

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE DÜŞÜRÜCÜ-YÜKSELTİCİ
DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLÜ MAXİMUM GÜÇ NOKTASI
İZLEME ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRMASI

DENİS YAMBA SOPONDJA

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

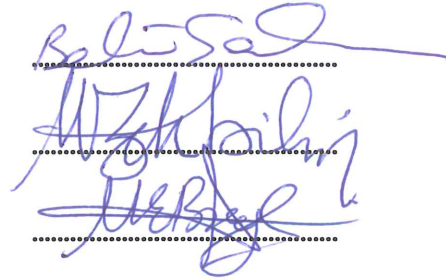
FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE DÜŞÜRÜCÜ-YÜKSELTİCİ DA-DA
DÖNÜŞTÜRÜCÜLÜ MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME
ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRMASI

DENIS YAMBA SOPONDJA

Prof.Dr. Bekir ÇAKIR
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .

Dr.öğr. üyesi Mehmet Zeki BİLGİN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi.

Dr.öğr. üyesi Mustafa Engin BAŞOĞLU
Jüri Üyesi, Gümüşhane Üniversitesi.



Tezin Savunulduğu Tarih: 01.10.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmek, güneş enerjisini kullanmanın en bilinen yoludur. Güneş panellerinin verimliliği, sıcaklık, güneşin doğuşu, güneş ışınımı, kir, gölge vb. birçok faktöre bağlıdır. PV dizi, ev aletleri, güneş arabaları ve elektrikli uçak veya uzay el sanatları için çeşitli uygulamalar bulur.

Bu tez çalışmasında fotovoltaiik sistemlerde düşürücü-yükseltici DA-DA dönüştürücülü maksimum güç noktası izleme algoritmaları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada desteğini esirgemedi çalışmalarıma yön veren, danışman hocam Prof. Dr. Bekir ÇAKIR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans öğrenimim boyunca fikirleri ile çalışmalarıma katkıda bulunan hocalarım Dr.Öğr.Üyesi Mustafa Engin BAŞOĞLU'na, Abdulvehhap KAZDALOĞLU'na ve arkadaşım Mohamed Aboubacar YASKO'ya teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca sıkıntılarımı ve mutluluklarımı paylaşan babam Jean Sopondja Kingambo'ya, kardeşlerime, abim Eddy Fundi'ye teşekkür ederim.

Haziran – 2018

Denis Yamba SOPONDJA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
GİRİŞ	1
1. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	4
1.1. Terminoloji.....	4
1.2. Fotovoltaik Tarihçesi.....	4
1.3. Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi	4
1.4. Fotovoltaik Hücrelerinin Türleri	5
1.5. FV Sistem Konfigürasyonu	7
1.6. FV Sistemlerin Türleri.....	8
1.7. Fotovoltaik Hücrelerin Elektriksel ve Nominal Değerleri	10
1.7.1. Fotovoltaik hücrenin elektriksel değerleri.....	10
1.7.2. Fotovoltaik Hücrenin nominal değerleri	11
1.7.3. Gerilim-akım karakteristiğine hücre sıcaklığı ve güneş ışınımının değişiminin etkisi.....	11
1.8. FV Panel Gruplandırma Hesabı	13
1.8.1 Panellerin Seri bağlantısı.....	13
1.8.2 Panellerin Paralel bağlantısı	14
1.9. Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları	15
2. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	16
2.1. Darbe Genişlik Modülasyonu Kontrolü	16
2.2. Temel Dönüştürücüler	17
2.3. Düşürücü-Yükseltici Dönüştürücü	17
3. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME ALGORİTMALARI.....	19
3.1. Kısa Devre Akımı Yöntemi.....	19
3.2. Açık Devre Gerilimi Algoritması.....	20
3.3. Değiştir Gözle Algoritması	20
3.4. Artan İletkenlik Algoritması	21
3.5. Sabit Gerilim Algoritması	23
4. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN TASARIMI, MODELİ VE SİMÜLASYON SONUÇLARI	25
4.1. FV SUNGEN İNT SGM-200	25
4.2. Düşürücü-yükseltici dönüştürücü	27
4.2.1. Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün tasarımı.....	27
4.2.2. Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün modeli.....	27
4.3. MGNİ Algoritmalarının Modeli ve Simülasyonun Sonuçları.....	28

