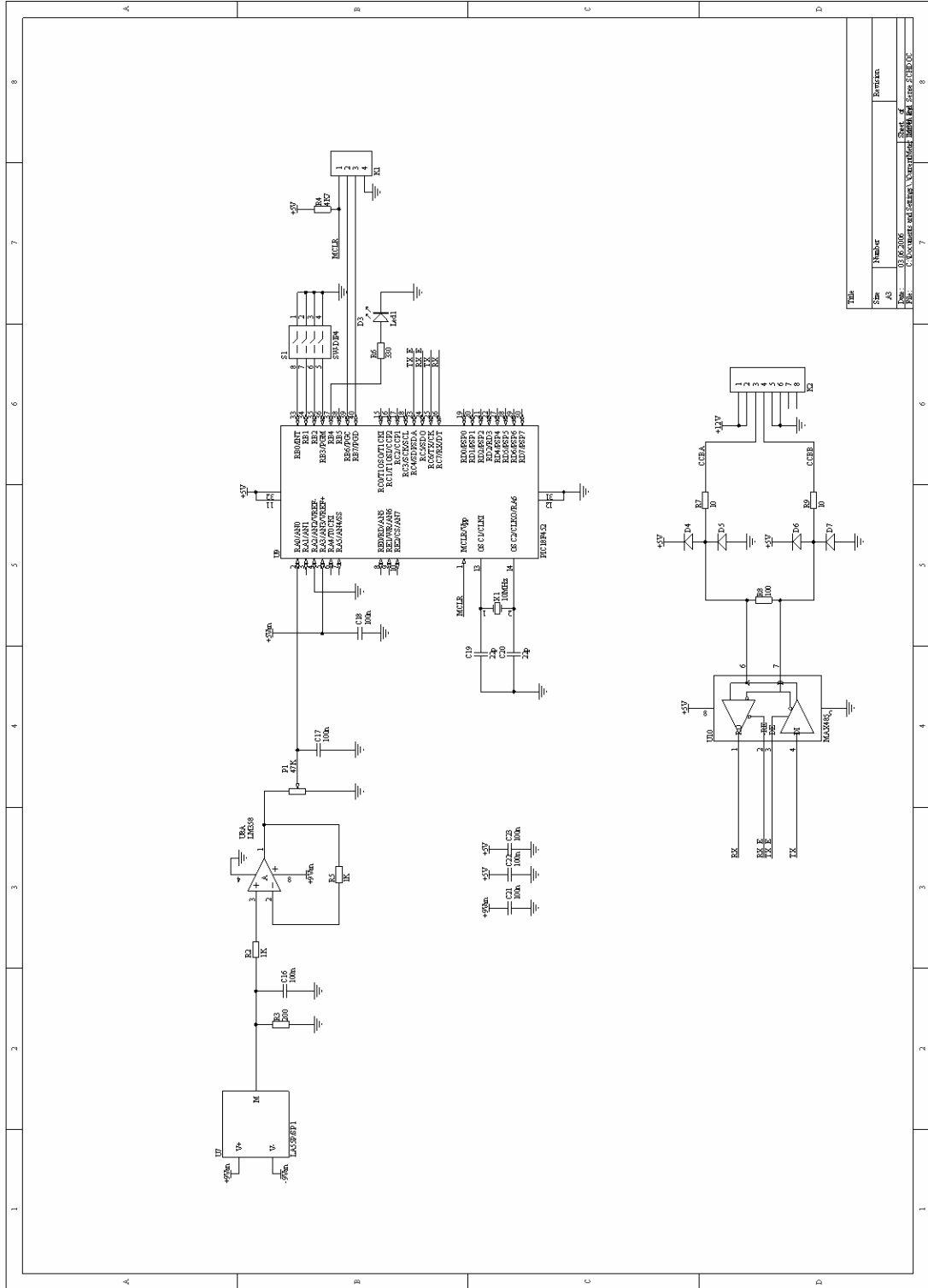
EK C.3 Hız Ölçümü Devre Şemaları (Devamı)



