

**GERİLİM DÜŞÜREN DÖNÜŞTÜRÜCÜ TABANLI
MİKRODENETLEYİCİ DESTEKLİ BAĞIMSIZ GÜNEŞ ENERJİ
SİSTEMİ KONTROL KARTI TASARIMI**

Serdar DEMİRDAĞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2007
ANKARA**

Serdar DEMİRDAĞ tarafından hazırlanan GERİLİM DÜŞÜREN
DÖNÜŞTÜRÜCÜ TABANLI MİKRODENETLEYİCİ DESTEKLİ
BAĞIMSIZ GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİ KONTROL KARTI TASARIMI
adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç. Dr. İres İskender
Tez Danışmanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ömer Faruk BAY
(Elektrik ve Bilgisayar Eğitimi, Gazi Üniversitesi)
Yrd. Doç. Dr. İres İSKENDER
(Elektrik Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi)
Yrd. Doç. Dr. M. Timur AYDEMİR
(Elektrik Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi)

Tarih : 03/10/2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini
onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Serdar DEMİRDAĞ

**GERİLİM DÜŞÜREN DÖNÜŞTÜRÜCÜ TABANLI
MİKRODENETLEYİCİ DESTEKLİ BAĞIMSIZ GÜNEŞ ENERJİ
SİSTEMİ KONTROL KARTI TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Serdar DEMİRDAĞ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2007**

ÖZET

Güneş enerjisinin etkili bir biçimde kullanımı her zaman için insanoğlunun hayali olmuştur. İnsan yerleşiminin yoğun olduğu her bölgede güneş varlığı ile o bölgeye hayat vermektedir. Artık güneş pilleri sayesinde güneş sadece canlılara hayat vermekle kalmamakta aynı zamanda elektronik cihazlarımız için gerekli enerjiyi de sağlamaktadır. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü sayesinde, elektrik enerjisi kullanıldığı yerde üretilmektedir. Güneşe bağlı elektrik enerjisi kullanımının doğal dezavantajı ise gece saatlerinde bu dönüşümün gerçekleşmemesidir. Bu sorun ise yedekleme yöntemlerinin bu sistemlerle bir arada kullanımını gerekli kılmıştır. Sürekli olarak enerjilenmek zorunda olan kritik sistemler için bu iş gelişmiş mikrodnetleyiciler yardımı ile gerçekleştirilir. Bu kontrol sistemleri güneş pillerinin çevirdiği elektriksel enerjinin yüke aktarılmasından sorumludur. Güneş enerjisinin bol olduğu saatlerde bu enerjiyi pillerde depolama işlemini gerçekleştirirler. Gece saatlerinde ise sistem enerjisiz kalmadan pillerdeki enerjinin yüke aktarılmasından sorumludurlar. Bu işlem döngüsel olarak gündüz ve gece ardı ardına sürüp gider.

Bu çalışma kapsamında güneş enerjisinin etkili bir biçimde kullanımı açısından gerekli olan kontrol kartı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu kontrol modülünün işlevinin anlaşılması için güneş pilleri ve enerji dönüşümü tanıtılacak ve bağımsız enerji sistemlerinin vazgeçilmesi olan pillerden bahsedilecektir. Tasarımı gerçekleştirilen kontrol kartı bileşenleri açıklanarak şarj algoritması verilecektir. Sonuç bölümünde ise tasarımı yapılan kontrol kartının amaçlanan işlevlerini yerine getirip getirmediğini gösteren test sonuçları verilecektir.

Bilim Kodu : 905.1.033
Anahtar Kelimeler : Bağımsız güneş enerji sistemi, piller, mikrodenetleyici
Sayfa Adedi : 93
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. İres İskender

**STEP-DOWN CONVERTER BASED, MICROCONTROLLER SUPERVISED
STAND-ALONE SOLAR SYSTEM CONTROL MODULE DESIGN**

(M.Sc. Thesis)

Serdar DEMİRDAĞ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

October 2007

ABSTRACT

Effective utilization of solar energy has always been a dream of human kind. Every area where there is intensive human settlement is vitalized by the sun. Thanks to the solar cells, sun not only vitalize the life of living things, but provides the necessary energy for our electronic devices as well. Through this transformation electric energy is produced at the place it is used. The natural disadvantage of the usage of electric energy depended on the solar energy however is that this transformation does not eventuate at night. This problem requires back up methods to be used together with these systems. For the critical systems which require continues energy supply, this problem may be solved by advanced microcontrollers. These control systems are responsible for transferring the electric energy circuited by the solar cells to the load. They also realize the storage of this energy in the batteries during the day time when the solar energy is high. At night however, they are responsible for transferring the energy at the batteries to the load, so that the system is not run out of energy. This process of cyclic loading persists day and night continuously. Within the context of this study, the design of the control circuit required for the effective use of the solar energy will be realized. For better understanding of the function of this control circuit, the solar energy transformation will be introduced and referred to the batteries as an energy conservation system indispensable for

independent energy systems. Charge algorithm for the lead-acid batteries will be explained. Also the control module designed will be functionally tested.

Science Code : 905.1.033
Key Words : Stand-alone solar systems, batteries, microcontroller
Page Number : 93
Adviser : Assist. Prof. Dr. İres İskender

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. İres İskender'e yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım diğer tüm hocalarıma, halen çalışma hayatımı sürdürdüğüm şirketim, SYS A.Ş., yöneticilerine ve çalışanlarına, her zaman yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. BAĞIMSIZ GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİ	3
3. GÜNEŞ PİLLERİ	7
3.1. Genel Bilgi.....	7
3.1.1. Yapımında kullanılan maddeler	10
3.2. Çalışma Prensibi.....	11
3.2.1. Yarı iletkenlerin katkılanması	15
3.2.2. P-N eklem diyotlar.....	17
3.3. Güneş Pillerinin Matematiksel Modeli.....	20
3.3.1. Basitleştirilmiş tek diyot model denklemi	21
3.3.2. Kısa devre durumu.....	22
3.3.3. Açık devre durumu	23

Sayfa

3.3.4. En büyük güç durumu.....	24
3.3.5. Diyot idealleştirme katsayısı ve seri direnç hesabı.....	25
4. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ	30
4.1. Enerji Depolama Sistemleri	30
4.1.1. Pil çeşitleri.....	31
4.1.2. Kurşun asit piller	32
4.1.3. Kurşun asit pillerde şarj işlemi	33
5. KONTROL KARTI TASARIMI	40
5.1. BQ24721 Şarj Entegresi	41
5.1.1. Simetrik gerilim düşüren dönüştürücü.....	42
5.1.2. VDD dizaynı	43
5.1.3. Bobin seçimi.....	44
5.1.4. Mosfet seçimi	45
5.1.5. Giriş filtre kapasitörü seçimi.....	49
5.1.6. Çıkış filtre kapasitörü seçimi.....	50
5.2. Mikrodenetleyici	51
5.2.1. C8051F352 temel özellikleri.....	51

Sayfa

5.2.2. BQ24721 kontrol kompanzasyon devresi	53
6. BİLGİSAYAR ARAYÜZ PROGRAMI	64
6.1. Konfigürasyon.....	65
6.2. Monitör	66
6.3. Tek Diyot Denklemi	67
6.4. Güneş Paneli Analizör	67
7. SONUÇ	69
7.1. Şarj Evreleri Geçişleri Testi.....	70
7.2. Pili Devreye Sokulma ve Çıkarılması Testi.....	71
7.3. Yükün Çektiği Akıma Bağlı Olarak Şarj Akımını Azaltma	72
7.4. Pil Boşaldığında Pili Devre Dışı Bırakma	72
7.5. Sistem Verimi	73
7.6. Kart Üzerinde Harcanan Güç.....	74
KAYNAKLAR	76
EKLER	77
EK-1 Kontrol kartı baskı devre çizimi	78
ÖZGEÇMİŞ.....	93

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Bazı pil çeşitlerinin özellikleri	31
Çizelge 4.2. Pillerin çalışma ve maliyet karşılaştırmaları [6]	33
Çizelge 5.1. Tasarımı yapılan sistem parametreleri	44
Çizelge 6.1. MODBUS 4X Tablosu	64
Çizelge 6.2. Şarj modu veri toplama ekranı	68
Çizelge 7.1. Şarj evre testi sonuçları	71
Çizelge 7.2. Aktif güç yönetimi	72
Çizelge 7.3. Sistem verimi	73
Çizelge 7.4. Kart üzerinde harcanan güç	74

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bağımsız güneş paneli sistemi.....	4
Şekil 3.1. Güneş spekturumu.....	8
Şekil 3.2. Yarı iletken yapısı	14
Şekil 3.3. Silikon kafes yapısı	16
Şekil 3.4. Silikonun bor ile katkılanması.....	17
Şekil 3.5. Silikonun fosfor ile katkılanması.....	17
Şekil 3.6. P-N eklemi.....	18
Şekil 3.7. Tek diyotlu güneş hücresi elektriksel devresi [4]	20
Şekil 3.8. Basitleştirilmiş tek diyotlu model devresi	22
Şekil 3.9. Kısa devre durumunda tek diyotlu model	22
Şekil 3.10. Açık devre durumunda tek diyotlu model	23
Şekil 3.11. Güneş paneli modeli bilgisayar algoritması	27
Şekil 3.12. Arayüz programı A ve Rs bulunma ekranı.....	28
Şekil 3.13. PV panel matlab simulink modeli.....	28
Şekil 3.14. Matlab-simulink pv model veri girişi.....	29
Şekil 3.15. Modellemesi yapılan panelin I-V karakteristiği	29
Şekil 4.1. Kurşun asit pillerde sıcaklığa bağlı şarj kapasitesi oranı	32
Şekil 4.2. Güneş paneli direk bağlantı modeli	34
Şekil 4.3. Şarj sırasında pilin akım ve gerilim değişimleri	38
Şekil 4.4. Uygulanan şarj algoritması.....	39
Şekil 5.1. Tasarımı yapılan bağımsız güneş paneli sisteminin çalışma şeması	40
Şekil 5.2. Şarj entegresi çalışma diyagramı	41

Şekil	Sayfa
Şekil 5.3. Simetrik voltaj düşüren dönüştürücü	42
Şekil 5.4. Mikrodenetleyici merkezli sistem diagramı	52
Şekil 5.5. BQ24721 kontrol mantık yapısı.....	53
Şekil 5.6. İdeal olmayan simetrik VDD.....	54
Şekil 5.7. Simetrik mosfet şeması	55
Şekil 5.8. Küçük sinyal analizinde anahtar modeli	55
Şekil 5.9. SÇM’da SVDD devre şeması	56
Şekil 5.10. Açık döngü kontrol - çıkış gerilimi kazanç bode çizimi	56
Şekil 5.11. Açık döngü kontrol - çıkış gerilimi faz bode çizimi	57
Şekil 5.12. Açık döngü kontrol – şarj akımı kazanç bode çizimi.....	57
Şekil 5.13. Açık döngü kontrol – şarj akımı faz bode çizimi.....	58
Şekil 5.14. Açık döngü kontrol – giriş akımı kazanç bode çizimi	58
Şekil 5.15. Açık döngü kontrol – giriş akımı faz bode çizimi	59
Şekil 5.16. BQ24721 kontrol kompanzasyon devresi	59
Şekil 5.17. Kontrol döngü şeması.....	60
Şekil 5.18. Kapalı döngü kontrol - çıkış gerilimi kazanç bode çizimi	61
Şekil 5.19. Kapalı döngü kontrol- çıkış gerilimi faz bode çizimi	62
Şekil 5.20. Kontrol- şarj akımı kazanç bode çizimi	62
Şekil 5.21. Kontrol- şarj akımı faz bode çizimi	62
Şekil 5.22. Kontrol- giriş akımı kazanç bode çizimi	63
Şekil 5.23. Kontrol- giriş akımı faz bode çizimi	63
Şekil 6.1. Arayüz program ekranı.....	65
Şekil 6.2. Arayüz konfigürasyon bölümü	65

Şekil	Sayfa
Şekil 6.3. Arayüz monitör bölümü	66
Şekil 6.4. Arayüz güneş paneli analizör bölümü.....	67
Şekil 7.1. Deney düzeneği.....	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Amper (Akım ölçüsü)
Bar	Basınç ölçüsü
eV	Potansiyel fark birimi
mA	Mili amper (Akım ölçüsü)
V	Volt (Gerilim ölçüsü)
W	Vat (Güç ölçüsü)
Kısaltmalar	Açıklama
AMO	Hava kütle sıfır
CO₂	Karbondioksit
O₂	Oksijen
PLC	Programlanabilir lojik kontrolör
RTU	Uzak kontrol ünitesi
SCADA	Yönetmel denetim ve veri toplama
SD	Şarj durumu
SVDD	Simetrik voltaj düşüren dönüştürücü

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasının sorunlarının başında küresel ısınma ve bunun nedeni olarak da hatalı enerji kullanımı gelmektedir. Ne yazık ki insanoğlu sanayi devrimi ile birlikte gelişen yaşam standartlarına kendisini fazlası ile kaptırmış ve çevresi ile uyum içinde yaşamasının birinci kuralı olan doğanın dengesini koruma kuralını hiçe saymıştır. Bugün gelinen noktada dünya basını bir çok çevre örgütünün yıllardır işaret ettiği tehlikeleri sonunda fark etmiştir. Küresel ısınma yıllarca içilen ve bu süre zarfında keyif veren bir sigaranın sonunda vücudun iflasını istemesi gibi artık dünyanın boğazına bıçağını dayamıştır.

Küresel ısınma, adından da anlaşılacağı gibi dünyamızın ısınması anlamına gelmektedir. Dünyanın yegane enerji kaynağı olan güneş ışınları dünyamıza çarparak onu ısıtır. Dünyaya düşen ışınlar kadar yansıyan ışınlar da önemlidir ki asıl sorun yansıyan ışınların atmosferde birikmiş olan gazlara çarparak tutulması ve dünyayı ısıtmasıdır. İnsanoğlu fosil yakıtların kullanımı ile atmosferdeki gaz dengesini bozmuştur ve sürekli olarak da bozmaya devam etmektedir. Atmosferde sürekli olarak CO₂ gaz miktarı artmaktadır. CO₂ gazının O₂ gazına dönüştürmesi gereken ormanlar ise yok olmaktadır. Artan nüfusla birlikte fosil yakıt tüketimi artmaktadır. Doğa dengesini her geçen gün daha hızlı kaybetmektedir. Çözüm basit uygulaması ise son derece zordur. Fosil yakıt tüketimi azaltılmalı ve ormanlar korunmalıdır.

Fosil yakıtlarının kullanımının azaltılması kişiler ve kurumlar tarafından bilinçli olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi ile mümkün olabilir. Güneş enerjisi bunlar içinde en özelidir. En büyük enerji kaynağı olmasına rağmen ne yazık ki şu an en az kullanılandır.

Gerçektende güneşin enerjisi insan oğlunun hayallerinin bile ötesindedir. Ortalama olarak 1.2×10^{17} W güç oluşturacak güneş enerjisi dünyamıza ulaşmaktadır. Bunun anlamı ise bir kaç saat boyunca bu enerjiyi kullanabilirsek dünyanın yıllık enerji ihtiyacını karşılayabileceğimizeyizdir [1].

Güneş pilleri günümüzde elektrik enerjisini ulaştırma maliyetinin yüksek, enerji ihtiyacının ise az olduğu her alanda rakip çözümlere göre çok büyük avantajlar sağlamaktadır. Yönetmel denetim ve veri toplama (SCADA) sistemlerinin vazgeçilmezi olan haberleşme ağının enerji gereksinmelerinin bu yolla sağlanması, dizel jeneratör sistemlerine göre çok daha pratiktir. Ulaşımın zor olduğu bölgelere bakım gerektirmeyen bu sistemlerin kurulumu ilk maliyetinin yüksekliğine rağmen işletmede sağladığı avantajlar nedeniyle yıllardır uygulanmaktadır.

Güneş panelleri çoğunlukla hiç bir enerji hattının bulunmadığı yerlerde kullanılmaktadır. Bu bölgelerde kullanılan sistemler 24 saat çalışmak için tasarlanmış ise güneşin olmadığı gece saatlerinde ya da bulutlu havalarda enerji sıkıntısı çekilmektedirler. Gece saatlerinde kullanılmak üzere gündüz elde edilen enerji kimyasal enerji depolama yöntemi olarak kurşun asit pillerde depolanabilir. Gerekli olduğu takdirde ise bu piller sisteme sokularak ana sistemde her zaman enerji olması sağlanabilir.

Bu çalışma kapsamında doğrusal akımda çalışan yükler için kullanılabilecek bir kesintisiz güneş panel sistemi geliştirilmiştir. Voltaj düşüren dönüştürücü tabanlı bir pil şarj ve kesintisiz güç kaynağı devresi yapılmıştır.

Yapılmış olan çalışmanın ana amacı bağımsız bir güneş paneli sistemi gerçekleştirmektir. Bu sistem bileşenleri olan güneş pilleri, şarj kontrol devresi ve akü ayrıntılı olarak incelenecektir. Ayrıca sistem gerilim ve akım değerleri mikrodenetleyici tarafından alınarak RS232 protokolü ile kişisel bilgisayara gönderilmektedir. Kişisel bilgisayar için Delphi 6 programlama dili ile yazılan bir arayüz programı sayesinde ise sistem hakkında elde edilen bilgiler yorumlanmak üzere kayıt altına alınabilmektedir.

Çalışmanın sunumu için ilk etapta bağımsız güneş enerji sistemleri tanıtılarak bu bahsedilen bileşenler tanıtılacaktır. Bu bileşenler ayrı başlıklarda ayrıntılı olarak irdelendikten sonra gerçekleştirilmiş olan sistemin elde ettiği sonuçlar sunulacaktır.

2. BAĞIMSIZ GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİ

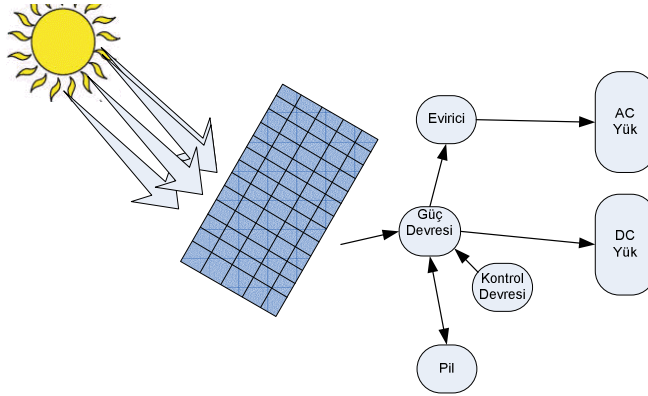
Bağımsız güneş enerji sistemleri aslen genel bir ifade olup güneşten elde edilen her türlü enerjiyi kapsar. Bu çalışmada ise güneşten elde edilen elektrik enerjisi kastedilmektedir. Bu sistemlerin avantajları ve dezavantajları bir kağıda yazılacak olursa iki ana nokta arasındaki hayati önem bu şekilde çalışan bir sistemin tasarımını haklı çıkarabilir. Dezavantaj ilk kurulum maliyetidir, avantaj ise hiç bir kaynağa bağlı olmamasıdır. Bazı uygulamalarda kaçınılmaz olarak tek çözümdür. Uzun çalışmaların bunun en iyi örneğidir.

Güneş panellerinin en büyük avantajı güneş dışında hiç bir kaynağa bağlı kalmadan enerji transferini gerçekleştirmesidir. Kendi içinde kapalı bir sistem olarak tasarlanabilecek güneş panelleri güneş ışığına bağımlı haliyle tüm gün çözüm sunamamaktadır. Bu sorun enerji depolama yöntemleri ve enerji yönetim sistemleri ile çözülmektedir.

Enerji dağıtım hattından belirli bir miktar uzaklıkta, sınırlı bir güce ihtiyaç duyuluyorsa bağımsız enerji sistemleri yeni bir enerji dağıtım hattı inşa etmekten daha ekonomik bir çözüm sunar [6].

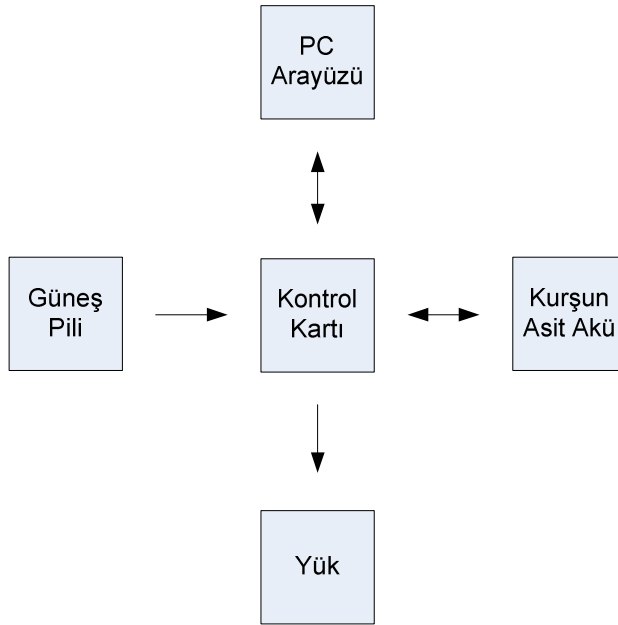
Daha önce de belirtildiği gibi, bu sistemler belirli bir kaynaktan enerji dönüşümü sağlarlar, kaynakların süreksizliği sorununu enerjiyi depolayarak çözmüşlerdir.

Güneş panelleri bağımsız sistem modeli Şekil 2.1’de verilmiştir. Bundan farklı olarak şehir şebekesine bağlı olan güneş enerji sisteminden bahsedilmektedir. Bu çalışma kapsamında AC yük kullanılmayacak ve sistemde bir evirici de bulunmayacaktır.



Şekil 2.1. Bağımsız güneş paneli sistemi

Şekil 2.1’de gösterilen güneş paneli sistemi en genel hali ile bağımsız güneş enerji sistemidir. Burada dikkat edilmesi gereken husus güneş panellerinde doğru akım üretiliyor olmasıdır. Bundan dolayı alternatif akımlı sistem için çevirici kullanılması zorunludur. Bu çalışma kapsamında oluşturulacak sistemin doğrusal yüklerle çalıştığı var sayılacaktır.



Şekil 2.2. Tez çalışmasında gerçekleştirilen bağımsız güneş enerji sistemi

Şekil 2.2’de görülmekte olan bloklar Bölüm 2-4 boyunca ayrıntılı olarak irdelenecektir. Bu bölümde sadece bu modüller hakkında kısa bilgi verilecektir.

Güneş pili bağımsız güneş enerji sisteminin kalbidir. Sistem için gerekli enerjinin kaynağını oluşturur. Bu sistemin en pahalı bileşeni olan güneş pilinin gücü yüke bağlı olarak seçilmelidir. Gereğinden güçlü bir panel sistem maliyetini artırmaktadır. Eğer sistemi beslemeye yetmeyecek bir güneş paneli seçilecek olursa da yapılmaya çalışan güneş enerji sistemi başarısızlığa uğrayacaktır. Bizim üzerinde çalıştığımız sistem yaklaşık olarak 100 W’lıktır.

Kontrol kartı bütün sistemin beyni olup başlıca görevleri;

- Güneş panelinden alınan enerjinin kontrollü olarak aküye verilmesi.
- Güneş paneli geriliminin regüle edilerek yüke uygulanması.
- Sıcaklık ölçümü yaparak akünün tam şarj edilmesinin sağlanması.
- Analog digital dönüştürücüler yardımıyla kart üzerindeki gerilim ve akım bilgilerinin elde edilerek bilgisayar ortamına sunulması.
- Güneş enerjisinin sistemi beslemeye yetmediği durumlarda aküyü devreye alarak sistemin enerjisiz kalmasının önlenmesi.

Bu sayılan amaçların gerçekleştirilmesi için, bir şarj entegresi, anahtarlamalı güç kaynağı entegresi ve bütün bu işlemleri kontrol eden bir mikrodenetleyiciden oluşan kontrol kartı tasarımı yapılmıştır.

Sistemin enerji depolama birimi olarak kurşun asit akü seçilmiştir. Bunun nedeni maliyetinin diğer kimyasal depolama yöntemlerine göre oldukça az olmasıdır. Akülerin şarj algoritması oldukça karmaşık olabilmektedir Gerçekleştirilen çalışmada sabit akımda şarj algoritması kullanılmıştır. Akünün tam olarak şarj edilebilmesi için sıcaklık ayarlaması da yapılmaktadır. Bu işlem için kontrol kartı üzerinde bir adet çift telli PT100 sensör girişi bulunmaktadır. Akü çeşitleri ve şarj algoritması ileri bölümlerde ayrıntılı olarak irdelenecektir.

Sistem için düşünölen yük yaklaşık olarak 30W'lık enerji sarfiyatı olan bir RTU sistemidir. Bu sistem, su taşıma hatlarında bulunan ve merkeze, taşınmakta olan suyun sıcaklık, basınç gibi bilgilerin gönderilmesini sağlayan RTU sistemlerinin enerji ihtiyacının karşılanması için kullanılabilir. Çoğu zaman enerji hatlarının uzağında kurulması gereken bu üniteler için enerji kaynağının güneş paneli olması ilk maliyet olarak çok görülse de uzun vadede oldukça makul bir çözüm sunar. Yüksek enerji gerektiren sistemler için ise geliştirilen bu kontrol kartı modülü paralel olarak güneş pillerine bağlanarak toplam güç artırılabilir.

PC arayüz programı ile geliştirilen sisteme ait veriler bilgisayar ortamına alınabilir. Bu sayede sistem bilgileri daha sonra yorumlanmak üzere saklanabilir. Günlük enerji üretimi ve ihtiyacı bu sayede gözlemlenerek çalıştırılan sistem hakkında bilgi elde edilebilir. RTU ile haberleşme yapılarak bu veriler merkeze gönderilebilir, bu sayede sistem enerjisiz kalmadan sorun tespit edilerek müdahale edilebilir.

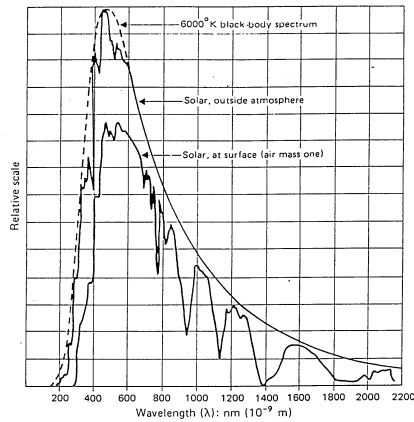
Bu bahsedilen 4 modül birlikte çalışarak bağımsız güneş enerji sistemini oluşturur. Çalışma kapsamında bir kontrol devresi geliştirilmiştir, geliştirilen kontrol devresinin anlaşılabilmesi için bu kontrol devresinin enerji kaynağı olan güneş paneli ve hedefi olan akü ayrıntılı olarak irdelenecektir. Daha sonra kontrol devresi tanıtılarak işlevsel olarak çalışması sunulacaktır.