4.3.1. Sabit gerilim algoritması	28
4.3.1. Değiştir gözle algoritması.....	30
4.3.2. Artan iletkenlik algoritması	32
4.4. MGNİ Algoritmalarının Karşılaştırmaı Analizi	34
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	36
KAYNAKLAR	37
KİŐİSEL YAYINLAR VE ESERLER	40
ÖZGEÇMİŞ	41



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Yarı-iletken katmaları	5
Şekil 1.2.	Çeşitli teknolojiler için PV hücre verimliği	7
Şekil 1.3.	FV hücresi, modülü ve dizisi.....	7
Şekil 1.4.	Bir PV sisteminin konfigürasyonunu gösteren şema	8
Şekil 1.5.	Tipik olarak ihtiyaç duyulan bileşenlerle birlikte bir şebeke- bağlı bir PV system şema	9
Şekil 1.6.	AD ve AA yükleri için elektrik enerjisi sağlayan tipik ve tekil bir PV sistemini gösteren diyagram	10
Şekil 1.7.	Hücrenin elektrik şeması.....	10
Şekil 1.8.	STC altında tipi FV hücre için I-V eğrisi.....	11
Şekil 1.9.	FV hücrenin farklı ışınım yoğunluklarında ürettiği akım ve gerilim miktarı.....	12
Şekil 1.10.	farklı sıcaklık değerleri için FV hücrenin ürettiği akım ve gerilim eğrileri.....	11
Şekil 1.11.	Panellerin seri bağlantısı	11
Şekil 1.12.	Panellerin paralel bağlantısı	14
Şekil 2.1.	Darbe genişlik modülasyonu kontrolü	16
Şekil 2.2.	Düşürücü-yükseltici dönüştürücü.....	17
Şekil 2.3.	Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün anahtarlama durumu.....	17
Şekil 2.4.	Akım ve gerilim dalga şekilleri.....	18
Şekil 3.1.	Kısa devre akım algoritması.....	19
Şekil 3.2.	Açık devre gerilimi algoritması.....	20
Şekil 3.3.	Değiştir gözle algoritması	21
Şekil 3.4.	Artan İletkenlik MGNİ algoritması temel prensibi	22
Şekil 3.5.	Artan İletkenlik algoritması	23
Şekil 3.6.	Sabit gerilim algoritması	24
Şekil 4.1.	FV sistem.....	25
Şekil 4.2.	Sungen International sgm-200p'in I-V Ve P-V karakteristikleri.....	26
Şekil 4.3.	Sungen International sgm-200p'in I-V Ve P-V karakteristikleri.....	26
Şekil 4.4.	Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün modeli.....	27
Şekil 4.5.	Standart Test şartlarda simülasyon sonuçları	28
Şekil 4.6.	MGNİ sabit gerilim algoritması ile kontrol edilen düşürücü- yükseltici dönüştürücüne bağlı fotovoltaik sistemin şeması	28
Şekil 4.7.	Sabit gerilim algoritması, 1000 W/m ² ve 25 °C için simülasyon sonuçları	29
Şekil 4.8.	Sabit gerilim algoritması, 500 W/m ² ve 25 °C için simülasyon sonuçları	29
Şekil 4.9.	Sabit gerilim algoritması, 250 W/m ² ve 25 °C için simülasyon sonuçları	30
Şekil 4.10.	MGNİ Değiştir gözle algoritması ile kontrol edilen düşürücü- yükseltici dönüştürücüne bağlı fotovoltaik sistemin şeması.....	30
Şekil 4.11.	Değiştir gözle algoritması, 1000W/m ² ve 25 °C için simülasyon sonuçları	31

