

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLI SİSTEMLERİN
DOĞRUSAL OLMAYAN DENETİMİ

HAVVA ÖZKAYA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLI
SİSTEMLERİN DOĞRUSAL OLMAYAN
DENETİMİ

HAVVA ÖZKAYA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DR. MURAT ŞEKER

GEBZE
2019

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**NON-LINEAR CONTROL OF RENEWABLE
ENERGY SOURCE SYSTEMS**

HAVVA ÖZKAYA

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**

DEPARTMENT OF ELECTRONICS ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

DR. MURAT ŞEKER

GEBZE

2019

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..03../..07../..2019 tarih ve ..2019../..30..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ..05../..07../..2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Havva ÖZKAYA'ın tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : DR. MURAT ŞEKER

ÜYE

: DR. ÖĞR. ÜYESİ ERDEM BİLGİLİ

ÜYE

: PROF. DR. SERKAN AKSOY

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Bu çalışmada tek fazlı şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin maksimum güç noktasını izleyebilmek için iki denetim yöntemi sunulmuştur. Bu denetim yöntemleri, kayma kipli denetleyici ve geri adımlamalı denetleyicidir. Sistemde iki aşamalı dönüştürücü bulunmaktadır: bir DA(doğru akım)-DA dönüştürücü ve bir DA-AA(alternatif akım) dönüştürücü. Bu iki dönüştürücü blok arasına bir DA gerilim barası bağlanır. Denetleyici stratejisinde dört önemli faktör göz önünde bulunduruldu: i) fotovoltaik modülün maksimum güç noktası takibi, ii) DA bara geriliminin düzenlenmesi, iii) şebekedeki güç faktörü, iv) kapalı devre sisteminin kararlılığının sağlanması.

Bu hedeflere ulaşabilmek için tüm denetlenen sistemin doğrusal olmayan modelini temel alan kayma kipli denetleyici ve geri adımlamalı denetleyici teknikleri kullanılmıştır.

Matematiksel model ve benzetim sonuçları denetleyici tasarımımızın hedefleri gerçekleştirdiği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistem, Doğrusal Olmayan Denetleyici, Kayma Kipli Denetleyici, Geri Adımlamalı Denetleyici, MPPT.

SUMMARY

In this thesis, two control methods are provided to monitor the maximum power point of the single-phase grid-connected photovoltaic system. There are two converter in the system: a DC-DC Converter and a DC-AC Inverter. A DC voltage bus is connected between two converter blocks. Four control objectives were taken into account in the control strategy: i) maximum power point tracking of the PV module, ii) regulation of DC bus voltage, iii) power factor in grid, iv) ensure stability of closed loop system.

To achieve these goals, the sliding mode control and backstepping control techniques based on the nonlinear model of the whole controlled system was used.

The results of the mathematical model and simulation have been shown to achieve the objectives of our supervisory design.

Key Words: Photovoltaic System, Non-Linear Control, Sliding Mode Control, Backstepping Control, MPPT.

TEŞEKKÜR

Yaptığım alıőmalarda, değerli bilgilerini, emeklerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli danıőmanım Dr. Murat Şeker'e ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teőekkürü bir bor bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1.Literatür Taraması	3
2. FOTOVOLTAİK SİSTEM	9
2.1. PV Sistem	9
2.1.1. PV Hücresi	9
2.1.2. PV Modülü	10
2.1.3. PV Dizisi	11
2.2. PV Hücrelerin Matematiksel Olarak İfade Edilmesi	11
2.3. PV Modül ve Dizisinin Matematiksel Olarak İfade Edilmesi	14
2.4. Güneş Işığının Yoğunluğunun Hücre Sıcaklığına Etkisi	16
2.5. PV Dizisinin Simülasyon Grafikleri	17
3. TOPOLOJİ VE MATEMATİKSEL MODEL	19
3.1. Sistemin Matematiksel Modeli	19
3.1.1. Genel Sistemin Matematiksel Modeli	21
3.2. MPPT	22
4. DENETLEYİCİ TASARIMI	23
4.1. Kayma Kipli Denetleyici	23
4.1.1.Kayma Kipli Denetleyici Tasarımı	26
4.1.2.Simülasyon Sonuçları	31
4.2. Geri Adımlamalı Denetleyici	37
4.2.1.Geri Adımlamalı Denetleyici Tasarımı	39
4.2.2. Simülasyon Sonuçları	47

5.SONUÇLAR

54

KAYNAKLAR

56

ÖZGEÇMİŞ

60



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kisaltmalar</u>	
β	: Tasarım parametresi
C_i	: Capacitance of Boost converter
C_{dc}	: Yük Kapasitesi
e_g	: Şebeke Gerilimi
E_g	: Bang-Gap Energy of Semiconductor
ε_1	: Tracking Error
ε_2	: Tracking Error
I	: Current
I_m	: Maksimum Power Current
I_{PH}	: Light-Generated Current or Photocurrent
I_{RS}	: Cell's Reverse Saturation Current
I_s	: Cell Saturation of Dark Current
I_{scr}	: Cell's Short-Current
i_g	: Grid Current
i_p	: PV Current
k	: Boltzman Sabiti
K	: Kelvin
K_I	: Cell's Short Circuit Current Temperature Coefficient
k_1	: Tasarım Parametresi
k_2	: Tasarım Parametresi
L_g	: Grid Filter Inductor
N_P	: Paralel Number of Cell
N_S	: Series Number of Cell
P	: Power
P_m	: Maximum Power
P_{mpp}	: Power at Maximum Power Point
r_i	: Equivalent Series Resistance of Boost Converter
r_g	: Equivalent Series Resistance of Grid
R_S	: Series Resistance

R_{SH}	:	Shunt Resistance
T	:	Switching Period
T_{Amb}	:	Ambient Temperature
T_C	:	Cell Temperature
T_{Ref}	:	Referance Temperature
u_1	:	Boost Converter Binary Control Input
u_2	:	Inverter Binary Control Input
V	:	Voltage
V_{dc}	:	DC Bus Voltage
V_m	:	Voltage at Maximum Power
V_{mpp}	:	Voltage at Maximum Power Point
V_{oc}	:	Voltage at Open Circuit
v_p	:	PV voltage
e	:	Electron Charge
λ	:	Solar Insulation
Δ_0, Δ_1	:	Tasarım Parametresi
σ, σ_2	:	Standart Deviation of Gaussian Factor

A	:	İdeal Faktör
AA	:	Alternatif Akım
AG	:	Alçak Gerilim
BOS	:	Balance of System
BJT	:	Bipolar Junction Transistor
CCM	:	Continuous Conduction Mode
DA	:	Doğru Akım
ESR	:	Equivalent Serial Resistance
MOSFET	:	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MPP	:	Maximum Power Point
MPPT	:	Maximum Power Point Tracking
NOCT	:	Nominal Operating Cell Temperature
OG	:	Orta Gerilim
PF	:	Power Factor
PI	:	Proportional-Integral
PV	:	Fotovoltaik
PWM	:	Pulse Width Modulation

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: PV hücresinin temel yapısı.	10
2.2: PV hücresi, modülü ve dizisi.	11
2.3: Genel eşdeğer devre modeli.	11
2.4: Uygun eşdeğer devre modeli.	13
2.5: Basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli.	13
2.6: Genel eşdeğer devre modeli.	14
2.7: Uygun eşdeğer devre modeli.	15
2.8: Basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli.	16
2.9: PV dizisinin gerilim-akım grafiği.	17
2.10: PV dizisinin gerilim-güç grafiği.	18
2.11: PV dizisinin akım-güç grafiği.	18
3.1: Tek fazlı şebekeye bağlı sistemin tipik konfigürasyonu.	19
3.2: PV dizisi güç eğrisi.	22
4.1: Anahtarlama yüzeyinin kayma yüzeyini tanımlaması.	25
4.2: Anahtarlama yüzeyinin kayma yüzeyinin tanımına uymaması.	25
4.3: G(s) fonksiyonunun bode diyagramı.	31
4.4: Işınım parametresi.	32
4.5: Fotovoltaik modülün gücü.	31
4.6: Fotovoltaik modülün gerilimi.	32
4.7: Sıcaklık parametresi.	32
4.8: Fotovoltaik modülün gücü.	33
4.9: Fotovoltaik modülün gerilimi.	34
4.10: u_1 Sinyali.	34
4.11: u_2 Sinyali.	35
4.12: e_1 Sinyali.	35
4.13: e_2 Sinyali.	36
4.14: Şebeke gerilimi.	36
4.15: Şebeke akımı.	36
4.16: Denetimi yapılan sistemin yapısı.	39
4.17: P&O algoritması.	47

4.18: Işınım Parametresi.	47
4.19: Fotovoltaik modülün gücü.	48
4.20: Fotovoltaik modülün gerilimi.	48
4.21: Sıcaklık parametresi.	49
4.22: Fotovoltaik modülün gücü.	49
4.23: Fotovoltaik modelin gerilimi.	49
4.24: u1 Sinyali.	50
4.25: u2 Sinyali.	51
4.26: z1 Sinyali.	51
4.27: z2 Sinyali.	52
4.28: z3 Sinyali.	52
4.29: Şebeke gerilimi.	53
4.30: Şebeke akımı.	53

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: İdeal faktör A'nın PV teknolojisine bağımlılığı.	14
3.1: SM55 PV modülüne ait elektriksel özellikler.	20
3.2: Denetlenen sistemin özellikleri.	21
3.3: Matematiksel model değişkenleri.	22



1. GİRİŞ

Günümüz hayatında elektriğin önemi büyüktür. Çünkü tüketiciler kesintisiz olarak hizmet almak ister. Mevcut geleneksel enerji kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynaklarına talepler artmaktadır [1]. Bu nedenle son yıllarda yenilenebilir enerji santrallerinin kurulumu hızla artmıştır.

Yenilenebilir enerji, doğada sürekli devam eden süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. Bu kaynaklar güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi, biyo kütle enerjisi ve hidrojen enerjisidir [3]. Yenilenebilir enerjinin kurulumu kolay, kurulum maliyeti düşük ve çevre dostudur [2].

Rüzgar enerjisinin ana kaynağını güneş enerjisi oluşturmaktadır. Güneş enerjisi karaları ve denizleri aynı oranda ısıtmadığı için oluşan basınç farkı rüzgarı meydana getirmektedir. Rüzgar tribünleri rüzgarın yoğun olarak olduğu bölgelere kurulur. Rüzgar tribünleri rüzgarın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye, daha sonra elektrik enerjisine dönüştürür. Elde edilen enerji rüzgarın hızına ve esme süresine bağlıdır.

Jeotermal enerji, yer ısısı anlamına gelmektedir. Yağmur ve kar suları yer kabuğu çatlaklarından magma tabakasına ulaşır ve ısınır. Isınan sular, sıcak su kaynağı ve buhar şeklinde yeryüzüne tekrar ulaşır. Tribünler yardımı ile yeryüzüne ulaşan bu su ve buhar diğer enerji türlerine dönüştürülür [4]-[33].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından birini oluşturan dalga enerjisinin oluşabilmesi için okyanus gibi büyük su kütlelerinin olması gerekmektedir. Bu büyük su kütlelerinde meydana gelen dalgaların oluşturduğu kinetik enerji elektrik enerjisine çevrilir.

Organik maddelerden enerji kaynağı olarak yararlanılması biyo kütle enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Bitkilerden biyo dizel, biyo etanol elde etme gibi uygulamalar mevcuttur. Biyo kütle enerjisi çevre kirliliği oluşturmamaktadır, aynı zamanda depolanabilmektedir. Ancak verim düşüktür [4]-[33].

Hidrojen evrende en çok bulunan elementtir ve evrenin temel enerji kaynağıdır. Zararlı gaz çıkışı olmadığı için çevreyi kirletmez. Ancak günümüz teknolojisi ile üretimi zor olduğu için kullanımı çok fazla yaygın değildir [4]-[33].

Güneş enerjisi doğrudan güneş ışığından üretilen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Zararlı gaz salınımı olmadığı için temiz bir enerji kaynağıdır.

Güneşte bulunan hidrojen gazının çekirdekleri füzyon ile helyum çekirdekleri oluşturmaktadır. Bu esnada çok büyük bir enerji açığa çıkmaktadır. Tepkimeler sonucunda oluşan enerjinin bir kısmı dünyaya ışıınım enerjisi olarak ulaşır. Bu ışıınının panellerle elektrik enerjisine çevrilir.

Güneş enerjisi kirlenme oluşturmeyen, temiz bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Sanayileşmenin ve nüfusun artmasıyla birlikte enerji ihtiyacında artış görülmektedir. Petrol ve doğalgaz kaynaklarının azalması ile birlikte enerji ihtiyacını karşılamak oldukça sıkıntılı olmaktadır. Enerji ihtiyacını karşılamak için daha temiz ve daha az maliyetli olan yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep artmıştır. Güneş enerjisinin de elektrik üretimindeki payı gün geçtikçe artmaktadır [33].

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi solar panel sistemi ya da güneş paneli sistemi adı verilen yöntemle elde edilir. Güneşten dünyaya gelen fotonlar güneş panelleri yardımı ile toplanır. Fotonların taşıdığı enerji elektrik ve ısı enerjisine çevrilir. Fotonlar güneş paneline çarptığı zaman elektronlar panel yüzeyine çekilir. Güneş panelinin alt ve üst katmanları arasında gerilim oluşur. Böylece güneş panelin alt ve üst kısmı boyunca oluşan elektrik devresi, elektrik teçhizatına güç akışını sağlamaktadır. Herhangi bir yapıya güç sağlamak için gerekli enerji ihtiyacına göre güneş paneli sayısı hesaplanmalıdır.

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde, fotovoltaik hücreler kullanılmaktadır. Fotovoltaik hücreler güneş ışınlarını elektrik haline çeviren güneş pilleridir. Güneş enerjisi santrallerini güneş panelleri ile birlikte inverter, panel taşıyıcı sistem ve BOS (Balance of System) oluşturmaktadır.

Güneş panellerinden gelen doğru akımı alternatif akıma çeviren cihazlar inverterlerdir. Panel taşıyıcı sistem ise PV panel taşıyıcı sistemler ile montaj aparatlarından oluşur. Altyapı, AG - OG kablo, konnektör, paralelleme panoları, şalt ekipmanları, alçak gerilim pano ve şalt, trafo postası, orta/yüksek gerilim pano ve şalt, aydınlatma, kamera sistemleri kısımlardan oluşan kısma ise BOS (Balance of System) oluşturmaktadır.

Fotovoltaik sistemlerden maksimum gücü elde etmek, maksimum güç noktasını takip edebilmek için doğrusal olmayan kayan kipli denetleyici ve geri adımlamalı denetleyici tasarlanmıştır. Fotovoltaik sistemin DC-AC dönüştürücüsünün denetimi PI denetimi kullanılarak yapılmıştır. Bu dönüştürücü vasıtası ile elektrik ağına enerji enjekte edilecektir. Böylece, PV sisteminin

maksimum gücünü elde etmeyi, aktif gücü enjekte etmeyi ve DC-AC dönüştürücüsünün giriş voltajını düzenlemeyi mümkün kılar.

1.1. Literatür Taraması

Bu çalışma sırasında yapılan literatür taramasında yararlanılan kaynaklar, Kaynaklar bölümünde verilmiştir. Bu bölümde yararlanılan kaynakların birkaçına değinilmiştir. Kayma kipli denetleyici için yararlanılan kaynaklardaki çalışmalar özetlenmiştir.

Kaymn kipli denetim yönetimi kullanılan çalışmada [1], fotovoltaik sistemin maksimum güç noktasını takip edebilmek için bir denetim yöntemi önerilmiştir. Önerilen denetim yöntemi, kararlı durumda ve değişen çevre koşullarına karşı güçlü bir yöntemdir. Anahtarlama elemanlarında PWM denetimi kullanılmıştır. Maksimum güç noktasının takibi için ise DA-DA dönüştürücü kullanılmıştır.

Yenilenebilir enerjiye artan ilgi ve yatırım, yüksek penetrasyonlu güneş enerjisinin hızlı bir şekilde gelişmesine [2] neden olmaktadır. Dolayısıyla odaklanılan nokta, tipik olarak fotovoltaik panellerin DA çıkışı ile AA yardımcı ağı terminalleri arasında arayüz olarak kullanılan güç elektroniği dönüştürücülerinde olmuştur. Çift kademeli şebekeye bağlı fotovoltaik sistem, DA-DA kademesi, DA gücünü, düşük gerilimdeki fotovolatik panelinden yüksek DA bara gerilimine dönüştürmede önemli bir rol oynar. Bununla birlikte, güneş ışınlarının çıktısı, güneş ışınlamasındaki ve hava şartlarındaki değişime bağlı olarak değişir. Daha da önemlisi, yüksek başlangıç maliyeti ve fotovoltaik panellerin sınırlı ömrü, bunlardan mümkün olduğu kadar fazla güç çekmeyi daha kritik hale getirir. Bu nedenle, fotovoltaik dizisini maksimum güç noktasında (MPP) çalıştırmak için maksimum güç noktası izleme (MPPT) tekniklerini kullanmak gerekir. Bu nedenle, hızlı ve sağlam bir analog-MPP izleyici, Utkin' in eşdeğer denetleyici teorisi ve hızlı ölçek kararlılık analizi kavramları kullanılarak önerilmiştir. Önerilen MPPT denetim tekniğinin etkinliğini göstermek için analitik gösterim de sunulmuştur. DA aşamasından sonra, DA-AA dönüştürücü aşaması, DA gücünü AA gücüne dönüştürmek ve gücü yardımcı şebekeye beslemek için kullanılır. DA-AA aşaması, geleneksel tam köprü gerilim kaynağı invertör topolojileri ile gerçekleştirilir. Sabit frekanslı histerez akımı denetleyicinin yanı sıra elipsoidal anahtarlama yüzeyine

dayanan bir kayan kipli denetleyici tekniği, ani yük dalgalanması altında durağan hal ve dinamik tepkisi iyileştirmek için geliştirilmiştir. Böyle bir denetleyici stratejisi sadece iyi gerilim regülasyonunu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda ani yük değişimleri altında hızlı dinamik tepki gösterir. Ayrıca, gerilim kaynağı invertör, AA yardımcı programı ızgarası ile senkronize edilebilir. AA şebekeye enjekte edilen akım yönetmelik standartlarına uymaktadır ve izin verilen maksimum enjekte edilen akım harmonik miktarını karşılamaktadır.

Harmonik kompanzasyon fonksiyonelliğine sahip şebekeye bağlı fotovoltaik sistem [5] için, önerilen sistemin uygulanabilirliğini doğrulamak için bir test sistemi oluşturulmuştur. Fotovoltaik dizileri ile güç şebekesi arasında arabirim oluşturmanın birçok yolu vardır. Orta güçteki uygulamalar için uygun olan merkezi bir invertörlü iki aşamalı bir fotovoltaik modülün topolojisi geliştirilmiştir. Bununla birlikte güneş ışınlarının çıkışı, güneş ışınımının değişmesine ve hava koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, fotovoltaik dizisinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamak için DA-DA dönüştürücüde maksimum güç noktası izleme algoritması uygulanır. Boost dönüştürücüyü denetlemek için artımlı iletkenlik algoritması uygulanır. İntertör ise ayrıştırılmış akım denetleyici algoritması ile kontrol edilir. Ayrıca sürücünün akım kontrolü DA-DA dönüştürücünün maksimum güç noktası denetiminden bağımsızdır. Sistem performansı ve geçici tepkiler bozucu etkenler altında analiz edilir. Güneş ışınımı değiştiğinde veya sistem arızası meydana geldiğinde sistem kararlılığı değerlendirilir.

Şebekeye bağlı fotovoltaik dönüştürücü için sabit frekanslı kayan kipli denetleyici tasarımı [8] ve uygulaması, maksimum güç noktası izleme (MPPT) ile birlikte sunulmaktadır. Önerilen sabit frekanslı kayan kipli denetleyici, histerezis denetiminde olduğu gibi iyi bir dinamik tepkinin, daha iyi referans izleme kabiliyetinin ve öngörücü denetim gibi sağlımlığın avantajlarını korur. Önerilen akım denetleyicisi, sabit anahtarlama frekansında avantajlara ve parametre değişikliklerine daha az duyarlılığa sahiptir. Şebeke akımı harmonikleri ile uyumludur ve mevcut diğer tekniklerle karşılaştırıldığında daha basit bir yolla elde edilmiştir.

Fotovoltaik, güneşten gelen foton enerjisinin doğru akıma, elektrik enerjisine dönüştürüldüğu teknik bir isimdir. Fotovoltaik jeneratörler, sıcaklık ve ışınım durumuna bağlı olarak benzersiz bir maksimum güç noktası (MPP) ile karakteristik olmayan bir gerilim-akımı karakteristiğine sahiptir. Bu koşullar değiştirildiğinde,

çalışma noktası ve MPP değişecektir. Bu nedenle, maksimum gücün panelden alınmasını sağlamak için maksimum güç noktası izleme (MPPT) denetleyicisi gerekir [10]. Artımlı iletkenlik algoritmasına dayalı kayan yüzey için yeni bir formülasyon tanımlayarak kayan kipli denetleyici önerilmiştir. Artımlı iletkenlik yöntemi, maksimum güç noktasına ulaşmak için gerilim türevinin akıma göre eğimi kullanılarak işlev görür. Fotovoltaik sisteminin Matlab / Simulink Yazılımında önerilen MPPT algoritması ile modellenmesi deneysel olarak doğrulanabilir. Önerilen denetleyicinin kararlılığı ve sağlamlığı, varyasyonları ve çevre değişikliklerini yüklemek için incelenmiştir.