3. GÜNEŞ PİLLERİ

3.1. Genel Bilgi

Yaşamın kaynağı olan güneş, doğanın enerjisinin büyük bir bölümünü sağlar. Çapı yaklaşık 1,4 milyon km olan ve iç çevresinde çok yoğun gazlar bulunan güneşin dünyamızdan uzaklığı 150 milyon km'dir. Güneşin merkezindeki sıcaklık milyonlarca dereceye ulaşırken, yayımlanan ışıının spektrumunu belirleyen yüzey tabakasının (fotoser) sıcaklığı 6000 °K'dir. Sıcak cisimlerden ışıının, elektromagnetik özelliğe sahip olup gücün spektral dağılımı (birim dalga boyunda birim alana birim zamana gelen enerji) sıcaklığın bir fonksiyonudur [1].

Yeryüzüne diğer yıldızlardan da elektromagnetik spektrumun değişik aralıklarında enerji gelmektedir; ancak, yer kürenin temel enerji kaynağı güneş olup, yer küreye gelen ışıının büyükçe bir bölümü görünür bölgededir. Enerji taşıyan birimler gibi düşünülebilecek fotonlar, spekturumun görünür bölgesinin kırmızı yanında daha küçük enerji, mavi-mor yanında daha büyük enerji taşırlar. Seçilen bir dalga boyundaki fotonun taşıdığı enerji ve o dalga boyunda birim yüzeye birim zamanda gelen foton sayısı, seçilen dalga boyundaki gücü tanımlar. Dünyamıza güneşten gelen ve spekturumun kırmızının ötesinde kalan kızıl-ötesi ve morun ötesinde kalan mor ötesi bölgelerinde bulunan ışıının da toplam enerjiye önemli bir katkısı vardır. Güneşin gücü, yani bir saniyede güneş sistemine verdiği enerji çok büyük olmasına karşın, yer küre atmosferinin dışına ulaşan tutar yalnızca küçük bir bölümüdür. Güneş ışıının havaküreyi geçerken uğradığı değişimin bağlı olduğu değişkenlerin sayısı oldukça çok olmasına karşın, en önemli değişken, ışığın havakürede aldığı yolun uzunluğudur. Şekil 3.1'de 6000K sıcaklığında siyah bir cismin ışımasının spekturumu, atmosferin hemen dışındaki ve yeryüzündeki güneş ışıınının spektral dağılımı karşılaştırılmaktadır [1].



Şekil 3.1. Güneş spektrumu

Genellikle güneş ışınımı değerlendirilirken atmosfer dışındaki bir nokta seçilen başvuru noktası olarak ele alınıp buna hava kütle-sıfır (air mass 0) AMO adı verilir. Havaküre dışında birim yüzeye gelen toplam güç, tüm spektrumun üzerinden entegre edilirse, ulaşılan değer 13267 W/m^2 olup bu değer “güneş değişmezi” olarak kullanılır [1].

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, güneş ışınları havaküreyi geçerken spektrumları önemli ölçüde değişikliğe uğrar. Bulutsuz ve güneşli bir havada bile güneş ışınları havaküreyi geçerken su buharı, oksijen, karbondioksit, ozon, azot, metan gibi gaz moleküllerinin yanı sıra, aerosol ve toz zerreciklerinde de saçılmasından dolayı yeryüzüne ancak havaküre dışındaki enerjinin %70’i ulaşır. Dünya üzerindeki açık bir havada deniz düzeyinde optiksel hava-kütle, güneş ışınlarının aldıkları gerçek yolun, güneş tam tepedeyken aldıkları yola oranı olarak tanımlanır. Örneğin güneş tam tepedeyken bu değer “hava-kütle 1” olarak verilir. Yeryüzüne düşen güneş ışınları, doğrudan güneşten gelen ve havakürede saçıldıktan sonra yayınıma uğramış ışınların toplamıdır. Hava koşullarına bağlı olarak doğrudan güneşten gelen ışınların, saçılmış ışına oranı değişir; örneğin, bulutlu bir günde, güneş ışınımının önemli bir bölümü saçılmış ışınlardan oluşurken, güneşli bulutsuz bir günde güneş enerjisinin büyük bir kısmı doğrudan gelen ışınlardan oluşacaktır. Doğrudan ve yayınlık ışınımın toplamı, küresel ışınım olarak adlandırılır. Fotovoltaik sistemlerin seçiminde, güneş ışınımının verileri büyük önem taşır. Güneş pillerinin verimliliğinin, yani gelen

güneş enerjisinden hangi oranda elektrik enerjisi elde edildiğinin belirlenmesi için yapılan ölçülerde kullanılan standart, güneş ışınımının hava kütle 1.5 (AM1.5) spektrumu sağlaması, 1kW/m² güç yoğunluğunda olması ve modüllerin ölçümler sırasında 25 °C de tutulmasıdır [1].

Fotovoltaik olarak adlandırılan olay ışığın gerilim yaratmasıdır. Bu olayı ilk kez 1839 yılında Becquerel elektrolit çözeltisi içerisindeki elektrotların arasındaki gerilimin üzerine gelen ışığa bağlı olarak değiştiğini tespit ederek ortaya koymuştur. Çözelti içerisindeki bu olayın benzeri, katılar arasında 1976 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından selenyum kristalleri üzerinde ortaya konmuştur. Daha sonraki yıllarda ise bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotlar fotoğrafçılık alanında kullanılmıştır. Bu yıllarda güneş enerjisinin dönüşüm verimliliği oldukça sınırlıydı. Yaklaşık olarak %1 seviyelerindeki enerji dönüşüm verimliliği Chapin'in silikon kristali üzerindeki çalışmalarıyla 1954 yılında %6'ya ulaşarak etkili olmaya başlamıştır. Bu çalışma ilk güneş pili olarak kabul edilebilir. Ancak tahmin edilebildiği gibi bu hali ile oldukça verimsizdir. Enerjinin başka kaynağı olmadığı ve güneşin tek seçenek olduğu uzayda güneş pillerinin kullanılması bu yıllardan sonra başlamıştır.

1973 yılındaki petrol bunalımına kadar güneş enerjisi çalışmaları sürdürüldüyse de bunalım yılları gelişmiş ülkeleri petrol dışındaki kaynaklara yönlendirerek güneş pilleri çalışmalarını hızlandırmıştır. A.B.D., Japonya ve Avrupa ülkelerinde büyük bütçeler bu konuya ayrılmıştır. Amaç silikon kristallerine dayalı güneş pillerinin verimliliğini arttırmak, bir yandan da alternatif olarak daha az maliyetli yarı iletken malzemeler geliştirmektir.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmenin, basit, çevre dostu olan fotovoltaik sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi, maliyetinin düşürülerek yaygınlaştırılması misyonu uzun yıllar üniversitelerin yüklendiği ve yürüttüğü bir görev olmuş ve bu nedenle hep laboratuarda kalan bir çalışma olarak kalmıştır. Ancak son yirmi yılda dünya genelinde çevre konusunda duyarlılığın artmasına bağlı olarak kamuoyundan gelen baskı, çok uluslu büyük şirketleri fosile dayalı olmayan yeni ve yenilenebilir

enerji kaynakları konusunda çalışmalar yapmaya zorlamışlardır. Büyük şirketlerin devreye girmesiyle fotovoltaik piller konusundaki teknolojik gelişmeler ve güç sistemlerine artan talep ve buna bağlı olarak büyüyen üretim kapasitesi, maliyetlerin hızla düşmesini de beraberinde getirmiştir. Yakın geçmişe kadar alışla gelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaştığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görülmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek sosyal maliyet göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemler fosile dayalı sistemlerden daha ekonomik olarak değerlendirilebilir [2].

3.1.1. Yapımında kullanılan maddeler

Kristal silisyum

Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen tek kristal silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristal silisyum güneş pilleri daha ucuza mal olmakta, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır [3].

Galyum arsenit (GaAs)

Bu malzemeye laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcılı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemli GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde kullanılmaktadır [3].

Amorf silisyum

Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Silisyum pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 seviyesindedir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş pilinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir [3].

Kadmiyum tellürid (CdTe)

Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir [3].

Bakır indiyum diselenid (CuInSe₂)

Bu çok kristal pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir [3].

Optik yoğunlaştırıcı hücreler

Gelen ışığı 10-500 kat kadar yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlar ile, modül verimi %17, pil verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır [3].

3.2. Çalışma Prensipleri

Güneş pilleri, güneş-elektrik çevriminin kalbi olup, optiksel ve elektriksel özellikleri bu dönüşüme uygun olarak seçilen yarı iletken malzemeden yapılmış diyotlardır. Bir önceki bölümde verildiği gibi, yeryüzünde herhangi bir bölgede birim alana gelen güneş enerjisinin tutarını ve spektrumunu etkileyen değişkenler, coğrafyadan

başlayıp, topografya, iklim koşulları, hava kirliliğine kadar giden geniş bir aralıkta yer alır. Ancak, birim alana gelen güneş enerjisinin hangi oranda elektrik enerjisine dönüştürülebileceğini belirleyen, güneş pillerinin verimliliğidir [2]. Verimliliği etkileyen değişkenleri tartışmadan önce, güneş pilleri ile ilgili temel kavramların da kısaca ele alınması uygun olacaktır.

Güneş pilleri, ilke olarak, bugün hayatın her kesimine girmiş olan elektronik düzeneklerin içerisinde kullanılan ve çok küçük boyutlara sahip yarı-iletken diyotların, geniş yüzey alanlara uygulanmış şeklidir. Kullanılan malzeme, üretim şekilleri ve diyotların çalışma ilkeleri, temelde benzerdir. Elektronik sanayinin gözde malzemesi silisyum kristali, bugün ticari olarak satın alınabilecek güneş pillerinin çoğunluğunun üretiminde kullanılmaktadır [1].

Madde içerisinde elektriksel yük taşıyıcılarının devinimleri göz önüne alınarak malzemeler, üstün iletken, iletken, yarı-iletken ve yalıtkan olarak sınıflandırılabilir. Bütün maddelerin atomlardan yapılmış olduğu gerçeğinden yola çıkarsak, malzemelerin özellikleri ve elektriği ne şekilde ilettiği, malzemeyi oluşturan atomların düzenlenişlerine sıkı sıkıya bağlıdır. Basite indirgenmiş bir anlatımla, atom, artı (+) elektrik yüküne sahip protonları ve elektrik yüküne sahip olmayan nötronları içerisinde bulunduran bir çekirdek ile onun çevresinde dolanan eksi (-) yüklü elektronlardan oluşmuştur. Atomda, proton sayısı elektron sayısına eşittir ve dışarıya karşı elektrik yükü sıfır, yani yüksüzdür. Çekirdekten uzaklaştıkça elektronların çekirdekle olan bağları zayıflar. Maddenin yapısını belirleyen, çekirdekten en uzakta bulunan elektronlardır. Değerlik elektronu olarak adlandıracağımız bu elektronlar, iyi bir iletken olan metallerde, komşu atomlar arasında kolayca hareket ederler. Bulundukları enerji düzeyinden daha yüksek enerji düzeylerine çıkmadan metal içerisinde rahatça dolaşan bu elektronlara serbest elektronlar adı verilir. Metal malzemedeki serbest elektronlar, elektrik yükünün iletilmesinde iyi birer taşıyıcı olmalarına karşın, fotovoltaiik dönüşüm için uygun birer araç değildirler. Bunun temel nedeni, basit terimlerle, serbest elektronun, gelen ışığın frekansına kolayca cevap vererek ışığı geri yansıtması ve metallerde

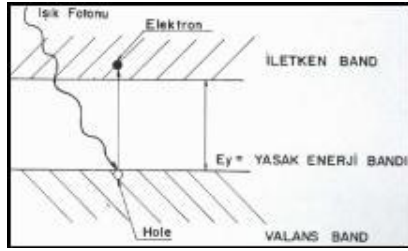
elektronları artı (+) yüklerden ayrı tutabileceğimiz bir enerji aralığının bulunmamasıdır [2].

Yarı iletkenlerde ve yalıtkanlarda değerlik elektronlarının bulunduğu enerji düzeyi ile bu elektronların bulunabileceği bir sonraki enerji düzeyi arasında bulunan enerji düzeyleri, elektronların bulunmasının yasak olduğu enerjilerdir. Değerlik elektronlarının bulunduğu enerji bandında Değerlik Bandı ve yasak enerji aralığından sonra elektronların bulunabileceği ilk enerji düzeylerinden başlayan enerji bandına da İletkenlik Bandı adı verilir. Yasak enerji aralığının büyüklüğü, maddenin yarı-iletken ya da yalıtkan olarak sınıflandırılmasının ölçüsüdür. Güneş ışınımında enerji taşıma birimleri olarak tanımladığımız fotoların enerjisi, yasak enerji aralığında eşit ya da ondan büyük ise, değerlik bandındaki bir elektrona enerjisini aktararak onu iletken bandına çıkarır. Yasak enerji aralığı 2.5 eV değerinden daha büyük ise madde yalıtkandır. Güneş ışık spektrumunda enerji 2.5 eV (dalga boyu 0,5um) değerinden daha büyük olan bölgedeki güneş ışınlarının tutarı çok az olduğundan, bu tür malzeme de fotovoltaik çevrimde soğurucu tabaka olarak kullanılmaya uygun değildir [1].

Yürütülen tartışmanın ışığında, fotovoltaik dönüşümde güneş ışığını soğuracak malzemenin, yasak enerji ağırlığı güneş spektrumu ile uyumlu ve elektrik yüklerinin biri birinden ayrılabilmesine izin verebilecek yarı-iletken malzemeden olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır [1].

Güneş enerjisini taşıyan enerji paketleri “fotonlar” tümüyle doğru bir modelleme olmasa da, kavramların anlaşabilmesi için bilyeler gibi düşünülebilir. Güneş spektrumunun mavi yanında enerjisi yüksek fotonlar, bir benzetme ile büyük bilyalar ve kırmızı yanında düşük enerji fotonlar yani, küçük bilyalar olduğu düşünülebilir. Fotonlar, bilyaların çarpışmasına benzer olarak, madde içerisindeki elektronla çarpışarak enerjilerini aktarırlar. Fotonun aktardığı enerji ile elektron, enerjisini artırarak daha yüksek enerjilere tırmanmaya çalışır. Eğer aktarılan enerji, yasak enerji aralığını aşmaya yeterli ise, elektron, içinde bulunduğu değerlik bandından ayrılarak iletkenlik bandına çıkar. Elektron, ait olduğu atomu terk etmiş olacağından,

geride dengelenmemiş bir artı yük kalacaktır. Değerlik bandında kalan bu artı (+) yüke, “boşluk” ya da “deşik” adı verilir. Sonuç olarak, yarı-iletken üzerine düşen fotonun enerjisi, enerji aralığına eşit ya da büyük ise, bir elektron-boşluk çifti yaratılmış olunur. Yasak enerji aralığından daha küçük enerjiye sahip enerjiler elektron-deşik çifti yaratmaya yetmez ve fotovoltaiik dönüşüme katkıları yoktur. Yasak enerji aralığından daha büyük enerjiye sahip fotonlar iletkenlik bandı içerisinde yüksek enerjilere tırmanırlar ancak saniyenin milyon kere milyonundan bile daha kısa sürede iletkenlik bandından en küçük enerjili bölgesine geri dönerek, fazla enerjisini ısı enerjisi olarak yarı iletkene verirler. Şekil 2.1’de elektron-boşluk çifti yaratılmasını göstermektedir [2].



Şekil 3.2. Yarı iletken yapısı

Güneş ışınları kullanarak, maddede yaratılacak elektron-boşluk sayısının en büyük değeri alması, güneş spektrumu ile yarı-iletkenin bant aralığının uygun seçilmesi ile sağlanır. Bant aralığı 1.4eV ve 1.6eV arasındaki yarı-iletkenlerin fotovoltaiik çevirimde en uygun malzeme olduğu açıktır. Ancak, yarı-iletkenin diğer optiksel özelliklerinin de bu seçimde büyük önemi vardır. Yarı-iletkenin soğurma katsayısı (güneş ışığının malzeme içerisinde birim uzunluk başına soğurulma miktarı) büyük ise, güneş ışınları daha küçük bir uzaklıkta soğurulacaktır [2].

Buraya kadar olan tartışmalarımızda güneş ışığı altında bant aralığı uygun seçilmiş bir yarı iletkenle elektron-boşluk çiftlerinin ortaya çıkacağını gördük. Ancak, iletkenlik bandına çıkmış elektronlar, burada saniyenin milyonda biri basamağında bir süre kalıp, değerlik bandına geri dönme eğilimindedirler. Elektronların iletkenlik bandında kaldıkları süreye “ömür süresi” adı verilir. Eğer iletkenlik bandına çıkmış elektronlar (eksi yükler) ömür süreleri içerisinde boşluklardan (artı yükler) bir etki

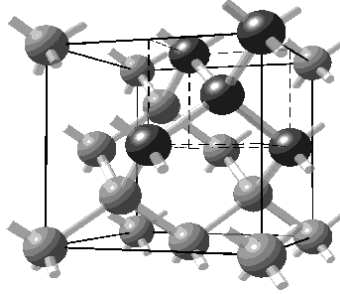
nedeni ile ayrılmazlar ise, elektriksel akıma ve sonuçta güneş-elektrik dönüşüme katkısı olmayacaktır. Olayın anlaşılabilmesi için basit bir benzetme yapmaya çalışalım. Bahçemizde çimenlerin ortasına bir havuzun olduğunu düşünün. Havuzun üzerinde, yüksekte yerleştirdiğiniz fakat tabanın bir yanında delikler bulunan bir depomuz olsun. Havuzdan depoya sürekli su pompalıyoruz, ancak su aynı deliklerden havuza geri dönüyor. Eğer depoyu, delikli bölüm yukarıya gelecek şekilde eğilendirip alt uçtan bir boru ile suyu çimenlere yönlendirirsek, havuzdaki suyu çimenleri sulamakta kullanabiliriz. Yarı iletkenlerde, havuzdaki suyu depoya pompalama işini, yani değerlik bandındaki elektronları iletkenlik bandına çıkarma işini fotonlar yapmaktadır. Ancak depoya eğim vermekle oluşturduğumuz yerçekimi kuvveti etkisinin yerini alarak elektronlara bir kuvvet uygulama görevini yapacak ve suyun akmasına benzer bir biçimde elektronların akmasını sağlayacak bir sisteme gereksinim vardır. Güneş pillerinde, elektron-boşluk çiftlerinin birbirlerinden ayrılarak, akımın oluşumunu sağlayacak kuvvet, elektriksel iletkenlik karakteristikleri birbirlerinden farklı olan yarı-iletkenlerin bir araya getirilmesiyle yapılan yarı-iletken diyotların ara yüzey bölgesinde oluşan elektrik alanı ile oluşur. Fotovoltaik çevirimde en çok uygulanan, p-tipi yarı iletken ile n-tipi yarı iletkenin oluşan p-n eklem diyotlarıdır. Bundan sonraki bölümlerin anlaşılabilmesi için yarı iletkenlerin katkılanması ve iletkenlik tipleri kısaca özetlenecektir.

3.2.1. Yarı iletkenlerin katkılanması

Yarı-iletken malzemenin içerisine, çok az tutarda uygun seçilmiş yabancı atom katkılanması ile yarı-iletkenin elektriksel özellikleri önemli ölçüde değiştirilebilir. Saf yarı-iletkenin yapısal özelliklerini bozmayacak tutarda ve denetimli bir biçimde yarı-iletken kristale yerleştirilen yabancı atomlara “safsızlık-atomları” ve bu işlemede “katkılanma” adı verilir [2].

Katkılamayı daha iyi açıklamak için çoğunlukla kullanılan örnek silisyum kristalidir. Saf silisyum kristalinde her atom 14 elektrona sahip olmakla birlikte, en dış yörüngedeki dört elektron, komşu atomlarla olan ilişkileri belirler. Değerlik elektronları adını verdiğimiz bu dört elektronun her biri, en yakınındaki dört silisyum

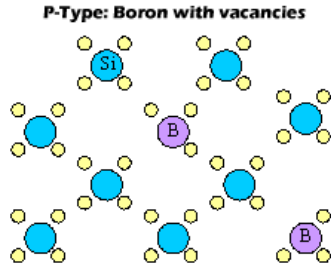
atomu ile bağ yaparak silisyum kristalindeki ana yapı taşını oluşturur. Ana yapı taşı, küpün merkezindeki bir silisyum atomu ve küpün birbirine komşu olmayan köşelerinde birer silisyum atomu yerleşmesi ile kurulur. Silisyum kristali bu yapı taşlarının yinelenerek uzayı doldurması ile oluşur [2].



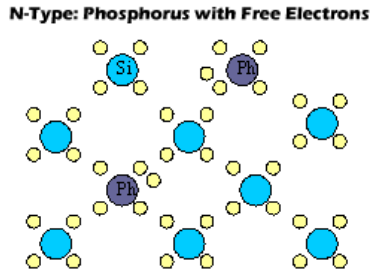
Şekil 3.3. Silikon kafes yapısı

Saf silisyum kristali içerisine değerlik elektron sayısı beş olan fosfor atomu katılınırsa, fosfor atomu, silisyum atomunun yerine oturup dört değerlik elektronu ile daha önce kristal içerisinde yaptığı bağları sağlar iken, fosforun beşinci değerlik elektronu açıkta kalacaktır. Fosfor atomuna çok zayıf olarak bağlı olan bu elektron çok küçük bir enerji ile atomundan ayrılarak silisyum kristalinin iletkenlik bandına çıkacaktır. Fosfor atomunda olduğu gibi, katıldığı kristal yapıya elektron veren safsızlık atomlarına verici denir. Bu şekilde katkılanmış yarı-iletkenlerde elektriksel yük, elektronlar ile iletkenlik bandında taşınır ve bu nedenle bu yarı-iletkenler n-tipi olarak sınıflandırılır. Şekil 3.3 saf silisyum kristali içerisinde değerlik elektron sayısı üç olan bor atomu katıladığımızı düşünelim. Silisyum atomunun yerini alan bor atomu, silisyum kristalindeki üç atomla bağ yaparken dördüncü atomla paylaşacağı elektronu olmadığı için, bir eksik bağ ortaya çıkacaktır. Değerlik bandının kıyı enerjisine yakın bulunan bu enerji düzeylerine çok küçük enerjilerle bile değerlik bandında bulunan elektronla doldurularak değerlik bandında boşluklar oluşacaktır. Bu şekilde katkılanmış yarı-iletkenlerde değerlik bandındaki boşlukların sayısı iletkenlik bandındaki serbest elektron sayısından daha çok olduğundan, çoğunluk taşıyıcıları artı yükleri gibi düşünülen boşluklardır. Boşlukların çoğunluk taşıyıcısı olduğu bu tür malzemelere p-tipi yarı-iletken adı verilir. Yarı iletken ister n-tipi isterse p-tipi olsun kendi içlerinde nötrdür. Yani dışarıya karşı herhangi net bir

elektrik yükü göstermezler; ancak, dışarıdan bir elektrik alan uygulandığında elektrik alana tepki veren çoğunluk taşıyıcılarıdır. N-tipi yarı-iletkendeki çoğunluk taşıyıcıları elektronlar ve azınlık taşıyıcıları boşluklar, p-tipi yarı iletkende rol değiştirirler. Elektronlar elektrik alan ile ters yönde hareket ederken, boşluklar elektrik alan doğrultusunda hareket ederler [2].



Şekil 3.4. Silikonun bor ile katkılanması



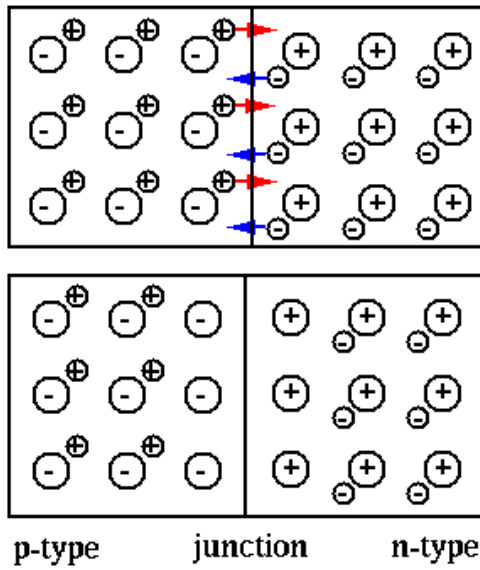
Şekil 3.5. Silikonun fosfor ile katkılanması

Yarı iletken tipleri ve yük taşıyıcıları konusundaki başlattığımız tartışmaları bu düzeylere bırakıp, fotovoltaik dönüşümde önemli olan p-tipi ve n-tipi yarı iletkenin bir araya gelmeleriyle oluşan p-n eklem diyotlara kısaca bakalım.

3.2.2. P-N eklem diyotlar

N-tipi yarı iletken ile p-tipi yarı iletken fiziksel olarak birbirlerine eklendiğinde n-tipi yarı iletkenin çoğunluk taşıyıcıları elektronlar p-tipi yarı iletken tarafına ve p-tipi yarı iletkenin çoğunluk taşıyıcıları boşluklar n-tipi tarafına akmaya başlar. Elektronların n-tipi bölgeden ayrılması ile geride artı (+) yükler kalırken boşlukların p-tipi bölgeyi

terk etmesi ile birlikte geride eksi (-) yükler kalacaktır. Çoğunluk taşıyıcılarının eklem üzerinden akışları, eklemde hemen çevresindeki bölgeyi etkileyecektir. Geride kalan (+) ve (-) yükler eklem çevresinde bir elektrik alan oluştururken, bu alan, iki ayrı bölgedeki taşıyıcı farklarından dolayı oluşan doğal akışı engelleyici yönde artacaktır. Denge kurulduğunda, taşıyıcı akışı duracak ve eklem çevresinde bir elektrik alan kurulacaktır. Bu elektrik alanın büyüklüğü, kullanılan yarı-iletkenlere ve yarı iletkenlerin katkılanmalarına bağlı olacaktır [2].



Şekil 3.6. P-N eklemi

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi eklem çevresinde taşıyıcılardan boşalmış bir bölge oluşmuştur ve bu bölgede bir elektrik alan vardır. Bu bölgeye giren azınlık taşıyıcıları elektrik alanın uygulayacağı kuvvetle hemen karşı tarafa iletirler. Daha önce verdiğimiz havuz üzerine asılmış tabanından delik olan depo örneğine geri dönersek, “boşaltılmış bölge” iki taraf arasında bağlantıyı sağlayan boru ve eklem üzerindeki elektrik alanı ise yerçekimi kuvvetinin yerine dönüşebilecek kavramlardır.