Şekil 4.12. Değişir gözle algoritması, 500W/m ² ve 25 °C için simülasyon sonuçları	31
Şekil 4.13. Değişir gözle algoritması, 250W/m ² ve 25 °C için simülasyon sonuçları	32
Şekil 4.14. MGNİ Artan iletken algoritması ile kontrol edilen düşürücü-yükseltici dönüştürücüne bağılı fotovoltaik sistemin şeması	32
Şekil 4.15. Artan iletken algoritması, 1000W/m ² ve 25 °C için simülasyon sonuçları	33
Şekil 4.16. Artan iletken algoritması, 500W/m ² ve 25 °C için simülasyon sonuçları	34
Şekil 4.17. Artan iletken algoritması, 250W/m ² ve 25 °C için simülasyon sonuçları	34



TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1. SUNGEN INT SGM - 200 P'in elektriksel karakteristikleri.....	25
Tablo 4.2. Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün Parametreleri.....	27
Tablo 4.3. MGNİ Algoritmalarının simülasyon sonuçları	34



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

P_1	: DA-DA dönüştürücü giriş gücü (W)
P_2	: DA-DA dönüştürücü çıkış gücü (W)
C_i	: Kondansatör, (μF)
D	: Doluluk oranı
ΔV_2	: DA-DA Dönüştürücü çıkış dalgalanma gerilimi, (V)
ΔQ	: Biriktirilmiş iki şarj miktarın farkı, (C)
η	: FV hücrenin verimliliği
f	: Anahtarlama frekansı, (Hz)
FF	: Dolgu faktörü
G	: Güneş ışınımı, (W/m^2)
R	: FV dış direnç (Ω)
r_1	: FV ₁ iç direnç (Ω)
ΔD	: Değiştirme oranı
r_2	: FV ₂ iç direnç (Ω)
C_g	: AD-AD Dönüştürücünün Giriş konsantörü (μF)
I_D	: Diyot akımı, (A)
I_L	: Bobin akımı, (A)
$I_{L\text{maks}}$: Maksimum güç noktası izleme akımı
$I_{L\text{min}}$: Bobin minimum akımı, (A)
$I_{L\text{avg}}$: Bobin ortalama akımı, (A)
I_{MGNI}	: Maksimum güç noktası izleme akımı
I_2	: DA-DA dönüştürücünün çıkış gerilimi, (V)
I_1	: DA-DA dönüştürücünün giriş gerilimi, (V)
I_{PH}	: Işınım akımı, (A)
V_{MGNI}	: Maksimum güç noktası izleme gerilimi
I_{REF}	: Referans akımı, (A)
I_S	: Doyma akımı, (A)
I_{SC}	: Kısa devre akımı, (A)
$I_{\text{SC,STC}}$: Standart Test Koşullarındaki kısa devre akımı, (A)
I_{SH}	: Şönt direnç akımı, (A)
$I_{\text{MP,STC}}$: Standart Test Koşullarındaki maksimum akımı, (A)
k	: Boltzmann sabiti
K_1	: Kısa devre akımının sıcaklık katsayısı, ($\text{mV}/^\circ\text{C}$)
K_{sc}	: Açık devre geriliminin sıcaklık katsayısı, ($\text{mA}/^\circ\text{C}$)
L	: Endüktans, (μH)
L_{min}	: Endüktans minimum değeri, (μH) n : Diyot kalite faktörü
P_{ort}	: FV hücrenin ortalama gücü, (W)
$P_{\text{MP,ort}}$: FV hücrenin ortalama maksimum gücü, (W)
P_{MP}	: FV hücrenin maksimum gücü, (W)
$P_{\text{MP,STC}}$: Standart Test Koşullarındaki FV hücrenin maksimum gücü, (W)
R_{CH}	: FV hücrenin karakteristik direnci, (Ω)