Artımlı iletkenlik yöntemine dayanan kayan yüzey için yeni bir formülasyon geliştirilerek, kayan kipli denetleyici kullanılarak maksimum güç noktasını takip edilebilirlik sağlanmıştır [13]. Önerilen denetim yönteminin kararlılığı ve sağlamlığı değişen çevre koşullarında incelenmiştir. Maksimum güç noktası için verilen sistemde üç farklı DA-DA dönüştürücü kullanılır. Simülasyon sonuçları önerilen denetim yönteminin farklı DA-DA dönüştürücü topolojileri için yük ve ortam değişimleri altında etkinliğini onaylar.

Tek fazlı şebekeye bağlı fotovoltaik (PV) sistem, güç dönüşümünün sadece bir aşamasına sahiptir ve eşzamanlı olarak göz önünde bulundurulması gereken denetim hedefleri, şebeke gerilimi ile senkronizasyonu, şebekeye bağlı akım için harmonikleri azaltma gibi çalışmalar yapılmıştır [15]. Karakteristiklerin üstesinden gelmek için, kayan kipli denetleyici, şebekeye bağlı akım ve şebeke gerilimi arasındaki senkronizasyonu sağlamak ve şebekeye bağlı akımın dalga şeklini denetlemek için kullanılır ve kayma yüzeyi PI yöntemine göre tasarlanmıştır. Sabit anahtarlama frekansını elde etmek için modülatör önerilmiştir. Simülasyon sonuçları, sistemin iyi bir performans gösterdiğini ve sistemin uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Fotovoltaik sistemlerin maksimum güç noktası takibi, güç üretimini arttırmak için mümkün olduğu kadar hızlı ve doğru olmalıdır. Tek bir denetim aşaması kullanarak şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde hızlı ve doğru bir maksimum güç takibi sağlamak için kayan kipli denetleyici yöntemi önerilmiştir ve matematiksel olarak analiz edilmiştir [18]. Bu yaklaşım, fotovoltaik sistem çalışmasını optimize etmek için kullanılan klasik kaskad denetleyicilerin tasarımındaki dairesel bağımlılığı önler ve aynı zamanda denetleyici sayısını azaltır. Tüm çalışma aralığında kararlılığı sağlamak için lineerleştirilmiş modellerin kullanılmasından kaçınılır. Böylece sistem maliyeti ve uygulama karmaşıklığı azalır. Önerilen yöntemin

performansı hem çevresel hem de yük bozulmalarını hesaba katan güç elektroniği simülöründe yürütölen ayrıntılı simölasyonlar kullanılarak doğrulanmıştır.

Maksimum güç noktasının izlenebilmesi, fotovoltaiik sistemlerin çalışmasına büyük ilgi arttırmıştır. Sıcaklık ve ışınım koşullarına bağlı olan fotovoltaiik akım-gerilim özelliklerinin doğrusal olmaması nedeniyle zordur. DA-DA dönüştürücü için tasarlanan iki farklı adımda MPPT tabanlı kayan kipli denetleyici incelenmiştir [22]. Önerilen denetleyici yönetiminin sağlamlığı hızla değişen güneş ışınımı altında test edilmiştir. Kayan kipli denetleyici tabanlı MPPT, bozulma ve gözlemlerle yöntemi ile artımlı iletkenlik yöntemi ile karşılaştırılır. Simulink ortamında simüle edilen sistemin DS1104 Ar-Ge kontrol panosundaki uygulamaları yapılır. Simölasyon ve deneysel sonuçlar denetim yönteminin farklı çalışma koşullarında fotovoltaiik sistemin tepe gücünü en iyi performansla takip edebildiğini göstermektedir.

Geri adımlamalı denetleyici için yararlanılan kaynaklardaki çalışmalar özetlenmiştir.

Bir adaptasyon devresi ve LCL filtresi aracılığıyla fotovoltaiik sisteme bağlı tek fazlı şebekenin doğrusal olmayan denetimini sunmaktadır [37],[39]. Denetim amacı, üç yönlüdür i) DA gerilimini istenen değere ayarlamak, (ii) sinüzoidal formda bir akım sağlamak ve DA / AA dönüştürücüsünü denetleyerek şebeke gerilimi ile fazda olmasını sağlamak, iii) DA/DA dönüştürücüsüne MPPT basarak fotovoltaiik dizisinden maksimum güç elde etmek. Tüm sistem 5. dereceden lineer olmayan matematiksel model ile tanımlanmış ve geri adımlamalı denetim tekniği ve araçları Lyapunov fonksiyonu ile denetlenmiştir. Simölasyon sonuçları, Matlab / Simulink ortamı ile yapılmıştır ve tasarlanmış denetim sisteminin amacına uygun olduğu gösterilmiştir.

Geleneksel olarak sorunlu elektrolitik kondansatör olmadan, aynı anda yüksek nominal ve oldukça güvenilir, akım beslemeli bir mikro dönüştürücü önerilmektedir [40]. Maksimum denetim noktası ve DA-AA güç denetimini garanti eden iki farklı denetim sistemi, her denetim sisteminin güç kalitesi, verimlilik, çalışma süresi ve atmosferik veya şebeke değişimlerine karşı dinamik tepki performansı açısından değerlendirmek için uygulanır ve karşılaştırılır. İlk denetleyici sistemi, doğrusal olmayan sistemi dengelemek ve denetlemek için doğrusal denetim yasalarını kullanır ve karşılaştırma için referans olarak kullanılır. İkinci denetleyici sistemi, Lyapunov'un ikinci yasasına dayanan doğrusal olmayan denetim tekniklerini kullanır: geri

adımlamalı denetleyici tasarımı ve geri adımlamalı denetleyici tasarımı komut filtreleme.

Tek fazlı şebekeye bağlı fotovoltaik (PV) sistemi denetleme problemi göz önünde bulundurulur [45]. Denetim hedefi dört yönlüdür: (i) kapalı devre sisteminin asimptotik kararlılığı, (ii) Fotovoltaik modülünün maksimum güç noktası takibi (MPPT) (iii) DA bara geriliminin düzenlenmesi ve (iv) güç faktörü (PF). Tüm denetlenen sistemin ortalama bir doğrusal olmayan modeline dayanan geri adımlamalı tasarım tekniği kullanılarak bir doğrusal olmayan denetleyici geliştirilmiştir. Model, bir yandan, alta yatan güçlendirme dönüştürücüsünün ve invertörün doğrusal olmayan dinamiklerini ve diğer yandan fotovoltaik panelin doğrusal olmayan karakteristiğini açıklar. Önerilen denetleyicinin teorik analiz ve simülasyon sonuçları aracılığıyla, teklif edilen denetleyicinin hedeflerine ulaştığı resmen gösterilmiştir.

Amaç, fotovoltaik tek fazlı şebekeye bağlı sistem için uygun bir denetleyici sistemi tasarlamak için doğrusal olmayan bir yaklaşım sunmaktır [46]. Sistem yapısı, bir şebeke jeneratörü ile bağlanmış bir fotovoltaik jeneratör, DA-DA dönüştürücü ve DA-AA dönüştürücü içerir. DA bara gerilimini düzenlemek ve maksimum güç noktasına ulaşmak, güç faktörü elde etmek için şebekede şebeke gerilimi ile sinüzoidal bir akım oluşturmak için bir geri adımlamalı denetleyici geliştirilmiştir. Denetleyici algoritmasının kararlılığı, Lyapunov analiz araçları ile gösterilmiştir. Simülasyonlar, önerilen denetleyici sisteminin atmosferik koşullar değişimlerinde bile listelenen amaçları tamamen yerine getirdiğini göstermektedir. Önerilen denetleyicinin performansı MATLAB SIMULINK' teki sayısal simülasyonla doğrulanmıştır.

Verimliliğini artırmak için fotovoltaik sistemler için maksimum güç noktası izleyicisine sahip olmak çok önemlidir. Dönüştürücü tabanlı maksimum güç noktası takibi, sinir ağı ile birlikte sağlam geri adımlamalı denetleyici ile izlenir [48]. Yapay sinir ağı geri adımlamalı denetleyiciye çıkış referansı fotovoltaik gerilimini sağlar. Sinir ağı, sağlam çevresel koşullar altında bağımsız bir fotovoltaik sistem için kullanılır. Geleneksel güneş dizi matematik modelinin aksine, sinir ağı, modellerin fiziksel verilerini gerektirmeden doğrusal olmayan modelleri üretmek için üstün bir potansiyele sahip olduğundan, modelleme için herhangi bir fiziksel veri gerektirmez. Bu yazıda, fotovoltaik modülün maksimum güç noktası, gerçek bir fotovoltaik diziden toplanan rastgele bir veri kümesi kullanılarak yapılan, simülasyonla eğitilmiş

geri adımlamalı denetleyicili sinir ağı ile öngörülmüştür. Geri adımlamalı denetleyicili sinir ağı tabanlı fotovoltaiik sistemi MATLAB / Simulink'te modellenmiştir. Farklı atmosfer koşullarında, geliştirilen model simüle edilir. fotovoltaiik sisteminin simülasyon sonuçları, önerilen dönüştürücü tabanlı denetleyiciyle maksimum gücün doğru ve başarılı bir şekilde izlendiğini göstermektedir.

Fotovoltaiik sistemden maksimum gücü çıkarmak için DA gerilimi ve şebekeye enjekte edilen güç miktarını denetlemek ve akımı düzenlemek için doğrusal olmayan bir denetleyici algoritması sunulmaktadır [49]. Denetleyici, sistemin parametrelerini tamamen bilinmediği göz önüne alarak uyarlamalı bir geri adımlamalı denetleyici tekniği kullanılarak tasarlanmıştır. Şebekeye güç enjeksiyonunun denetimi, sırasıyla aktif ve reaktif gücü denetlemek için dönüştürücünün çıkış akımının aktif ve reaktif bileşenlerinin düzenlenmesini gerektirir. Önerilen denetleyici, şebekeye bağlı fotovoltaiik sistemlerin bilinmeyen parametrelerine uyarlanır ve bu parametreler, fotovoltaiik sistemden maksimum gücün çıkarılmasını garanti ederken ve şebekeye uygun aktif ve reaktif güç sağlarken, uyarlama yasalarıyla tahmin edilir. Tüm sistemin genel kararlılığı, Lyapunov fonksiyonlarının formülasyonuna dayanarak analiz edilir. Son olarak, tasarlanan denetleyicinin performansı, değişen çevresel koşullar altında üç fazlı şebekeye bağlı bir fotovoltaiik sistemde test edilir ve sonuç, güç kalitesini iyileştirmek için mevcut bir geri adımlamalı denetleyici ile karşılaştırılır. Simülasyon sonuçları, değişen atmosfer koşullarında önerilen programın sağlamlığını göstermektedir

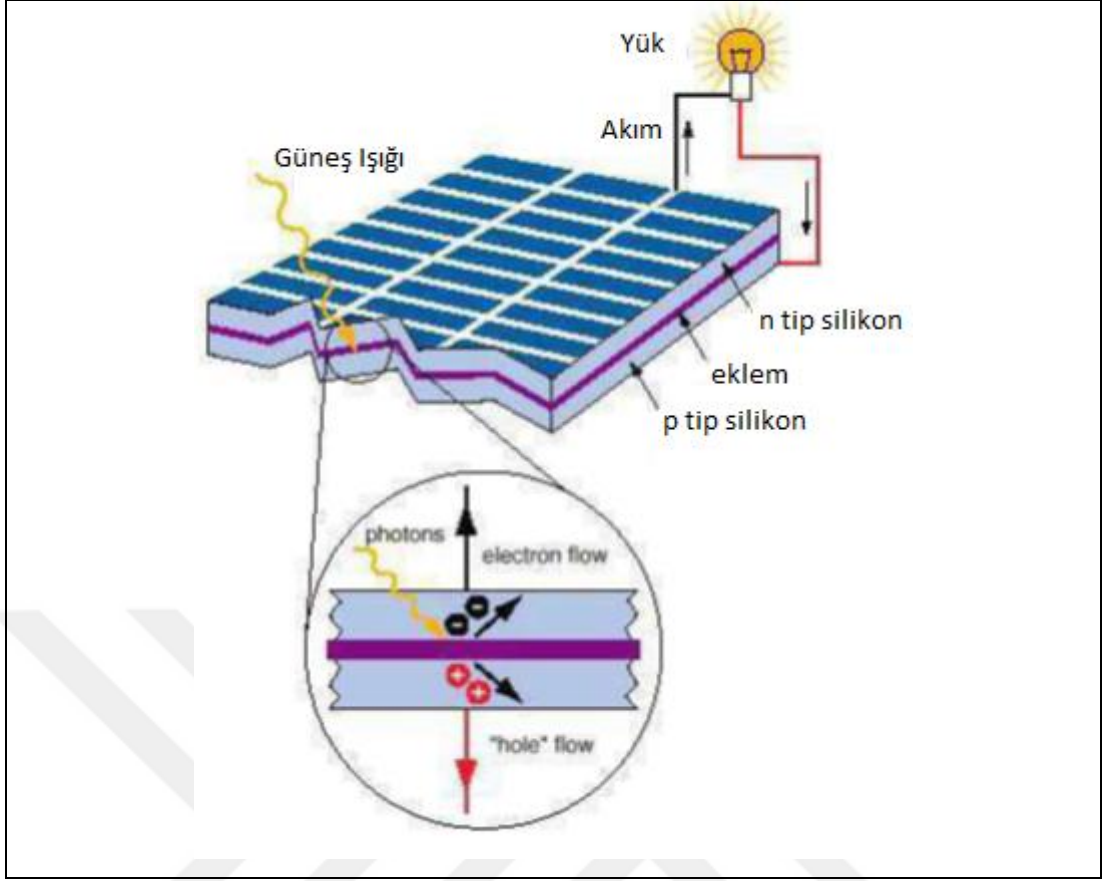
2. FOTOVOLTAİK SİSTEM

2.1. PV Sistem

Bir veya birden fazla panelin oluşturduğu fotovoltaik sistem, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Fotovoltaik sistem, fotovoltaik modüllerin yanı sıra mekanik ve elektriksel bağlantı ve montajlarını, sistemin çıkışını regüle eden komponentlerden oluşur.

2.1.1. PV Hücresi

PV hücresi silikon gibi yarı iletken malzemelerden yapılır. Güneş pilleri için bir tarafta pozitif bir tarafta negatif olan bir elektrik alanı oluşturmak için özel olarak ince bir yarı iletken yonga plakası işlenir. Işık enerjisi güneş piline çarptığında elektronlar yarı iletken malzemedeki atomlardan çekilir. Elektrik iletkenleri pozitif ve negatif taraflara bağlanırsa, elektrik devresini oluşturur, elektronlar bir elektrik akımı yani elektrik şeklinde yakalanabilir. Bu elektrik daha sonra bir yüke güç vermek için kullanılabilir. Bir PV hücresi kare ya da dairesel olabilir [5]-[6]. Şekil 2.1' de [6] bir PV hücresinin temel yapısı gösterilmiştir.



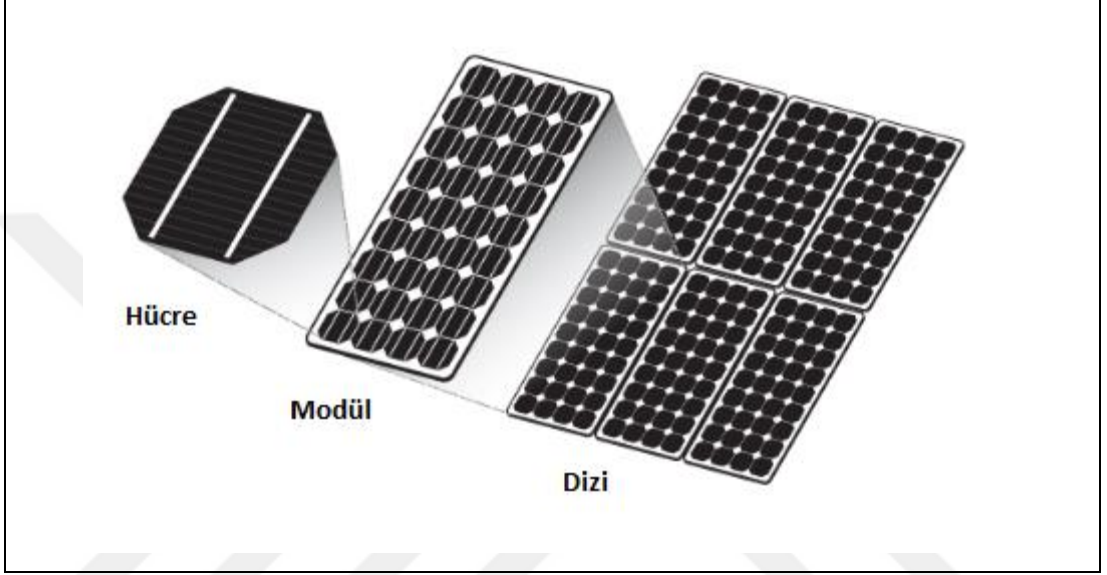
Şekil 2.1: PV hücresinin temel yapısı.

2.1.2. PV Modülü

Bir PV hücresinde üretilen gerilimin düşük olması nedeniyle, birkaç PV hücresi istenilen çıkış için bir PV modülü oluşturmak üzere seri (yüksek gerilim için) ve paralel (yüksek akım için) olarak bağlanır. Kısmi veya tam gölgeleme durumunda ve geceleri ters akımları önlemek için ayrı diyotlar gerekebilir. Mono kristal silikon hücrelerin p-n birleşimleri yeterli ters akım karakteristiğine sahip olabilir ve ayrı diyotlar gerekli değildir. Ters akımlar güç harcanmasına neden olur ve gölgede kalan hücrelerin aşırı ısınmasına neden olabilir. Güneş hücrelerinin yüksek sıcaklıklarda verimliliği düşüktür. Bu nedenle kurulum yapılırken güneş panellerinin arkasında iyi bir havalandırma sağlanırlmaya çalışılır.

2.1.3. PV Dizisi

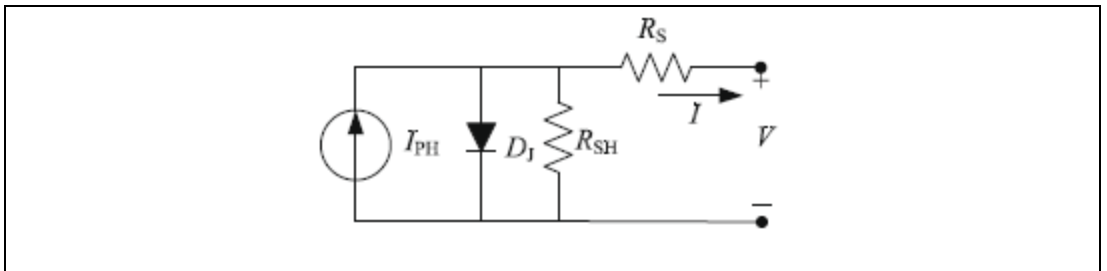
İstenilen gerilim ve akım değerini elde etmek için PV modülleri seri ve paralel olarak bağlanır. PV modüllerinin bu şekilde oluşturduğu yapıya PV dizisi adı verilir. Modüler bir yapıda olması ile birlikte çok çeşitli elektrik gereksinimlerini karşılayabilecek güneş enerjisi sistemleri oluşturmalarını sağlar.



Şekil 2.2: PV hücresi, modülü ve dizisi.

2.2. PV Hücrelerin Matematiksel Olarak İfade Edilmesi

Bir hücresi için I-V çıkış karakteristiğinin genel bir matematiksel tanımlaması yapılmıştır. Eşdeğer devre modeli Şekil 2.3'te [29] gösterilmiştir. Model bir foto akımı, bir diyot, kaçak bir akımı ifade eden paralel bir direnç ve mevcut akışa iç direnci tanımlayan bir seri dirençten oluşur.



Şekil 2.3: Genel eşdeğer devre modeli.

I-V karakteristik denklemi, (2.1) numaralı denklemde verilmiştir. I_{PH} ışık tarafından üretilen bir akım veya foto-akım, I_S karanlık akımın hücre doygunluğu, q elektron yükü (1.6×10^{-19} °C), k Boltzmann sabiti (1.38×10^{-23} J/K), T_C hücrenin Kelvin'deki çalışma sıcaklığı, A ideal faktör, R_{SH} şönt direnci ve R_S seri dirençtir [1]-[22], [29]. İdeal faktör (A) Tablo 2.1' de [29] verilen veriler kullanılmıştır.

$$I = I_{PH} - I_S \left[\exp\left(\frac{q}{kT_C A} (V + IR)\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_{SH}} \quad (2.1)$$

Fotovoltaik akımın esas olarak izolasyon yoğunluğuna ve hücrenin çalışma sıcaklığına bağlı olduğunu gösteren denklem aşağıdaki gibidir.

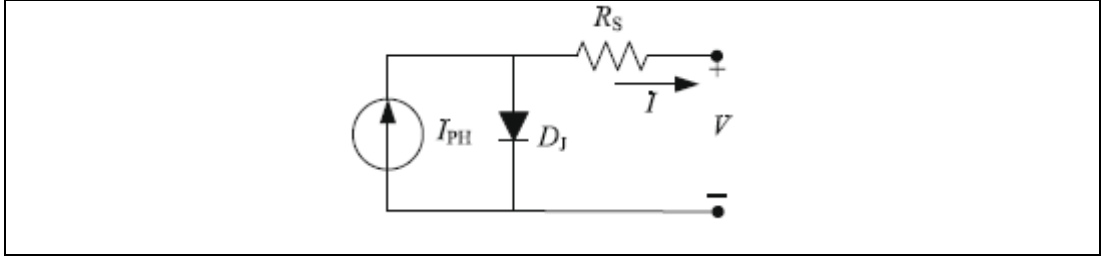
$$I_{PH} = [I_{SC} + K_I (T_C - T_{Ref})] \lambda \quad (2.2)$$

I_{SC} , hücrenin 25 °C ve 1 kW/m² deki güneş enerjisi yalıtımındaki kısa devre akımı, K_I hücrenin kısa devre akım sıcaklık katsayısı, T_{Ref} hücrenin referans sıcaklığı ve λ kW/m² cinsinden güneş enerjisi yalıtımıdır.