Güneş ışıınıımı altında p-n eklem diyo

Eklem diyo

bandına çıkarak bir elektron-boşluk çifti yaratacağını ve bu çiftin, bir dış etki olmadığı durumda saniyenin milyonda birinden daha küçük olan hayat süreleri içerisinde gelişi güzel hareket ederek yeniden birleşeceğini geçen bölümlerimizde tartıştık. P-n eklem diyotun eklem bölgesindeki elektrik alan nedeniyle, p-tipi yarı-iletkende üzerine ışık düşmesi sonucu iletkenlik bandına çıkarılmış ve boşaltılmış bölge sınırına ulaşmış azınlık taşıyıcıları elektronlar, hızla n-tipi bölgeye çekilirler. Aynı yaklaşımla, n-tipi bölgede elektronların iletkenlik bandına geçmesi ile değerlik bandında kalan azınlık taşıyıcıları boşluklar boşaltılmış bölgenin kıyısına ulaştıklarında p-tipi bölgeye geçerler.

Özet olarak, boşaltılmış bölge kıyısına ulaşmış azınlık taşıyıcıları çoğunluk taşıyıcısı olarak tanımlandıkları bölgeye geçerler. Bunun sonucu olarak fotonların diyot üzerine düşmesi sonucu yaratılmış elektronlar, diyotun bir tarafına; boşluklarda diğer tarafa itilirler [2].

Bu biçimde birbirlerinden ayrılmış elektronlar ve boşluklar, bir dış devre üzerinden birleştirildiğinde, dış devre elemanlarından akan elektriksel yükler, doğrudan güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin kaynağıdır.

Buraya kadar olan tartışmalarımızda p-n eklem diyotla ilgili herhangi bir matematiksel eşitlikten kaçınıldı. Ancak, kısaca ışıyım altındaki diyotun akım-gerilim karakteristiği, karanlıktaki diyotun akım-gerilim eğrisinden ışıyım altında üretilen I_L akımının çıkarılması olarak ele alınabilir [2].

Bu eğrileri kullanarak fotovoltaiik diyottan alınabilecek gücü hesaplamak olanaklıdır. Güneş ışıyımı altında fotovoltaiik diyotun güç çıkışı, şekilde gösterilen aşağıdaki değişkenlerde belirlenir [2].

Açık-devre gerilimi V_{oc}

Diyotun uçları (terminalleri) arasındaki direnç sonsuz iken ölçülen gerilim [2].

Kısa devre akımı I_{sc}

Diyotun iki ucu arasındaki direnç sıfır iken ölçülen akımdır. İdeal koşullarda bu değer, ışınlımla yaratılan akım değerine eşittir [2].

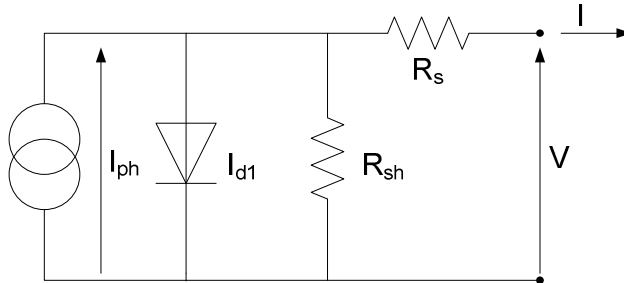
Dolum çarpanı FF

Işınım altındaki akım-gerilim eğrisinde, akımların eksi, gerilimlerin pozitif olduğu bölgede hesaplanan en büyük $V_{mp} \times I_{mp}$ değerinin $V_{oc} \times I_{sc}$ oranı olarak tanımlanır [2].

3.3. Güneş Pillerinin Matematiksel Modeli

Bölüm 1’de güneş pillerinin nasıl ortaya çıktığından bahsedilmişti. Güneş pillerinin mühendislik uygulamalarında hayat bulması ile birlikte güneş pillerinin çalışması hakkında bize yol gösterecek modellerde ortaya atılmaya başlanmıştır. Bu bölümde bu modellerden en çok kullanılan tek diyotlu elektriksel model irdelenecektir.

Güneş panellerinin modellenmesinde Şekil 3.7’de verilen elektriksel devre çok sık kullanılmaktadır. Bunun başlıca sebebi basit bir yapıya sahip olması ve yeterli kalitede sonuç üretmesidir.



Şekil 3.7. Tek diyotlu güneş hücresi elektriksel devresi [4]

$$I := I_{PH} - \frac{(V + R_s \cdot I)}{R_{SH}} - I_0 \cdot \left[e^{\left[\left(\frac{q}{k \cdot T} \right) \cdot (V + R_s \cdot I) \right]} - 1 \right] \quad (3.1)$$

Tek diyotlu modelde bulunan I_{ph} , I_{d1} , R_{sh} ve R_s değerlerinin elde edilmesi modellemenin temelini oluşturmaktadır. Bu değerler sıcaklıkla değişebilmektedirler ve bu yüzden de sabit alınmaları durumunda model hata oranı artmaktadır [5].

Bu çalışmada, önerilen algoritma ile modelleme yapılacak ve güneş panellerinin modellenmesine ilişkin yaklaşım irdelenecektir [5].

Bağımsız bir sistem tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli husus uygulama için doğru panelin seçilmesidir. Üretici firma tarafından verilen veriler bize bu yolda ışık tutacaktır. Bu veriler açık devre voltajı, kısa devre akımı, en büyük güç durumundaki akım, voltaj değerleri ve bu değerlerin sıcaklıkla değişim katsayılarıdır.

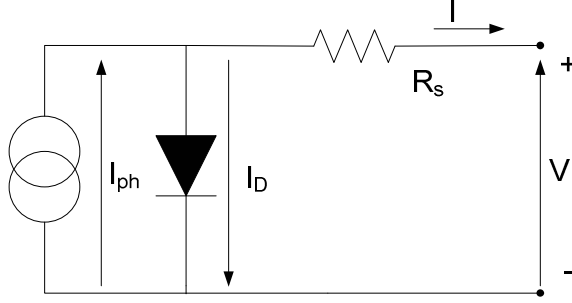
Modellemede Şekil 3.7'deki tek diyotlu devre, çözüm kolaylığı getirmesi için paralel direnç R_{sh} ihmal edilerek sadeleştirilmiştir.

Çözüm algoritmasında sonuca gidebilmek için güneş panelinin 3 farklı durumundaki verileri irdelenmiştir.

3.3.1. Basitleştirilmiş tek diyot model denklemi

Denklemi basitleştirmek amacıyla paralel direnç ihmal edilmektedir [5]. Şekil 3.7'deki devre Şekil 3.8'deki halini alır.

Bu işlem modellemede ve gerekli parametrelerin bulunmasında bize kolaylık sağladığı gibi yaklaşım kalitesini çok fazla bozmaz. Bu sebeple literatürde sıklıkla basitleştirilmiş tek diyot model karşımıza çıkar. Bu uygulamada da kolaylığı nedeniyle bu model kullanılmıştır.



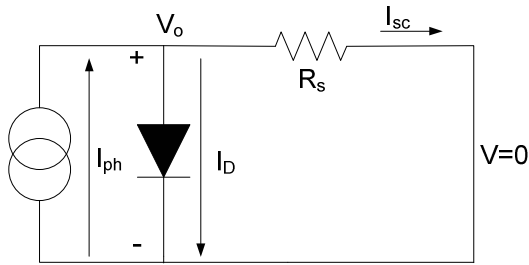
Şekil 3.8. Basitleştirilmiş tek diyotlu model devresi

$$I := I_{PH} - I_o \cdot \left[e^{\left[\left(\frac{q}{k \cdot T} \right) \cdot (V + R_s \cdot I) \right]} - 1 \right] \quad (3.2)$$

Üretici verilerinde bulunan kısa devre akımı, açık devre ve en büyük güç noktası verileri ile analizimiz işlemine başlanmıştır. Bu analiz esnasında Eşitlik 3.2 kullanılmıştır.

3.3.2. Kısa devre durumu

Şekil 3.8’deki devrenin çıkış uçları kısa devre edilerek, Şekil 3.9’da gösterilen durum elde edilir.



Şekil 3.9. Kısa devre durumunda tek diyotlu model

Şekil 3.9’da kolayca görüldüğü gibi foto akımı, diyot ve kısa devre akımlarının toplamıdır.

Diyot üzerindeki gerilim kısa devre durumunda çok küçük olacağından ihmal edilebilir [5]. Bu durumda;

$$I_{ph} = I_{sc} \quad (3.3)$$

eşitliği elde edilir.

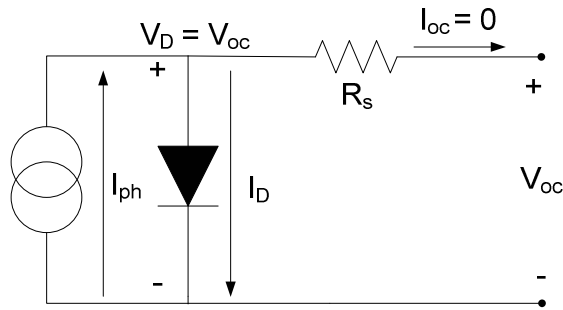
Foto akımı ışıma ile doğru orantılı olduğu bilinmektedir [5]. Eşitliği bu doğrultuda genişletirsek ve kısa devre akımını da sıcaklığa bağlı olarak yazarsak;

$$I_{PH} := I_{scs} \cdot \left(\frac{G_a}{G_{as}} \right) \cdot [1 + \Delta I_{sc} \cdot (T - T_s)] \quad (3.4)$$

Eş. 3.4'ü elde ederiz. Burada bulunan G_a ve T sırası ile ışıma ve sıcaklık değerlerini yansıtmaktadır. I_{scs} ise standart test koşullarında (STK) tanımlanan kısa devre akımıdır. ΔI_{sc} kısa devre akımının sıcaklık değişim katsayısıdır. T_s ise STK'da kullanılan sıcaklık değeridir.

3.3.3. Açık devre durumu

Şekil 3.8'deki devrenin uçları açılarak Şekil 3.10'da görülen devre elde edilir.



Şekil 3.10. Açık devre durumunda tek diyotlu model

Açık devre gerilimin sıcaklığa bağlı olarak değişiminin eşitliğini yazacak olursak.

$$V_{oc} := V_{ocs} + \Delta V_{oc} \cdot (T - T_s) \quad (3.5)$$

Açık devre durumunda akım yasası uyarınca foto akımı tamamıyla diyot üzerinden akacaktır.

$$I_{PH} := I_D \quad (3.6)$$

Diyot üzerinden akımı shockey eşitliği ile yazacak olursak.

$$I_D := I_{sat} \cdot \left[e^{\left(\frac{V_{oc}}{V_t} \right)} - 1 \right] \quad (3.7)$$

Eş. 3.7’de bulunan V_t termal gerilim olarak tanımlanır ve değeri Eş. 3.8’de verilmiştir.

$$V_t := A \cdot k \cdot \frac{T}{q} \quad (3.8)$$

Eş. 3.6 ve 3.7 kullanılarak I_{sat} yazılacak olursa.

$$I_{sat} := \frac{I_{PH}}{e^{\left(\frac{V_{oc}}{V_t} \right)} - 1} \quad (3.9)$$

3.3.4. En büyük güç durumu

En büyük güç durumu üretici firma tarafından bize sunulmuştur. Bu değeri Eş. 3.2’de yerine yazarsak.

$$I_{mpp} := I_{PH} - I_{sat} \cdot \left[e^{\left(\frac{q}{k \cdot T} \right) \cdot (V_{mpp} + R_s \cdot I_{mpp})} - 1 \right] \quad (3.10)$$

En büyük güç durumunda sistem denklemimiz Eş. 3.10'daki gibi olur. Eş. 3.9'u Eş. 3.10'la birleştirecek olursak,

$$I_{mpp} := I_{ph} - \left[e^{\frac{(V_{mpp} + I \cdot R_s)}{V_t}} \right] \quad (3.11)$$

elde edilir. Bu denklem de bilinmeyen R_s 'e göre tekrar düzenlenip yazılacak olursa.

$$R_s := \frac{\left[V_t \cdot \ln \left[\left(1 - \frac{I_{mpp}}{I_{ph}} \right) \cdot e^{\left(\frac{V_{oc}}{V_t} \right)} + \frac{I_{mpp}}{I_{ph}} \right] - V_{mpp} \right]}{I_{mpp}} \quad (3.12)$$

Bu denklemde ise tek bilinmeyen, diyot idealleştirme katsayısı olan A 'dır. Eğer bu denklemde R_s ve A değerlerini bulabilirsek modelleme işlemimizi tamamlamış oluruz.

3.3.5. Diyot idealleştirme katsayısı ve seri direnç hesabı

Güneş paneli gerilim akım grafiğinden de anlaşılacağı gibi güç eğrisinin eğiminin 0 olduğu nokta en büyük güç noktasıdır.

$$\frac{dP}{dV} := 0 \quad (3.13)$$

Diferansiyel denklemi açılacak olursa,

$$\frac{dI}{dV} + \frac{I}{V} := 0 \quad (3.14)$$

Eş. 3.14’de I yerine Eş. 3.2’yi yazacak olursak.

$$\frac{dI}{dV} := \frac{\left[\frac{(V_{mpp} + I \cdot R_s)}{V_t} - \frac{I_{sat} \cdot e}{V_t} \right]}{\frac{V_{mpp} + I \cdot R_s}{V_t} + \frac{I_{sat} \cdot R_s \cdot e}{V_t}} \quad (3.15)$$

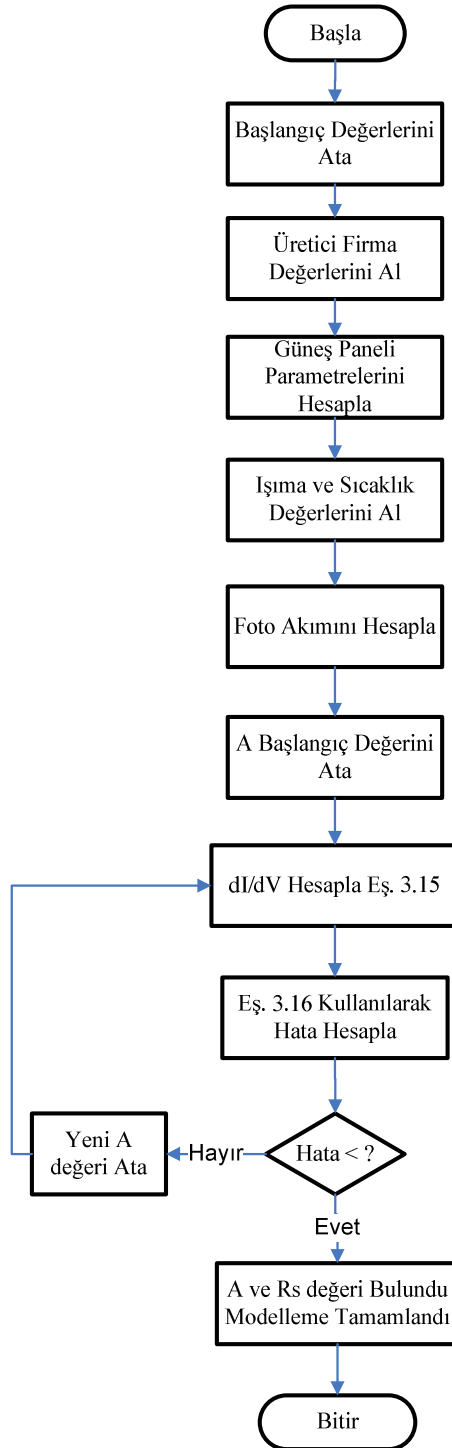
Eş. 3.15 ile I_{mpp}/V_{mpp} ile arasındaki fark ne kadar küçük olursa bizim oluşturduğumuz model de üreticinin verilerine o kadar yaklaşmış olur.

Bu sayede A ve R_s değerlerinin tahmini yönünde bir ölçüt geliştirilmiştir. Eş. 3.16 bu ölçütün matematiksel olarak ifadesini içerir.

$$\left(\frac{dI}{dV} + \frac{I_{mpp}}{V_{mpp}} \right) \quad (3.16)$$

Bu ifadenin en küçük olma durumu, modelinde en doğru yaklaşıma göre çözüldüğünü ifade eder.

A ve R_s değerlerinin çözümü için Şekil 3.11’de verilen algoritma önerilmektedir.



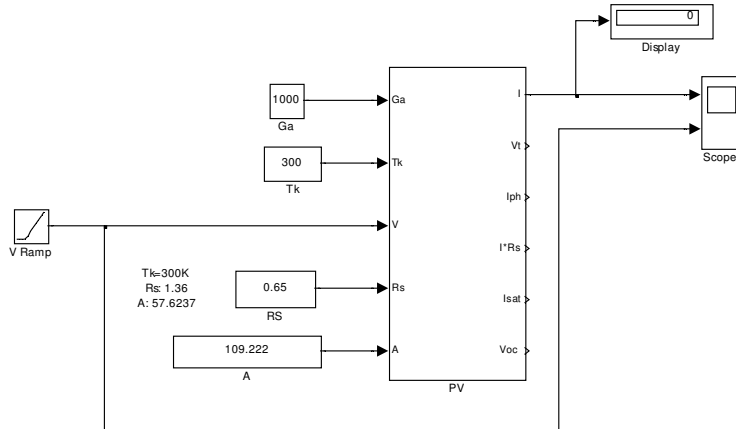
Şekil 3.11. Güneş paneli modeli bilgisayar algoritması

Bu algoritmanın çözümü içinse PC arayüz programında bir bölüm ayrılmıştır. Buraya girilen değerlere karşılık olarak program A ve R_s değerinin hesaplamaktadır.

Tek Diyod Denklemi			
Açık Devre Gerilimi (Gad)	20	Gad Sıcaklık Sabiti	0
Kısa Devre Akımı (Akd)	5	Akd Sıcaklık Sabiti	0
Panel Sıcaklığı	25	İterasyon Sayısı	1000
Ortam Işıma Miktarı	1000	Adım Aralığı	0.001
En Büyük Güç Akım Değeri	4	A Başlangıç Değeri	109.2231
En Büyük Güç Gerilim Değeri	17	İzin Verilen Hata	0.001
Hesapla			
Hesaplamalar			
İterasyon Sayısı	0		
Seri Direnç (Rs)	0.655327181561695		
Isat	6.08049682288322E-37		
Di / Dv	4.24999999731421		
Aebg / Gebg	4.25		
Hata	-2.68579292139748E-9		
A	109.2231		
Rs	0.655327181561695		

Şekil 3.12. Arayüz programı A ve Rs bulunma ekranı

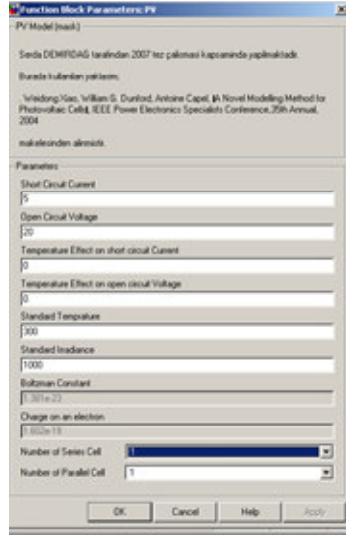
Panel ile ilgili gerekli veriler girilerek hesapla tuşuna basıldığı zaman Şekil 3.11'deki algoritma çalıştırılarak A ve R_s değerleri bulunur. Bulunan bu değerler Matlab-Simulinkde yaratılan ve Eş. 3.2'yi uygulayan modele uygulanarak panel I-V karakteristiği elde edilmiştir.



Şekil 3.13. PV panel matlab simulink modeli

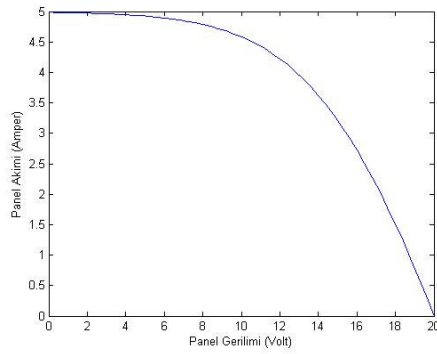
Şekil 3.13'de görüldüğü üzere panel için değişken kabul edebileceğimiz ısıma, sıcaklık, R_s ve A değerleri modele harici olarak girilmektedir.

PV modelinin üzerine tıklanacak olursa, Şekil 3.14'te görülen ekran karşımıza çıkar. Bu ekran vasıtasıyla panel bilgileri girilir.



Şekil 3.14. Matlab-simulink pv model veri girişi

Veriler uygun bir şekilde girildikten sonra model çalıştırılmış ve Şekil 3.15'de verilen I-V grafiği elde edilmiştir.



Şekil 3.15. Modellemesi yapılan panelin I-V karakteristiği

4. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Bölüm 3’de güneş pillerinin tarihsel gelişimi, çalışma mantığı irdelenmiştir. Bu bölümde ise güneş panellerinin uygulamada mutlak suretle ihtiyaç duydukları enerji depolama sistemleri irdelenecektir.

Çalışmada kullanılan kurşun asit piller ayrıntılı olarak incelenecek ve sistemimizde kullanılan şarj algoritması verilecektir.

4.1. Enerji Depolama Sistemleri

Bağımsız bir sistemin en önemli kısmını oluşturur. Güneş enerjisinin yetmediği ya da hiç olmadığı durumlarda yükün enerjisiz kalmaması için enerji depolama sistemlerinin aktif olarak yüke bağlabilmesi gerekmektedir.

Bugün için ülkemizde en yaygın kullanılan enerji depolama yöntemi kimyasal depolamadır. Kimyasal depolama yöntemi hepimizin evlerinde de kullandığı piller yardımıyla yapılır.

İki temel pil yapısı vardır;

- Kimyasal reaksiyonun tek yönlü olduğu ve bir kez deşarj olduktan sonra tekrar şarj olamayan piller.
- Kimyasal reaksiyonun çift yönlü olduğu ve uygun yöntemlerle enerji depolama özelliklerini tekrar tekrar kullanabilen piller.

Bizim konumuz olan bağımsız sistemlerde şarj edilebilen piller kullanılmaktadır. Bu pillerde şarj ve deşarj arasında enerji verimliliği ortalama %70 civarındadır, kayıp ısı olarak pil üzerinden ortama yayılır [6].

Pillerde enerji elektrokimyasal hücreler içerisinde bir kaç volt luk potansiyel farklar olarak depolanır. Bu hücrelerin seri ve paralel olarak bağlanması ile farklı voltaj ve

akım değerine sahip piller üretilebilir. Bir pilin kapasitesi C harfi ile gösterilir birimi ise amper saattir (As). Bu büyüklük bir pilin bir saat boyunca C amper akım verebileceğini belirtir.

Pillerin şarj durumlarını tanımlayan bir tanım olan şarj durumu (SD) pillin o an için sahip olduğu enerji miktarını tanımlar.

$$SD = \text{Pilde kalan Amper Saat} / \text{Pilin Kapasitesi} \quad (4.1)$$

4.1.1. Pil çeşitleri

Piller yapılarında kullanılan elektrokimyasalların farklılıklarına göre çeşitlenirler.

- Kurşun Asit (Pb-acid)
- Nikel-Katmiyum (NiCd)
- Nikel-Metal Hibrid (NiMH)
- Lityum-İon (Li-ion)
- Lityum-Polimer (Li-poly)
- Zinc-air

Bu 6 farklı pil farklı avantaj ve kullanım alanlarına sahiptirler. Çizelge 4.1’de bu özellikler ve hücre voltaj değerleri verilmiştir. Hücre voltaj değeri pilin içerisinde bulunan elektrokimyasal yapının depolama yaptığı potansiyel farktır. Bu değerler ortalama değerler olup sıcaklık ve SD’ye bağlı olarak değişkenlik gösterebilir.

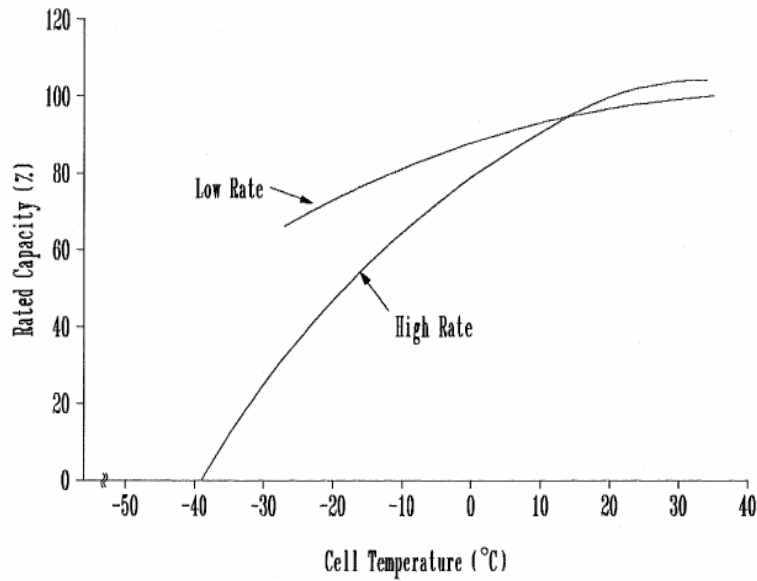
Çizelge 4.1. Bazı pil çeşitlerinin özellikleri

Elektrokimyasal	Hücre Voltajı (V)	Özellik
Kurşun asit	2	En ucuz çözüm
Nikel-Katmiyum	1.2	Hafıza etkisi var
Nikel-Metal Hibrit	1.2	Sıcaklıktan etkilenir
Lityum İon	3.4	Güvenilir
Lityum Polimer	3	Metalik lityum bulunur
Zinc-air	1.2	Deşarj esnasında kontrol gerekli

Bu uygulama kapsamında tasarımı yapılan güneş paneli bağımsız sisteminde enerji depolama ortamı olarak kurşun asit pil tercih edilmiştir. Bunun en büyük nedeni diğer seçeneklerden çok daha ekonomik olmasıdır. İlerideki bölümde daha ayrıntılı olarak inceleyeceğimiz bu pil yapısının en büyük dezavantajı ise hacim-enerji oranının en kötü çözüm olmasıdır. Bu sebeple hareketli uygulamalarda tercih edilmez.

4.1.2. Kurşun asit piller

Dünya üzerinde en çok kullanılan pil çeşididir [6]. Farklı gerilim seviyelerinde bulunabilir. 6 V, 12 V ve 24 V luk modelleri en çok kullanılanlarıdır. Bu pillerin sıcaklıkla karakteristiği değişebilmektedir [6]. Bu sebeple şarj esnasında sıcaklığının gözlenmesi güvenlik açısından şart sağlıklı şarj işlemi içinse gereklidir.



