

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ PANELİ İLE BESLENEN STEP
MOTORUN PIC MİKRODENETLEYİCİ İLE
KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN	HAZIRLAYAN
Prof. Dr. Hasan KÜRÜM	Muhammet YILMAZ

AĞUSTOS-2012

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ PANELİ İLE BESLENEN STEP MOTORUN
PIC MİKRODENETLEYİCİ İLE KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

(03113104)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01.08.2012
Tezin Savunulduğu Tarih : 16.08.2012**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hasan KÜRÜM (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZDEMİR (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet POLAT (F.Ü)

AĞUSTOS-2012

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamın her aşamasında sürekli olarak beni destekleyen, teşvik eden ve yardımlarını esirgemeyen Tez Danışmanım sayın Prof. Dr. Hasan KÜRÜM'e saygılarımı sunarım.

Çalışmamın bazı kısımlarına katkılarından dolayı Arş. Gör. Ayşe KOCALMIŞ'a, ve Arş. Gör. Dr. Şükrü HAYTA'ya, benden teknik bilgisini ve teknik imkânlarını esirgemeyen Fesih YILDIZ'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarımnda beni sabırla destekleyen eşime ve aileme teşekkür ederim.

Muhammet YILMAZ

ELAZIĞ-2012

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
TABLolar LİSTESİ	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
RESİMLER LİSTESİ	XI
KISALTMALAR VE SİMGELER	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli	2
1.2. Güneş Işınımı	4
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	7
2.1. Isıl Güneş Teknolojileri	7
2.1.1. Düşük Sıcaklık Sistemleri	7
2.1.2. Yoğunlaştırıcı Sistemler	11
2.2. Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller)	14
2.2.1. Güneş Pillerinin Tarihçesi	14
2.2.2. Yarıiletkenler	15
2.2.3. Yarıiletkenlerin Özellikleri	16
2.2.4. Atomlarda Enerji Seviyeleri ve Bant Yapıları	17
2.2.5. Madde Yapısı	19
2.2.6. Saf (Katkısız) Germanyum ve Silisyumun Kristal Yapıları	20
2.2.7. Yarı İletkenlerin Katkılanması	21
2.2.8. Saf Olmayan(katkılı) Germanyum ve Silisyumun Kristal Yapısı	23
2.2.9. "n" ve "p" Tipi Yarı İletkenlerde Elektron ve Oyuk Hareketleri	24
2.2.10. Güneş Pillerinin Özellikleri	25
2.2.11. Güneş Pili Yapımında Kullanılan Maddeler	26
2.2.12. Güneş Pili Çeşitleri	28
2.2.12.1. Selenyum güneş pili	28
2.2.12.2. Silisyum Güneş Pili	28

2.2.13.	Silisyum Güneş Pili Çeşitleri.....	29
2.2.14.	Güneş Pili Eşdeğer Şeması.....	34
2.2.15.	Klasik Fotovoltaik Güneş Pili Modelleri.....	36
2.2.15.1.	Fotovoltaik Güneş Pili Tek Diyotlu Modeli.....	36
2.2.15.2.	Fotovoltaik Güneş Pili İki Diyotlu Modeli.....	39
2.2.16.	Fotovoltaik Sistemlerin Genel Kullanımı.....	40
2.2.17.	Güneş Pillerinin Çalışma İlkeleri	41
2.2.18.	Güneş Pillerinin Yapısı.....	42
2.2.19.	Güneş Pili Kullanım Alanları	45
2.2.20.	Güneş Piliindeki Kayıplar	47
3.	STEP MOTORLAR	49
3.1.	Step Motorların Kullanım Alanları	49
3.2.	Step Motorların Avantajları.....	50
3.3.	Step Motorların Dezavantajları	51
3.4.	Step Motorlara Ait Bazı Önemli Kavramlar	51
3.4.1.	Adım Tepkisi / Tek Adım Tepkisi / Cevap Süresi / (Single Step Response)	51
3.4.2.	Adım Oranı (Stepping Rate / Starting Pulse Rate).....	52
3.4.3.	Adım Açısı (Step Angle)	53
3.4.4.	Adım Açısı Doğruluğu (Step Angle Accuracy)	53
3.4.5.	Çözünürlük	53
3.4.6.	Overshoot	53
3.5.	Step Motor Tork Parametreleri.....	54
3.6.	Tork – Hız Grafikleri.....	57
3.7.	Etiket Voltajının Anlamı	58
3.8.	Step Motor Çeşitleri	58
3.8.1.	Sabit Mıknatıslı(Permanent Magnet, PM) Step Motorlar	59
3.8.2.	Değişken Relüktanslı(Variable Reluctance, VR) Step Motorlar.....	60
3.8.3.	Hibrid Step Motorlar	61
3.8.4.	Hidrolik Step Motorlar	63
3.8.5.	Lineer Step Motorlar	63
3.9.	Step Motor Çalışma Prensipleri.....	63
3.10.	Step Motor Sürücü Devreleri.....	64

3.10.1.	Tek Kutuplu Sürücü Devreler.....	65
3.10.2.	İki Kutuplu Sürücü Devreler	66
3.10.3.	İki Gerilim Seviyeli Sürücü Devreleri.....	67
3.10.4.	Kıyıcı(Chopper) Sürücü Devreler	68
3.11.	Step Motorlarda Uçların Bulunması.....	69
3.12.	Step Motorlarının Uyarımı	71
3.12.1.	Tek Faz Uyarım (1 Fazlı Tam Adımlı Sürüş)	71
3.12.2.	İki Faz Uyarım (2 Fazlı Tam Adımlı Sürüş)	72
3.12.3.	Karma Uyarım (2 Fazlı Yarım Adımlı Sürüş).....	72
3.13.	Step Motorların Denetimi	74
3.13.1.	Açık Döngü Denetim.....	74
3.13.2.	Kapalı Döngü Denetim.....	74
3.14.	Mosfet Transistörlü Unipolar Motor Sürücü Devresi.....	75
3.15.	PM Step Motora İlişkin Temel Denklemler	76
4.	PIC MİKRODENETLEYİCİLER.....	79
4.1.	PIC16F84'ün Özellikleri	79
5.	GÜNEŞ PANELİ İLE BESLENEN STEP MOTORUN PIC MİKRODENETLEYİCİ İLE KONTROLÜ	83
5.1.	Güneş Paneli	84
5.2.	Akü Şarj Regülatörü	85
5.3.	Akü	88
5.4.	Step Motor Kontrol DevresiS	89
5.4.1.	Mikrodenetleyicinin Programlanması	96
6.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	103
	KAYNAKLAR.....	105
	EKLER	108
	ÖZGEÇMİŞ.....	127

ÖZET

Bu çalışmada artan enerji ihtiyaçlarının karşılanması, kullanılmakta olan enerji kaynaklarının tükenmesi ve çevreye olan zararlı etkilerinin yok edilmesi için son yıllarda kullanılmaya başlayan ve yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlisi olan güneş enerjisi ile enerji üretimi ve kullanımı incelendi.

Tükenmeyen bir enerji kaynağı olan güneş, yapılan çalışmalar neticesinde gelecekte kullanılabilecek olan alternatif enerji kaynakları içerisinde çok önemli bir yer edinmiştir. Bu sebeple tez çalışmamızda güneş enerjisi tercih sebebi oldu. Başta elektronik ve bilgisayar teknolojileri olmak üzere hassas konum kontrolü gerektiren tüm uygulamalarda kullanılan step motorun kontrolü PIC mikrodenetleyici ile gerçekleştirilerek, sistemin enerji gereksinimi güneş panellerinden sağlandı. Güneş paneline gelen güneş ışınlarının sebep olduğu panel çıkışındaki gerilim dalgalanmalarının önüne geçmek, çıkış gerilimini sabitlemek ve sisteme bağlı olan gerilim depolayıcının ihtiyacı olan gerilim değerini elde edebilmek için şarj kontrol regülatörü kullanıldı. Sistemin çalışması Proteus programında farklı değerlerle test edildi. Çalışılabilir hale geldikten sonra devre plaket üzerine aktarıldı. Sistem düşük akım ve gerilimlerin gerektirdiği uygulamalarda istenilen düşük maliyeti ve performansı sağladı.

Anahtar kelimeler: Güneş, Güneş enerjisi, Güneş paneli, Fotovoltaik, Step motor, PIC, Konvertör

SUMMARY

THE CONTROL OF STEP MOTOR-FED WITH SOLAR PANEL, VIA PIC MICROCONTROLLER

In this research, the meet of the increasing energy demands, due to the consumption of the currently used energy sources and to prevent their harms to the environment, the most important renewable energy source that has spread recently, namely solar energy and energy production and usage are observed

As a result of several researches, as being one of the inexhaustible energy sources, sun gained an important place among the alternative energy sources that could be used in the future. For this reason, solar energy became my choice in my research paper topic. The control of the step motor, which is the most important device in electronic and computer world that provides mechanical movement, is being done with PIC microcontroller, and thus the energy need of the system is gained from the solar panels. A battery control regulator is used in order to prevent the voltage fluctuations at the ends of the panels caused by the sun rays which came to the solar panel, to stabilize the release of the voltage and to gain the voltage value needed by the accumulator bounded to the system. The operation of the system is being tested with various values in Proteus program. After being enough to perform, the circuit is transferred on to the plate. System has achieved the low cost and high performance that is needed in the low current and tension requiring applications.

Key words: Sun, Solar energy, Solar panel, photovoltaic, Step motor, PIC, Converter

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı ..	2
Tablo 1.2.	Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	3
Tablo 3.1.	4 Fazlı step motorunun tek faz uyarım	71
Tablo 3.2.	4 fazlı step motoru için 2 faz uyarım.....	72
Tablo 3.3.	4 fazlı step motoru için karma uyarım.....	73
Tablo 4.1	PIC16F84A Mikrokontrolörünün bacak tanımlamaları	81
Tablo 5.1.	Motorun sağa tam adım uyarımla dönmesi için gerekli işaretler	90
Tablo 5.2.	Motorun sağa yarım adım uyarımla dönmesi için gerekli işaretler...	90
Tablo 5.3.	Motorun sola tam adım uyarımla dönmesi için gerekli işaretler	92
Tablo 5.4.	Motorun sola yarım adım uyarımla dönmesi için gerekli işaretler.....	92
Tablo 5.5.	Osilatör hızları ve kullanılacak kondansatör değerleri.	101

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Güneş ışınının atmosferi geçerken aldığı yolun ışının geliş doğrultusuna göre değişimi.....	5
Şekil 2.1.	Yarı iletkenlerin kristal yapısının üç boyutlu olarak gösterilmesi	17
Şekil 2.2.	İletken, yarı iletken ve yalıtkan atomlarında enerji seviyeleri	18
Şekil 2.3.	Yalıtılmış durumdaki bir atomun enerji seviyelerinin şematik gösterimi	20
Şekil 2.4.	a) Silisyum atomunun yapısı. b) Germanyum atomunun yapısı c) Saf germanyumun iç yapısı	21
Şekil 2.5.	n tipi yarı iletkenlerde elektron hareketi	24
Şekil 2.6.	p tipi yarı iletkenlerde oyuk hareketi	25
Şekil 2.7.	Selenyum güneş pilinin yapısı	28
Şekil 2.8.	Güneş pili eşdeğer şeması	34
Şekil 2.9.	p – n jonksiyonunun oluşturulması ve jonksiyona düşen foton enerjisi ile iletkenlik temini	34
Şekil 2.10.	Güneş pili eşdeğer elektrik şeması.....	35
Şekil 2.11.	34 wattlık bir güneş pilinde akım-gerilim eğrileri).....	36
Şekil 2.12.	Fotovoltaik güneş pili tek diyotlu hücre modeli	37
Şekil 2.13.	Fotovoltaik güneş pili tek diyotlu panel modeli.....	37
Şekil 2.14.	Fotovoltaik güneş pili tek diyotlu hücre modellerinin seri bağlanması ..	38
Şekil 2.15.	Fotovoltaik güneş pili iki diyotlu hücre modeli	39
Şekil 2.16.	Yalnız başına çalışan bir fotovoltaik sistem yapısı	40
Şekil 2.17.	Alternatif akım şebekesine bağlı yüksek frekans transformatörü üzerinden güç aktaran bir fotovoltaik pil paneli	41
Şekil 2.18.	Pillerden modül ve örgülerin yapılması	44
Şekil 2.19.	Güneş pili ile akünün şarj edilmesi	44
Şekil 2.20.	Güneş pili enerji sistemi.....	46
Şekil 3.1.	Step motor adım tepkisi karakteristiği	52
Şekil 3.2.	Step motorda overshoot	54
Şekil 3.3.	Tutma torkunun ölçülmesi	56
Şekil 3.4.	Step motorun Tork-Hız grafiği	58
Şekil 3.5.	PM step motorlar.....	59

Şekil 3.6.	PM step motor kesit görünüşü	60
Şekil 3.7.	Değişken relüktanslı step motorunun kesit görünüşü	61
Şekil 3.8.	Hibrid step motorunun kesit görünüşü	62
Şekil 3.9.	Hidrolik step motor	63
Şekil 3.10.	Step motorun prensip şeması	64
Şekil 3.11.	Tek stator sargısı için tek kutuplu sürme devreleri.	65
Şekil 3.12.	Dört fazlı hibrid step motoru için tek kutuplu sürücü devre	66
Şekil 3.13.	İki kutuplu step motoru için iki kutuplu sürücü devre.	67
Şekil 3.14.	İki gerilim seviyeli sürücü devreleri	67
Şekil 3.15.	Kıyıcı sürücü devreler	69
Şekil 3.16(a).	Bipolar sargı tipi	70
Şekil 3.16(b).	Unipolar sargı tipi.....	70
Şekil 3.17.	8 uçlu step motor.....	71
Şekil 3.18.	Açık döngü denetim	74
Şekil 3.19.	Kapalı döngü denetim	75
Şekil 3.20.	MOSFET transistörlü sürücü devresi.....	76
Şekil 4.1	PIC16F84A' nın bacak bağlantıları	80
Şekil 5.1	Uygulama devresinin blok diyagramı	84
Şekil 5.2	Proteus programında akü şarj regülatörü	87
Şekil 5.3.	Proteus programında step motorun sağa dönüş animasyonu	91
Şekil 5.4.	Proteus programında step motorun sola dönüş animasyonu	93
Şekil 5.5.	Sağa tam adım uyartımda step motorun faz sargılarına gelen sinyaller...	94
Şekil 5.6.	Sağa yarım adım uyartımda step motorun faz sargılarına gelen sinyaller	94
Şekil 5.7.	Sola tam adım uyartımda step motorun faz sargılarına gelen sinyaller ...	95
Şekil 5.8.	Sola yarım adım uyartımda step motorun faz sargılarına gelen sinyaller	95
Şekil 5.9.	PIC16F84A'nın programlanması için gerekli akış diyagramı	96

RESİMLER LİSTESİ

Resim 2.1.	Güneş kolektörleri.....	8
Resim 2.2.	Vakumlu güneş kolektörleri	8
Resim 2.3.	Güneş havuzları	9
Resim 2.4.	Güneş mimarisi	9
Resim 2.5.	Ürün kurutma ve seralar.....	10
Resim 2.6.	Güneş bacaları.....	10
Resim 2.7.	Su arıtma sistemleri	11
Resim 2.8.	Güneş ocakları	11
Resim 2.9.	Parabolik oluk kolektörleri	12
Resim 2.10.	Luz International-Kaliforniya	12
Resim 2.11.	Parabolik çanak güneş ısı elektrk santrali (İspanya).....	13
Resim 2.12.	Solar I merkezi alıcı güneş ısı elektrk santralı (İspanya).....	13
Resim 2.13.	Silisyum güneş pili.....	29
Resim 2.14.	Kristal silisyum güneş pili	30
Resim 2.15.	Monokristal silisyum güneş pili.....	30
Resim 2.16.	Amorf silisyum güneş pili.....	32
Resim 2.17.	Bakır indiyum diselenoid güneş pili	33
Resim 2.18.	Güneş pilinin yapısı	42
Resim 2.19.	Silisyum güneş pilinin ön yüzü.....	43
Resim 3.1.	Step motor.....	49
Resim 3.2.	Hibrid step motoru	62
Resim 3.3.	Lineer step motor	63
Resim 4.1	PIC16F84A	80
Resim 5.1	10 W güneş paneli.....	84
Resim 5.2	Akü şarj regülatörü	87
Resim 5.3	6V kuru tip akü	88
Resim 5.4.	Step motor kontrol devresi.....	89
Resim 5.5.	Mikrodenetleyici türünün seçilmesi.....	97
Resim 5.6.	PIC16F84A'nın özelliklerinin ayarlanması	98
Resim 5.7.	ASM koduyla yazılmış programın HEX koduna dönüştürülmesi	98

Resim 5.8.	Uygulamada kullanılan step motor	99
Resim 5.9.	LEAPER 48 programlayıcıda mikrokontrolörün seçilmesi işlemi	99
Resim 5.10.	LEAPER 48 programlayıcıda komutların mikrokontrolöre yazdırılması işlemi	100
Resim 5.11.	LEAPER 48 programlayıcı	100
Resim 5.12.	Step motor kontrol devresi ve şarj regülatörü	101
Resim 5.13	Step motor kontrol devresi ve şarj regülatörü	102

KISALTMALAR VE SİMGELER

DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
WRC	: World Radiation Center (Dünya güneş ışıınımı merkezi)
B	: Güneş ışıınlarının yansımaya veya saçılmaya uğramadan bir yüzeye düşmesi <i>doğrudan</i> (direct yada beam) ışıınım
D	: Saçılmaya uğradıktan sonra yüzeye gelen ışıınım
r_g	: Bir yüzeyden tüm yönlerle yansıyan veya saçılan güneş ışıınlarının yüzeye gelen toplam ışıınıma oranı
R	: Yerden yansıyarak gelen (ground reflected) ışıınım
AM	: Hava kütlesi (Airmass)
H₂O	: Su buharı
O₂	: Oksijen
O₃	: Ozon
CO₂	: Karbondioksit
°C	: Derece santigrat
PV	: Fotovoltaik(photovoltaic)
W	: Watt
MW	: Megawatt
kW	: Kilowatt
K	: Kelvin
W/m²	: Güneş enerjisi birimi
θ_z	: Zenit açısı
°A	: Angström
m	: Metre
sn	: Saniye
Ωcm	: Özdirenç
DA	: Doğru akım
STC	: Standard Test Conditions (Standart Test Şartları)
GaAs	: Galyum arsenit
CdTe	: Kadmiyum tellürid
CuInSe₂	: Bakır indiyum diselenoid

SiO₂	: Silisyum oksit
P₂O₅	: Potasyum oksit
Si	: Silisyum
Ge	: Germanyum
a-Si	: Amorf silisyum
CIS	: Bakır indiyum ve selenyum güneş pilleri
Ga	: Galyum
CdS	: Kadmiyum selenyum
A₁	: Diyot kalite faktörü
R_S	: Seri direnç
R_P	: Paralel direnç
I_h	: Hücre akımı
I_D	: Diyot akımı
I_P	: Panel akımı
V_P	: Panel gerilimi
V_h	: Hücre gerilimi
N_P	: Paneli oluşturan dizin sayısı
N_S	: Dizini oluşturan seri hücre sayısı
JL	: Işıksal kayıplar
CW	: Saat ibresi yönünde
CCW	: Saat ibresinin tersi yönünde
N.m	: Tutma torku birimi
SW	: Anahtar
V_H	: Yüksek gerilim
V_L	: Düşük gerilim
P	: Güç
I	: Akım
V	: Gerilim
P_m	: Mekanik güç
T_m	: Dönme momenti (Tork)
w_n	: Açısal hız
F	: Kuvvet

1. GİRİŞ

Günümüzde en çok ihtiyaç duyulan enerji türü ısı ve elektrik enerjisidir. Elde edilen kaynakların çoğu ısı ve elektrik enerjisi elde etmek için kullanılır. Petrol, doğalgaz, kömür v.b. fosil yakıtların çevreye verdikleri zarar oldukça fazladır. Nükleer yakıtlar ise çevreye zarar vermemekle birlikte nükleer atıkların imhası ve depolanması problemi ortaya çıkmaktadır. Yakın zamanda Fukuşima Nükleer Santralinde meydana gelen sızıntı neticesinde nükleer santrale sahip birçok ülke kullanım süresini doldurmuş santrallerini kademeli olarak kapatmayı planlamaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalarla fosil yakıtlardan elde edilen enerji miktarının, çevreye verdikleri zararın çok gerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Kullanılmakta olan enerji kaynaklarının tükenmeye başlaması, çevreye verdikleri zarar ve artan enerji ihtiyaçlarının karşılanamaması gibi sebeplerden dolayı alternatif enerji kaynakları arayışlarına başlanmıştır. Alternatif enerji kaynakları(güneş, rüzgar, biokütle, jeotermal, dalga, gel-git) içerisinde fotovoltaiik enerji temiz, çevreye ve canlılara zararı olmayan aynı zamanda hiçbir çevresel atık içermeyen bir enerji türü olması nedeniyle öne çıkmıştır.

Nüfus artışıyla birlikte artan enerji ihtiyacı, önümüzdeki yıllarda enerji tüketiminin artacağını göstermektedir. Bu enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi güneş enerjisidir. 2050 yılında dünya enerji talebinin %10'a yakın kısmının fotovoltaiik enerjiden sağlanması düşünülmektedir.

Yarıiletken üretim ve araştırma teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, step motorların endüstriyel uygulamalardaki önemi de artmıştır. Adım motorları sayısal kontrol sistemlerinde, yazıcılarda, valflerde, disk sürücülerinde ve daha birçok uygulamalarda kullanılmaktadır. Step motorlarının kullanımının hayatımızın her parçasına girmesiyle beraber bu motorların konum ve hız kontrolleri de önem kazanmıştır. Step motorlarının diğer birçok motor çeşidinde gerekli olan geri beslemeye ihtiyaç duymadan çalışabilmesi ve sayısal kontrol sistemleriyle rahatlıkla kontrol edilebilmesi gibi özellikleri sayesinde mikroişlemci ve mikrodenetleyiciler ile kullanımı önem kazanmıştır.

Mikrodenetleyiciler de büyük aşamalar kaydederek günümüzde sayısal kontrol sistemlerinde vazgeçilmez bir hale gelmişlerdir. Microchip firması tarafından üretilen PIC mikrodenetleyiciler, maliyetlerinin düşüklüğü, çalışma hızlarının yüksekliği ve kullanım avantajları ile oldukça yaygın bir kullanım alanı bulmuşlardır. Öyle ki; PIC destekli bu

çalışmalar, komut sayısının çok fazla olmasına rağmen kullanıcının hayal gücüyle sınırlı hale gelmiştir [1].

1.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, sahip olduğu coğrafi konum dolayısı ile yeterli güneş enerjisi potansiyeline sahip bir ülkedir. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretiminin 1,7 katıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışıyım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıyım şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1100 kWh’lik güneş enerjisi üretebilir [2, 3, 4]. Tablo 1.1' de Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri aylara göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 1.1. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı [2,3].

Aylar	Aylık Toplam Güneş enerjisi		Güneşlenme Süresi
	(kcal / cm ² -ay)	(kWh / m ² -ay)	(saat / ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311,0	2640
Ortamala	308,0 cal / cm² -gün	3,6 kWh / m² -gün	7,2 saat / gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Tablo 1.2' de Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 1.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [2, 3].

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi	En çok güneş enerjisi (Haziran)	En az güneş enerjisi (Aralık)	Ortalama Güneşlenme Süresi	En çok güneşlenme süresi (Haziran)	En az güneşlenme süresi (Aralık)
	<i>kWh / m² -yıl</i>	<i>kWh / m²</i>	<i>kWh / m²</i>	<i>saat / yıl</i>	<i>saat</i>	<i>saat</i>
Güneydoğu Anadolu	1460	1980	729,0	2993	407	126
Akdeniz	1390	1869	476,0	2956	360	101
Doğu Anadolu	1365	1863	431,0	2664	371	96
İç Anadolu	1314	1855	412,0	2628	381	98
Ege	1304	1723	420,0	2738	373	165
Marmara	1168	1529	345,0	2409	351	87
Karadeniz	1120	1315	409,0	1971	273	82

Yukarıda ki tabloya göre Türkiye'nin en çok ve en az güneş enerjisi üretilecek ayları sırası ile Haziran ve Aralık olmaktadır. Bölgeler arasında ise öncelikle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz sahilleri gelmektedir. Güneş enerjisi üretiminin yok denecek kadar az olduğu Karadeniz bölgesi dışında yılda birim metre kareden 1.100 kWh'lik enerji üretilebilir ve toplam güneşli saat miktarı ise 2640 saattir. Buna göre Türkiye'de toplam olarak yıllık alınan enerji miktarı ise yaklaşık 1015 kW saat kadardır [3].

Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar [2].

1.2. Güneş Işınımı

Fotovoltaik bir sistemin tasarımı o bölgenin güneş ışınımı potansiyeline göre yapılır. Bu nedenle tasarımın gerçekleştirileceği bölgedeki güneş ışınımı verileri dikkatle incelenmelidir.

Güneş etkin olarak yaklaşık 5800 K derece sıcaklığında siyah cisim özelliklerine sahiptir. Atmosfer dışında birim yüzeye dik olarak doğrudan gelen enerji akısı, S, güneş sabiti olarak adlandırılır ve Dünya Işınım Merkezi (World Radiation Center, WRC) tarafından ölçüm sonuçlarına göre bulunan ve bilimsel çevrelerce de kabul gören $S = 1367 \text{ W/m}^2$ değerine sahiptir. Işınım, ısıma yapan bir kaynaktan birim yüzeye gelen güç olarak adlandırılır. Mevcut güneş enerjisi W/m^2 birimi ile yani 1 m^2 alana düşen Watt cinsinden enerji olarak gösterilir. Güneşten dünya üzerindeki 1 metrekarelik bir yüzeye watt olarak düşen bu enerji akısına “Güneş Işınımı” denir. Işınım verileri DMİ tarafından ölçülüp kayıt edilir. Ölçüm noktaları ile sistem kurulum yerleri arasında yerel sis, bulutlar ve yerel hava kirliliğine bağlı olarak artış ve azalmalar gözlenebilmektedir [5].

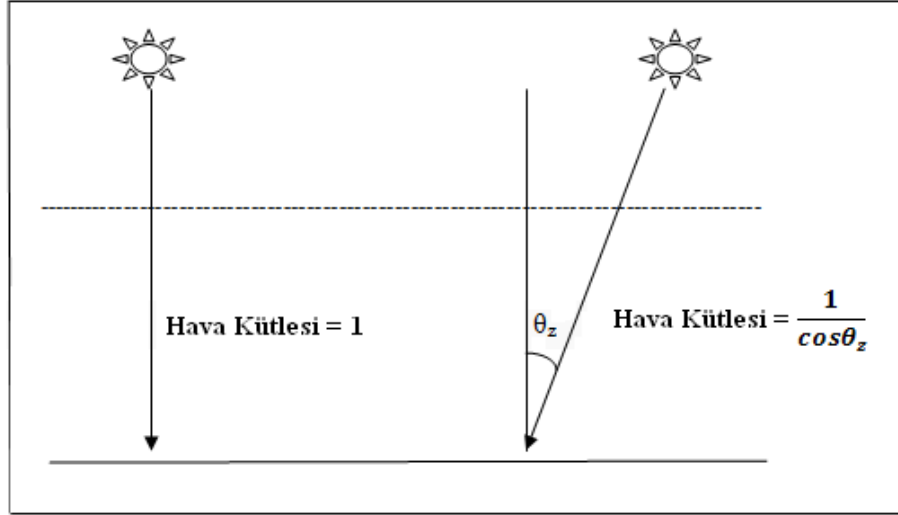
Dünya atmosferinin dışına ulaşan enerji miktarı yaklaşık 1367 W/m^2 ‘dir. Bu enerjinin bir kısmı atmosferden geçerken soğrulur, bir kısmı ise yansıtılır. Ayrıca toz parçacıkları, gaz molekülleri ve kirlilik nedeniyle bir kısmı saçılır. Bunun sonucunda havanın açık olduğu bir günde dünya yüzeyine düşen toplam enerji ortalama 1000 W/m^2 ‘dir.

Güneş ışınları atmosfer içerisine girdikten sonra gelen ışınların bir kısmı saçılarak yön değiştirirler bir kısmı da havadaki moleküller tarafından emilerek enerji kaybederler. Güneş ışınlarının yansımaya veya saçılmaya uğramadan bir yüzeye düşmesi *doğrudan*, B, (direct veya beam) ışınım olarak adlandırılır. Saçılmaya uğradıktan sonra yüzeye gelen ışınım da *yayılı*, D, (diffuse) ışınım denir. Yatay bir yüzeye gelen doğrudan veya yayılı ışınımın toplamına *Global Güneş Işınımı* (total solar irradiation) denir. Bir yüzeyden tüm yönlerde yansıyan veya saçılan güneş ışınlarının yüzeye gelen toplam ışınım oranı *albedo* olarak adlandırılır [6] ve r_g ile gösterilir. Yerin durumuna bağlı olmak üzere 0,14 ile 0,85 arasında değerler alan albedo, yerden yansıtılarak gelen (ground reflected) ışınımın, R, belirlenmesinde kullanılır.

Güneş ışınımının atmosferi geçerken aldığı yol, ışınların geliş doğrultusuna göre değişir ve bu uzaklık bağıl birimlerle hesaplanır. Güneşli bir günde deniz seviyesinde ve normal basınç altında, güneşten gelen ışınımın herhangi bir doğrultuda atmosfer boyunca

aldığı yolun, güneşin zenitte (tam tepede) bulunduğu konumda aldığı yola oranına *hava kütlesi* (air mass) adı verilir (Şekil 1.1). Güneşin zenitte bulunduğu konumda hava kütlesinin değeri birdir. AM1 ve diğer zamanlarda hava kütlesinin yeryüzündeki değeri 1'den büyüktür.

Hava kütlesi θ_z zenit açısı olmak üzere $1/\cos\theta_z$ bağıntısı ile hesaplanır [7].



Şekil 1.1. Güneş ışınının atmosferi geçerken aldığı yolun ışının geliş doğrultusuna göre değişimi

Hava kütlesi atmosfer dışında AM0 olarak ifade edilir ve fotovoltaik diyotların uzay uygulamalarında önem kazanmaktadır.

Güneşli bir günde hava kütlesi AM1,5 olarak alınır. Bu durumda global güneş ışınımının değeri 1000 W/m^2 olarak alınarak fotovoltaik modüllerin test edilmesinde kullanılır. Fakat dünyanın hareketine ve meteorolojik koşullara bağlı olarak gün içerisinde ölçülen Global ışınım değerleri bu değerin altında olmaktadır.

Güneşten gelen ışınım yeryüzüne en fazla bulutsuz ve açık gökyüzü koşullarında ulaşır. Atmosferde bulunan su buharı (H_2O), moleküler oksijen(O_2), ozon(O_3) ve karbondioksit(CO_2) tarafından belirli dalga boylarında soğurularak güneş ışınımının bir kısmını yutarlar. H_2O değişik dalga boylarında değişik miktarlarda ışınım soğurur. Elektromagnetik spektrumun özellikle görünür kısmı (visible, $0,3\mu\text{m}$ - $0,7\mu\text{m}$) ve kızılötesi (infrared, $0,7\mu\text{m}$ - $100\mu\text{m}$) kısmı H_2O tarafından soğrulur. Soğurulan ışınımın bir bölümü ısı enerjisi olarak atmosferin sıcaklığını artırır. Atmosferde bulunan değişik tipte gaz moleküllerinden ve toz parçacıklarından oluşan saçılmalar (Rayleigh Scattering) gelen güneş ışınımını etkiler. Bu saçılma sadece küçük dalga boylarında oluşur. Hava moleküllerinden daha ağır olan aerosollerden kaynaklanan saçılmalar(Mie scattering) da

yerleşim bölgesinin yüksekliği ve iklim koşullarına göre değişir. Bu saçılmada gelen güneş ışıınının bir bölümü soğurulurken diğer bölümü saçılmaya uğrar.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi ihtiyaçlara göre çok değişik şekillerde kullanılabilir. Yaygın olarak güneş enerjisinden Isıl Güneş Teknolojileri ve Güneş Pilleri olmak üzere iki ana grupta yararlanılır.

2.1. Isıl Güneş Teknolojileri

Bu sistemlerde güneşin ısı enerjisinden faydalanılır. Bu ısı doğrudan kullanılabileceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.

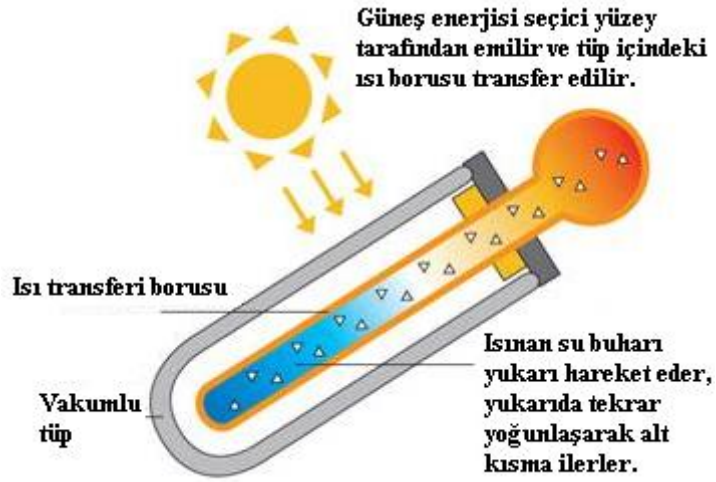
2.1.1. Düşük Sıcaklık Sistemleri

a) Düzlemsel Güneş Kollektörleri: Güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli biçimlerdeki aygıtlardır (Resim 2.1). Daha çok evlerde sıcak su temini amacıyla kullanılmaktadır. Ulaştıkları sıcaklık 70 °C civarındadır. Düzlemsel güneş kollektörleri, üstten alta doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmuştur. Absorban plakanın yüzeyi genellikle koyu renkte olup bazen seçiciliği artıran bir madde ile kaplanır. Kollektörler, yörenin enlemine bağlı olarak güneşi maksimum alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilirler. Güneş kollektörlü sistemler tabii dolaşım ve pompalı olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sistemler evlerin yanında, yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için de sıcak su sağlanmasında kullanılır. Bu konudaki Ar-Ge çalışmaları sürmekle birlikte, bu sistemler tamamen ticari ortama girmiş durumdadırlar. Dünya genelinde kurulu bulunan güneş kollektörü alanı 30 milyon m²'nin üzerindedir. En fazla güneş kollektörü bulunan ülkeler arasında ABD, Japonya, Avustralya, İsrail ve Yunanistan yer almaktadır. Türkiye, 7,5 milyon m² kurulu kollektör alanı ile dünyanın önde gelen ülkelerinden biri konumundadır.



Resim 2.1. Güneş kolektörleri

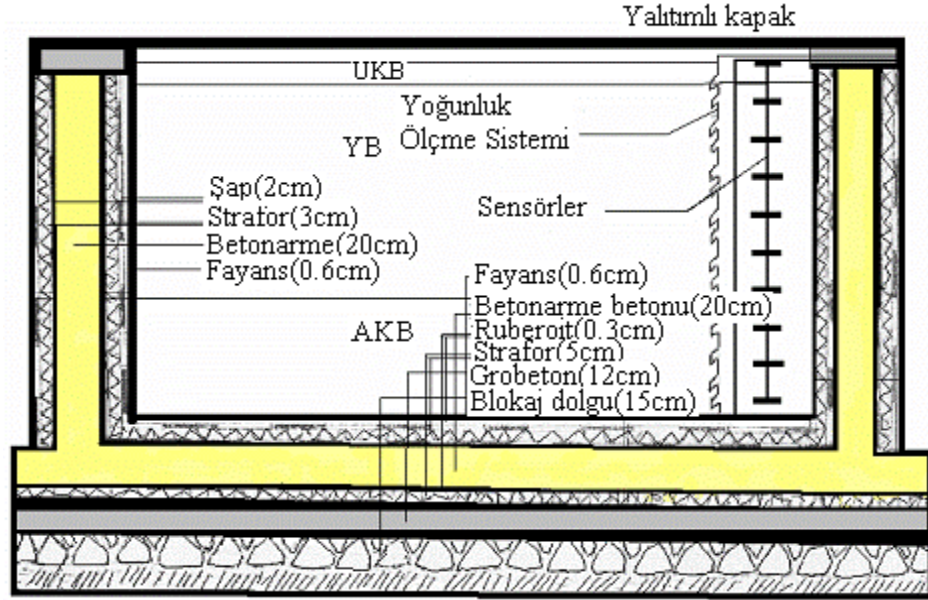
b) Vakumlu Güneş Kollektörleri: Bu sistemlerde, vakumlu cam borular ve gerekirse absorban yüzeyine gelen enerjiyi artırmak için Resim 2.2 de görüleceği gibi metal ya da cam yansıtıcılar kullanılır. Bunların çıkışları daha yüksek sıcaklıkta olduğu için (100 - 120 °C), düzlemsel kolektörlerin kullanıldığı yerlerde ve ayrıca yiyecek dondurma, bina soğutma gibi daha geniş bir yelpazede kullanılabilirler.



Resim 2.2. Vakumlu güneş kolektörleri

c) Güneş Havuzları: Yaklaşık 5-6 metre derinlikteki suyla kaplı havuzun siyah renkli zemini, güneş ışınımını yakalayarak 90 °C sıcaklıkta sıcak su elde edilmesinde kullanılır. Havuzdaki ısının dağılımı suya eklenen tuz konsantrasyonu ile düzenlenir, tuz konsantrasyonu en üstten alta doğru artar. Böylece en üstte soğuk su yüzeyi bulunsa bile

havuzun alt kısmında doymuş tuz konsantrasyonu bulunan bölgede sıcaklık yüksek olur. Bu sıcak su bir eşanjöre pompalanarak ısı olarak yararlanılabileceği gibi Rankin çevrimi ile elektrik üretiminde de kullanılabilir.



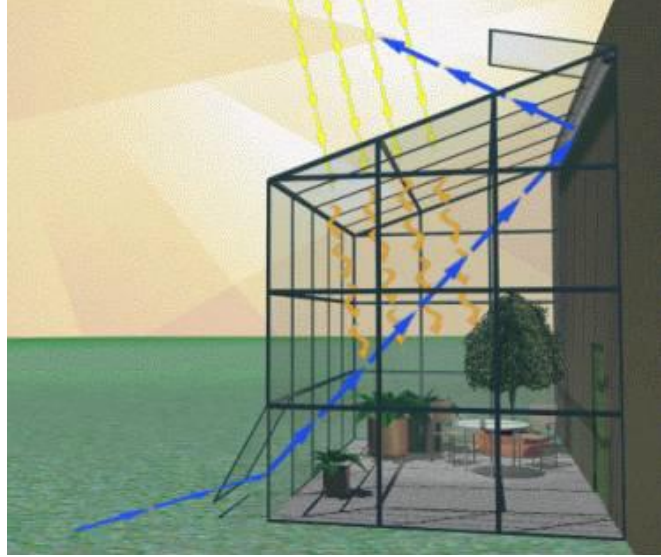
Resim 2.3. Güneş havuzları

d) Güneş Mimarisi: Bina yapısı ve tasarımında yapılan değişikliklerle ısıtma, aydınlatma ve soğutma gerçekleştirilir. Pasif olarak doğal ısı transfer mekanizmasıyla güneş enerjisi toplanır, depolanır ve dağıtılır. Ayrıca güneş kolektörleri, güneş pilleri vb. aktif ekipmanlar da yararlanılabilir.



Resim 2.4. Güneş mimarisi

e) Ürün Kurutma ve Seralar: Güneş enerjisinin tarım alanındaki uygulamalarıdır. Bu tür sistemler ilkel pasif yapıda olabileceği gibi, hava hareketini sağlayan aktif bileşenler de içerebilir. Bu sistemler dünyada kırsal yörelerde sınırlı bir biçimde kullanılmaktadırlar.



Resim 2.5. Ürün kurutma ve seralar

f) Güneş Bacaları: Bu yöntemde güneşin ısı etkisinden dolayı oluşan hava hareketinden yararlanılarak elektrik üretilir. Güneşe maruz bırakılan şeffaf malzemeyle kaplı bir yapının içindeki toprak ve hava, çevre sıcaklığından daha çok ısınacaktır. Isınan hava yükseleceği için, çatı eğimli yapıp, hava akışı çok yüksek bir bacaya yönlendirilirse baca içinde 15 m/sn hızda hava akışı-rüzgâr oluşacaktır. Baca girişine yerleştirilecek yatay rüzgâr türbini bu rüzgarı elektriğe çevirecektir. Bir tesisin gücü 30-100 MW arasında olabilir. Deneysel bir kaç sistem dışında uygulaması yoktur.



Resim 2.6. Güneş bacaları

g) Su Arıtma Sistemleri: Bu sistemler esas olarak sığ bir havuzdan ibarettir. Havuzun üzeri eğimli şeffaf-cam kapaklarla kapatılır. Havuzda buharlaşan su bu kapaklar üzerinde yoğunlaşarak toplanır. Bu tür sistemler, temiz su kaynağının bulunmadığı bazı yerleşim yerlerinde kullanılmaktadır.



Resim 2.7. Su arıtma sistemleri

h) Güneş Ocakları: Resim 2.8 de gösterildiği gibi çanak şeklinde ya da kutu şeklinde, içi yansıtıcı maddelerle kaplanmış güneş ocaklarında odakta ısı toplanarak yemek pişirmede kullanılır.