R_S	: FV hücrenin seri direnci, (Ω)
R_{SH}	: FV hücrenin şönt direnci, (Ω)
$R_{S,maks}$: FV hücrenin maksimum seri direnci, (Ω)
$R_{SH,min}$: FV hücrenin minimum şönt direnci, (Ω)
q	: Elektron yükü, (C)
t_{ON}	: Yarı iletken yüklenme süresi, (ns)
t_{OFF}	: Yarı iletken düşme süresi, (ns)
T	: FV hücrenin çalışma sıcaklığı, ($^{\circ}C$)
T_S	: Yarıiletken Anahtarlama periyodu, (μs)
E_2	: FV_2 elektromotor kuvveti (V)
E_1	: FV_1 elektromotor kuvveti (V)
V_{ort}	: FV hücrenin ortalama çıkış gerilimi, (V)
V_C	: Kondansatör gerilimi, (V)
V_D	: Diyot gerilimi, (V)
E_3	: FV_3 elektromotor kuvveti (V)
V_{MP}	: FV hücrenin maksimum gerilimi, (V)
I_{np}	: FV Maksimum güç noktası akımı (A)
V_2	: DA-DA dönüştürücünün çıkış gerilimi, (V)
V_{OC}	: FV hücrenin açık devre gerilimi, (V)
V_1	: DA-DA dönüştürücünün giriş gerilimi, (V)
V_{REF}	: Referans gerilim, (V)
V_{np}	: FV Maksimum güç noktası gerilimi (V)
P_{np}	: FV Maksimum güç noktası gücü (W)

Kısaltmalar

a-Si	: Amorf Silikon
DA	: Doğru Akım
FV	: Fotovoltaik
CIS	: Copper Indium Selenide (Bakır İndiyum Selenid)
CdTe	: Cadmium Telluride (Kadmiyum Telurid)
EMK	: Elektromotor kuvvet
MGNİ	: Maksimum Güç Noktası İzleme
OPC	: Organik Fotovoltaik Hücreler
DGM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
STC	: Standard Test Conditions (Standart Test Koşulları)
BOS	: Balance of system (Denge sistemi)

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE DÜŞÜRÜCÜ-YÜKSELTİCİ DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLÜ MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRMASI

ÖZET

Fotovoltaik sistem, fotovoltaik hücre kullanılarak güneş enerjisinden elektriğe çeviren bir sistemdir. Fotovoltaik hücrenin verimliliği, sıcaklık, güneşin doğuşu, güneş ışınımı, kir, gölge vb. gibi birçok çevresel faktöre bağlıdır. Fotovoltaik sistem, herhangi bir çevre koşulunda maksimum güç noktasını izlemek için farklı algoritmalar kullanılır. Bu tez çalışmasında, literatürde yer alan maksimum güç noktası izleme algoritmaları incelenmiş ve algoritmaların özelliklerini özetleyen tabloya yer verilmiştir. MATLAB/SIMULINK programında sabit gerilim, değiştir -gözle ve artan iletkenlik algoritmaları bir düşürücü-yükseltici dönüştürücü devresi üzerinden 200 W'lık bir güneş panel için analiz edilmiştir ve her üç algoritma için alınan simülasyon sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Farklı sıcaklık seviyeleri ve ışınım değerleri için algoritmaların performansları izlenmiştir. Alınan simülasyon sonuçlarına göre çeşitli atmosfer koşullarında değiştir-gözle ve artan iletkenlik algoritmalarının performansları birbirine yakındır. Maksimum güç noktasını yakalama süreleri kıyaslandığında sabit gerilim algoritmasının diğer algoritmalarından daha başarılı olduğu izlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Artan İletkenlik Algoritması, Değiştir-Gözle Algoritması, Düşürücü-Yükseltici DA-DA Dönüştürücü, Fotovoltaik Sistem, Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemleri.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHMS USING DC-DC BUCK-BOOST CONVERTER FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

ABSTRACT

Photovoltaic system is the conversion of solar energy into electricity using photovoltaic cells. The efficiency of photovoltaic cells depends on many environmental factors such as temperature, sunrise, solar irradiance, dirt, shade, etc... Photovoltaic system uses different algorithms to track the maximum power point in any environmental condition. In this work, three different maximum power point tracking (MPPT) algorithms found in the literature have been examined in detail. Constant voltage, incremental conductance and perturb-observe algorithms were analyzed in MATLAB/SIMULINK program for 200 W photovoltaic panel using DC-DC buck-boost converter circuit and the simulation results for all three algorithms were compared. The performance of the algorithms was examined for different temperature levels and radiation values. According to the simulation results, the performances of perturb-observe and incremental conductance algorithms in various atmospheric conditions are close to each other. When the maximum power point tracking times are compared, it is observed that the constant voltage algorithm is more successful than the other algorithms.