Öte yandan hücrenin doyma akımı hücre sıcaklığına göre değişir. (2.3) numaralı eşitlikte ilgili denklem belirtilmiştir. I_{RS} hücrenin bir referans sıcaklığındaki ve güneş radyasyonu olduğu durumdaki ters doygunluk akımı E_G hücrede kullanılan yarıiletkenlerin patlama boşluğu enerjisidir [1]-[22], [29].

$$I_S = I_{RS} \left(\frac{T_C}{T_{Ref}} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_G}{kA} \left(\frac{1}{T_{Ref}} - \frac{1}{T_C} \right) \right] \quad (2.3)$$

Şönt direnci R_{SH} , yere giden şönt kaçak akımla ters orantılıdır. Genel olarak, PV verimliliği, kaçak akım olmadan sonsuzluğa yaklaştığı varsayılabilir R_{SH} 'deki varyasyona duyarlıdır. Öte yandan, R_S 'deki küçük bir değişiklik P - V çıkış gücünü önemli ölçüde etkiler. Uygun karmaşıklığa sahip uygun PV güneş pili modeli, Şekil 2.4' te [29] gösterilmiştir [1]-[22], [29].

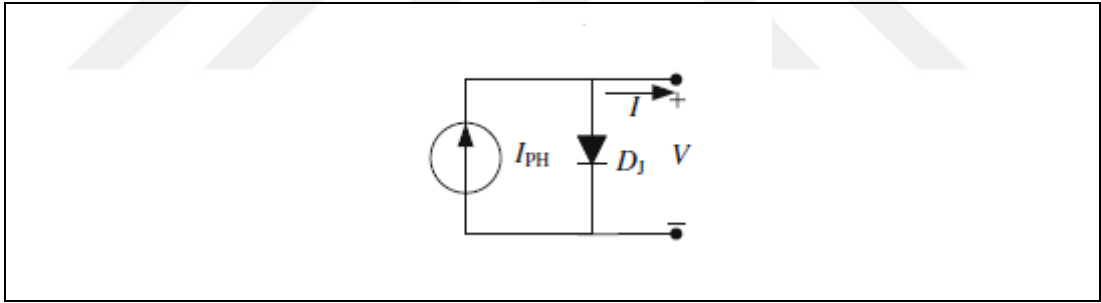


Şekil 2.4: Uygun eşdeğer devre modeli.

Bu durumda denklem (2.1) tekrar düzenlenirse,

$$I = I_{PH} - I_S \left[\exp\left(\frac{q}{kT_C A}(V + IR_S)\right) - 1 \right] \quad (2.4)$$

İdeal bir PV hücresi için seri kaybı veya kaçak akım yoktur, yani $R_S=0$ ve $R_{SH}=\infty$. Bu durumda PV güneş pilinin eşdeğer devresi Şekil 2.5’ te olduğu gibidir [1]-[22], [29].



Şekil 2.5: Basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli [29].

Bu durumda denklem (2.1) basitleştirilirse,

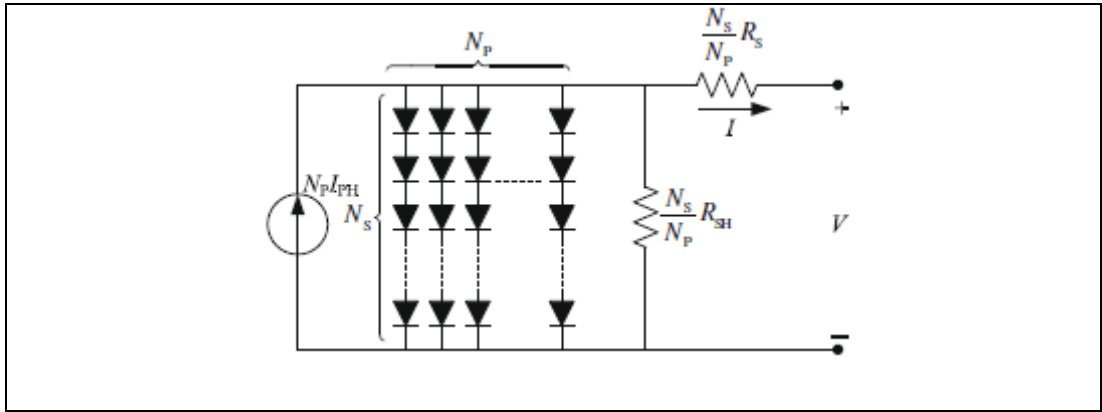
$$I = I_{PH} - I_S \left[\exp\left(\frac{q}{kT_C A} V - 1\right) \right] \quad (2.5)$$

Tablo 2.1: İdeal Faktör A'nın PV Teknolojine Bağımlılığı.

Teknoloji	A
Si-mono	1.2
Si-poly	1.3
a-Si:H	1.8
a-Si:H tandem	3.3
a-Si:H triple	5
CdTe	1.5
CIS	1.5
AsGa	1.3

2.3. PV Modül ve Dizisinin Matematiksel Olarak İfade Edilmesi

Genel olarak, tipik bir PV hücresinin güç çıkışı, 0,5 V çıkış geriliminde 2 W'den azdır. Bu nedenle, PV hücreleri yeterince yüksek çıkış gücü ve gerilimi elde etmek için seri/paralel konfigürasyon modülüne bağlanır. Bir PV dizisi, gerekli akım ve gerilimi üretmek için seri ve paralel devrelere elektriksel olarak bağlanmış birkaç PV modülünden oluşan bir gruptur. N_p paralel ve N_s serisinin olduğu solar modül için eşdeğer devre Şekil 2.6' da [29] olduğu gibidir [1]-[22], [29].

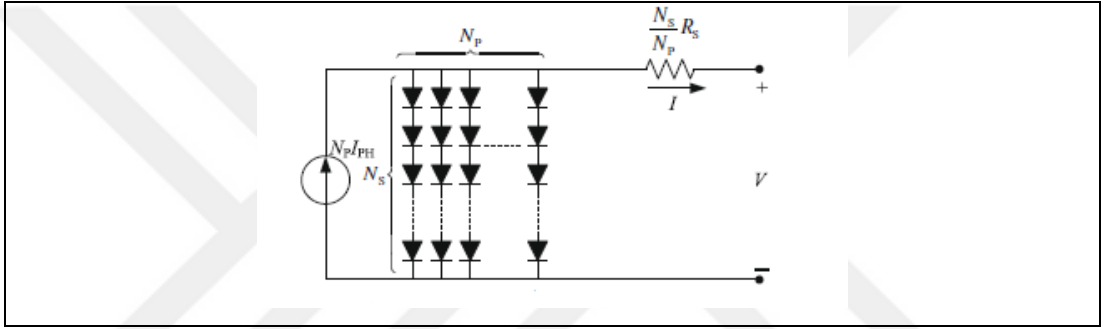


Şekil 2.6: Genel eşdeğer devre modeli.

PV hücre dizisinin akım ve gerilim denklemi (2.6) numaralı denklemde verildiği gibidir.

$$I = N_p I_{PH} - N_p I_s \left[\exp \left(\frac{q}{kT_c A} \left(\frac{V}{N_s} + I \frac{R_s}{N_p} \right) \right) - 1 \right] - \frac{\frac{N_p}{N_s} V + I R_s}{R_{SH}} \quad (2.6)$$

Aslında, PV verimliliği R_s 'deki küçük değişimlere duyarlıdır, ancak R_{SH} 'deki değişkenliğe duyarsızdır. Bir PV modülü veya dizisi için, seri direnç önemlidir ve şönt direnci açık devre olduğu varsayılarak sonsuzluğa yaklaşır. Böylelikle PV hücresi, modül ve dizi için uygun bir eşdeğer devre geliştirilebilir. Genelleştirilen devre Şekil 2.7' de [29] gösterildiği gibidir. Bir PV hücresi için $N_s = N_p = 1$ olduğu gösterilebilir [1]-[22], [29].

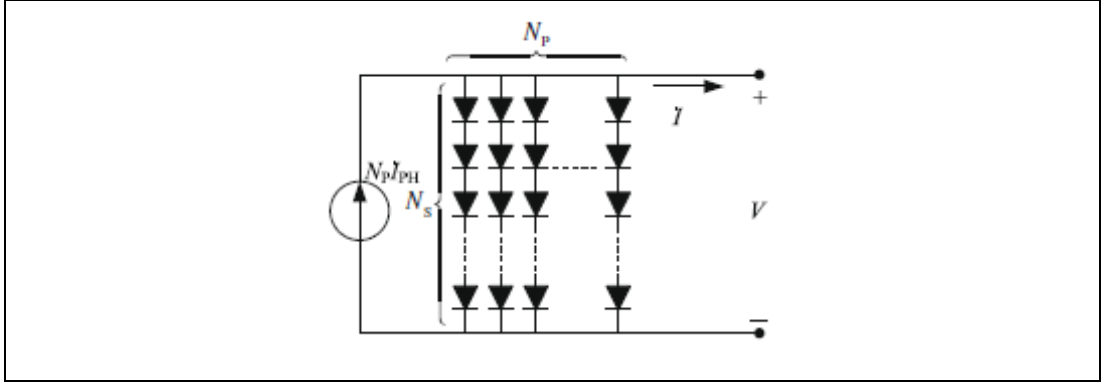


Şekil 2.7: Uygun eşdeğer devre modeli.

(2.6) numaralı denklem tekrar düzenlenirse,

$$I = N_p I_{PH} - N_p I_s \left[\exp \left(\frac{q}{kT_c A} \left(\frac{V}{N_s} + I \frac{R_s}{N_p} \right) \right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

En basitleştirilmiş devre modeli Şekil 2.8' de [29] verildiği gibidir.



Şekil 2.8: Basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli.

Bu durumda basitleştirilmiş devrenin matematiksel ifadesi,

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{kT_C A N_s} - 1\right) \right] \quad (2.8)$$

Olarak verilir.

2.4. Güneş Işığının Yoğunluğunun Hücre Sıcaklığına Etkisi

PV hücresi, fotovoltaik potansiyelin bir bölümünü doğrudan elektriğe dönüştürür. Bununla birlikte, fotonun kalan gücü, hücrenin ısınmasına ve hücrenin sıcaklığının yükselmesine neden olacaktır. Bu nedenle, hücrenin ortam sıcaklığının üzerinde çalışması beklenebilir ve hücre sıcaklığı ortam sıcaklığının ve güneş ışığının şiddetinin bir fonksiyonudur. PV hücreleri modüllere monte edilirken, modüller genellikle metal üzerine yerleştirilir ve daha sonra yansımaya ve mekanik koruma için özel bir laminantın minimize edilmesi için yansımaya önleyici kaplama ile kaplanır. Absorbe edilmiş güneş ışığının oranı elektriğe dönüştürülmez ve genel hücre sıcaklığının güneş enerjisi yalıtımı ile değişmesini sağlar.

Hücre çalışma sıcaklığının değişimi kantitatif olarak değerlendirilebilir ve doğrusal bir yaklaşımla (2.9) numaralı denklem yardımı ile tahmin edilebilir.

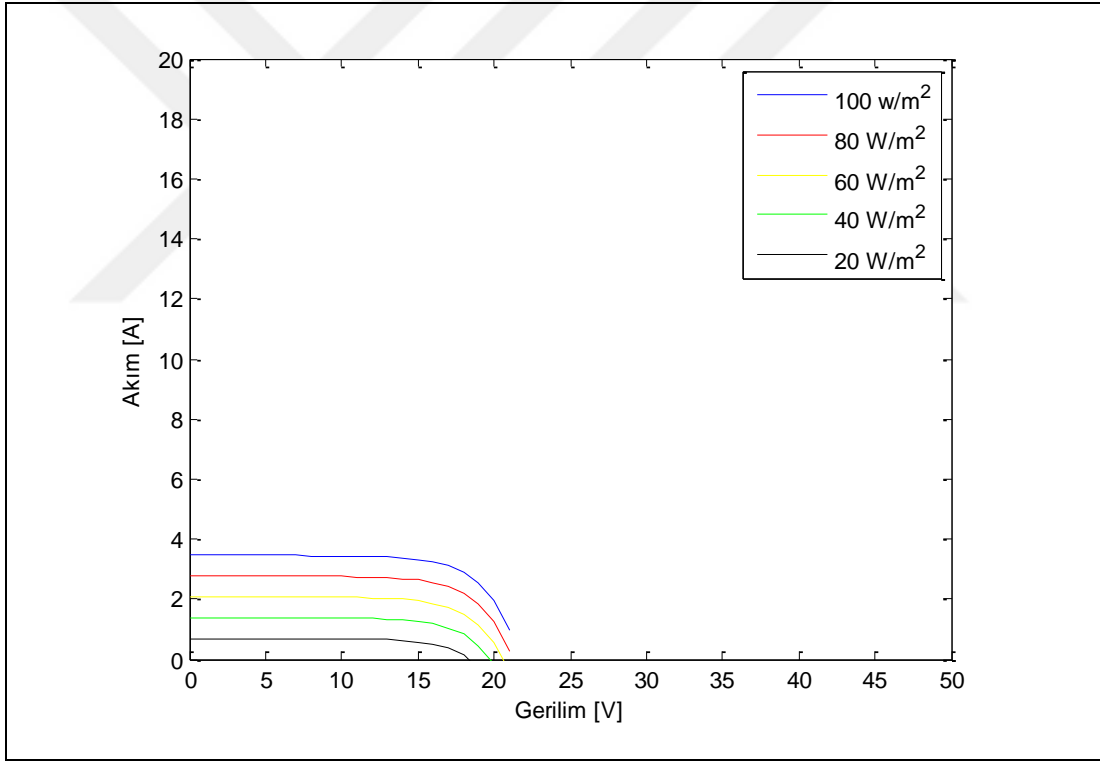
$$T_C = T_{Amb} + \left(\frac{T_{NOCT} - 20}{0.8} \right) \lambda \quad (2.9)$$

Burada, T_{Amb} ortam sıcaklığı, T_{NOCT} aşağıda verilen koşullarda açık devrede çalışmak için nominal çalışma hücresi sıcaklığıdır (NOCT).

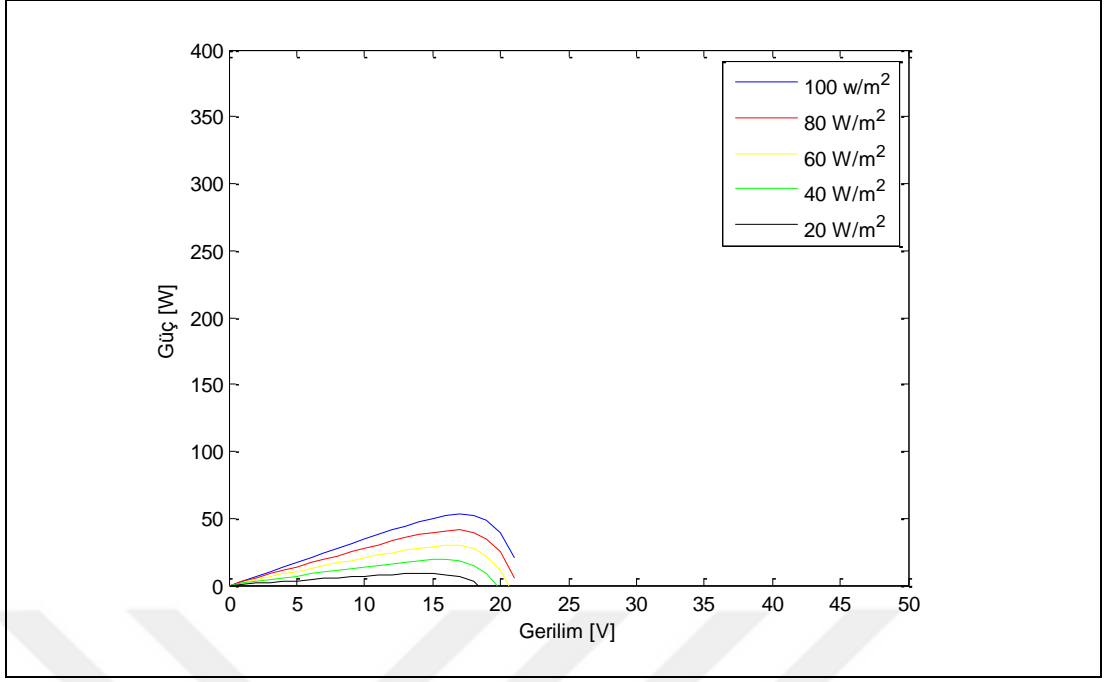
Ortam sıcaklığı 20 °C, 1.5 ışınım, $\lambda=0.8$ kW/m² ve rüzgar hızı 1 m/s den düşüktür.

2.5. PV Dizisinin Simülasyon Grafikleri

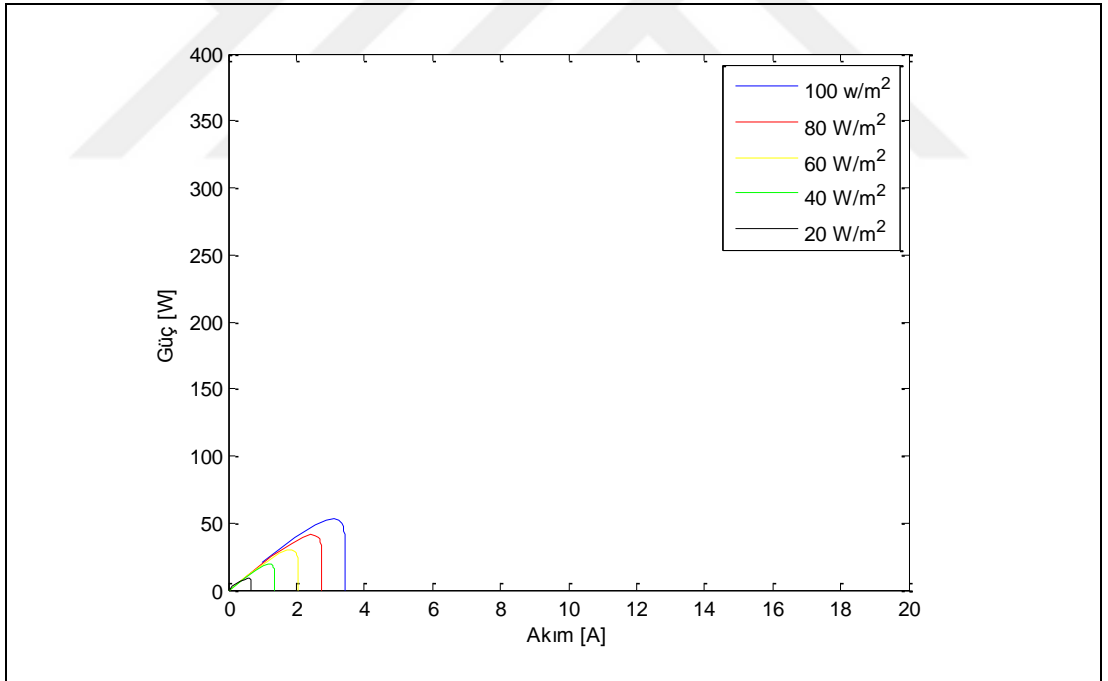
PV hücresinin elektriksel özellikleri temel olarak hücre tarafından alınan ışınım ve hücre sıcaklığına bağlıdır. PV hücresinin sabit sıcaklık ve farklı ışınım seviyelerinde gerilim-akım, gerilim-güç ve akım-güç grafikleri Şekil 2.9, Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’ de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.9: PV hücresinin gerilim-akım grafiği.



Şekil 2.10: PV hücresinin gerilim-güç grafiği.

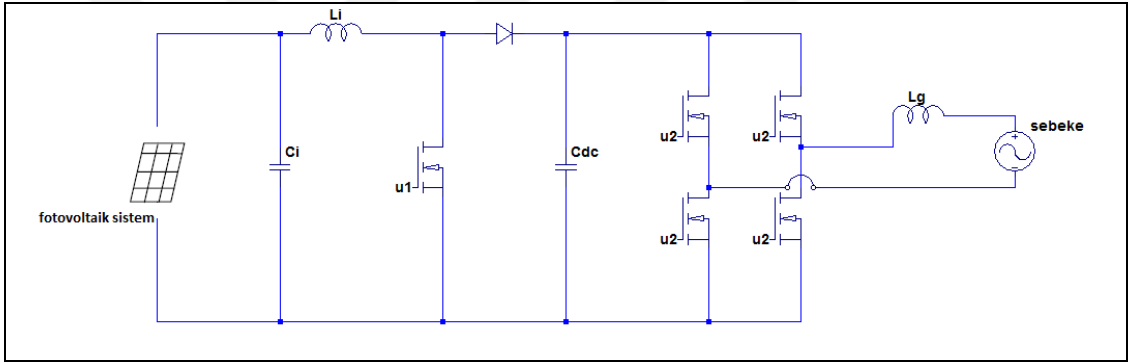


Şekil 2.11: PV hücresinin akım-güç grafiği.

3.TOPOLOJİ VE MATEMATİKSEL MODEL

3.1. Sistemin Matematiksel Modeli

Tek fazlı şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin konfigürasyonu Şekil 3.1’ te gösterilmiştir. Sistem, bir fotovoltaik dizisi, bir giriş kondansatöründen C_i , fotovoltaik dizisinin gerilimini arttırmak MPPT’ ye ulaşmasını sağlamak için bir boost dönüştürücü, bir DA yük kapasitesi C_{dc} , DA giriş gerilimini AA gerilime dönüştüren filtre görevini gören indüktör L_g ile birlikte tek fazlı tam dalga köprü inverterini içermektedir. u_1 ve u_2 anahtarlama sinyalleri vasıtasıyla, dönüştürücü tarafından çıkış akımı ile şebeke gerilimi e_g 'nin aynı fazda olup olmadığı denetlenir ve güç faktörü elde edilir.