Resim 2.8. Güneş ocakları

2.1.2. Yoğunlaştırıcı Sistemler

a) Parabolik Oluk Kollektörler: Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemlerin en yaygınıdır. Resim 2.9 ve Resim 2.10 da görüleceği gibi kollektörler, kesiti parabolik olan yoğunlaştırıcı dizilerden oluşur. Kollektörün iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş

enerjisini, kollektörün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya odaklarlar. Kollektörler genellikle, güneşin doğudan batıya hareketini izleyen tek eksenli bir izleme sistemi üzerine yerleştirilirler. Enerjiyi toplamak için absorban boruda bir sıvı dolaştırılır. Toplanan ısı, elektrik üretimi için enerji santraline gönderilir. Bu sistemler yoğunlaştırma yaptıkları için daha yüksek sıcaklığa ulaşabilirler(350-400 °C). Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemler ticari ortama girmiş olup, bu sistemlerin en büyük ve en tanınmış olanı 350 MW gücündeki şimdiki Kramer&Junction eski Luz International santralleridir.



Resim 2.9. Parabolik oluk kolektörleri



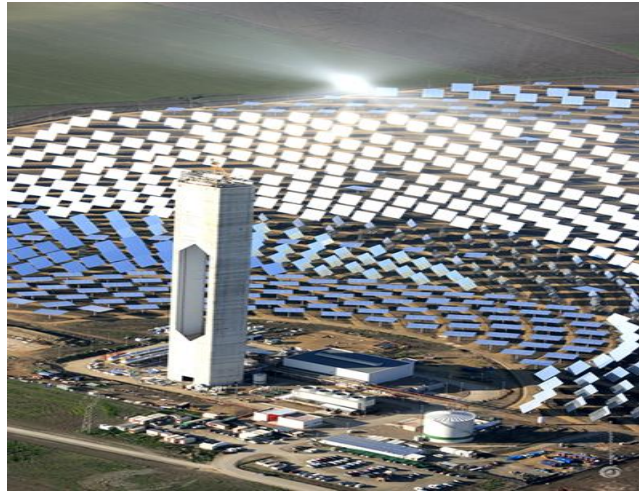
Resim 2.10. Luz International-Kaliforniya

b) Parabolik Çanak Sistemler: İki eksenle güneşi takip ederek, sürekli olarak güneşi odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar (Resim 2.11). Termal enerji, odaklama bölgesinden uygun bir çalışma sıvısı ile alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilebilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling makine yardımı ile elektrik enerjisine çevrilebilir. Çanak-Stirling bileşimiyle güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde %30 civarında verim elde edilmiştir.



Resim 2.11. Parabolik çanak güneş ısı elektrik santrali (İspanya)

c) Merkezi Alıcı Sistemler: Tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen aynalardan oluşan bir alan olup, güneş enerjisini alıcı denilen bir kule üzerine monte edilmiş ısı eşanjörüne yansıtır ve yoğunlaştırır (Resim 2.12). Alıcıda bulunan ve içinden akışkan geçen boru yumağı, güneş enerjisini üç boyutta hacimsel olarak absorbe eder. Bu sıvı, Rankin makineye pompalanarak elektrik üretilir. Bu sistemlerde ısı aktarım akışkanı olarak hava da kullanılabilir, bu durumda sıcaklık 800 °C' ye çıkar. Heliostatlar bilgisayar tarafından sürekli kontrol edilerek, alıcının sürekli güneş alması sağlanır. Bu sistemlerin kapasite ve sıcaklıkları, sanayi ile kıyaslanabilir düzeyde olup Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir [8].



Resim 2.12. Solar I merkezi alıcı güneş ısı elektrik santrali (İspanya)

2.2. Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller)

Fotovoltaik (PV) sistemler, güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemler olarak tanımlanır. Bu nedenle “güneş pilleri” olarak da adlandırılmaktadırlar. PV sistemler bir veya daha fazla PV modüllerden oluşmaktadırlar.

2.2.1. Güneş Pillerinin Tarihçesi

Henri Becquerel 1829 yılında, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek, Fotovoltaik olayı bulmuştur. 1876 yılında ise katılarda Selenyum kristalleri üzerinde benzer bir olay G. W. Adams ve R. E. Day tarafından gösterilmiştir. Devam eden yıllarda yapılan çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1, değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlar ilk kez 1954 yılında silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. Fotovoltaik güç sistemleri 1960’ ların başından beri uzay çalışmalarında güvenilir bir kaynak olmayı başarmıştır. 1970’ li yılların başlarına kadar, güneş pillerinin uygulamaları ile sınırlı kalmıştır. 1973 yılında ki “1. Petrol Bunalımı” ile beraber, 1954’lerde başlayan güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılmasına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları önem kazanmıştır. Özellikle Amerika, Avrupa ve Japonya’da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı ARGE çalışmaları başlatılmıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu neden ile daha ucuza üretilebilecek ince film güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir.

1975’ ten sonraki ilk 15 yılda özellikle uzay programları için silikon güneş pillerinin üretimi yılda ortalama 100 kW civarındaydı. 1987 yılına doğru tüm dünya içinde yerküre uygulamaları için kullanılan modellerin yıllık siparişi 1986 yılında 28,6 MW’ a ulaştı. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme olayının araştırılması ve geliştirilmesi, maliyetinin düşürülerek yaygınlaştırılması uzun yıllar boyunca üniversitelerin laboratuvar

alışmaları olarak kalmıştır. Ancak son yıllarda küresel ısınmayla beraber 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 alışıla gelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek “sosyal maliyet” göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemlerden fosile dayalı sistemlerden daha ekonomik olarak değerlendirilebilir.

2.2.2. Yarıiletkenler

Elementler ve bileşikler doğada katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç halde bulunurlar. Yapılan son çalışmalarla birlikte bu üç hale, sıvı kristal hal ve plazma hali de katılarak, maddenin beş halde bulunduğu vurgulanmaktadır. Herhangi bir maddenin bu hallerden birinde bulunması; atom veya molekülleri arasındaki çekim kuvvetine bağlıdır. Çekim kuvveti sıcaklık ve basınçla değişebilir. Çevremizde bulunan ve kullandığımız maddelerin çoğu genellikle katı haldedir.

Katılarda iki komşu atom arasındaki uzaklık birkaç angströmdür ($1^{\circ}\text{A} = 10^{-10} \text{ m}$). Atomların diziliş ve düzen özelliklerine göre iki grupta toplanırlar. Bunlardan birincisi: Atomlarının çok düzenli bir şekilde sıralandıkları kristal yapıdır. Diğeri ise atomlarının veya moleküllerinin bir sıvı içerisindeki kadar düzensiz ve karmaşık oldukları amorf yapıdır [9].

Kristaller içlerinde grain olarak isimlendirilen, çeşitli kristal bölgeciklerini bulundururlar. Eğer büyük bir parça kristalde; grainler (daha küçük kristal bölgecikler) hep aynı yapıya sahipse, buna tek kristal adı verilir. Grainler farklı ise; yani kristal yapılanmaları değişiyorsa, buna da polikristal denir. Bu arada tek kristalin, tümüyle aynı yapıya sahip mükemmel bir kristal yapı olmadığını ve zaten hatasız kristal yapılanmaların da, termodinamik yasalarına ters düştüğünü unutmamak gerekir. Kristal yapılanmadaki hatalar; nokta hataları, çizgi hatası, düzlem hataları başlıkları altında toplanabilirler.

Elektriksel ve optik özellikleri göz önünde bulundurularak bir sınıflandırma yapılacak olursa katılar; iletkenler, yalıtkanlar ve yarıiletkenler olmak üzere üç grupta toplanırlar. Bu maddelerin farklı özelliklerde olmasının nedenleri; katıyı oluşturan atomların dış yörüngelerindeki elektron sayısı, kristal yapıdan gelen periyodiklik ve Pauli İlkesi 'dir. En genel tanımlamalarla: iletken, elektriği iyi ileten maddelere; yalıtkan, elektriği iyi iletemeyen maddelere denir. Yarıiletkenler ise; öz dirençleri sıcaklıkla hızlı bir şekilde azalan, iletken cisimlerden daha az, fakat yalıtkanlardan daha çok elektriği ileten maddelerdir [10,11].

2.2.3. Yarıiletkenlerin Özellikleri

Edmond Becquerel 'in 1839 yılında aynı elektrolit içine batırılmış iki elektrottan biri üzerine ışık düşürerek, bunlar arasında bir potansiyel fark oluştuğunu görmesiyle başlayan yarıiletken çalışmaları, 1883 yılında Faraday'ın gümüş sülfatın direncinin sıcaklıkla azaldığını bulması, 1915 yıllarına doğru gelen detektörler, 1920 'de selenyum ve bakır oksit detektörler, 1923 yılında ise Schottky 'nin yayınladığı kuru redresörler teorisi devam etmiştir. İkinci Dünya Savaşı 'nda radar gereksinimlerinin bir sonucu olarak, yarıiletken diyotlar yeni bir gelişme alanı bulmuştur. 1958 'de Amerika Birleşik Devletleri 'nde, Brattain ve Bordein tarafından nokta temaslı detektörler keşfedilmiştir. Bundan kısa bir süre sonra Shockley, yüzey temaslı transistörü gerçekleştirmiştir [10].

İletkenlerde, sıcaklık arttıkça direnç artar. Bunun temel sebebi; iletkenliği sağlayan elektronların birbirleri ve civardaki diğer saçılma faktörleriyle (fononlar, kristal hataları v.b) daha fazla çarpışma yapmaları ve bundan dolayı hareketlerinin engellenmesidir. Sıcaklığın artmasıyla elektron yoğunluğunda bir değişim olması iletkenler için söz konusu değildir. Diğer bir deyişle; iletkenler için birim hacimdeki elektron sayısı her sıcaklık için sabittir. Tüm metaller bu gruba girerler. İletkenlerde direncin sıcaklıkla artmasına karşın, yarıiletkenlerde öz direnç sıcaklıkla azalır. Normal sıcaklıkta, yarıiletkenlerin öz dirençleri 10^{-2} - $10^9 \Omega\text{cm}$ arasında değişmektedir. Bu değer, iletkenlerin öz dirençleri için verilen 10^{-6} – $10^{-4} \Omega\text{cm}$ değerleri ile yalıtkanların öz dirençleri için verilen 10^{12} – $10^{18} \Omega\text{cm}$ değerleri arasındadır.

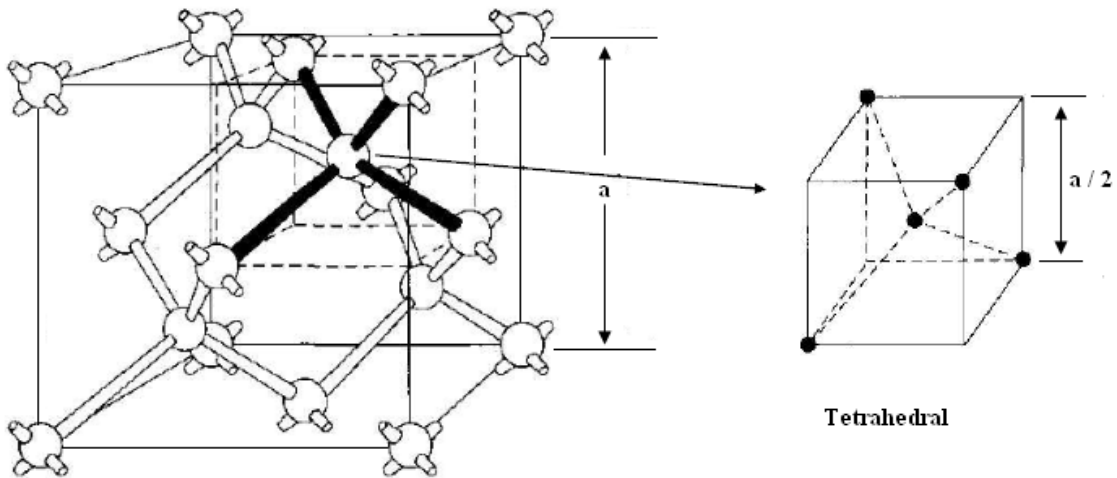
Sıcaklık arttığı zaman öz direncin küçülmesi, yarıiletkenleri iletkenlerden ayıran bir özelliktir. Sıcaklıktan başka yarıiletkenin öz direncini etkileyen diğer bir faktör de, yabancı madde yoğunluğudur [10,11].

Son yörüngelerinde (valans bandı) 4 elektron bulunduran maddelere yarı iletken denir. Yarı iletkenlerin direnci iletkenlerin direncinden yüksek, yalıtkanların direncinden düşüktür. Yani iletkenlik bakımından iletken ve yalıtkanlar arasında yer alırlar.

Yarı iletkenlerin 1 cm^3 ünün iki yüzü arasındaki direnç normal oda sıcaklığında 0,1-50 W arasındadır. Bu tip maddelerin dirençleri sıcaklık ile düzgün değişme göstermez. Yarı iletkenlerin bazıları "bileşik", bazıları "element" dir. Bileşiklere örnek olarak "çinko oksit" ile "bakır oksit" verilebilir. Elementlere örnek ise "germanyum" ve "silisyum(silikon)" gösterilebilir.

Yarı iletkenler kristal yapıdadır. Yani atomları belirli bir sistemle sıralanmıştır. Bu yapı tekli kristal (mono kristal) ya da çoklu kristal (poli kristal) olabilmektedir. Şekil 2,1'e bakınız.

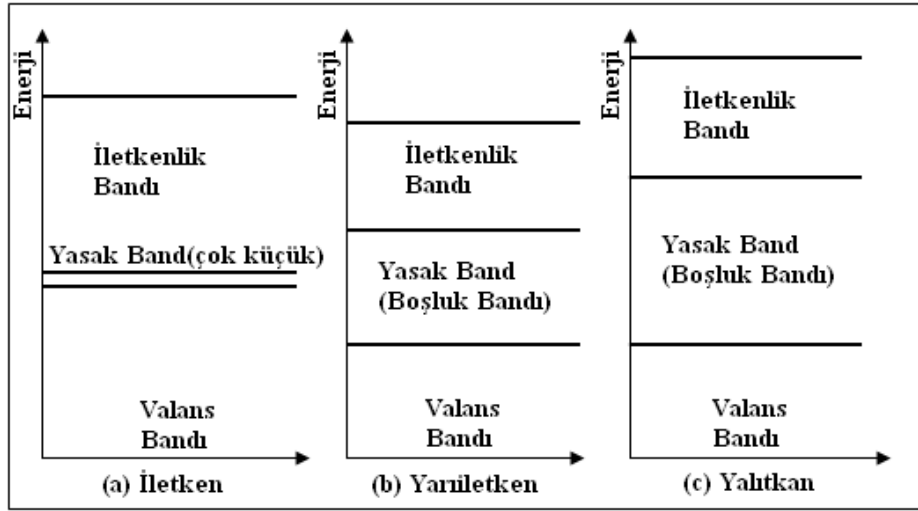
Silisyum (silikon) ve germanyum atomlarının son yörüngelerinde dörder elektron vardır. Germanyumun ve silisyumun saf kristalleri oldukça iyi bir yalıtkan olmalarına karşın, atom yapılarına küçük miktarlarda arsenik, indiyum vb. ekleyerek iletkenlikleri önemli ölçüde değiştirilebilir.



Şekil 2.1. Yarı iletkenlerin kristal yapısının üç boyutlu olarak gösterilmesi

2.2.4. Atomlarda Enerji Seviyeleri ve Bant Yapıları

Bir maddeyi elektriksel bakımdan iletken hale getirebilmek için dışarıdan bir enerji uygulanması gerekir. Bu enerji miktarı üç ayrı enerji bandının oluşmasını sağlar. Bunlar, Şekil 2.2'de görülebileceği gibi "iletkenlik bandı", "yasak band" ve "valans bandı" dır.



Şekil 2.2. İletken, yarı iletken ve yalıtkan atomlarında enerji seviyeleri

Herhangi bir atomun valans bandındaki elektronların yörüngesinden koparak iletkenlik bandına geçmesi için, bu iki band arasındaki yasak bandı geçmesi gerekir.

a- Yasak band: Elektron bakımından boş bulunan ve valans bandındaki elektronların iletkenlik bandına geçmesini zorlaştıran boşluğa denir.

b- İletkenlik bandı: Valans bandından kopan ve akım taşıyabilecek durumda olan elektronların bulunduğu banttır. Maddeler, elektronlarının bu banda geçmesiyle iletken hale gelirler.

Maddelerin elektriksel iletkenliği, atomlarının enerji seviyelerine bağlıdır. Her maddenin, içinde bulunan elektronların serbest hale geçmesi için, o maddeye dışarıdan farklı enerji seviyeleri uygulamak gereklidir. Saf bir yarı iletken maddede iletkenlik, elektronların bir banddan diğerine geçmesiyle meydana gelir. Yani, bir atomun son yörüngesinde bulunan valans elektronun serbest duruma geçmesi, o maddenin iletkenlik kazanması anlamına gelir. Dışarıdan enerji (ısı, ışık vb.) alan bir elektron bir üst banda (tabakaya) yükselebilir. Daha düşük bir banda geçen elektron ise dışarıya enerji yayar.

Valans bandında bulunan elektronlar çekirdeğin çekim kuvveti nedeniyle yörüngelerinden çıkamazlar. Bunların serbest hale geçebilmesi için, dışarıdan yeter miktarda enerji uygulanması gereklidir. Bu enerjiyi alan elektron, valans bandından çıkıp yasak bölgeyi geçerek iletkenlik bandına ulaşır. Orada akım taşıyıcı olarak görev yapmaya başlar. Elektron yerinden çıktığı zaman arkasında bir oyuk bırakır. Oyuk, pozitif yüklü olarak kabul edilir.

İletkenlerin "valans bandı enerji seviyesiyle" "iletkenlik bandı enerji seviyesi" aynıdır. Bu nedenle iletkenlerde küçük bir enerji uygulanmasıyla pek çok valans elektron

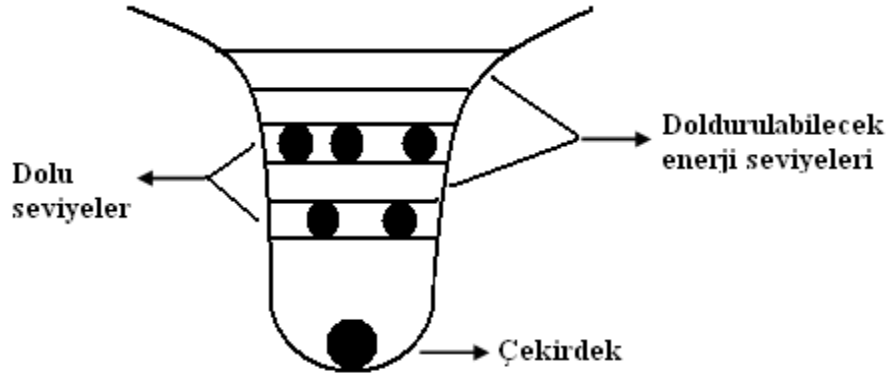
serbest duruma geçebilmektedir. Başka bir anlatımla, iletkenlerde yasak band yok denecek kadar azdır. Bu sayede elektronlar kolaylıkla valans bandından iletkenlik bandına atlayabilirler (Şekil 2.2 (a)). Yarı iletkenlerin valans bandıyla iletkenlik bandı arasında belirli bir boşluk bandı vardır. Bundan dolayı yarı iletkenlerin iletkenlik oluşturabilmesi için, valans elektronlarına boşluk bandı kadar ek enerji uygulamak gereklidir (Şekil 2.2 (b)). Yalıtkanlardaysa oldukça büyük bir boşluk bandı vardır. Bundan dolayı elektronları valans bandından iletkenlik bandına geçirebilmek için çok yüksek değerli enerjiye gerek vardır. (Şekil 2.2 (c)).

2.2.5. Madde Yapısı

Maddenin her atomu, pozitif yüklü çok ağır bir çekirdek ile onun etrafında farklı yörüngelerde dolanan belirli sayıda negatif yüklerden (elektronlardan) meydana gelmiştir. Elektronlar, bir biri ardından gelen ve her biri belirli sayıda elektron içeren tabakalarda bulunurlar. Dolu bir tabakaya başka bir elektron yerleşemez.

Yalıtılmış durumdaki bir atomun enerji seviyeleri, Şekil 2.3 'de gösterilmiştir. Yatay çizgilerle enerji seviyeleri belirtilmektedir. Bu çizgilerin uzunluğu, söz konusu elektronun yörüngesinin yarıçapıdır. Çekirdeğe en yakın elektronun, enerjisinin en küçük olduğu görülür. Bir sistemin, enerjisinin en küçük olduğu duruma gelme eğilimi vardır. Buna göre; verilen atomun bütün elektronlarının, en düşük enerji seviyelerini işgal etmelerinin gerekli olduğu düşünülür. Fakat Pauli İlkesi, özel bir enerji seviyesinde bulunabilecek elektron sayısının sınırlı olduğunu göstermiştir.

Her atom için birinci tabakaya yerleşebilecek elektron sayısı en fazla 2, ikinci tabakaya yerleşebilecek elektron sayısı en fazla 8 ve üçüncü tabakaya yerleşebilecek elektron sayısı en fazla 18 'dir. Bu farklı enerji tabakalarının her biri, belirli enerji seviyelerine karşılık gelirler. Çünkü alt seviyelerde bulunan bir elektronu, üst seviyelerden herhangi birine çıkarmak için gerekli enerjiler farklıdır. Son tabakadaki elektronlara valans elektronları denir. Son tabakada bulunabilecek toplam elektron sayısı veya elektronlar tarafından işgal edilebilecek yerlerin sayısı da, hal olarak adlandırılır [12]. Örneğin hidrojen atomu için iki hal vardır. Sadece bir tabakası vardır ve bu tabakadaki iki halden biri doludur [10].



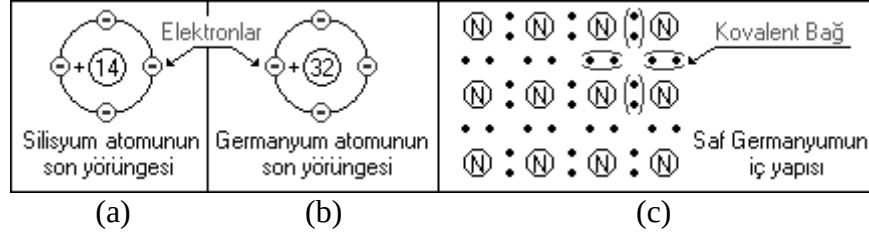
Şekil 2.3. Yalıtılmış durumdaki bir atomun enerji seviyelerinin şematik gösterimi.

Çekirdek etrafındaki yörüngelerden birinde dolanan elektron; yörüngesini koruduğu sürece ne enerji yayar, ne de enerji absorblar (soğurur). Ancak bir elektron yörüngesini değiştirdiği zaman, enerji absorblanması ya da emisyonu (yayınlanması) olabilir. Elektron, yüksek bir enerji seviyesinden daha alçak bir enerji seviyesine geçtiğinde enerji emisyonu olur. Elektron alçak bir enerji seviyesinden daha yüksek bir enerji seviyesine çıktığı zaman ise, enerji absorblanması (soğurulması) söz konusudur [13].

2.2.6. Saf (Katkısız) Germanyum ve Silisyumun Kristal Yapıları

Elektronik devre elemanlarının büyük bir bölümü silisyum ve germanyum elementlerinden üretilmektedir. Yarı iletken temelli devre elemanı üretiminde ilk zamanlar germanyum maddesi çok yaygındı. Günümüzde ise bu madde çok az kullanılmaktadır. Çünkü germanyum maddesi oda sıcaklığında bile çok sayıda elektronunu serbest bırakmakta, bu ise sızıntı akımlarının çoğalmasına yol açmaktadır. Ayrıca sıcaklık arttığında da germanyumdaki iletkenlik iyice artmakta ve bu madde, iletken gibi davranmaya başlamaktadır. Silisyum maddesi ise oda sıcaklığında tam bir yalıtkan gibi davranmaktadır. İşte bu nedenle diyot, transistör, tristör, entegre vb. yarıiletkenlerin yapımında silisyum maddesi daha çok kullanılmaktadır. Doğadan elde edilen bu iki madde saflaştırılarak (başka maddelerden arındırılarak) monokristal (tekli kristal) haline getirildikten sonra devre elemanları üretiminde kullanılmaktadır. Kimyasal işlemlerle yabancı maddelerden arındırılan ve monokristal hale getirilen germanyum ve silisyumun "içyapısı" incelenecek olursa kübik kafes sistemi karşımıza çıkar (Şekil 2.1). Burada, kürecikler atomları, aralarındaki çubuk yollar da kovalent (ikili) bağları göstermektedir.

Germanyum atomunda 32 elektron bulunur. Elektroniklerle ilgili anlatımlarda germanyumun sadece en son yörüngesindeki dört elektrondan bahsedildiğinden, bu atomun içyapısı basit olarak Şekil 2.4 (b)' deki gibi gösterilir. Silisyum atomunda ise 14 elektron, vardır. Şekil 2.4 (a)'da 14 elektronlu silisyum atomunun basit gösterilişi verilmiştir.



Şekil 2.4. a) Silisyum atomunun yapısı. b) Germanyum atomunun yapısı c) Saf germanyumun iç yapısı

Atomların sadece en dış yörüngesinde bulunan elektronlarda elektriksel olaylar meydana geldiğinden, anlatımlarda yalnızca "en dış" yörüngeden söz edilir. Diğer yörüngelerdeki (iç yörüngeler) elektronlar çekirdek tarafından çok sıkı olarak çekildiklerinden bulundukları yörüngeden ayrılamazlar.

Kristal yapıya sahip olmayan maddelerin elektronları kendi atom çekirdeği etrafında döner. Ancak, germanyum, silisyum gibi kristal yapıya sahip maddelerin son yörünge (valans) elektronları, komşu atomların her bir valans elektronlarıyla adeta boştaymış gibi birlikte dönerler. Bunlara ortak valans çiftleri denir. Komşu atomlar arasındaki ortak valans bağları, atomlar arasında bir çekme kuvveti yaratır. Ancak komşu atom çekirdeklerindeki artı (+) yükler arasındaki itme kuvvetleri, bu çekim gücüne karşı koyar. Bu sayede kristal madde içinde elektriksel denge kurulur. Kovalent bağ içinde olan germanyum ya da silisyum maddesinde elektrik akımı hareketini başlatmak için dışarıdan bir enerji uygulamak gereklidir. Çünkü normalde bu maddeler "yalıtkan" gibi davranırlar.

2.2.7. Yarı İletkenlerin Katkılanması

Yarı-iletkenin 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 "katkılama" adı verilir.

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.

Saf silisyum kristali içerisinde değerlik elektron sayısı beş olan fosfor atomu katkılanırsa, fosfor atomu, silisyum atomunun yerine oturup dört değerlik elektronu ile silisyum 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 yarıiletkenler n-tipi olarak sınıflandırılır. Saf silisyum kristali içerisinde değerlik elektron sayısı üç olan boron atomu katkıladığımızı düşünelim. Silisyum atomunun yerini alan boron 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 bandından 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.

2.2.8. Saf Olmayan(katkılı) Germanyum ve Silisyumun Kristal Yapısı

p ve n tipi yarı iletken maddelerin oluşturulmasında kullanılan katkılama maddeleri p ve n tipi yarı iletkenler germanyum ya da silisyuma belli oranlarda yabancı madde katılmasıyla oluşturulmaktadır. Son yörüngesinde (valans yörünge) 3 elektron bulunduran maddeler kullanıldığında p tipi bir yarı iletken oluşurken, 5 elektron bulunduran maddeler kullanıldığında ise n tipi yarı iletken elde edilmektedir.

Son yörüngesinde üç valans elektronu bulunan maddeler: Indiyum, galyum, alüminyum, bor...

Son yörüngesinde beş valans elektronu bulunan maddeler: Arsenik, antimuan, fosfor...

a) n (negatif) Tipi Yarı İletkenin Oluşumu

Son yörüngesinde 4 elektron bulunduran silisyum ya da germanyumun içine (yaklaşık olarak 100 milyonda 1 oranında), son yörüngesinde 5 elektron bulunduran arsenik (ya da fosfor, antimuan) maddesi karıştırılırsa, arseniğin 4 elektronu komşu elektronlarla kovalent bağ yapar. Bir elektron ise boşta kalır. Serbest hale geçen beşinci arsenik elektronu, kristal yapıdaki madde içinde dolaşır. İşte elektron yönünden zengin olan bu karışıma n tipi yarı iletken denir.

Kristal yapı içine katılan 5 elektronlu madde bir elektronunu yitirdiği için elektriksel olarak pozitif (+) yüklü iyon duruma geçer. Bu elektriksel durum basit olarak gösterilirken, çekirdek (+) yüklü, serbest halde dolaşan elektronlar ise (-) yüklü olarak ifade edilir.

n tipi yarı iletkenin oluşumunda kullanılan maddeler elektron çoğalmasına neden olduklarından, bunlara verici (donör) adı verilir.

n tipi yarı iletken haline gelmiş olan maddenin serbest hale geçmiş elektronları çok olduğu için, bunlara çoğunluk taşıyıcıları denir. Yani, n tipi maddede elektrik akımının taşınması işinde "çoğunluk" olan elektronlar görev yapar.

b) p (pozitif) Tipi Yarı İletkenin Oluşumu

Son yörüngesinde 4 elektronu bulunan silisyum ya da germanyumun içine (yaklaşık 100 milyonda 1 oranında) son yörüngesinde üç elektron bulunan indiyum (ya da galyum, bor, alüminyum) karıştırılırsa, indiyumun üç elektronu komşu elektronlarla kovalent bağ yapar. Silisyum ya da germanyumun elektronlarından birisi ise bağ yapacak indiyum elektronu bulamaz ve dışarıdan elektron kapmak ister.

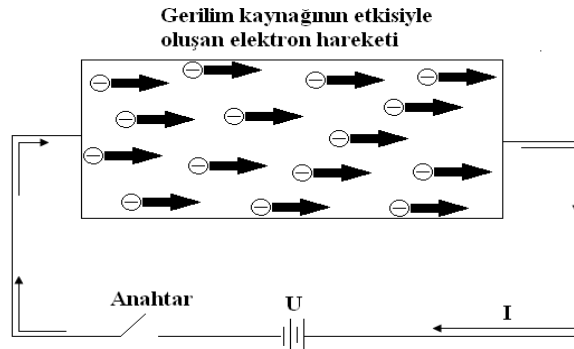
İşte elektron yönünden fakir olan bu karışım elektriksel olarak pozitif yüklü iyon kabul edilir. Elektronu ihtiyaç olan yer bir oyuk (hole, delik, boşluk) ile ifade edilir ve bu pozitif yüklü kabul edilir. Zira oyuk, her an elektron çekmeye uygun durumdadır. Oyuk yönünden zengin olan bu tip karışıma da p tipi madde denir. p tipi maddenin durumu basitçe gösterileceği zaman, çekirdek eksi (-) yüklü, oyuklar ise artı (+) yüklü olarak ifade edilir. p tipi yarı iletkenin oluşumunda kullanılan maddeler (indiyum, galyum, bor) elektron azalmasına neden olduklarından, bunlara alıcı (akseptör) adı verilir.

2.2.9. "n" ve "p" Tipi Yarı İletkenlerde Elektron ve Oyuk Hareketleri

a) n tipi Yarıiletkenlerde Eksi (-) Yüklü Elektronların Hareketi

n tipi yarı iletkenlerde elektronlar çoğunluk taşıyıcı durumundayken, çok az sayıda olan oyuklar ise azınlık taşıyıcısı durumundadır.

Şekil 2.5' de verilen bağlantı yapıldıktan sonra n tipi yarı iletkene DC gerilim uygulanırsa, serbest haldeki elektronlar, gerilim kaynağının (+) ucunun çekme kuvveti ve (-) ucunun da itme kuvvetiyle, kaynağın (+) ucuna doğru akar. Üretecin uçları ters çevrilerek devre gözlenecek olursa elektronların bir öncekinin tersi yönde aktığı görülür.



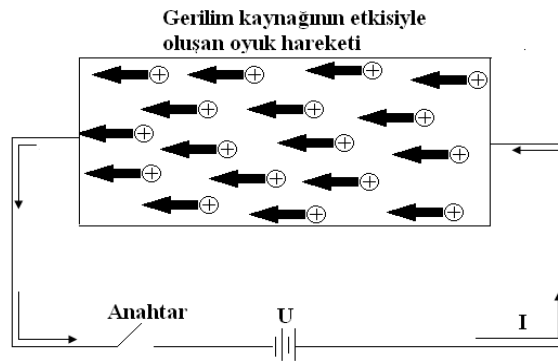
Şekil 2.5. n tipi yarı iletkenlerde elektron hareketi

b) p tipi Yarıiletkenlerde Artı (+) Yüklü Oyukların Hareketi

p tipi yarı iletkenlerde oyuklar çoğunluk taşıyıcı durumundayken, çok az sayıda olan elektronlar ise azınlık taşıyıcısı durumundadır.

Şekil 2.6' da verilen bağlantı yapıldıktan sonra p tipi yarı iletkene DC gerilim uygulanırsa, oyuklar gerilim kaynağının eksi (-) ucunun çekme kuvveti ve artı (+) ucunun da itme kuvvetiyle, kaynağın eksi (-) ucuna doğru akar. Üretecin uçları ters yönlü çevrilerek devre gözlenecek olursa oyukların bir öncekinin tersi yönde aktığı görülür. p tipi yarı iletken içinde çok az sayıda serbest elektron bulunması, maddenin tam saf olmamasından kaynaklanan bir durumdur. Bunun pratik uygulamalarda zararı yoktur. Yukarıda anlatılan iki duruma dikkat edilirse, p ve n tipi yarı iletkenlerin tek başına her iki yönde de akım geçişine izin verdiği görülür. Bunun uygulamada hiçbir yararı yoktur. O nedenle p ve n tipi yarı iletkenler tek başına değil, çeşitli şekillerde bir araya getirilerek "devre elemanı" yapımında kullanılır.

İşte, p tipi maddede az sayıda olan elektronlarla, n maddesinde bulunan az sayıdaki oyuklara azınlık akım taşıyıcıları adı verilir. Yarı iletken üretim teknikleri geliştikçe %100 saflıkta germanyum ve silisyum elde etmek mümkün hale gelmiştir. Ancak yine de yarı iletken devre elemanları bağlı oldukları devrelerde çalışırken, ısı, ışık, aşırı yük gibi etkenlerle azınlık olan akım taşıyıcılarda artış olmaktadır.



Şekil 2.6. p tipi yarı iletkenlerde oyuk hareketi

2.2.10. Güneş Pillerinin Özellikleri

Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde

biçimlendirilen güneş pillerinin alanları 100 cm^2 civarında, kalınlıkları özellikle en yaygın olan silisyum güneş pillerinde $0.2 - 0.4 \text{ mm}$ arasındadır [14].

Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pillerin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Deniz seviyesinde, parlak bulutsuz bir gündeki ışınlam şiddeti maksimum 1000 W/m^2 civarındadır. Yöreyle ilgili olarak 1 m^2 ye düşen güneş enerjisi miktarı yılda $800-2600 \text{ kWh}$ arasında değişir. Bu enerji, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 - %70 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Gerekirse bu modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak, fotovoltaik bir dizi oluşturabilir.

Bir PV modülünün özellikleri Standart Test Şartlarına (Standard Test Conditions-STC) göre belirlenmektedir. Bu koşullar:

- 1000 W/m^2 ışınlam,
- 25°C Hücre sıcaklığı,
- AM1.5 koşulu,
- Yatay ile 0° lik açı'dır.

Bu koşullar altında elde edilen modül performansları:

- Açık Devre Voltajı
- Kısa Devre Akımı
- Maksimum Gücü
- Maksimum Güç Voltajı
- Maksimum Güç Akımı
- Fill Factor

değerleri ile verilmektedir.

2.2.11. Güneş Pili Yapımında Kullanılan Maddeler

a) Kristal Silisyum

Önce büyütölüp 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 kristalli silisyum güneş pilleri daha ucuza mal olmakta, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır [15].

b) Galyum Arsenit (GaAs)

Bu malzemeyle 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 [15].

c) 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 [15].

d) 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 [15].

e) Bakır İndiyum Diselenoid (CuInSe₂)

Bu çok kristalli pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir [15].

f) Optik Yoğunlaştırıcılı Hücreler

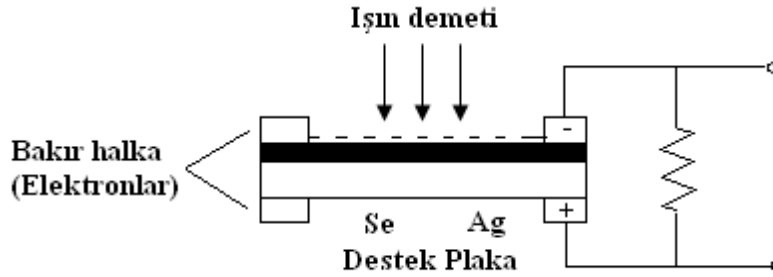
Gelen ışığı 10-500 kat kadar yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlar ile, modül verimi %17, pil verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır [15].

2.2.12. Güneş Pili Çeşitleri

Bakır – bakır oksit ve gümüş yarı iletkenleri ile yapılan güneş pilleri, selenyum pilleri ve silisyum güneş pilleri en çok kullanılanlarıdır.

2.2.12.1. Selenyum güneş pili

Saf selenyum, alkali metallerle veya klor, iyot gibi halojenlerle karıştırılıp p tipi yarı iletken oluşturulur. Bunun üzerine iyi iletken ve yarı iletken / yarı geçirgen bir gümüş tabaka birkaç mikron kalınlığında kaplanarak p-n jonksiyonu oluşturulur.



Şekil 2.7. Selenyum güneş pilinin yapısı

Şekil 2.7' de bir selenyum güneş pilinin yapısı görülmektedir. Bu pillerin 50 °C'ın üzerinde kullanılmamaları tavsiye olunur.

2.2.12.2. Silisyum Güneş Pili

Silisyum güneş pilleri halen uzay araştırmalarında kullanılan en yaygın güneş pili olma özelliğini korumaktadır. Silisyum SiO₂ halindeki kumdan elde edilir. Küçük bir kristal özünüm, eritilmiş potaya daldırılır. Belli hızda döndürülerek potadan çıkarılırken soğuması temin edilir ve kristalin büyütülmesi ile güneş pili elde edilir. Eriyik içine p tipi

yarı iletkenlik malzemeleri katılır. p tipi kristaller dilimler şeklinde kesilir. Sıcaklığı kontrol edilen P_2O_5 'li difüzyon fırınında n tipi yarı iletkenle $10^{-4} - 10^5$ m. derinliğe kadar difüzyon temin edilerek p-n jonksiyonu oluşturulur.

Silisyum pilleri germanyumla yapılan pillere göre, daha büyük açık devre direnci sağlar. Buna karşı silisyumlu pillerin spektral cevabı daha azdır ve kızılötesi ışınlar kadar uzanmaz. Akkor ışık kaynağı kullanılması halinde, Ge uçlarındaki gerilim küçük olmasına rağmen daha büyük akım sağlar. Güneş ışınları için ise silisyum pil daha uygundur.



Resim 2.13. Silisyum güneş pili

2.2.13. Silisyum Güneş Pili Çeşitleri

Güneş pili teknolojisi, kullanılan maddeler ve yapım türleri açısından son derece zengindir. Güneş pili yapımı için şu anda kullanılmakta olan bir düzineden fazla maddenin yanı sıra, yüzlerce maddenin de üzerinde çalışılmaktadır. Belli başlı güneş pili türleri aşağıda anlatılmaktadır [16].

a) Kristal Silisyum Güneş Pilleri

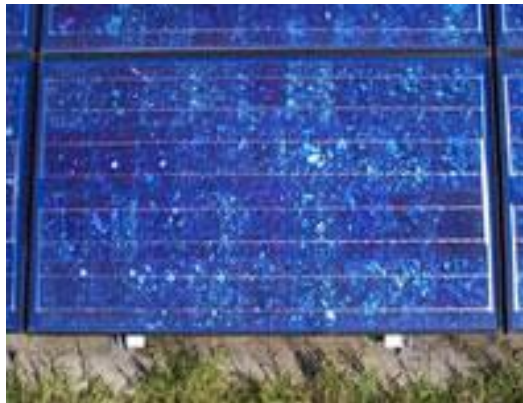
Silisyum yarı iletken özelliklerini tipik olarak gösteren ve güneş pili yapımında en çok kullanılan maddedir ve şu andaki çalışmalara göre bu konumunu uzun yıllarca koruyacak gibi görünmektedir. Fotovoltaik özellikleri bakımından daha üstün olan başka maddeler de olmakla birlikte, silisyum hem teknolojinin üstünlüğü nedeniyle hem de ekonomik nedenlerle tercih edilmektedir.



Resim 2.14. Kristal silisyum güneş pili

b) Monokristal Silisyum Güneş Pilleri

İlk ticari güneş pillerinde, CHROZALSKİ kristal çekme tekniği ile büyütülen tek kristal yapıli silisyum kullanılmıştır. Fotovoltaik endüstride hala en çok kullanılan yöntem olan bu teknikte öncelikle ark fırınlarında silisyum oksit çeşitli kimyasal ve termal reaksiyonlardan geçirilerek saf silisyum elde edilir. Daha sonra silisyum eriyiğe çekirdek denen tek kristal yapıli bir silisyum parçası batırılır. Bu çekirdek eriyikten çıkarıldığında soğuyan silisyum eriyik, çekirdeğin üzerine külçe şeklinde yığılmış olur. Bu silisyum külçe olur olmaz bir keski ile dilimlere ayrılır. Bu, iki aşamada olur. Önce külçe dikdörtgen bloklar şeklinde kesilir. Daha sonra bu bloklar dilimlere ayrılarak pil şeklinde işlenir. Verimleri %15 civarındadır. Dezavantajı ise yapımı sırasında malzeme kaybının fazla olmasıdır.