Şekil 4.1. Kurşun asit pillerde sıcaklığa bağlı şarj kapasitesi oranı

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere soğuk havalarda kurşun asit pillerin şarj kapasiteleri düşmektedir. Kışın otomobillerimizin çalışma zorluğu çekmesi bu sebeptendir. Şarj esnasında da sıcaklığın sürekli gözlenmesi ve buna bağlı olarak şarj geriliminin değiştirilerek tam şarj işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Kurşun asit pillerimizin saklanma koşulları açısından da sıcaklık ve şarj durumları arasında bir bağlantı vardır. Tam olarak dolu bir pil $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da, boş bir kurşun asit pil ise $-9.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de donmaktadır [6]. Kış koşullarının çok ağır olduğu ülkemizde bu pillerin saklanması ayrı bir önem taşımaktadır. Özelliklerkış aylarında bu pillerin boş bırakılmaması gerekmektedir.

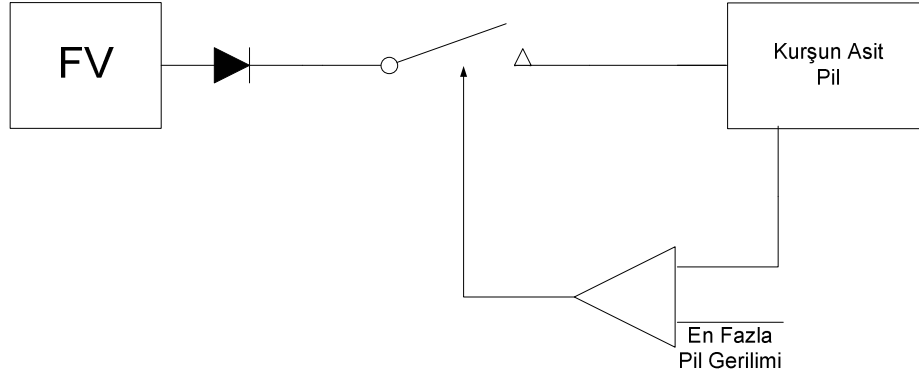
Çizelge 4.2. Pillerin çalışma ve maliyet karşılaştırmaları [6]

Elektrokimyasal Yapı	Deşarj Olma Ömrü	Ömür Yıl	Aylık Boşalma Miktarı (%) $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Rafta)	Maliyet \$/kWh
Kurşun - Asit	500-1000	5-8	3 -- 5	200-500
Nikel Katmiyum	1000-2000	10 15	20 -- 30	1500
Nikel Metal Hibrit	1000-2000	8 10	20 -- 30	2500
Lityum-İon	500-1000	-	5 --10	3000
Lityum-Polimer	500-1000	-	1 -- 2	>3000
Zinc-Air	200-300	-	4 -- 6	-

4.1.3. Kurşun asit pillerde şarj işlemi

Kurşun asit piller ile ilgili daha önce bazı temel kavramlar üzerinde durulmuştu. Bu bölümde ise bu konunun üzerine bir de şarj işleminin nasıl gerçekleştiği anlatılacaktır.

Şarj işlemi dikkatlice yapılması gereken bir işlemdir. Şarj esnasında pillin aşırı akım çekmesi, ya da kapasitesinin üzerinde şarj edilmesi mutlak suretle engellenmelidir. Aşırı şarj esnasında aktarılan enerji doğrudan ısı enerjisine dönüşür ve pilin kimyasal yapısında bozulmalar yaratarak sistemi kullanılmaz hale getirebilir. Bunun için kullanılan güneş paneli sistemine uygun bir pil seçilmesi ucuz bir çözüm olarak karşımıza çıkar. FV sistemin en fazla sağlayabileceği akım değerinin pilimizin en fazla kabul edeceği akım değerinden küçük olması ve FV'nin en fazla oluşturabileceği geriliminde pilin kabul edeceği gerilimden küçük olması yeterli olmayacaktır. Bu sistem FV çıkışına yerleştirilecek bir diyot ile güneşin olmadığı zamanlarda aküden FV'ye akım akmasını engellemeli, pil gerilimi belirli bir seviyeye geldiği zaman ise sistemi kesmelidir.



Şekil 4.2. Güneş paneli doğrudan bağlantı modeli

Bu şekilde gerçekleştirilen şarj işleminin birçok eksisi vardır. Şarj akımının kontrol edilememesinden kaynaklı olarak pilin ömrünün azalması ve aşırı akım ve gerilim korumaları göz önüne alınarak pil için her zaman düşük kapasiteli FV sistemlerinin bağlanması. Bunun sonucunda şarj sürelerinin uzaması ve bağımsız sistemin başarısızlığa uğraması da söz konusudur. Bir diğer önemli nokta da daha önce belirtildiği gibi kurşun asitlerde şarj geriliminin sıcaklıkla birlikte değişmesinden kaynaklı olarak eksik şarj durumunun oluşmasıdır.

Çalışma kapsamında önerilen mikrodenetleyici tabanlı sistem, şarj algoritması ile şu işlevsel faydaları sağlamayı hedefler.

- FV panelin gerilimi pil geriliminden düşük olduğunda FV panelin korunması.
- Pilin en doğru şekilde şarj edilmesini sağlayacak akımın ve gerilimin hesaplanarak pile uygulanması.
- Sistemde oluşabilecek bir arıza sonucunda pilin sıcaklığının artarak kendisine ve sisteme zarar vermesini engellenmesi.
- Aşırı boşalmış pillerin zarar görmeden tekrar kullanılabilir hale getirilmesinin sağlanması.
- Şarj işlemi ile yük arasında güç önceliğinin yüke verilerek yükün her zaman ihtiyaç duyduğu akıma sahip olmasını sağlamak.

Bütün bu sayılanların içinde elbetteki en önemlisi şarj işleminin sağlıklı bir şekilde yürütülmesidir. Algoritmanın daha iyi anlaşılabilmesi için kurşun asit pillerde kullanılan bazı terimleri açıklayalım.

Amper saat

Elektriksel şarjın akım ve süre ile çarpımının entegralinin birimi olarak tanımlanabilir. Pilin birim saatte sağlayacağı akım miktarı ifade ederken kullanılır.

Kapasite (C)

Bir pilin bir saat boyunca sağlayabileceği akım miktarıdır.

Kendiliğinden boşalma

Bir pilin bekleme durumunda iç kimyasal reaksiyonlarından dolayı mevcut kapasitesinin azalmasıdır.

Tam boşalma

Pilin hücrelerinde gerilimin belirli bir değerin altına düşmesi durumudur. Pil belirli bir gerilimin altında iken çalıştırılmaya devam edilecek olursa tam boşalma olayı gerçekleşmiş olur. Böyle bir durum sistem tarafından engellenmedir aksi halde pil kimyasal yapısında bozulmalar meydana gelebilir ve bir daha kullanılmaz hale gelebilir.

Sabit gerilim şarj

Pilin geriliminin değiştirilerek yapılan bir şarj tekniğidir. Pilin çektiği akımı o anki şarj durumu belirler.

Sabit akım şarj

Pile uygulanan akım değiştirilerek yapılan şarj işlemidir. Pilin gerilimini o anki şarj durumu belirler.

Bu tanımlar bundan sonraki bölümlerde şarj algoritmasının bileşenlerini ve yapısını anlamamıza yardımcı olacaktır.

Şarj evreleri

Önerilen sistem sıcaklık kompanizasyonlu sabit akım şarj sistemidir. Bu sistemde pile uygulanan gerilim pilin o anki şarj durumuna göre pil tarafından belirlenir.

Pilimiz farklı saflarda olabilir. Sistemimiz bu pilin hangi evrede olduğunu anlayarak uygun şarj moduna geçmelidir.

Pilin bulunduğu evreyi anlayabilmek için pilin gerilimine ve çektiği akıma bakılır daha sonra ise uygun evrenin gerektiği davranış gösterilir.

Trickle (Damlalık) mod

Eğer pil gerilimi belirli bir gerilimin altında ise pil tam boşalmıştır denir. Bu değer hücre başına 1.75 V civarındır. Bizim çalışmamızda kullandığımız pilimiz 6 hücreli olduğundan bizim pilimiz için bu değer 10.5 V'tur. Bu modda pile C/100 kadar bir akım uygulanarak pilin geriliminin artması sağlanır. Pil gerilimi 10.5 V un üzerine çıktığı zaman da bulk moda yani esas moda geçilir.

Eğer pilin gerilimi 10.5V un üzerine çıkmıyorsa pilde bir arıza olduğu söylenebilir. Bu modun tespiti ve akımın bu kadar küçük bir değerde tutulması sistemi de korumuş olur.

Eğer şarj işlemi başladığı anda pil gerilimi kesim gerilim değerinde büyük ise bu mod atlanarak doğrudan bulk moda geçilir.

Bulk (Esas) mod

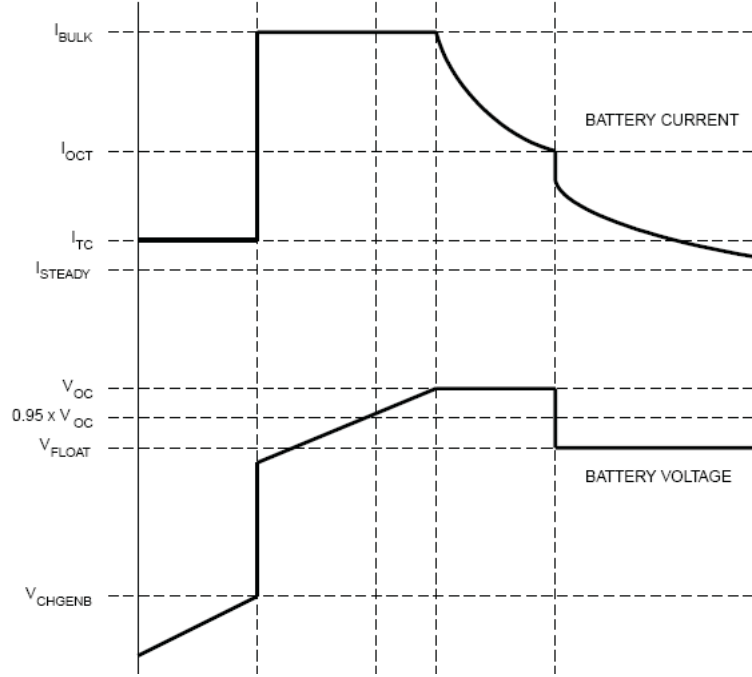
Pilin esas olarak şarj olduğu mod burasıdır. Pil üreticileri tarafından verilen pilin hücrelerine uygulanabilecek en büyük akım değerine I_{bulk} denir. Bu değer genelde $C/5$ 'tir. Bu evrede SVDD akım sınırı $C/5$ 'e ayarlıdır ve pil bu akımı alırken bir yandan da gerilimini arttırmaktadır. Gerilim sıcaklığa bağlı olarak hesaplanmış bir değere ulaştığı anda SVDD gerilim kontrol sistemi ile gerilimi bu değerde sabit tutarak şarj işlemine devam eder. Bundan sonra akım değeri yavaş yavaş düşmeye başlar. Çekilen akım belirli bir seviyeye ulaştığında float mod başlamış olur.

Float mod

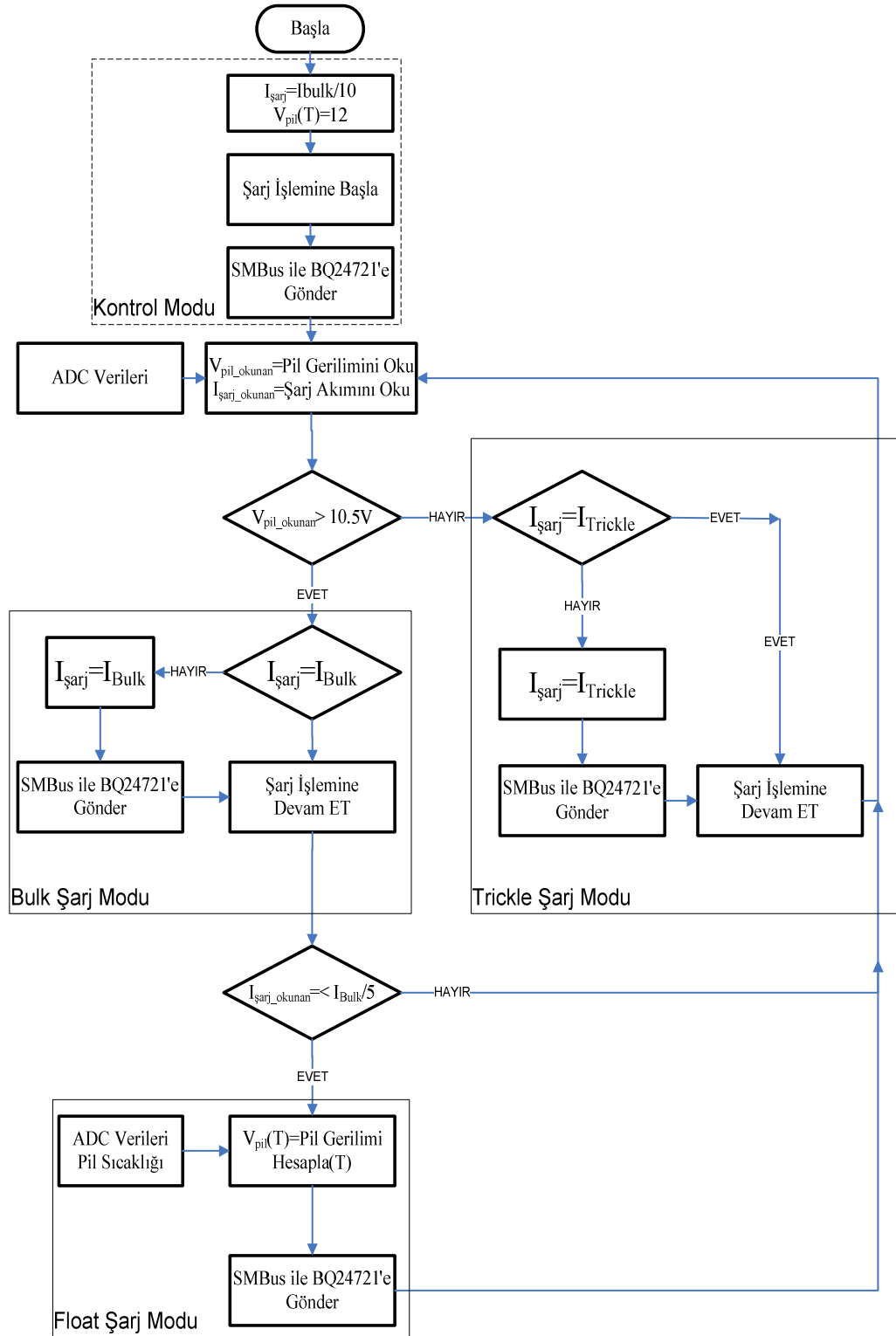
Bu bölümde pilimiz dolmuştur ve bunun korunması gerekmektedir. Bu sebeple pilin gerilim seviyesi belirli bir değerde tutularak pilin çok küçük akımlar çekmesi beklenir. Bu sayede kendinden boşalma durumuyla karşı karşıya kalınmaz. Daha önce bir çok defa belirtildiği üzere burada bahsedilen sabit gerilim pilin sıcaklığına bağlı olarak değişen bir değerdir. Pilin 0-50 °C arasında tam dolu olarak şarj edilebilmesi için $-3mV/^{\circ}C$ lik sapma miktarı göz önüne alınarak bir gerilim seviyesi hesaplanarak pile uygulanır. Bu değer üretici tarafından verilen sıcaklık gerilim değerleri yok ise kullanılır.

Bunların dışında sistemin ve algoritmanın ilk çalışma anında akünün durumunu tespit edebilmesi için tek seferlik bir kontrol modunu da algoritmamıza yerleştirmemiz gerekmektedir. Bu mod şarj işlemi olmasa da algoritmaya ilk veri sağlama açısından gereklidir. Pil deneme amacıyla nominal bir gerileme ve oldukça makul bir akım sınırıyla şarj işlemine tabi tutulur. Eğer pilde bir kısa devre durumu varsa ya da geçen akım ile birlikte bir gerilim düşümü varsa bu tespit edilerek trickle şarj moduna geçilmesi sağlanır. Şekil 5.7 mikrodenetleyicide uygulanan algoritmayı özetlemektedir. ADD ve SMBus fonksiyonları bu çalışma kapsamında

açıklanmamıştır. Çıkarılan bu algoritma Texas ve Linear Device'in önerdiği şarj algoritmalarından derlenmiştir.



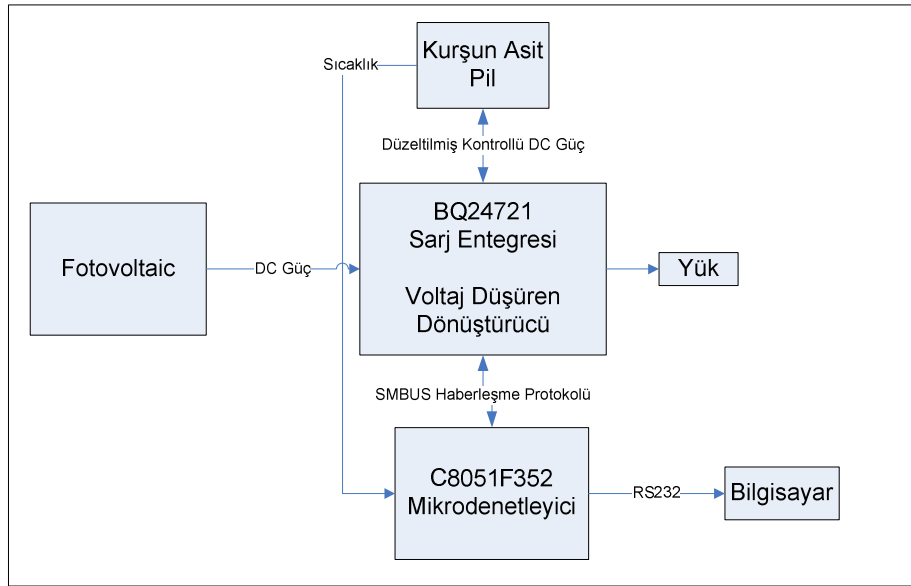
Şekil 4.3. Şarj sırasında pilin akım ve gerilim değişimleri



Şekil 4.4. Uygulanan şarj algoritması

5. KONTROL KARTI TASARIMI

Bu bölümde tez çalışmasında gerçekleştirilen bağımsız güneş paneli sisteminin kontrol ünitesinin çalışma prensibi ve bileşenleri, ayrıntısı ile ele alınacaktır. Şekil 5.1’de bir önceki bölümde açıklanan bağımsız sistemin daha özelde bizim sistemimizde bulunan yapısı modellenmiştir.



Şekil 5.1. Tasarımı yapılan bağımsız güneş paneli sisteminin çalışma şeması

Şemadan da kolayca görülebileceği gibi sistem bir adet şarj entegresi ve bunu kontrol eden işlemciden oluşmaktadır. Bilgisayar haberleşmesi tamamen isteğe bağlı olarak konulabilir. Böyle bir durumda bu sistem için Delphi 6 da hazırlanmış olan ara yüz programı sistem üzerindeki elektriksel değerleri görüntüleyebilir ve daha sonra yorumlanmak üzere kaydedebilir.

Sistemin tasarımını ve işlevini daha iyi anlayabilmek için sistemin 2 ana parçadan oluştuğunu düşünebiliriz.

- Kontrolör devre kartı
- Kişisel bilgisayar ara yüz programı

Devre kartı da kendi içinde 2 ye ayrılabilir.

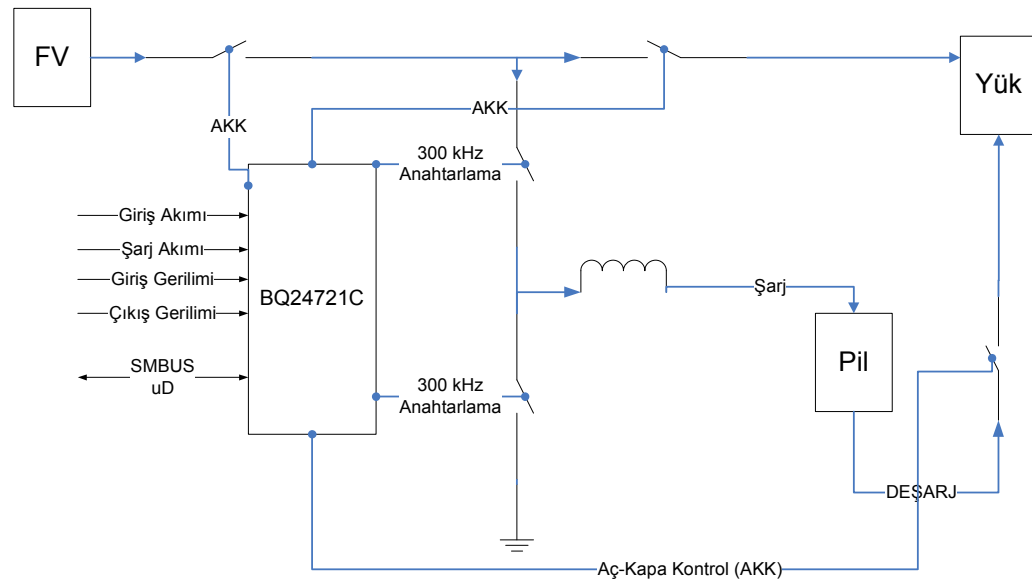
- Şarj entegresi
- Mikrodenetleyici

Sitemin incelenmesi de bu sıraya göre yapılacaktır. İlk olarak devre kartı iki ana bileşeniyle beraber incelenecek ve bu bileşenlerin çalışma mantıkları ve tasarımda kullanılan ölçütler irdelenecektir. Daha sonra ise bilgisayar ara yüz programı tanıtılacak ve kullanımı anlatılacaktır.

5.1. BQ24721 Şarj Entegresi

Texas firmasının bu ürünü gerçekte diz üstü bilgisayarlarda ve farklı kimyasal ve hücre sayısındaki pillerin şarjı için kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

Şekil 5.2’de BQ24721’in devre içerisindeki işlevini daha ayrıntılı gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Şarj entegresi çalışma diyagramı

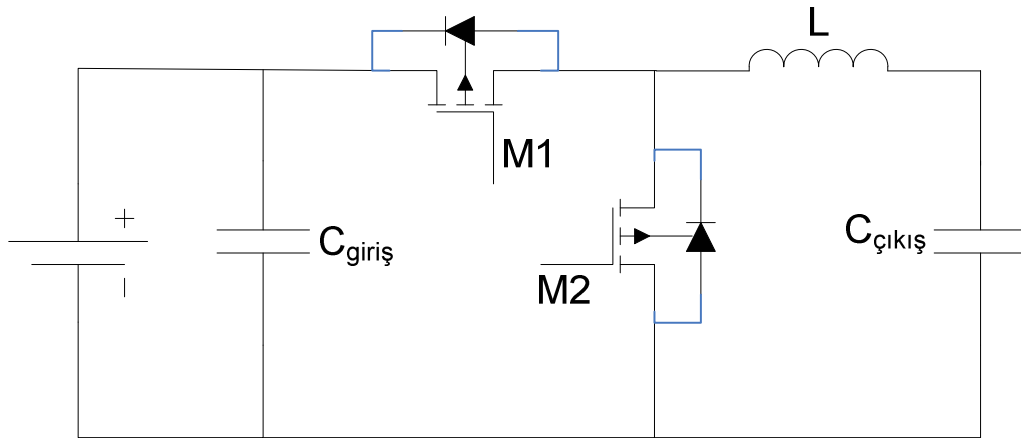
Entegre, sistemde pilin şarj işlemini gerçekleştiren senkron voltaj düşüren dönüştürücünün kontrolünü gerçekleştirir. Kaynaktan gelen akımın değerini okuyarak yük ve pil arasında enerji transferinin paylaşımını kontrol eder. Pile giden

akımı kontrol ederek her zaman yük önceliğini sağlar. Pilin arızalı veya boş olduğu durumlarda kendisine zarar verecek miktarda akım çekmesini önler.

Şekil 5.2’de gösterilen diyagramın çalışan bir modelinin çıkarılabilmesi için öncelikle bir kaç kavramın açıklanması gerekmektedir. Bunlardan en önemlisi simetrik voltaj düşüren dönüştürücüdür. Dönüştürücünün çalışma prensibi ve tasarım hesapları ilerleyen bölüm boyunca gösterilecektir.

5.1.1. Simetrik gerilim düşüren dönüştürücü

Bu çalışma kapsamında kullanılan voltaj düşüren dönüştürücü (VDD) simetrik 2 anahtar kullanmaktadır. Geleneksel VDD’lerin farkı Şekil 5.3’de görülen M2 mosfeti yerine diyot kullanmasıdır. Simetrik VDD’lerde mosfet kullanılmasının sebebi mosfet üzerinde harcanana enerjinin diyota göre oldukça az olmasıdır. Dez avantajı ise sistem maliyetini arttırması ve ek sürücü devresine ihtiyaç duymasısıdır.



Şekil 5.3. Simetrik voltaj düşüren dönüştürücü

M2 mosfetinin bir diyota göre sağladığı verimi basit bir hesapla gösterelim. Örnek olarak iletim direnci 15 mΩ olan bir mosfet üzerinde harcanan güç,

$$P_{M2} = I \times 15 \times 10^{-3} \text{ W} \quad (5.1)$$

olarak hesaplanır. Aynı işlevi 0.3 volt gerilim düşümü olan bir diyotla yapıyor olsaydık. Güç kaybı,

$$P_d = I \times 0.3 \text{ W} \quad (5.2)$$

olarak elde edilecektir. 2 A'lık bir sistemde kayıp M2 için 30 mW iken D için 600 mW olmaktadır.

Bu noktada verimi etkileyen önemli bir nokta atlanmıştır. Bu karşılaştırmada anahtarlama kaybı ihmal edilmiştir. Mosfetin her anahtarlama zamanında Şarj entegresi tarafından iletme sokulması gerekmektedir ve bu işlem entegre mosfet sürücülerinde enerji kaybına yol açmaktadır. VDD tasarımı sonrasında güç kayıp analizinde bu kayıp eklenecektir. Bu kayba rağmen mosfet, diyot kullanımına göre oldukça verimlidir.

Literatürde VDD'lerle ilgili olarak çok sayıda doküman ve bilgi bulunmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada bu konu üzerinde ek bilgi verilmeyecektir. VDD'nin teorik çalışmasından ziyade uygulamamızdaki tasarım üzerinde durularak uygun elemanların seçimi ve kritik hesaplamalar yapılacaktır. VDD şarj entegresi tarafından kontrol edileceğinden şarj entegresinin veri kitapçığında önerilen metot ve sıra ile işlem yapılacaktır.