Şekil 3.1: Tek fazlı şebekeye bağlı PV sistemin tipik konfigürasyonu.

Sistemde kullanılan PV dizisi için “Fotovoltaik Sistem” başlıklı konu içerisinde ilgili matematiksel modeller verilmiştir. Bu çalışma kapsamında ele alınan PV dizisi modülü 36 seri bağlı mono kristal hücreyi içeren SM55 türüdür. Diziye ait elektriksel özellikler tablo 3.1’ de verilmiştir.

Tablo 3.1: SM55 PV modülüne ait elektriksel özellikler.

Parametre	Sembol	Değer
Max. Güç	P_m	55 (W)
Kısa Devre Akımı	I_{scr}	3,45 (A)
Açık Devre Gerilimi	V_{oc}	21,7 (A)
Max. Güç Gerilimi	V_m	17,4 (V)
Max. Güç Akımı	I_m	3,15 (A)
Paralel Modül Sayısı	N_p	1
Seri Modül Sayısı	N_s	36

Sistemde kullanılan dönüştürücü boost dönüştürücüdür. Fotovoltaik sistemlerde DA-DA dönüştürücüler, güneş pilleri ile maksimum güç noktasını takip eden yük arasında bir ara ürün olarak kullanılır. DA-DA dönüştürücüler için farklı topolojiler ve farklı tasarım yaklaşımları kullanılabilir. Bu çalışmada boost dönüştürücü kullanılmıştır [2], [11], [14], [21], [34].

Boost dönüştürücüler ile giriş geriliminden daha yüksek çıkış gerilimi elde edilir. fotovoltaik gerilimi yetersiz olduğunda boost dönüştürücü kullanılarak, fotovoltaik gerilimi yükseltilebilir. Boost dönüştürücünün basit devre tasarımı Şekil 3.1' de gösterildiği gibidir.

Boost dönüştürücü, bir indüktör, bir kontrollü anahtar (MOSFET, BJT), bir diyot ve bir çıkış kapasitesi yardımı ile fotovoltaik dizisinden yüke enerji sağlar. Çıkış gerilimi kontrollü anahtarın doluluk oranına bağlıdır.

Sistemde kullanılan inverter ise, tek fazlı tam dalga köprü inverterdir. İnverterler doğru akımı alternatif akıma çeviren dönüştürücülerdir. Girişindeki doğru gerilimi çıkışında istenen genlik ve frekansta simetrik bir alternatif gerilime dönüştürmektedir. Bu çalışmada tek fazlı tam dalga köprü inverter kullanılmıştır.

İki ayrı yarım dalga köprü inverteri, tam dalga köprü inverterini oluşturur. Tam dalga köprü topolojisi ile iki veya üç seviyeli çıkış elde etmek mümkündür. Aynı zamanda H köprüsü olarak da adlandırılmaktadır. Çıkış gerilimini oluşturmak için 4 anahtarlama elemanı kullanılmaktadır.

Sistemde kullanılan diğer elemanlara ait elektriksel özellikler tablo 3.2'de verildiği gibidir.

Tablo 3.2: Denetlenen sistemin elektriksel özellikleri.

Parametre	Sembol	Değer
Boost Dönüştürücü	C_i	47 (mF)
Boost Dönüştürücü	L_i	3.5 (mH)
Boost Dönüştürücü	r_i	0.65 (ohm)
DC Yük Kapasitesi	C_{dc}	4.7 (mF)
Şebeke Filtre İndüktörü	L_g	2.2 (mH)
Şebeke Filtre İndüktörü	r_g	0.47 (ohm)
Şebeke	Trofo Oranı	22:220
Şebeke	AC Kaynak	220 (V)
Şebeke	Frekans	50 (Hz)

3.1.1. Genel Sistemin Matematiksel Modeli

Boost dönüştürücü ve inverter için u_1 ve u_2 denetleyici sinyalleri 0, 1 değerlerini alan PWM sinyalleridir. Bu sinyaller bir periyottan diğer periyoda değişebilir ve varyasyonları durum değişkenlerinin yörüngelerini değiştirebilir.

Kirchoff yasaları uygulandığında aşağıda verilen matematiksel model elde edilir [21]. Durum değişkenleri ve giriş sinyalleri içermesi nedeniyle matematiksel model doğrusal değildir.

$$C_i \dot{x}_1 = -x_2 + \bar{i}_p \quad (3.10)$$

$$L_i \dot{x}_2 = -(1-u_1)x_3 - r_i x_2 + x_1 \quad (3.11)$$

$$C_{dc} \dot{x}_3 = (1-u_1)x_2 + (1-2u_2)x_4 \quad (3.12)$$

$$L_g \dot{x}_4 = -(1-2u_2)x_3 - r_g x_4 - \bar{e}_g \quad (3.13)$$

Burada kullanılan değişkenlere ait açıklama tablo 3.3' te verilmiştir.

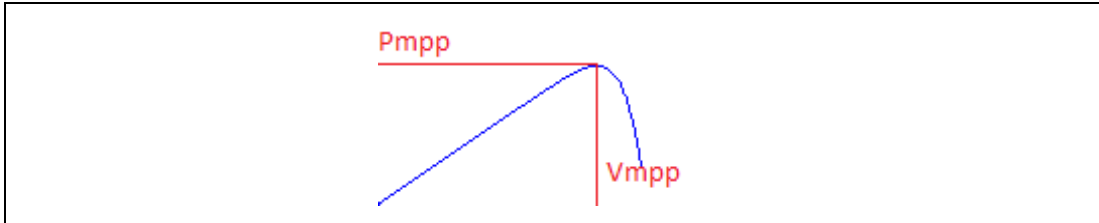
Tablo 3.3: Matematiksel model değişkenleri.

Değer	Sembol
PV gerilimi v_p	x_1
Kapasite akımı i_{C_i}	x_2
DC bara gerilimi V_{dc}	x_3
Şebeke akımı i_g	x_4
PV akımı i_p	i_p
Boost dönüştürücü denetleyici sinyali u_1	u_1
İnverter denetleyici sinyali u_2	u_2

Burada, r_i giriş indüktansı L_i nin eşdeğer seri direnci (ESR), r_g çıkış filtresi L_g nin eşdeğer seri direncidir. u_1 ve u_2 , $[0,1]$ aralığında sürekli değişen sinyallerdir.

3.2. MPPT

Maksimum güç noktası izleme (MPPT) yöntemi, PV sistemlerin akım ve gerilim değerlerini izleyen bir tekniktir. Şekil 3.6' da gösterilen PV dizisi güç eğrisinde eğimin sıfır olduğu $dP/dV=0$ noktası maksimum güç noktası (MPP) olarak isimlendirilir. Maksimum güç noktasının x eksenine izdüşümü V_{mpp} , y eksenine izdüşümü ise P_{mpp} olarak ifade edilir.



Şekil 3.2: PV dizisi güç eğrisi.

Güneş ışınlarının gün içerisinde yeryüzüne düşme açısı sürekli değiştiği için fotovoltaik hücrelerin absorbe ettiği ışın miktarı da değişecektir. Dolayısıyla elde edilen enerji farklı olacaktır. Sistemin kararlı bir şekilde çalışabilmesi için sürekli değişen güç dengesi direkt olarak yüke verilmez. Bu elde edilen değerlerin evrilmesi ve verimli hale getirilmesi gerekmektedir. Bu anda MPPT devreye girerek, farklı zaman aralıklarında elde edilen verilerin en yüksek olduğu anları denetleyerek gerekli işlemleri yapar.

4. DENETLEYİCİ TASARIMI

4.1. Kayma Kipli Denetleyici

Kayma kipli denetleyici, değişken yapılı sistemler kuramının bir alt sınıfı olarak ortaya çıkarılmıştır. Doğrusal olmayan geri besleme ile önceden belirlenmiş olan bir kayma yüzeyi üzerinde, zamanda sürekli olmayan bir anahtarlama yapılarak elde edilen, yüksek hızlı, doğrusal olmayan, son derece dayanıklı bir denetim yöntemidir. Kullanımının kolay olması, dış bozucu etkenlere ve parametre belirsizliklerine çözüm oluşturması nedeni ile kullanılması tercih sebebidir [23]-[28].

Kayma kipli denetleyici tasarımı iki aşamada gerçekleştirilir;

- Kararlı bir kayma yüzeyinin belirlenmesi,
- Sistemi herhangi bir başlangıç noktasından kayma yüzeyine getirip, kayma yüzeyi üzerinde kalmasını sağlayacak denetleyici işaretinin belirlenmesi [24], [27].

Kayma kipli denetleyici kullanılan bir sistemde faz yörüngesi iki tip davranış gösterir;

- İdeal yörünge,
- Gerçeklenebilir yörünge.

Herhangi bir başlangıç noktasından başlayan sistem yörüngeleri kayma yüzeyine ulaşmaya çalışır. Kayma yüzeyine ulaşmak için geçen bu süre ulaşma zamanı olarak adlandırılır. Aynı zamanda faz yörüngesinin bu kısmı ulaşma kipi olarak isimlendirilir. Sistem ulaşma kipinde dış bozuculara ve parametre belirsizliklerine duyarlıdır. Kayma yüzeyine ulaşıldığında zaman kayma kipi başlar ve yörüngeler dış bozucu etkenlere ve parametre belirsizliklerine karşı duyarsızdır [23]-[28].

Kayma kipinin özellikleri:

- Kayma kipi sistem yörüngelerinden bağımsızdır [27].
- Kayma kipi yörüngesi, sistemin mertebesinde düşük boyutlu kayma yüzeyi ile sağlanabilir. Bu durum bağlanmış sistemleri birbirinden ayırma ve basitleştirmeye olanak tanır [27].

- Bir kümenin içinden seçilen başlangıç durumu için herhangi bir sistem yörüngesi tüm zamanlarda yine o küme içinde kalıyorsa, o kümeye değişimsiz küme denir. Yani değişken yapılı denetim sistemine ait kayma kipi, dış bozucu etkenlerden etkilenmiyorsa kayma kipi dış bozucu etkenlere değişimsizdir. Gürbüzlük, uyarlanırlık özelliklerinin yanı sıra değişimsizlik özelliği daha güçlü bir özelliktir. Diğer özelliklerde ani değişiklikler karşısında sistemin denetlenebilir bir davranış göstermesi amaçlanır [27].
- Orjin noktası sistemin denge noktasına karşı konumdadır. Bu nedenle denge noktasına ulaşana kadar sistemin davranışı sisteme ait geçici hal davranışıdır [27].
- Süreksiz denetim girişi sifıra çok yakın olduğunda, çıkış sonlu değer alır. Süreksiz denetim işareti yüksek kazançlıdır. Yani sistem davranışındaki belirsizlik ve bozucular bastırılabilir [27].

Kayan kipli denetleyiciye ait bazı temel kavramlar:

- Anahtarlama Yüzeyi

Örnek bir sistem ele alalım.

$$S(x) = x_2 + c_1 x_1 \quad (4.1)$$

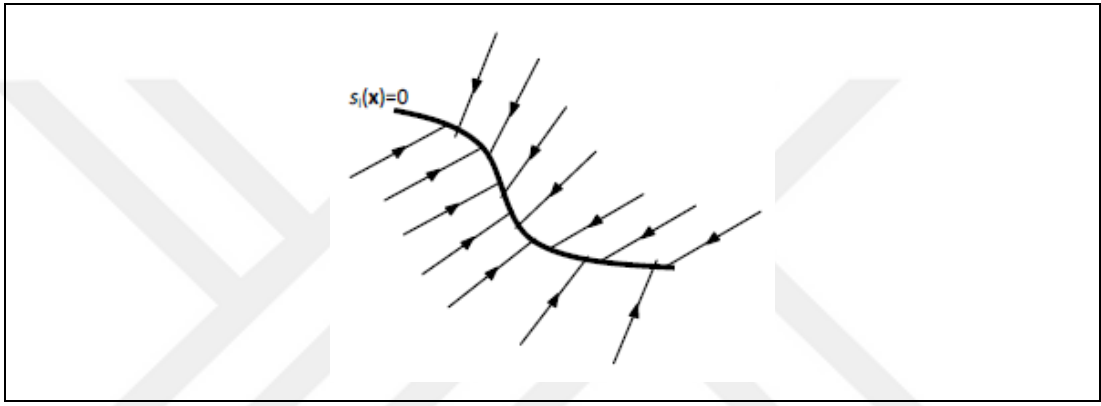
(4.1) eşitliğinde verilen fonksiyon için kullanılan anahtarlama fonksiyonu, m giriş için vektörel,

$$S(x) = \begin{bmatrix} s_1(x) & s_2(x) & \dots & s_m(x) \end{bmatrix}^T \quad (4.2)$$

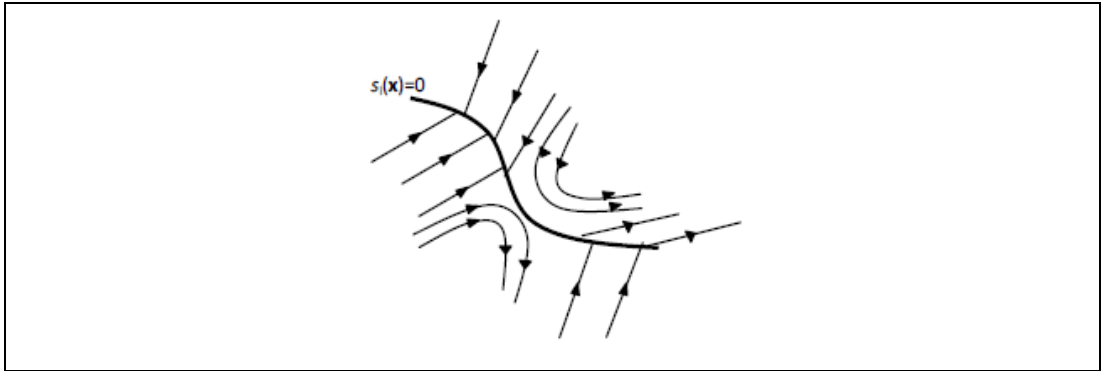
Burada, $s_i(x)$ değeri i. denetleyici kuralına ait anahtarlama fonksiyonudur ($i=1, \dots, m$). $s_i(x)=0$ üzerinde bir süreksizlik oluşur. Bu nedenle denetleyici kuralı işaret değiştirdiği için $s_i(x)=0$ eşitliği i. denetleyici kuralına ait anahtarlama yüzeyi olarak isimlendirilir [27].

- Kayma Yüzeyi

Anahtarlama yüzeyinin her iki tarafında da sistem yörüngeleri yüzeye doğru yöneliyorsa, oluşturulan anahtarlama yüzeyi kayma yüzeyi olarak adlandırılır. Eğer anahtarlama yüzeyi sistem yörüngelerinden seçilmiş ise her zaman bir kayma yüzeyi oluşturur. Eğer sisteme ait durum yörüngeleri dışında bir anahtarlama yüzeyi de seçilirse kayma kipini her zaman sağlamayabilir. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 karşılaştırıldığında, Şekil 4.1’ de anahtarlama yüzeyi bir kayma yüzeyi tanımlarken, Şekil 4.2’ de anahtarlama yüzeyi kayma yüzeyi tanımına uymamaktadır [26,27].



Şekil 4.1: Anahtarlama yüzeyinin kayma yüzeyinin tanımlanması [27].



Şekil 4.2: Anahtarlama yüzeyinin kayma yüzeyinin tanımına uymaması [27].

- Kayma Kipi

$x=0$ denge noktasından geçen herhangi bir anahtarlama yüzeyinin $a(x)$ olduğunu varsayalım. t_0 anında $a(x)=0$ ve $t > t_0$ için $a(x)=0$ ise $a(t)$ yörüngesi sistemin kayma kipidir [27].

- Ulaşma Koşulu

Kayma kipine ulaşmayı ve kayma kipinde kalmayı belirleyen yeterli kriterlere ulaşma koşulu denir. Kayma kipinin olması, kayma yüzeyinin belirli bir alanda yüzeye yönelen durum yörüngelerinin kararlı olmasını gerektirir. Yani sistem durumlarının asimptotik olarak yüzeye yaklaşması demektir [27].

- Ulaşma Kipi

Kayma kipine ulaşana kadar olan tüm durum yörüngeleri, sistemin ulaşma kipi olarak isimlendirilir [27].

- Ulaşma Zamanı

Kayma kipine girinceye kadar geçen süre ve sistemin dış bozucu etkenlere ve parametre belirsizliklerine duyarlı olduğu süreye ulaşma zamanı adı verilir [27].

4.1.1. Kayma Kipli Denetleyici Tasarımı

Bu başlık altında çalışmada kullanılan denetleyici yöntemine ait veriler anlatılacaktır.

Denetleyici sisteminin tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar [11]-[13], [16]-[21]:

- Kapalı devre sistemi kararlılığını sağlamak,
- Çalışma gücünü/gerilimini ayarlayarak fotovoltaik hücrenin maksimum güç takibi tarafını takip etmek,
- DA bara gerilimini ayarlamak,
- Çıkışta güç faktörü ve düşük harmonik bozulmalar elde etmek.

Radyasyon (λ) ve sıcaklık (T) ne olursa olsun optimal noktayı (p_{opt}, v_{opt}) mümkün olduğunca doğru bir şekilde takip edebilmek için çıkış gücünün $p(w)=v_p i_p$ olması gerekir. Spesifik olarak, eğer $y=dp/dv_p$ $y_{ref}=0$ eşit olursa maksimum güç p_{opt} yakalanabilir. Denetleyici devresi y' nin türevini doluluk oranı u_1 göre hareket ederek sifra yönlendirmelidir. En optimum noktada,

$$\frac{dp}{dv_p} = \bar{i}_p + v_p \frac{d\bar{i}_p}{dv_p} = 0 \quad (4.3)$$

İlk olarak izleme hatasına göre kayan yüzey σ seçimi, sonrasında gerekli koşulu sağlamak için $\sigma\dot{\sigma} < 0$ Lyapunov fonksiyonunun tasarımıdır. Bu sırada, kapalı devre denetim sistemi dış bozulma etkenlerine, parametre değişikliklerine ve modelleme hatalarına karşı duyarsız hale gelir. İzleme hatasını tanımlarsak,

$$e_1 = y - y_{ref} \quad (4.4)$$

Dinamikler (4.5) numaralı eşitlikte verilirse,

$$\dot{e}_1 = -\frac{BI_{RS}}{C_i} \exp(Bx_1)(2 + Bx_1)(\bar{i}_p - x_2) \quad (4.5)$$

e_1 ' in ikinci türevi,

$$\ddot{e}_1 = -\frac{BI_{RS}}{C_i} \left[\frac{B}{C_i} (3 + Bx_1)(\bar{i}_p - x_2)^2 + (2 + Bx_1) \left(\frac{d\bar{i}_p}{dt} - \dot{x}_2 \right) \right] \quad (4.6)$$

e_1 ' in ikinci türevi (3.11) numralı eşitliğe göre tekrar düzenlenirse,

$$\ddot{e}_1 = \Delta_0 + \Delta_1 u_1 \quad (4.7)$$

Burada,

$$\Delta_0 = -\frac{BI_{RS}}{C_i} \exp(Bx_1) \left[\frac{B}{C_i} (3 + Bx_1) (\bar{i}_p - x_2)^2 + (2 + Bx_1) \left(\frac{d\bar{i}_p}{dt} - \frac{1}{L_i} (-r_i x_2 + x_1 - x_3) \right) \right] \quad (4.8)$$

$$\Delta_1 = \frac{BI_{RS}}{L_i C_i} \exp(Bx_1) (2 + Bx_1) x_3 \quad (4.9)$$

Yukarıdaki eşitliklere göre $y=dp/dv_p$ denetleyici girişi u_1' e göre ikinci derecedendir.

Kayma yüzeyi σ (4.10) eşitlikte verildiği gibi tanımlanırsa,

$$\sigma = \dot{e}_1 + \lambda_1 e_1 \quad (4.10)$$

Burada, λ_1 pozitif parametresi seçildiğinde, $p(s)=s+\lambda_1$ Hurwitz ve s Laplace değişkenidir. Eğer denetim yasası yörüngeyi kayan yüzey $\sigma=0$ şekilde zorlarsa, izleme hatası aşağıda verildiği şekilde orjine asimtotik olarak yaklaşır.

$$\dot{e}_1 + \lambda_1 e_1 = 0 \quad (4.11)$$

Kararlılığı göstermek için (4.12) numaralı eşitlikte verilen Lyapunov fonksiyonu kabul edilir [35].

$$V_1 = \frac{1}{2} \sigma^2 \quad (4.12)$$

(4.12) numaralı eşitlikte verilen fonksiyonun türevi alınırsa,

$$\dot{V}_1 = \sigma \dot{\sigma} \quad (4.13)$$

Bu durum denetim yasası u_1' i seçmeyi önerir.

$$\dot{\sigma} = -k_1 \text{sign}(\sigma) \quad (4.14)$$

Burada $\text{sign}(\sigma)$ işaret fonksiyonudur yani anahtarlama elemanlarının iletimde ve kesimde olma durumlarını ifade etmek için kullanılmıştır ve k_1 bir tasarım parametresidir. (4.12) ve (4.14) numaralı eşitlikler birleştirilirse,

$$\dot{V}_1 = \sigma \dot{\sigma} = -k_1 \sigma \text{sign}(\sigma) \quad (4.15)$$

Bu σ 'nın negatif tanımlı bir fonksiyonudur. Gerekli kayma durumları doğrulanır ve Lyapunov kararlılığı sağlanır.