Resim 2.15. Monokristal silisyum güneş pili

c) Semikristal(Yarıkristal) Silisyum Güneş Pilleri

Bu tip piller, sıvı silisyumun soğutulmasıyla elde edilen kümelenmiş küçük silisyum kristallerinden oluşur. Bu pillerin verimleri %14 civarında olup, kümelenmiş silisyum taneciklerinin sınırlarındaki kayıplara bağlıdır.

d) Ribbon Silisyum Güneş Pilleri

Bu piller, malzeme kaybının azaltılması amacıyla levha halinde silisyum tabakalarından yapılırlar. Çeşitli yöntemlerle (Efg, Dendritik ağ) elde edilen bu piller, halen geliştirme aşamasındadır. Verimleri laboratuvar şartlarında %13-14 arasındadır.

e) Polikristal Silisyum Güneş Pilleri

Bu piller de ribbon silisyum teknolojisiyle yapılıp, yapıları polikristal özellik gösterir. Halen laboratuvar aşamasındaki bu pillerin verimleri %10'dur.

f) İnce Film Güneş Pilleri

Bu teknikte, absorban özelliği daha iyi olan maddeler kullanılarak daha az kalınlıkta (tek kristalin 1/500'ü kalınlığında) güneş pilleri yapılır. Örneğin amorf silisyum güneş pillerinin absorpsiyon katsayısı kristal silisyum güneş pillerinin katsayısından daha fazladır. Dalga boyu katsayısı 0,7 mikrondan küçük bir bölgedeki güneş radyasyonu 1 mikron kalınlığında amorf silisyum ile absorblanabilirken, kristal silisyumda ise aynı radyasyonu absorblamak için 500 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden amorf yapılı güneş pillerinde daha az malzeme kullanılır ve montaj kolaylığı nedeniyle bir avantaj sağlar.

g) Amorf Silisyum Güneş Pilleri

Amorf silisyum güneş pilleri (a-Si), ince film güneş pili teknolojisinin en önde gelen örneğidir. İlk yapılan a-Si piller Schottky bariyer yapısında iken, daha sonraları p-i-n yapıları geliştirilmiştir. p-i-n yapısındaki pillerin fabrikasyonu kalay oksitle kaplı iletken

bir yüzeyin üzerine çöktürme yöntemi ile yapılır, bu yüzeyin arkası daha sonra metalle kaplanır. Verimleri %5-8 arasındadır. Ancak bu piller, kısa zamanda bozunuma uğrayarak çıkışları azalır.



Resim 2.16. Amorf silisyum güneş pili

h) Bakır İndiyum Diselenoid Güneş Pilleri

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı gruptan elementlerin üçünün ya da daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşik yarı-iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumu ile ideal bir şekilde uyuşacak biçimde ayarlanabilir. Bakır indiyum ve selenyumdan yapılan üçlü bileşik yarı-iletkenle başlayan bu grup (CIS) güneş pilleri olarak anılır. CdTe güneş pillerine en yakın rakip olarak gözükmektedir. Bu gün CIS ince film güneş pillerinin çoğunluğu içerisinde Ga elementinin katılması ile daha yüksek verimlilikler elde edilir. Ancak yarı-iletkeni oluşturan element sayısı arttıkça gereken teknoloji ve malzemenin özelliklerinin denetimi de bir o kadar karmaşık duruma gelmektedir. Laboratuardaki küçük alan pillerin verimliliği %18'e kadar ulaşırken, 900 cm² yüzey alana sahip modüllerin verimlilikleri ancak %15 dolayındadır. CIS pillerde uygulanan teknolojilerden iki tanesi öne çıkmıştır. Bunlardan birincisi, elementlerin eş zamanlı olarak vakumda buharlaştırılmasıdır. İkinci yöntem, herhangi bir yöntemle büyütülen bakır-indiyum ince film alaşımının uygun bir ortamda selenyumla tepkimeye sokulmasıdır (Selenizasyon). Her iki durumda da soğurucu olarak kullanılan CIS yarı-iletken, CdS ile bir araya getirilerek heteroeklem diyot oluşturulur. CdS tabakaların üretilmesinde ortaya çıkan yöntem CdTe tabakalarında olduğu gibi burada da kimyasal banyo yöntemidir. Metal elementlerin buharlaştırılmasının ardından selenizasyonu seçen ISET, Shell-Showa ve Siemens Solar gibi firmalardan Siemens Solar

5-10 watt değerinde k mod retiminde ABD başlamıştır. CIS tabakaların btlmesinde Stuttgart Üniversitesi (Almanya) tarafından geliştirilen ve yine bir alman firması olan ZSW tarafından üretime hazır hale getirilen eş zamanlı olarak vakumda buharlaştırma yöntemi üretim yöntemlerinden birisidir. Bu ince film güneş pillerinde test altındaki uzun dönem modül verimlilikleri %10 değerinin altında kalmaktadır.



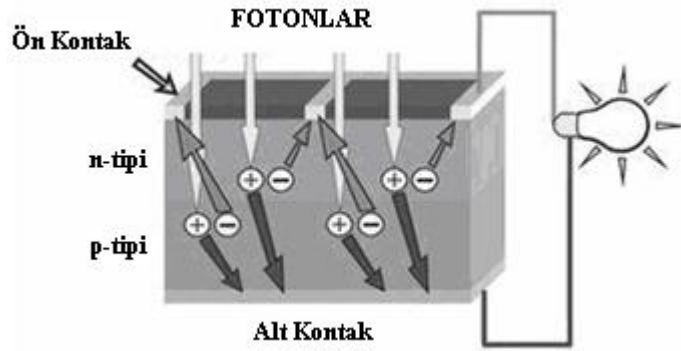
Resim 2.17. Bakır indiyum diselenoid güneş pili

i) Diğer Yapılar

Bakır indiyum diselenoid (CuInSe) maddesinden yapılan ve verimleri %13 civarında olan piller halen gelişme aşamasındadır ve daha kararlı çıkışa sahip olduğu için absorban özelliği yüksek, verimleri de %12 civarındadır. Bu güne kadar elde edilen en yüksek verime (%24) galyum arsenitten yapılan piller ulaşmıştır. Bu madde ile çeşitli türde piller elde edilebilmekle birlikte, pahalı olduğu için pillerin, güneş spektrumunun daha büyük bir bölümünden yararlanabilmesi amacı ile denenilen bir yöntem ise, birden fazla ince film yapısının st üste konmasıyla elde edilen çok eklemlili film yapılarıdır. Bunların dışında, güneş ışınımının yüksek verimli pillerin üzerine optik olarak yoğunlaştıran sistemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu tür sistemlerde güneşin hareketini izleyen düzeneklerin yanı sıra, güneş ışığını kıran (mercek) ya da yansıtan (ayna) eleman kullanılır.

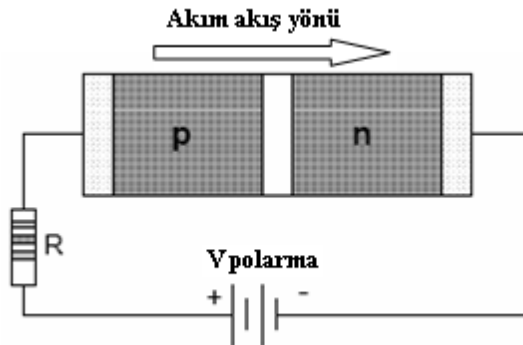
2.2.14. Güneş Pili Eşdeğer Şeması

Bilindiği gibi, güneş pili yarı iletken malzemeden oluşan bir yapıdır. Çoğunluk yük taşıyıcıları elektronlardan oluşan n tipi ile çoğunluk yük taşıyıcıları oyuklardan oluşan p tipi yarı iletken yan yana getirilir. Işık enerjisi bu birleşme noktasına düşürülürse dış devreden bir akım geçebilmektedir (Şekil 2.8).



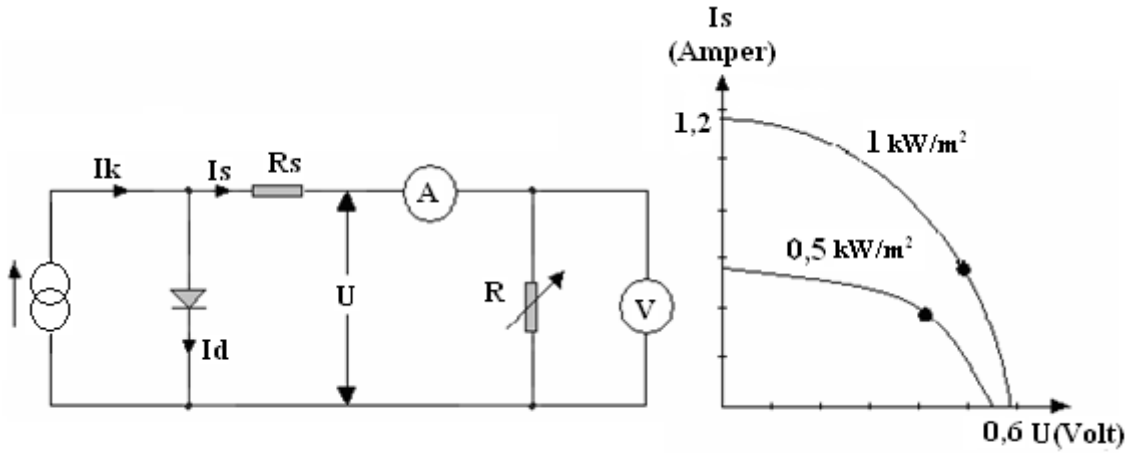
Şekil 2.8. Güneş pili eşdeğer şeması

p-n yarı iletken jonksiyonunda, elektronlar p tipi bölgeye geçerek birleşme yüzeyine yakın bölgelerde boşluk yük taşıyıcısındaki elektron eksikliğini tamamlayıp (-) iyonlar oluştururken n tipi bölgede de (+) iyon duvarı oluşacaktır. Dış tesir olmazsa bu enerji duvarı akımın geçmesini önleyecektir. Işın demeti bu bölgeye düşerse, yük taşıyıcı elektronlar çok az oranlarda olduğundan, muhtemelen bir valans elektrona enerjisini bırakacak ve onu p tipi bölgeye doğru itecektir. Dış devre akımı ise p'den n'ye doğru olacaktır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. p - n jonksiyonunun oluşturulması ve jonksiyona düşen foton enerjisi ile iletkenlik temini

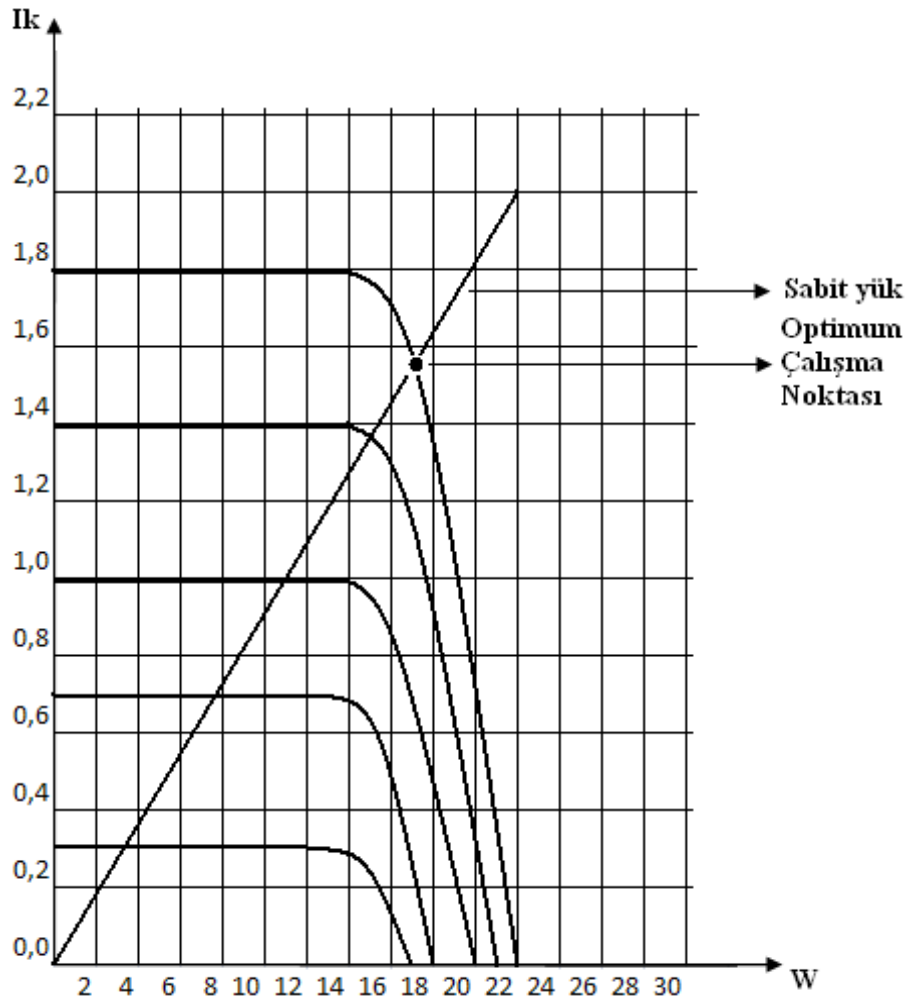
Bir güneş pilinde n tipi bölgede elektron üreten bir elektromotor kuvveti düşünülebilir. Şekil 2.10’ da fiziksel eşdeğer devre görülmektedir. Devre elemanları bir elektromotor kuvvet, bir iç diyot ve bir iç direnç şeklinde sembolize edilebilir.



Şekil 2.10. Güneş pili eşdeğer elektrik şeması

Güneş pilleri, belirli güneşlenme şartlarında, birim alan başına belirli bir akım ve voltaj üretirler. İstenen bir enerji için birçok pili seri ve paralel olarak bağlamak gerekir. Böylece güneş panelleri oluşturulur. Şekil 2.10’da eşdeğer şeması verilen güneş pilinde dış devre akım şiddeti ve uçlardaki gerilim ölçülebilir. Ayarlanabilir bir dış dirençle, gerilim ve akım açık devreden kısa devreye kadar değiştirilerek Şekil 2.11’ deki gerilim akım şiddeti eğrileri elde edilebilir. 1 cm^2 ’ lik pil güneşlenme alanı için ışıınım şiddeti $0.5 - 1.0 \text{ kW/m}^2$ arasında değişirken, optimum çalışma noktaları ve sabit yük eğrisi bu şekilde gösterilmiştir.

Ölçümler 27°C sıcaklıkta yapılmış olup yüzey sıcaklığı arttıkça gerilim düşer. Akım şiddeti, güneş ışıınım yoğunluğu ve pil ışıınım alanı ile orantılı olarak değişir. Sıcaklığın voltaja tesiri $0.022 \text{ W/}^\circ\text{C}$ oranında olmaktadır. Şekil 2.11’ de 40 adet seri bağlanmış $10 \times 10 \text{ cm}$ ebadında pilin, 1 kW/m^2 ışıınım şartlarında akım şiddeti gerilim karakteristiği değişik sıcaklıklar için verilmiştir.



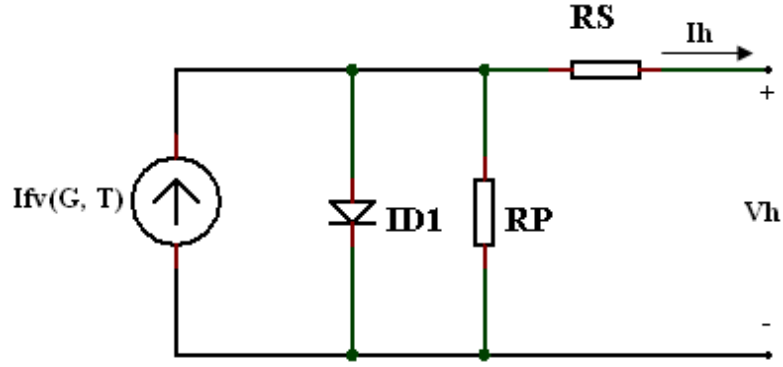
Şekil 2.11. 34 wattlık bir güneş piliinde akım-gerilim eğrileri (Yüzey sıcaklığı 27 °C için)

2.2.15. Klasik Fotovoltaik Güneş Pili Modelleri

2.2.15.1. Fotovoltaik Güneş Pili Tek Diyotlu Modeli

a) Fotovoltaik Güneş Pili Tek Diyotlu Hücre Modeli

Tek diyot modeli bir fotovoltaik güneş pili hücresinin simülasyonunda kullanılan en basit modeldir. Bu model, temel olarak polikristal bir güneş pili hücresinin geçişme akımını tek bir diyot ile modelleyerek inceleme fırsatı vermektedir. Literatürde Campbell (2007), Altaş (2007), Dondi vd. (2007) ve Neto vd. (2003) bu modele yakın analizler gerçekleştirmişlerdir.



Şekil 2.12. Fotovoltaik güneş pili tek diyotlu hücre modeli

Literatürde D_1 diyotu genellikle geçişme akımını ifade etmekte olup bu diyotun diyot kalite faktörü,

$A_1 = 1$ olarak kabul edilmektedir.

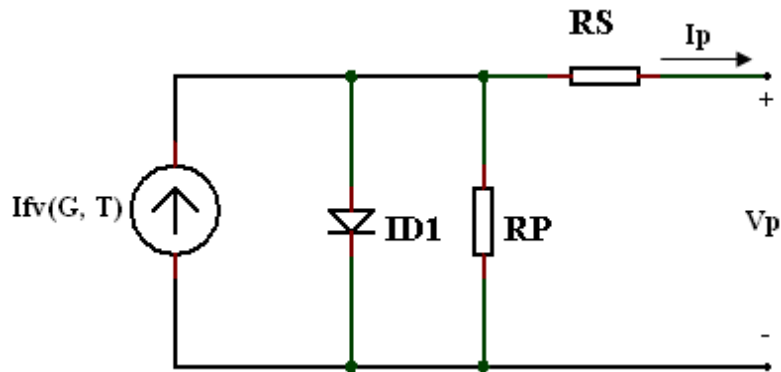
R_s seri direnci, yarı iletken maddeden, metal bağlantı noktalarından ve toplayıcı veri yolundan oluşan devre yolunun toplam direncini ifade etmektedir.

R_p paralel direnci, yarı iletken yapıya paralel olarak bağlı bulunan rezistif yolda kaybolan kaçak akımı ifade etmektedir. Bu kayıp türü seri dirençle karşılaştırıldığında çok daha az olup büyük bir fotovoltaik sistem oluşturmak için fotovoltaik güneş pili hücrelerinin birbirine bağlanması durumunda belirgin olmaktadır [20].

Hücre Akımı I_h Kirschhoff'un akımlar kanunu uygulanarak eşitlik 2.1'deki gibi yazılabilir.

$$I_h = I_{fv} - I_{D1} - I_p \quad (2.1)$$

b) Fotovoltaik Güneş Pili Tek Diyotlu Panel Modeli

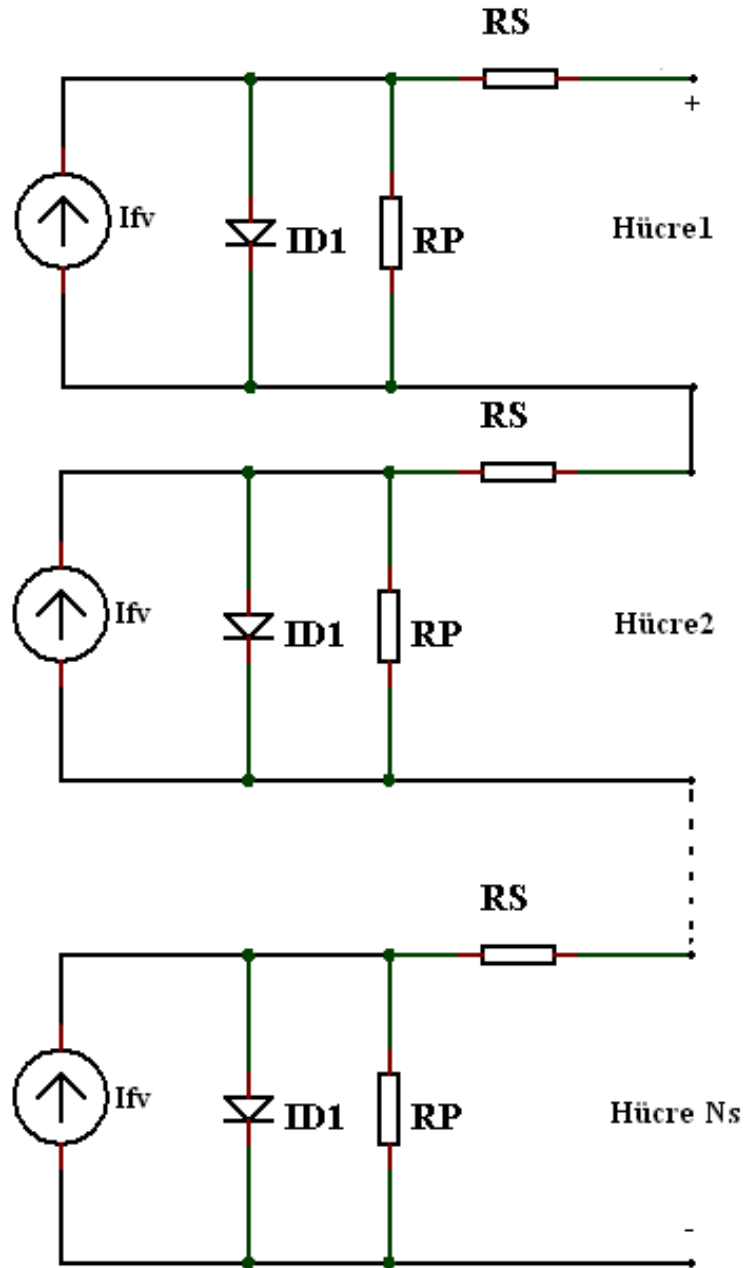


Şekil 2.13. Fotovoltaik güneş pili tek diyotlu panel modeli

Fotovoltaik sistemler pratikte, gerekli gerilim ve akım değerlerini elde etmek için fotovoltaik hücrelerden diziler ve paneller oluşturulması şeklinde kullanılmaktadır. N_s dizini oluşturan seri hücre sayısı ve N_p paneli oluşturan dizinlerin sayısını belirtmek üzere daha önce bulunan hücre modeli dizinlere ve panellere aşağıdaki eşitliklerden dönüştürülebilmektedir [21],[22].

$$I_p = N_p I_h \quad (2.21)$$

$$V_p = N_s V_h \quad (2.22)$$



Şekil 2.14. Fotovoltaik güneş pili tek diyotlu hücre modellerinin seri bağlanması

Yukarıdaki şekilde birbirlerine bir dizi oluşturmak üzere seri olarak bağlanmış diyot devreleri gözükmemektedir.

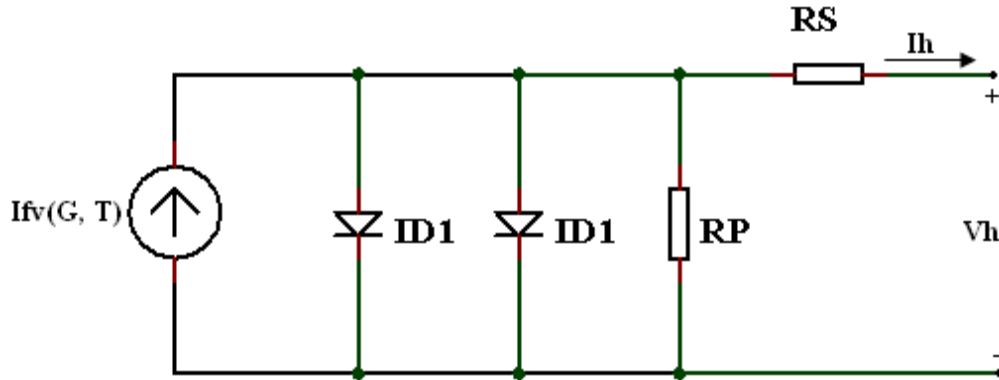
Hücrelerin herbirinin üretim teknolojilerinin ve parametrelerinin birbirinin aynısı olduğu düşünülür ve devrenin Thevenin eşdeğeri göz önüne alınırsa, birbirine seri olarak bağlı hücrelerin toplam seri ve paralel dirençleri diziyi oluşturan hücrelerin sayısı kadar artacaktır [23].

2.2.15.2. Fotovoltaik Güneş Pili İki Diyotlu Modeli

a) Fotovoltaik Güneş Pili İki Diyotlu Hücre Modeli

İki diyot modeli, polikristal bir güneş pili hücresinin geçişme ve yeniden birleşme akımlarının etkilerini birbirinden bağımsız olarak inceleme fırsatı veren bir modeldir. Bu modelin, fotovoltaik güneş pili tek diyot panel modelinden temel farkı yeniden birleşme etkisini ve akımını modelleyen ikinci bir diyotun modele eklenmesidir.

Bu bölümde aşağıda belirtilen devre fotovoltaik güneş pili hücresi olarak esas alınmıştır.



Şekil 2.15. Fotovoltaik güneş pili iki diyotlu hücre modeli

Yeniden birleşme etkisini modelleyen diyot tek diyotlu modelden tam olarak bağımsız olduğu için, tek diyotlu modelde elde edilen eşitlikler değişmemekte, yalnızca bu ikinci diyotun akım etkisi eklenmektedir. Bu nedenle, Tek diyotlu hücre modelinde elde edilmiş eşitlikler yeniden çıkarılmamış, yalnızca ikinci diyotun akım ifadesi türetilerek eklenmiştir.

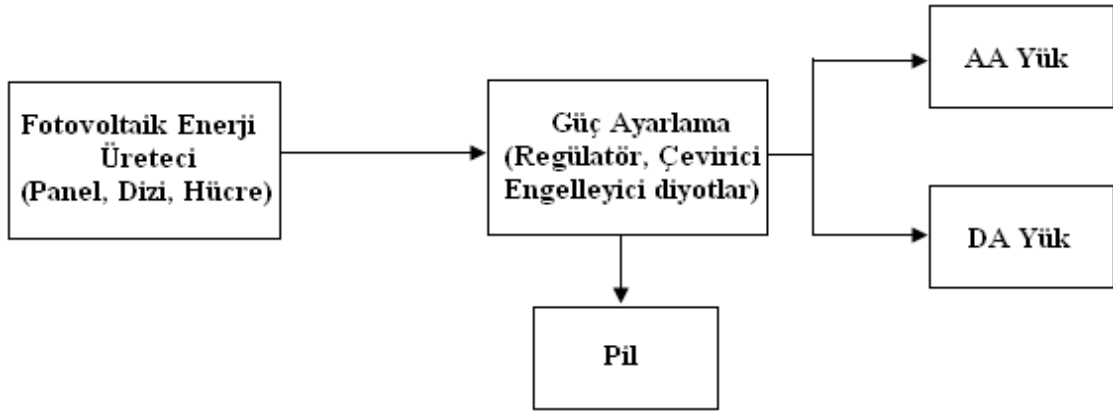
Tek diyotlu hücre modelinde D_1 diyotunun geçişme akımını ifade etmekte olduğu belirtilerek bu diyotun diyot kalite faktörü $A_1 = 1$ olarak kabul edilmişti. Benzer biçimde D_2 diyotu yeniden birleşme akımını ifade etmekte olup, literatürde diyot kalite faktörü $A_2 = 2$ olarak kabul edilmektedir.

Hücre Akımı I_h Kirschoff'un akımlar kanunu uygulanarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$I_h = I_{fv} - I_{D1} - I_{D2} - I_p \quad (2.23)$$

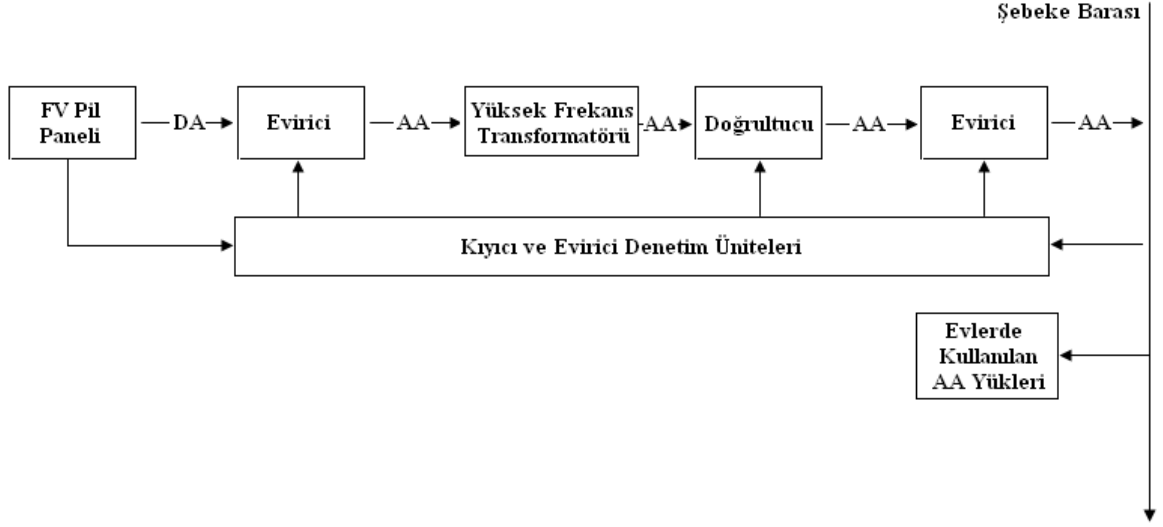
2.2.16. Fotovoltaik Sistemlerin Genel Kullanımı

Fotovoltaik sistemler yük sistemine ya doğrudan doğruya ya da şebeke üzerinden güç aktarmaktadır. Bunlardan ilki yalnız başına çalışması uygun görülen veya şebekeden çok uzakta bulunan durumlarda uygulanan yalnız başına çalışan fotovoltaik sistemlerdir. Yalnız başına çalışan bir fotovoltaik sistem için çalışma diyagramı Şekil 2.16' da gösterildiği gibidir [17].



Şekil 2.16. Yalnız başına çalışan bir fotovoltaik sistem yapısı

Bir fotovoltaik sistemin şebekeye bağlı olması uygulamasında ise yapısı şekil 2.17' de gösterildiği gibi olmaktadır [18].



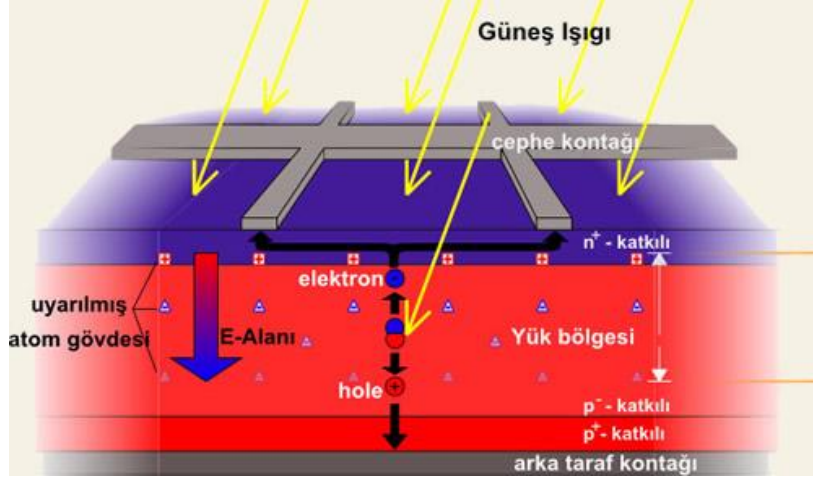
Şekil 2.17. Alternatif akım şebekesine bağlı yüksek frekans transformatörü üzerinden güç aktaran bir fotovoltaiik pil paneli

Yalnız başına veya şebekeye bağlı çalışan fotovoltaiik sistemlerde uygulamalar birbirinden çok farklı bölgelerde ve bağımsız olarak ortaya çıktığı için IEEE raporlama, uygunluk ve güvenilirlik açısından standart tanımlar oluşturmuştur [19].

2.2.17. Güneş Pillerinin Çalışma İlkeleri

Çok değişik malzeme türleri kullanılıyor olmasına karşın, günümüzde çoğu güneş pili silisyumdan yapılmaktadır. Silisyum atomunun son yörüngesindeki valans elektronu negatif yükler, ışık foton denilen enerji partiküllerinden oluşmuştur. Bu fotonlar bir atoma çarptıklarında tüm atom enerjilenir. Güneş pili güneş ışığına maruz kaldığında, en kolay kopabilecek durumda olan son yörüngedeki valans elektronu kopar. Serbest kalan bu elektronda, voltaj veya elektriksel basınç olarak isimlendirebileceğimiz potansiyel enerji ortaya çıkar. Bu enerji, bir aküyü şarj etmek veya bir elektrik motorunu çalıştırmak için kullanılabilir. Önemli olan nokta, bu serbest elektronları pil dışına alabilmektir. Üretim sırasında, pilin ön yüzeyine yakın yerde bir iç elektrostatik bölge oluşturularak, bu elektronun serbest duruma geçmesi sağlanır. Silisyum kristali içine diğer elementler yerleştirilmiştir. Bu elementlerin kristal içinde bulunması, kristalin elektriksel olarak dengede olmasını önler. Işıkla karşılaşan malzemede, bu atomlar dengeyi bozar ve serbest elektronları diğer pile veya yüke gitmeleri için pilin yüzeyine doğru süpürürler. Milyonlarca foton pilin içine akarken, enerji kazanıp bir üst seviyeye çıkar, elektronlarda

pil içindeki elektro-statik bölgeye ve oradan da pil dışına akarlar. İşte bu oluşan akış elektrik akımıdır.



Resim 2.18. Güneş pilinin yapısı

2.2.18. Güneş Pillerinin Yapısı

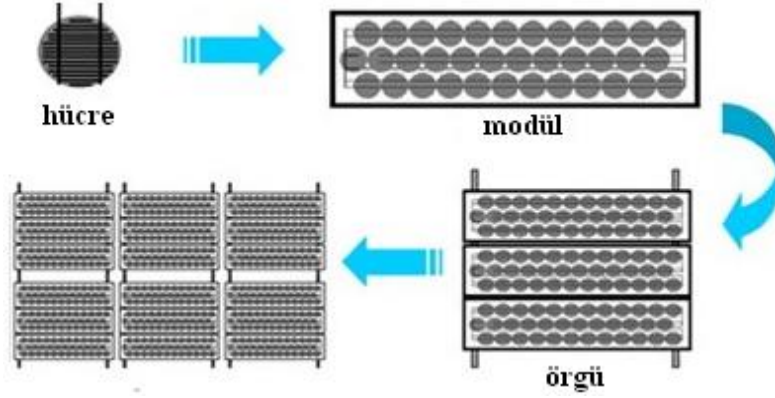
Tek kristalli silisyum güneş pilinin rengi koyu mavi olup, ağırlığı 10 gramdan azdır. Pilin üst yüzeyinde, pil tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan ön kontaklar vardır. Bunlar negatif kontaklardır. Pil yüzeyindeki yansımayı önlemek için kontakların altında 150 nm kalınlığında, yansıma özelliği olmayan bir kaplama tabakası vardır. Bu tabaka olmazsa, silisyum, üzerine düşen ısıtımın üçte birine yakın kısmını yansıtacaktır. Pilin ön yüzeyi, normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, piramitler ve konikler şeklinde dizayn edilmiştir. Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, pilin elektrik akımının ortaya çıktığı yapı bulunur. Bu yapı, iki farklı katman halindedir. n-katmanı, fosfor atomları eklenmiş silisyumdan oluşan ve pilin negatif tarafını oluşturan katmandır. p-katmanı ise, bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, pilin pozitif tarafıdır. İki katman arasında, p-n jonksiyonu denilen, pozitif ve negatif yüklü elektronların karşılaştığı bir bölge bulunur. Pilin arka yüzeyinde, elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak yer alır [24].



Resim 2.19. Silisyum güneş pilinin ön yüzü

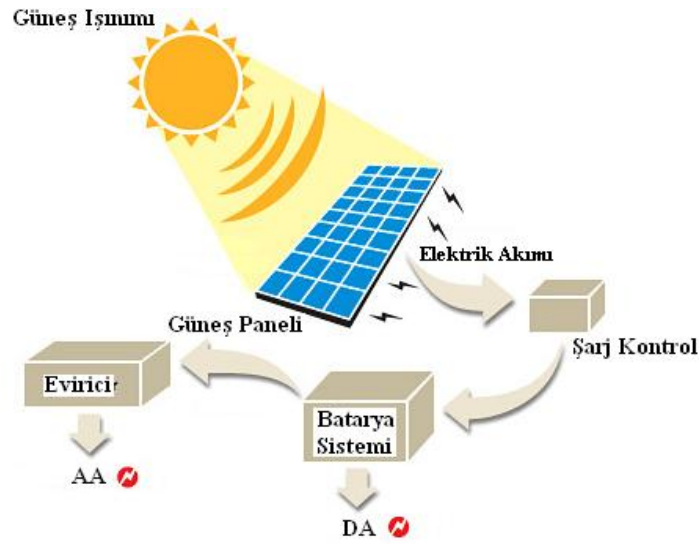
Üretilen piller, standart test koşullarında test edildikten sonra, tüketiciye sunulmaktadır. Ortam sıcaklığı 25 °C ortalama ışıyım şiddeti 1000 W/m² ve Hava- Kütle oranı 1,5 olarak test koşulları belirlenmiştir. Hava-kütle oranı, güneş ışıyımının geçirilme oranını gösteren atmosfer kalınlığıdır. Güneşin tam tepede olduğu durumda, bu oran, 1 olarak alınır. Atmosfer tarafından emilen ışıyımın oranına bağlı olarak, pilin üreteceği elektrik miktarı da değişeceğinden, bu oran önemli bir parametredir.

Tipik bir silisyum güneş pili, 0,5 volt kadar elektrik üretebilir. Pilleri birbirine seri bağlayarak üretilen gerilim değerini arttırmak olasıdır. Genellikle, 30-36 adet güneş pili, 15-17 voltluk bir çıkış gücü vermek için birlikte bağlanabilir ki bu voltaj değeri de, 12 voltluk bir aküyü şarj etmek için yeterlidir. Farklı çıkış güçleri verecek şekilde imal edilmiş, farklı büyüklüklerde güneş pilleri bulmak olasıdır. Silisyum pillerin seri bağlanması ile modüller, modüllerin birbirine bağlanması ile örgüler oluşur (Şekil 2.18). Her modül, paralel veya seri bağlanabilmesine olanak verecek şekilde, bağlantı kutusuyla birlikte dizayn edilir.



Şekil 2.18. Pillerden modül ve örgülerin yapılması

Güneş pilinin kolayca kırılabilmesi ve ürettiği gerilimin çok düşük olması gibi, sakıncalarının giderilmesi gerekir. Pillerin birbirlerine bağlanması ile oluşan modüller koruyucu bir çerçeve içine alınmışlardır ve kullanılacak düzeyde gerilim üretirler. Modülde bulunan pil sayısı, çıkış gücünü belirler. Genellikle, 12 voltluk aküleri şarj etmek için 30-36 adet silisyum güneş pilinin bağlanması ile bir modül oluşsa bile, daha yüksek çıkış güçleri için daha büyük modüller yapılabilir. En basit sistem, bir modül ve buna bağlı bir akü veya elektrik motorundan oluşmuş bir sistemdir (Şekil 2.19) [24].



Şekil 2.19. Güneş pili ile akünün şarj edilmesi

Modüllerin fiziksel ve elektriksel olarak bir araya getirilmesi ile oluşan yapıya panel adı verilir. Bir modülden elde edilen gücü arttırmak için başvurulan bir yapılanma biçimidir. Bu şekilde, çıkış gücü, 12, 24, 48 V veya daha yüksek olabilir. Birden fazla panelin kullanıldığı bir sistemde, paneller, kontrol cihazına veya akü grubuna, birlikte

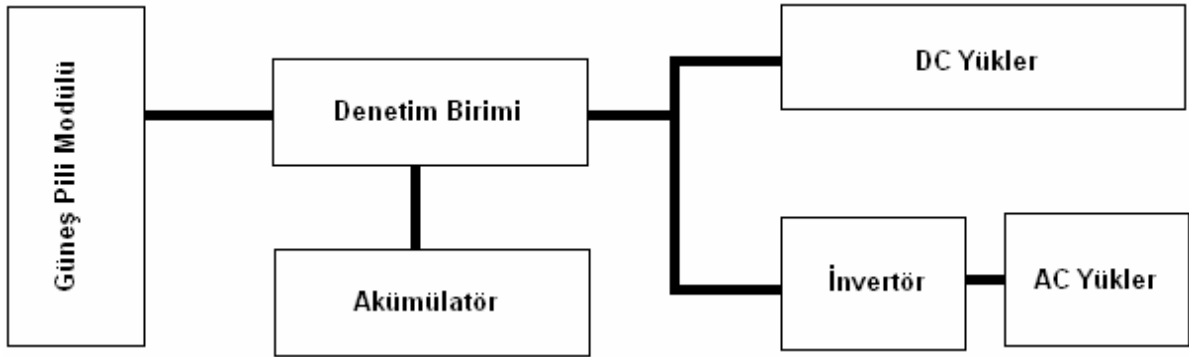
bağlanabilecekleri gibi, her panel tek olarak da bağlanabilir. Bu durumda, bakım kolaylığı olacaktır.