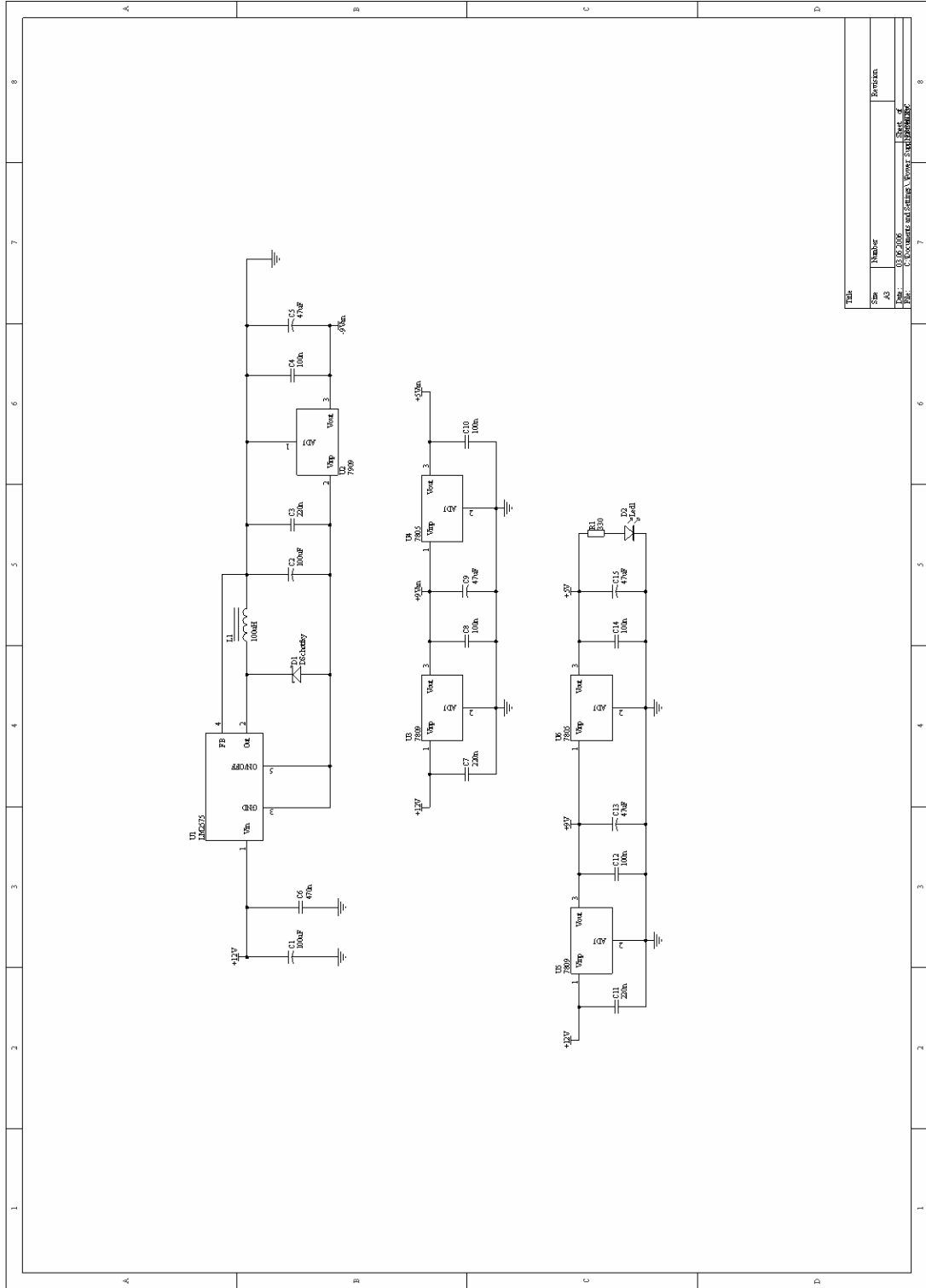
EK C.3 Hız Ölçümü Devre Şemaları (Devamı)



EK C.4 Akım Ölçümü Devre Şemaları

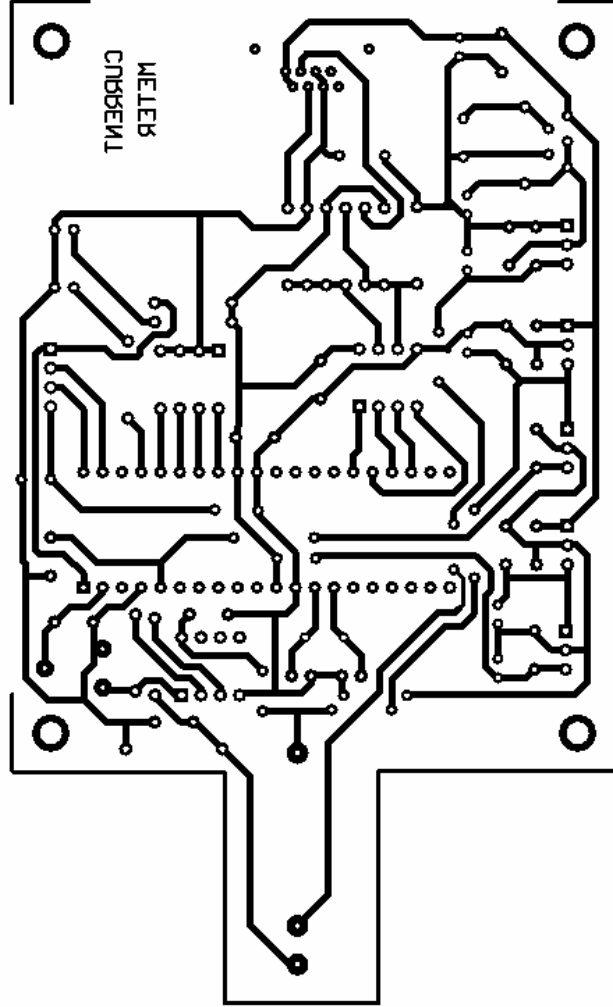


EK C.4 Akım Ölçümü Devre Şemaları (Devamı)