5.1.2. VDD dizaynı

Bq24721 şarj entegresi bünyesinde bir SVDD kontrol yapısı ile sürücü devreleri barındırmaktadır. Bq24721 sürücüler 300kHz ve 500kHz lik PWM sinyalleri ile mosfetleri sürebilir. Frekans seçimi mikrodenetleyici tarafından SMBus protokolü ile entegreye bildirilir [7]. Eğer uygulamada boyut kritik değilse 300 kHz lik anahtarlama frekansı yeterli olacaktır. Frekans yükseldikçe ileri bölümlerde yapılan hesaplamaların göstereceği gibi eleman boyutları düşecektir. Ancak yüksek frekans sistemde gürültü ve anahtarlama kayıplarında artışı da beraberinde getirdiği için uygulanması zordur.

Kullanılan elemanların seçimi işlemine geçmeden önce sistem parametrelerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bağımsız güneş enerjisi sistemimiz 70W'lık bir güneş paneli, 20 AS'lik kurşun asit pil ve bunların bağlı olduğu 20 W'lık bir yükten oluşmaktadır. Sistem 20 W'lık yükü 7 gün 24 saat boyunca hiç bir harici kaynağa ihtiyaç duymadan kesintisiz olarak beslemeye çalışacaktır.

20 As'lik pilin ihtiyaç duyacağı şarj akımı en fazla 5 Amperdir. Şarj algoritması ileride açıklanacaktır.

Sistem yük gerilimi nominal olarak 13.7 V'tur. Bu sebeple güneş panelinin en az vereceği gerilim 15 volt olarak kabul edilecektir.

Akü şarj gerilimleri ise 10.5V ile 14.4 V arasında değişecektir.

Sistem parametrelerini bir tabloda gösterecek olursak.

Çizelge 5.1. Tasarımı yapılan sistem parametreleri

Sistem Parametreleri	En Düşük	En Yüksek
Şarj Akımı (A)	0.2	7.55
VDD Çıkış Gerilimi (V)	10.5	14.4
VDD Giriş Gerilimi (V)	14	26
Çalışma Sıcaklığı °C	-10	50
Anahtarlama Frekansı (kHz)	300	---

Çizelge 5.1'deki veriler kullanılarak ilerdeki bölümlerde hesaplamalar yapılacaktır.

5.1.3. Bobin seçimi

Anahtarlama güç kaynaklarında bulunan çıkış filtre bobini üzerinde akım anahtar iletimde iken artmakta ve anahtar kesimde iken düşmektedir. Akımın bu en yüksek ve en düşük değerleri arasında yaptığı sağına bobin akım dalgacığı denir. Bu akım dalgacığının büyüklüğü bobin değeri ve anahtarlama frekansı ile ters orantılıdır.

Bobin değeri arttıkça bu dalgacık da azalır. Akım dalgacığının azalması ise çıkış gerilim dalgacığının daha az olmasını sağlar. Bobin değerinin büyümesinin dezavantajı ise üzerindeki direnç kayıplarının artması ve maliyetin artmasıdır. Bütün bu ölçütler göz önünde tutularak bobin değeri seçilmelidir. Bobin akım dalgacığını çıkış akımının %40'ı olarak almak VDD tasarımı için makul bir başlangıç noktasıdır [6].

Bilinen sistem parametrelerine göre bobin değeri

$$L := \frac{\left[(V_{giris_eb} - V_{bat_ek}) \cdot \left(\frac{V_{bat_ek}}{V_{giris_eb}} \right) \cdot \left(\frac{1}{f_s} \right) \right]}{(0.4 \cdot I_{sarj_eb})} \quad (5.3)$$

Çizelge 5.1'deki değerler yerine konacak olursa %40 lık dalgacık değeri için;

$$L = 5.833 \times 10^{-6} \text{ Henry} \quad (5.4)$$

olur.

Bu değerden daha büyük bir bobin seçimi dalgacık miktarını azaltacaktır. Hesaplanan bu değer, seçilmesi tavsiye edilen en küçük değerdir.

Özel yapım bir bobin yerine Coilcraft firmasının DO5040H 6.2 uH'lık bobini seçilmiştir. Piyasada kolayca bulunabilen bu bobin yüksek akım taşıma kapasitesi ve yüksek sıcaklıklarda kararlı çalışması ile uygulamamız için uygundur.

5.1.4. Mosfet seçimi

Simetrik VDD'lerde daha önce tartışıldığı üzere 2 adet mosfet kullanılmaktadır. Bu mosfetlerden giriş tarafında bulunan ve Şekil 5.3'de M1 olarak gösterilen yüksek bölge (YB), M2 ise alçak bölge (AB) mosfeti olarak adlandırılır. Bu şekilde adlandırılmalarının sebebi bu mosfetlerin kaynak uçlarının toprak potansiyeline göre

konumundan kaynaklanmaktadır. M1 mosfetinin kaynak ucu mosfet iletimde iken yüksek potansiyeldedir. M2 mosfetinin kaynak ucu ise toprakta bulunur.

Bu iki mosfetin seçiminde kritik bir kaç nokta bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi mosfetlerin üzerinde oluşan kayıplardır. Seçilecek mosfetlerin en zor çalışma şartlarında dahi, yüksek sıcaklık ve tam yük altında, üzerlerinde harcanan gücü taşıyabilmesi gerekmektedir.

Mosfet seçme işleminin sağlıklı yürütülebilmesi için yapılması gereken, öncelikle seçilen mosfet üzerinde harcanan gücü hesaplamak daha sonrada bu gücün mosfetde yaratacağı sıcaklık artışının bizim çalışma koşullarımızda, en fazla 50 °C, uygun olup olmadığına bakmak olacaktır.

Anahtarlama mosfetlerinde temel olarak 3 farklı kayıptan bahsedilebilir.

İletim kayıpları

Mosfetin iletimde olduğu süre boyunca iletim direncinden (r_{ds_on}) kaynaklanan kayıptır. Mosfet üzerinde geçen akım ve iç direnciyle orantılıdır. Yüksek bölge mosfeti olan, iletim direnci 9mΩ luk bir mosfet için;

$$P_{iletim} := I_{sarj_eb}^2 \cdot \sqrt{\frac{V_{bat_eb}}{V_{giris_ek}}} \cdot r_{ds_on} \quad (5.5)$$

$$P_{iletim} = 0.513 \text{ W} \quad (5.6)$$

olarak bulunur.

Alçak bölge mosfetinin iletim anı yüksek mosfetinin kapalı olduğu an olduğundan;

$$P_{iletim} := I_{sarj_eb}^2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_{bat_ek}}{V_{giris_eb}} \right)} \cdot r_{ds_on_AB} \quad (5.7)$$

$$P_{iletim} := 0.358 \text{ W} \quad (5.8)$$

olarak bulunur.

Anahtarlama kayıpları

Mosfetlerin eklemleri arasında oluşan parazitik elemanlardan kaynaklanan bu kayıplar için Eş. 5.9'da verilen yaklaşım uygulanabilir.

Q_{gs} ve Q_{gd} sırası ile kapı-kaynak ve kapı-akaç arasındaki karşılanması gereken yük miktarıdır.

$$P_{anahtarlama} := I_{sarj_eb} \cdot V_{giris_ek} \left[\frac{(Q_{gs} + Q_{gd})}{i_g} \right] \cdot f_s \quad (5.9)$$

Eşitlik 5.9'dan görülebileceği gibi frekans artıkça anahtarlama kayıpları da artmaktadır. Seçilen mosfet için değerler yerlerine konacak olursa,

$$P_{anahtarlama} = 0.284 \text{ W} \quad (5.10)$$

bulunur. YB mosfeti için bulunan bu değere karşılık,

$$P_{anahtarlama_AB} = (V_{giris_eb} Q_{rr} \cdot f_s) + (I_{sarj_eb} \cdot V_f \cdot 2 \cdot t_{olu_zaman} f_s) \quad (5.11)$$

alçak bölge mosfeti için Eşitlik 5.11 kullanılır.

Ölü zaman M1 mosfetinin kesime gittiği ancak henüz M2 mosfetinin açılmadığı zamandır.

$$P_{\text{anahtarlama}} = 0.132 + 0.152 = 0.284 \text{ W} \quad (5.12)$$

Olarak bulunur.

Bu hesaplamalar sonucunda bulunan güç kayıpları mosfetler üzerinde ısıya dönüşür ve mosfetin sıcaklığının artmasına neden olur. Bu sıcaklık artışları;

$$\Delta T_{AB} := R_{\theta JA} \cdot P_{\text{top_AB}} \quad (5.13)$$

$$\Delta T_{AB} = 34.114 \quad (5.14)$$

alçak bölge mosfeti içinse;

$$\Delta T_{YB} := R_{\theta JA} \cdot (P_{\text{top_YB}} + P_{Qrr}) \quad (5.15)$$

$$\Delta T_{YB} = 50.662 \quad (5.16)$$

°C olarak bulunur. Bu değerler mosfetlerin en kötü durumda sıcaklıklarının ne kadar artacağını gösterir. 50 °C'lik ortam sıcaklığı için artış en fazla 101 °C dereceye çıkmaktadır. Mosfetlerin dayanım sıcaklığı ise 125 °C 'dir. 24 °C'lik derecelik koruma bölgesi tasarımı için yeterlidir.

Sürücü kayıpları

Anahtarlama esnasında mosfet sürücülerinde oluşan kayıplardır. Bu kayıplar mosfet sıcaklık artışına eklenmez. Bu kayıplar doğrudan BQ24721 şarj entegresinde oluşur ve burada sıcaklık artışına neden olur. Bu kayıplar doğrudan mosfet seçimine bağlıdır.

$$P_{\text{sürücü}} := Q_{\text{top_YB}} \cdot V_{\text{giris_ekfs}} \quad (5.17)$$

$$P_{surucu} = 0.084 \text{ W} \quad (5.18)$$

Alçak bölge içinse;

$$P_{surucu_AB} := Q_{top_AB} \cdot V_{giris_ekfs} \quad (5.19)$$

$$P_{surucu} = 0.084 \text{ W} \quad (5.20)$$

Bu kayıp BQ üzerinde sıcaklık olarak ortama yayılır.

5.1.5. Giriş filtre kapasitörü seçimi

Giriş kapasitörlerinin seçimi yüksek akım tasarımlarında kritik olmaktadır. Düşük akım uygulamalarda ise her 1A lik yük için bir adet 10 uF seramik kapasitör yeterlidir. Akım değeri yükseldikçe konulacak kapasite miktarı da buna bağlı artacağından sorunlar kaçınılmaz olarak oluşmaktadır [8].

Giriş geriliminde oluşan dalgalanmalar giriş kapasitelerinin iç dirençleri ile doğrudan ilgilidir ve bu ilişki Eşitlik 5.21’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Ancak kapasite seçiminde asıl kritik nokta dalgacık akımı taşıma kapasitesidir.

VDD’lerin girişlerinde akım alternatif akım karakteristiği gösterir ve buradaki dalgalanma en fazla çıkış voltajı giriş gerilimin yarısı olduğunda gerçekleşir. Böyle bir durumda sistemden en fazla akım çekiliyorsa. Akım dalgalanma miktarı çıkış akımının yarısı olur.

$$V_{giris_ripple} = \frac{\left[Isarj_eb \cdot \left(\frac{V_{bat_ek}}{V_{giris_eb}} \right) \cdot \left(\frac{1}{f_s} \right) \right]}{C_{giris}} + \left(\frac{ESR_giris}{4} \cdot Isarj_eb \right) + ESL_giris \frac{Isarj_eb}{\left(\frac{V_{bat_ek}}{V_{giris_eb}} \right) \cdot \left(\frac{1}{f_s} \right)} \quad (5.21)$$

$$V_{giris_ripple}=0.159 \text{ V} \quad (5.22)$$

Olarak bulunur. Sistemin akım sınır değerinin yükselmesi için 220 uF lık elektrolit kapasitör kullanılmıştır. Bu kapasitörün akım dalgacıklanma akım değeri 3 amper kadardır.

Giriş dalgacık değeri %1 civarındadır.

5.1.6. Çıkış filitre kapasitörü seçimi

Çıkış kapasitör seçiminde kritik faktör çıkış dalgalanmasıdır bu sebeple çıkış kapasitörlerinin değerinden ziyade düşük eşdeğer seri dirence (ESR) sahip olmadıklarıyla ilgilenilir. Toplam ESR yi küçültmek için kapasitörler paralel bağlanabilir. Uygulamamızda 150 uF lik kapasitörlerin uygun olduğu hesaplanmıştır.

$$V_o := I_{ripple} \left(\frac{V_{bat_ek}}{V_{giris_eb}} \right) \cdot \left(\frac{1}{f_s} \right) \cdot \frac{1}{C_o} + \left[\left(\frac{ESR}{2} \right) \cdot \left(\frac{I_{ripple}}{2} \right) + \left(\frac{ESR}{2} + R_{sarj} \right) \cdot \left(\frac{I_{ripple}}{2} \right) \right] + \left[ESL \cdot \frac{I_{ripple}}{\left(\frac{V_{bat_ek}}{V_{giris_eb}} \right) \cdot \left(\frac{1}{f_s} \right)} \right] \quad (5.23)$$

Sonuç olarak;

$$V_o_ripple= 40 \text{ mV} \quad (5.24)$$

bulunmaktadır. Bu değer bizim tasarım kriterlerimiz için yeterlidir. Eğer daha düşük ESR'li yada daha yüksek kapasite değerli kapasitörler kullanılacak olursa voltaj dalgacık oranı düşürülebilir.

Kontrol kartımızın şarj ile ilgili kısmını tamamlamış olduk. BQ24721 entegresinin kontrol kompanzasyon devresi ve bir kaç tane gerilim bölücü direnç hesabının ayrıntıları Texas firmasının internet sitesinde ayrıntılı olarak bulunmaktadır. Bu noktada bu çalışma kapsamında bunların hesaplarına girilmeyecektir.

5.2. Mikrodenetleyici

Kontrol kartımızın belki de en önemli bölümü sisteme beynini veren ve yapmamız gereken bütün fonksiyonları kontrol eden mikrodenetleyici bölümüdür. Mikrodenetleyicinin sistem içindeki görevleri ve kullandığı yan donanımlar şunlardır.

- SMBus kullanılarak BQ24721'in konfigürasyonunun yüklenmesi
- Analog dijital dönüştürücü (ADD) kullanılarak sistem gerilim ve akım değerlerinin alınması.
- Akü sıcaklığının ADD ve sayısal analog dönüştürücü kullanılarak okunması ve şarj algoritmasında yorumlanması.
- Şarj algoritmasının uygulanması ve gerekli şarj konumunun SMBus kullanılarak BQ24721'e gönderilmesi.
- Akü sıcaklığının kontrol edilerek aküde aşırı ısınma durumunda güvenlik önlemi olarak şarj işlemin kesilmesini sağlamak.

Bütün bu görevler mikrodenetleyici üzerine C dili kullanılarak geliştirilen bir yazılım vasıtası ile gerçekleştirilmektedir. Çalışma kapsamında bu görevlerden akü şarj algoritması ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Ayrıca algoritmanın daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla kullanılan işlemci tanıtılacaktır.

5.2.1. C8051F352 temel özellikleri

Silicon Labs firması tarafından geliştirilen, 8051 işlemci çekirdeği kullanılan bu mikrodenetleyici farklı firmalar tarafından üretilen 8051 işlemcilere göre yüksek bit oranlı ADD bulunması ile aralarından kolaylıkla sıyrılmaktadır. C8051F35X serisinde 24 bitlik ADD bulunmaktadır. Bu ADD ile adeta ADD nin yanında küçük bir işlemci sunmaktadır. Bizim uygulamamız için bu kadar hassas bir okumaya ihtiyaç duymayacağımızdan 16 bitlik modeli kullanılmaktadır.

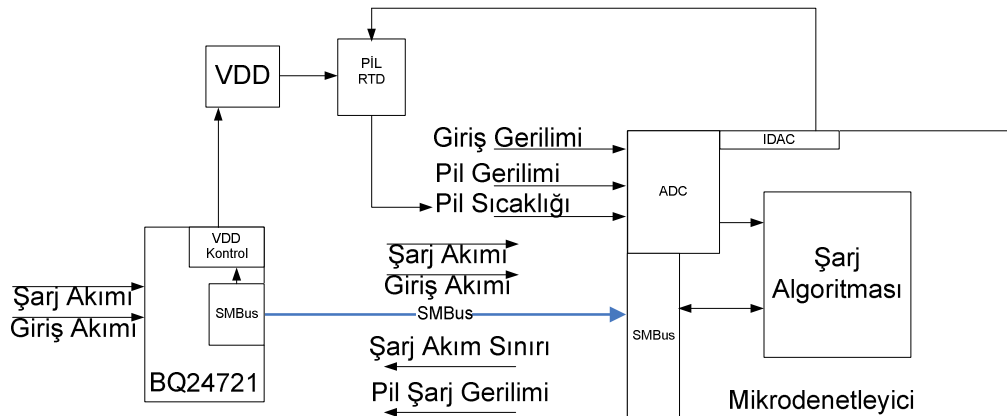
Texas firmasının benzer ürünlerine göre %50 ye varan ucuzluğu ve çalışması için harici bir kristale ihtiyaç duymamasından dolayı hem fiyatta hem de yer kullanımı açısından oldukça cimridir.

İşlemci üzerinde yer alan akım kaynağı sayesinde sıcaklık okuması sırasında gereken sabit akım sağlar, bu sayede harici bir entegre yada devreye gerek kalmadan sıcaklık okuması yapılabilir.

BQ24721 entegresi ile haberleşme işlemini sağlayabilmek için gerekli olan SMBus çevresel ünitesine de sahiptir. Ayrıca SPI ve UART çevresel üniteleri de bulunmaktadır.

Bütün bu çevresel üniteler yardımı ile mikrodnetleyici (uK) sistem üzerindeki elektriksel sinyalleri alabilmekte ve gerekli algoritmalarından geçirerek yapılması gereken bir sonraki adımı gerçekleştirmektedir.

Bağımsız güneş enerjisi sisteminin sağlıklı bir şekilde çalışmasını sağlayan ve denetleyen mikrodnetleyicinin çalışma blok diyagramı ayrıntılı biçimde Şekil 5.4’de verilmiştir.



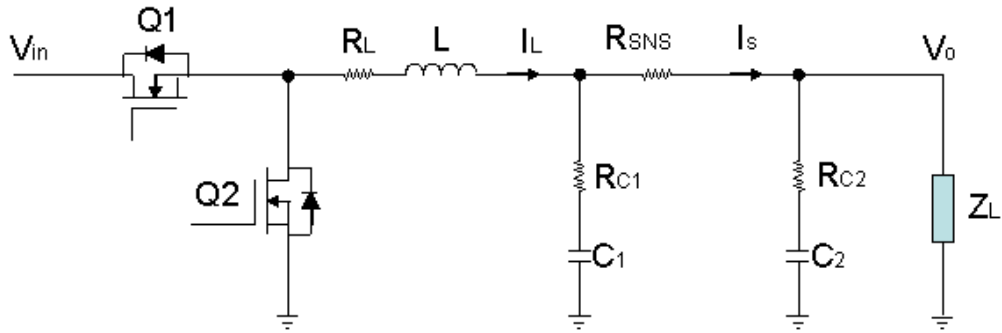
Şekil 5.4. Mikrodnetleyici merkezli sistem diagramı

sayede tek bir kompanzasyon devresi kullanılarak kontrol devresi tamamlanabilmektedir.

Kompanzasyon devresinin elemanlarının tespiti için Texas firmasının uygulama notlarından ve yapılmış bir örnek kompanzasyondan yararlanılmıştır. Bu bölümde verilen transfer fonksiyonları ve bode diagramları Texas firmasının kendi entegresi için vermiş olduğu fonksiyonlar ve örnek çözümlemelerdir.

Bu bilgiler ve Matcad programı kullanılarak hesaplamalar yapılacak ve 3 kontrol yapısı içinde uygun tek bir kompanzasyon devresi çıkarılmaya çalışılacaktır.

Kontrol edilecek olan sistemimiz daha önceki bölümlerde bahsetmiş olduğumuz simetrik VDD'dir.



Şekil 5.6. İdeal olmayan simetrik VDD

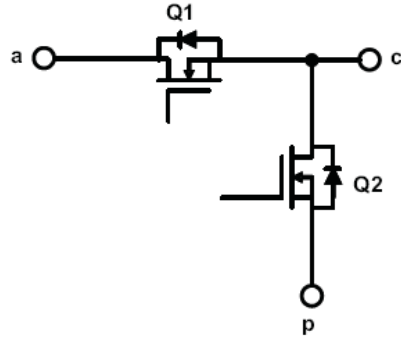
Gerilim düşüren dönüştürücüler hakkında yeri geldikçe bilgi vermekteyiz. Şu an için gerekli olan bilgi daha önce belirtildiği üzere bobin üzerinden geçen akımın artması ve azalmasıyla ilgili bir bilgi. Bobin üzerinde Q1 mosfeti iletimde ve Q2 mosfeti kesimde olduğu süre boyunca.

$$I_L := L \cdot \frac{d}{dt} V \quad (5.25)$$

V gerilimi giriş gerilim ile çıkış geriliminin farkıdır. Bu noktada akım artışa geçer ve kesimde olduğu süre boyunca da uçları arasında oluşan potansiyel fark çıkış geriliminin toprağa göre yarattığı fark olur.

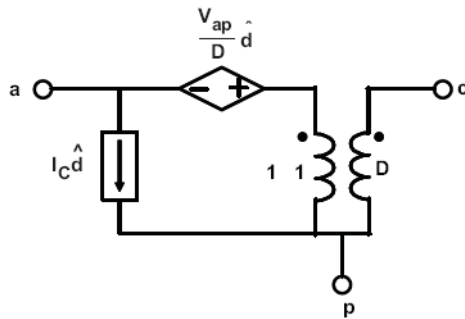
Akım bu şekilde artma ve azalmalar gösterir. Daha önce bahsetmiş olduğumuz akım dalgacıklaşmaları bunlardır. Bobin akımı bu artma ve azalmalar sırasında sıfır olmuyorsa, yani sürekli ise bu çalışma moduna Sürekli Çalışma Modu (SÇM) denir. SÇM’de çalışan bir dönüştürücünün modellenmesi bu çalışmada tanıtılacaktır. Kaynak olarak kullanılan Texas firması uygulama notlarında sürekli olmayan durum için de sistem transfer fonksiyonları bulunmaktadır.

Şekil 5.7’de SVDD’de bulunan anahtarların konumlandırılması gösterilmiştir.



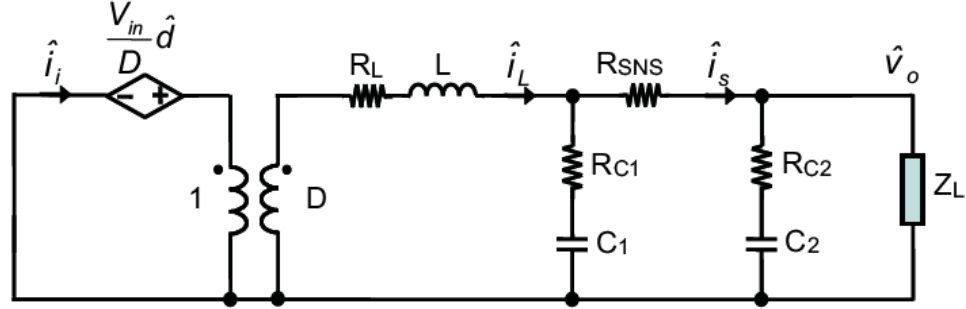
Şekil 5.7. Simetrik mosfet şeması

Küçük sinyal analizinde ise bu model Şekil 5.8’deki halini alır.



Şekil 5.8. Küçük sinyal analizinde anahtar modeli

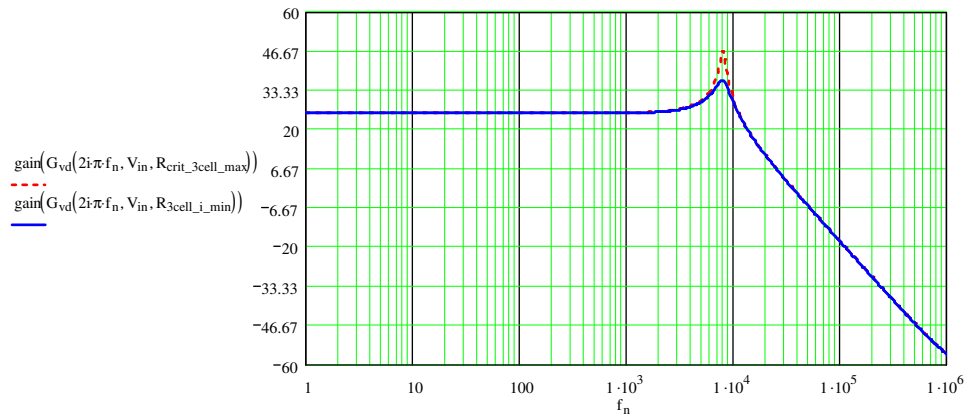
Şekil 5.6’de verilen devre şemasına Şekil 5.8’de bulunan model uygulanacak olursa modellenmesi gereken sistem ortaya çıkar.