Sistemde kullanılan, fotovoltaik üreteçlerin tümünün oluşturduğu yapıya ise örgü denilmektedir. Örgünün çok büyük olduğu uygulamalarda, daha kolay yerleştirme ve çıkış kontrolü için sistem, alt-örgü gruplarına ayrılabilir. Örgü, bir modülden oluşabileceği gibi 100.000 veya daha fazla modülden de ulaşabilir.

2.2.19. Güneş Pili Kullanım Alanları

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

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı yada yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz' lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Aşağıda şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sisteminin şeması verilmektedir [25].



Şekil 2.20. Güneş pili enerji sistemi

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

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

2.2.20. Güneş Piliindeki Kayıplar

Güneş pilleri kayıplar nedeni ile daha düşük verimle çalışmaktadır. Burada güneş pili kayıplarının özellikle nereden kaynaklandığını belirlenmeye çalışılmıştır. Güneş pillerinde ilk çalışma anından başlayarak görülen kayıplar aşağıdaki gibidir.

Işıksal Kayıplar: Güneş ışığı fotonlarının soğurulmaması ve azınlık taşıyıcılarının üretilmemesinden doğan kayıplar,

Elektriksel Kayıplar: Fotovoltaik diyotların optimum elektrik parametrelerini düşüren kayıplar,

Ara Yüzey Kayıpları: Beş tabakanın her biri için hacim kayıplarına ek olarak ortaya çıkan kayıplar olarak ortaya sınıflandırabiliriz.

a) Işıksal Kayıplar

Güneş pillerinde üretilen akım değeri, üretilen azınlık taşıyıcıları ve soğurulan güneş ışığı fotonlarının sayısı ile belirlenir. Bu kayıplar, her tabakada gerçekleşen yansıma kayıpları ile takalar veya ara yüzeylerde görülen dış soğurulma kayıpları olarak iki kısımda incelenebilir.

b) Elektriksel Kayıplar

Elektrik kayıplarını tanımlamanın en kolay yolu akım-gerilim karakteristiğini kullanmaktır. Bu kayıplar akım gerilim kayıplarından oluşur. Toplanıp çoğunluk taşıyıcılarına çevrilemeyen azınlık taşıyıcıları, akım kayıplarını belirler. Gerilim kayıpları, açık devre geriliminin beklenen değerinin altına bir düşüş olarak tanımlanır. Seri ve paralel direnç kayıpları ile zayıf diyot karakteristikleri, elde edilecek akım gerilim değerlerini küçültecektir.

c) Ara Yüzey Kayıpları

Güneş pillerinde üretilen azınlık taşıyıcılarının kaybı pek çok yolla gerçekleşebilir.

Hacim içinde yeniden birleşme kayıpları, uyarılan taşıyıcıların sonlu ömürlerinden kaynaklanır. Bu nedenle ortaya çıkan akım kaybı, yayılım uzaklıklarıyla soğurucu

kalınlığı arasındaki orana bağılıdır. Soğurucu kalınlığının aynı zamanda soğurmayı en iyi hale getirmek üzere seçilmesi gerektiğinden, ışıksal ve elektriksel gereksinimler arasında bir uzlaşma sağlanmalıdır. İyi tasarlanmış güneş pillerinde hacim içi yeniden birleşme kayıpları %5 ile %20 arasında değişir. Yüzey yeniden birleşmesi, bir malzemedeki her kesitin yeni elektronik koşullar yaratmasından kaynaklanmaktadır. Işınım ile üretilen ve yüzeye doğru yayınımına uğrayan taşıyıcılar, yüzey etkilerini önleyici özel önlemler alınmadığı ya da taşıyıcıların yüzeye ulaşmaları engellendiği zaman, yüzeyde yitirilirler. Yüzeyde bir oksit tabakanın oluşturulması, genellikle, yüzey koşullarının etkisini ve bundan dolayı da taşıyıcı kaybını azaltır. Yüzey yakınlarına uygulanan homojen olmayan bir katıştırma işlemi, bir iç elektrik alanı oluşumuna yol açarak, azınlık taşıyıcıların yüzeyden uzaklaştırılmasına ve akım kayıplarının azaltılmasına neden olur. Yüzeydeki bu yeniden birleşme kaybı en iyileştirilmiş güneş pillerinde %0-5 arasında değişim gösterir.

Kristal sınırları iç yüzeyler gibi davranabildiğinden, serbest bir yüzey ölçüsünde azınlık taşıyıcı kaybına neden olabilirler. Kristal sınırlarında pürüzler çok daha etkin olduğundan yapılacak bir katıştırma işlemi azınlık taşıyıcılarını uzaklaştıracak ve akım kayıplarını önlemede başarılı olacaktır.

Homojen eklemler, heterojen eklemler ve Schottky açık devre gerilimi ya hacim içi yeniden birleşme ömrü, ya da ara yüzey yeniden birleşme hızları ile denetlenir. Açık devre gerilimini kontrol eden ve etkileyen ek parametreler bant aralığı ve eklemin n ve p taraflarının katıştırılma seviyeleridir. Açık devre gerilim kayıpları %4 ile %50 arasında değişir.

Seri direnç ve paralel iletkenlik güneş pillerinde arzu edilmeyen özelliklerdir. Paralel direnç değeri açık -devre gerilimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İdeal bir güneş pilinde paralel direnç sonsuza yakın olmalıdır. Bakır Sülfid/Kadmiyum Sülfid güneş pillerinde alın ızgara, Kadmiyum Sülfid tabakasına kısmi kontak yaparak paralel bir iletkenlik oluşturur. Güneş pillerinde paralel iletkenlik ve seri direnç kayıpları %0-%10 mertebesinde.

Güneş pillerinde maliyetin düşürülebilmesi, pil ömrünün uzun olması ile mümkündür. Günümüzde güneş pillerinin ömrüne ilişkin belirsizlikler vardır. Ancak genellikle, 20 yıllık bir süre için güneş pili veriminde %10 ile %20 arası düşüşler tasarımcı ve imalatçıların hedefi olmaktadır. Güneş pillerinin çıkış gücündeki azalmanın kolayca anlaşılabilen birkaç nedeni vardır. Pilin dış yüzeyinde, güneş ışınımının gelişini engelleyen toz ve pisliklerin birikmesi bu nedenler arasındadır.

3. STEP MOTORLAR

Step motorlar (adım motorları), girişlerine uygulanan darbe dizilerine karşılık (digital veya sayısal giriş), rotorunda analog dönme hareketi yapabilen elektromagnetik elemanlardır. Bu özellikleri nedeniyle “dijital makina” olarak da tanınan step motorlar, dijital sistemlerle çok rahat bir şekilde kullanılabilirler.

Step motorlar, geleneksel elektrik motorlarından farklı olarak, hareketini adım-adım yapan motorlardır [26]. Adından da anlaşılacağı üzere belirli adımlarla hareket ederek rotorun açısal konumunu değiştirirler. Adım açıları motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir.

Motorun uyartılmasıyla birlikte, rotorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Motorun yapısına bağlı olarak, adım açısı 90, 45, 18, 7,5, 1,8... derece veya daha farklı açılarda olabilir. Motora uygulanan sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı da kontrol edilebilir. Aynı zamanda bu sinyallerin sırası değiştirilirse step motorlarının dönüş yönü, saat ibresi yönünde (CW) veya saat ibresinin tersi yönünde (CCW) olabilir.



Resim 3.1. Step motor

3.1. Step Motorların Kullanım Alanları

1944-1957 yılları arasındaki dönemde kapalı çevrim servo sistemleri ile yaygın bir kullanım alanı bulan step motorları, katı hal elektroniğindeki gelişmeler sayesinde 1960'lı yıllarda konum kontrol sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır [26].

1944 yılından beri var olan step motorları ancak 1960'lı yıllarda yüksek seviyeli doğru akımları anahtarlayabilen transistörlerin üretilmesiyle beraber ticari anlamda

kullanılmaya başlanmıştır. Step motorlarının ilk çalışma ilkeleri 1930'lu yıllarda açıklanmıştır. Sonraları İngiliz ordusu tarafından kullanılmış ve daha sonra ABD ordusu tarafından ikinci dünya savaşında gemilere uyarlanmıştır [26].

1970'li yıllarda başlayan dijital elektronik ve mikroişlemci teknolojisindeki gelişmelerle birlikte step motorlarının kullanımı giderek cazipleşmekte ve tüm dünyada bu motorların üretim ve uygulamalarıyla ilgili geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Günümüzde step motorları endüstride birçok kontrol sistemlerinde, hassas konum kontrolü yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Adım motorlarının birçok özel uygulama için kullanım alanları vardır. Çünkü step motorları, gerçekte sayısal formdaki giriş bilgisini mekanik harekete dönüştürür [27].

En çok yazıcılar (printer), çiziciler (plotter), disket sürücüler (floppy driver), harddisk sürücüler (harddisk driver), kart okuyucular... vb gibi bilgisayar çevre cihazlarında bu elemanlardan yararlanılmaktadır. Ayrıca sayısal kontrol sistemlerinde, CNC tezgahlarda, proses kontrol sistemlerinde, robot teknolojisinde (milimetrik hareketlerin kontrolünde) ve uzay endüstrisine ait bir çok sistemde step motorları tahrik elemanı olarak yer almaktadır.

3.2. Step Motorların Avantajları

Step motorların bu kadar yaygın olarak kullanılmasının sebebi, birçok avantaja sahip olmasıdır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Step motorlarla, makinaya zarar vermeden defalarca durma ve kalkma işlemleri gerçekleştirilebilir. (Ani durma ve ters yöne dönme isteklerine çok hızlı bir şekilde cevap verebilirler.)
- Step motorlar dijital girişlerle çalışabilir, bu nedenle geri beslemeye ihtiyaç duyulmaksızın açık çevrim olarak çalıştırılabilmesi sağlanabilir. Yani açık çevrim çalıştırılan bir step motoru ile hız, ivme ve konum kontrolü daha basit ve daha az maliyetle gerçekleştirilebilir. Böylelikle kararsızlık problemlerinin de önüne geçilmiş olur.
- Mikroişlemciler ve bilgisayarlı sistemlerle çalıştırılmak için uygundurlar. Çünkü step motorlar dijital giriş işaretiyle çalışabilirler.
- Step motorlar, giriş işaretlerinin frekansına bağlı olarak çok geniş bir hız aralığında sürülebilirler.

- Step motorların dönüş yönü, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerler mikroişlemci veya bilgisayar yardımı ile kontrol edilebildiğinden, bu motorların hız, konum ve dönüş yönü bilgileri sürekli olarak bilinmektedir. Bu nedenle bu motorlar hassas konum kontrolü gerektiren yerlerde rahatlıkla kullanılabilir.
- Mekanik yapısı basit olduğundan bakım gerektirmezler.
- Aşırı yüklenmeden hasar görmezler, oldukça dayanıklıdır.
- Her yeni adımla artan (kümülatif) konum hataları yoktur.
- Yağlanma ve kirlenme problemleri yoktur.

3.3. Step Motorların Dezavantajları

Step motorların bütün bu avantajlarına karşılık bazı dezavantajları da aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Elde edilebilecek çıkış gücü ve momenti sınırlıdır.
- Klasik sürücülerle kullanıldıklarında verimleri düşüktür.
- Sabit adım açılarıyla çalıştığından rotordan alınan hareket sürekli değil darbelidir.
- Adım cevapları nispeten büyük asım ve salınımlıdır.
- Yüksek eylemsizlikli yüklerde yetenekleri sınırlıdır.
- Sürtünme kaynaklı yükler, hata kümülatif olmasa dahi açık çevrim çalışmada konum hatası meydana getirebilirler.
- İyi kontrol edilmezse rezonans meydana gelebilir.
- Oldukça yüksek hızlarda çalıştırmak pek kolay değildir.

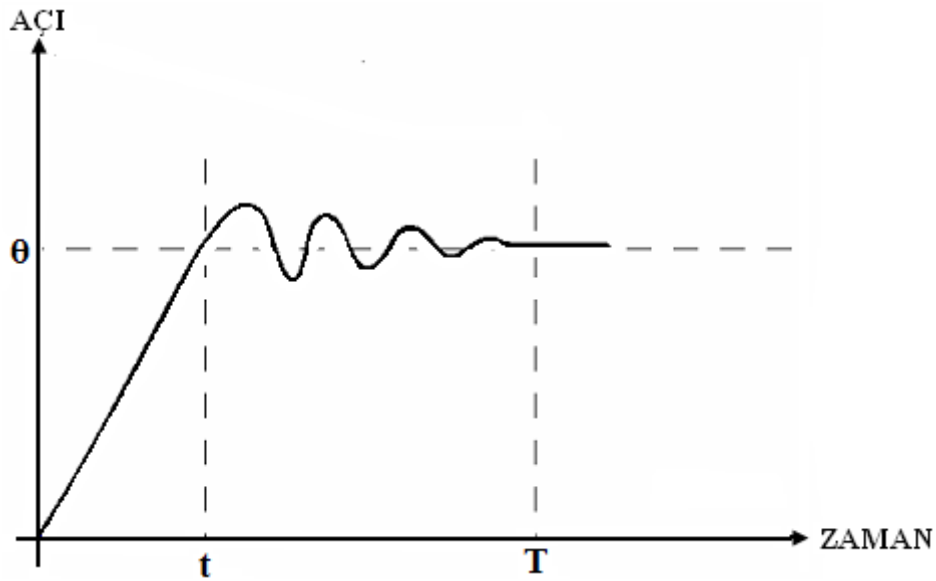
3.4. Step Motorlara Ait Bazı Önemli Kavramlar

3.4.1. Adım Tepkisi / Tek Adım Tepkisi / Cevap Süresi / (Single Step Response)

Motor fazlarından biri uyartılmış ise motor kararlı bir adım konumundadır. Bu fazın uyartımı kesilip yeni bir faz uyartılırsa rotor bir adım atacaktır. Rotor konumunun zamana göre değişimi “tek adım tepkisi” olarak tanımlanır. Bir başka deyişle motorun girişine bir komut sinyali (pals) uygulandıktan sonra motorun adımlara cevap vermek için gerekli olarak aldığı zamana (T) “tek adım tepkisi”, “adım tepkisi” ya da “cevap süresi” denir. Bu

süre hem motor parametrelerine hem de motorun sürücü devresine bağlıdır ve yaklaşık olarak milisaniye civarındadır.

Tek adım tepkisi, motorun adım hareketinin hızını, tepkinin asım ve salınım miktarını, adım açısının hassaslığını veren önemli bir parametredir. Step motorlardan maksimum performans elde edebilmek için tek adım tepkisindeki asım ve salınımların azaltılması ve yerleşme zamanının kısaltılması gerekmektedir. Bu nedenle tek adım tepkisinin iyileştirilmesi step motorların kontrolünde çok büyük öneme sahiptir. Motora uygulanan giriş darbeleri ile çıkış hareketi arasındaki senkronizasyonu bozmamak için, sürme esnasında iki darbe arasındaki süre, cevap süresinden daha kısa olmamalıdır. Dolayısıyla step motorunun cevap süresinin kısaltılabilmesi, motorun daha hızlı adım atabilmesini sağlayacaktır. Step motorlarının cevap davranışlarında dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta da yaptıkları asım(overshoot) ve osilasyonun miktarıdır. Step motorlar, bilgisayar sistemlerinde veya bilgisayarla kontrolü gerektiren hassas sistemlerde kullanıldığında, asım ve osilasyon sistemi kötü yönde etkileyen ve önemli boyutta hatalara sebep olan bir davranıştır.



Şekil 3.1. Step motor adım tepkisi karakteristiği

3.4.2. Adım Oranı (Stepping Rate / Starting Pulse Rate)

Bir saniyede rotorun yapabildiği adım sayısıdır. Bu adım sayıları, tipik olarak saniyede 300 ila 800 arasındadır.

3.4.3. Adım Açısı (Step Angle)

Motor fazlarından biri uyarılmış durumdaysa motor, kararlı bir adım konumundadır. Bu fazın uyarıtımı kesilip yeni bir faz uyarılırsa rotor bir adım atacaktır. Bu adımın açısal olarak büyüklüğüne adım açısı denir [28]. Yapımcı firmalar, değişen sayılarda rotor ve stator sargıları ile çeşitli açılarda step motorlar yapmaktadırlar.

3.4.4. Adım Açısı Doğruluğu (Step Angle Accuracy)

Rotorun yaptığı her bir adımdaki hata miktarını gösterir. Bu parametre genellikle bir yüzde ile verilir. Rotor bir adım döndüğünde meydana gelen toplam hata oranını gösteren bu parametrenin yazılması önemlidir. Bu hata değeri kümülatif(birikimli) değildir. Yani rotorun yaptığı her adım ile bu hata miktarı toplanarak gitmez. Rotorun gerçek hızı adım açısı ve adım hızına bağlıdır.

3.4.5. Çözünürlük

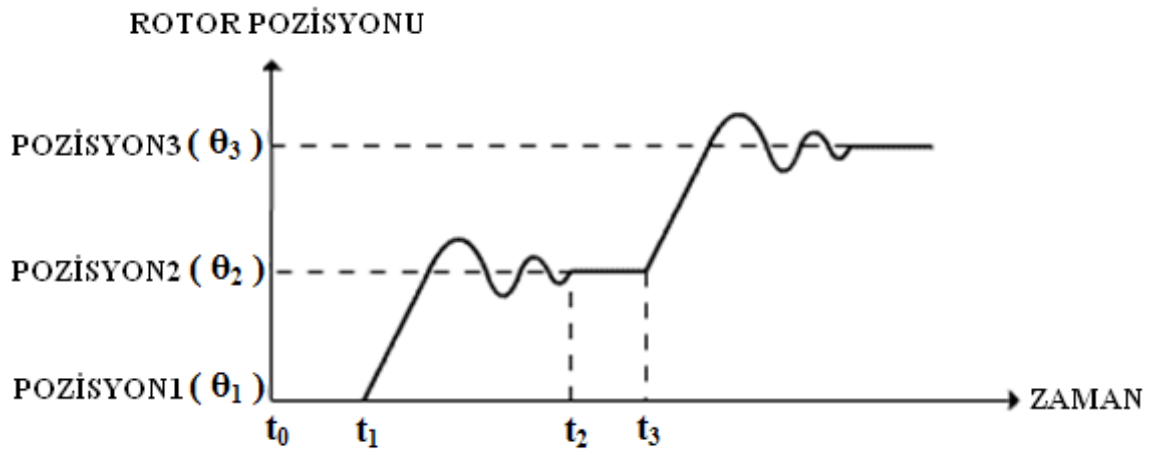
Çözünürlük, dönen motorlar için adım açısı(derece), lineer motorlar için ise adım uzunluğu (mm) olarak tanımlanır. Bu sabit değer, üretim sırasında tespit edilen bir büyüklüktür. Bir step motorunun adım büyüklüğü, çeşitli uyarıtım metotları ile değiştirilebilir. Mesela yarım adım çalışmada, adım büyüklüğü normal değerinin yarısına indirilir.

3.4.6. Overshoot

Step motora gönderilen darbelerin frekansı arttırılırsa, step motorun adımları hızlanır ancak adımlarının hızlanmasıyla step motor istenmeyen bir karakteristik gösterir. Buna “overshoot” denir. Bu durum aşağıdaki şekilde görülmektedir (Şekil 3.2).

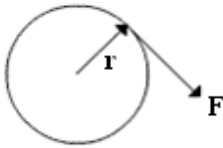
Motorun rotoru “Pozisyon1” ve “t₀” anında durmaktadır. “t₁” anında uygun stator sargısına güç uygulanmıştır. Bu uygulama rotorun “Pozisyon2” ye dönmesini sağlar. Rotor “Pozisyon2” de tam olarak durmaz çünkü bir dönme momenti vardır. Bundan dolayı dönmek isteyecektir. Rotor biraz daha döner. Buna “overshoot” denir. İki kutup arasındaki magnetik ilişkiden dolayı rotor tekrar geri döner ama yine bir miktar “overshoot” meydana

gelir. Rotorun hareketi kesin ve net olmayacağından tam durması istenen yerde duramayacaktır. Kutupların manyetik etkisinden dolayı geri gelip yerinde durması gerekirken fazla dönerek tekrar istenmeyen bir durum meydana gelir. Yani rotor basit harmonik hareket ya da sönümlü osilasyon yapar. Neticede motora darbe uygulandıktan sonra rotorun durması bir miktar zaman alır. Rotorun durması için geçen zamana “oturma(yerleşme) zamanı (settling-time)” denir. Bazı devrelerde rotorun durmasının çabuk olması istenir. Bunun yapılabilmesi için bazı işlemlere ihtiyaç vardır. Bu işleme “damping” denir.



Şekil 3.2. Step motorda overshoot

3.5. Step Motor Tork Parametreleri



Dönme momentine ‘Tork’ denir.

$$T_m = F \times r$$

Tork, elektrik devrelerindeki elektrik potansiyeline, milin açısal hızı da elektrik akımına benzetilebilir. Nasıl elektrik devrelerindeki direnç potansiyel etkisinde akımı sınırlarsa, mekanik devrelerde de sürtünme kuvvetleri milin tork etkisinde açısal hızına sınır getirir. Bir elektrik devresinde akü, potansiyel kaynağıdır aynı şekilde mekanik

sistemlerde de motor, tork kaynağıdır. Motor mili, tork etkisinde dönmeye zorlanır. Bir aküden çekilen akımı sıfırdan itibaren arttırırsak, akünün iç direncinden dolayı akım arttıkça akü voltajı düşer. Benzer olarak bir motorun milinden alınan devir arttıkça motorun verdiği tork düşer. Elektrik devrelerinde akım ve gerilimin çarpımı, düzgün harekette ise bir nesneye etkiyen kuvvet ile nesnenin hızının çarpımı gücü verirken, motorda tork ile açısal hızın çarpımı mekanik gücü verir.

$$P = I \times V$$

$$P = F \times v$$

$$P_m = T_m \times \omega_n$$

$$T_m = F \times r$$

Bir motordan, herhangi bir devirde beklenen torkun büyüklüğü, motorun gücü ile orantılıdır. Sabit güç altında itme kuvveti artarken hız düşer, hız artarken ise itme kuvveti düşer ve dolayısıyla tork da düşer.

Step motor kataloglarında dört çeşit tork parametresine rastlanılır. Bu parametreler genellikle tork-hız grafikleriyle birlikte kataloglarda sunulur.

- a. Detent Torque (Yüksüz ve Enerjisiz Tutma Torku)
- b. Holding Torque (Yüksüz ve Enerjili Tutma Torku)
- c. Pull in Torque (Kalkıştaki Maksimum Yük Momenti)
- d. Pull Out Torque (Sürekli Rejimdeki Maksimum Yük Momenti)

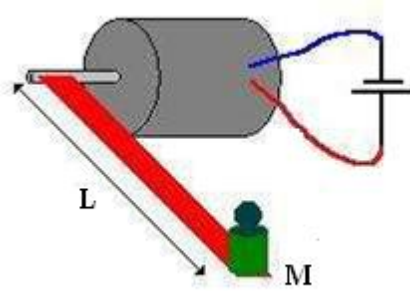
a) Detent Torque (Yüksüz ve Enerjisiz Tutma Torku)

Detent Torque, motor enerjisiz iken rotor ve stator dişlerindeki etkileşimden dolayı oluşan tork demektir. Diğer bir ifadeyle sargılarda besleme gerilimi yokken, step motor shaftını döndürmek için gerekli olan maksimum tork miktarı demektir. Bu parametre step motor tipine göre değişir.

b) Holding Torque (Yüksüz ve Enerjili Tutma Torku)

Holding Torque, “tutma torku” ya da “statik tork” olarak da bilinir. Sargılardan sadece birisinden nominal değerde akım akıtılıyorken milden alınan tork demektir. Diğer bir ifadeyle enerjili halde motor duruyorken üretilen maksimum tork miktarıdır. Tutma torku bir step motorun en temel moment karakteristiğidir ve pratik olarak şu şekilde ölçülebilir.

Motor miline şekilde görüldüğü gibi ağırlıksız bir çubuk bağlanır ve çubuğun yatayla sıfır derece açı yapması sağlanır. Motor sargısından nominal değerde akım akıtılır. Şekildeki M ağırlığı çubuğun en ucuna oturtulur ve değişik ağırlıktaki kütlelerle denenerek hangi ağırlıktan sonra motor mili sapma yapıyor tespit edilir.



Şekil 3.3. Tutma torkunun ölçülmesi

Çubuğun boyu L ve Kütlenin ağırlığı M olması durumunda;

$$\text{Tutma Torku} = L \times M \times 9,81 \quad (\text{Yerçekimi ivmesi})$$

$$(N.m) = (m) \times (Kg) \times (N/Kg)$$

Örneğin Enerjili motorda, 10cm’lik çubuk ucuna 250 gr’lık ağırlık konduğunda mil aşağı ya da yukarıya kaymıyorsa oluşan tork $T = 0,1 \times 0,25 \times 9.81 = 0.245 \text{ Nm}$ dir.

Sonucun amerikan sistemindeki karşılığı:

$$1 \text{ N.m} = 141,6 \text{ ozf inç} \text{ ise } T = 34,7 \text{ ozf inç (onz forse inç) olur.}$$

c) Pull in Torque (Kalkıştaki Maksimum Yük Momenti)

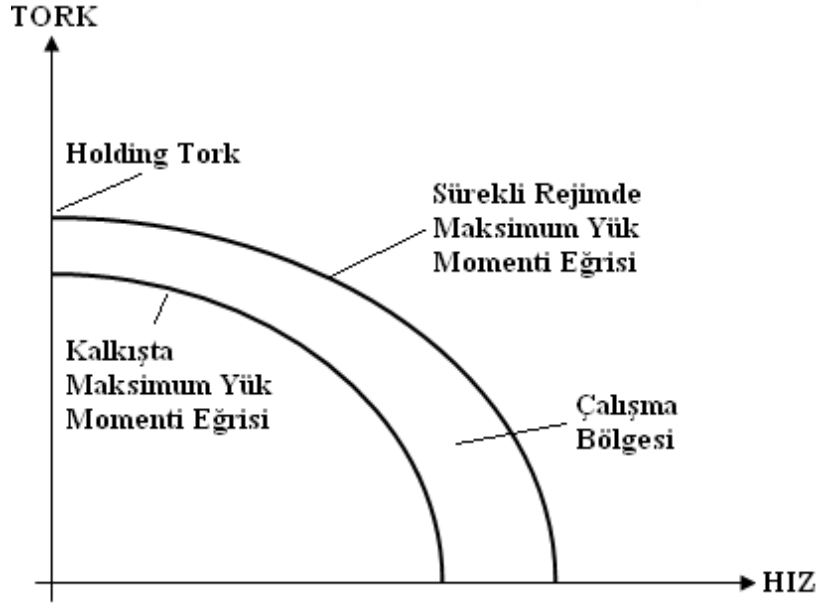
Özellikle açık döngülü sistemlerde duran bir sistemi istenen pozisyona getirebilmek için motora uygulanan uyartım darbelerinin motor tarafından hiç kaçırılmadan takip edilmesini sağlamak çok önemlidir. Fakat uygulanan uyartım sinyallerin sıklığı, motorun miline bağlı yükü sıfır hızından itibaren kaldırıp hızlandırmasına izin vermeyebilir. Bu yüzden step motorlar için, kalkışta maksimum yük momenti eğrileri tanımlanır.

d) Pull Out Torque (Sürekli Rejimdeki Maksimum Yük Momenti)

Bu parametre de motor hızına bağlı olarak değişeceğinden sürekli rejimde maksimum yük momenti eğrisinden bahsedilir.

3.6. Tork – Hız Grafikleri

Sürekli rejimde maksimum yük momenti/ hız eğrisi herhangi bir sabit dönüş hızında, rotor hareketinin giriş darbe dizisiyle olan senkronizasyonunu bozmadan ve rotorun durmasına neden olmadan sürekli halde motor miline uygulanabilecek maksimum yük momentini verir. Bu moment aynı zamanda, söz konusu hızda motorda meydana gelecek maksimum moment anlamına da gelmektedir. Klasik motorlarda bu eğriye karşılık gelebilecek bir karakteristik yoktur. Maksimum yük momenti eğrisi çalışma noktalarını göstermediği gibi bir transfer fonksiyonu eğrisi de değildir. Sadece, çalışma bölgesini sınırlar. Bu eğrinin sınırladığı bölge içinde herhangi bir noktada motor giriş darbe dizilerini kaybetmeden ve durma tehlikesi olmadan ilgili hız ve yük momenti ile çalışır. Sınırların dışına çıkıldığında bu durum değişebilir.



Şekil 3.4. Step motorun Tork-Hız grafiği

3.7. Etiket Voltajının Anlamı

Etikette belirtilen voltaj rotor hareketsizken tutma torkunun oluşturulması için gerekli voltaj değeridir. Bu voltaj değeri etiket akımına bölünürse ilgilenilen fazın sıcak sargı direnci bulunmuş olur. Etiket akımının üstüne çıkılmaması gerekir.

3.8. Step Motor Çeşitleri

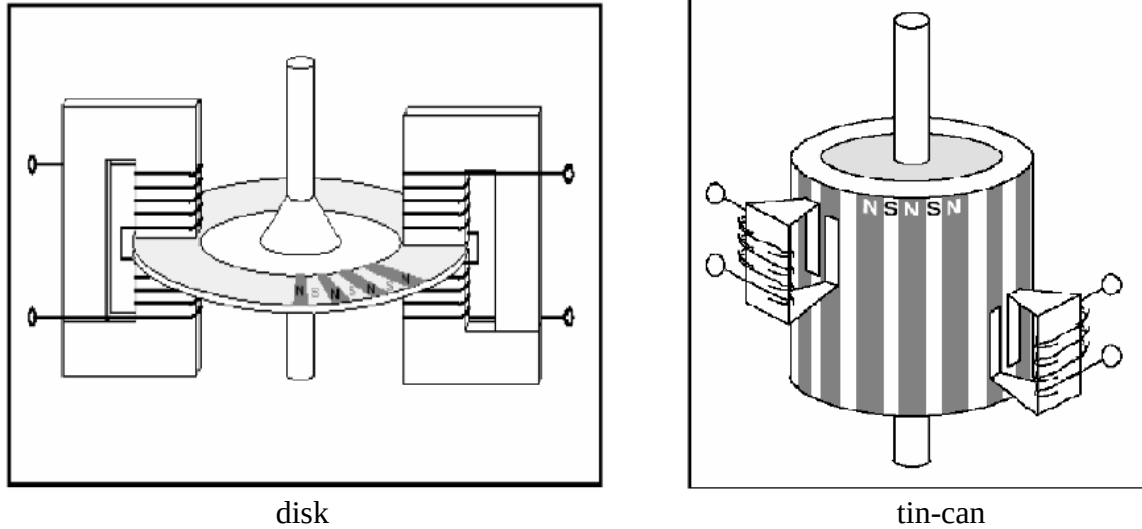
Step motorlar da piyasada kullanılan diğer elektrik motorlarında olduğu gibi makinanın yapısına ve çalışmasına göre sınıflandırılmaktadır. Step motorlar için ilk üretimlerinden bugüne kadar çok değişik şekillerde tasarımlar yapılmıştır. Bu motorların milinden etkili bir moment elde edebilmek için hem rotor hem de stator sargıları yüksek miktarda magnetik akı taşıyabilecek şekilde olmalıdır. Bu nedenle de olabildiğince çok sayıda demir diş ile çevrili olmaları gerekmektedir. Şu anda hem bahsedilen özelliklere sahip hem de ticari bakımdan kullanılabilir nitelikteki step motorların en önemlileri Sabit Mıknatıslı, Değişken Relüktanslı ve Hibrid step motorlardır. Temelde bunlar aynı türden cihazlardır, ama farklı yapım yöntemlerinden kaynaklanan farklı karakteristikleri belli bir uygulama için step motor seçilirken önem kazanır. Diğer tür step motorlar, bu üç tip step motorların varyasyonları olarak Hidrolik Step Motorları ve Lineer Step Motorlarıdır. Step motor seçiminde birçok kistas mevcuttur. En iyi seçimi yapabilmek için

ekonomik olmasının yanında kapsamlı mekanik yapı, yükün durumu ve elektronik sürücü devre ihtiyaçlarının göz önüne alınması gerekir. En basit seçim motorun tork ihtiyacı bakımından verimliliği esas alınarak yapılır [29].

Step motorların en belirgin özelliği, girişine uygulanan uyarma darbelerinin, “adım” olarak tam tanımlanmış rotor konumlarına dönüştürmesidir. Rotorun hassas konumlama yapması, hareketli ve sabit parçalar üzerindeki demir dişlerin magnetik olarak karşılıklı gelmesi, dizilmesi ile mümkündür.

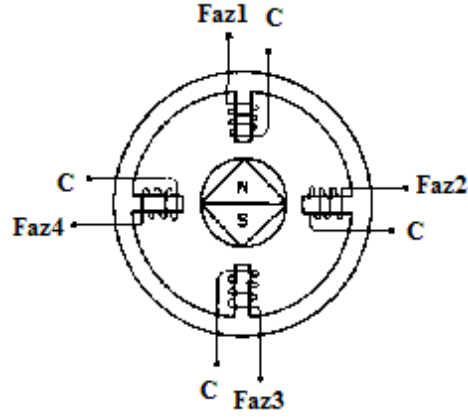
3.8.1. Sabit Mıknatıslı(Permanent Magnet, PM) Step Motorlar

Sabit mıknatıslı step motorlardaki rotor, adından da anlaşılacağı gibi sabit mıknatıstan oluşur. Bu tip motorların rotorlarında diş bulunmaz. Aşağıdaki şekiller(Şekil 3.5)de de görüldüğü gibi iki farklı yapıda (“disk” ya da “tin-can” yapısı) rotor yapıları mevcuttur. Stator yapıları, değişken relüktanslı step motorların stator yapılarıyla aynıdır.



Şekil 3.5. PM step motorlar

Basit olarak 4-fazlı sabit mıknatıslı bir step motor örneği yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. İki kutuplu sabit mıknatıslı rotor, oyuklu 4(dört) kutuplu stator içinde döner. Aşağıdaki şekilde C ile adlandırılan terminal, her bir fazın birer uçlarının birleştirilerek güç kaynağının pozitif ucuna bağlandığı ortak uçtur. Eğer fazlar Faz1, Faz2, Faz3, Faz4 sırasıyla uyartılırsa; rotor saat ibresi yönünde (CW) hareket edecektir. Bu olaylar sırasıyla tekrarlanırsa sabit mıknatıs yani rotor, bir daire içinde düzgün şekilde dönme hareketine devam edecektir [27].



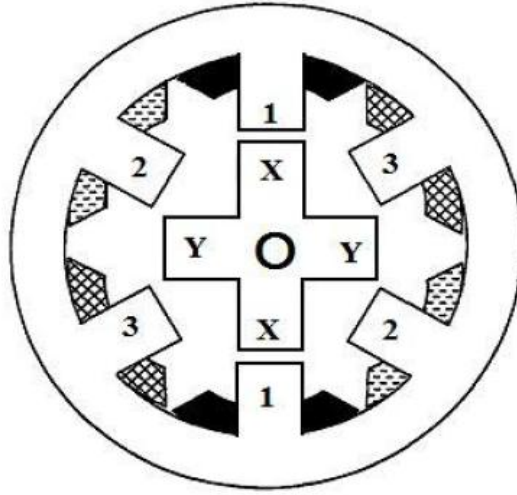
Şekil 3.6. PM step motor kesit görünüşü

Bu motorda, adım açısının 90° olduğu açıkça görülmektedir. Küçük boyutlu sabit mıknatıslı rotorda çok sayıda kutup oluşturmak zor olduğundan bu tip motorlarda adım genişliği $30-90$ derece arasındadır. Bu tür motorların momenti diğerlerine göre oldukça düşüktür. PM step motorları rezonansa eğilimli olmaları ve maliyetlerinin yüksekliğinden dolayı kullanım alanları sınırlıdır. Bu motorlar oldukça düşük hareket süresi gerektiren kontrol sistemlerinde kullanılırlar [28, 31, 32].

3.8.2. Değişken Relüktanslı(Variable Reluctance, VR) Step Motorlar

Değişken relüktanslı step motorlar, sabit mıknatıslı step motorlar da olduğu gibi bir kaç kutbu olan statora sahiptirler. Ayrıca rotorları da dişli yapıdadır. Bu motorları sabit mıknatıslı step motorlardan ayıran en önemli fark rotorlarında sabit mıknatısın olmamasıdır. Aşağıdaki şekilde(Şekil 3.7) üç-fazlı değişken relüktanslı step motorun kesit görünüşü verilmiştir. Bu tür motorlarda rotor ve stator dişlerinin sayısı aynı değildir. Şekildeki motorda rotor 4, stator 6 dişe sahiptir. Bir faz uyarıldığında asıl askıyı sadece iki rotor dişi taşır. Bu arada diğer rotor diş çifti ise uyarılmamış stator dişlerinin tam ortasındadır. Eğer uyarılan fazlarda değişiklik yapılırsa, yeni uyarılan stator fazıyla karşı karşıya gelecek olan rotor dişleri bu dişler olacaktır.

Sargı1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Sargı2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Sargı3	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0



Şekil 3.7. Değişken relüktanslı step motorunun kesit görünüşü

Değişken relüktanslı motorun stator ve rotor dişleri arasındaki hava aralığı, küçük çaplı rotordan mümkün olduğunca büyük tork üretebilmek ve konumlamada yüksek doğruluk elde edebilmek için mümkün mertebe küçük tutulmalıdır. Hava aralığı diğerinden biraz daha büyük olan iki step motora aynı değerde manyetik kuvvet uygulandığında, küçük hava aralığı yüksek torku üreten manyetik akıyı verecektir ve ayrıca rotora dışarıdan bir kuvvet uygulandığında küçük aralığın denge pozisyonundan uzaklaşmasının da az olacağı açıktır. Modern motorlarda bu aralık 30 ila 100 μm 'dir. Bu tip motorlarda rotor, manyetize olmamalı hafif ve küçük boyutlu yapılmalıdır. Rotor ölçülerinin küçük yapılması eylemsizlik momentinin de küçük olmasını sağlar. Böylece uygulanan gerilimin meydana getireceği moment sebebiyle rotor çok çabuk hareketlenir. Değişken relüktanslı step motorların başlama, durma ve adımları, sabit mıknatıslı step motorlardan daha hızlıdır.

3.8.3. Hibrid Step Motorlar

Hibrid step motorların rotorunda sabit mıknatıs bulunur. Bu motorların hibrid olarak isimlendirilmesinin sebebi, motorun hem değişken relüktanslı ve hem de sabit mıknatıslı motorların çalışma prensiplerini taşımasıdır.

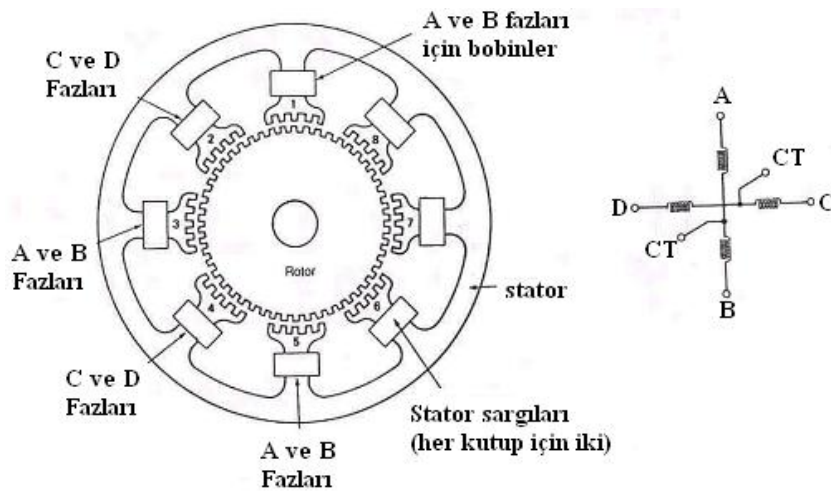
Rotorun her bir ucunda, tipik olarak üzerinde elli diş bulunan dişli türü göbekler vardır. Göbekler amaçlı olarak ayarsız yapılır, böylece mıknatısın kuzey ucundaki dişler, güney ucundakiyle 180° faz dışı kalır. Şekil 3.8' deki şekil, rotor yapısını net olarak göstermektedir.

Hibrid step motorlarında tipik olarak 8 stator kutbu bulunur. Her kutupta bulunan diş sayısı iki ila altı arasındadır. Ayrıca rotorun istenen konuma gelmesini sağlamak üzere mıknatıs akısının ilgili kutuplar üzerinden akısını desteklemek veya engellemek amacıyla stator kutuplarına sargılar da ilave edilmiştir.