(4.7), (4.10) ve (4.14) eşitlikleri denetleyici değişkenini belirlemek için çözülür ve (4.16) numaralı denklem elde edilir.

$$u_1 = \Delta_1^{-1}(-k_1 \text{sign}(\sigma) - \lambda_1 \dot{e}_1 - \Delta_0) \quad (4.16)$$

$\dot{V}_1 = -k_1 |\sigma| < 0$, denge noktası $\sigma=0$ da asimtotik olarak kararlıdır.

Şebeke akımı i_g sinüzoidal olmalı ve şebeke gerilimi e_g ile aynı fazda olmalıdır. Var olan harmoniklerin reddedilmesini sağlar. Bu nedenle, x_4 akımını, x_4^* referans sinyali formunda tutmak gerekir.

$$x_4^* = \beta \bar{e}_g \quad (4.17)$$

Burada $\beta \in \mathbb{R}^+$ elemanıdır.

İzleme hatası e_2 tanımlanırsa,

$$e_2 = x_4 - x_4^* \quad (4.18)$$

Ve fonksiyon,

$$\sigma_2 = e_2 + \lambda_2 \int e_2 dt \quad (4.19)$$

Burada, λ_2 tasarım parametresidir. Amaç, kayan yüzey σ_2' ye ulaşmak ve orada kalmaktır. İzleme hatası ile ilgili denklemler düzenlenirse,

$$\dot{e}_2 + \lambda_2 e_2 = 0 \quad (4.20)$$

Lyapunov fonksiyonu tanımlanır [35],

$$V_2 = \frac{1}{2} \sigma_2^2 \quad (4.21)$$

Diğer yandan (4.19) numaralı denklemin türevi alınır,

$$\dot{\sigma}_2 = \dot{e}_2 + \lambda_2 e_2 \quad (4.22)$$

Böylece u_2 denetim yasası,

$$u_2 = \frac{L_g}{x_3} \left[-k_2 \text{sign}(\sigma_2) - \lambda_2 e_2 + \dot{x}_4^* + \frac{r_g}{L_g} x_4 + \frac{\bar{e}_g}{L_g} \right] \quad (4.23)$$

Burada, $k_2 > 0$ tasarım parametresidir.

Lyapunov fonksiyonunun türevi alınır,

$$\dot{V}_2 = \sigma_2 \dot{\sigma}_2 = -k_2 \sigma_2 \text{sign}(\sigma_2) \quad (4.24)$$

σ_2 negatif tanımlı bir fonksiyondur. Global asimtotik kararlılığa ulaşılmış ve e_2 sifıra gidiyordur. Güç faktörü, asimtotik olarak elde edilmiştir.

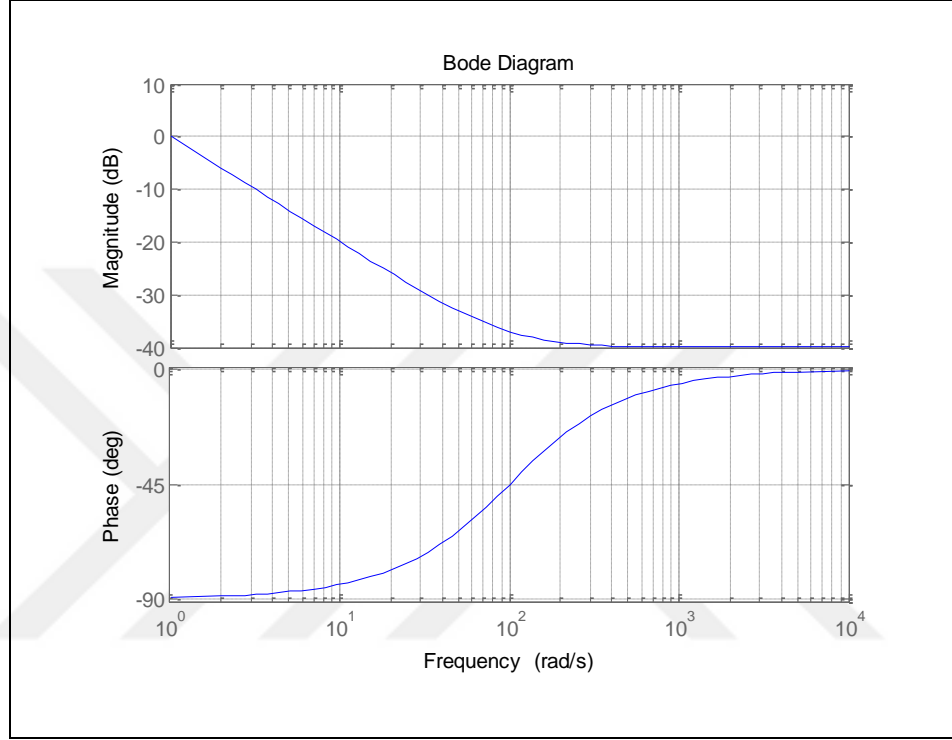
DC bara gerilimi x_3 $x_3^* > 0$ referansına göre düzenlenirse (bu çalışmada $x_3^* = 30$ V alınmıştır),

$$\beta = G(s)z \quad (4.25)$$

Burada,

$$G(s) = k_p + k_i \frac{1}{s} \quad (4.26)$$

$$z = x_3 - x_3^* \quad (4.27)$$

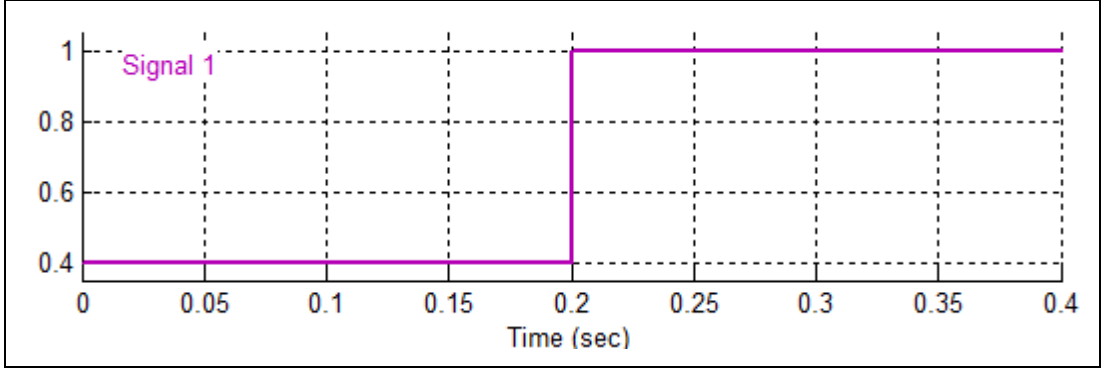


Şekil 4.3: $G(s)$ fonksiyonunun bode diyagramı.

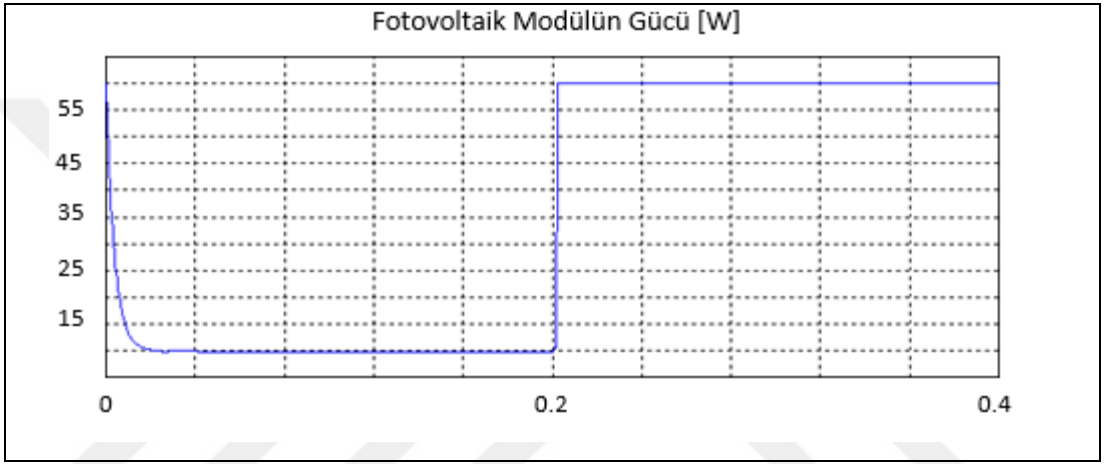
4.1.2. Simülasyon Sonuçları

Önerilen kayma kipli denetleyici için alınan simülasyon sonuçları bu bölümde verilecektir. Simülasyon MATLAB yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları aşağıdaki gibidir.

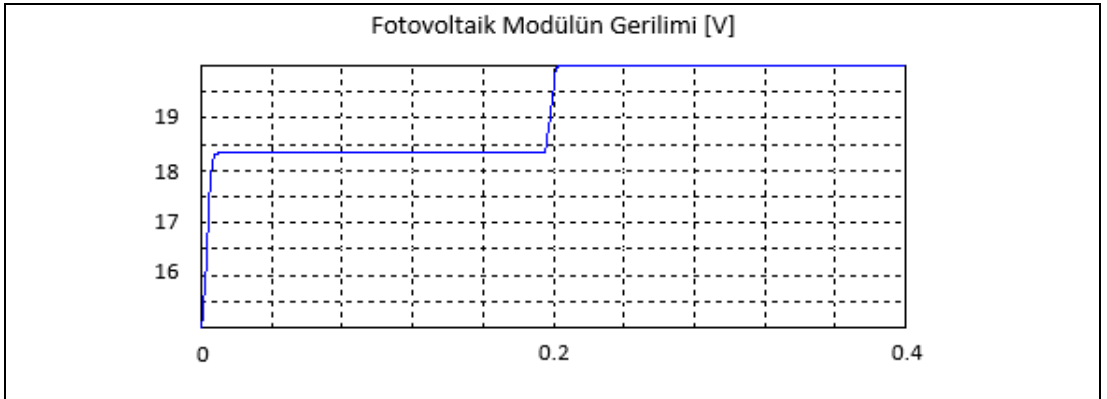
Işınım parametresi değişken, sıcaklık sabit olduğunda fotovoltaiik modülün gücü ve gerilim değeri için elde edilen sonuçlar:



Şekil 4.4: Işınım parametresi.



Şekil 4.5: Fotovoltaik modülün gücü.

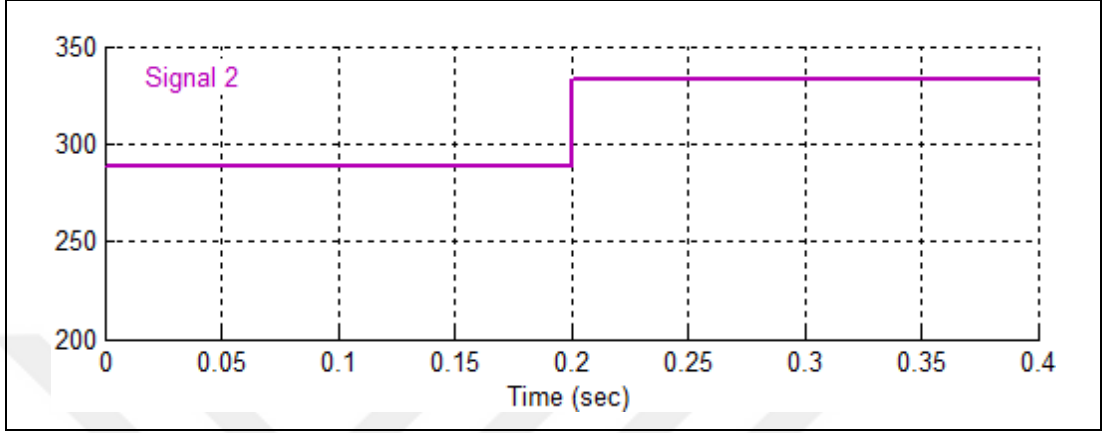


Şekil 4.6: Fotovoltaik modülün gerilimi.

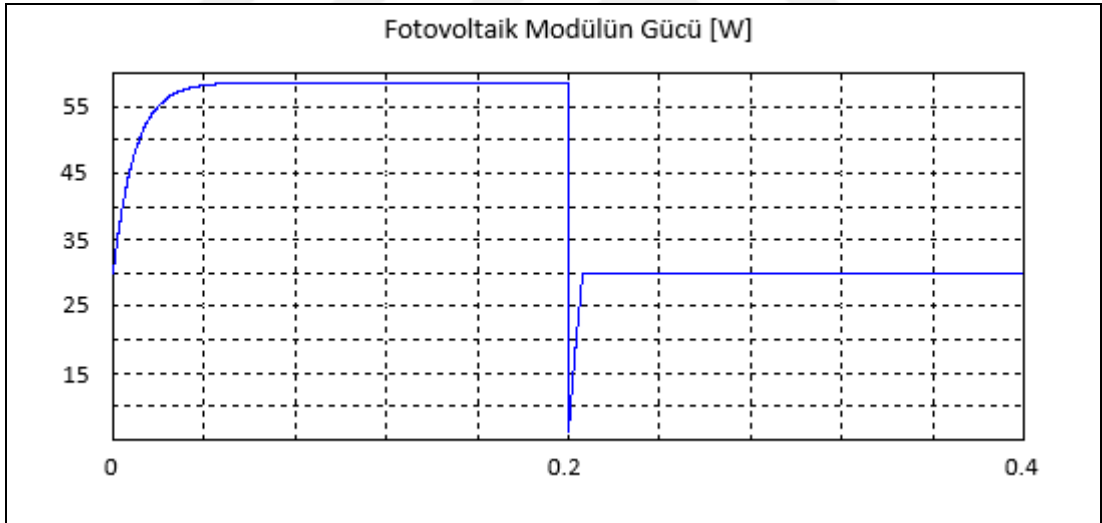
Şekil 4.4' te verilen ışınım değişimi göz önünde bulundurularak alınan sonuçlardır ve sıcaklık sabittir. Fotovoltaik sistem bölümünde verilen grafiklere göre

maksimum güç noktasına karşılık gelen değerleri yaklaşık olarak yakaladığı görülmektedir.

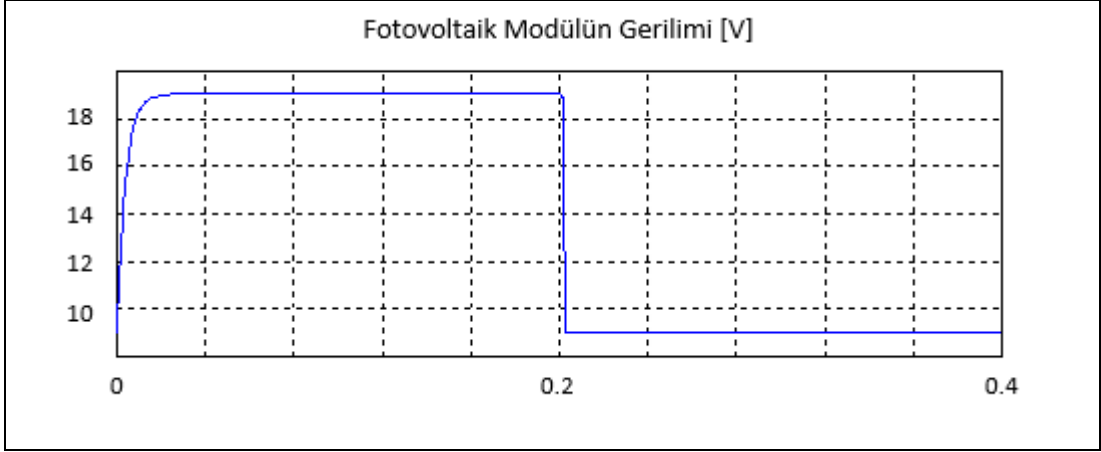
Işınım parametresi sabit, sıcaklık değişken olduğunda fotovoltaik modülün gücü ve gerilim değeri için elde edilen sonuçlar:



Şekil 4.7: Sıcaklık parametresi.



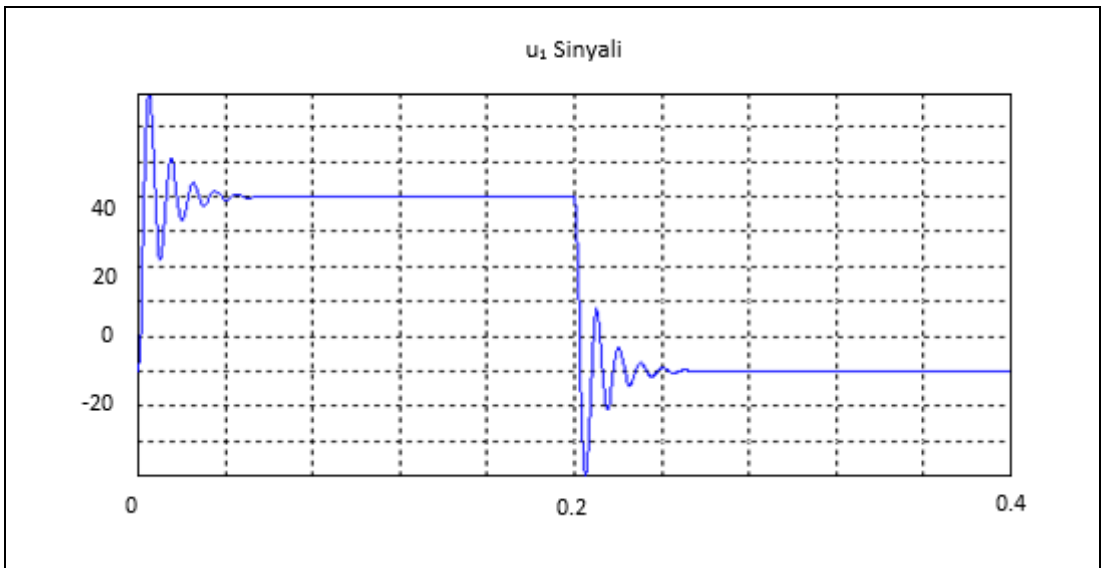
Şekil 4.8: Fotovoltaik modülün gücü.



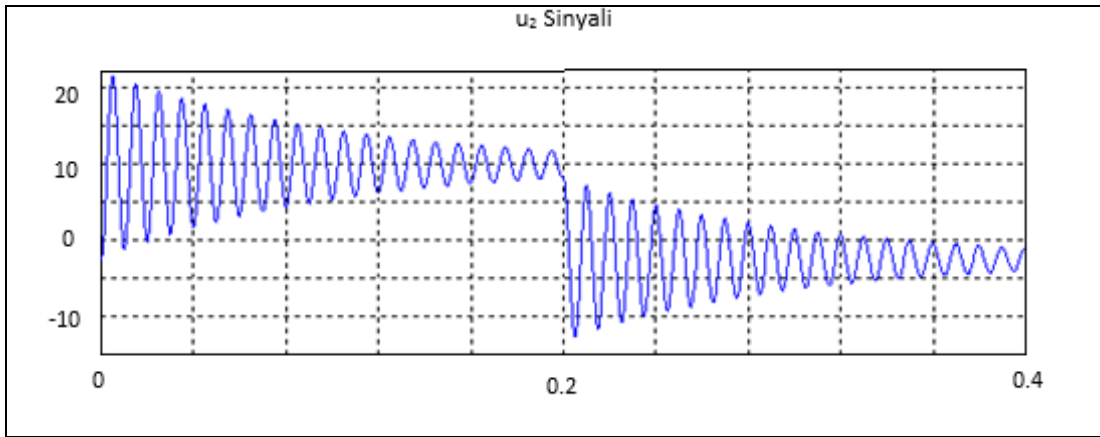
Şekil 4.9: Fotovoltaik modülün gerilimi.

Şekil 4.7' deki sıcaklık değişimi göz önünde buldurularak alınan sonuçlardır ve ışınım sabittir. Sıcaklığın 228.15 K ve 333.15 K arasında değiştiği varsayılmıştır. Fotovoltaik sistem bölümünde verilen grafiklere göre maksimum güç noktasına karşılık gelen değerleri yaklaşık olarak yakaladığı görülmektedir.

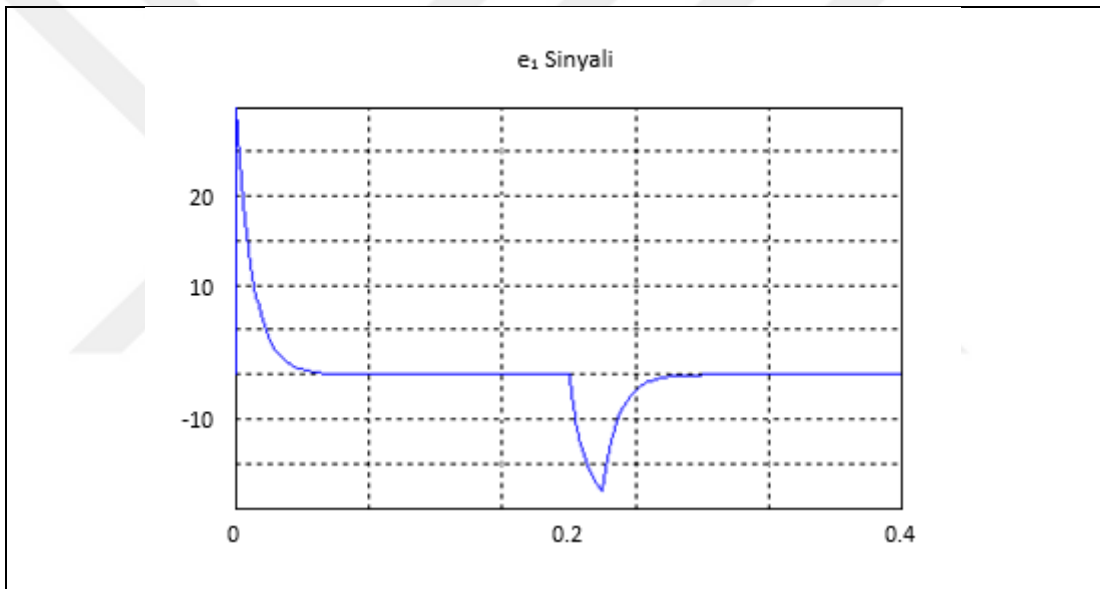
Kayma kipli denetleyici tasarımında elde edilen denetleyici sinyalleri Şekil 4. 10 ve 4.11' de gösterilmektedir. Şekil 4.10' da DA-DA dönüştürücünün denetiminde elde edilen denetleyici sinyali, şekil 4.11' de DA-AA dönüştürücünün denetiminde elde edilen denetleyici sinyalidir. Denetleyicinin modellenmesindeki hata sinyallerine ait grafikler aşağıda verilmiştir. Kayma kipli denetleyicinin çalışması esnasında şebeke akımı ve şebeke gerilimi incelenmiştir.