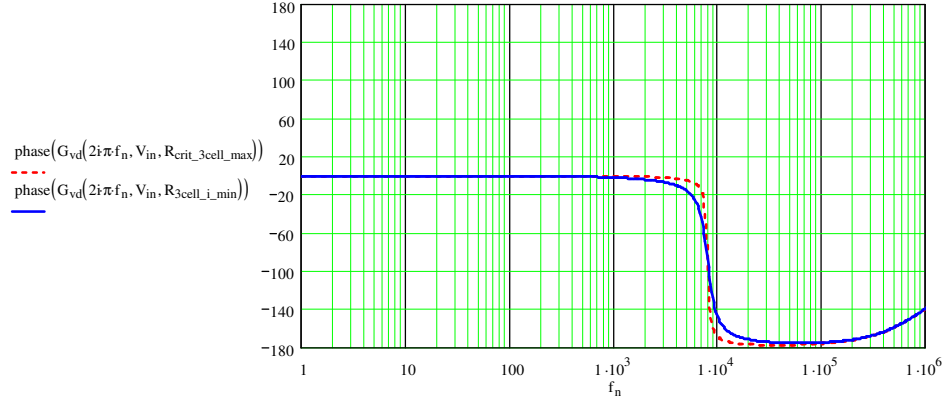
Şekil 5.9. SÇM’da SVDD devre şeması

Bu model kullanılarak çıkış gerilimi için transfer fonksiyonu;

$$G_{vd_1}(s, V_g, Z_L) := V_g \cdot \frac{Z_L}{(Z_L + R_{SNS} + R_L)} \cdot \frac{\left(\frac{s}{\omega_{z1}} + 1\right) \cdot \left(\frac{s}{\omega_{z2}} + 1\right)}{\left(\frac{s}{\omega_{p1}(Z_L)} + 1\right) \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_0 \cdot Q} + \frac{s^2}{\omega_0^2}\right)} \quad (5.26)$$



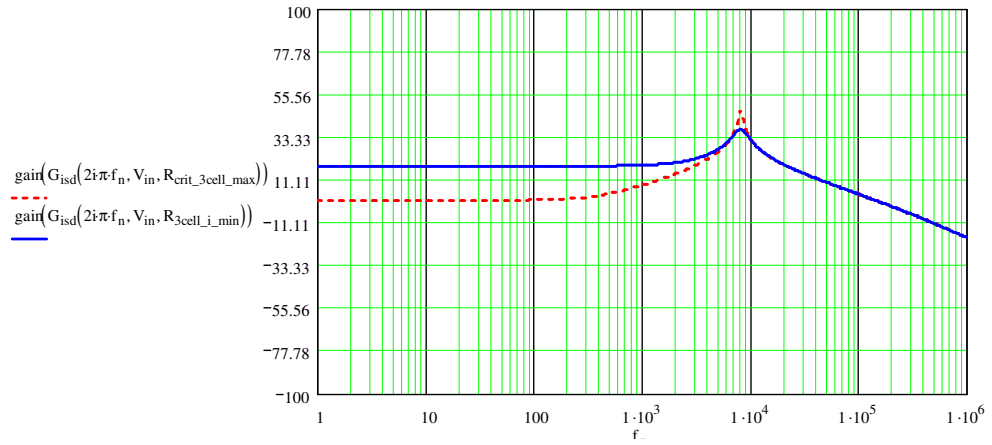
Şekil 5.10. Açık döngü kontrol - çıkış gerilimi kazancı bode çizimi



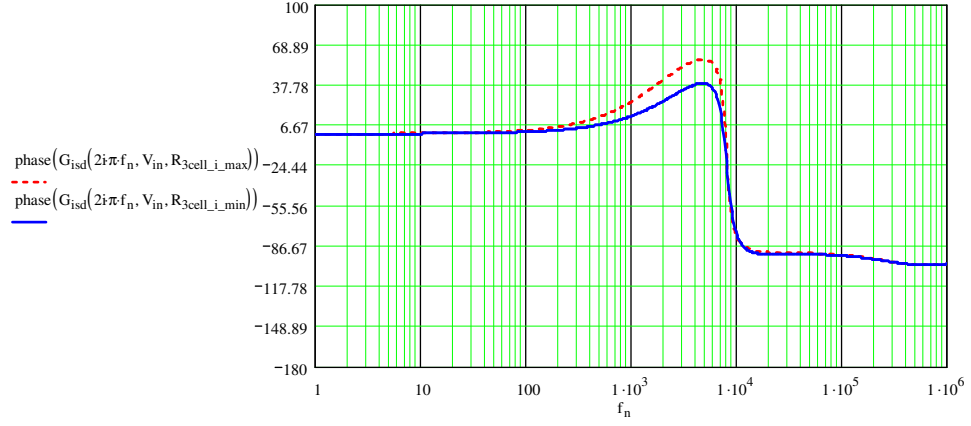
Şekil 5.11. Açık döngü kontrol - çıkış gerilimi faz bode çizimi

Şarj akımı için transfer fonksiyonu;

$$G_{isd_1}(s, V_g, Z_L) := \frac{V_g}{(Z_L + R_{SNS} + R_L)} \cdot \frac{\left(\frac{s}{\omega_{z1}} + 1\right) \cdot \left(\frac{s}{\omega_{z3}(Z_L)} + 1\right)}{\left(\frac{s}{\omega_{p1}(Z_L)} + 1\right) \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_0 \cdot Q} + \frac{s^2}{\omega_0^2}\right)} \quad (5.27)$$



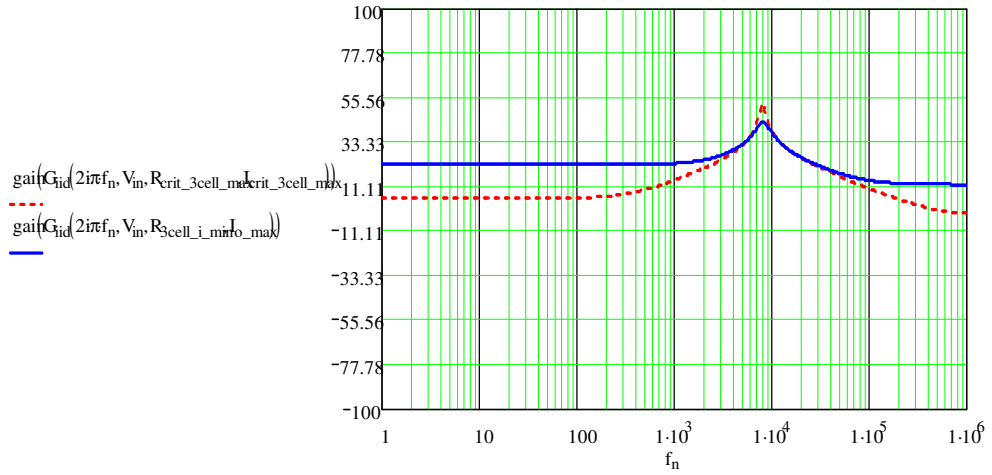
Şekil 5.12. Açık döngü kontrol – şarj akımı kazanç bode çizimi



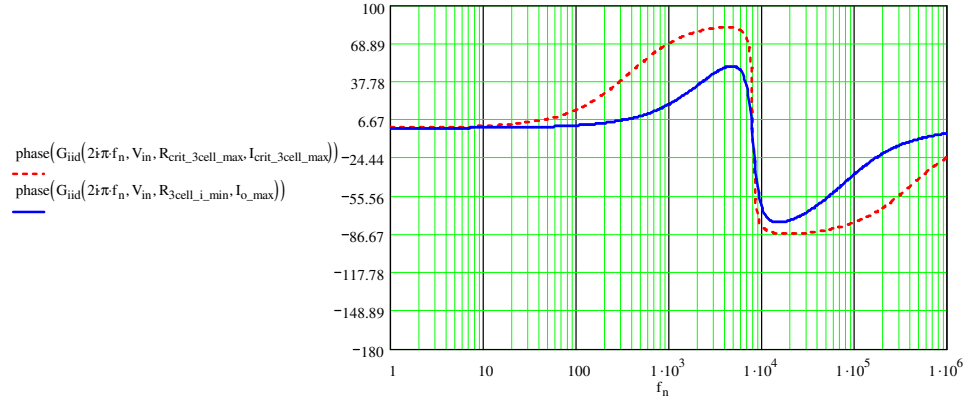
Şekil 5.13. Açık döngü kontrol – şarj akımı faz bode çizimi

Giriş akım kontrolü için transfer fonksiyonu

$$G_{iid}(s, V_g, Z_L, I_L) := I_L + V_g \cdot \frac{s^2 \cdot [R_{C2} \cdot Z_L + (R_{SNS} + R_{C1}) \cdot (R_{C2} + Z_L)] \cdot C_1 \cdot C_2 + s \cdot [(R_{SNS} + R_{C1} + Z_L) \cdot C_1 + (R_{C2} + Z_L) \cdot C_2] + 1}{s^3 \cdot P_3(Z_L) + s^2 \cdot P_2(Z_L) + s \cdot P_1(Z_L) + P_0(Z_L)} \quad (5.28)$$



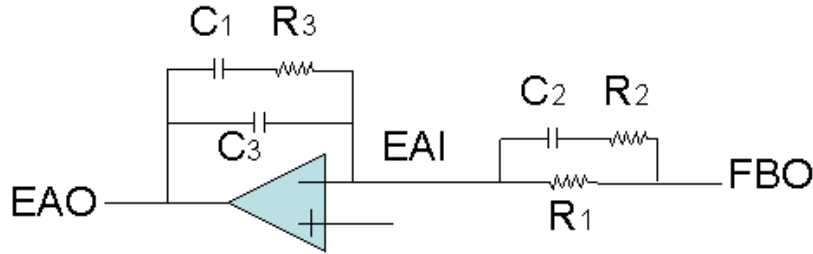
Şekil 5.14. Açık döngü kontrol – giriş akımı kazanç bode çizimi



Şekil 5.15. Açık döngü kontrol – giriş akımı faz bode çizimi

olarak verilmiştir.

Kompanzasyon devresi kullanılarak bu sistemin her tür çalışma koşulunda kararlı çalışması sağlanacaktır.



Şekil 5.16. BQ24721 kontrol kompanzasyon devresi

FBO, EAI, EAO pinleri arasına yerleştirilen C1, C2, C3, R1, R2 ve R3 elemanları ile kompanzasyon devresi gerçekleştirilir.

$$A(s) := \frac{K}{s} \cdot \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_{z1_com}}\right) \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_{z2_com}}\right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{p1_com}}\right) \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_{p2_com}}\right)} \quad (5.29)$$

Entegremizin kompanzasyon transfer fonksiyonudur. Bu fonksiyonda bulunan;

$$K := \frac{1}{R_{1_com} \cdot (C_{1_com} + C_{3_com})} \quad (5.30)$$

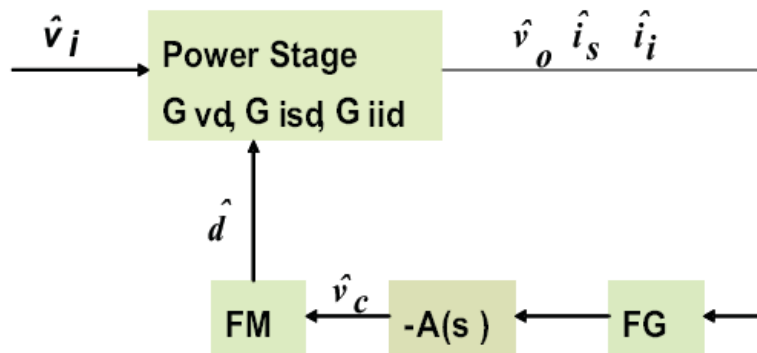
$$\omega_{z1_com} := \frac{1}{R_{3_com} \cdot C_{1_com}} \quad (5.31)$$

$$\omega_{z2_com} := \frac{1}{(R_{1_com} + R_{2_com}) \cdot C_{2_com}} \quad (5.32)$$

$$\omega_{p1_com} := \frac{1}{R_{2_com} \cdot C_{2_com}} \quad (5.33)$$

$$\omega_{p2_com} := \frac{1}{R_{3_com} \cdot \frac{C_{1_com} \cdot C_{3_com}}{C_{1_com} + C_{3_com}}} \quad (5.34)$$

eşitlikleri ile Eşitlik 5.29 tamamlanır.



Şekil 5.17. Kontrol döngü şeması

FG ifadesi geri besleme kazancı olarak ifade edilir. BQ24721 entegresi için bu ifade konfigürasyona ve o an için aktif olan kontrol döngüsüne bağlı olarak değişir.

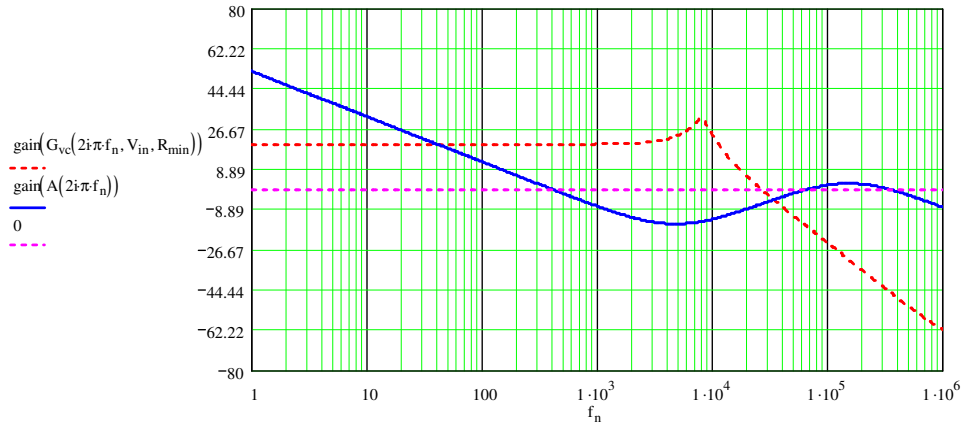
Son parça olan FM ise PWM elde edilmesi gerekli olan testere fonksiyonunu göstermektedir. Bu testere fonksiyonun tepe değeri $V_{cc} / 10$ dur. FM ise $1 / V_p$ olarak tanımlanır.

Bahsedilen 3 döngü şu şekilde verilebilir.

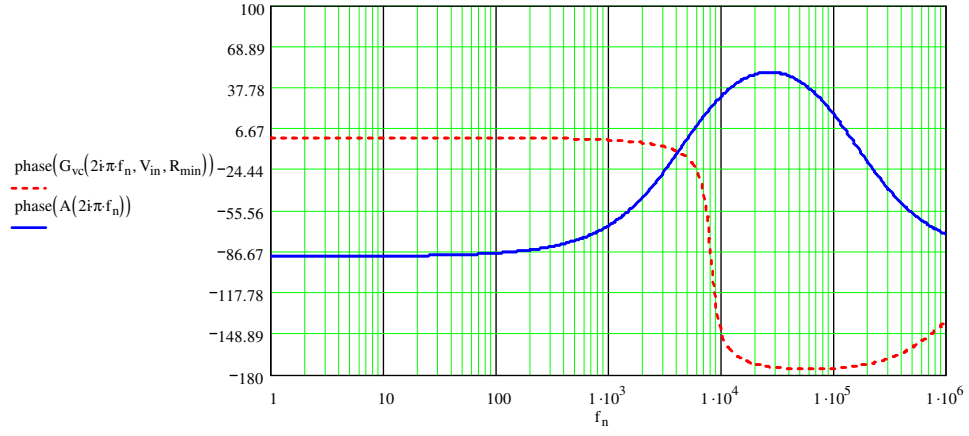
$$T_v(s, V_i, Z_L) := G_{vc}(s, V_i, Z_L) \cdot A(s)$$

$$T_{is}(s, V_i, Z_L) := G_{isc}(s, V_i, Z_L) \cdot T_{add1}(s) \cdot A(s)$$

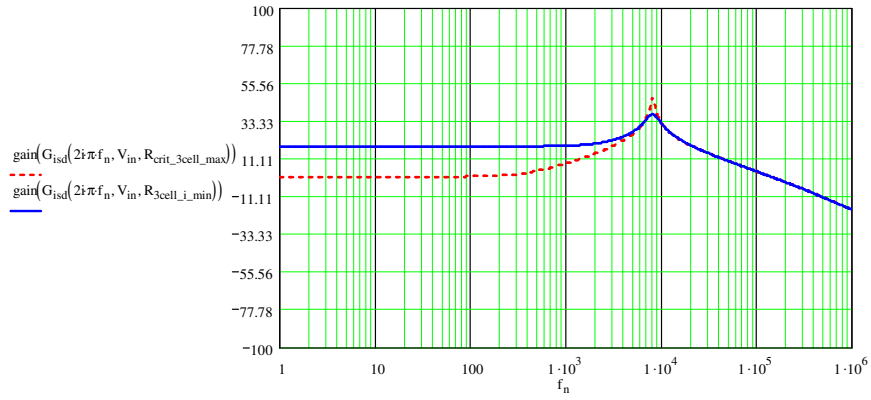
$$T_{ii}(s, V_i, Z_L, I_L) := G_{iic}(s, V_i, Z_L, I_L) \cdot T_{add1}(s) \cdot A(s)$$



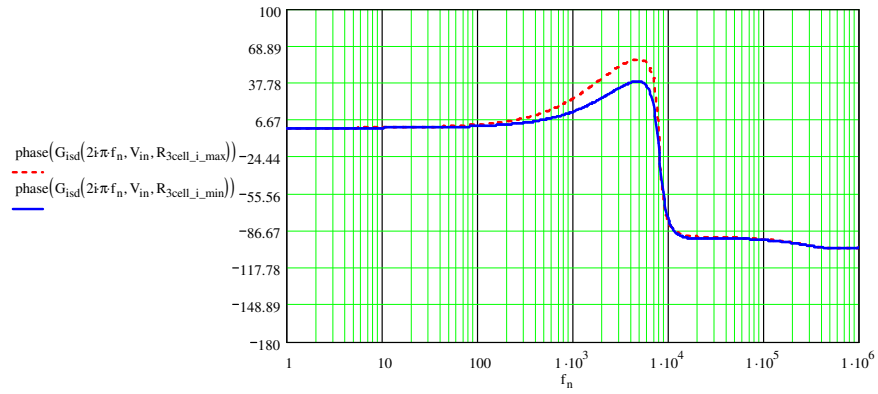
Şekil 5.18. Kapalı döngü kontrol - çıkış gerilimi kazanç bode çizimi



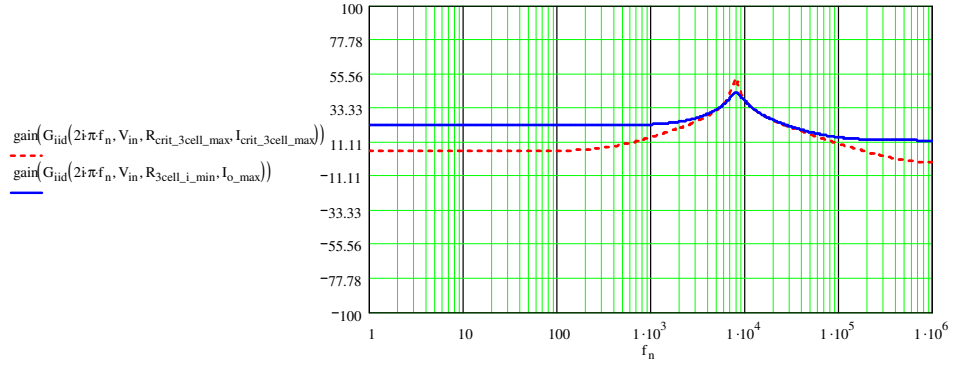
Şekil 5.19. Kapalı döngü kontrol- çıkış gerilimi faz bode çizimi



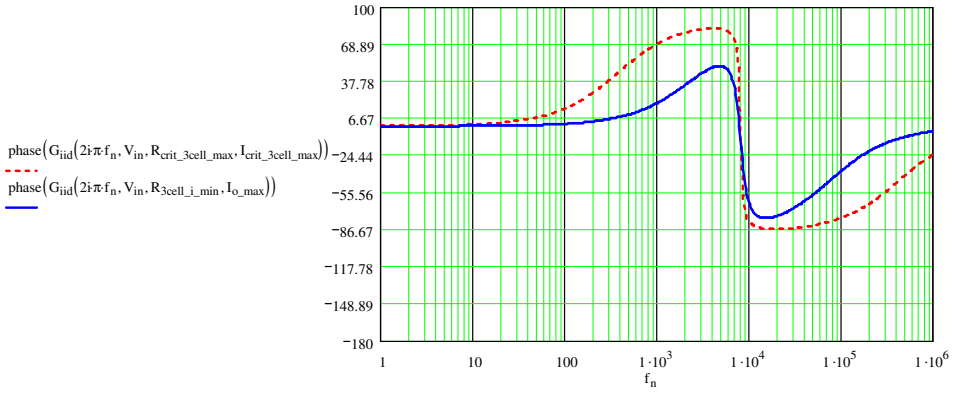
Şekil 5.20. Kontrol- şarj akımı kazanç bode çizimi



Şekil 5.21. Kontrol- şarj akımı faz bode çizimi



Şekil 5.22. Kontrol- giriş akımı kazanç bode çizimi



Şekil 5.23. Kontrol- giriş akımı faz bode çizimi

Şekil 5.18'den Şekil 5.23'e kadar olan bode çizimleri kompanze edeceğimiz üç sistemimizin bode çizimleridir. Bu bode çizimlerinden yararlanarak iteratif bir şekilde uygun kompanzatörün dizaynını yapabiliriz.

Uygun değerler denenerek bode çizimlerinde faz ve kazanç aralıklarına bakılarak uygun kompanzasyon değerleri seçilir.

6. BİLGİSAYAR ARAYÜZ PROGRAMI

Bağımsız güneş paneli sisteminin çalışması için gerekli olmayan ancak yapılan bu çalışmada önemli bir yer tutan bu program sayesinde bağımsız güneş paneli sistemi verilerini eş zamanlı olarak görüntüleyebiliriz.

Delphi 6 programla dili kullanılarak geliştirilen bu program kişisel bilgisayarımızın COM portlerinden biriyle cihazımız arasında RS232 fiziksel yapısıyla haberleşme yapmaktadır.

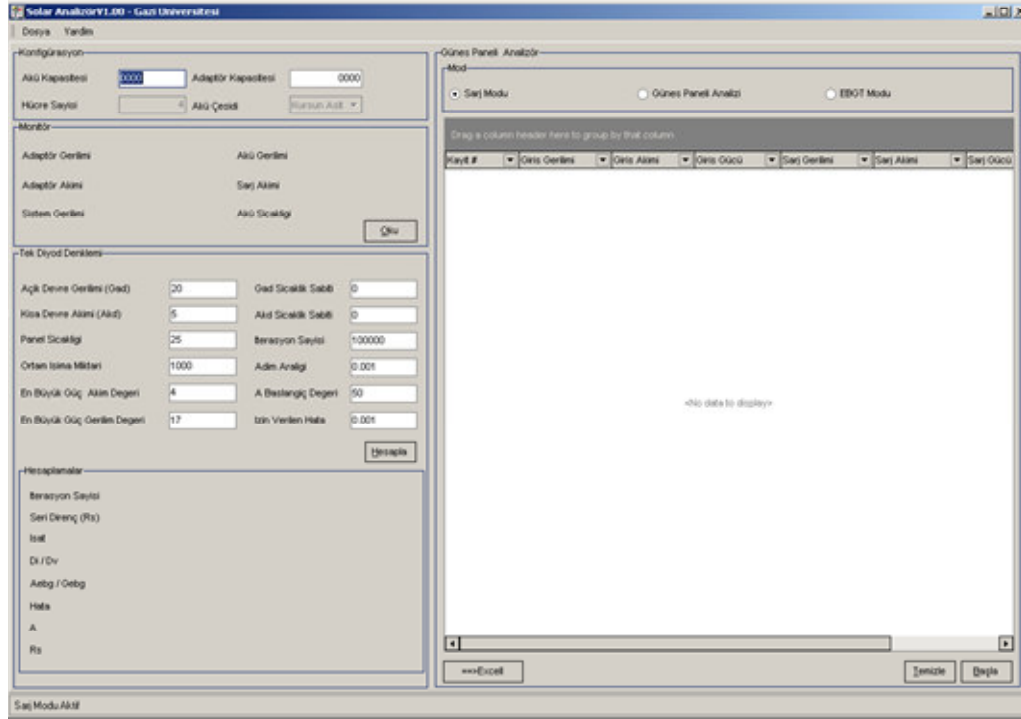
Endüstriyel standart olan MODBUS protokolü ile haberleşme işlemi gerçekleştirilir. Cihaz içerisine gömülen bu MODBUS haberleşme protokolü sayesinde standart bir MODBUS efendi cihazı 4x tablosundan gerekli bilgileri alabilir. Cihaz içerisindeki veri tablosu Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. MODBUS 4X Tablosu

Veri Tipi	Veri	Adresi
float	Yük Akımı	40001-40002
float	Sistem Gerilimi	40003-40004
float	Şarj Akımı	40005-40006
float	Giriş Akımı	40007-40008
float	Sıcaklık	40009-40010
float	Giriş Gerilimi	40011-40012
float	Şarj Gerilimi	40013-40014
float	Giriş Limit Değeri	40015-40016
float	Akü Kapasitesi	40017-40018

Çizelge 6.1 yardımıyla herhangi bir cihaz bizim geliştirdiğimiz cihazdan okuma yapılabilir.

Geliştirilen cihazın köle adresi 1’dir. Delphi 6 gerçekleştirilen program tıpkı bir RTU gibi sorgu yapmakta ve cihazın topladığı verileri almaktadır.



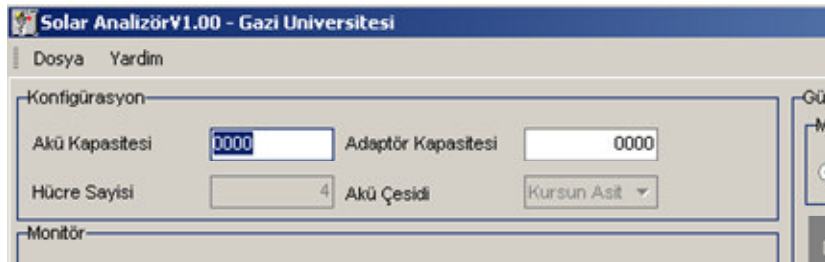
Şekil 6.1. Arayüz program ekranı

Programı bir kaç alt başlıkta inceleyebiliriz.

- Konfigürasyon
- Monitör
- Tek diyot denklemi
- Güneş Paneli Analizör

6.1. Konfigürasyon

Bu ekranda cihazın programlanmış olduğu sisteme ait veriler görüntülenmektedir.



Şekil 6.2. Arayüz konfigürasyon bölümü

Bu veriler;

- Giriş akımı
- Akü kapasitesidir.

Bu değerler cihaz gömülü yazılımı yüklenirken belirlenir ve cihaza yüklenir. Daha sonra değiştirmek mümkün değildir.

6.2. Monitör

Bu ekranda cihazın ölçüm yaparak elde ettiği veriler kullanıcıya sunulmaktadır.

Hücre Sayısı		Akü Çesidi	
4		Kursun Asit	

Monitör			
Adaptör Gerilimi	18.26	Akü Gerilimi	13.56
Adaptör Akımı	1.365	Sarj Akımı	0.85
Sistem Gerilimi	13.85	Akü Sıcaklığı	28.76

Oku

Tek Diyod Denklemi	
Akü Devre Gerilimi (Gad)	Gad Sıcaklık Sahası

Şekil 6.3. Arayüz monitör bölümü

Bu bölümde Şekil 6.3'den de görüldüğü üzere,

- Adaptör gerilimi,
- Adaptör akımı,
- Sistem gerilimi,
- Akü gerilimi,
- Şarj akımı,
- Akü sıcaklığı değerleri görüntülenir.