Resim 3.2. Hibrid step motoru

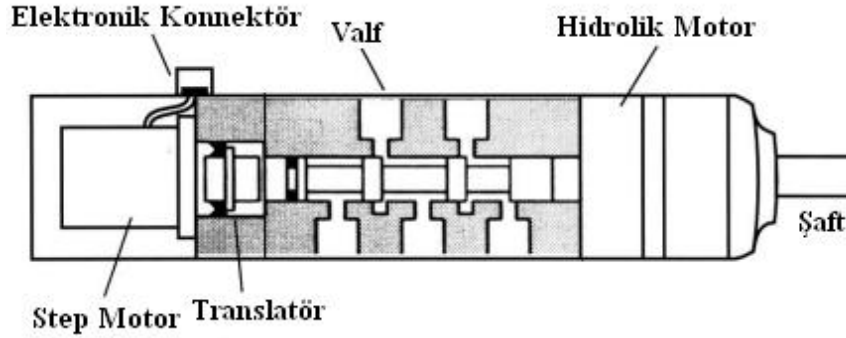
Hibrid step motorlarında iki farklı sargı kullanılır. Her bir sargı (faz), sekiz stator kutbundan dördünü dolaşır. A ve B sargıları 1, 3, 5, 7 kutupları üzerinde ise, C ve D sargıları 3, 4, 6, 8 kutuplarındadır. Her faza ait yakın kutuplar birbirleriyle zıt yönde sarılmışlardır. Öncekilerde olduğu gibi, hibrid adımli bir motorun rotoru da, stator tahrik akımlarının uygun bir şekilde sıralanmasıyla adım adım hareket ettirilir. Bu tip motorların rotoru sabit mıknatıslı olduğundan, her zaman için bir tutma veya kalıntı torku vardır. Motor, düşük hızla ivmelendiği taktirde saniyede 30.000 adıma kadar hızlarda çalışabilir. Tüm step motorları içinde hibrid tip, her türlü doğrusal ve açısal konumlama sisteminde en yaygın kullanılan tiptir.



Şekil 3.8. Hibrid step motorunun kesit görünüşü

3.8.4. Hidrolik Step Motorlar

Bir hidrolik motora ait servo valf'inin basınç girişi yolunu transistörlerle kontrol eden step motorlarına hidrolik step motorları denir. Kısaca hidrolik motorun basınçlı yağ yolunu denetlemek suretiyle şaftın hareketini ve yönünü tayin eden motorlardır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Hidrolik step motor

3.8.5. Lineer Step Motorlar

Mekanik hareketi dairesel bir hareket olmayıp yatay eksen üzerinde hareket eden motorlara lineer motor denir (Resim 3.3). Lineer motorlar x-y düzleminde herhangi bir vektör yönünde hareket edebilirler.



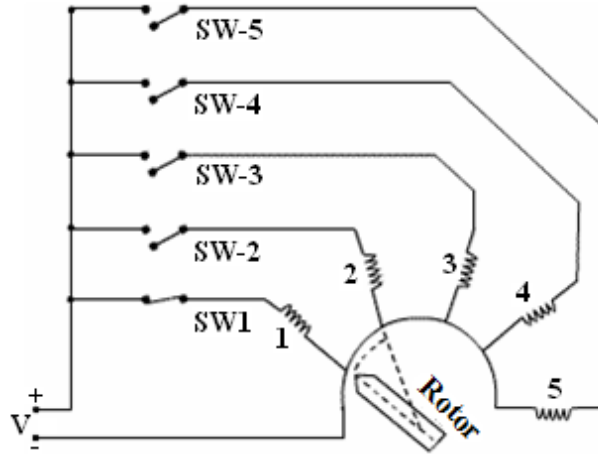
Resim 3.3. Lineer step motor

3.9. Step Motor Çalışma Prensipleri

Step motorlar bir dizi kısa elektrik akımıyla hareket ederler. Stator (hareketsiz kısım) birbirine dik manyetik alan üreten iki ayrı bobinden oluşur. Bu bobinlere sırayla elektrik akımı verilerek statorun içerisinde döndürme etkisine sahip bir manyetik alan oluşması sağlanır. Statorun içindeki rotor (hareketli kısım) bobinler tarafından sırayla oluşturulan manyetik alanla polarize olarak döner. Her bir elektrik akım vurgusu (pulse) rotorun belli bir açı kadar (bir adım) dönmesine neden olur. Eğer güç sadece bir bobine

verilirse manyetik alanın etkisiyle rotor sabitlenecektir, bu da motorun durdurulmasında kullanılır.

Aşağıdaki şekilde (Şekil 3.10) bir step motorun temel prensip şeması verilmiştir.



Şekil 3.10. Step motorun prensip şeması

Step motor bir daire içinde elektromagnetik alanların dönüşü ile ifade edilebilir. 1 nolu anahtar kapandığında (SW-1) rotor kendiliğinden 1. elektromanyetik alan ile aynı hizaya gelecektir. Bundan sonra 1 nolu anahtar açılıp 2 nolu anahtar kapatılırsa sabit mıknatis 2. elektromagnetik alanın karşısına gelecektir. Bu olaylar sırayla tekrarlanırsa rotor bir daire içinde düzgün şekilde döner. Bu şekilde verilen elektrik akım vurgularının frekansı motorun dönme hızını belirler. Hızlı ivmelenme sonucunda step motorda kayma meydana gelebilir bunun önlenmesi için ivmelenme sırasında vurgu sıklığı ayarlanmalıdır.

3.10. Step Motor Sürücü Devreleri

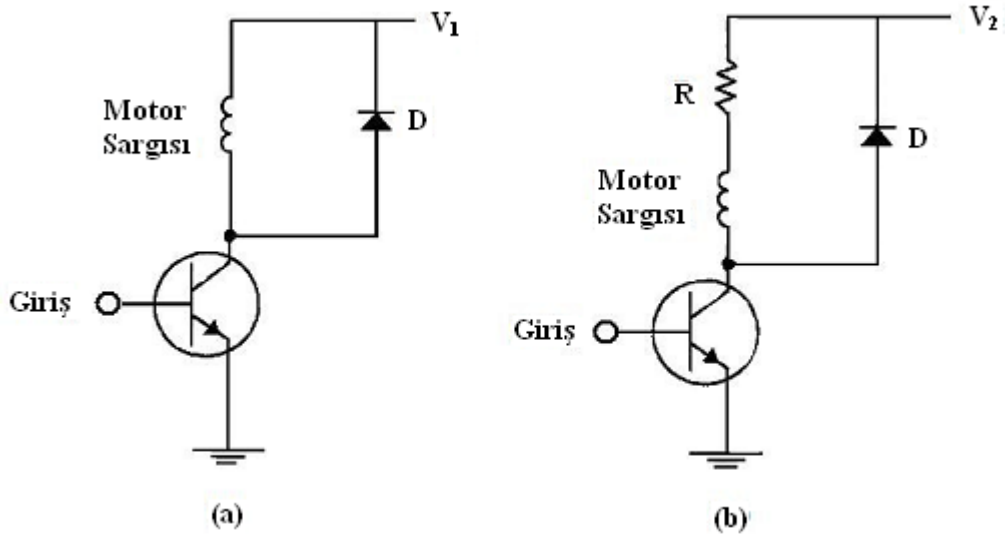
Step motorlarının sürülebilmesi için 2 temel noktaya dikkat etmek gerekmektedir. Bunlardan birincisi motorun bağlanacağı sürücü devresinin olmasıdır. İkincisi ise bu sürücü devresi yardımıyla motorun doğru sargılarına gerekli tetiklemeleri gönderebilmektir [30].

Temelde bir step motorunun hareketi, bir adım konumundan diğerine, bir stator faz sargısından diğerine DC güç kaynağının anahtarlanması ile yapılır. Stator sargıların beslemek amacıyla kullanılan değişik birçok sürme devreleri mevcuttur. Bu sürme devreleri,

- Tek kutuplu (Unipolar) sürücü devreler
- İki kutuplu (Bipolar) sürücü devreler
- İki seviyeli (Bilevel) sürücü devreler
- Kırıyıcı sürücü devreleri olarak 4 grupta toplanır [31].

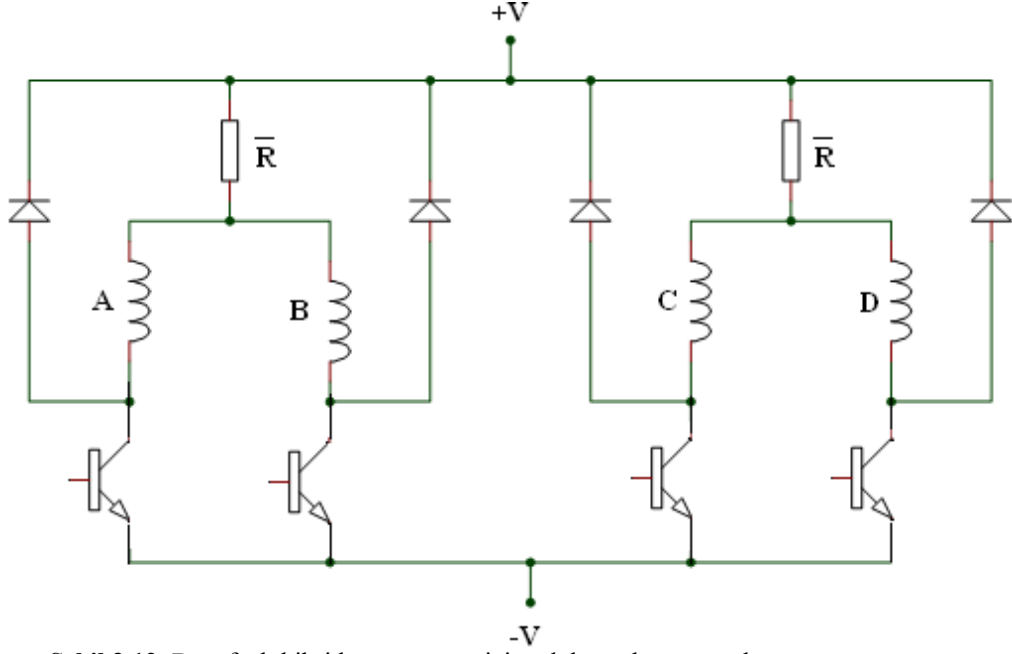
3.10.1. Tek Kutuplu Sürücü Devreler

Stator sargılarını sürmenin en basit ve en ucuz yolu Şekil 3.11 (a)' da gösterildiği gibi tek bir sürücü transistor kullanmaktır. Transistor iletime girdiği zaman, kaynak gerilimi V_1 , nominal sargı akımını üretecektir. Diyot, transistor kesime geçtiği zaman step motorunun sargısından dolayı meydana gelen ters yönlü akımların, transistöre zarar vermesini engeller [31].



Şekil 3.11. Tek stator sargısı için tek kutuplu sürme devreleri.

Yüksek hızlarda motor momentini arttırmanın en iyi ve yaygın yolu, her sargıya seri bir direnç bağlayıp kaynak gerilimini arttırmak yolu ile akımın nominal değere ulaşmasını sağlamaktır. Sekil 3.11 (b)'de bu durum gösterilmektedir. Stator sargısına seri direnç eklemekten ibaret olan bu teknik, Sekil 3.12'de verilen standart tek kutuplu sürücü devrelerinde kullanılır. A ve B veya C ve D fazları hiçbir zaman aynı anda anahtarlanmadığından, her faz için ayrı direnç elemanları kullanarak maliyeti arttırıp, verimi azaltacağından her faz çifti için tek bir direnç kullanılması daha anlamlı olacaktır [31].

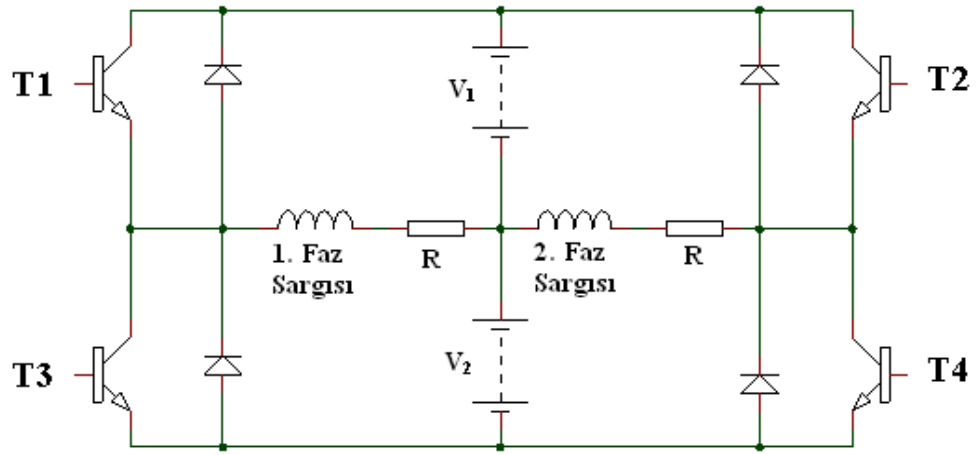


Şekil 3.12. Dört fazlı hibrid step motoru için tek kutuplu sürücü devre

3.10.2. İki Kutuplu Sürücü Devreler

İki kutuplu sürücü devreler hibrid step motorlarında veya sürekli mıknatıslı step motorlarında kullanılmaya oldukça uygun sürücü devre türleri olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [31].

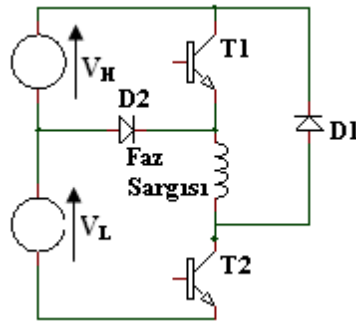
Bu tarz bir devre Şekil 3.13' de verilmiştir. Birinci faz sargısının enerjilenmesi incelenirse T1 transistörü ilettime girdiğinde V1 kaynak geriliminin oluşturduğu sargı akımı birinci faz sargısı üzerinden soldan sağa doğru geçer. T3 ilettime girdiğinde yine birinci faz sargısı üzerinden akım akacaktır fakat kaynak gerilimi V2 'dir. Sargıdan geçen akımın yönü ise sağdan sola doğru olacaktır. Aynı olay ikinci faz sargısı içinde geçerlidir. Böylece dört transistor kullanmak yerine iki transistor kullanarak bir sargı üzerinden geçen akımın yönü değiştirilmiş olur [31].



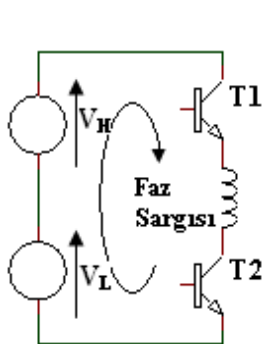
Şekil 3.13. İki kutuplu step motoru için iki kutuplu sürücü devre.

3.10.3. İki Gerilim Seviyeli Sürücü Devreleri

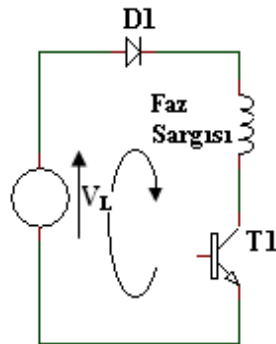
İki seviyeli sürme yönteminde iki besleme gerilimi vardır. Büyük gerilim (V_H) transistörler iletimde ya da kesimde iken kullanılır. Daha küçük gerilim (V_L) ise sürekli uyarımda akımın, akış değerinde kalmasını sağlar [31].



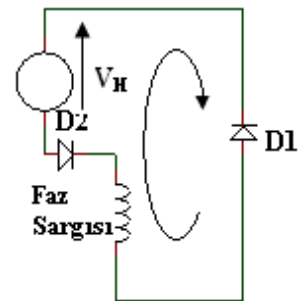
(a) Sürme devresi



(b) Transistörler iletimde



(c) Sürekli uyarım



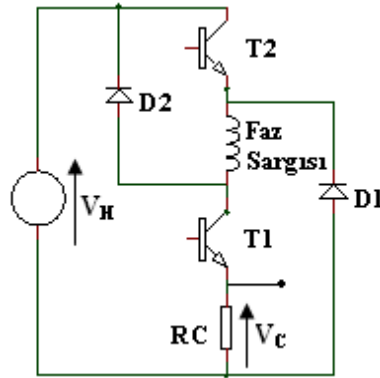
(d) Transistörler kesimde

Şekil 3.14. İki gerilim seviyeli sürücü devreleri

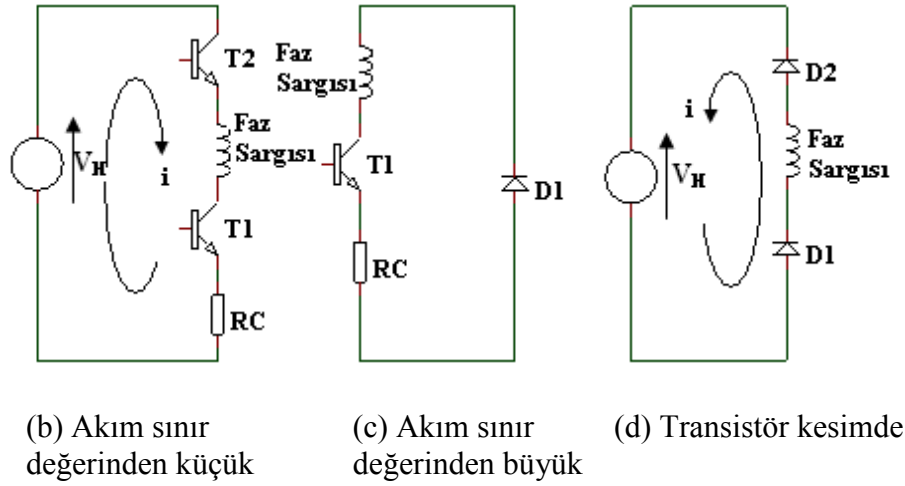
Şekil 3.14 (a)' da verilen devrede iki transistör de anahtarlandığında sargı uyarılır ve uygulanan gerilim iki besleme geriliminin toplamıdır yani $V_H + V_L$ 'dir. Bu devrede, akımı sınırlamak için seri direnç kullanılmamıştır. Bu yüzden akım, faz sargısının akımı için sınırlanmış değere kadar artmaya devam eder. Kısa süre sonra T_2 transistörü kesime geçer ve sargı akımı V_L besleme gerilimi üzerinden, V_H besleme gerilimiyle ters kutuplanmış D_2 diyotu ve T_1 transistörü üzerinden akar. Step motorunun faz sargısının akım değeri V_L gerilimi tarafından sağlanır. Bu akımın değeri, V_L/R kadar olur. T_1 transistörünün iletim aralığında faz sargısı uyarıtımı sağlandıktan sonra, T_1 transistörü kesime girer ve akım sola doğru D_1 ve D_2 yolu üzerinden akmaya baslar. Besleme gerilimi V_H büyük olduğu için bu yol üzerinde akım hızla azalır [31].

3.10.4. Kıyıcı(Chopper) Sürücü Devreler

Kıyıcı tip sürücü devrelerinde akımın dolaşımı Şekil 3.15' de verilmiştir. T_2 transistörünün baz devresi küçük R_C direncinden oluşan V_C gerilimiyle kontrol edilir. Faz sargısına uyarıtım işareti verildiğinde T_1 transistörü anahtarlanır. Faz akımının başlangıç değeri sıfır olduğu için R_C üzerinde gerilim düşümü yoktur ve T_2 transistörü de anahtarlanır. Böylece besleme gerilimi direk faz sargısına uygulanmış olur [31].



(a) Kıyıcı devre

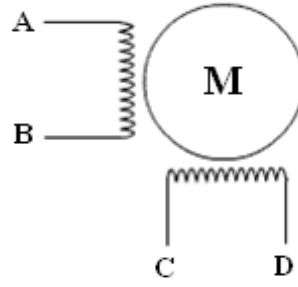


Şekil 3.15. Kıyıcı sürücü devreler

Faz akımı, belirlenmiş değerine ulaşıncaya kadar hızla artar. Bunun doğal sonucu olarak kontrol gerilimi $R_C I + e$ olur ve bu değer T_2 transistörünü kesime götürür. Bu sırada faz sargısına hiçbir gerilim uygulanmamıştır ve akım, R_C ve D_1 diyotunun oluşturduğu yoldan hızla ters yönde akmaya başlar. Kontrol gerilimi $R_C I - e$ değerine düştüğü zaman T_2 transistörü tekrar iletme geçer. Toplam besleme gerilimi sargıya uygulanır ve akım belirlenmiş değer üstüne doğru hızla yükselir. Bu çevrim uyarım zamanına ulaşıncaya kadar devam eder. On-off kapalı döngü kontrolüyle sargı akımı belirlenmiş değer etrafında sürekli şekilde kalır. Uyarım aralığının sonunda transistörlerin her ikisi de kesime gider ve akım serbest olarak D_1 ve D_2 diyotları üzerinden akar, hızla sıfıra doğru düşer. Transistörler kesimdeyken enerjinin büyük bölümü sargı indüktansında depolanır ve bu enerji beslemeye dönüşerek sistem için yüksek verim sağlanmış olur [31].

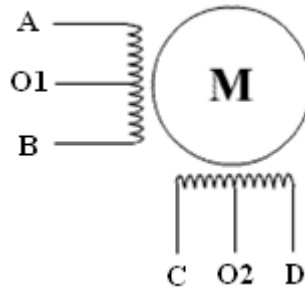
3.11. Step Motorlarda Uçların Bulunması

Step motorlarda uçları ya kataloguna bakarak ya da basit metotlarla bulabiliriz. Örneğin elimizde 4 ucu olan bir step motor olduğunu farz edelim. Bir ölçü aleti ile uçlar arasında direnç ölçümü yaparsak ohmmetreden sadece A - B arasında ya da C - D arasında bir direnç değeri okuyabiliriz. A - C, A - D ya da B - C, B - D uçlarının birbirleri ile bağlantıları olmadığı için ohmmetrede hiç bir değer okuyamayız (ohmmetre sonsuz direnç gösterir). Bu yol vasıtasıyla hangi uçların birbiri ile bağlantılı olduğunu yani motor bobinlerinin karşılıklı uçlarını belirleyebiliriz. (Bipolar Sargı Tipi)



Şekil 3.16(a). Bipolar sargı tipi

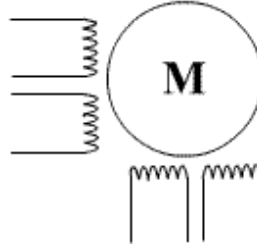
Eğer elimizdeki motorun 6 ucu varsa, bu kez yine bir ölçü aleti yardımıyla uçlar arasında direnç ölçümü yaparak hangi üç ucun birbiri ile bağlantılı olduğunu buluruz. Şekilde O1 ve O2 ortak uçlardır. Dolayısıyla A – B arasında ölçülen direnç A - O1 ya da B- O1 arasında ölçülen direncin 2 katıdır. Aynı Şekilde C – D arasında ölçülen direnç C – O2 ya da D – O2 arasında ölçülen direncin 2 katıdır. (Unipolar Sargı Tipi)



Şekil 3.16(b). Unipolar sargı tipi

NOT: Bazı motorlarda Unipolar sargıda iki bobinin ortak ucu dışarıya tek kablo ile çıkarılabilir.

Bu durumda step motorun 5 ucu mevcuttur. Bazı unipolar step motorların sargılarından ayrı ayrı uçlar çıkarılabilir. Bu durumda da step motorun 8 ucu mevcuttur. Aşağıdaki şekilde 8 uçlu bir step motorun bağlantı uçları görülmektedir. Yapılması gereken yine bir ölçü aleti yardımıyla hangi uçların birbiri ile bağlantılı olduğunu belirlemektir.



Şekil 3.17. 8 uçlu step motor

3.12. Step Motorlarının Uyarıtımı

3.12.1. Tek Faz Uyarıtım (1 Fazlı Tam Adımlı Sürüş)

Motor sargılarının sadece birinin uyarıldığı uyarıtım cinsine tek-faz uyarıtımı adı verilir. Aşağıdaki tabloda 4-fazlı step motoru için tek-faz uyarıtım sırasındaki fazların durumu görülmektedir. Bu uyarıtım metodunda rotor her bir uyarıtım sinyali için tam adımlık bir hareket yapmaktadır. Uyarıtım dönüş yönüne bağlı olarak sıra ile yapılır.

Tablo 3.1. 4 Fazlı step motorunun tek faz uyarıtım

Step	Bobin4	Bobin3	Bobin2	Bobin1	
a1	on	off	off	off	
a2	off	on	off	off	
a3	off	off	on	off	
a4	off	off	off	on	

3.12.2. İki Faz Uyartım (2 Fazlı Tam Adımlı Sürüş)

Motor sargılarının ikisinin sıra ile aynı anda uyartıldığı uyartım cinsine iki-faz uyartımı adı verilir. Aşağıdaki tabloda 4-fazlı step motoru için iki-faz uyartım sırasındaki fazların durumu görülmektedir. İki faz uyartımda rotorun geçici durum tepkisi tek-faz uyartımlıya göre daha hızlıdır. Bununla beraber devrenin harcadığı güç iki katına çıkmaktadır [32]. Uygulamada bu uyartım türü kullanılmıştır.

Tablo 3.2. 4 fazlı step motoru için 2 faz uyartım

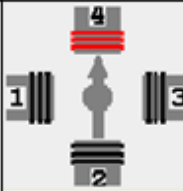
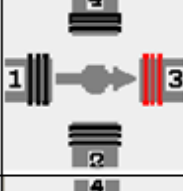
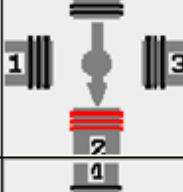
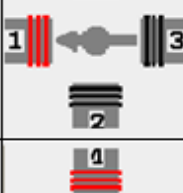
Step	Bobin4	Bobin3	Bobin2	Bobin1	
b1	on	on	off	off	
b2	off	on	on	off	
b3	off	off	on	on	
b4	on	off	off	on	

3.12.3. Karma Uyartım (2 Fazlı Yarım Adımlı Sürüş)

Bu uyartım yönteminde tek-faz uyartımı ile iki-faz uyartımı ard arda uygulanır. Burada rotor her bir uyartım sinyali için yarım adımlık bir hareket yapmaktadır. Aşağıdaki tabloda fazların uyartım sırası görülmektedir. Bu uyartım metodunda adım açısı yarıya

düştüğünden adım sayısı iki katına çıkmaktadır. Uygulamada bu uyartım türü kullanılmıştır.

Tablo 3.3. 4 fazlı step motoru için karma uyartım

Step	Bobin4	Bobin3	Bobin2	Bobin1	
a1	on	off	off	off	
b1	on	on	off	off	
a2	off	on	off	off	
b2	off	on	on	off	
a3	off	off	on	off	
b3	off	off	on	on	
a4	off	off	off	on	
b4	on	off	off	on	

3.13. Step Motorların Denetimi

3.13.1. Açık Döngü Denetim

Şekilde (Şekil 3.18) açık döngü denetim için blok diyagramı görülmektedir. Sayısal kontrol sinyalleri denetleyici tarafından üretilir ve sürücü devre tarafından yükseltilip step motorunun sargılarına uygulanır. Eğer denetleyici olarak mikroişlemci veya bilgisayar kullanılırsa bu elemanların getirdiği esnekliklerden dolayı aynı denetleyici ile farklı step motorları kontrol edilebilir. Kontrol edilecek step motorları 3, 4 veya daha farklı faz sayısına sahip olabilir. Ayrıca kullanılacak uyarım metodu için tek-fazlı, iki-fazlı veya yarım adım uyarımlarından herhangi biri seçilebilir. Bu uyarım metotlarından hangisinin kullanılacağı daha önce de açıklandığı gibi motorun kullanılacağı sisteme bağlıdır.



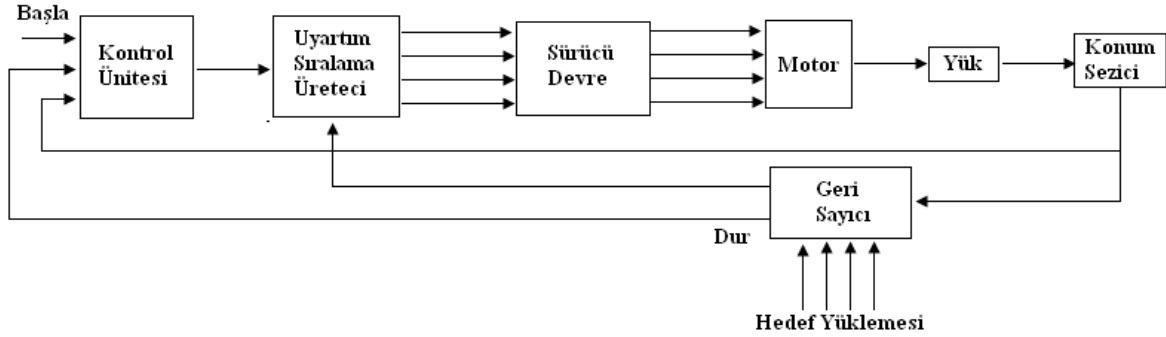
Şekil 3.18. Açık döngü denetim

Denetleyici tasarlanırken motorun cinsi ve yükün durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sırada meydana gelen sınırlamalar kalıcı veya geçici durum sınırlamaları olabilir. Açık döngülü denetimde motorun konumu bilinmediğinden dolayı motorun gönderilen bütün adım komutlarını yerine getirdiği varsayılmaktadır. Eğer uyarım hızı çok yüksek ise, motor adım komutlarından bir kısmını yerine getiremeyebilir. Bu durumda kalıcı bir hata meydana gelir. Bu tür hataların meydana gelmemesi için motor yükünün en büyük olduğu durum göz önüne alınarak hata yapılmayan en yüksek hız belirlenip, bu hızın üzerindeki hızlarda uyarım yapılmamalıdır.

3.13.2. Kapalı Döngü Denetim

Kapalı döngü sistemlerde ani rotor konumu sezilerek denetim birimine iletilir. Her adım komutu için bir önceki komutun gerçekleştirildiği adım bilgisi alınarak uygulanır. Bu

nedenle motor ile denetleyici arasında herhangi bir adım kaybı olmaz. Kapalı döngü denetime bir örnek aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 3.18).



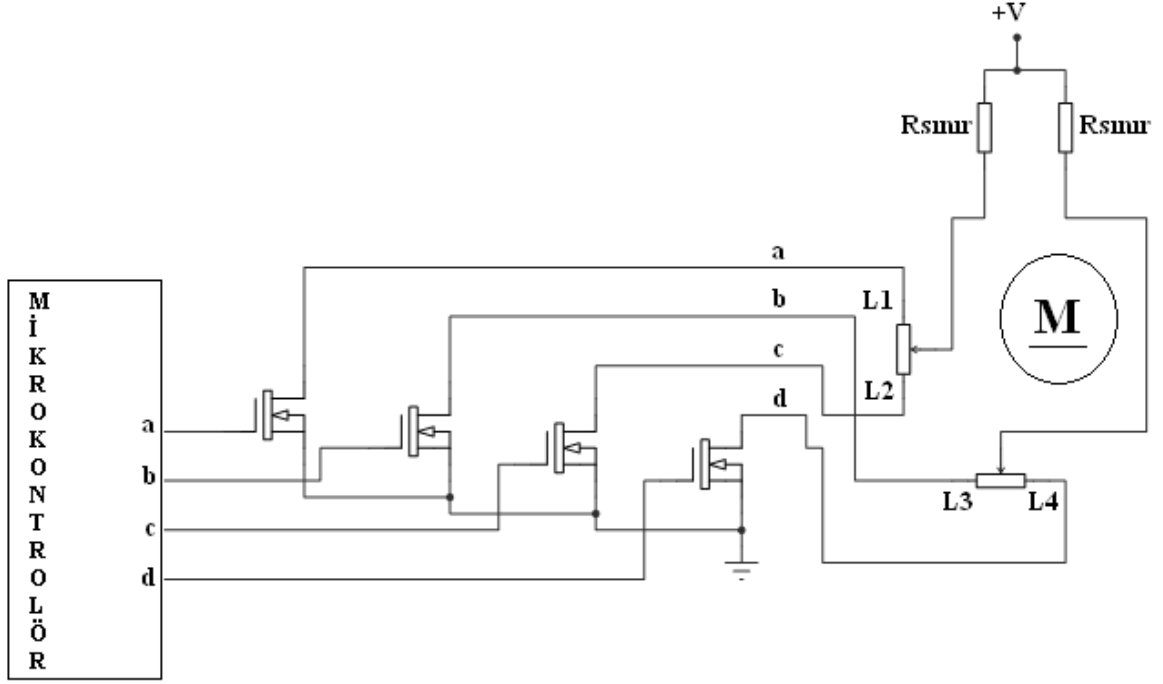
Şekil 3.19. Kapalı döngü denetim

İlk olarak geri sayıcıya hedef konum yüklenir. Daha sonra başla komutu verilerek adım komutlarının sıralayıcıya uygulanması sağlanır. Adım komutlarına bağlı olarak motor adım hareketi yapmaya başlar. İlk adım tamamlanınca, konum sezici geri sayıcıyı ve denetim birimlerini uyarır ve geri sayıcı değeri bir azalır. Eğer bu denetim açık döngülü yapılırsa, geri sayıcı adım komutlarının sayısını yine saklar fakat komutun uygulanıp uygulanmadığı bilinmez. Konum sezici, denetim birimine yeni adım komutu üretimi için sinyal gönderir. Ağır yükler için adım komutları arası sürenin daha büyük olması nedeniyle adım komutlarının ard arda gelmesi istenmez. Yüke göre hız ayarlaması yapılır ve motor hedef konuma gelene kadar bu olaylar tekrarlanır. Step motoru hedef konuma gelince denetim birimi dur komutu ile uyarılarak yeni adım komutu üretilmesi engellenir. Kapalı döngü sistemi, step motorunu yük durumunu da göz önüne alarak uyarım sürelerini ayarlar ve en uygun hız profilinde çalıştırır.

3.14. Mosfet Transistörlü Unipolar Motor Sürücü Devresi

Step motor sürücü elemanı olarak, MOSFET güç transistörleri kullanmak iyi bir seçimdir. Çünkü MOSFET' lerde BJT' lerde olduğu gibi ikinci bir kırılma noktası yoktur. Ayrıca anahtarlama hızları da yüksektir.

Şekilde görüldüğü gibi MOSFET' lerin giriş dirençleri yüksek olduğu için kontrol devresine doğrudan bağlanabilirler. MOSFET' lerin Drain ve Source bacakları arasında diyot olduğundan koruma amaçlı olarak dışarıdan diyot bağlanmasına gerek yoktur.



Şekil 3.20. MOSFET transistörlü sürücü devresi

3.15. PM Step Motora İlişkin Temel Denklemler

PM motor tarafından üretilen manyetik akının değişimi $n\Phi_M(Tm^2)$ olup A sarımındaki i_A akımı tarafından üretilen dönme momenti ise aşağıdaki gibi verilir.

$$\tau_A = -p n \Phi_M i_A \sin(p \theta) \quad (3.1)$$

Aynı şekilde B sarımındaki i_B akımı tarafından üretilen dönme momenti ise;

$$\tau_B = -p n \Phi_M i_B \sin(\theta - \lambda) \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilebilir.

M : ortak indüktans (H)

n : devir sayısı (dev/dak)

λ : diş yolu (rad)

A kutbunun merkezi θ 'nın orjini ve değişim bağıntısı $n\Phi_M$ yaklaşık olarak sinüsoidal boşluk yayılması tarafından aşağıdaki gibi gösterilir.

$$N \Phi = n \Phi_M \cos(p \theta) \quad (3.3)$$

A fazında indüklenen emk ise;

$$e_{gA} = -n \frac{d\Phi}{dt} = -n \frac{d\Phi}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = (n p \Phi_M \sin(p\theta)) \dot{\theta} \quad (3.4)$$

şeklindedir. Denklem 3.1' deki A fazının ürettiği moment değerini denklem 4 cinsinden yazacak olursak,

$$\tau_A = -e_{gA} i_A / \dot{\theta} \quad (3.5)$$

elde edilir.

Buradan rotor hareketinin denklemi;

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt} + p n \Phi_M i_A \sin(p\theta) + p n \Phi_M i_B \sin(p(\theta - \lambda)) = 0 \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Denklemde gösterilen $J(kg.m^2)$ atalet momenti ve $D((N.m.s)/rad)$ sürtünme sönümü katsayısını göstermekte olup D ikinci dereceden elektromanyetik etkiler için histerezis ve endüksiyon kayıplarından doğar.

Stator sargılarında oluşan gerilim denklemi;

$$V - r i_A - L \frac{di_A}{dt} - M \frac{di_B}{dt} + \frac{d}{dt} (n \Phi_M \cos(p\theta)) = 0 \quad (3.7)$$

$$V - r i_B - L \frac{di_B}{dt} - M \frac{di_A}{dt} + \frac{d}{dt} (n \Phi_M \cos(p(\theta - \lambda))) = 0 \quad (3.8)$$

Şeklinde ifade edilir.

r :stator devre direnci (ohm)

L : sargı indüktansı (H)

M : ortak indüktans (H)

Bu denklemlerde gösterilen L ve M , θ dan bağımsız olarak kabul edilir. Yukarıdaki denklemler A ve B fazları aynı anda uyarıldığı zaman kullanılır.

3.6, 3.7 ve 3.8 nolu denklemler doğrusal olmayan diferansiyel denklemler olup, bu denklemlerin doğrusallaştırılması gerekmektedir. Doğrusallaştırma yapmak için;

$$\theta = \lambda/2 + \delta\theta \quad (3.9)$$

$$i_A = I_o + \delta i_A \quad (3.10)$$

$$i_B = I_o + \delta i_B \quad (3.11)$$

ifadeleri kullanılır.

3.6 nolu denklemi doğrusallaştırırsak

$$J d^2(\delta \theta)/dt^2 + D d(\delta \theta)/dt + p n \Phi_M(I_o + \delta i_A) \{ \sin(p\lambda/2) + p(\cos(p\lambda/2))(\delta \theta) \} - \\ p n \Phi_M(I_o + \delta i_B) \{ \sin(p\lambda/2) + p(\cos(p\lambda/2))(\delta \theta) \} = 0 \quad (3.12)$$

Benzer şekilde denklem 3.7 ve 3.8 doğrusallaştırılabilir.

$$r(\delta i_A) + L d(\delta i_A)/dt + M d(\delta i_B)/dt - p \Phi_M n \sin(p\lambda/2) d(\delta \theta)/dt = 0 \quad (3.13)$$

$$r(\delta i_B) + L d(\delta i_B)/dt + M d(\delta i_A)/dt - p \Phi_M n \sin(p\lambda/2) d(\delta \theta)/dt = 0 \quad (3.14)$$

4. PIC MİKRODENETLEYİCİLER

Neredeyse her mikroişlemci (CPU) üreticisinin ürettiği bir kaç mikrodenetleyicisi bulunmaktadır. Bu denetleyicilerin mimarileri arasında çok küçük farklar olmasına rağmen aşağı yukarı aynı işleri yapabilmektedirler. Her firma ürettiği chip'e bir isim ve özelliklerini birbirinden ayırmak içinde parça numarası vermektedir. Örneğin Mikrochip ürettiklerine PIC adını, parça numarası olarak ta 12C508, 16C84, 16F84, 16F84A gibi kodlamalar verir. İntel ise ürettiği mikrodenetleyicilere MSC-51 ailesi adını vermektedir. Kod olarakta 8031AH, 8051AHP, 8052AH, 80C51FA gibi kodlar verir.

Bir uygulamaya başlamadan önce hangi firmanın ürünü kullanılacağına, daha sonrada hangi numaralı denetleyicinin kullanılacağına karar vermek gerekir. Bunun için mikrodenetleyiciyi gerektiren uygulamada hangi özelliklerin olması gerektiği önceden bilinmesi gerekmektedir. Aşağıda bu özellikler sıralanmıştır.

- Programlanabilir dijital paralel giriş/çıkış
- Programlanabilir analog giriş/çıkış
- Seri giriş/çıkış
- Motor veya servo kontrol için pals sinyali çıkışı
- Harici giriş vasıtası ile kesme
- Timer vasıtası ile kesme
- Harici bellek arabirimi
- Harici bus arabirimi (PC ISA gibi)
- Dahili bellek tipi seçenekleri (ROM,EPROM,PROM ve EEPROM)
- Dahili ram seçeneği
- Kayan nokta hesaplaması.

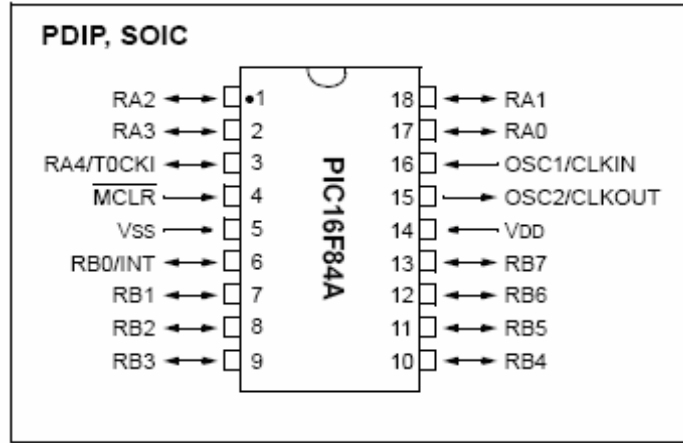
4.1. PIC16F84'ün Özellikleri

En popüler ve en yaygın olarak kullanılan PIC üyesi olan PIC 16F84A kontrolörü 18 bacaklı olup bacak bağlantıları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Bu pinlerden 13 tanesi I/O (giriş/çıkış) portudur. Bunların dışında V_{DD} , V_{SS} , MCLR ve osilatör girişleri bulunur. Sahip olduğu flash bellek sayesinde clock girişlerine uygulanan sinyal kesilse de registerleri içindeki veri saklandığından clock sinyali yeniden verildiği zaman program

kaldığı yerden çalışmaya devam eder. I/O portlarından girilen digital sinyalleri yüklenmiş olan programa göre işleyerek digital çıkışlar verir.



Resim 4.1 PIC16F84A



Şekil 4.1 PIC16F84A' nın bacak bağlantıları

PIC 16F84A mikro kontrolörün şu özellikler vardır;

- 1K Flash program bellek
- 68 byte RAM bellek
- 64 byte EEPROM bellek
- 14 bit genişliğinde komutlar
- Kesme (İnterrupt kaynağı)
- 13 giriş-çıkış portları
- 25 mA port çıkış akımı
- Bekçi Köpek devresi
- Uyku modu
- + 5V da 2 mA akım, 2V da 15 nA akım.