Keywords: Incremental Conductance Algorithm, Perturb-Observe Algorithm, DC-DC buck-boost Converter, Photovoltaic System, Maximum Power Point Tracking Algorithms.

GİRİŞ

Dünyada enerji üretiminde birinci sırada yer alan fosil yakıtların ekolojik denge ve canlılar üzerindeki etkileri geri dönülemez tahribatlara neden olmaktadır. Bunun için alternatif enerji arayışında, güneş enerjisi elektrik enerjisinin üretilmesinde en popüler kaynak olmaya devam etmektedir. Fakat günümüzde hala ilk kurulum maliyetlerinin istenen düzeyde düşürülememesi ve diğer etkenler elektrik enerjisi çevrim verimlerinin yüksek olmasını gerektirmektedir.

Güneş enerjisini fotovoltaik (FV) etki ile elektrik enerjisine çevirmek, güneş enerjisini kullanmanın en yaygın yoludur. FV hücreleri yarı iletken malzemeler olduğundan, bilgisayarlar ve bellek yongaları gibi diğer yarı iletken malzemelerin işleme ve üretim teknikleriyle ortak noktaları çoktur.

Çok sayıda FV hücrenin seri ve/veya paralel bağlanması sonucu oluşan FV modülleri, elektrik üretmek için son derece güvenilir, dayanıklı ve düşük gürültülü aygıtlardır. Fotovoltaik hücrenin elektrik üretebilmesi için güneş ışınımına ihtiyacı vardır. Güneş, FV sistemlerinin çalışması için gerekli olan tek kaynaktır ve enerjisi neredeyse sınırsızdır.

Son zamanlarda tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi sistemleri daha fazla dikkat çekmektedir. Bunun nedeni sera emisyonları azaltılırken elektrik üretmek için mükemmel bir fırsat sunmasıdır. Güneş enerjisinin sonsuz yönüne gelince, güneş enerjisinin enerji krizi için eşsiz bir potansiyel çözüm olduğunu söylemek gerekir. Bununla birlikte, güneş enerjisi sistemlerinin yukarıda belirtilen tüm avantajlarına rağmen istenen verimliliği sunmazlar [1, 2].

Güneş panellerinin verimliliği, sıcaklık, güneşin doğuşu, güneş ışınımı, kir, gölge vb. birçok faktöre bağlıdır. FV dizilerin, ev aletleri, güneş arabaları ve elektrikli uçak veya uzay istasyonları için çeşitli uygulamaları vardır. Bulutlu havalar ve ortam sıcaklığındaki artış gibi hızlı iklim değişikliklerine bağlı olarak panellerin üzerine düşen güneş ışınımındaki değişiklikler FV dizilerin çıkış gücünü azaltabilir. FV

sistemlerin verimsizliğinin giderilmesinde, maksimum güç noktası izleme (MGNI) adı verilen bazı yöntemler kullanılmaktadır. Tüm MGNI yöntemleri, her bir çalışma koşulunda maksimum gücü izleyerek, FV dizi çıkış gücünü en üst düzeye çıkartmayı hedefler.

Maksimum güç noktası takibi, mümkün olan en yüksek güç değerini elde etmek için elektrik yükünün otomatik olarak ayarlanmasıdır .

Sangita M., Kondawar S., Vaidya B., 2012 yılında yayımladıkları makalede, üretilen gücü en üst düzeye çıkarmak için iki farklı yöntem karşılaştırarak değiştir gözle ve artan iletkenlik kontrol yöntemlerini incelemiş ve analiz etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre tüm durumlarda, MGNI için en iyi algoritma değiştir gözle algoritmasıdır [3].