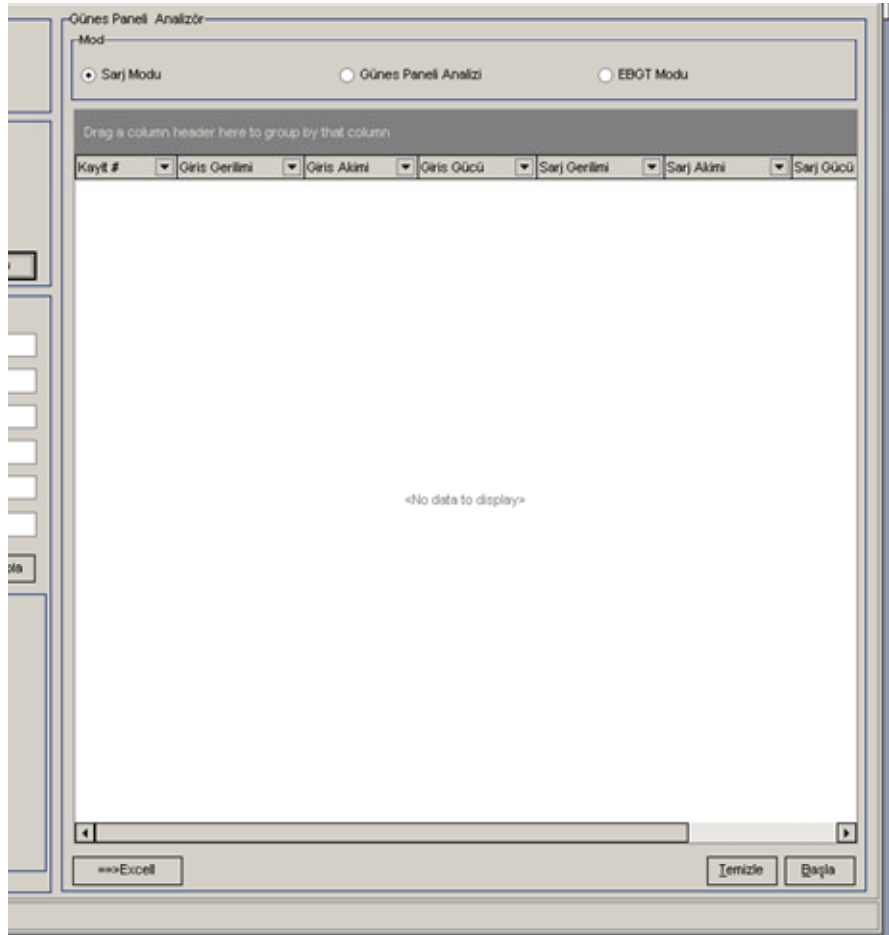
Sağ köşede bulunan OKU tuşuna basılarak cihaz okuma işlemi gerçekleştirilir.

6.3. Tek Diyot Denklemi

Bu bölümde Şekil 3.8’de verilen algoritmanın kullanması gereken parametreler programa girilir. Bölüm 3’de ayrıntılı bir şekilde ele alındığı için burada tekrar sunulmayacaktır.

6.4. Güneş Paneli Analizör

Bu bölümde cihazdan elde edilen veriler sistematik olarak toplanarak yorumlanmak üzere kayıt altına alınır.



Şekil 6.4. Arayüz güneş paneli analizör bölümü

Bu bölümün kullanılması için öncelikli olarak çalışma modunun seçilmesi gerekir. Cihaz analizi için üç farklı mod bulunmaktadır.

- Şarj modu
- Güneş paneli analizör modu
- EBGT modu

Şarj modu ekranında cihaz normal şarj işlemini yaparken sorgulamalar yapılır ve veriler toplanır. Elde edilen veriler, Çizelge 6.2’de görüldüğü gibi saklanır.

Çizelge 6.2. Şarj modu veri toplama ekranı

Kayıt #	Giris Gerilimi	Giris Akimi	Giris Gücü	Sarj Gerilimi	Sarj Akimi	Sarj Gücü	Verim %	Sicaklik
1	19.65	0.196	3.8514	13.26	0.262	3.47412	90.20408163	39.46
0	19.65	0.195	3.83175	13.26	0.265	3.5139	91.70483461	39.49

İstenildiği taktirde bu veriler, bölümün sol alt köşesinde bulunan EXCELL tuşuna basılarak xls formatında saklanabilir.

Bu analiz bilgileri eş zamanlı olarak RTU tarafından MODBUS protokolü sayesinde alınabilir ve merkeze gönderilebilir. Bu sayede merkez, bağımsız güneş enerji sisteminin durumunu sürekli olarak kontrol edebilir. Akü aşırı ısınması, güneş paneli de meydana gelen bir arıza, ya da belki de bilinmeyen bir nedenden kaynaklı gölgelenme ve enerji düşümü gözlemlenerek erken müdahale edilebilir.

7. SONUÇ

Birinci, ikinci ve üçüncü bölümlerde güneş enerjisi ve güneş enerjisinin nasıl elektriksel enerjiye dönüştüğü incelenerek tasarımını yapmaya çalıştığımız sistemin enerji kaynağı incelenmiştir.

Dördüncü bölüm bağımsız bir güneş enerji sisteminin nasıl olması gerektiği konusunda bilgiler içermektedir. Depolama sistemimiz hakkında ayrıntılı bir tartışma gerçekleştirilmiştir.

Bu bilgiler ışığında beşinci bölümde tasarımı yapılan kontrol kartının bileşenleri açıklanmıştır. Bütün bu bölümlerin ışığında kontrol kartı tasarımı gerçekleştirilmiştir.

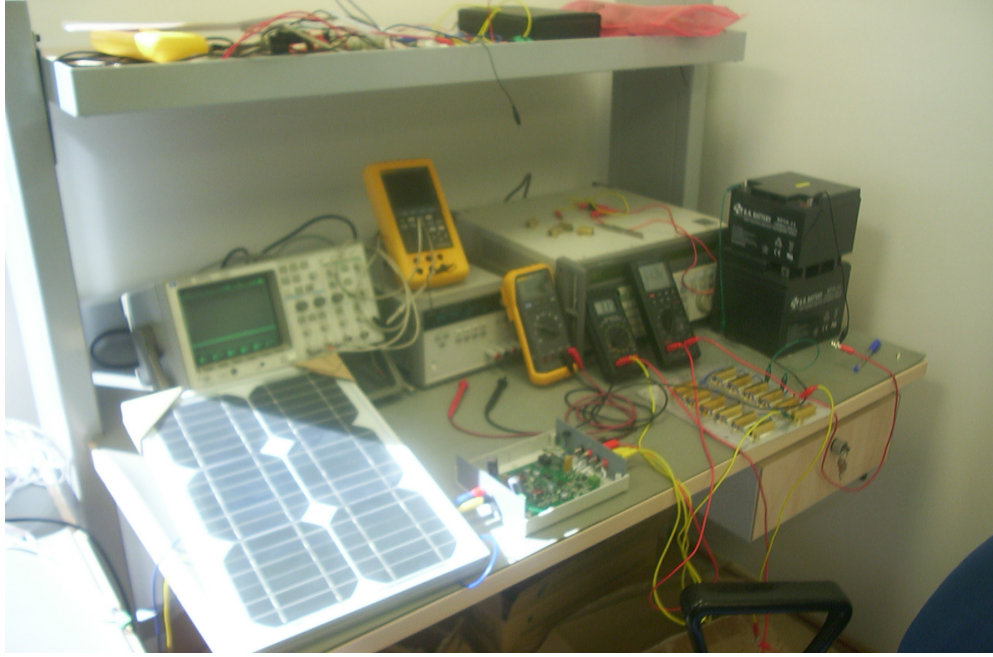
Kontrol kartı üzerinde bulunan bileşenlerin koordinasyon içerisinde çalışmasını sağlayan ve şarj algoritmasını uygulayan gömülü yazılım ise C programlama dili kullanılarak mikrodenetleyiciye yüklenmiştir.

Sistemin çalışma yapısının doğruluğunun anlaşılması için bir dizi test yapılmıştır. Yapılan testlerin amaçlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Şarj evreleri geçişlerinin doğruluğunu test etmek.
- Güneş panel gerilimi 14.5 V'un altına düştüğünde aküyü sisteme sokma işleminin hızını tespit etmek.
- Yükün çektiği akıma bağlı olarak şarj akımını azaltmak.
- Pil boşaldığında pili devre dışı bırakarak pili ve yükü korumak.
- Sistemin verimini olmasını sağlamak.
- Kart üzerinde harcanan gücün kart sıcaklığına etkisini test etmek.

Yukarıda saymış olduğumuz işlevler tek tek test edilerek gerçekleşmiş olan bağımsız güneş enerji sisteminin çalışma performansı ortaya çıkarılmıştır.

Yapılan deneyler için Şekil 7.1’de görülen düzene kullanılmıştır.



Şekil 7.1. Deney düzeneği

7.1. Şarj Evreleri Geçişleri Testi

Bu test işlemi için aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

- Yük çıkışı açık devredir.
- Çok güneşli bir ortamda güneş paneli ya da masa tipi bir DC güç kaynağı sistem girişine bağlanır.
- Giriş akımı ve şarj akımı değerlerini öğrenmek için birer ampermetre bağlanır. Bu değerler bilgisayar üzerinde de monitörlenebilir.
- Giriş gerilimi ve pil gerilimini öğrenmek için birer voltmeter bağlanır. Bu değerler bilgisayar üzerinde de monitörlenebilir.
- Pil şarj çıkışına aşırı boşalmış bir kurşun asit pil bağlanır.
- Ölçülen değerler yardımı ile şarj evreleri ve geçişleri not edilir.
- Not edilen değerler incelenerek şarj evreleri geçişleri kontrol edilir.

Çizelge 7.1. Şarj evre testi sonuçları

V_{pil} (V)	$I_{şarj}$ (A)	Evre
9.8	0.145	Damla Şarj
11.25	6.911	Esas Şarj
12.35	6.9	Esas Şarj
13.46	6.856	Esas Şarj
14.45	5.25	Serbest Şarj
14.4	4.23	Serbest Şarj
14.58	3.26	Serbest Şarj
14.35	1.02	Serbest Şarj
14.48	0.56	Serbest Şarj
14.51	0.25	Serbest Şarj

Çizelge 7.1’den de görüldüğü üzere kontrol devresi pil gerilimine bağlı olarak daha önce beşinci bölümde açıklanan ve Şekil 5.7’de verilen algoritmaya bağlı kalarak şarj akımını sınırlayarak güvenli şarj sunmaktadır.

7.2. Pilin Devreye Sokulma ve Çıkarılması Testi

Bu test ile sistemin asıl nihai hedefi olan sistem geriliminin kesintisiz olarak sağlanması test edilecektir.

Yapılan işlemler şunlardır.

- Yük sistemden yüksek akım çekmektedir. Yük akımı 5 amperdir.
- Çok güneşli bir ortamda güneş paneli ya da masa tipi bir DC güç kaynağı sistem girişine bağlanır.
- Şarj işlemi herhangi bir evrede devam ediyor olabilir. Eğer pil gerilimi kesim geriliminin altında ise sisteme sokulmamalıdır. Bu sebeple en az 11 voltluk bir gerilim gerekmektedir.
- Osiloskop uçlarından biri giriş gerilimini diğeri ise çıkış gerilimini ölçmek üzere bağlanır. Osiloskop tetiği giriş gerilimi düşen kenara ayarlanır.
- Giriş enerjisi kesilir. Sistem gerilimi gözlenir.

Yapılan bu test sonucunda çıkış yani sistem geriliminde bir kesilme gözlenmemiştir. Kontrol devremiz sorunsuz bir şekilde pili sisteme bağlamıştır.

7.3. Yükün Çektiği Akıma Bağlı Olarak Şarj Akımını Azaltma

Tasarlanan sistemde kullanılan BQ24721 entegresinde dinamik güç yönetimi adı altında bir sistem bulunmaktadır. Bu sistemin amacı sınırlı bir kaynak ile yapılan şarj ve yük sisteminde yükün ihtiyaçları doğrultusunda şarj akımının yönlendirilmesidir. Bu prensiple enerji önceliği her zaman yüke verilir. Tasarımı yapılan sistem de 7 amper ile pili şarj ederken yük akımı artırılır ise şarj akımının da azaldığı görülür. Sistem giriş akımı sınırı 3.5 amperdedir. Bu sebeple giriş akımı 3.5'i geçemeyecek şekilde şarj akımı kısılr. Yük aşırı akım çekecek olursa şarj işlemi tamamen kapatılır.

Çizelge 7.2. Aktif güç yönetimi

$I_{giriş} (A)$	$I_{şarj} (A)$	$I_{yük} (A)$
3.25	7	0
3.49	2.45	4.86
3.48	1.12	6.05
3.52	0	6.89

Çizelgeden de görüldüğü üzere sistem giriş akım limitine bağlı olarak önceliği yüke vererek şarj işlemini yönetmektedir.

7.4. Pil Boşaldığında Pili Devre Dışı Bırakma

Pillerle çalışan sistemlerin uzun yıllar sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için pillerin aşırı boşalmaya karşı korunması gerekmektedir. Gerçekte böyle bir durumun oluşması için planlarda olmayan uzun süreli bir enerjisiz kalma durumu ya da sistem gereksinmelerinin altında bir pil seçiminin yapılmış olması gerekmektedir. Böyle bir durumun oluşması bile sistem için bir başarısızlık sayılabilir. Ancak bu durumun oluşma ihtimaline karşılık bu şekilde bir koruma sistemi alınmalıdır.

Sistem yüke bağlanır ve pil ile besleme yapılır. Pil gerilimi 10.5 V'un altına düştüğü anda yük ve akü arasındaki anahtar açılarak sistem ve pil birbirinden ayrılır. Algoritma bu noktadan sonra pil gerilimini sürekli olarak kontrol ederek eğer yeni ve dolu bir pil takılacak olursa bunu algılamaya çalışır. Bu durum oluştuktan sonra pilin tekrar devreye alınma gerilimi 11 V tur. Bunun gerekliliği yapılan testlerde ortaya çıkmıştır. Piller deşarj olurken deşarj akımlarına bağlı olarak farklı gerilimlerde bulunabilirler ve eğer çekilen akım birden sıfır olursa pil gerilimi de birden yükselir. Bu testler esnasında şöyle bir durum ortaya çıkmıştır. Yük 8 amper civarlarında bir değer çekerken akü gerilimi 10.5 V'un altına düştüğü anda sistem pil ile yükü birbirinden ayırmıştır. Bu esnada pil gerilimi 10.8 V civarına yükselmiştir. Sistem ilk tasarlandığı aşamada bu durum düşünülmediğinden algoritma pil gerilimi 10.5 V'un üzerinde gördüğü için pili tekrar devreye almıştır. Bu durumda pil gerilimi tekrar 10.5 V'un altına düşmüştür. Bu durum bir kısır döngüye yol açmıştır. Bu durumu engellemek amacıyla algoritma geliştirilmiş ve pilin tekrar devreye girme gerilimi 11 V olarak ayarlanmıştır.

7.5. Sistem Verimi

Tasarımı yapılan sistem için verim çok önemlidir. Bu bölümde sistemin veriminin hesaplanmasından kullanılan veriler sunulacaktır.

Çizelge 7.3. Sistem verimi

V_{giris}	I_{giris}	P_{giris}	V_{pil}	I_{pil}	P_{pil}	$V_{yük}$	$I_{yük}$	$P_{yük}$	Eff %	P_{kart}
24.8	4.44	110.11	14.27	7.37	105.17	0	0	0.00	95.51	4.94
24.85	4.27	106.11	14.27	7.06	100.75	0	0	0.00	94.95	5.36
24.68	5.72	141.17	13.43	2.42	32.50	13.7	7.38	101.11	94.64	7.56
24.67	5.69	140.37	12.96	0.085	1.10	13.75	9.36	128.70	92.47	10.57
24.67	5.69	140.37	13.68	4.66	67.03	13.86	4.9	67.91	96.13	5.43
24.66	5.69	140.32	13.88	4.6	63.85	13.87	5.12	71.01	96.11	5.45
12.4	1.53	18.97	0	0	0.00	12.16	1.5	18.24	96.14	0.73

Çizelge 7.3'de sistemin farklı çalışma noktalarında hesaplanan verim görülmektedir. En son satırda görülen ise doğrudan aküden beslenme durumunu göstermektedir.

Anahtarlamalı güç kaynaklarının genel karakteristiği olarak düşük güçlerde verim düşmektedir. Ancak çizelgeden de görüldüğü üzere 100 vatlık sistemimiz %90 un üzerinde verimi ile tasarım kriterlerini sağlamaktadır.

7.6. Kart Üzerinde Harcanan Güç

Çizelge 7.4 kullanılarak devre kartı üzerinde harcanan gücü öğrenebiliriz. Bu güç aslında kart üzerinde kullanılan ideal olmayan elemanlar üzerinde harcanmaktadır. Bölüm 5’de devre elemanları seçiminde her bir eleman seçilirken üzerlerinde harcanan güçler de teorik olarak hesaplanmıştır. Bu kayıplara ek olarak bobin, akım okuma dirençleri, kapasitörler ve tabi ki devre üzerindeki iletim yollarında meydana gelen kayıpları göz önüne alacak olursak Çizelge 7.4’de görülen kaybın kart üzerinde nerde bulunduğunu gözümüzde canlandırabiliriz.

Çizelge 7.4. Kart üzerinde harcanan güç

P_{in}	P_{bat}	P_{sys}	P_{kart}
110.11	105.1699	0	4.9421
106.11	100.7462	0	5.3633
141.17	32.5006	101.11	7.563
140.37	1.1016	128.7	10.5707
140.37	67.032	67.914	5.4263
140.32	63.848	71.014	5.453

Yapılan bu testler sonucunda tasarımı yapılan kontrol ünitesinin fonksiyonel olarak tasarım amaçlarını karşıladığı görülmüştür.

Çalışma kapsamında bağımsız bir güneş enerji sisteminin nasıl gerçekleştirilebileceği anlatılmış ve uygulanmış oldu. Kesintisiz olarak yıllarca çalışabilecek bu sistem için kritik olan modül yani kontrol kartı tasarımı gerçekleştirildi.

Sistemin benzerlerine göre en büyük avantajı haberleşme yeteneğine sahip olması ve bu sayede enerji hatlarının dışında, yani ulaşılması zor bölgelere kurulan bu güneş paneli destekli istasyonların güç yönetimlerinin izlenmesine yardımcı olmasıdır.

Gerçekleştirilen bağımsız güneş enerji sisteminin geliştirilmesi için bu kontrol modülüne en büyük güç takip algoritmasının eklenmesi yararlı olacaktır. Bu sayede güneş paneli yükten bağımsız olarak sağlayabileceği en büyük gücü sağlayacak ve enerji kaybı en aza indirilmiş olacaktır.

Çevreye karşı olan duyarlılığı ve uzun yıllar bakım gerektirmeden kullanılacak olan bu düşük güçlü bağımsız güneş enerji sistemi hem güvenilirliği hem de haberleşme yeteneği sayesinde rakip çözümlere göre oldukça avantajlı olmuştur. Ayrıca %90 un üzerinde verimi ile uzun vadede oldukça ekonomiktir.

Enerjinin artık bir lüks ya da ihtiyaç olmasının ötesinde bir mecburiyet olduğu günümüzde bağımsız olarak çalışan güneş paneli sistemleriyle daha sık karşılaşacağımız inancındayım. Bu sistemlerde ise gerçekleştirilmiş olan mikrodenetleyici destekli modüllerin kullanımı yaygınlaşacaktır.

KAYNAKLAR

1. Markvart, T., “Solar Electricity 2nd Edition”, *John Wiley & Sons, LTD. Press*, Chichester, 1-2 (2003).
2. Genç Habitat Derneği, “Güneş Enerjisi”, *Genç Habitat Türkiye*, İstanbul, 38-84 (1998).
3. Internet: Elektrik İşleri Etüd Daire Başkanlığı “Alternatif Enerji Kaynakları Raporu”, www.eie.gov.tr (2001).
4. Liu, S., Dougal, R.A., “ Dynamic Multiphysics Model for Solar array”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 17(2): 285-294 (2002).
5. Weidong, X, Dunford, W.G., Capel, A., “A Novel Modelling Method for Photovoltaic Cells”, *IEEE Power Electronics Specialists Conference, 35th Annual*, Pesc, 1950-1956 (2004).
6. Patel, M.R., “ Wind and Solar Power Systems”, *CRC Press*, Florida, 32-89, 112-275 (1999).
7. Texas Instruments Inc., “Advanced multi-chemistry and multi cell synchronous switch mode charger and system power selector”, *Bq24721C Datasheet*, 5-8, 12-13, 18-24 (2006).
8. Zhao, L., “Input Filter Design for Portable Power Management System”, *TI Application Report*, 2-6, 8-14 (2007).
9. Erickson, R.W., “EMI and Layout Fundamentals for Switched-Mode Circuits”, *ECEN 5797 Supplementary Notes University of Colorado*, 4-38 (2001).
10. Maniktala, S., “PCB Layout Guidelines”, *National Semiconductors Application Note 1229*, 8-17 (2002).
11. Kollman, R., “Constructing Your Power Supply-Layout Considerations”, *Texas Instruments Application Report*, 9-16 (2005).
12. MaximDallas Inc., “Basic Switching-Regulator-Layout Techniques”, *Dallas Semiconductors Maxim Application Report*, 1-3 (2004).

EKLER

EK-1 Kontrol kartı baskı devre çizimi

Önceki bölümde kontrol kartımızın tasarımı için gerekli elemanların nasıl seçileceği ve bu elemanların uygunluğunun nasıl kontrol edileceğinden bahsedilmişti. Elemanların seçiminden sonra yapılması gereken işlem kontrol kartının devre kartı çizimi işlemidir.

Devre kartı çizimi devre elemanlarının kart üzerine yerleştirilmesi ve bunlar arasında bağlantı yollarının birleştirilmesi işlemidir. Ancak bu işlem devre çalışma fonksiyonlarına bağlı olarak karmaşık bir hal alabilir. Özellikle anahtarlama güç kaynaklarının devre şema çizimleri ayrı bir uzmanlık konusudur. Bu çizimler yapılırken bir çok noktaya dikkat edilmesi gerekir. Aksi takdirde sistem performansı gözle görülür bir derecede azalabilir ve hatta sistem hiç çalışmaya bilir.

Uygun çizim elektromanyetik uyumluluk için de şarttır. Bu bölümde bu iş uygulanması gereken bazı kurallar açıklanmaya çalışılacaktır. Devre kartımız bu bölümde bahsedilen bilgiler ışığında çizilmiştir [9].

Hatalı Kabuller

Devre kartı üzerindeki yollar süper iletkenlerdir.

Devre kartı üzerinde bulunan yolların kayıpsız yollar olduğu kabul edilir.

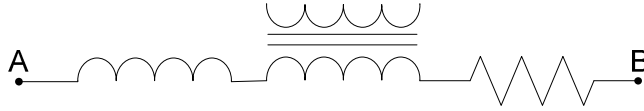


Şekil 1.1. İdeal iletken yol

$$V_A = V_B \quad (1.1)$$

EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi

Gerçekte ise durum oldukça farklıdır ve Eş. 1.1 doğru değildir.

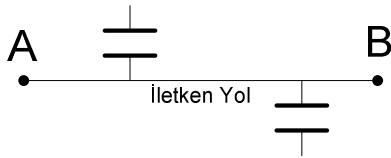


Şekil 1.2. İdeal olamayan iletken yol

Şekil 1.2’de A ve B noktaları arasında tel iç derinci, telin indüktif etkisi ve çevresel etki olarak da oluşan indüktans görülmektedir.

Yollar arasındaki boşluklar yalıtıcıdır

Bir diğer kabul ise akım geçen yollar arasında hiç bir etki olmayacağıdır çünkü hava yani boşluk yalıtıcıdır.



Şekil 1.3. İletken yol boşluk arası ilişki

Gerçekte ise durum Şekil 1.3’de verildiği gibidir.

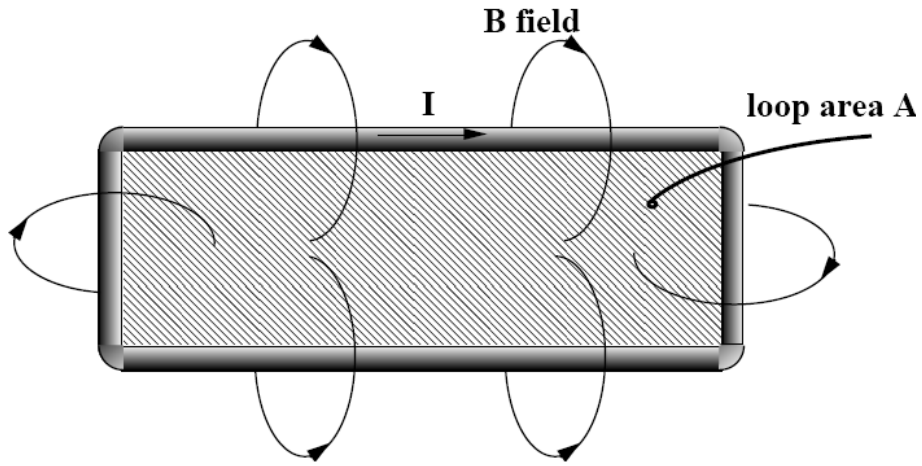
Toprak referans noktaları aynı potansiyelindedir.

Bu daha çok bir kabuldür. Sistem referans noktası olarak kabul edilen ve toprak olarak adlandırılan bu nokta sistem içinde kullanılan her eleman için aynı noktayı işaret açıldığında üzere aslında aynı potansiyelde değildir.

EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi

Elektronik devre tasarımcıları için kullanılan en gereksiz kısaltma belki de toprak işaretidir. Farklı noktalara konulan bu işaret devre şeması çizilirken işlerimizi oldukça kolaylaştırır ancak devre kartı fiziksel bir hal almaya başladıkça bu toprak bağlantıları kafalarımızı karıştırmaya başlar. Özellikle güç kaynağı tasarımlarında toprak noktalarının aslında ayrı bir hat olduğunun ve iki toprak noktasının birbirine bağlanırken aslında ideal olmayan tellerin bağlandığının farkında olunması gerekir

Çizeceğimiz kartın yapısı kapalı bir döngü içerisinde dolaşan akımdan ibarettir.



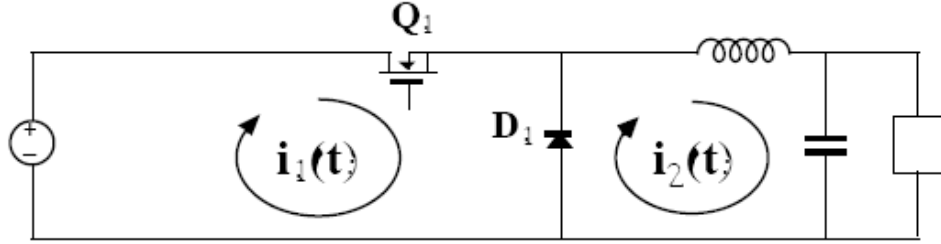
Şekil 1.4. Akım döngüsü

$$L = \frac{\mu_o A_c}{l_m} \quad (1.2)$$

Eş. 1.2'den de görüldüğü üzere döngü alanı büyüdükçe indüktif etkide artmaktadır.