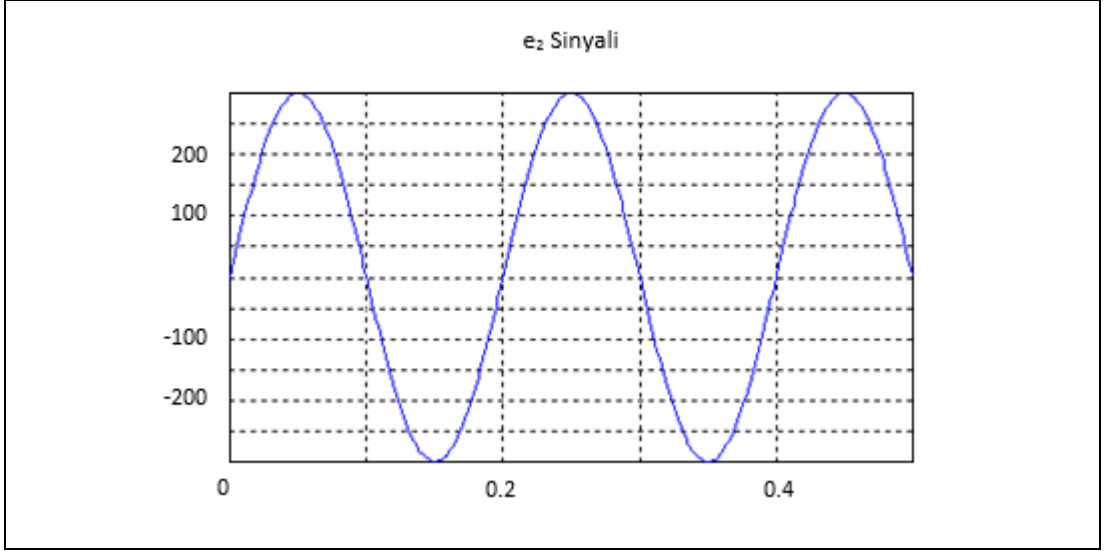
Şekil 4.10: u₁ sinyali.



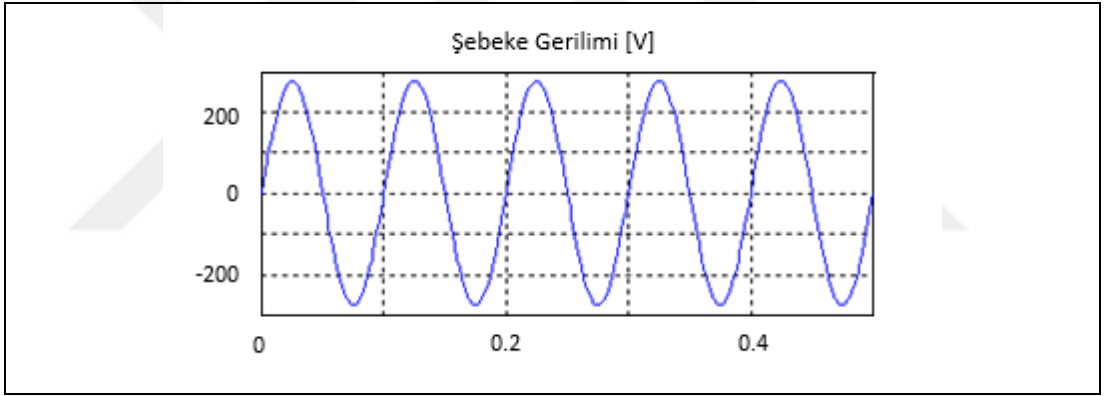
Şekil 4.11: u₂ sinyali.



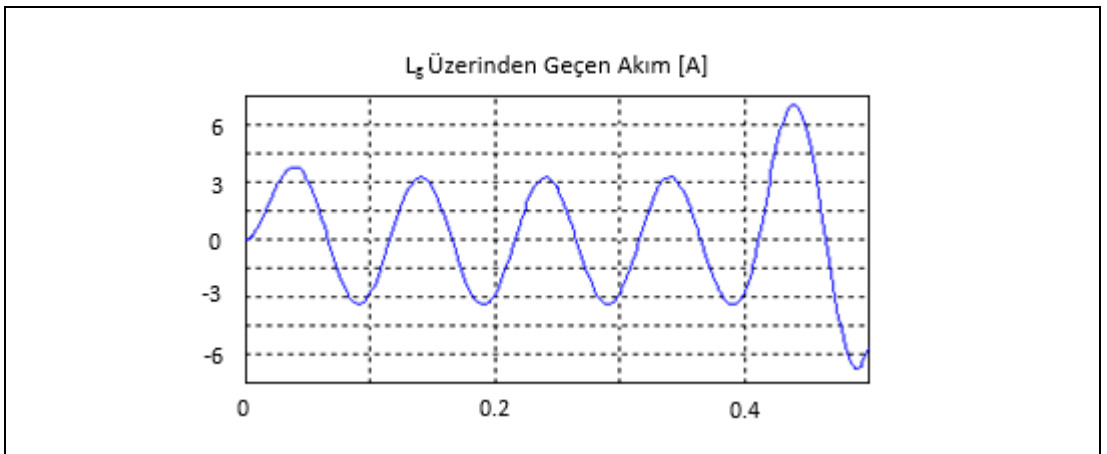
Şekil 4.12: e₁ sinyali.



Şekil 4.13: e₂ sinyali.



Şekil 4.14: Şebeke gerilimi



Şekil 4.15: Şebeke akımı.

4.2. Geri Adımlamalı Denetleyici

Geri adımlamalı denetleyici, geri beslemeli bir denetleyici metodudur. Literatürde çok fazla çalışma bulabileceğimiz denetleyici yöntemidir. Denetimi yapılacak olan sistem için geri besleme kuralının ve sistemin kararlılık analizinde kullanılacak olan Lyapunov fonksiyonu ile birlikte sistematik bir şekilde elde ediliyor olmalıdır [36].

Geri tepme denetleyici metodolojisi, üçgen yapıya sahip büyük bir lineer olmayan sistem sınıfı için denetleyici cihazlarının tasarlanmasında etkilidir. Kesin modeli göz önünde bulundurarak belirsiz sınırlı doğrusal olmayanları ve parametreleştirilmiş belirsizlikleri kapsayacak şekilde geliştirdi. Geri adım atmanın arkasındaki temel fikir, tüm sistemdeki bir tasarım problemini düşük dereceli sistemlerdeki bir alt problemler dizisine bölmek ve Lyapunov fonksiyonu ile ara denetim yasalarını elde etmek için bazı durumları tekrar tekrar “sanal denetleyiciler” olarak kullanmaktır. Daha düşük seviyeli sistemden başlamak ve yeni dinamiklerin arttırılmasından sonra etkileşimi sağlamak, denetleyici tasarımını kolaylaştırır. Geri adımlamalı denetleyicinin avantajları arasında, sağlamlık üzerindeki stres ve hesaplanabilir geçici durum bulunmaktadır.

Geri adımlamalı denetleyici metodunun önerilmesinden bu yana özellikle havacılık mühendisliği, makine mühendisliği alanlarında büyük ilgi görmüştür. Denetleyici üzerinde yıllar süren çalışmalar ile, yöntemin oldukça sistematik ve kapsayıcı olması için geliştirilmiştir. Örneğin, doğrusal olmayan sönümlenme, değişken yapı denetimi, sinir ağı uyarlanabilir denetimi ve bulanık uyarlamalı denetimi gibi teknikler, eşleştirme ve belirsizliği de içeren çeşitli belirsizlikleri gidermek için sentezlenir. “Terimlerin patlaması” sorununu çözmek için, dinamik yüzey denetimi ve kısıtlı geri tepme denetimi belirlenir. Durum bilgisinin eksikliğini ele almak için, çıktı geri bildirim geri tepme denetimi geliştirilmiştir. Denetleyicinin doyunluğu sorunu için, sınırlayıcı filtreler ve sınırlılık yayılımı özyinelemeli tasarımda kullanılır.

Geri adımlamalı denetleyici yaklaşımı, sistemin kökenini katı geri bildirim formunda kararlı hale getirmek için özyinelemeli bir yöntem sunar. Yani, 4.28 numaralı eşitlikte verilen bir yapı düşünürsek:

$$\begin{aligned}
\dot{x} &= f_x(x) + g_x(x)z_1 \\
\dot{z}_1 &= f_1(x, z_1) + g_1(x, z_1)z_2 \\
\dot{z}_2 &= f_2(x, z_1, z_2) + g_1(x, z_1, z_2)z_3 \\
&\cdot \\
&\cdot \\
\dot{z}_i &= f_i(x, z_1, z_2, \dots, z_{i-1}, z_i) + g_i(x, z_1, z_2, \dots, z_{i-1}, z_i)z_{i+1} \quad \text{for } 1 \leq i < k-1 \\
&\cdot \\
&\cdot \\
\dot{z}_{k-1} &= f_{k-1}(x, z_1, z_2, \dots, z_{k-1}) + g_{k-1}(x, z_1, z_2, \dots, z_{k-1})z_k \\
\dot{z}_k &= f_k(x, z_1, z_2, \dots, z_{k-1}, z_k) + g_k(x, z_1, z_2, \dots, z_{k-1}, z_k)u
\end{aligned} \tag{4.28}$$

Burada,

$$\begin{aligned}
&x \in R^n, n \geq 1, \\
&z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_{k-1}, z_k \text{ skaler olmak üzere,} \\
&u \text{ sistemin giriş sinyali,} \\
&f_x, f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_{k-1}, f_k \text{ başlangıç noktasında 0 olmak üzere,} \\
&g_1, g_2, \dots, g_i, \dots, g_{k-1}, g_k \text{ fonksiyonları 0 dan farklı}
\end{aligned}$$

Ayrıca 4.29 numaralı eşitlikte verilen alt sistem varsayılmıştır.

$$\dot{x} = f_x(x) + g_x(x)u_x(x) \tag{4.29}$$

Bilinen denetleyici sinyali $u_x(x)$ başlangıç noktasında karardır. Ayrıca bu kararlı alt sistem için bir Lyapunov fonksiyonunun V_x olduğu bilinmektedir.

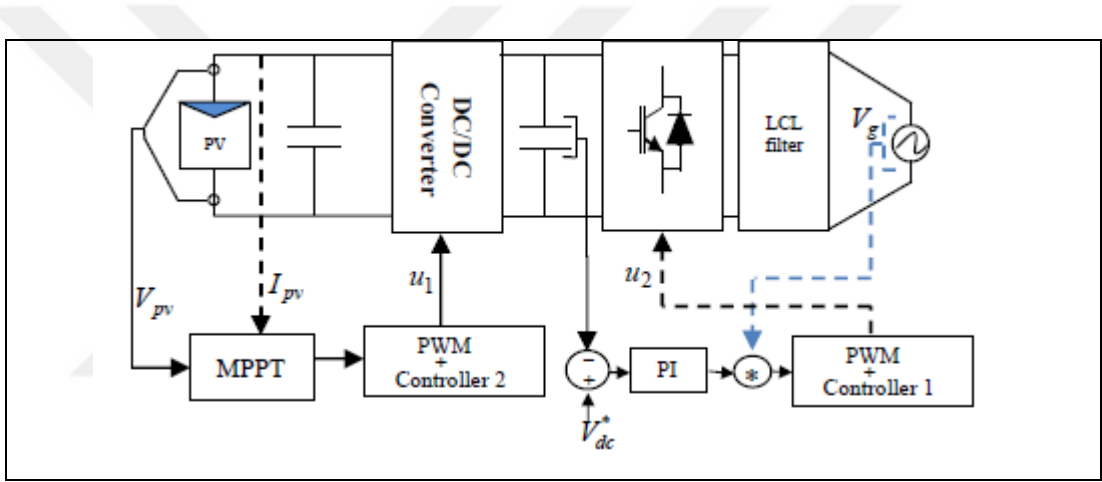
Geri adımlamalı denetleyici giriş sinyali u , z_n durumuna en hızlı dengeleyici etkiye sahiptir. z_n durumu bundan sonra z_{n-1} durumundaki dengeleyici bir denetleyici gibi davranır. Bu işlem z_i durumlarının her birinin hayali denetleyici ile dengelenmesi için devam eder.

4.2.1. Geri Adımlamalı Denetleyici Tasarımı

Bu bölümde tasarlanan geri adımlamalı denetleyici ile ilgili bilgiler verilecektir. Denetleyici tasarımında aşağıda verilen faktörlerin dikkate alınmalıdır. Bunlar:

- Sistemin kararlılığı,
- Güç faktörünün sağlanması,
- Mükemmel MPPT'yi sağlamak,
- DC bara gerilimini düzenlenmesi.

Şekil 4.16' de denetimi yapılan sistemin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.16: Denetimi yapılan sistemin yapısı [37].

Güç faktörünün denetiminde en önemli husus, şebeke akımı i_g sinüzoidal olmalı ve şebeke gerilimi v_g ile aynı fazda olmalıdır. Bu nedenle amaç, x_1 akımının referans akımı x_1^* takip etmeye zorlamaktır. Geri adımlamalı denetleyici üç adımda tasarlanmıştır. Çünkü denetimi yapılan sistem, x_1 sinyaline göre üçe eşit bir dereyece sahiptir.

- Adım 1:

Akım için 4.30 numaralı eşitlikte verilen hata tanımlanırsa:

$$z_1 = L_g(x_1 - x_1^*) \quad (4.30)$$

Buradaki x_1^* karşılık gelen referans sinyali belirtir. z_1 ' in zamandaki türevi hata dinamiklerini tanımlar.

$$\dot{z}_1 = x_2 - v_g - r_g x_1 - L_g \dot{x}_1^* \quad (4.31)$$

4.32 numaralı eşitlikte verilen bir Lyapunov fonksiyonu düşünülürse:

$$V_1 = 0.5z_1^2 \quad (4.32)$$

Ve bu fonksiyonun zamana bağlı türevi 4.33 numaralı eşitlikte verilirse:

$$\dot{V}_1 = z_1 \dot{z}_1 \quad (4.33)$$

$\dot{z}_1 = -c_1 z_1$ seçimi bizi $\dot{V}_1 = -c_1 z_1^2$ e götürür ve sonuç olarak sistem asimptotik karardır. Burada c_1 pozitif tasarım parametresidir.

$\dot{z}_1 = -c_1 z_1$ ve 4.31 numaralı eşitlik kullanılarak 4.34 numaralı eşitlik elde edilir.

$$x_2 - v_g - r_g x_1 - L_g \dot{x}_1^* + r_g x_1 \quad (4.34)$$

Yukarıdaki denklemde, eğer x_2 yi bir sanal denetim değişkeni olarak seçersek, 4.35 numaralı denklem ile dengeleme işlevini bulabiliriz:

$$x_2^* = -c_1 z_1 + v_g + L_g \dot{x}_1^* + r_g x_1 \quad (4.35)$$

x_2^* gerçek denetim işareti olmadığından, sanal denetim ve istenilen değer x_2^* arasında yeni hata değişkeni tanımlanır:

$$z_2 = c(x_2 - x_2^*) \quad (4.36)$$

4.35 ve 4.36 numaralı eşitlikler kullanılarak, 4.31 ve 4.32 numaralı eşitlikler aşağıdaki gibi olur.

$$\dot{z}_1 = \frac{z_2}{c} - c_1 z_1 \quad (4.37)$$

$$\dot{V}_1 = \frac{z_1 z_2}{c} - c_1 z_1^2$$

- Adım 2:

z_2 'nin zamanda türevi ise,

$$\dot{z}_2 = x_3 - x_1 - c\dot{x}_2^* \quad (4.38)$$

Lyapunov fonksiyonu düşünüldüğünde:

$$V_2 = V_1 + 0.5z_2^2 \quad (4.39)$$

V_2 'nin zamanda türevi:

$$\dot{V}_2 = \frac{z_1 z_2}{c} - c_1 z_1^2 + z_2 \dot{z}_2 \quad (4.40)$$

$\frac{z_1}{c} + \dot{z}_2 = -c_2 z_2$ seçimi ile,

$$\dot{V}_2 = -c_1 z_1^2 - c_2 z_2^2 \quad (4.41)$$

Eğer x_3 sanal denetim sinyali olarak seçersek, dengeleme fonksiyonu 4.42 numaralı eşitlikte belirtildiği gibi olur.

$$x_3^* = -\frac{z_1}{c} - c_2 z_2 + c\dot{x}_3^* + x_1 \quad (4.42)$$

x_3^* gerçek denetim sinyali değildir, sanal denetim giriş sinyali ve istenilen x_3^* değeri arasında yeni bir hata sinyali z_3 tanımlanırsa:

$$z_3 = L_1(x_3 - x_3^*) \quad (4.43)$$

Adım 1 de olduğu gibi, z_2 ve V_2 'nin dinamikleri tekrar yazılırsa:

$$\dot{z}_2 = -\frac{z_1}{c} - c_2 z_2 + \frac{z_3}{L_1} \quad (4.44)$$

$$\dot{V}_2 = -c_1 z_1^2 - c_2 z_2^2 + \frac{z_2 z_3}{L_1}$$

- Adım 3:

Bu bölümdeki amaç hata değişkenleri z_1, z_2, z_3 yok etmektir. Bu amaçla, z_3 'ün dinamikleri belirlenirse:

$$\dot{z}_3 = u_2 x_6 - x_2 - L_1 \dot{x}_3^* - r_1 x_3 \quad (4.45)$$

Tüm sistemi durum vektörü ile dengelemek için denetleyici sinyali seçilmelidir. Lyapunov fonksiyonu 4.46 numaralı eşitlikte verildiği gibi seçilirse:

$$V_3 = V_2 + \frac{1}{2} z_3^2 \quad (4.46)$$

V_3 'ün zamanda türevi:

$$\dot{V}_3 = -c_1 z_1^2 - c_2 z_2^2 + z_3 \left(\dot{z}_3 + \frac{z_2}{L_1} \right) \quad (4.47)$$

\dot{V}_3 'ün negatif tanımlı olması sağlanmalıdır.

$$\dot{z}_3 + \frac{z_2}{L_1} = -c_3 z_3 \quad (4.48)$$

Burada, c_3 pozitif tasarım parametresidir. Bu seçimle birlikte Lyapunov fonksiyonunun dinamikleri şu şekilde olmuştur:

$$\dot{V}_3 = -c_1 z_1^2 - c_2 z_2^2 - c_3 z_3^2 \quad (4.49)$$

4.43 ve 4.45 numaralı eşitliklerin birleştirilmesi ile 4.50 numaralı eşitlik elde edilir.

$$u_2 = \frac{1}{x_6} \left(-\frac{z_2}{L_1} - c_3 z_3 + L_1 \dot{x}_3^* + r_1 x_3 + x_2 \right) \quad (4.50)$$

z_1, z_2, z_3 içeren kapalı döngü sistemi:

$$\begin{pmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -c_1 & \begin{pmatrix} 1 \\ c \end{pmatrix} & 0 \\ -\frac{1}{c} & -c_2 & \frac{1}{L_1} \\ 0 & -\frac{1}{L_1} & -c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{pmatrix} \quad (4.51)$$

Fotovoltaik gerilimin denetimin amacı, verilen referans voltajı x_4^* izlemek için güneş panelindeki x_4 gerilimini zorlamaktır. Bu amaca ulaşmak için, denetleyici tasarımı için geri adımlama tekniğini ve referans gerilim sinyalini x_4^* üretmek için “P&O algoritması” kullanılmıştır.