Tablo 4.1 PIC16F84A Mikrokontrolörünün bacak tanımlamaları

Bacak ismi	Bacak No	Tanım
RA0	17	PORT A bit 0
RA1	18	PORT A bit 1
RA2	1	PORT A bit 2
RA3	2	PORT A bit 3
RA4/TOCKI	3	PORT A bit 4, TMR0 zamanlayıcısı saat girişi
RB0/INT	6	PORT B bit 0, INT dış kesme bacağı
RB1	7	PORT B bit 1
RB2	8	PORT B bit 2
RB3	9	PORT B bit 3
RB4	10	PORT B bit 4
RB5	11	PORT B bit 5
RB6	12	PORT B bit 6
RB7	13	PORT B bit 7
V _{SS}	5	Toprak bacağı
V _{DD}	14	Pozitif kaynak bacağı
MCLR	4	Reset bacağı
OSC1	16	Osilatör giriş bacağı
OSC2	15	Osilatör giriş bacağı

PIC 16F84A mikrokontrolörü 10MHz kadar bir saat hızında çalışabilir. Bu hızda çalışınca komut saykılı 400 ns kadardır. RISC yapısına sahip olan bu mikro kontrolörün sadece 35 tane tek kelimelik komutu vardır. PIC 16F84A mikro kontrolörün 4 tane kesme (interrupt) kaynağı bulunur. Bunlar şu şekilde olabilirler;

- Dıştan RB0 / INT bacağı ile
- TMR0 zamanlayıcısının taşması ile
- PORTB 4 - 7 bacaklarında olan herhangi bir değişiklikten dolayı
- EEPROM yazma işleminin tamamlanması ile

Port Kontrolü:

PIC16F84A mikro kontrolöründe 5 tane PORTA ve 8 tane PORTB bacakları olmak üzere 13 tane giriş – çıkış vardır. PORTA bacakları RA0, RA1, RA2, RA3 ve RA4 olarak adlandırılır. RA0 – RA3 bacakları TTL giriş ve CMOS çıkış özelliği taşır. RA4 bacağına ise giriş olarak seçildiğinde Schmitt Trigger devresi vardır. RA4 çıkış olarak seçildiğinde bu bacak open-drain olup kullanıcı tarafından bir dirençle pozitif kaynağa bağlanmalıdır. PORTA bacaklarının giriş ve çıkış modlarını TRISA yazmacı kontrol eder. Bu yazmaç 8 bitlik olup hangi biti 0 yapılmışsa, aynı numaralı PORTA bacağı çıkış olur. Aynı şekilde TRISA yazmacının hangi biti 1 yapılmışsa, aynı numaralı PORTA bacağı giriş olur. RA4 bacağı aynı zamanda TMR0 saat girişi olarak da kullanılabilir.

PORTB bacakları RB0, RB1, RB2, RB3, RB4, RB5, RB6 ve RB7 olarak adlandırılır. PORTB bacaklarının giriş ve çıkış modlarını TRISB yazmacı kontrol eder. Bu yazmaç 8 bitlik olup hangi biti 0 yapılmışsa, aynı numaralı PORTB bacağı çıkış potu olur. Aynı şekilde, TRISB yazmacının hangi biti 1 yapılmışsa, aynı numaralı PORTB bacağı giriş portu olur.

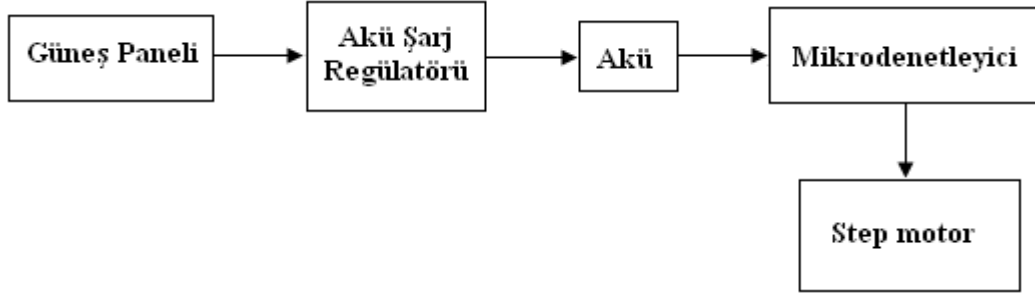
5. GÜNEŞ PANELİ İLE BESLENEN STEP MOTORUN PIC MİKRODENETLEYİCİ İLE KONTROLÜ

Bu bölüme kadar güneş enerjisi ile ilgili geniş bilgiler, step motor hakkında ayrıntılı bilgiler verilmeye çalışıldı. Bu bölümde ise günümüzün popüler enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi kullanılarak bir step motorun kontrol devresinin enerjisi sağlandı. Kurulacak olan sistemde 10 W'lık bir güneş paneli, güneş enerjisinin sistemimizin gereksinimini sağlayacak elektrik enerjisine dönüşümünde kullanıldı.

Güneş panelinden elde edilen elektrik enerjisinin voltaj değeri sürekli olarak güneş ışınımının miktarına ve geliş açısına bağlı olarak değişmektedir. Bu voltaj değerinin sistemimiz için gerekli olan gerilim değerine düşürülmesi ve regüle edilmesi için bir regülasyon devresine ihtiyaç duyuldu. Regülasyon işlemi için Da-Da konvertör kullanıldı. Regüle edilen voltaj değeri sisteme bağlı bulunan aküyü şarj etmeye yetebilecek değerde olmalıdır. Öyle ki güneş panelinden alınan yaklaşık 17-18V'luk voltaj değeri bağlı bulunan 6V'luk aküyü şarj edebilecek 7-8V'luk gerilim değerini verebilecek şekilde regüle edildi.

Step motoru sürme devresi tasarlanırken çeşitli anahtarlama elemanları kullanıldı. Sürme devresinin verimli ve sorunsuz çalışabilmesi için sürme devresinde kullanılan elemanların karakteristikleri ve teknik verileri çok iyi bilinmelidir. PIC16F84A'nın ve step motorun besleme gerilimi +5V'tur. Motorların dönüş yönünü belirlemek, dönüşü durdurmak ve uyarım türünü değiştirmek için girişe analog işaret üreten sinyaller gönderebilecek butonlar konuldu. Kullanılan butonlar sağa dönüş, sola dönüş, durdurma ve mode butonlarıdır. Yine motorun hangi yöne döndüğünün tesbiti veya daha kolay anlaşılabilmesi için çıkışa LED'ler bağlandı. Bağlanan LED'ler tam adım dönüşte biri sabit diğeri sinyal verecek şekilde ayarlandı. Yarım adım dönüşte ise tek LED sabit yanacak şekilde ayarlandı.

Tasarımın en önemli aşamalarından biri de mikrodnetleyicinin yazılım aşamasıdır. Yazılım yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli husus, kullanılan mikrodnetleyicinin donanımsal özelliklerinin çok iyi bilinmesidir. Bu özelliklerin bilinmesi yazılımdaki hataların en aza indirgenmesini sağlayacaktır. Yazılım MPLAB programında yapıldı. Yazılımın mikrodnetleyiciye yazdırılmasında ise LEAPER48 PIC programlayıcısı kullanıldı.



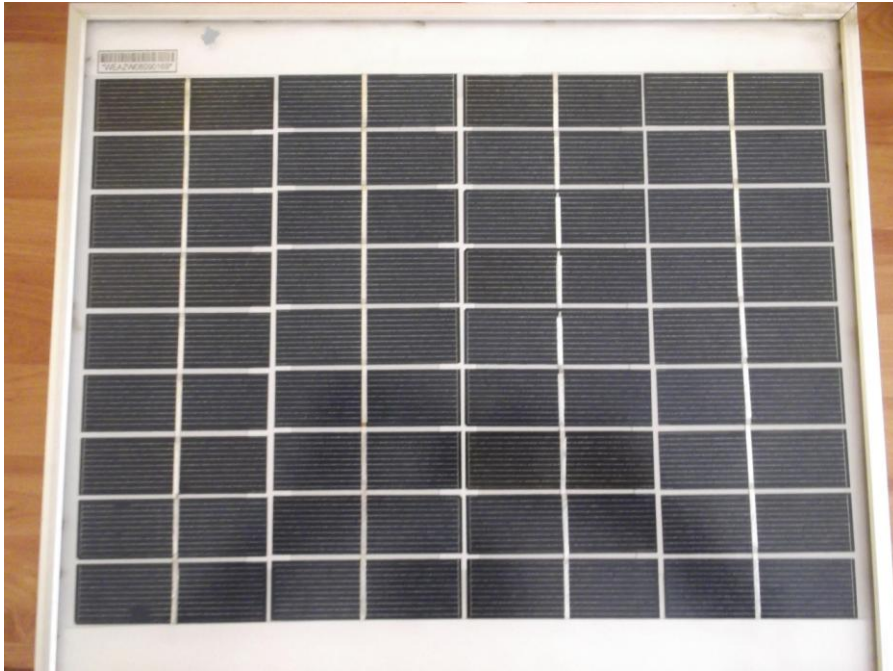
Şekil 5.1 Uygulama devresinin blok diyagramı

5.1. Güneş Paneli

Güneşten aldığı ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ekipmanlardır. Uygulama devremizde kullandığımız güneş panelimiz monokristal güneş paneli olup teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Teknik özellikleri;

- Panel monokristal(tek kristalli) yapıdadır.
- Panel açık devre voltajı 21V'tur.
- En yüksek güç tüketimindeki voltajı 17 V'tur
- En yüksek güç tüketimindeki akımı 0.59 A'dir.
- Panelden 15-18 V 10 W düzeyinde enerji alınabilmektedir.



Resim 5.1 10 W güneş paneli

5.2. Akü Şarj Regülatörü

Da gerilimi, tüm etkilere karşı kararlı(regüleli) hale getirebilmek için regülasyon işlemi önemlidir. Regülasyon işlemi regülatör devreleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Regülasyon işleminin amacı belli bir elektriksel büyüklüğü(gerilim veya akım) dış etkilere bağımsız olarak sabit tutabilmektir. Regüleli bir gerilim kaynağının çıkış gerilimi, çıkış akımı yükten bağımsız olmalıdır.

Regülatör devresinin yüke seri yada paralel olması regülatörün tipini belirler. Paralel gerilim regülatörleri boşa akım çekmeleri, çok güç harcamaları gibi nedenlerden dolayı pek tercih edilmezler. Regülasyon devrelerine, çıkış akımını istenilen seviyede sınırlamak amacı ile bir takım ilave düzenekler eklenebilir. Günümüzde Da-Da dönüştürücüler ve kontrolleri yaygın bir şekilde araştırılmaktadır [33].

Bir konvertör sürekli değiştirilebilir sarım oranlı bir AA transformatörün eşdeğer da devresi gibi de düşünülebilir. Transformatörün AA gerilimi arttırıp azaltabildiği gibi Da-Da konvertör de bir da kaynağın gerilim değerini arttırıp, azaltabilir [34].

Bu konvertörlerle ilgili çeşitli konfigürasyonlar yapılmıştır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı ise, gerilim azaltıcı(buck converter), gerilim arttırıcı(boos converter) ve gerilimi azaltıp arttıran(buck-bust converter) tipleridir [35,36]. Da-Da konvertörler gerilim seviyesini bir değerden başka bir değere getiren ve anahtarlama mantığı ile çalışan elektronik devrelerdir. Bu cihazın temel çalışma prensibi bir pasif filtrenin çıkış geriliminin kontrol edilmesi esasına dayanır [37]. Da-Da çeviricilerde, çıkış doğru akımı öyle denetlemelidir ki, giriş gerilimi ve çıkış yükü değişse bile, çıkış geriliminin ortalaması istenen değerde olmalıdır. Anahtarlmalı Da-Da dönüştürücülerde doğru akımı bir düzeyden başka bir düzeye ulaştırmak için bir yada daha fazla anahtar kullanılır. Verilen bir giriş gerilim değeri için bir Da-Da çeviricide çıkış gerilimi, anahtarların iletimde ve kesimde olduğu sürelerin denetlenmesiyle ayarlanır [38]. Anahtarların iletim kesim süreleri Darbe Genişlik Modülasyonu PWM ile ayarlanmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde bu üç konvertör türünün seçiminin ihtiyaca yönelik olarak yapıldığı tespit edilmiştir.

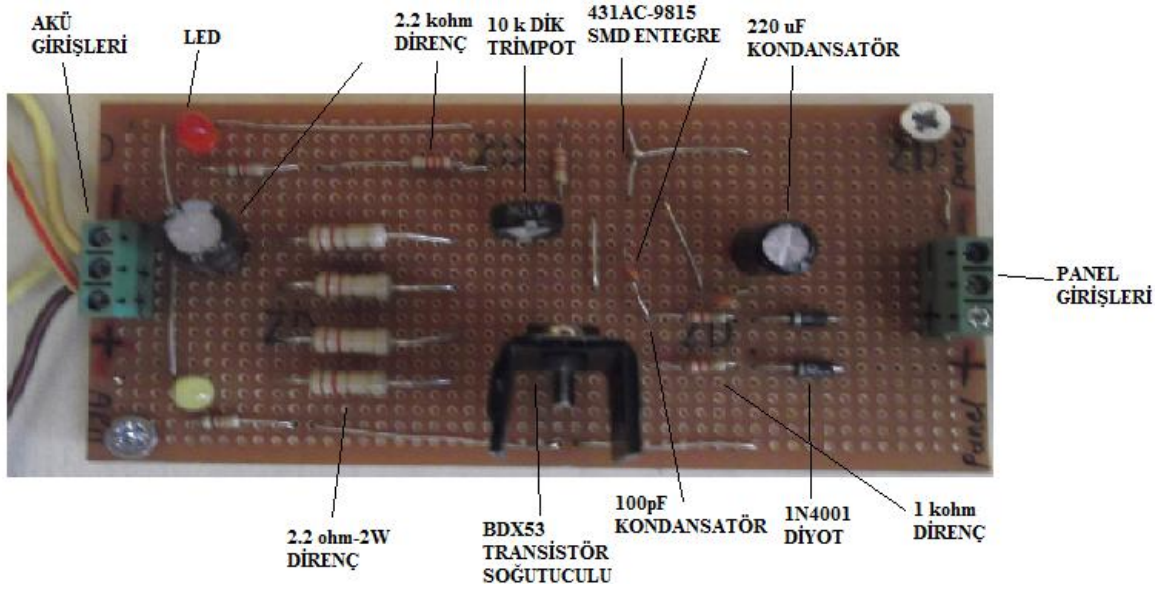
Uygulama devremizde Da-Da Buck konvertör kullanılarak gerilim regülasyonu yapıldı. Da-Da Buck konvertör da mevcut kaynak geriliminin düşürülerek kontrol edilmesinde kullanılır. Girişinden gelen gerilim değerini işlemciden aldığı PWM dalgalarıyla devreye kesip uygulayarak gerilim değerinin etkin değerini küçültür ve bu şekilde düşürülerek gerilim kontrolü yapılmış olur. En yaygın kullanıldığı yerler;

- a) Regüle edilmiş Da güç kaynakları
- b) Da motor hız kontrol devreleri

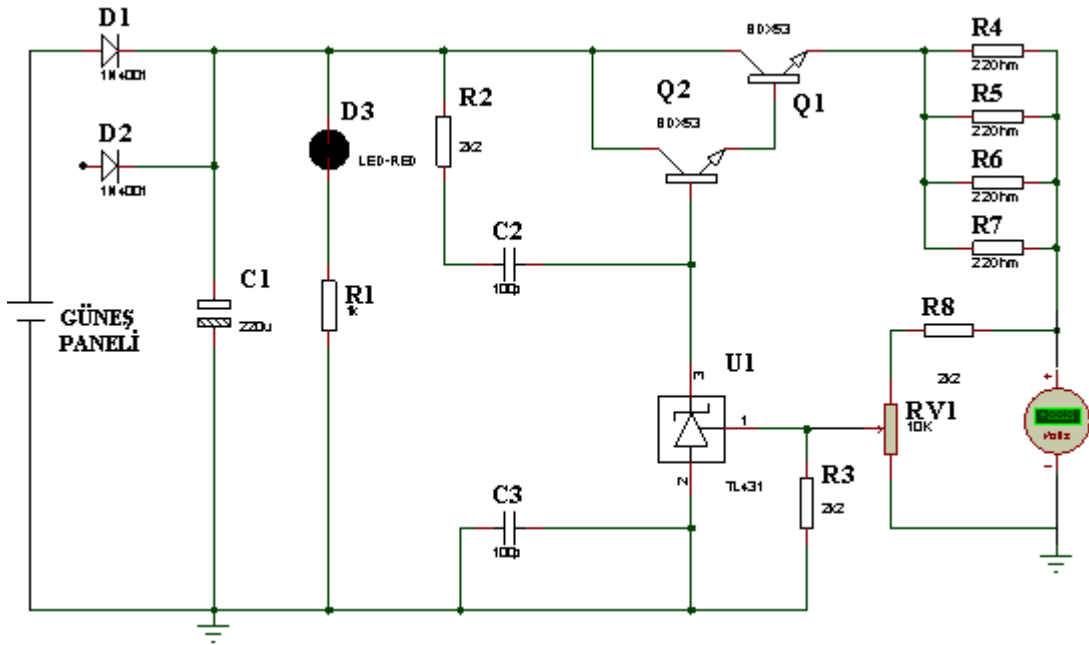
Aküyü deşarj olmaktan veya gereğinden fazla şarj olmasından korumak, enerji verimliliği ve sistem güvenliği yönünden önemlidir. Sistemin akü ile kurulmuş olması nedeniyle güneşli zamanlarda üretilen elektrik sürekli olarak aküyü şarj eder.

Güneş panelinden gelen gerilimi aküyü şarj edebilecek gerekli seviyeye düşürmek ve sabitlemek için entegreli bir voltaj regülatör devresi tasarlandı. Devremiz yeterli güneş ışınlamı altında bağlı olduğu 6V' luk kuru tip aküyü şarj edebilecek 7-8V'luk bir gerilim değeri sağladı. Devrede kullanılan elemanlar ektedir. Devreye panelden gelen gerilim değerinin yaklaşık %50'si bu devre ile regüle edilerek çıkışa verildi. Devrede kullanılan 9815 SMD entegresi regüle işlemini gerçekleştirmektedir. Giriş veya çıkışla toprak arasına bağlanan kondansatörler, Da gerilim düzeyinin korunmasına ve yüksek frekanslı gerilim değişimlerinin filtrelenmesine yardımcı olması için konuldu. Regülatörün çıkış akımını kuvvetlendirmek için iki adet transistör kullanıldı. Bu transistörler Q1 ve Q2 numaralı BDX 53 kodlu NPN yapılı güç transistörleridir. Bu transistörlerin maksimum kolektör-emiter gerilimi 45V, emiter baz gerilimi 5V, sürekli durumda maksimum kolektör akımı 8A, pik kolektör akımı 12A ve maksimum baz akımı 0.2'dir.

Devremiz üzerinde bulunan trimpot ile akım ayarı yapılabilir. Girişe voltaj uygulanıp, yük bağlanmadan trimpot ile istenilen şarj voltajı ayarlanabilir. Yine çıkışa bağlanan dirençler ile çıkış akımı kontrol edilebilir. Çıkış akımı arttırılmak istenirse 2.2 kohm değerindeki dirençlerin sayısı arttırılabilir. Giriş kısmında panele doğru tersyön akımını engellemek için diyot kullanılmıştır. Birden fazla paneli devreye almak mümkündür. İkinci bir panel kullanmak istiyorsak D2 diyotuna bağlayarak devreye alabiliriz. Devre plakete aktarılmadan önce simülasyonu PROTEUS 7 programında yapılarak çalışabilirliği test edildi. Akü şarj regülatörü devresi Resim 5.2' de verilmiştir.



Resim 5.2 Akü şarj regülatörü



Şekil 5.2 Proteus programında akü şarj regülatörü

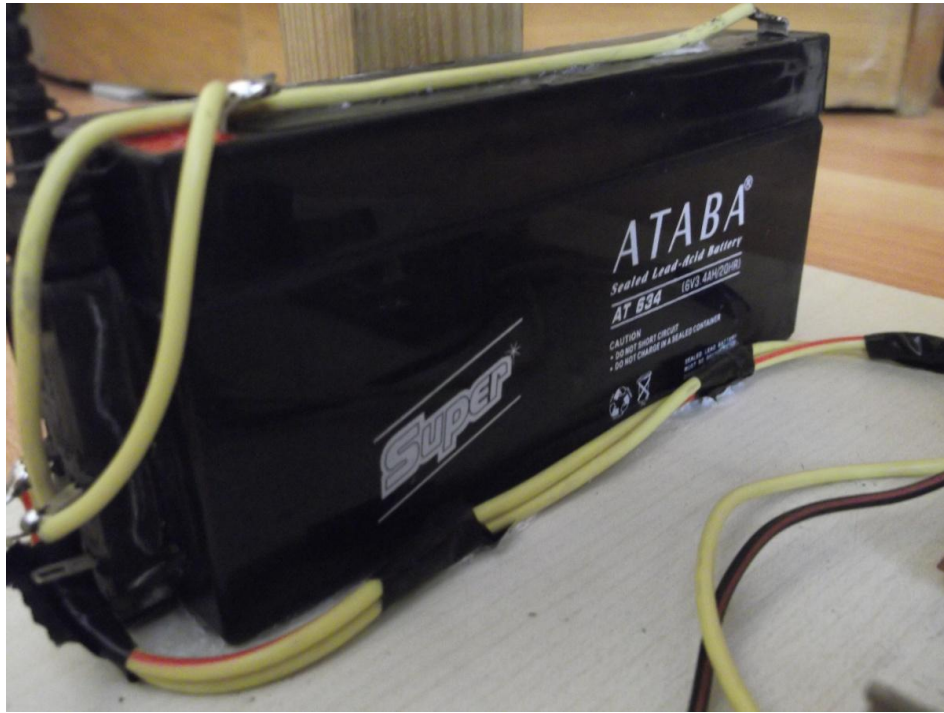
5.3. Akü

Fotovoltaik sistemlerde aküler, geceleri kullanım için veya gündüzleri modüller güç ihtiyaçlarını karşılayacak yeterli gücü üretmediği zamanlar için elektrik depolarlar. Akünün sistem içinde doğru işletilmesi kontrol sisteminin güvenilir çalışması için önemlidir. Akü hücrelerinin kapasiteleri amper saat cinsinden verilir. Bu, tam şarjlı bir aküden belirli bir deşarj oranı ve elektrolit sıcaklığı altında, belirli bir gerilime kadar çekilebilen elektrik miktarıdır.

Çalışmada kullanılan akünün özellikleri aşağıdaki gibidir.

Teknik özellikleri;

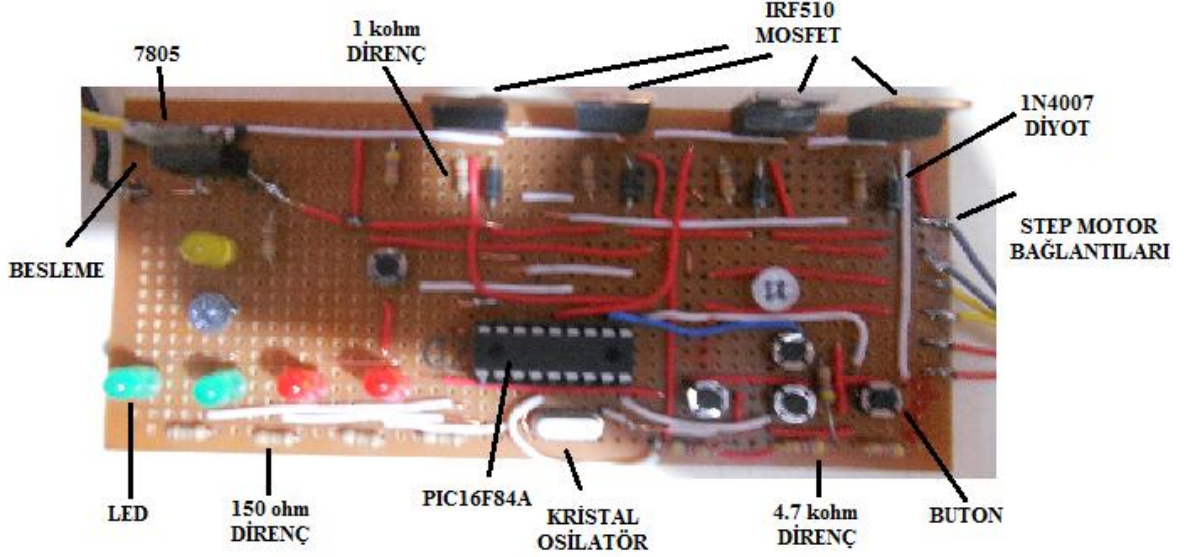
- Batarya güneş panelinden gelen enerji ile sürekli olarak dolacaktır.
- Batarya bakımsız kuru tip aküdür.
- Batarya 6.3 volt 4 AH/20 saat gücündedir.



Resim 5.3 6V kuru tip akü

5.4. Step Motor Kontrol Devresi

Step motor kontrol devresi Resim 5.4' te gösterilmiştir.



Resim 5.4. Step motor kontrol devresi

Step motor kontrol devresinin proteusta oluşturulmuş hali şekilde(Şekil 5.3) gösterilmiştir. Mikrodenetleyiciyi programlamak için MPLAB programında oluşturulan ASM kodları ektedir.

Uygulama devresi +5V ile çalışmaktadır. Devrenin kontrolü PIC16F84A Mikrokontrolör ile sağlandı. Mikrokontrolörün A portu giriş B portu ise çıkış olarak kullanıldı. B portundan gelen işaretler MOSFET üzerinden step motorun uçlarına uygulandı. Devrede motorun tam adım ve yarım adım sağa ve sola dönüşü göstermek için dört adet LED ikili gruplar halinde bağlandı. Motorun herhangi bir yöne hareketi ile ledlerden birisi sürekli ışık verirken, diğer durumda ledlerden birisi yanıp sönerken diğeri sabit ışık vererek motorun hangi yöne döndüğünü göstermektedir. A giriş portlarına SAĞ, SOL, DUR ve MODE olmak üzere 4 adet buton bağlandı.

A portuna bağlı butonlara basılmak suretiyle gelen işaretler Mikrokontrolörde işlenerek B portuna bağlı olan MOSFET ve LED' lere gerekli işaretlerin gönderilmesini sağlandı. A portuna bağlı butonlardan SAĞ butonu motoru sağa doğru döndürmek için SOL butonu motoru sola doğru döndürmek için DUR butonu motoru durdurmak için MODE butonu ise motorun iki fazlı tam adım uyarımıyla dönmesini veya iki fazlı yarım adım uyarımıyla dönmesini ayarlamak için kullanıldı.

SAG butonuna basıldığında A giriş portuna gelen işaret ile B çıkış portuna aşağıdaki tabloda verilen işaretler gönderildi. Bu işaretlerin ilk dört biti LED lerin kontrolü için son dört biti ise step motoru sağa dönüşünü sağlamak içindir. Motora gelen bu sinyaller ile motor sağa doğru tam adım uyarımla dönmeye başladı.

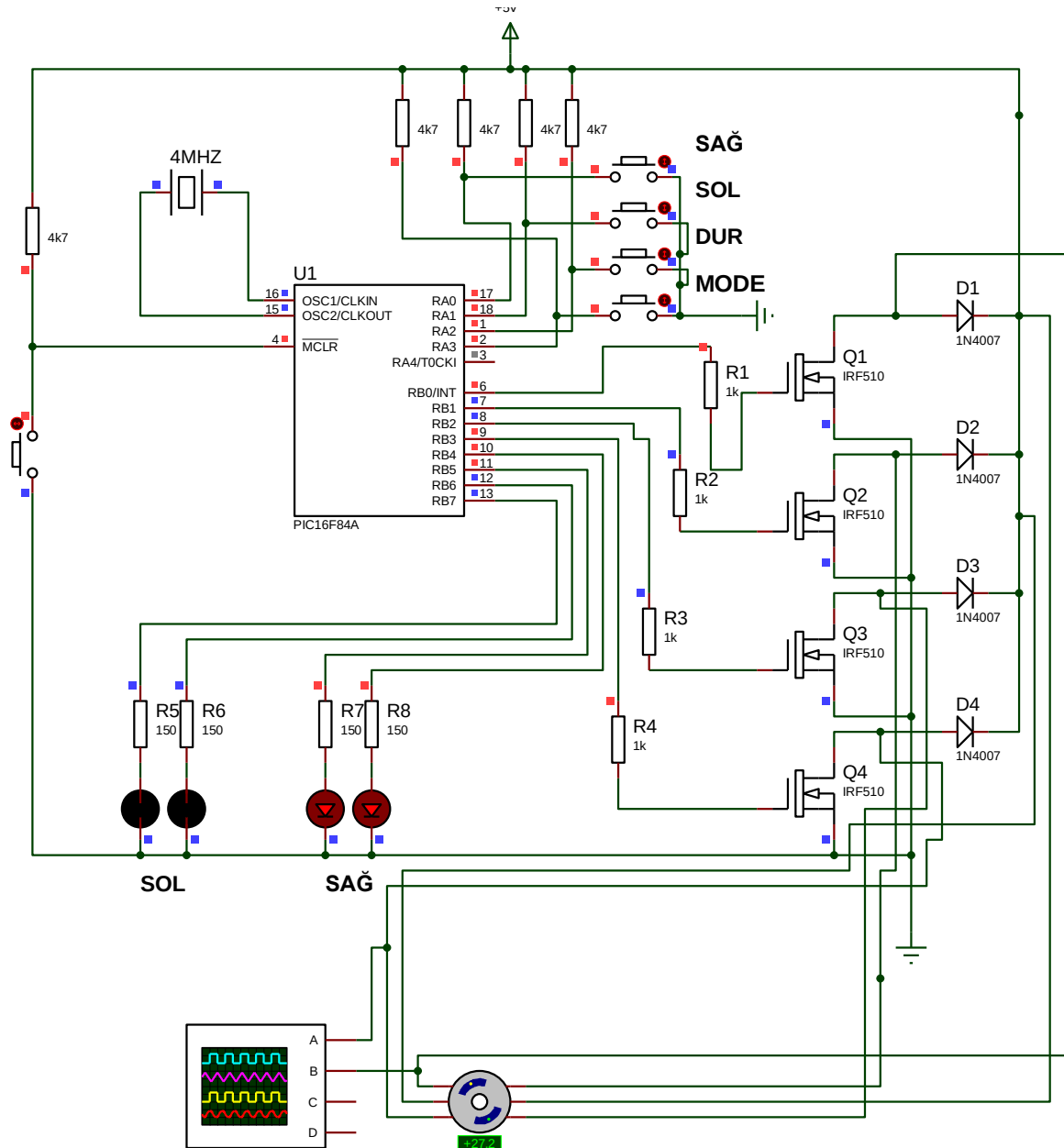
Tablo 5.1. Motorun sağa tam adım uyarımla dönmesi için gerekli işaretler

LED KONTROL				STEP MOTOR KONTROL (SAĞA TAM ADIM UYARTIM)			
0	0	1	1	0	0	1	1
0	0	1	0	0	1	1	0
0	0	1	0	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0	1

Step motor DUR butonuna basılıp durdurulduktan sonra MODE butonuna basıldığında ise A giriş portundan alınan işaret ile B çıkış portuna aşağıdaki tabloda verilen işaretler gönderildi. Gönderilen işaretlerin mikrodenetleyicide işlenmesiyle bu defa da step motor sağa yarım adım uyarım ile dönmeye başladı.

Tablo 5.2. Motorun sağa yarım adım uyarımla dönmesi için gerekli işaretler

LED KONTROL				STEP MOTOR KONTROL (SAĞA YARIM ADIM UYARTIM)			
0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	1
0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1	1	0
0	0	1	0	0	1	0	0
0	0	1	0	1	1	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	1



SOL butonuna basıldığında ise A giriş portundan gelen işaret ile B çıkış portuna aşağıdaki tabloda verilen işaretler geldi. Aynı şekilde işaretlerin ilk dört biti LED'lerin kontrolü için son dört biti ise step motorun sola dönüşünü sağlamak içindir. SOL butonuna basılması ile birlikte motor sola doğru tam adım uyarımı ile dönmeye başladı.

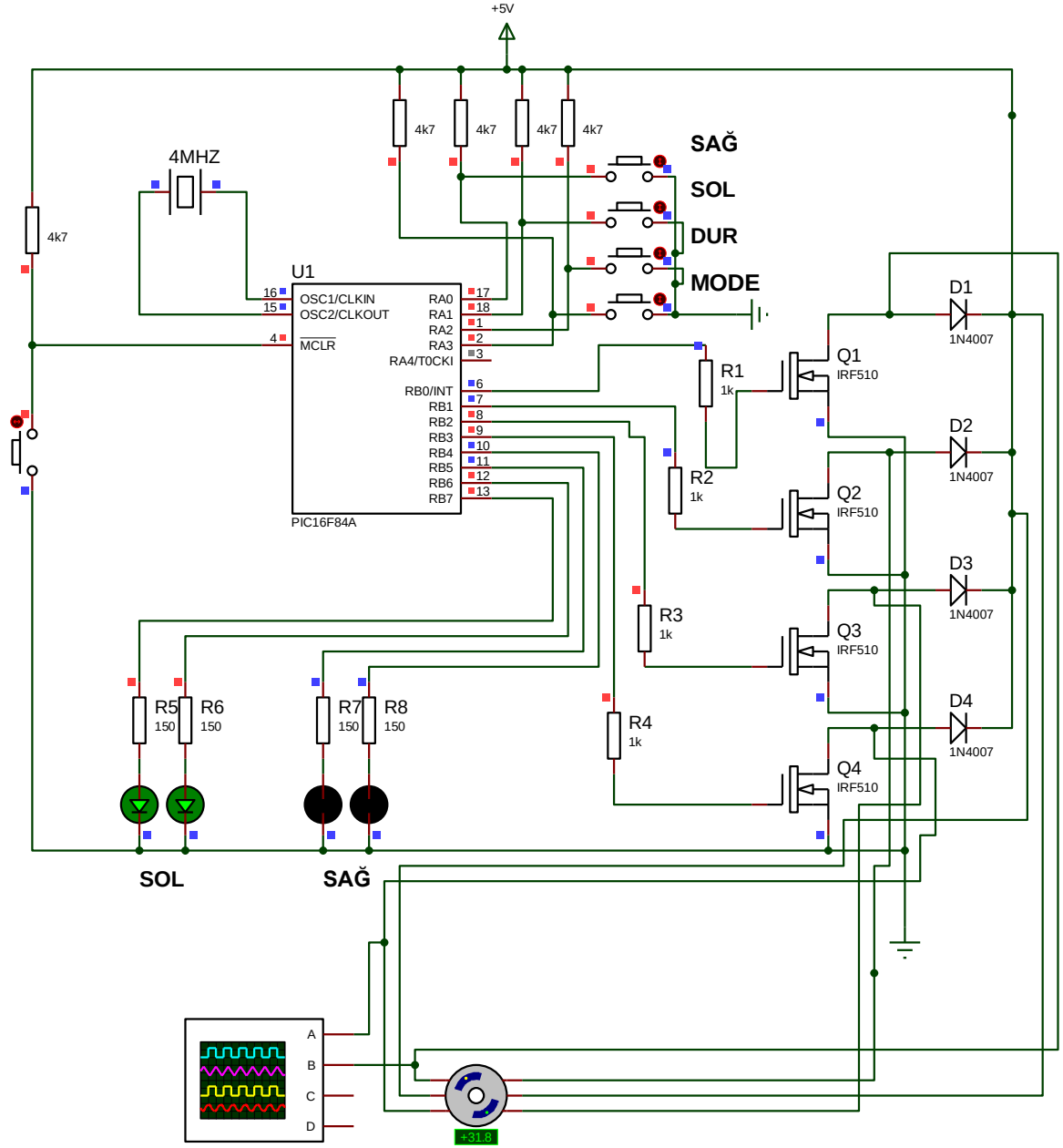
Tablo 5.3. Motorun sola tam adım uyarımla dönmesi için gerekli işaretler

LED KONTROL				STEP MOTOR KONTROL (SOLA TAM ADIM UYARTIM)			
1	1	0	0	0	1	1	0
0	1	0	0	0	0	1	1
0	1	0	0	1	0	0	1
1	1	0	0	1	1	0	0

Sağa dönüşte olduğu gibi step motor durdurulup MODE butonuna basılıp tekrar SOL butonuna basılırsa aşağıda tabloda verilen işaretler B çıkış portuna gönderildi. Motor artık iki fazlı yarım adım uyarımla dönmeye başladı.

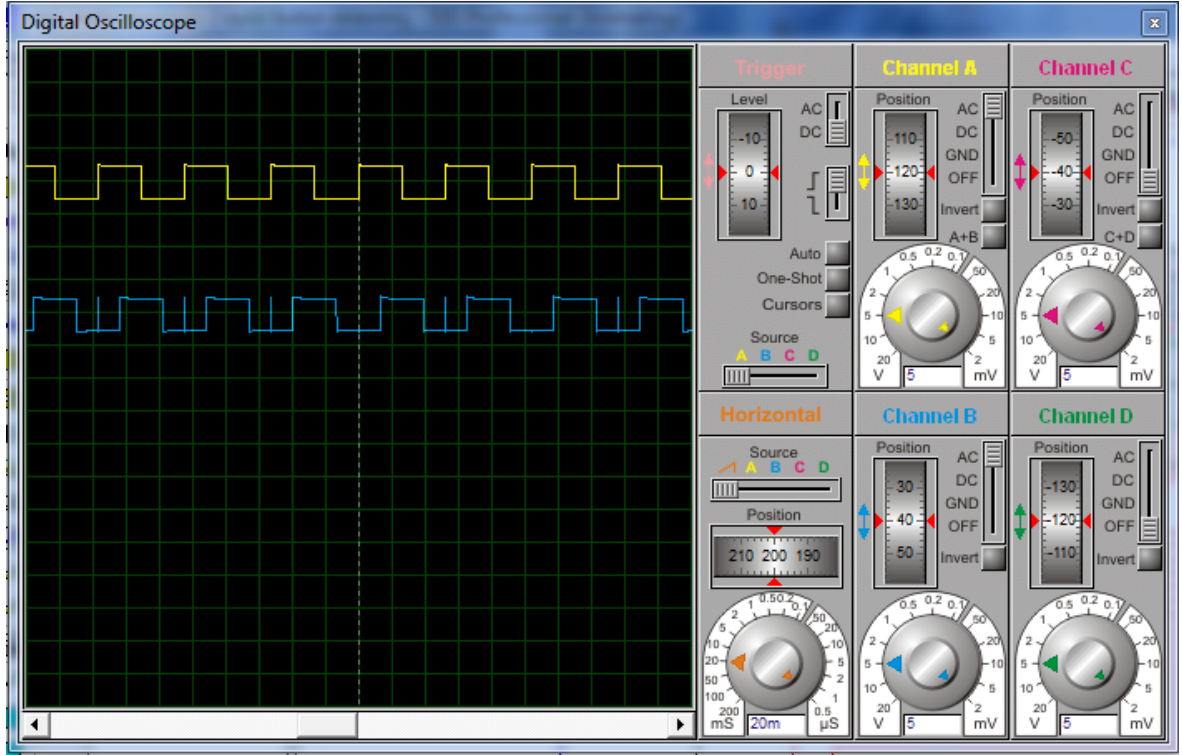
Tablo 5.4. Motorun sola yarım adım uyarımla dönmesi için gerekli işaretler

LED KONTROL				STEP MOTOR KONTROL (SAĞA YARIM ADIM UYARTIM)			
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	1
0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	1	0

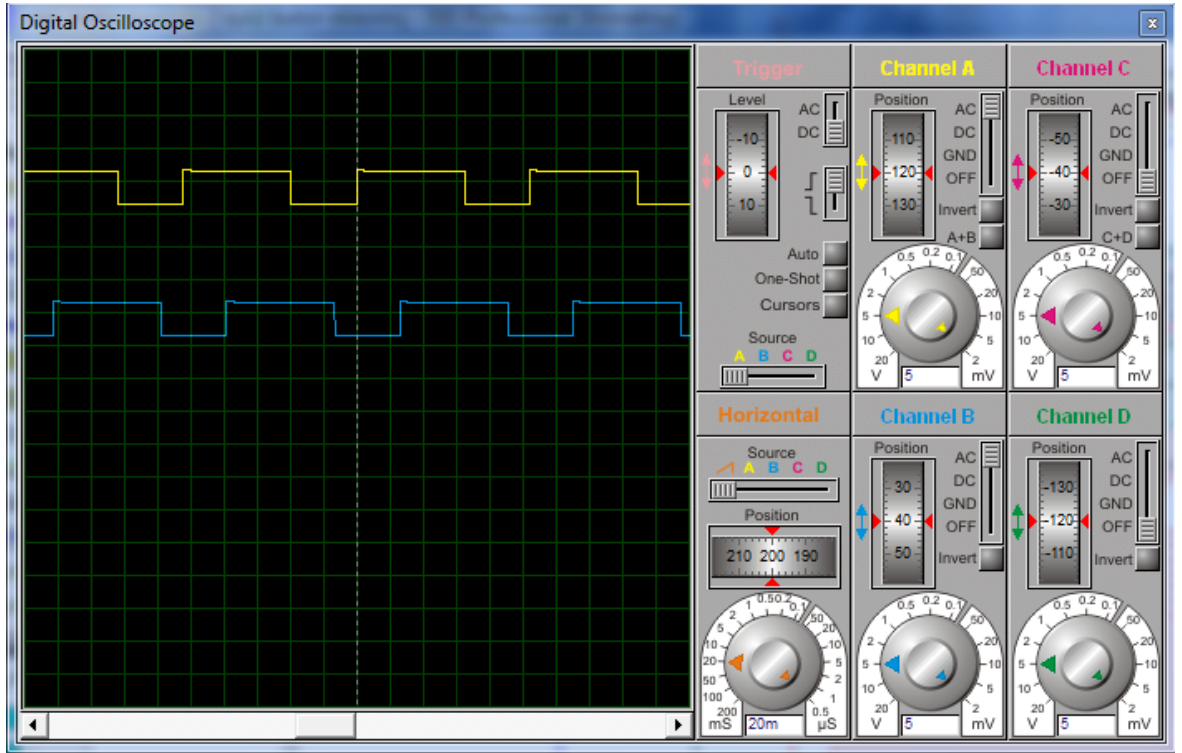


Şekil 5.4. Proteus programında step motorun sola dönüş animasyonu

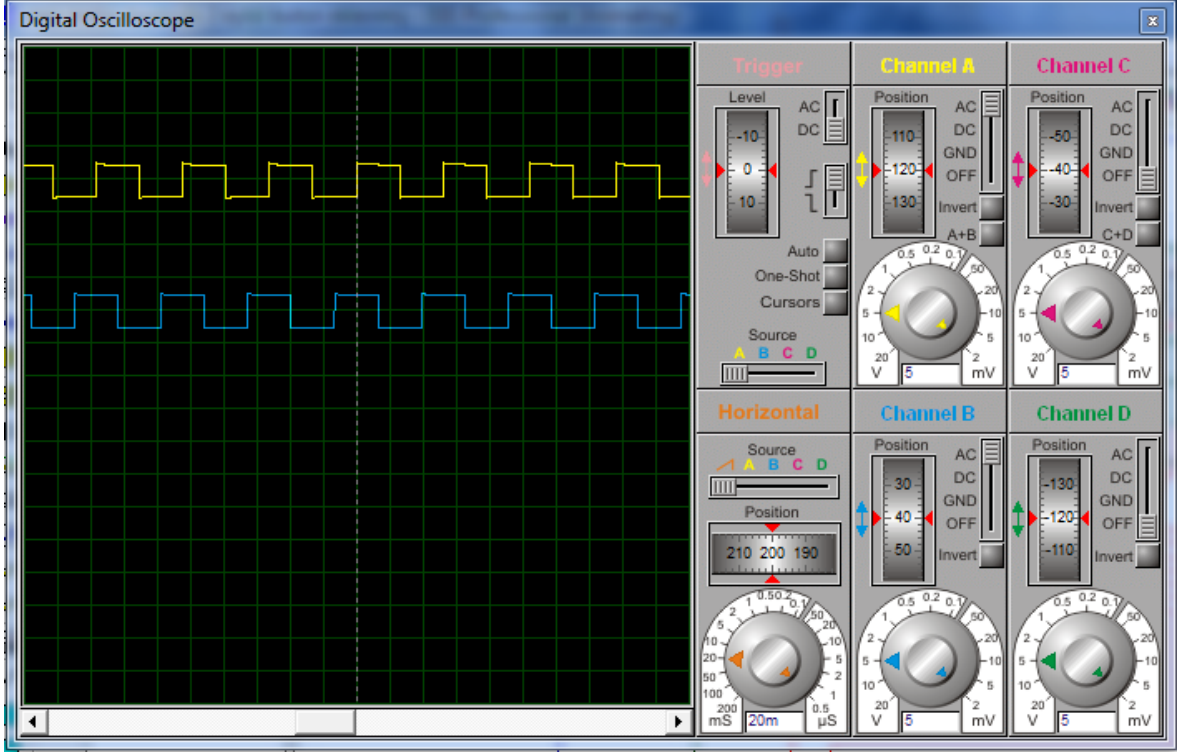
Osiloskop ile step motor sargılarına gönderilen dalga şekillerinin tam adım uyarım ve yarım adım uyarımdaki sağa ve sola dönüşlerdeki değişimler incelendi. Bu değişimler sonucunda tam ve yarım adım uyarımda motora uygulanan pılslerin süreleri değışti. Bu sürelerin değışimi ile hızın da değıştiğı gözlemlendi.