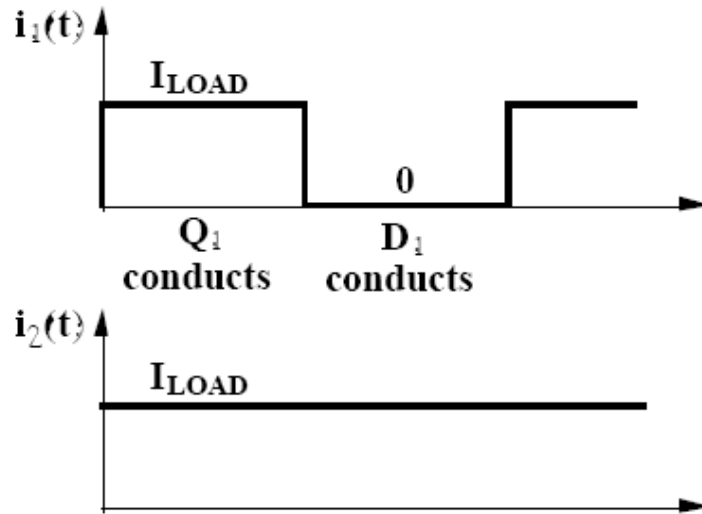
VDD üzerinde geçen akımların yaptıkları döngülere bakacak olursak.

EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi



Şekil 1.5. VDD akım döngüleri

Birinci bölge akım bölgesi sadece Q_1 iletimde iken vardır ikinci bölgede ise akım sürekli. Bunlar Şekil 1.6’da gösterilmiştir.

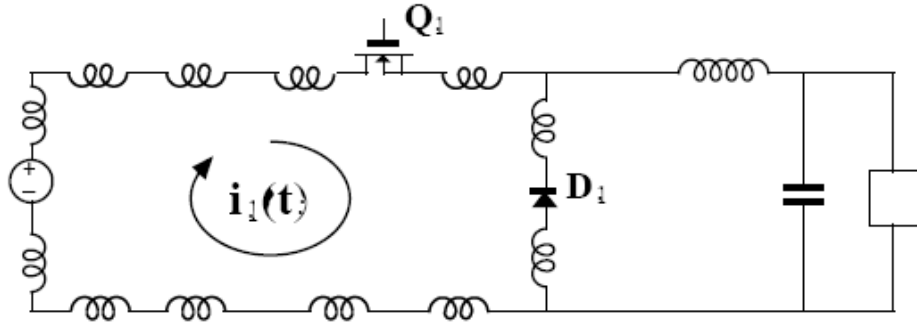


Şekil 1.6. Döngü akım şekilleri

Bu noktada birinci bölge akımının parazitik etki bakımından ikinci bölgeye göre çok daha kritik olduğu söylenebilir.

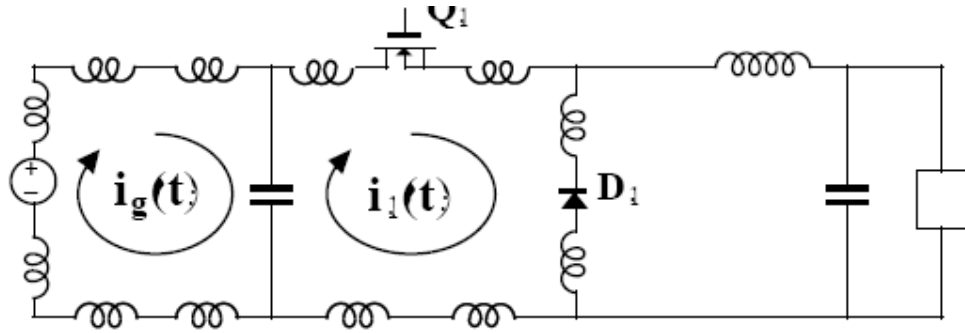
EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi

Bu bölgede akan akım alternatif akımdır ve sistem üzerinde gürültü ve elektromanyetik etkiler yapmaktadır. Bunun giderilmesi için bu bölgeye giriş kapasitesi koymaktayız. Daha önce hesaplanan giriş kapasitesi buraya yerleştirilirken az önce bahsedilen manyetik alan oluşma durumu göz önüne alınmalıdır. Devre üzerinde durumu incelersek.



Şekil 1.7. Parazitik elemanlar ile alternatif akım döngüsü

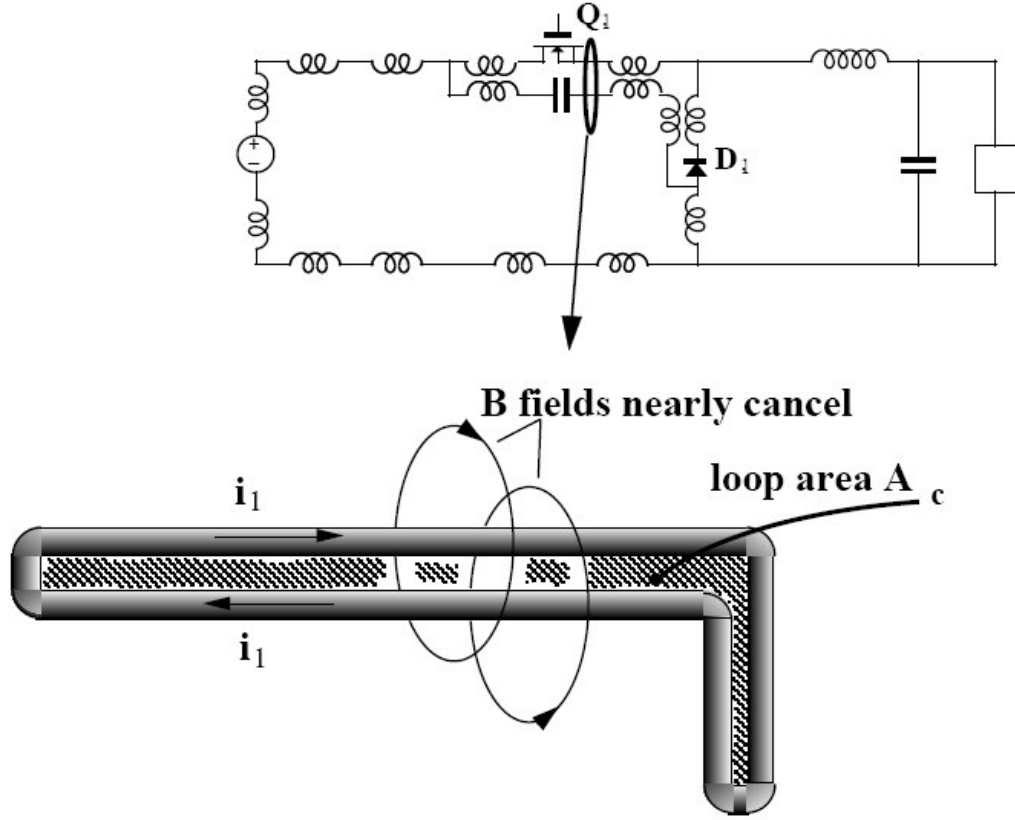
Bir kapasitör yardımı ile bu döngü ikiye bölünür.



Şekil 1.8. Giriş kapasitörü ile akım döngüsünün ikiye bölünmesi

İkiye bölünen döngünün alanı küçültülmesi için kapasite mosfet ile diyotunun anoduna mümkün olan en yakın şekilde yerleştirilir [9].

EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi



Şekil 1.9. Giriş kapasitesi fiziksel konumu

Buraya kadar çizim için önemli bir kaç nokta açıklanmış oldu. Bunları özetlersek.

- Akım yolları mümkün olduğunca kalın ve kısa olmalıdır. Bu sayede parazitik etkilerden mümkün olduğunca az etkilenilir.
- Akım döngülerinin alanları mümkün olduğunca az olmalıdır. Bunu sağlamak için yüksek akım taşıyan hatlar ve elemanlar birbirine mümkün olduğunca yakın konumlandırılmalıdırlar [10].
- Toprak potansiyelinde olan noktalar fazladan öneme sahiptir ve devre içindeki farklı bölgelerin birbirinden etkelenmemesi için ayrı bir özenle bağlanmalıdırlar.

EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi

Kontrol kartımızın tasarımı çok katlı yapılacaktır. Çok katlı kartların geleneksel tek katlı kartlara göre maliyetinin fazla olması bir dezavantaj gibi gözükse de performansı etkileyecek ve yolların çizimini oldukça kolaylaştıracağı düşünülürse bu maliyetin karşılanabilir olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca kullanılacak olan malzemeler yüzeye montaj olacaktır. Günümüz dünyasında artık elektronik elemanlar yüzeye montaj denen bir yapıda üretilmektedir. Bu şekilde kullanılacak eleman seçenekleri oldukça artmaktadır.

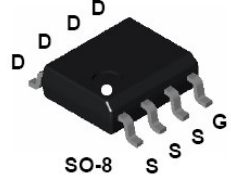
Yüzey montaj elemanlar seri üretim esnasında makineler yardımı ile dizgi işlemi gerçekleştirilir ve bu şekilde bütünsel maliyeti oldukça azaltır.

Kart ile Soğutma

Yüzeye montaj elemanlar için önemli nokta ise soğutma tasarımıdır. Daha önceki bölümlerde güç yarı iletkenleri üzerinde harcanan güçleri hesaplamış ve seçilen elemanlar için sıcaklık sabitleri ile çarpılarak bu elemanların sıcaklık artışları hesaplanmıştır. Bu yarı iletkenler için verilen sıcaklık sabitleri belirli soğuma noktaları üzerinde yaratılan soğuma alanlarını büyüklüğüne bağlıdır. Veri kitapçığında verilen bu değer 1 inç² FR4 malzemenin soğutma olarak kullanılması ile elde edilir. Eğer bu şekilde bir alanınız yoksa bu değer yaklaşık iki katı kadar bir değer sıcaklık sabitiniz olur.

Çok katlı kartlarda soğutma yüzeyleri deliklerle kartın alt yüzeyine taşınır bu şekilde soğutma alanı artmış olur. Ayrıcı ara katlarla da bağlantı kurularak bakır miktarı oldukça artırılabilir. Bu noktada şunu gözden kaçırmamak gerekir; bakır miktarının artması sıcaklık katsayısını doğrusal olarak değiştirmez. Ara katlar hava ile temas etmediklerinden soğumaya ancak %10-%20 etki edebilirler.

EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi



Şekil 1.10. SO-8 yüzeye montaj P-kanal mosfet

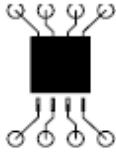
Şekil 1.10’da kullandığımız P kanal mosfet gösterilmektedir. Bu mosfet için soğutma D ile gösterilen akaç bacaklarından yapılmaktadır.

Önerilen soğutma, veri kitapçığında 1 in^2 lik bir oz kalınlığında bir alandır ve bunun sonucunca $50 \text{ }^\circ\text{C/W}$ ’lık bir sıcaklık sabiti elde edilir.



Şekil 1.11. SO-8 paket yüzey montaj mosfet soğutma yüzeyi

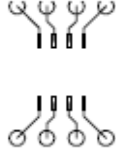
Şekil 1.11’de açıkça görüldüğü gibi soğutma yüzeyi sadece akaç bacaklarına temas etmektedir.



Şekil 1.12. En az soğutma 0.4 in^2

EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi

Eğer Şekil 1.12’de görülen şekli ile tasarımımızı yaparsak 105 °C/W lık sıcaklık sabitimiz olur. Eğer hiç bir soğutma kullanılmaz ise;



Şekil 1.13 Soğutmasız So-8 eleman çizimi

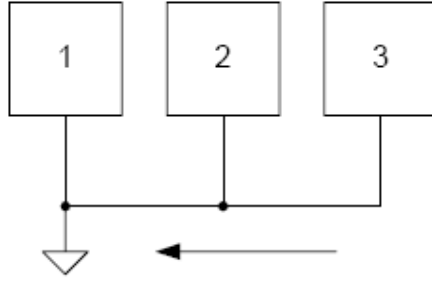
Şekil 1.13’de verildiği gibi çizim yapılacak olursa sıcaklık sabiti 125 °C/W olur. Bu örneklerden de anlaşıldığı üzere elemanların yerleştirilmesi bir çok parametrenin bir araya geldiği bir en iyi bulma oyununa benzetilebilir. Gereğinden fazla yapılan soğutma alanı cihazımızın hacmini büyütecek, kayıpları ve parazitik bozulmaları arttıracaktır. Eğer soğutma yetersiz olursa performans aşırı ısınmadan kaynaklı olarak yine düşecek hatta sistem aşırı ısınma yüzünden zarar bile görebilecektir.

Toprak Hatlarının Bağlanması

Önceki bölümlerde toprak hatlarının öneminden bahsedilmişti. Toprak hatları şematik çizim aşamasında boyları gitgide kısalan alt alta üç çizgi ile gösterilir ve bu halleri bize sanki hattımızın o noktada artık bizim için bir sorun teşkil etmeden güvenli bir şekilde girişteki aynı şekille birleşerek devremizi terk ettiği izlenimine kapılmamıza neden olur. Ancak devre kartını fiziksel olarak çizmeye kalkıştığımızda işler karışmaya başlar. Daha önce bahsedildiği gibi bu hatlardan devrenin bütün akımı geçer ve bu hatlar da ideal olmadıklarından parazitik özellikler göstererek gerilim düşümleri oluştururlar. Toprak hatları devremize farklı şekillerde bağlanabilir.

EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi

Seri bağlama

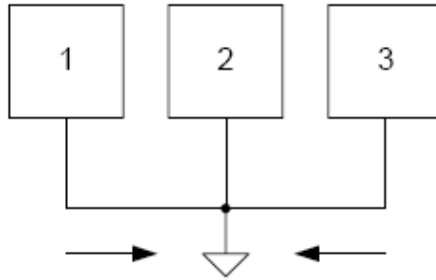


Şekil 1.14. Toprakları seri bağlanmış 3'lü sistem

Şekil 1.14'de 3 farklı sistem toprağı tek tek birbirine seri olarak bağlanmıştır. Bunlar daha sonra tek bir nokta üzerinde toprak hattına bağlanmıştır.

Bu şekilde bağlamada en fazla akım 1 numaralı bölgeden geliyorsa bu akım diğerlerini rahatsız etmez. Ancak bu bağlantıda hat üzerinde düşen gerilimler farklı olacağından gerilim farklılıkları oluşur.

Paralel bağlama



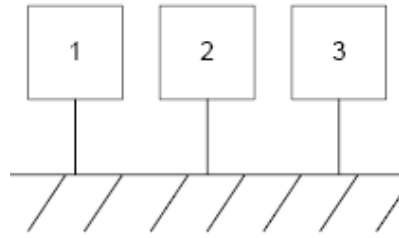
Şekil 1.15. Paralel bağlanmış 3'lü sistem

EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi

Bu tür bağlantıda seri bağlantıda karşılaşılan potansiyel fark ortadan kalkmıştır. Ancak bu bağlantı şekli oldukça karmaşıktır ve çizim yapan kişiyi zorlayabilir. Ayrıca yüksek frekanslarda hatlar empedans etkisi gösterir [11].

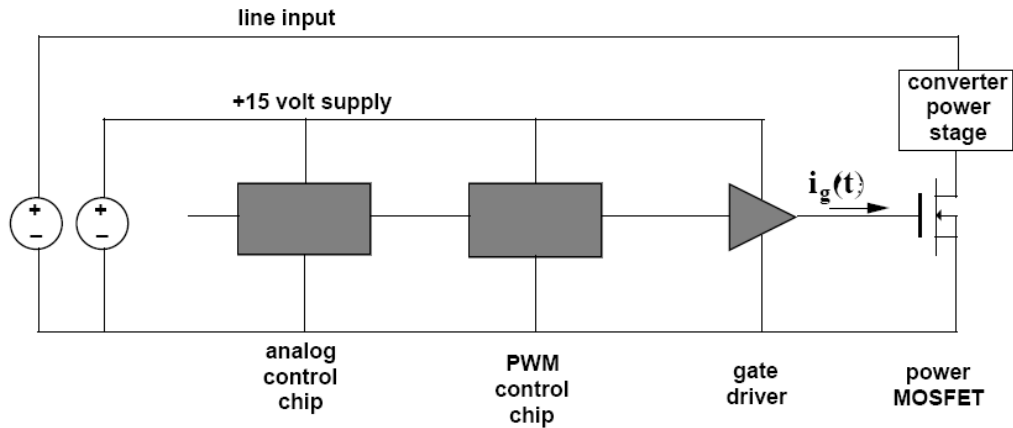
Toprak düzlemi

Çok katlı kartlarda bir katı toprak katı yaparak bu sorunların üstesinden gelebiliriz. Bu şekilde önceki iki bağlantıya göre daha makul bir çözüm sağlanmış olunur.



Şekil 1.16. Toprak düzlemi

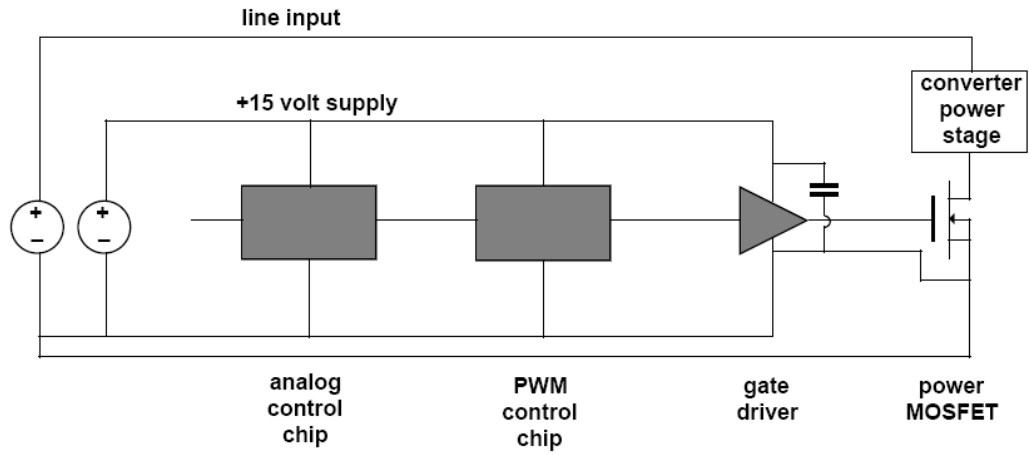
Toprak düzlemi oldukça geniş, bu sebeple de oldukça düşük empedansa sahiptir. Çok katlı ya da çift katlı kart olsun güç kaynakları için önerilen sistem bu sistemdir [11].



Şekil 1.17. Anahtarlama gücü kaynağı örnek seri toprak bağlantısı [9]

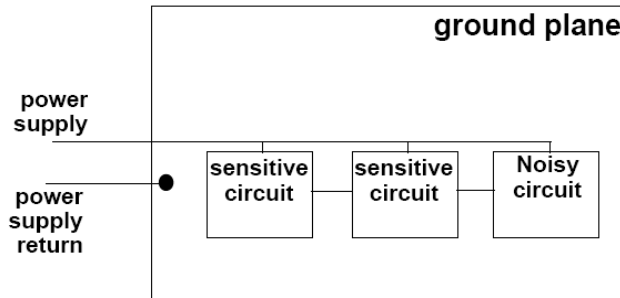
EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi

Eğer çok katlı sistem kullanılmıyor ise Şekil 6.17’de gösterilen devre bağlantı şeması yüksek akım geçen toprak hattıyla düşük sinyallerin bulunduğu hattın ayrılması ile daha doğru bir bağlantı elde edilir.



Şekil 1.18. Anahtarlama gücü kaynağı ayrılmış seri toprak bağlantısı [9]

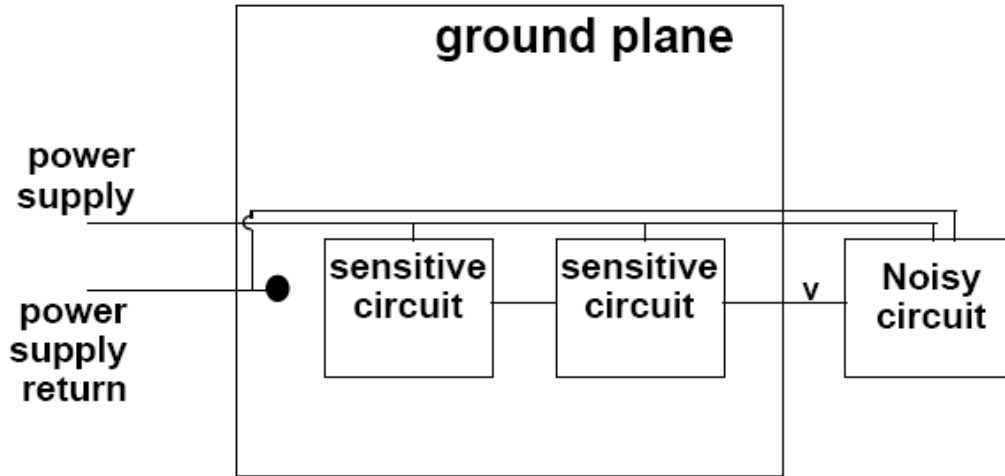
Önerilen toprak düzlemi bağlantı şekli Şekil 1.18’de gösterilen yüksek akım taşıyan toprak hatlarının düşük sinyal taşıyan hatlardan ayrılması önermesi ile yorumlanmalıdır [9].



Şekil 1.19. Hatalı toprak düzlemi bağlantısı

EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi

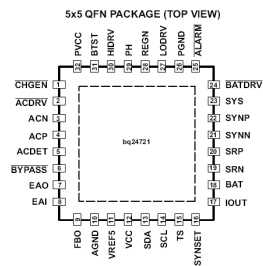
Şekil 1.19’da gösterilen bağlantı gürültü kaynağı ile hassas devreleri aynı düzleme bağlamış ve bu haliyle hatalı bir devre elde edilmiştir.



Şekil 1.20 Gürültü kaynağı ayrılmış toprak düzlemi bağlantısı

Şekil 1.20’de verilen bağlantı sisteminin dezavantajı ise gürültü kaynağının doğrudan girişe bağlanması ve gürültünün girişe taşınmasıdır [11].

Kullandığımız BQ24721 entegresinde hassas bölgeler ile gürültü kaynağı bölgelerin birbirinden ayrılması için iki farklı toprak pini bulunmaktadır. Bunlar analog toprak (AGND) ve güç toprağıdır (PGND).

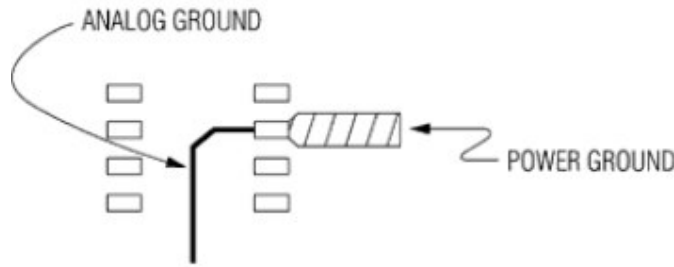


Şekil 1.21. BQ24721 QFN paket bacak numaraları

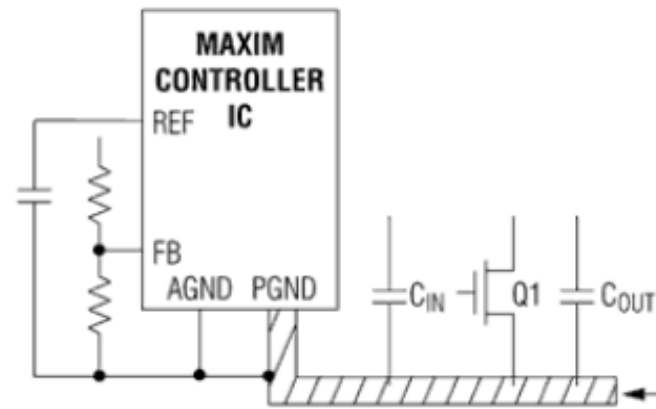
EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi

Şekil 1.21’de görüldüğü üzere üretici firma yüksek akım bölgesini 26-32 pinleri arasında yerleştirmiş. Hassas bölge ise bu noktadan oldukça uzakta olan 7-16 pinleri arasındadır. Kompanzasyon, geri besleme ve analog toprak bir arada kullanıcıya sunulmuştur. Bu noktalara yerleştirilecek elemanlar mümkün olduğunca entegreye yakın olarak yerleştirilmeli ve bu bölgenin toprak düzlemi genel olarak düzleminden ayrılarak tek bir noktadan düzleme bağlanmalıdır.

Maxim firması farklı yapıdaki entegreler için farklı bağlantı şekilleri önermektedir. Bunlar incelenecek olursa tam olarak nasıl bir bağlantı yapmamız gerektiği daha iyi anlaşılacaktır.

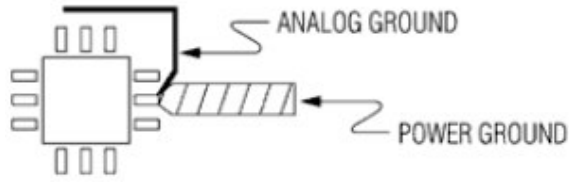


Şekil 1.22. Tek toprak bacağı olan entegrelerin bağlanması [12]



Şekil 1.23. Çift toprak bacağı olan entegrelerin bağlanması [12]

EK-1 (devam) Kontrol kartı baskı devre çizimi



Şekil 1.24. Alt bölgesi toprak olan paketlerde bağlantı [12]

Bu bölümde anlatılan kurallar ışığında kontrol kartımızın dört katlı çizimi gerçekleştirilmiştir. Çizim süresince yukarıda bahsedilen kurallar uygulanmaya çalışılmış, bir biriyle çelişen durumlarda öncelik gürültünün azaltılması ve toprak hattının gürültüden az etkilenmesi yönünde kullanılmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DEMİRDAĞ, Serdar
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 24.08.1979 Mersin
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (536) 554 90 06
 Faks : 0 (312) 265 03 99
 e-mail : serdardemirdag@hotmail.com

Eğitim

Derece

Lisans

Eğitim Birimi

Gazi Üniversitesi/

Elektronik Müh.

Mezuniyet tarihi

2004

Lise

Evrensel Fen Lisesi

1997

İş Deneyimi

Yıl

2005-

Yer

SYS

Görev

Ar-Ge Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tiyatro, Sinema, Fotoğraf