- Adım 4:

4.52 numaralı eşitlikteki gibi hata tanımlanırsa:

$$z_4 = c_{pv}(x_4 - x_4^*) \quad (4.52)$$

Burada, x_4^* karşılık gelen referans sinyalinin belirtir. z_4 'ün zamanda türevi alınır:

$$\dot{z}_4 = \dot{i}_{pv} - \dot{x}_5 - c_{pv}\dot{x}_4 \quad (4.53)$$

Eğer x_5 sanal denetleyici sinyali olarak seçilirse, ve 4.54 numaralı eşitlikte verilen Lyapunov fonksiyonu kullanılırsa, 4.55 numaralı eşitlikteki dengeleme fonksiyonu elde edilir.

$$V_4 = \frac{1}{2} z_4^2 \quad (4.54)$$

$$\dot{x}_5^* = c_4 z_4 + \dot{i}_{pv} - c_{pv}\dot{x}_4 \quad (4.55)$$

x_5^* sadece bir değer ve gerçek denetleyici sinyali değildir. Sanal denetleyici sinyali ve istenilen x_5^* değeri arasında yeni bir z_5 hatası tanımlanır:

$$z_5 = L(x_5 - x_5^*) \quad (4.56)$$

z_4 ve V_4 dinamikleri 4.57 numaralı eşitliğinde belirtildiği gibi olur.

$$z_4 = -c_4 z_4 - \frac{z_5}{L} \quad (4.57)$$

$$\dot{V}_4 = -c_4 z_4^2 - \frac{z_4 z_5}{L}$$

- Adım 5:

Bu adımdaki amaç, hata değişkenlerini kaldırmak için zorlamak ve z_5 'in dinamiklerini belirlemektir.

$$\dot{z}_5 = -rx_5 + x_4 - (1-u_1)x_6 - L\dot{x}_5^* \quad (4.58)$$

Lyapunov fonksiyonu:

$$V_5 = V_4 + \frac{1}{2}z_5^2 \quad (4.59)$$

Lyapunov fonksiyonunu türevi:

$$\dot{V}_5 = c_4z_4^2 + z_5\left(\dot{z}_5 - \frac{z_4}{L}\right) \quad (4.60)$$

Ve,

$$-c_5z_5 = -\frac{z_4}{L} + \dot{z}_5 \quad (4.61)$$

Burada, c_5 pozitif tasarım parametresidir. Bu seçimle birlikte Lyapunov fonksiyonunun dinamikleri:

$$\dot{V}_5 = -c_4z_4^2 - c_5z_5^2 \quad (4.62)$$

Elde edilen denetleyici sinyali:

$$u_1 = 1 - \frac{1}{x_6} \left(-rx_5 + x_4 - \frac{z_4}{L} + c_5z_5 + L\dot{x}_5^* \right) \quad (4.63)$$

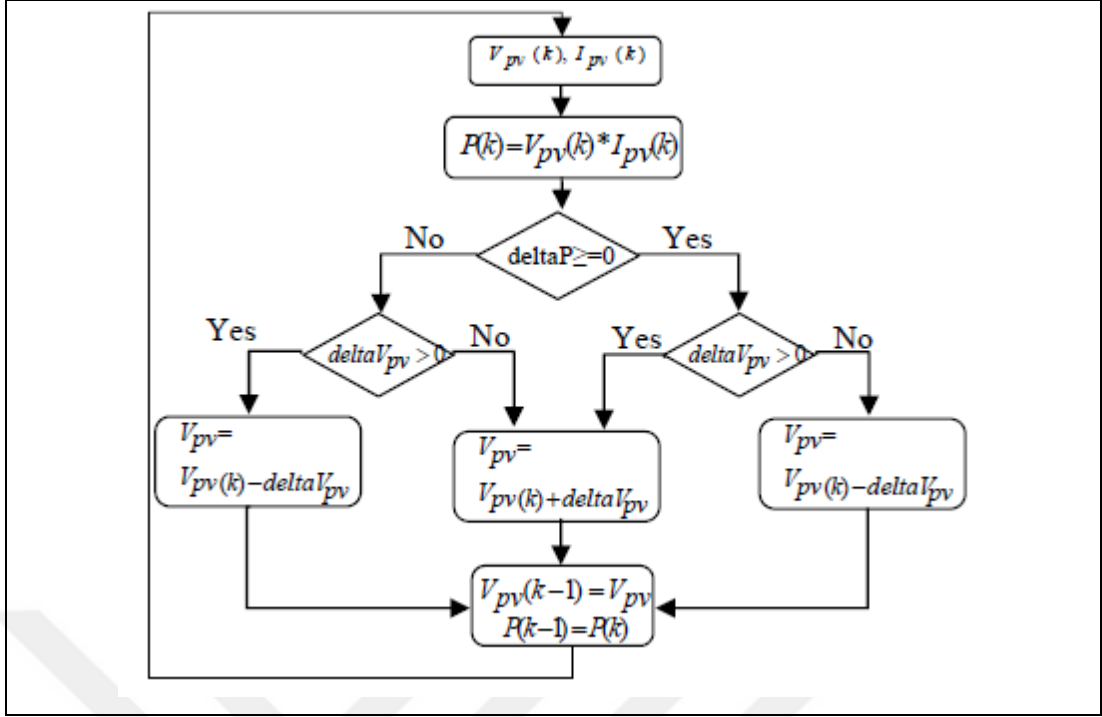
Ve elde edilen kapalı döngü sistemi:

$$\begin{pmatrix} \dot{z}_4 \\ \dot{z}_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -c_4 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{L} & -c_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_4 \\ z_5 \end{pmatrix} \quad (4.64)$$

İstenilen gerilim referansını takip edebilmek için DC gerilimi denetlemek gerekir. Bunun için basit bir PI denetleyicisi kullanılabilir. PI denetleyicisine ait transfer fonksiyonu:

$$F(s) = k_1 \left(\frac{1 + \tau_1 s}{\tau_1 s} \right) \quad (4.65)$$

Sıcaklık ve ışınım ile birlikte PV modülün maksimum güç noktasında doğru bir şekilde çalışmasını sağlamak için, P&O algoritması kullanılmaktadır. Şekil 4.17'de [37] algoritma verilmiştir. P&O basitliği ve daha az ölçülen parametresi olması nedeniyle kullanılan en fazla yöntem olup, iki giriş sinyaline sahiptir. Bunlar, PV gerilimi ve akımı ve regülatöre uygulanması gereken bir voltaj referansı olan bir çıkış sinyalidir. Algoritma adımları, aşağıdaki akış şemasında gösterildiği gibi açıklanmıştır [45]-[49].

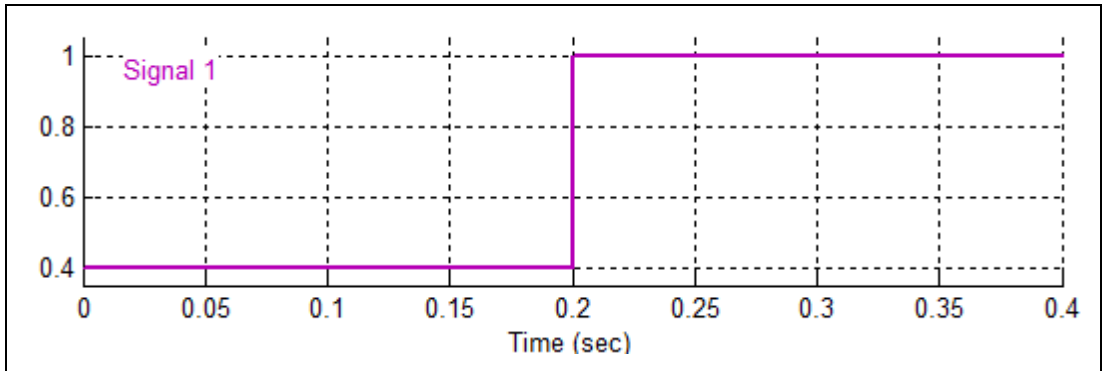


Şekil 4.17: P&O algoritması.

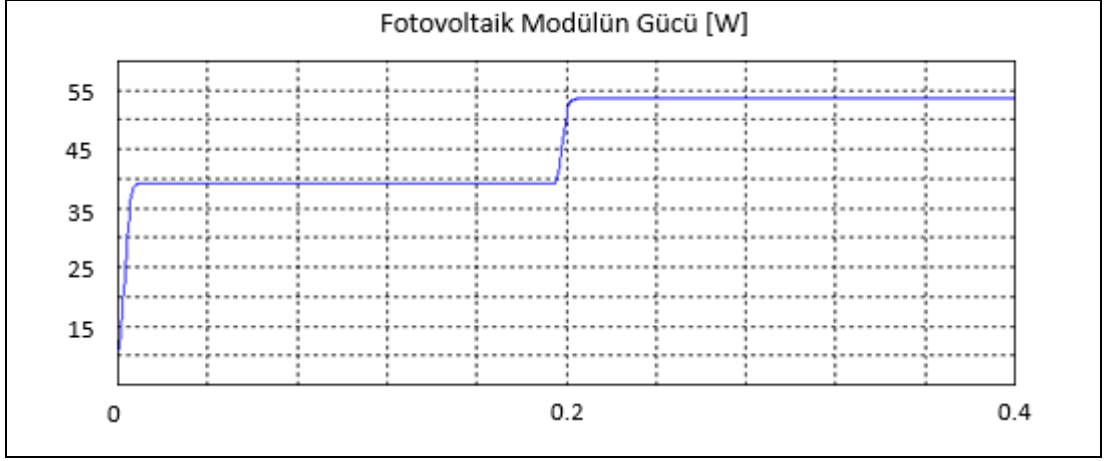
4.2.2. Simülasyon Sonuçları

Önerilen geri adımlamalı denetleyici için alınan simülasyon sonuçları bu bölümde verilecektir. Simülasyon MATLAB yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları aşağıdaki gibidir.

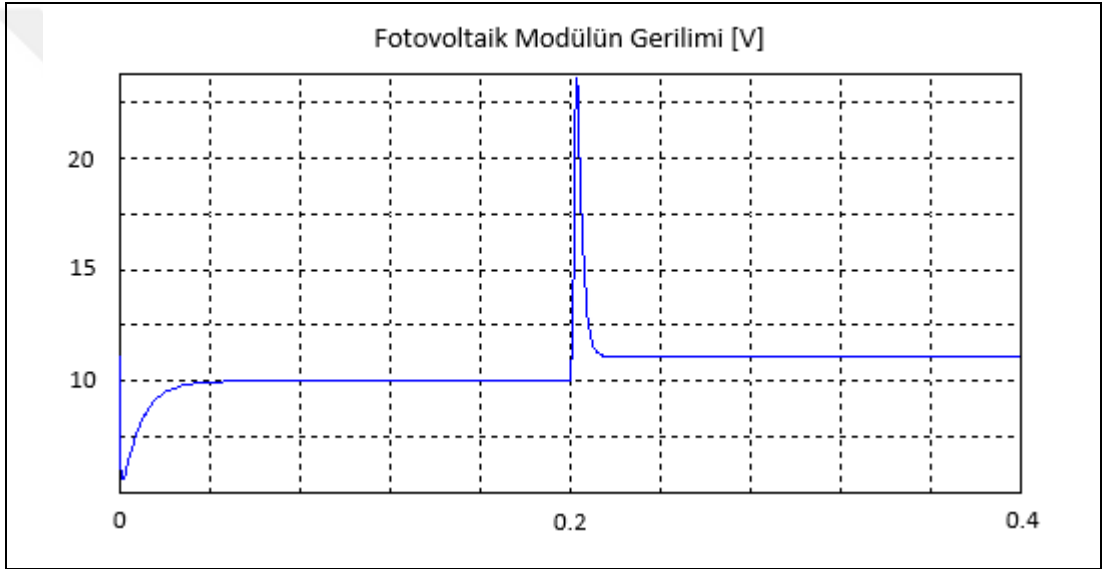
Işınım parametresi değişken, sıcaklık sabit olduğunda fotovoltaik modüle ait güç ve gerilim değerleri için elde edilen sonuçlar:



Şekil 4.18: Işınım parametresi.



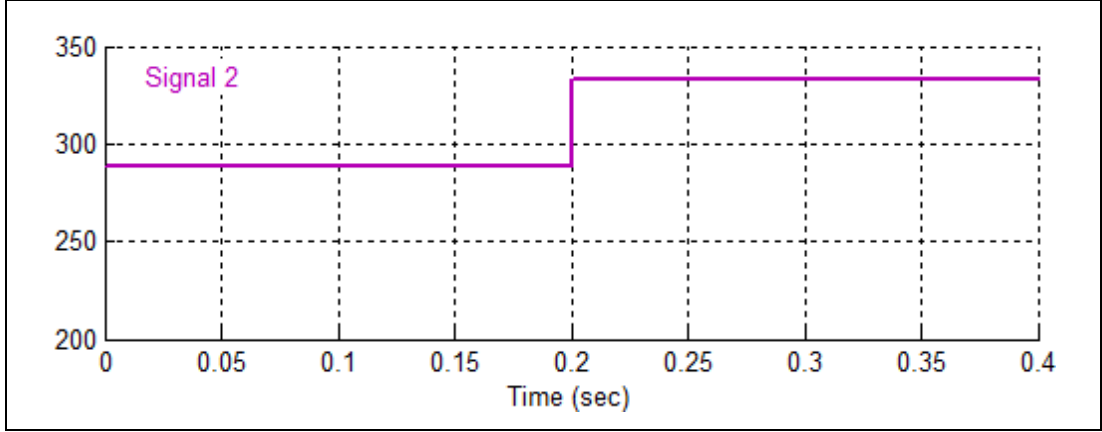
Şekil 4.19: Fotovoltaik modülün gücü.



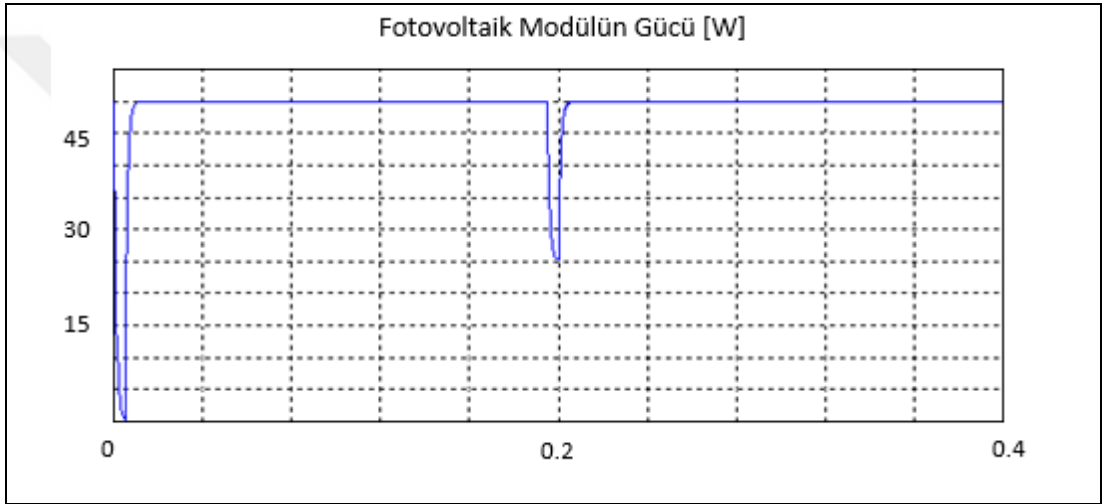
Şekil 4.20: Fotovoltaik modülün gerilimi.

Şekil 4.18' te verilen ışınım değişimi göz önünde bulundurularak alınan sonuçlardır ve sıcaklık sabittir. Fotovoltaik sistem bölümünde verilen grafiklere göre maksimum güç noktasına karşılık gelen değerleri yaklaşık olarak yakaladığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre geri adımlamalı denetleyici yöntemi ile çıkış optimum noktada tutulabilir.

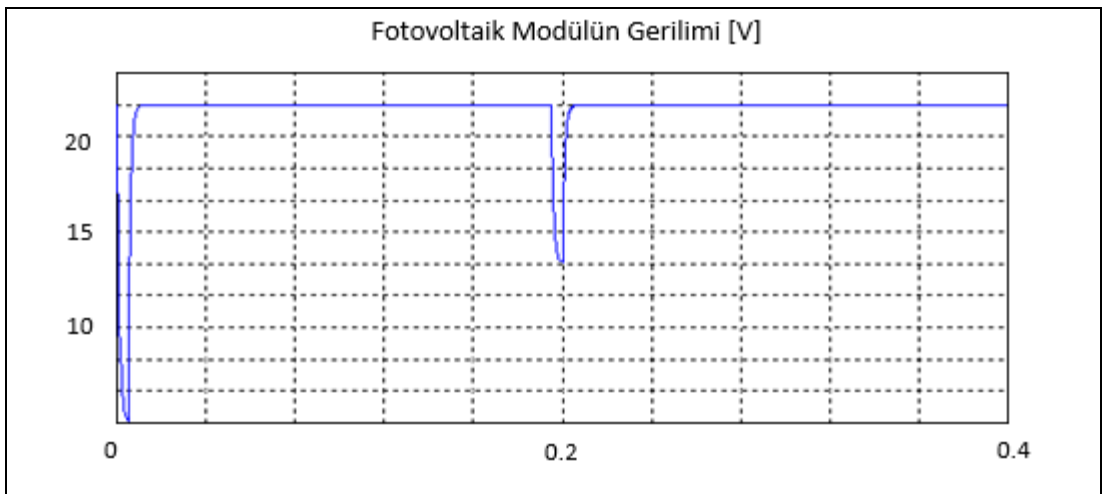
Işınım parametresi sabit, sıcaklık değişken olduğunda fotovoltaik modülün güç ve gerilim değerlerine ait elde edilen sonuçlar:



Şekil 4.21: Sıcaklık parametresi.



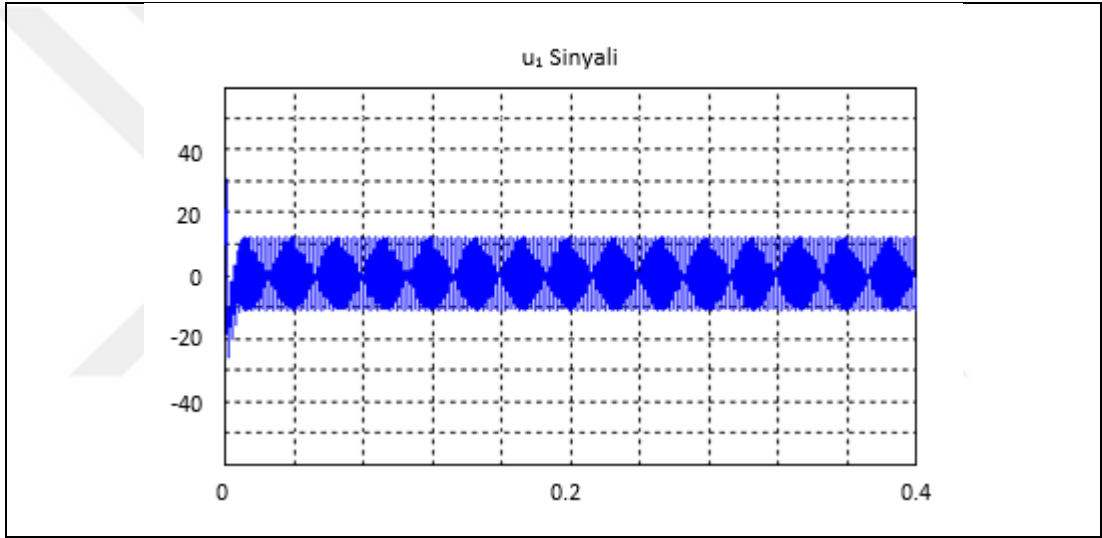
Şekil 4.22: Fotovoltaik modülün gücü.



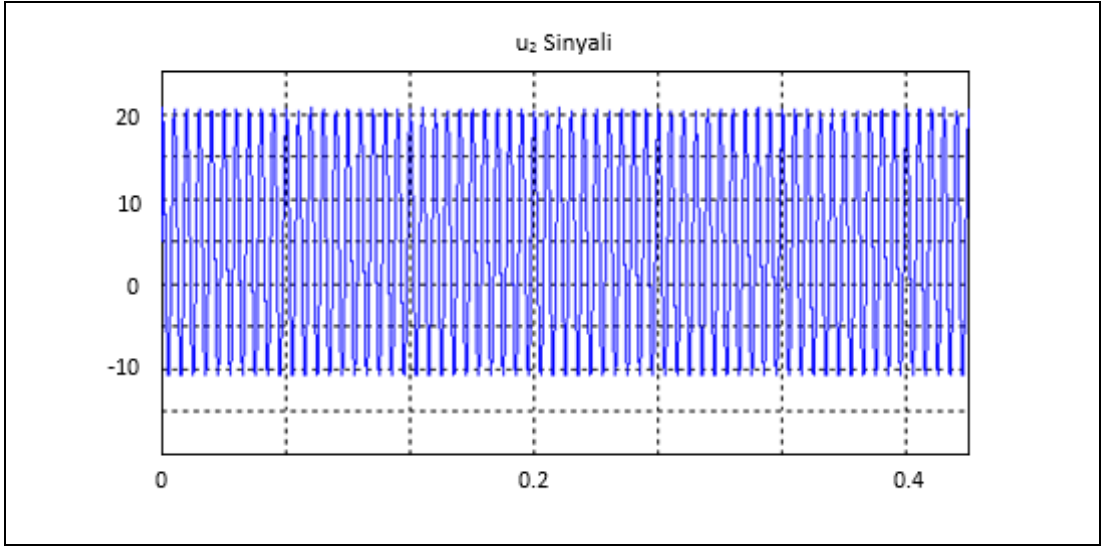
Şekil 4.23: Fotovoltaik modülün gerilimi.

Şekil 4.21' deki sıcaklık değişimi göz önünde buldurularak alınan sonuçlardır ve ışınım sabittir. Sıcaklığın 228.15 K ve 333.15 K arasında değiştiği varsayılmıştır. Fotovoltaik sistem bölümünde verilen grafiklere göre maksimum güç noktasına karşılık gelen değerleri yaklaşık olarak yakaladığı görülmektedir.