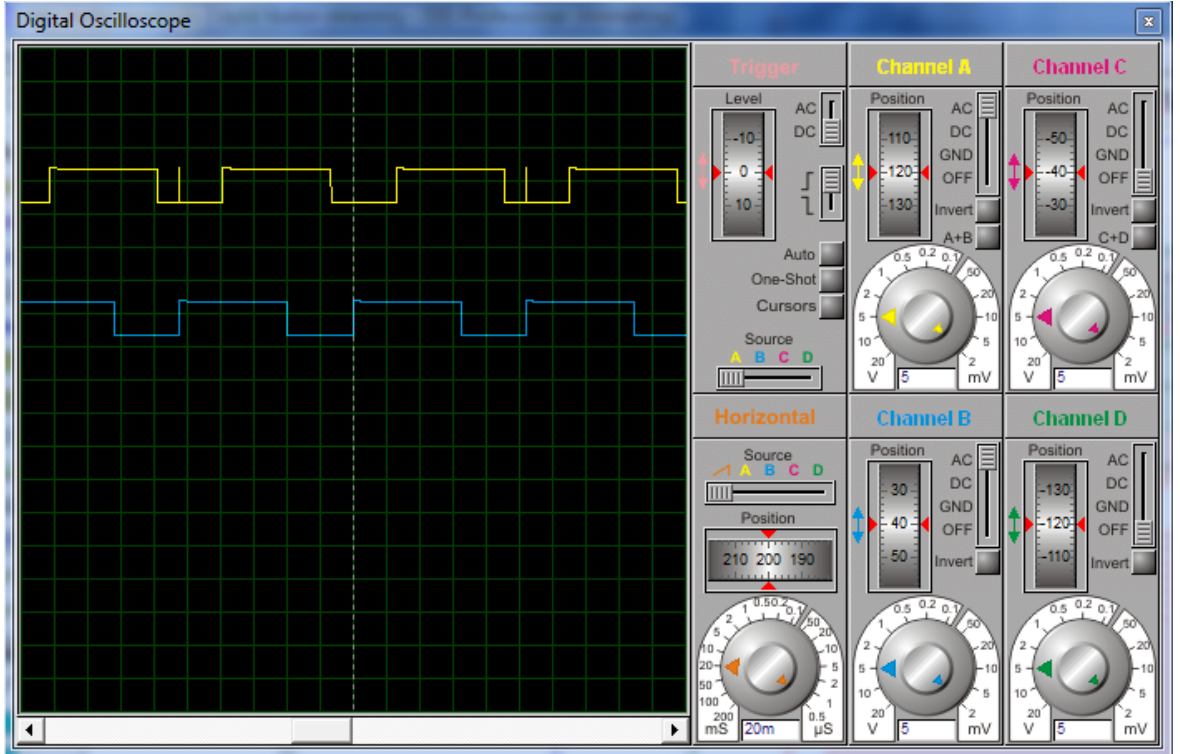
Şekil 5.5. Sağa tam adım uyarıtımda step motorun faz sargılarına gelen sinyaller



Şekil 5.6. Sağa yarım adım uyarıtımda step motorun faz sargılarına gelen sinyaller



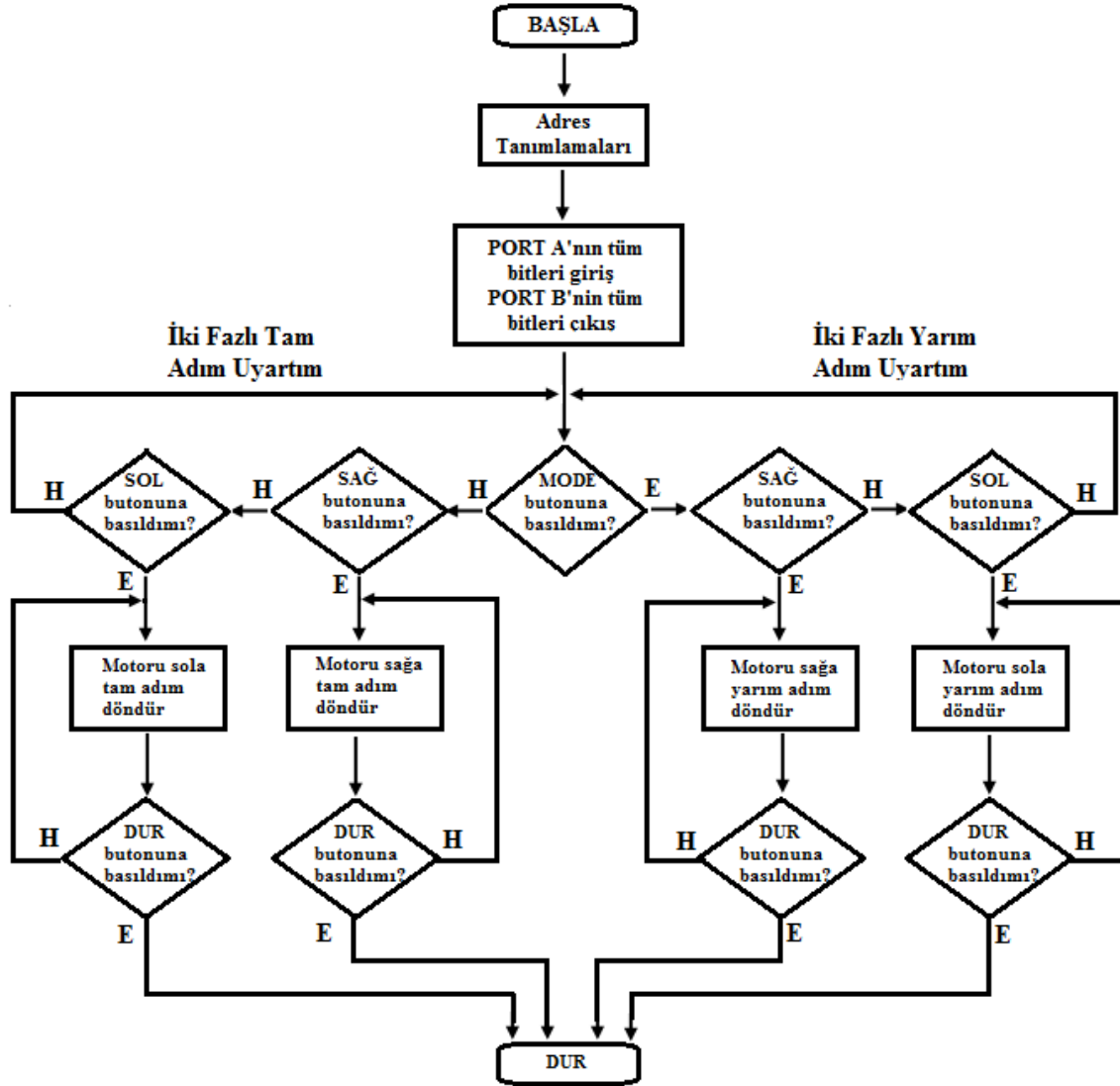
Şekil 5.7. Sola tam adım uyarıtımda step motorun faz sargılarına gelen sinyaller



Şekil 5.8. Sola yarım adım uyarıtımda step motorun faz sargılarına gelen sinyaller

5.4.1. Mikrodenetleyicinin Programlanması

Step motorun kontrolünde en yaygın kullanılan mikrodenetleyici PIC16F84A kullanıldı. MPLAB programında asm komutlarla yapılan yazılım için ilk önce akış diyagramı çizildi.(Şekil 5.9)



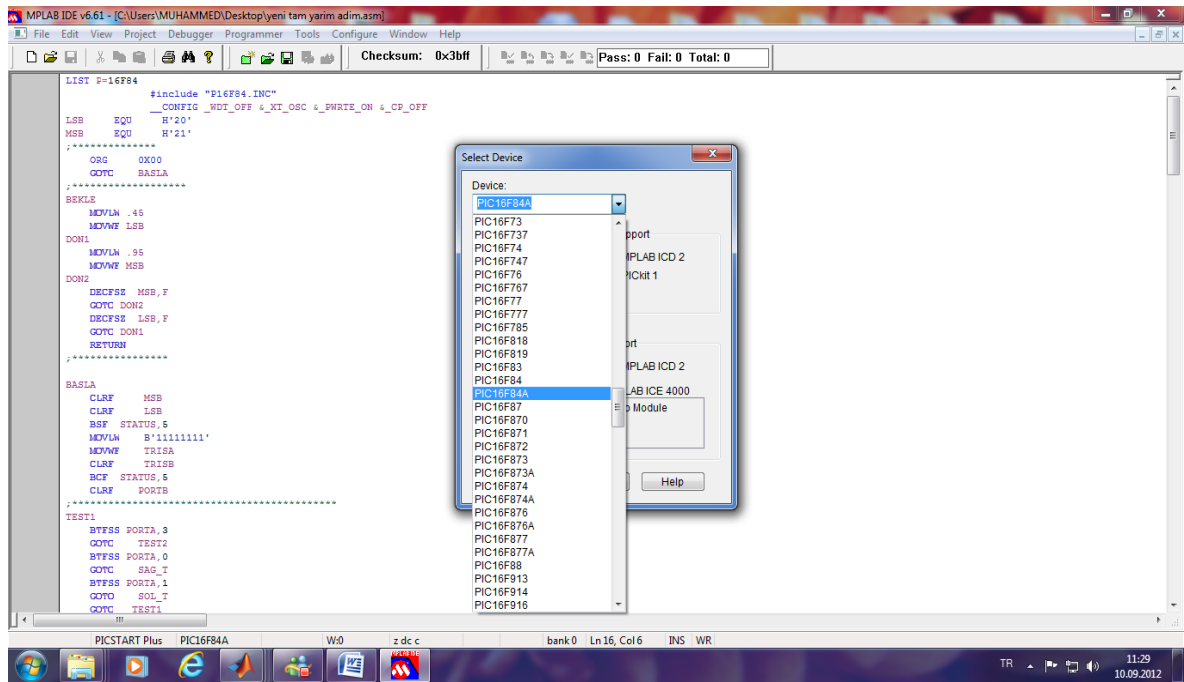
Şekil 5.9. PIC16F84A'nın programlanması için gerekli akış diyagramı

Şekildeki akış diyagramında görüldüğü gibi ilk önce gerekli adres tanımlamaları yapılarak, PORTA' nın tüm pinleri giriş, PORTB' nin tüm pinleri çıkış olarak ayarlandı. PORTA' nın RA0, RA1, RA2 ve RA3 pinlerine kontrol butonları bağlandı. PORTB'nin pinlerinin 4 tanesine step motor, diğer 4 tanesine ise LED' ler bağlandı. Oluşturduğumuz akış diyagramında program en başta MODE butonuna basılıp basılmadığını denetlendi. MODE butonuna basılmış ise SAĞ butonuna basılıp basılmadığı denetlendi. SAĞ

butonuna basılmış ise motor yarım adım uyarımla sağa doğru döndü. DUR butonuna basılana kadar dönme işlemi devam etti. Basılmamış ise SOL butonu denetlendi ve butona basılmış ise sola doğru yarım adım dönüş işlemini gerçekleştirdi. DUR butonuna basılana kadar dönme işlemi devam etti. MODE butonuna basılmamış ise yukarıdaki aynı olay tam adım uyarıma göre gerçekleştirildi.

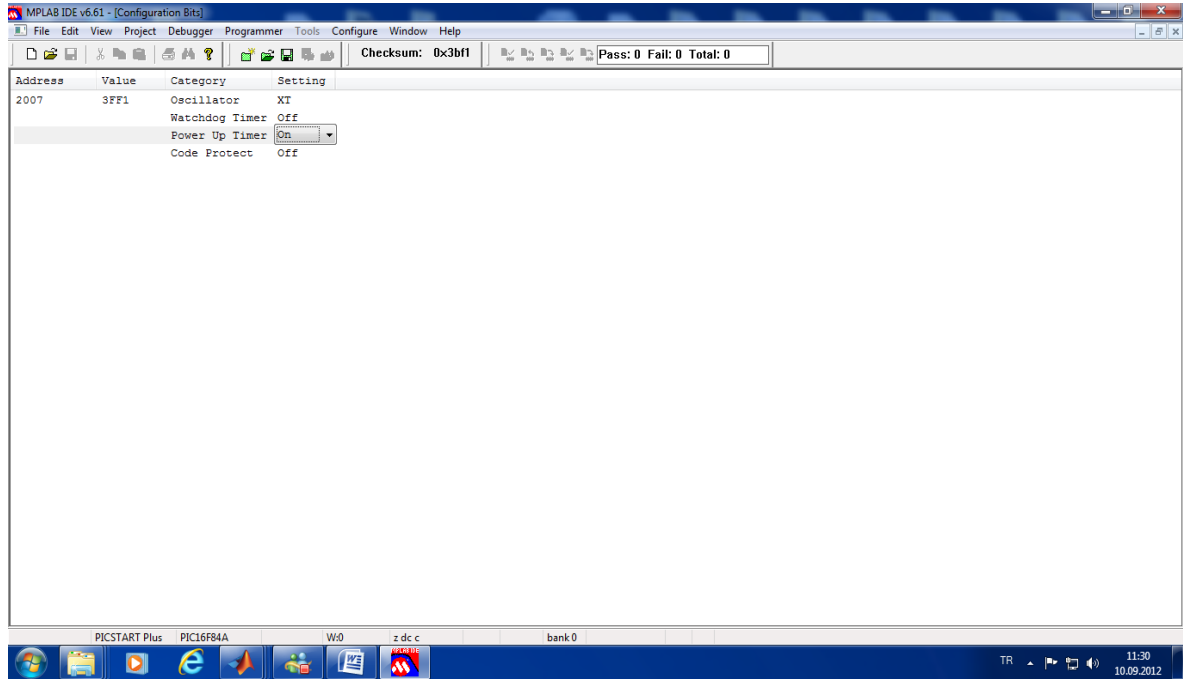
MPLAB programında PIC16F84A'nın programlanmasında asm kodlar kullanıldı. PIC16F84A'nın sahip olduğu 35 komuttan 11 tanesi kullanılarak program istenilen kontrolü gerçekleştirdi.

MPLAB programında ilk olarak Configure menüsünden Select Device seçilerek, devrede kullanılan mikrodenetleyicinin türü seçildi.

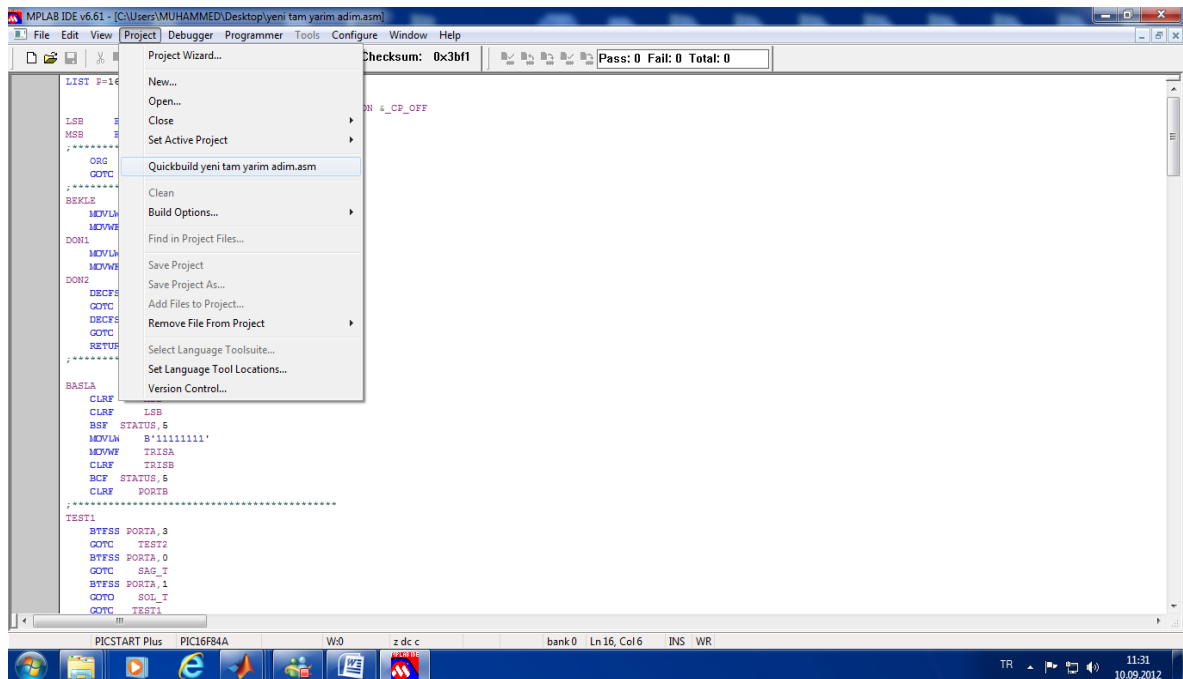


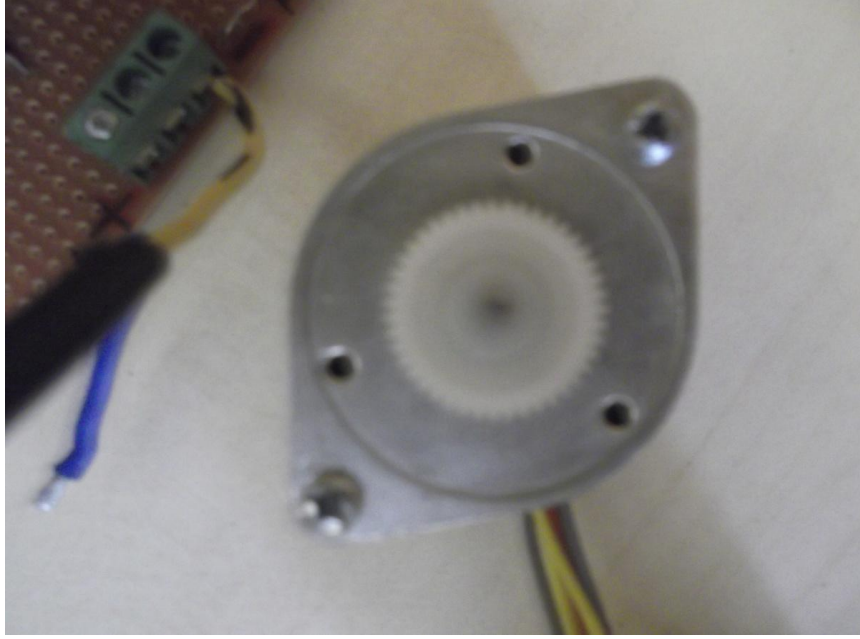
Resim 5.5. Mikrodenetleyici türünün seçilmesi

Daha sonra Configure menüsünden Configuration bits seçeneği seçilerek PIC16F84A'nın sahip olduğu özellikler ayarlandı. Programlama esnasında komutlarla yapılan ayarlamaların aynısı bu menü ile tekrar yapıldı. Oscillator-XT, Watchdog Timer-off, Powerup Timer-on, Code Project-off şeklinde ayarlamalar yapıldı.



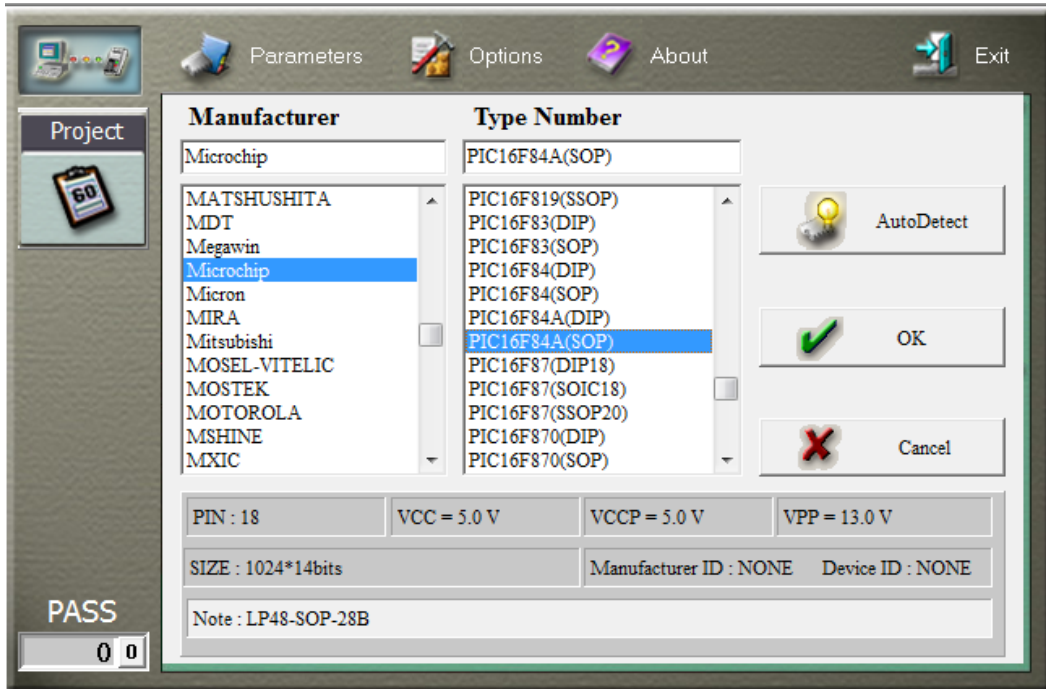
Yazılım tamamlandı hatalar giderildikten sonra Project menüsünden Quickbuild seçeneği ile hazırlanan asm kod şeklindeki program C dosyası, COD File, ERR Dosyası, HEX File ve LST dosyaları haline dönüştürüldü.





Resim 5.8. Uygulamada kullanılan step motor

PIC16F84A mikrokontrolörün programlanması MPLAB programında gerçekleştirilmiş olup, mikrokontrolöre yazdırma işlemi için LEAPER-48 programlayıcısı kullanıldı.



Resim 5.9. LEAPER 48 programlayıcıda mikrokontrolörün seçilmesi işlemi



Resim 5.10. LEAPER 48 programlayıcıda komutların mikrokontrolöre yazdırılması işlemi



Resim 5.11. LEAPER 48 programlayıcı

Step motor kontrol devresinin simülasyonu yukarıdaki şekillerde (Şekil 5.3-5.4) görüldüğü gibi PROTEUS 7 programında yapıldı ve çalışabilirliği test edildi. MPLAB programıyla elde ettiğimiz HEX File dosyası hem Proteusta oluşturulan devrede hem de uygulama devresinde PIC mikrodenetleyiciyi programlamada kullanıldı.

Uygulama devresinde kullanılan osilatör türü kristal osilatördür. Hassas zamanlamanın gerekli olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Kristal osilatör bağlanırken kullanılacak kapasitörlerin değerleri PIC'lerin veri tablolarından öğrenilebilir.[39]

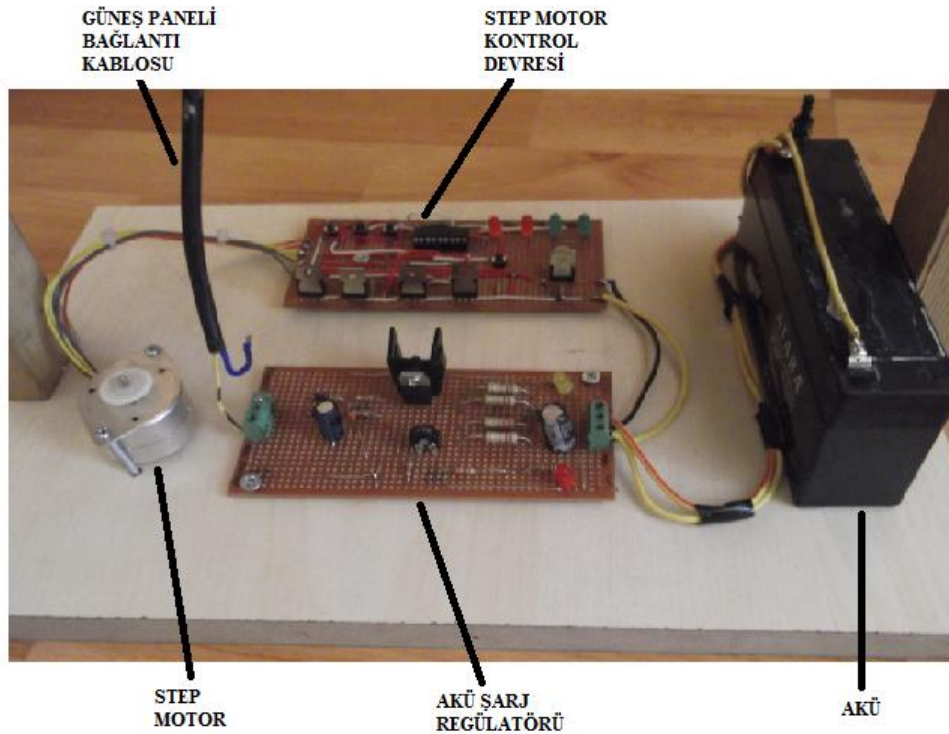
Tablo 5.5. Osilatör hızları ve kullanılacak kondansatör değerleri.

OSİLATÖR	FREKANS	OSC1	OSC2
XT	100 KHz	47-100 pF	47-100 pF
XT	500 KHz	20-68 pF	20-68 pF
XT	1 MHz	15-68 pF	15-68 pF
XT	2 MHz	15-47 pF	15-47 pF
XT	4 MHz	15-33 pF	15-33 pF
HS	8 MHz	15-47 pF	15-47 pF
HS	20 MHz	15-47 pF	15-47 pF

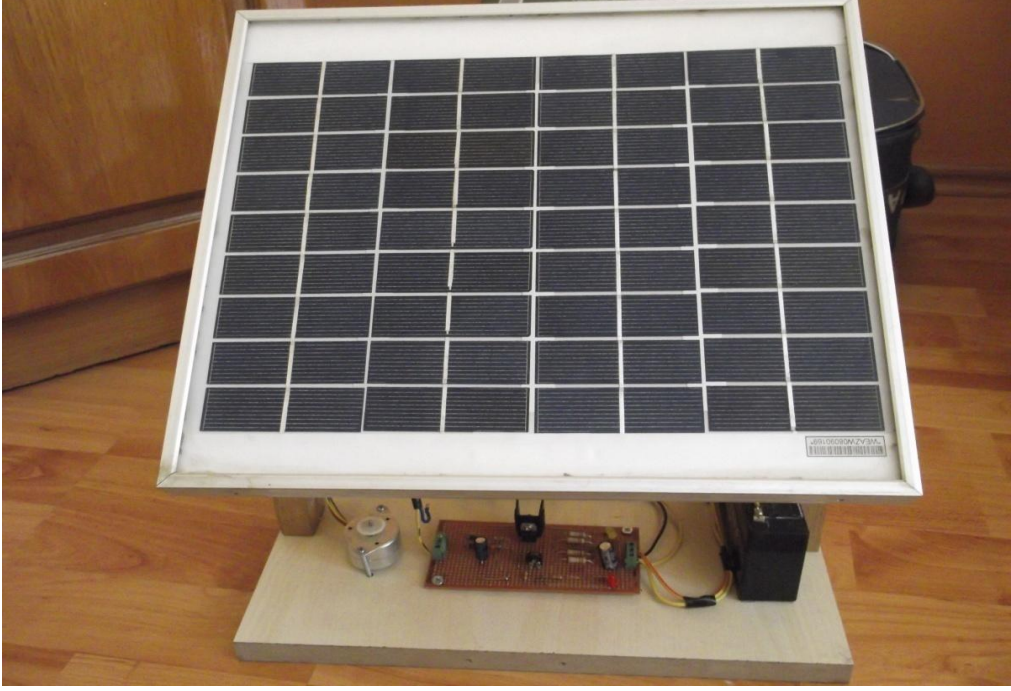
XT: Kristal Osilatör

HS: Seramik Osilatör

Tablo 5.5' te PIC veri tablolarından derlenmiş bazı osilatör türleri ile beraber değişik frekanslardaki kondansatör değerleri gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi kondansatör değerleri belirli bir aralık içinde verilmiştir. Prensip olarak bu tabloların çizdiği sınır değerler arasında en küçük kapasitör değerini kullanmak elde edilen dalganın düzgünlüğünü artıracaktır.



Resim 5.12. Step motor kontrol devresi ve şarj regülatörü



Resim 5.13 Step motor kontrol devresi ve şarj regülatörü

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sanayileşme ve teknolojiideki hızlı gelişmeler hızla artan ve şu an elde var olan enerji kaynakları ile karşılanması mümkün olmayan bir enerji açığı meydana getirmiştir. Fosil kökenli yakıtların ekolojiye verdiği zarar da göz ardı edilemeyecek boyutlara ulaşmıştır.

Ülkemizde enerji üretiminde ilk sırada doğalgaz santralleri sonrada HES'ler ve Termik santraller gelmektedir. Doğalgaz temiz bir enerji kaynağı olmakla birlikte ülkemizde var olmadığından maliyetli bir enerji türü olmaktadır. HES'ler hem kuruluş maliyetlerinin yüksekliği hem de tarım arazilerinin yok olmasına neden olmaktadır. Termik santraller ise çevre kirliliğine en fazla neden olan enerji kaynaklarıdır. Kuruluş aşamasında olan Nükleer santrallerin ise güvenilirliği halen tartışılmaktadır. Bu nedenle çevre kirliliğinin önüne geçmek ve artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için alternatif enerji kaynakları ile ilgili çalışmalar başlatılmış ve halen devam etmektedir. Alternatif enerji kaynakları içerisinde ülkemizde kullanılabilirliği olan kaynaklar güneş, rüzgar ve jeotermal kaynaklardır. Bu kaynaklar içerisinde güneş enerjisi ülkemizin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından çok önemlidir.

Elektrik üreten diğer sistemlerle karşılaştırıldığında güneş pillerinden oluşan bir sistem kullanmanın yararları şöyle sıralanabilir.

1. Enerjinin kullanıldığı yerde üretilmesi mümkündür. Enerji taşıma kayıpları yoktur.
2. Güvenilir enerji kaynaklarıdır. Hareketli parçaları yoktur. Dış etkenlere karşı dayanıklıdır.
3. Herhangi bir yakıt yakılmadan bağımsız olarak enerji üretebilirler.
4. Hareketli parçaları az olduğundan çok az bakım gerektirirler.
5. Yakıtı güneş ışığıdır, her yerde ve ücretsiz bulma imkânı vardır. Yakıtı taşıma ve depolama gibi sorunları yoktur.
6. Modüler sistemler olduğundan güç çıkışı artırılıp azaltılabilir.

Güneş enerjisinin en büyük dezavantajları kurulum maliyetleri ve enerjinin depolanması için ek sistemlere ihtiyaç duyması olmasına rağmen günümüzde tasarım ve üretim maliyetleri gittikçe düşürülen güneş pilleri, elektrik enerjisi üretiminde uygun bir seçenek durumuna gelmiştir.

Elektronik teknolojisinde kaydedilen aşamalarla birlikte sistemlerin boyutları da gittikçe küçülmekte ve hassas konum gerektiren uygulamalarda step motorları çok önemli bir yer almaktadır. Step motorları sayısal işaretle çalışmakta ve kontrolleri mikroişlemci veya mikrokontrolörlerle rahatça yapılabilir. Prototip olarak yapılan sistemlerde sorun çıkarmayan diğer motor seçenekleri seri üretim aşamasında maliyetin artması gibi problemler çıkarmaktadır. Fakat step motorlarında geri beslemeye gerek duyulmaması neticesinde seri üretimleri kolaylaşmaktadır. Yine hem maliyeti düşürmek hem de yapılabilecek en kolay şekilde devrenin tasarımını gerçekleştirmek için step motorlarının kontrolünde mikrodenetleyiciler kullanıldı. Diğer elektrik motorlarında, motora enerji verildiği zaman sürekli olarak rotorları dönmektedir. Bu dönme olayının son bulması için enerjinin kesilmesi gerekmektedir. Adım motorlarında ise motora giriş palsi uygulandığı zaman bir miktar döner ve durur.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı step motorunun kontrolü mikrodenetleyici ile yapılmış olup, enerji kaynağı olarak da güneş pilleri kullanıldı. Step motor iki fazlı tam adım ve iki fazlı yarım adım yöntemleriyle uyartılarak hızdaki değişimler osiloskopa gözlemlendi.

Güneş panelinden alınan gerilimi regüle etmek için yapılan çalışmalarla daha verimli olduğu tespit edilen MPPT yöntemi değil de basit ve çok daha az maliyetli olan bir regülatör devresi kullanıldı. Yapılan çalışmanın en önemli yönü maliyetin hemen hemen sadece güneş paneli maliyeti olmasıdır. Bu çalışmayla birlikte güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üretme konusunda değişik düşünceler edinilerek, daha sonraki çalışmalar için zemin oluşturdu.

KAYNAKLAR

- [1]. **Çelikel, R.**, 2005. "PIC Mikrodenetleyici Yardımı ile Adım Motorunun Konum Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 78s.
- [2]. **URL-1**, www.alternaturk.org/turkiye-gunes-enerji.php. 25 Haziran 2012.
- [3]. **Şen, Z.**, 2004. "Türkiye'nin Temiz Enerji İmkanları", Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı:33, Nisan-Mayıs-Haziran, 6-12.
- [4]. **Türkiye Çevre Vakfı**, 2003. "Türkiye'nin Çevre Sorunları 2003", Ankara.
- [5]. **URL-2**, [http://myo.mersin.edu.tr/UZAK/TP/Bilgisayar/bp-109\(temel-elk\)/te-08.pdf](http://myo.mersin.edu.tr/UZAK/TP/Bilgisayar/bp-109(temel-elk)/te-08.pdf). 12 Şubat 2012.
- [6]. **Ineichen, P., Guisan, O. And Perez, R.**, 1990. "Ground Reflected Radiation and Albedo", Dolar Energy, 44, 207-214.
- [7]. **Markwart T.**, 1994. "Solar Electricity", John WileySons Ltd.
- [8]. **URL-3**, www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunesisil.html Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Isıl Güneş Teknolojileri. 25 Haziran 2012.
- [9]. **Taylor, J.R. ve Zafaritos, C., Çeviri: Karaoğlu, B.**, 1996. "Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik", Güven Kitap Yayın Dağıtım Ltd.Şti, 434s.
- [10]. **Oral, M.**, 1979. "Güneş Pilleri", İzmir İlker Matbaası, 59s.
- [11]. **Kittel, C., Çeviri: Karaoğlu, B.**, 1996. "Kathal Fiziğine Giriş", Güven Kitap Yayın Dağıtım Ltd.Şti, 434s.
- [12]. **Ökten**, 1994. "Fizik Terimleri Sözlüğü", Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü, 107s., (yayımlanmamış).
- [13]. **Sılay, İ.**, 2000. "Atom ve Molekül Fiziği Ders Notları", Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü, (yayımlanmamış).
- [14]. **Yücel, F. B.**, 1991. "Enerji Terminolojisi", Febel Ltd. Şti.
- [15]. **URL-4**, www.yegm.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunespv.html Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller). 25 Haziran 2012.
- [16]. **Günkaya, E.**, 2001. "Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi", S.D.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Isparta.
- [17]. **Hansen, A. D., Sorensen, P., Hansen, L. H., ve Henrik, B.**, 2000. "Models for a Stand- Alone PV System", *Riso National Laboratory*, 77 p., Dec. 2000.

- [18]. **Altaş, İ.H.**, 1998. "Fotovoltaaj Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri", *Aylık 3e (Enerji, Elektrik, Elektronmekanik) Dergisi*, 47, 66-71, Nisan 1998.
- [19]. **Lauffenburger, H. A., Anderson, R. T.**, 1982. "Reliability Terminology and Formulae for Photovoltaic Power Systems," *Reliability, IEEE Transactions on* Volume: R-31, Issue: 3, 289 – 295.
- [20]. **Oi, A.**, 2005. "Design and Simulation of Photovoltaic Water Pumping System," *California Polytechnic State University*, Yüksek Lisans Tez Çalışması, Eylül 2005.
- [21]. **Shekoofa, O., Taherbaneh, M.**, 2007. "Modelling of Silicon Solar Panel by MATLAB/Simulink and Evaluating the Importance of Its Parameters in a Space Application," *Recent Advances in Space Technologies, 2007. RAST '07. 3rd International Conference on*, 719-724, 14-16 June 2007.
- [22]. **Altaş, İ.H.**, 1998. "Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye'deki Potansiyel", *Aylık 3e (Enerji, Elektrik, Elektromekanik) Dergisi*, 45, 58-63, Şubat 1998.
- [23]. **Castaner, S.**, 2002. "Modeling Photovoltaic Systems Using Pspice," John Wiley & Sons.
- [24]. **Boyle, G.**, 2004. "Solar Photovoltaics", Renewable energy: power for a sustainable future, 1st ed., Oxford University Pres, 66-83, Newyork.
- [25]. **URL-5** <http://320volt.com/gunes-pilleri-ve-teknolojik-uygulamalari/> 25 Haziran 2012.
- [26]. **Apaydın, H.**, 2006. "Adım motorlarının karakteristikleri ve bilgisayar ile konum kontrolü uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 145s.
- [27]. **Toro, V. D.**, 1990. "Basic Electric Machines", Proffesor Emeritus Department of Electrical Engineering, City University of Newyork, Prentice – Hall, Englewood Cliffs Pres, New Jersey.
- [28]. **Türkyılmaz, A.**, 2008. RF kontrol işareti kullanılarak mikrodenetleyici tabanlı adım motor kontrol setinin hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 86s.
- [29]. **M.E.B. MEGEP**, 2011. ANKARA, Step motor ve sürülmesi, 6s.
- [30]. **M.E.B. MEGEP**, 2011. ANKARA, Step motor ve sürülmesi, 27s.
- [31]. **Çelikel, R.**, 2005. PIC mikrodeneleyici yardımı ile adım motorunun konum kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [32]. **Lovine, J.**, 2000. PIC Microcontroller Project Book, McGraw-Hill, 225s.
- [33]. **Jaber, A., Abu-Qahouq, Yangyang Wen, Liangbin Yao, Ehab Shoubaki, Issa Batarseh and Geoff Potter**, 2005. “ Digital Controller for an Isolated Half-Bridge DC-DC Converter”, IEEE Applied Power Electronics Conference, Vol.2, 1217-1223
- [34]. **Mazda F. F.**, “Electronics Engineer’s Reference Book”, 6 th Edition, Butterworths
- [35]. **Pablo C., Gabriel G., Adolfo H.**, 1999. “Fuzzy Gain Scheduling Control of Switch-mode DC/DC Converters”, IEEE ISIE, -0-7803-5 662-4/99.
- [36]. **Jose A. R., Gerardo E.P.**, 2002. “Stability Of Current-mode Control For DC-DC Power Converters” Systems&Control Letters, 113-119.
- [37]. **Şekkeli M., Yıldız C., Özçalık H., R.**, “Bulanık Mantık ve PI Denetimli DA-DA Konvertör Modellenmesi ve Dinamik Performans Karşılaştırması”, K.Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, K.Maraş.
- [38]. **Mohan, N., Undeland, M., T., William P., R.**, 2002. “Power Electronic: Converters”, Applications And Design, Ocak 2002.
- [39]. **Gardner, N., Çev: Yalçın, C.**, 1998. PIC Programlama El Kitabı, Bileşim Yayıncılık, İstanbul.