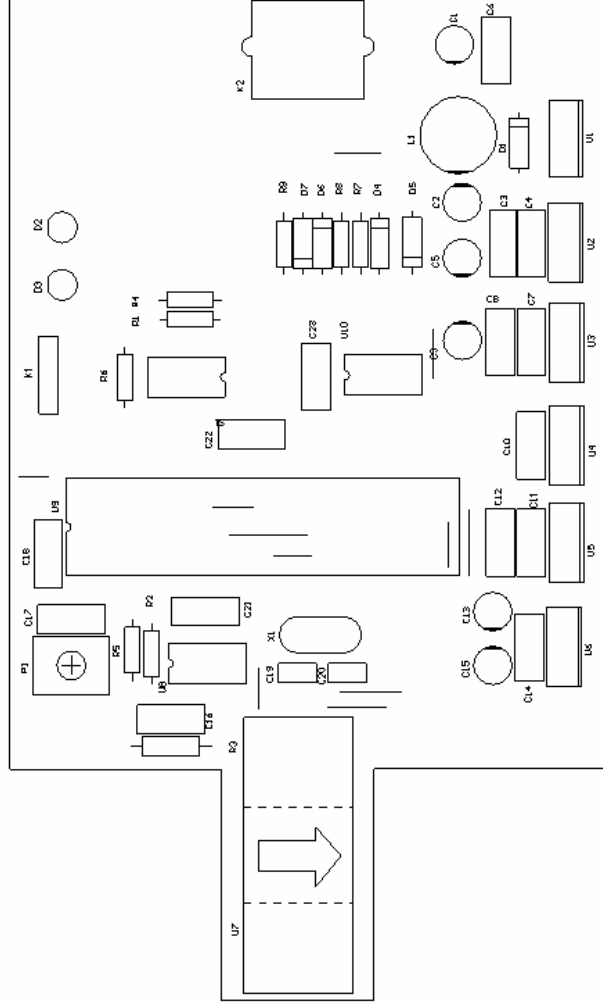


Yazar	
Şirket	Member
AD	Burhan
Yazın Tarihi	03.06.2016
Proje Adı	C:\Document and Settings\Burhan\My Documents\Bilgi\Bilgi.docx

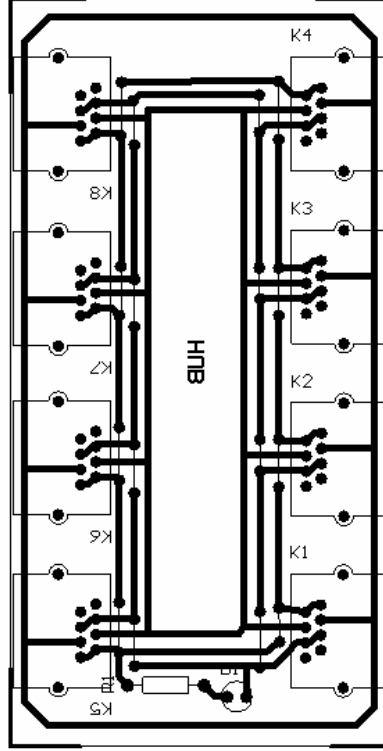
EK C.4 Akım Ölçümü Devre Şemaları (Devamı)



EK C.4 Akım Ölçümü Devre Şemaları (Devamı)



EK C.4 Akım Ölçümü Devre Şemaları (Devamı)



ÖZGEÇMİŞ

29.12.1978 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kocaeli'nin Gebze ilçesindeki 60.Yıl İlköğretim okulunda tamamladı. Lise öğrenimini ise Tuzla Teknik Lisesi Bilgisayar Bölümünde tamamlayarak 1995 yılında mezun oldu. 1996 yılında Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar Öğretmenliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2000 yılında Teknik Bilgisayar Öğretmeni diplomasıyla bu bölümden mezun olduktan sonra endüstriyel seviye ölçüm cihazları üreten Üstel Elektronik adlı firmada Ar-Ge uzmanı olarak çalıştı. 2001 yılında başladığı Bilgisayar öğretmenliği mesleğine İzmit Anadolu Meslek Lisesinde devam etmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.