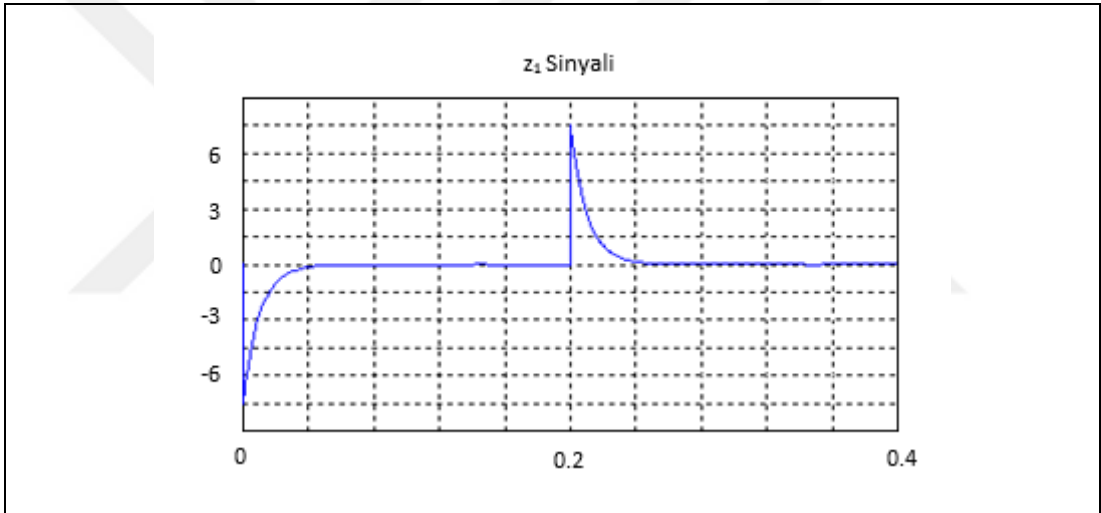
Geri adımlamalı denetleyici tasarımında elde edilen denetleyici sinyalleri Şekil 4.24 ve Şekil 4.25' te gösterilmektedir. Şekil 4.24' te DA-DA dönüştürücünün denetiminde elde edilen denetleyici sinyali, şekil 4.25' te DA-AA dönüştürücünün denetiminde elde edilen denetleyici sinyalidir. Denetleyicinin modellenmesindeki hata sinyallerine ait grafikler aşağıda verilmiştir. Geri adımlamalı denetleyicinin çalışması esnasında şebeke akımı ve şebeke gerilimi incelenmiştir.



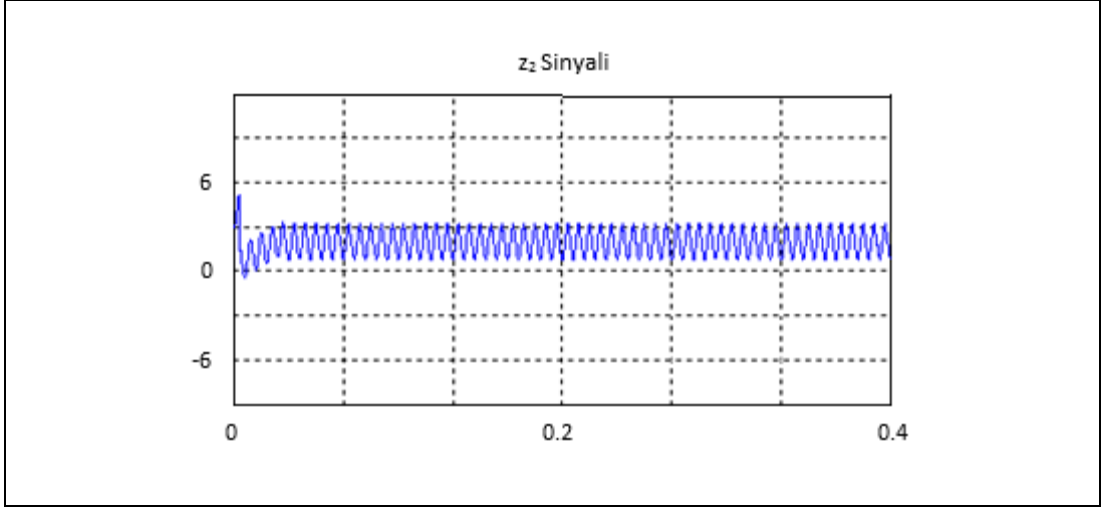
Şekil 4.24: u_1 sinyali.



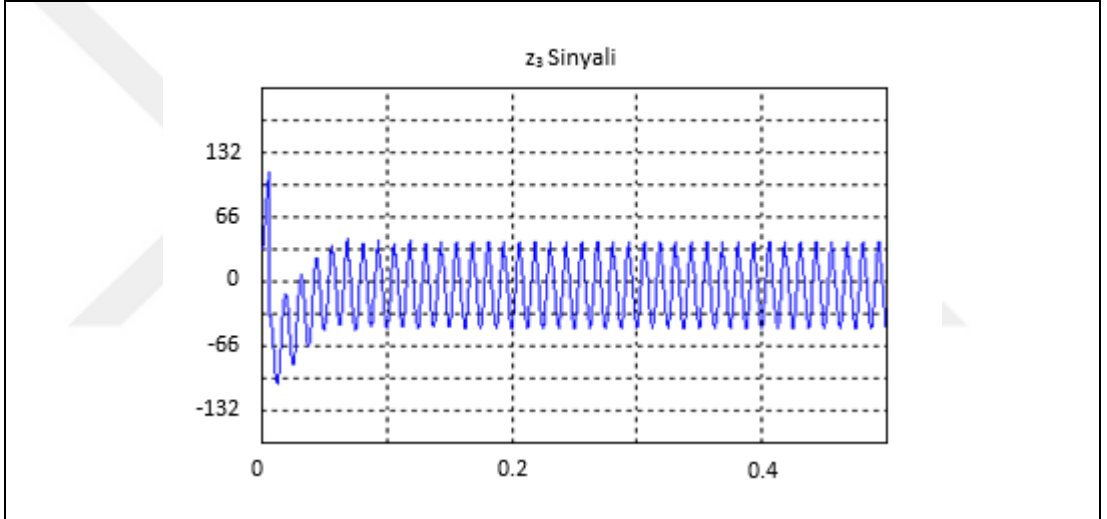
Şekil 4.25: u_2 sinyali.



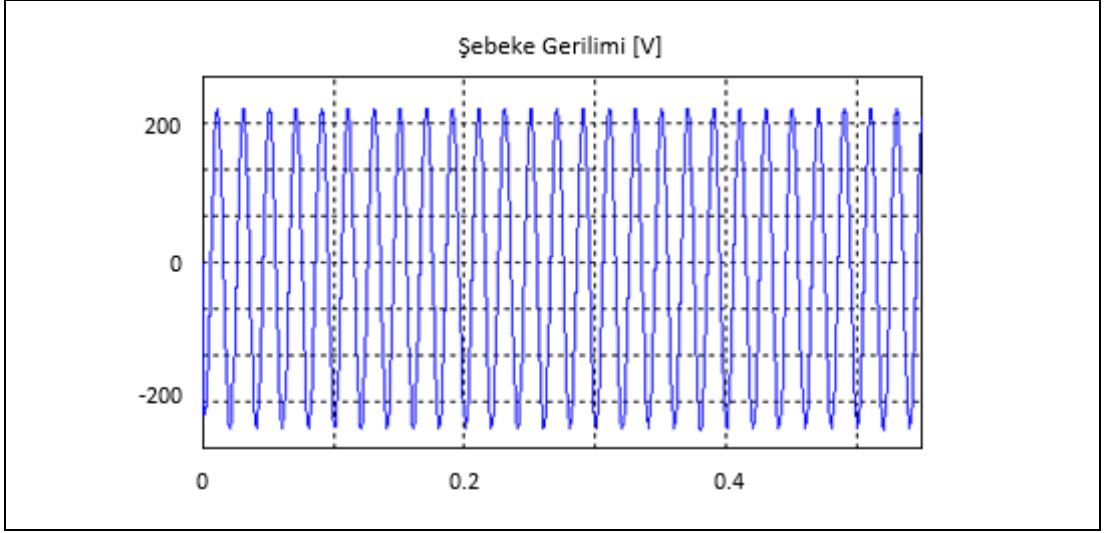
Şekil 4.26: z_1 sinyali.



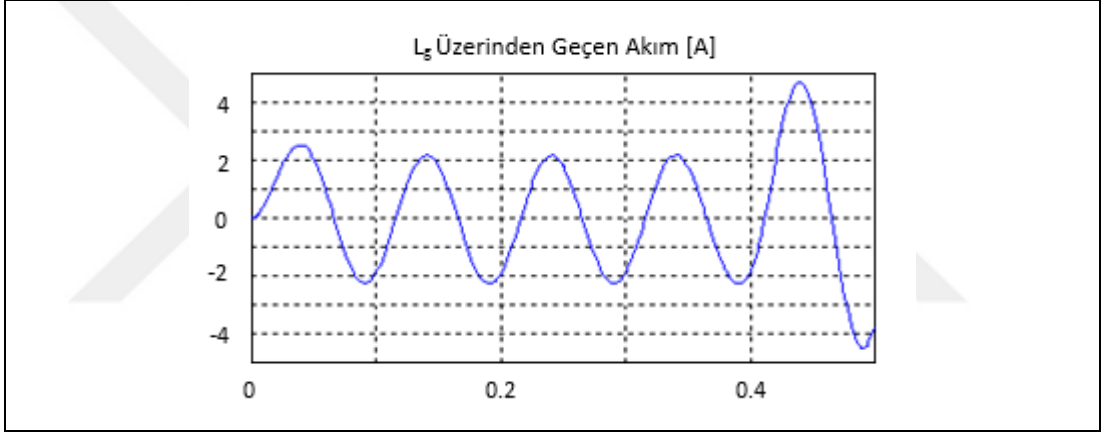
Şekil 4.27: z₂ sinyali.



Şekil 4.28: z₃ sinyali.



Şekil 4.29: Şebeke gerilimi.



Şekil 4.30: Şebeke akımı.

5. SONUÇLAR

Tek fazlı şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktasına ulaşma sorunu ele alınmıştır. Sistemin matematiksel modeli verilerek, kayma kipli ve geri adımlamalı denetleyiciler üzerinde çalışılmıştır. Sistemin maksimum güç noktasına ulaşması için boost dönüştürücü tercih edilmiştir. Çünkü elde edilen gerilim değerinin yükseltilerek şebekeye verilmesi gerekmektedir. DA-DA dönüştürücü yardımı ile yükseltilen sinyal, DA-AA dönüştürücüsü yardımıyla şebekede kullanılmak üzere verilmektedir. Hem DA-DA hem de DA-AA dönüştürücüleri tasarımında kullanılan anahtarlama elemanlarının denetimi için her iki denetleyicinin tasarımında elde edilen denetleyici sinyalleri incelenmiştir. Denetleyicilerin modellenmesinde denetim yasaları kullanılmış ve varsayım yapılarak kullanılan hata sinyallerinin grafikleri paylaşılmıştır. Önerilen denetleyici mekanizmalarının kararlı ve optimum koşullarda olması gereken değerlere yaklaştığı gözlemlenmiştir. Simülasyon sonuçları incelendiğinde, kayma kipli denetleyicinin olması gereken sonuçlara çok daha yakın olduğu, anahtarlama elemanına uygulanan sinyallere göre istenilen sonuçları yakaladığı görülmektedir. Kayma kipli denetleyici, yaklaşık sistem modelini kullanarak belirsizliklere karşı dayanıklı bir denetim yöntemidir. Ayrıca sistem hızlı ve kararlı bir şekilde çalışmaktadır. Parametre değişiklikleri ve bozucu girişlere karşı denetim sisteminin kararlılığı hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. Sistemin kararlılığını koruyabilmek için hata veya durum değişkenlerinin sürekli olarak genlik ve yön değiştiren bir denetim sinyali üretmesini sağlar.

Geri adımlamalı denetleyiciye ait simülasyon sonuçları incelendiğinde ise istenilen sonuçları kayma kipli denetleyici kadar yakalayamadığı görülmektedir. Geri adımlamalı denetleyici, sistem parametrelerindeki belirsizlikler ve bozucu girdilere karşı oldukça duyarsız bir denetleyicidir. Sistem parametreleri için modellemede göz önünde bulundurulmuş değerlerle gerçek büyüklükleri arasında meydana gelebilecek büyük farklılıklar ve ayrıca sisteme dışarıdan etkileyebilecek kontrolsüz girdiler, denetim sisteminin başarısında belirgin bir düşmeye sebep olmaz. Denetleyicinin girdisini elde edebilmek için sistem dinamik denklemlerinin doğrusallaştırılmasını gerektirmemidir, bu durumda denetleyici yönteminin bir üstünlüğüdür. Ancak sistem dinamiğinin karmaşıklığıyla orantılı olarak denetleyici girdisini elde etmek için

kayan kipli denetim yöntemine göre daha çok ara işlem gerektirmesi ve sonuç olarak ortaya çıkan ifadenin denetleyicinin uygulaması esnasında karmaşık olması sebebiyle, fiziksel sistem uygulamalarında çok fazla tercih edilmez. Sonuç olarak, denetleyici sinyali ifadesinin uygulamasını zorlaştıran etkenlerden biri de göz önüne alınan durum değişkenlerinin tamamının ölçülmesi gerektiğidir.



KAYNAKLAR

- [1] Mule S. M., Sankeshwari S. S., (2015), "Sliding Mode Control Based Maximum Power Point Tracking of PV System", IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, e-ISSN:2278-1676, p-ISSN: 2320-3331, 10, 4, II.
- [2] Sahu P. K., (2016), "Sliding Mode Control of Photovoltaic Energy Conversion Systems", Doctor of Philosophy, National Institute of Technology Rourkela.
- [3] Alsumiri M. A., (2015), "Sliding Mode Control of Renewable Energy Generation Systems", Doctor of Philosophy, University of Liverpool.
- [4] Web1, (2018), <https://www.fizikbilimi.gen.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari/>, (Erişim Tarihi: 29/12/2018).
- [5] Cao J., (2011), "Analysis and Implementation of Grid-Connected Solar PV with Harmonic Compensation", Master of Science, The Florida State University.
- [6] Sethy B., (2015), "Application of Sliding Mode Technology in PV Maximum Power Point Tracking System", Bachelor of Technology, Department of Electrical Engineering National Institute of Technology Rourkela.
- [7] Benavide C.M., (2015), "Analysis and Control of a Single-Phase Single-Stage Grid-Connected Photovoltaic Inverter", Doctor of Philosophy, Universitat Politècnica De Catalunya.
- [8] Kalyanraj D., Prakash S.L., Arutchelvi M., (2015), "Design of Sliding Mode Controller for Three Phase Grid Connected Photovoltaic System", IJCTA, 8(3), 1097-1103.
- [9] Omran W., (2010), "Performance Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems", Doctor of Philosophy, University of Waterloo.
- [10] Saravana Selvan D., Harikrishnan V., Umayal V., Indumathy M., (2014), "Performance Analysis of Slide Mode Control based MPPT Controller for Photovoltaic Applications", ICAET, Singapore.
- [11] Orozco M. I. A., Vazquez J. R., Salmeron P., Litran S. P., Alcantara F. J., (2009), "Maximum Power Point Tracker of a Photovoltaic System Using Sliding Mode Control", International Conference on Renewable Energies and Power Quality, RE&PQJ, 1, 7.
- [12] Sattianadan D., Kalyanasundaram V., Vidyasagar S., Jha D. K. N. R., (2017), "Maximum Power Point Tracking for a Grid Connected Photovoltaic System Using Sliding Mode Control", International Journal of Power Electronics and Drive System, ISSN: 2088-8694, 8, 4, 1785~1792.

- [13] Ghazanfari J., Farsangi M. M., (2013), "Maximum Power Point Tracking Using Sliding Mode Control for Photovoltaic Array", Iranian Journal of Electrical&Electronic Engineering, 9, 3.
- [14] Yang J., Su D., Shiao Y., (2008), "Research on MPPT and Single-Stage Grid-Connected for Photovoltaic System", ISSN: 1109-2777, 10, 7.
- [15] Xiong Y., Qian S., Liu Q., (2012), "Single-Stage Grid-Connected Photovoltaic System Based on Sliding Mode and PI Control", ISSN: 1662-8985, 512-515, 271-275.
- [16] Weslati Y., Sellami A., Bacha F., Andoulsi R., "Sliding Mode Control of a Photovoltaic Grid Connected System", Regular Paper.
- [17] Mohammad Ovaiz A., Katta P., Archana S., Nanthabala M., UmaShankari S., (2018), "Sliding Mode Controller Based Grid Coupled PV System", International Journal of Pure and Applied Mathematics, ISSN: 1314-3395, 118, 24.
- [18] Valenci P. A. O., Paja C. A. R., (2015), "Sliding-Mode Controller for Maximum Power Point Tracking in Grid-Connected Photovoltaic Systems", Energies, 12363-12384, 8.
- [19] Prabhakaran A., Mathew A. S., (2016), "Single Mode MPPT Based Control for a Solar Photovoltaic System", International Research Journal of Engineering and Technology, 03, 06.
- [20] Rekiouna D., Achour A. Y., Rekiouna T., (2013), "Tracking Power Photovoltaic System with Sliding Mode Control Strategy", Terragreen13 International Conference, 219-230.
- [21] Maguiri O. E., Farchi A., Louragli E. M., (2014), "Sliding Mode Control Approach for Maximum Power Tracking in Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic Systems", IOSR-JEEE, e-ISSN:2278-1676, p-ISSN:2320-3331 Volume 9, Issue 4, 41-49.
- [22] Belkaid A., Gaubert J. P., Gherbi A., (2016), "An Improved Sliding Mode Control for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems", CEAI, 18, 1, 86-94.
- [23] Kalaycı M. B., (2013), "Kayan Kipli Kontrol Tekniklerinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Makine Mühendisliği.
- [24] Özdemir Ö., Yazıcı İ., (2018), "Ayrık-zaman KKK, LQR ve PID Kontrolör Performanslarının Alçaltıcı Tip DA-DA Dönüştürücü Üzerinde Kıyaslanması", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (1), 8-15.
- [25] Yazıcı A., (2005), "Doğrusal Olmayan Programlama Yöntemlerinin Sistem Denetiminde Kullanımı", Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

- [26] Yazıcı A., (2000), "Kayma Kipli Kontrol Yaklaşımlarının Ters Sarkaç sistemine Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi.
- [27] Aydın S., (2008), "Kayma Kipli Kontrolörlerde Kayma Yüzeyi Tasarımı Yöntemlerinin İncelenmesi ve Sınıflandırılması", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi.
- [28] Özcan S., (2012), "Nonlinear Sistemler için Kayan Sektör İçeren Değişken Yapılı Kontrolcü Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- [29] Tsai H. L., (2010), "Insolation-Oriented Model of Photovoltaic Module Using Matlab/Simulink", Solar Energy, 84, 1318-1326.
- [30] Çolak İ., Kabalcı E., "Evirici Topolojileri ve Gelişimleri Üzerine Bir İnceleme", Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi.
- [31] Rashid, M. H., (2001), "Power Electronics Handbook", Academic Press, Florida, USA.
- [32] Bose, B. K., (2002) "Modern Power Electronics and AC Drives", Prentice Hall Inc., USA.
- [33] Kaçar E., (2010), "Fotovoltaik Sistemler için Tek Fazlı Bir İnverter Tasarımı ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü.
- [34] Şeker M., Özkaya H., (2019), "Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemler için Kayma Kipli ve Geri Adımlamalı Denetleyici Metodlarının Karşılaştırılması", Gebze Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu.
- [35] Khalil H., "Nonlinear Systems", 3th Education, New Jersey.
- [36] Yağız N., Hacıoğlu Y., (2009), "Mekanik Sistemlerin Geri Adımlamalı Kontrolü", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- [37] Aouadi C., Abouloifa A., Hamdoun A., Boussairi Y., (2014), "Advanced Nonlinear Control of Photovoltaic System Connected to the Grid", IEEE, 978-1-4799-4647-1.
- [38] Ren H., Li J., Li D., You G., Wang W., (2017), "Advanced Nonlinear Control of Photovoltaic System Connected to the Grid", 2nd International Conference on Control, Automation, and Artificial Intelligence.
- [39] Aouadi C., Abouloifa A., Hamdoun A., Boussairi Y., (2014), "Backstepping Based Control of PV System Connected to the Grid", International Journal of Computer and Information Technology, ISSN:2279-0764, 03, 05.
- [40] Santana C., IST., Silva F., Senior Membe., "Backstepping Control of a Photovoltaic DC-AC Converter", Master of Science, Técnico Lisboa.

- [41]Ojha A., Khandelwal A., (2015), “Control of Non-Linear System Using Backstepping”, International Journal of Research in Engineering and Technology, eISSN: 2319-1163, 04, 05.
- [42]Sheng Z., Wei-qi Q., (2017), “Dynamic Backstepping Control for Pure-Feedback Nonlinear Systems”, Computational Aerodynamics Institution, China Aerodynamics Research and Development, Center, Mianyang, 621000, China.
- [43]Appendix, “Fundamentals of Backstepping Control”.
- [44]Doruk Ö., Zuglem A., (2018), “Geri Adımlama Tekniği ile Bir DC Motorun konum ve Hız Kontrolü”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 22, Özel sayı, 65-82.
- [45] El Fadil, H., Giri, F., Guerrero, Josep M., (2012), “Grid-Connected of Photovoltaic Module Using Nonlinear Control”, 3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 119-124.
- [46]Naoufei K., Zazi M., Mahmoudi H., (2015), “Grid-Connected Photovoltaic System Using an Advanced Backstepping Approach”, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, E-ISSN: 1817-3195, 79, 2.
- [47]Özkan B., (2009), “Mekatronik Sistemlerde Uygulanan Belli Başlı Kontrol Yöntemleri”, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü (TÜBİTAK-SAGE), P.K. 16, 06261, Mamak, Ankara.
- [48]Sriharibabu A., Rao G.S., (2018), “MPPT Design for Photovoltaic Energy System Using Backstepping Control with a Neural Compensator”, International Journal of Engineering&Technology, 7(4.24), 129-132.
- [49]Roy T.K., Mahmud A., Haque M.E., (2016), “Robust Nonlinear Adaptive Backstepping Controller Design for Three-Phase Grid-Connected Solar Photovoltaic Systems with Unknown Parameters”, Deakin University’s Research Repository, 1-5.

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılı Üsküdar doğumlu Havva Özkaya, 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümüne başlayarak, 2014 yılında başarıyla mezun olmuştur. 2015 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim dalında lisansüstü eğitimine başlamıştır. 2016 yılından itibaren otomotiv sektöründe ürün geliştirme, araştırma-geliştirme ve ürünlerin test süreçlerinin tasarlanması alanlarında çalışmaktadır.