EKLER

EK-1 Uygulama Devresinde Kullanılan Elemanlar Listesi

- 10 W Güneş Paneli

Step Motor Kontrol Devresinde kullanılan eleman listesi

- PIC16F84A (1 adet)
- Kristal osilatör (1 adet)
- Step motor 5V step angle 7°30 (1 adet)
- MOSFET IRF510 (4 adet)
- Diyot 1N4007 (4 adet)
- Buton (4 adet)
- LED kırmızı (2 adet)
- LED yeşil (2 adet)
- Direnç 4.7 kohm (4 adet)
- Direnç 1 kohm (4 adet)
- Direnç 150 ohm(4 adet)
- Delikli Plaket

Şarj Kontrol Devresinde kullanılan eleman listesi

- Diyot 1N4001 (2 adet)
- Direnç 2.2 ohm-2W (4 adet)
- Direnç 1 kohm (3 adet)
- Direnç 2.2 kohm (2 adet)
- Kondansatör 100pF (2 adet)
- Kondansatör 220 uF-35V (1 adet)
- LED (1 adet)
- Transistör BDX53 (2 adet)
- 10 k Dik Trimpot (1 adet)
- 431AC-9815 SMD lehimli entegre (1 adet)
- Soğutucu (1 adet)

- Delikli Plaket

EK-2 PIC16F84A Mikrodenetleyicisi için ASM kod listesi

```

LIST P=16F84
#include "P16F84.INC"
_CONFIG _WDT_OFF & _XT_OSC & _PWRTE_ON & _CP_OFF
LSB    EQU    H'20'
MSB    EQU    H'21'
;*****
;
ORG    0X00
GOTO   BASLA
;*****
;
BEKLE
    MOVLW .45
    MOVWF LSB
DON1
    MOVLW .95
    MOVWF MSB
DON2
    DECFSZ MSB,F
    GOTO DON2
    DECFSZ LSB,F
    GOTO DON1
    RETURN
;*****
;
BASLA
    CLRF    MSB
    CLRF    LSB
    BSF     STATUS,5
    MOVLW   B'11111111'
    MOVWF   TRISA
    CLRF    TRISB
    BCF     STATUS,5
    CLRF    PORTB
;*****
;
TEST1
    BTFSS   PORTA,3
    GOTO    TEST2
    BTFSS   PORTA,0
    GOTO    SAG_T
    BTFSS   PORTA,1
    GOTO    SOL_T
    GOTO    TEST1
SOL_T
    BTFSS   PORTA,2
    GOTO    TEST1

    MOVLW   B'11000110'
```

```

MOVWF PORTB
CALL BEKLE

MOVLW B'01000011'
MOVWF PORTB
CALL BEKLE

MOVLW B'01001001'
MOVWF PORTB
CALL BEKLE

MOVLW B'11001100'
MOVWF PORTB
CALL BEKLE
CLRF    PORTB

BTFSS PORTA,3
GOTO SOL_Y

BTFSS PORTA,0
GOTO    SAG_T
GOTO    SOL_T
;*****
;SAG_T
BTFSS PORTA,2
GOTO  TEST1

MOVLW B'00110011'
MOVWF PORTB
CALL BEKLE

MOVLW B'00100110'
MOVWF PORTB
CALL BEKLE

MOVLW B'00101100'
MOVWF PORTB
CALL BEKLE

MOVLW B'00111001'
MOVWF PORTB
CALL BEKLE
CLRF    PORTB

BTFSS PORTA,3
GOTO SAG_Y

BTFSS PORTA,1
GOTO    SOL_T
GOTO    SAG_T

;YARIM ADIM SOLA

```

```

TEST2
    BTFSS PORTA,0
    GOTO  SAG_Y
    BTFSS PORTA,1
    GOTO  SOL_Y
    GOTO  TEST2

SOL_Y
    BTFSS PORTA,2
    GOTO  TEST1

    MOVLW B'01001000'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'01001100'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'01000100'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'01000110'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'01000010'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'01000011'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'01000001'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'01001001'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    CLRF   PORTB

    BTFSS PORTA,3
    GOTO SOL_T

    BTFSS PORTA,0

    BTFSS PORTA,3
    GOTO SOL_Y

    GOTO  SAG_Y

```

```

GOTO SOL_Y
;*****
;YARIM ADIM SAGA
SAG_Y
    BTFSS PORTA,2
    GOTO TEST1

    MOVLW B'00100100'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'00101100'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'00101000'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'00101001'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'00100001'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'00100011'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'00100010'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    MOVLW B'00100110'
    MOVWF PORTB
    CALL BEKLE

    CLRF PORTB

    BTFSS PORTA,3
    GOTO SAG_T

    BTFSS PORTA,1

    GOTO SOL_Y
    GOTO SAG_Y

END

```

EK-3 BDX53 Transistör Datasheet

BDX53/A/B/C

Hammer Drivers, Audio Amplifiers Applications
 Power Liner and Switching Applications

- Power Darlington TR
- Complement to BDX54, BDX54A, BDX54B and BDX54C respectively



NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CB0}	Collector-Base Voltage : BDX53	45	V
	: BDX53A	60	V
	: BDX53B	80	V
	: BDX53C	100	V
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage : BDX53	45	V
	: BDX53A	60	V
	: BDX53B	80	V
	: BDX53C	100	V
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	8	A
I_{CP}	*Collector Current (Pulse)	12	A
I_B	Base Current	0.2	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C = 25^\circ\text{C}$)	60	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$V_{CE0(sus)}$	* Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = 100\text{mA}, I_B = 0$	45			V
	: BDX53		60			V
	: BDX53A		80			V
	: BDX53C		100			V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current : BDX53	$V_{CB} = 45\text{V}, I_E = 0$			200	μA
	: BDX53A	$V_{CB} = 60\text{V}, I_E = 0$			200	μA
	: BDX53B	$V_{CB} = 80\text{V}, I_E = 0$			200	μA
	: BDX53C	$V_{CB} = 100\text{V}, I_E = 0$			200	μA
I_{CEO}	Collector Cut-off Current : BDX53	$V_{CE} = 22\text{V}, I_B = 0$			500	μA
	: BDX53A	$V_{CE} = 30\text{V}, I_B = 0$			500	μA
	: BDX53B	$V_{CE} = 40\text{V}, I_B = 0$			500	μA
	: BDX53C	$V_{CE} = 50\text{V}, I_B = 0$			500	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5\text{V}, I_C = 0$			2	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 3\text{A}$	750			
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 3\text{A}, I_B = 12\text{mA}$			2	V
$V_{BE(sat)}$	* Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 3\text{A}, I_B = 12\text{mA}$			2.5	V
V_F	* Parallel Diode Forward Voltage	$I_F = 3\text{A}$		1.8	2.5	V
		$I_F = 8\text{A}$		2.5		V

* Pulse Test: PWA-300 μs , duty Cycle $\leq 1.5\%$ Pulsed

Typical Characteristics

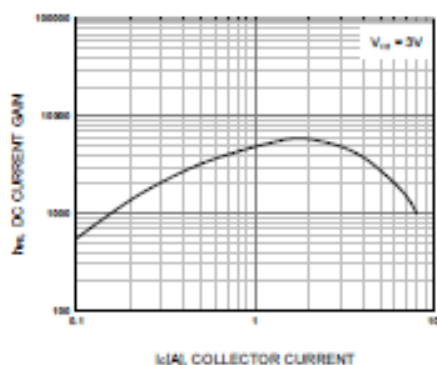


Figure 1. DC current Gain

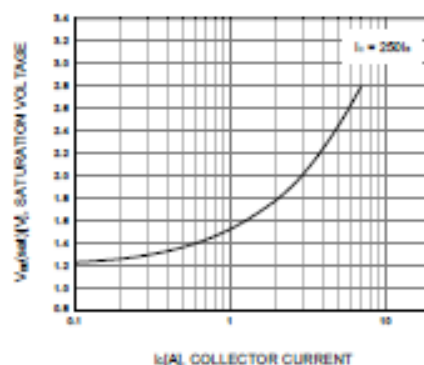


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage

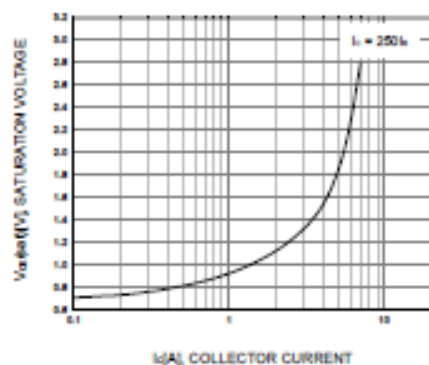


Figure 3. Collector-Emitter Saturation Voltage

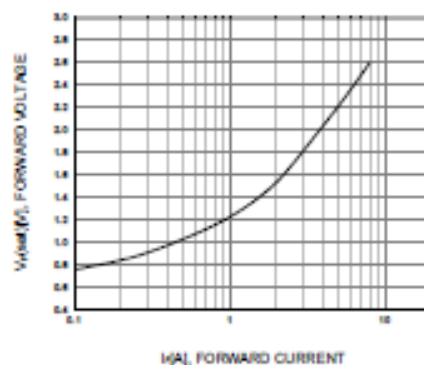


Figure 4. Damper Diode Forward Voltage

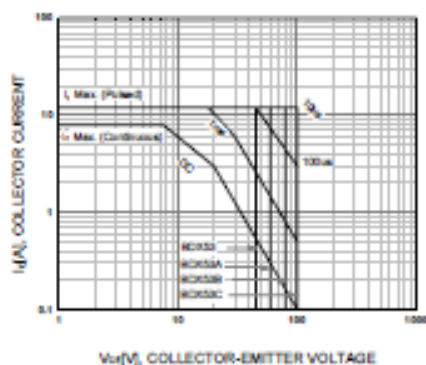


Figure 5. Safe Operating Area

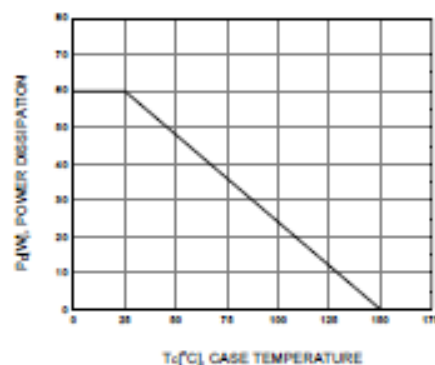
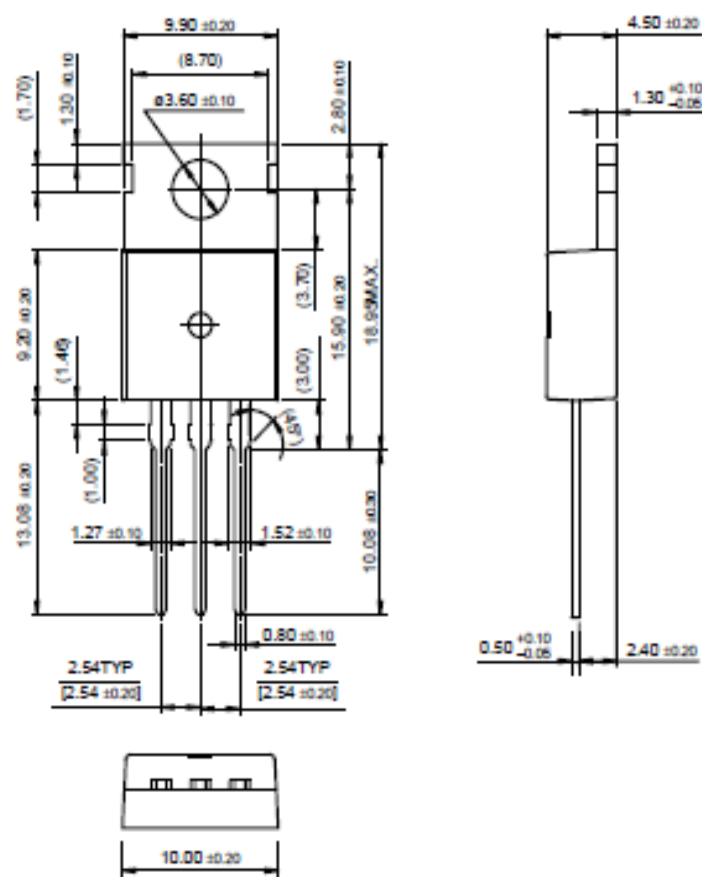


Figure 6. Power Derating

Package Dimensions

TO-220



Dimensions in Millimeters

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE [™]	HiSeC [™]	SuperSOT [™] -8
Bottomless [™]	ISOPANAR [™]	SyncFET [™]
CoolFET [™]	MICROWIRE [™]	TinyLogic [™]
CROSSVOLT [™]	POP [™]	UHC [™]
E ² CMOS [™]	PowerTrench [®]	VCX [™]
FACT [™]	QFET [™]	
FACT Quiet Series [™]	QS [™]	
FAST [®]	Quiet Series [™]	
FAST [™]	SuperSOT [™] -3	
GTO [™]	SuperSOT [™] -6	

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR INTERNATIONAL.

As used herein:

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

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.



IRF510

Data Sheet

January 2002

5.6A, 100V, 0.540 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17441.

Ordering Information

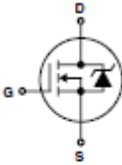
PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF510	TO-220AB	IRF510

NOTE: When ordering, include the entire part number.

Features

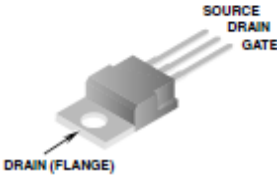
- 5.6A, 100V
- $r_{DS(ON)} = 0.540\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging

JEDEC TO-220AB



IRF510

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

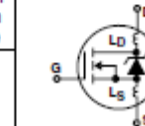
	IRF510	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DS}	100
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20\text{k}\Omega$) (Note 1)	V_{DGR}	100
Continuous Drain Current	I_D	5.6
$T_C = 100^\circ\text{C}$	I_D	4
Pulsed Drain Current (Note 3)	I_{DM}	20
Gate to Source Voltage	V_{GS}	± 20
Maximum Power Dissipation	P_D	43
Linear Derating Factor		0.29
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	E_{AS}	19
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-55 to 175
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s	T_L	300
Package Body for 10s, See Techbrief 334	T_{pkg}	260

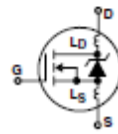
CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

1. $T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C .

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$, (Figure 10)	100	-	-	V	
Gate to Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu A$	2.0	-	4.0	V	
Zero-Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 95V, V_{GS} = 0V$	-	-	25	μA	
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V, T_J = 150^{\circ}C$	-	-	250	μA	
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10V$ (Figure 7)	5.6	-	-	A	
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20V$	-	-	± 100	nA	
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 3.4A$ (Figures 8, 9)	-	0.4	0.54	Ω	
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{GS} = 50V, I_D = 3.4A$ (Figure 12)	1.3	2.0	-	S	
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$I_D = 5.6A, R_{GS} = 24\Omega, V_{DD} = 50V, R_L = 9\Omega, V_{DD} = 50V, V_{GS} = 10V$ MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature	-	8	12	ns	
Rise Time	t_r		-	25	63	ns	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	15	7	ns	
Fall Time	t_f		-	12	59	ns	
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_g(TOT)$	$V_{GS} = 10V, I_D = 5.6A, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, I_{G(REF)} = 1.5mA$ (Figure 14)	-	5.0	30	nC	
Gate to Source Charge	Q_{gs}	Gate charge is essentially independent of operating temperature.	-	2.0	-	nC	
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	3.0	-	nC	
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1.0MHz$ (Figure 11)	-	135	-	pF	
Output Capacitance	C_{OSS}		-	80	-	pF	
Reverse-Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	20	-	pF	
Internal Drain Inductance	L_D	Measured From the Contact Screw On Tab To Center of Die	Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Device Inductances 	-	3.5	-	nH
		Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die		-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured From The Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad		-	7.5	-	nH
Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	3.5	$^{\circ}C/W$	
Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free air operation	-	-	80	$^{\circ}C/W$	



IRF510

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	Test Conditions	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	I_{SD}	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Diode	-	-	5.6	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	I_{SDM}		-	-	20	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	V_{SD}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)	-	-	2.5	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	4.6	96	200	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	0.17	0.4	0.83	μC

NOTES:

- Pulse test: pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.
- Repetitive rating: pulse width limited by max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
- $V_{DD} = 25\text{V}$, start $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 910\mu\text{H}$, $R_G = 25\Omega$, peak $I_{AS} = 5.6\text{A}$.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

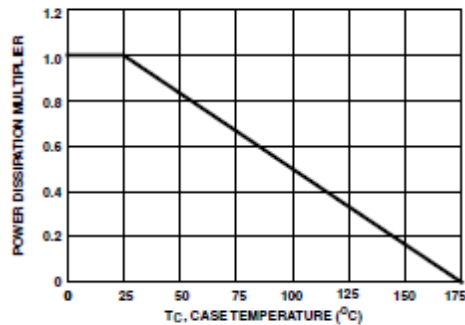


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

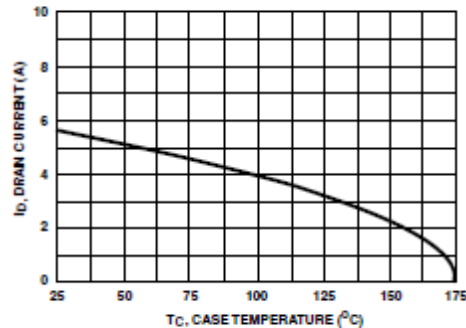


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

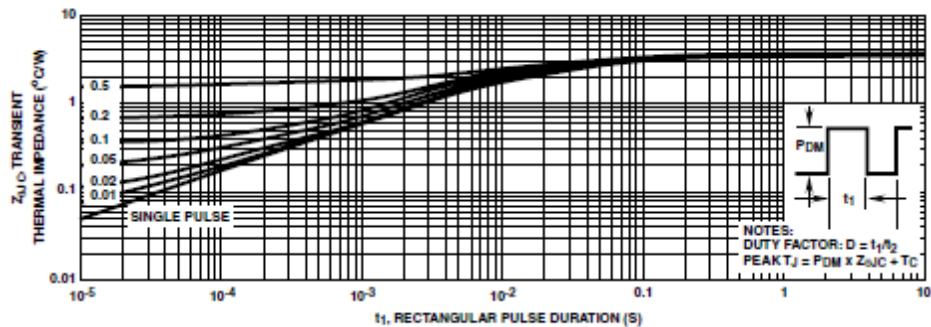


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

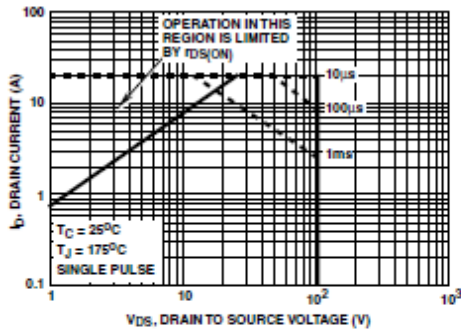


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

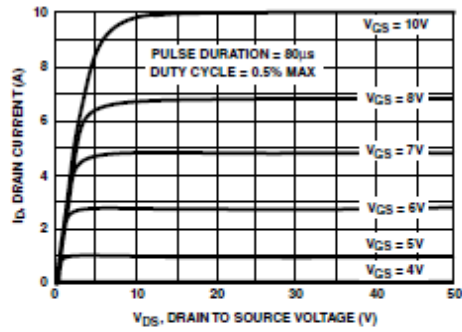


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

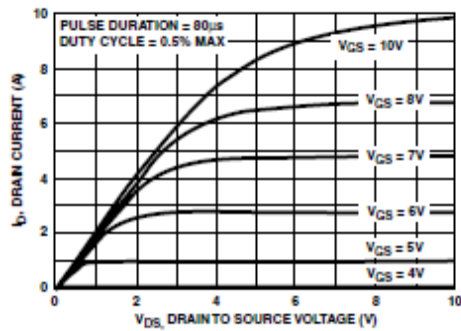


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

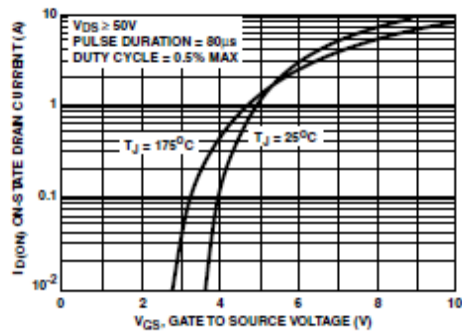


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

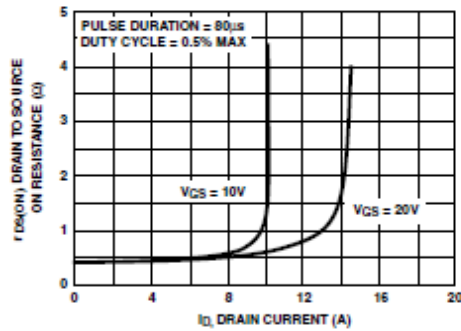


FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs. GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

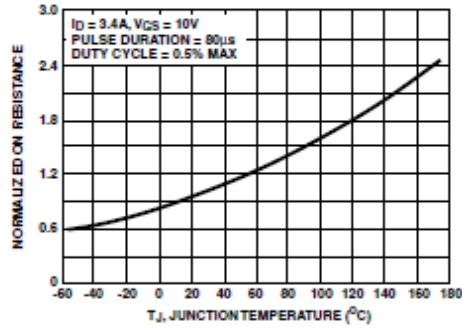


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs. JUNCTION TEMPERATURE

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

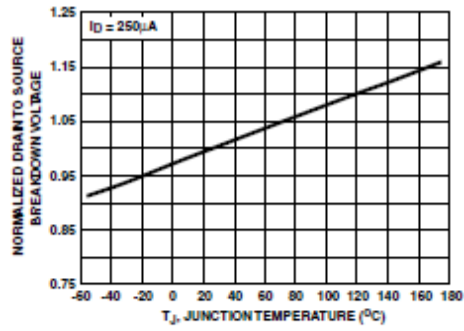


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

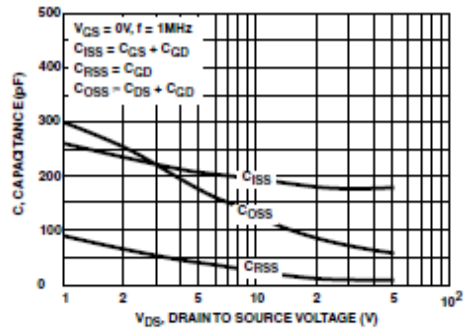


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

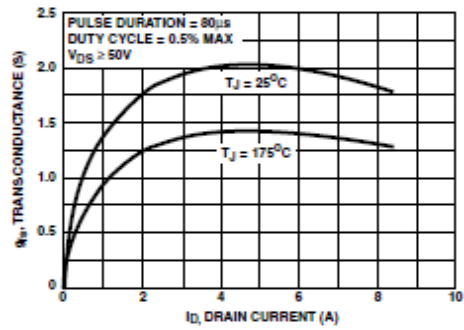


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

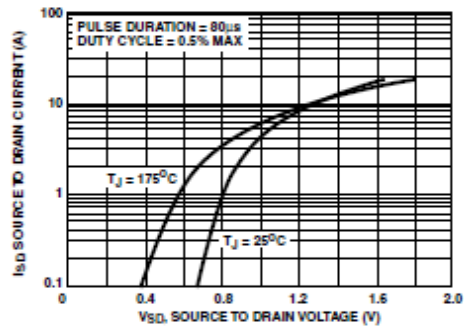


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

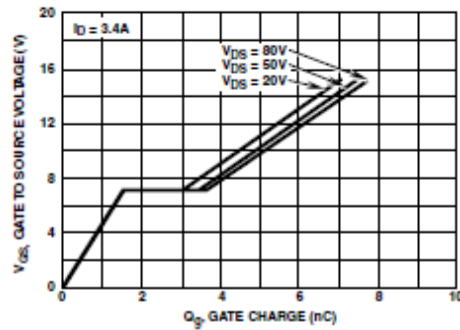


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

Test Circuits and Waveforms

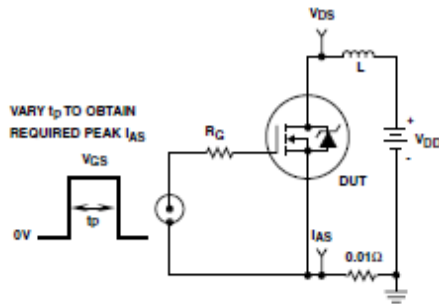


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

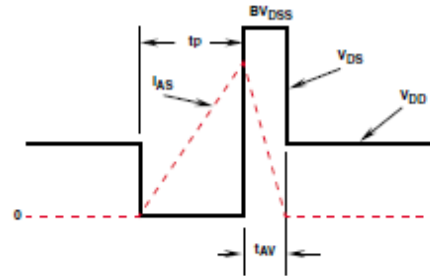


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

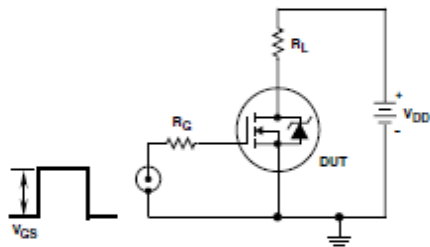


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

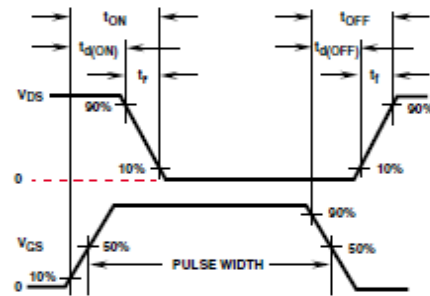


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

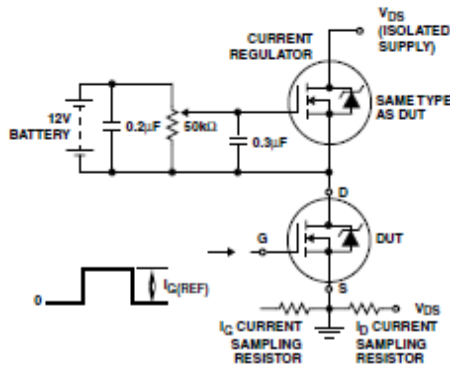


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

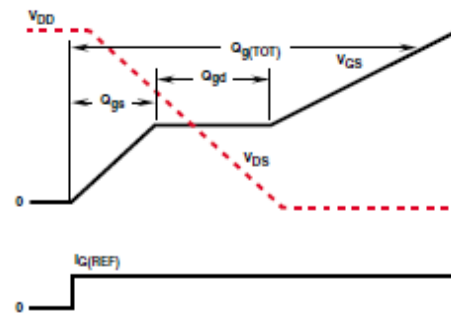


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORM

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE [™]	FAST [®]	OPTOLOGIC [™]	SMART START [™]	VCX [™]
Bottomless [™]	FAST [™]	OPTOPLANAR [™]	STAR [™] POWER [™]	
CoolFET [™]	FRFET [™]	PACMAN [™]	Stealth [™]	
CROSSVOLT [™]	GlobalOptoisolator [™]	POP [™]	SuperSOT [™] -3	
DenseTrench [™]	GTO [™]	Power247 [™]	SuperSOT [™] -6	
DOVE [™]	HiSeC [™]	PowerTrench [®]	SuperSOT [™] -8	
EcoSPARK [™]	ISOPLANAR [™]	QFET [™]	SyncFET [™]	
E ² CMOS [™]	LittleFET [™]	QS [™]	TinyLogic [™]	
EnSigna [™]	MicroFET [™]	QT Optoelectronics [™]	TruTranslation [™]	
FACT [™]	MicroPak [™]	Quiet Series [™]	UHC [™]	
FACT Quiet Series [™]	MICROWIRE [™]	SILENT SWITCHER [®]	UltraFET [®]	

STAR[™]POWER is used under license

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

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

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

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not in Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

Rev. 146

EK-5 Uygulamada Kullanılan Güneş Paneli Verileri

WE-3 TO WE-37



TECHNICAL SPECIFICATIONS - SOLEN PV MODULES

Electrical Characteristics *	WE-3A	WE-3	WE-5A	WE-5	WE-8	WE-10	WE-12	WE-15	WE-18	WE-20	WE-25	WE-30	WE-35	WE-37
Power (Pm) in Watts (nominal)	3	3	5	5	8	10	12	15	18	20	25	30	35	37
Open Circuit Voltage (Voc) in Volts	10	21	10,5	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Short Circuit Current (Isc) in Amps	0,42	0,21	0,57	0,54	0,46	0,67	0,73	0,92	1,15	1,35	1,68	2,02	2,36	2,4
Voltage at Maximum Power (Vmp) in Volts	8,2	17	8,2	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Current at Maximum Power (Imp) in Amps	0,37	0,18	0,51	0,3	0,44	0,59	0,71	0,88	1,05	1,18	1,47	1,76	2,06	2,17
Maximum System Voltage	600V	600V	600V	600V	600V	600V	600V	600V	600V	600V	600V	600V	600V	600V
Physical Parameters (Refer drawing below)														
Solar Cells per Module (Units)	18	35	18	36	35	36	36	36	36	36	36	36	36	35
Length x Width x Thickness (L x W x T) mm	185 x 185 x 22	255 x 185 x 22	285 x 185 x 22	235 x 245 x 22	300 x 345 x 22	355 x 345 x 22	425 x 345 x 22	470 x 345 x 22	515 x 345 x 22	665 x 345 x 34	790 x 345 x 34	450 x 660 x 34	470 x 630 x 34	470 x 630 x 34
Weight - Kg	0,5	0,9	1	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	3	3,5	3,5	3,5
Mounting Holes Pitch (Y) - mm	92	127	142	117	150	177	212	235	257	332	395	225	235	235
Mounting Holes Pitch (X) - mm	165	135	165	225	325	325	325	325	325	325	325	325	340	640
Area - Sq. M	0,03	0,05	0,05	0,06	0,10	0,12	0,15	0,16	0,18	0,23	0,27	0,30	0,31	0,31
Junction Box	2 terminals	2 terminals	2 terminals	2 terminals	2 terminals	2 terminals	2 terminals	2 terminals	2 terminals	2 terminals	2 terminals	2 terminals	2 terminals	2 terminals

* Measurement Tolerance on Power +/- 5%. All electrical parameters specified at STC :25°C cell temperature; 100mW / cm² irradiance; AM 1.5

Other Characteristics

Type of Cell : Mono / Multi Crystalline Silicon
 Front Face : Tempered Glass (Low Iron)
 Encapsulate : Ethylene Vinyl Acetate
 Frame : Anodized Aluminium
 Junction Box : Weather Proof Nylon 6
 Temp. Coefficients : Voltage -0,123 V / °K
 Current +4,4 mA / °K
 Power -0,47% / °K
 NOCT : 47 +/- 2 °C

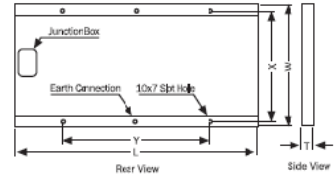
- The Standard range of modules is supplied without diodes. However, diodes can be provided on specific customer request at extra cost.
- Due to constant product modifications, SOLEN reserves the right to amend the above specifications without prior notice.
- Warranty : Up to 10 Years Limited Extended Warranty



SOLEN Solar Energy
 Head Office : Bağdat Caddesi 218 / 3 Çiğdemci / İstanbul
 Tel: +90.216 302 33 73 - Fax: +90.216 302 33 20
 www.solenenerji.com.tr - bilgi@solenenerji.com.tr

Mounting Details

All dimensions in mm and tolerances ± 2mm



Instrument stepper motors

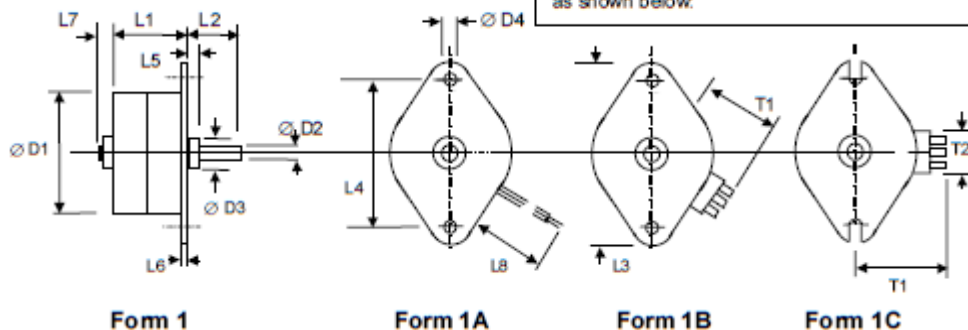
The instrument stepper motors are high quality permanent magnet types providing a 7.5 degree step angle

The motors may be specified factory fitted with a gearhead where increased torque and resolution are required at reduced operating speed. The programme has gained a world-wide reputation for high reliability and is widely used in industrial control and instrumentation drives. The miniature 1415 series, incorporates a low backlash precision gearhead to provide outstanding torque and resolution for a unit of such compact dimensions. A comprehensive programme of drives, power supplies and controllers have been developed to match the motor's characteristics to enable single or multi-axis systems to be readily constructed.



ID series stepper motor dimensions

ID series motors are either provided with leads (Form 1 A) or solder terminals (Forms 1B & 1C) as shown below.



motor type	form	dimensions mm													
		D1	D2	D3	D4	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	T1	T2
9904 112 31001	1 A	35	2	10	3.2	21.5	8.8	50	42	1.2	0.8	2.2	175	N/A	N/A
9904 112 31101	1 A	51	3	10	3.5	25	8.2	70.5	60.2	1.5	1.0	3	175	N/A	N/A
9904 112 31004	1 B	51	3	10	3.5	25	8.2	70.5	60.2	1.5	1.0	3	N/A	38.5	18.3
9904 112 31104	1 B	51	3	10	3.5	25	8.2	70.5	60.2	1.5	1.0	3	N/A	38.5	18.3
9904 112 35 series	1 C	56.3	4	12	4.4	33.5	16	76.5	66	1.5	1.5	3.8	N/A	37.1	20

specification

motor type	step angle degrees	holding torque Nm	rotor inertia Kgcm ²	resistance per phase ohms	current per phase amps	inductance per phase mH	number of leads or terminals	mass gms
9904 112 32001	7.5	1.0	0.0026	120	0.1	160	6	80
9904 112 32101	7.5	1.0	0.0026	21	0.22	30	6	80
9904 112 31004	7.5	2.8	0.011	65	0.175	100	6 terminals	170
9904 112 31001	7.5	3.0	0.011	62	0.190	160	8	200
9904 112 31104	7.5	3.2	0.011	11	0.4	16	6 terminals	170
9904 112 31101	7.5	3.4	0.011	17	0.325	45	8	200
9904 112 31206 **	7.5	5.5	0.011	7	0.50	18	4	170
9904 112 35014	7.5	8.5	0.045	47	0.24	400	6 terminals	300
9904 112 35114	7.5	8.5	0.045	7.7	0.60	65	6 terminals	300
Precision Geared stepper motors								
1415 - 41:1 **	0.366	10	0.00045	12.5	0.25	5.5	4	47
1415 - 76:1 **	0.197	10	0.00045	12.5	0.25	5.5	4	50
1415 - 141:1 **	0.106	10	0.00045	12.5	0.25	5.5	4	50

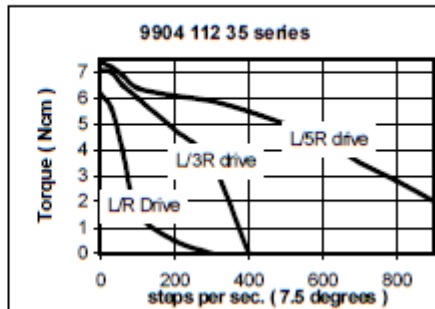
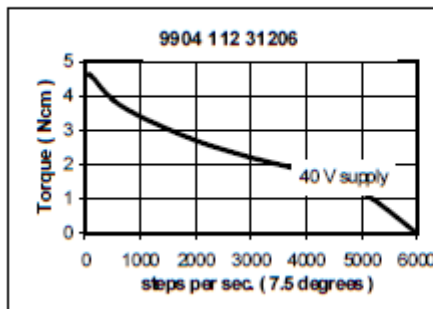
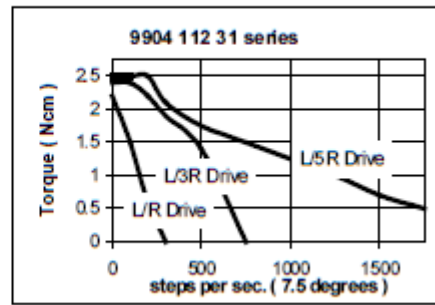
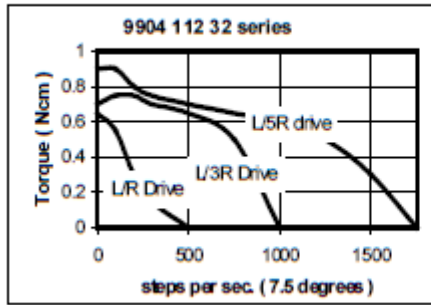
note** The above motors are, in general, 4 phase units suitable for use with uni-polar or bi-polar drive circuits.

Motors identified by *** however are only designed for bi-polar operation.

Mclennan Servo Supplies Ltd. Tel: +44 (0)8707 700 700 www.mclennan.co.uk



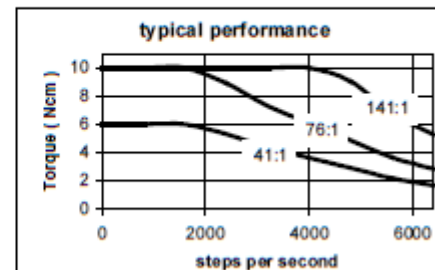
Typical stepper motor performance



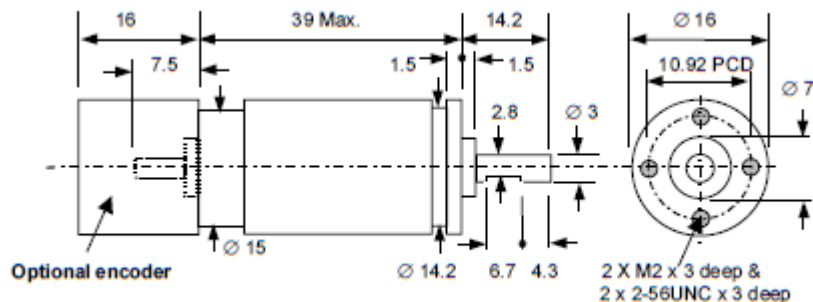
1415 series miniature geared stepper motor

The 1415 series miniature geared stepper motor is ideally suited for use in precision instrumentation mechanisms. The unit incorporates a two phase bi-polar stepper motor and a precision gearhead featuring an anti-backlash system to ensure accurate positioning.

When required a dual; track encoder may be specified, as shown below, to enable the unit to be used under closed loop control



Dimensions: mm



Mclennan Servo Supplies Ltd. Tel: +44 (0)8707 700 700 www.mclennan.co.uk



ÖZGEÇMİŞ

Muhammet YILMAZ

Doğum Yeri : Elazığ
Doğum Tarihi : 05.01.1981
e-posta : muhammettyilmaz@hotmail.com
Tez Konusu : Güneş Paneli ile Beslenen Step Motorun PIC Mikrodenetleyici ile Kontrolü
Danışman : Prof. Dr. Hasan KÜRÜM
2002- : Öğretim Görevlisi (Muş Alparslan Üniversitesi MYO- Elektronik ve Otomasyon Bölümü)
2003-2012 :Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Tezli Yüksek Lisans Eğitimi.
1998-2002 : Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi- Elektrik Elektronik Mühendisliği, Lisans Eğitimi.
1991-1997 : Orta ve Lise Eğitimi
1986-1991 : İlkokul Eğitimi