Dezso S., Laszlo M., , Tamas K., , Sergiu S., , Remus T., 2013 yılında yayımladıkları makalede, değiştir gözle ve artan iletkenlik hakkında ayrıntılı bir analiz sunmuştur. Analizin amacı bazı yaygın yanlış kavramları açıklığa kavuşturmadır. İki yöntem hem matematiksel hem de pratik olarak kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Matematiksel analiz sonucunda ikisi arasında hiçbir fark olmadığı ortaya çıkmıştır. Analiz sonuçlarına göre değiştir gözle ve artan iletkenlik algortimalarının izleme performanslarının hem statik hem de dinamik koşullarda büyük ölçüde aynı olduğu gösterilmiştir [4].

Gomathy S., Saravanan S., Thangavel S., 2012 yılında yayımladıkları makalede, maksimum güç noktasını izlemek için değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmalarıyla kontrol edilen tipik bir düşürücü-yükseltici dönüştürücüyü MATLAB/SIMULINK programında geliştirmişlerdir. Bu çalışmada artan iletkenlik algoritması değişken adım büyüklüğü sayesinde izleme hızını ve maksimum güç değerini etkin bir şekilde artırabilmiştir. Bu çalışmada simüle edilen MGNI yöntemi ile birlikte, FV sistemin dinamik ve kararlı durum performansında test edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre sistemin maksimum güç noktası takibini dalgalanmalara rağmen başarılı bir şekilde tamamladığı görülmüştür. Çevresel koşullar aniden değiştiğinde, sistem maksimum güç noktasını hızlı bir şekilde izleyebilmiştir [5].

Ramdan B. A. Koad, Ahmed. F. Zobia, 2014 yılında yayımladıkları makalede, beş MGNI algoritması karşılaştırmışlardır. Bu çalışmanın simülasyon sonuçlarına göre artan iletkenlik algoritmasının en iyi olduğu gözlenmiştir [6]. Fakat Hegazy Rezk ve Ali M. Eltamaly tarafından yapılan çalışmaya göre değiştir gözle algoritması artan iletkenlik algoritmasından daha iyi performans sergilemiştir [7].

D. P. Hohm ve M. E. Ropp, 2003 yılında yaptıkları çalışmada simülasyon sonuçlarına göre değiştir gözle algoritması artan iletkenlik algoritmasından daha başarılı olduğunu savunmuşlardır [8]. David Sanz Morales, 2010 yılında tamamladığı tez çalışmasında karşılaştırmalı analiz sonuçlarına göre düzeltilmiş değiştir gözle algoritması ve artan iletkenlik algoritmaları önermişlerdir [9].

Bu tez çalışmasında farklı çevre koşullarda FV sistemlerde kullanılan MGNI yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda değiştir gözle, sabit gerilim ve artan iletkenlik algoritmalarının performansları değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ilk kısmında, FV sistem hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca FV hücrelerin çalışma prensibi, FV hücre tipleri ve FV modülün elektriksel karakteristikleri, güneş panellerinin farklı bağlantıları tanıtılmış ve FV sistemin avantajları ve dezavantajları verilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında, DA-DA temel dönüştürücüler hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Düşürücü yükseltici dönüştürücünün matematiksel teorisi ve dönüştürücünün giriş ve çıkışına ait temel dalga şekilleri verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, maksimum güç noktasını izlemek için kullanılan temel algoritmalarından bahsedilmiştir. Değiştir gözle, artan iletkenlik, sabit gerilim, açık devre gerilim, kısa devre akım algoritmaları açıklanmış ve akış diyagramları verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü kısmında ise MATLAB/SIMULINK programında sabit gerilim, değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmaları bir düşürücü-yükseltici dönüştürücüsü 200W'lık bir güneş paneli kullanılarak analiz edilmiştir ve her üç algoritma için alınan simülasyon sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Farklı sıcaklık ve ışınım değerleri için algoritmaların performansları izlenmiştir.

1. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

1.1. Terminoloji

Fotovoltaik ya da daha sık kullanılan adlarıyla güneş hücreleri, güneş ışığını doğru akım (DA) elektriğine dönüştüren yarı iletken elemanlardır. Foto terimi ise Yunanca olan ‘‘phos’’tan, yani ‘‘ışık’’tan gelmektedir. ‘‘Volt’’ kelimesi ise Alessandro Volta’nın (1745-1827) ardından kullanılmaya başlanmıştır. Volta, elektrik çalışmalarını başlatan kişi olarak kabul edilmektedir. Böylelikle fotovoltaik; tam olarak ışık elektriği anlamına gelmektedir.

1.2. Fotovoltaik Tarihçesi

FV etkinin bilimsel olarak incelenmesi, Fransız fizikçi Henri Becquerel’in ışık yüzeye vurduğu zaman katı halde pozitif ve negatif yük taşıyıcılarının salındığını keşfettiği yıl olan 1839’da başladı.

1950’lerin sonunda ve 1960’lar süresince geliştirilen ilk geleneksel güneş hücreleri, temel olarak Dünya’nın yörüngesinde bulunan uydulara elektrik enerjisi sağlamak için üretilmişti. 1970’lerde meydana gelen enerji krizlerini takiben, FV enerji sistemlerinin özel ve ticari kullanımını destekleyen pek çok sayıda girişim gerçekleşti.

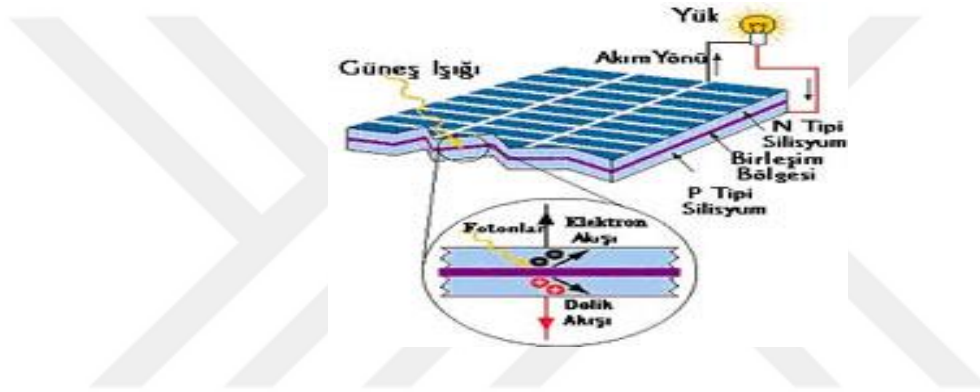
1.3. Fotovoltaik Hücrelerin Çalışma Prensipleri

Güneş hücreleri, çeşitli yarı-iletken malzemelerden oluşurlar. Yarı iletken malzemeler, ışık ve ısıya maruz kaldıklarında elektriksel açıdan iletken olan, ama düşük sıcaklıklarda yalıtıcı işlevi gören maddelerdir. Dünya çapında üretilen güneş hücrelerinin %90’ından fazlası, bir yarı iletken malzemesi olan silikondan oluşmaktadır.

Bir güneş pili üretmek için yarı iletken, kontamine edilir ya da katkılı bir hale getirilir. Katkılama işlemi kişinin üretim fazlası olarak yarı iletken malzemedeki pozitif yük taşıyıcıları (p-iletken yarı iletken katman), ya da negatif yük taşıyıcıları (n-iletken yarı iletken katman) elde etmesini sağlayacak şekilde kimyasal elementlerin sürece dahil

edilme işlemidir. n-tipi ve p-tipi yarı iletken malzemeler birbirleriyle temas ettiğinde, fazla elektronlar n-tipi taraftan p-tipi tarafa geçerler.

Sonuçta arayüzün n-tipi tarafı boyunca büyüyen pozitif bir yük ve p-tipi tarafı boyunca büyüyen negatif bir yük meydana gelir. Elektronların ve boşlukların akışı sayesinde iki yarı iletken de bir pil gibi davranırlar ve buluştukları p-n bağlantısı yüzeyde bir elektrik alanı meydana getirirler. Bu birleşme noktasında ışık tarafından gerçekleştirilmiş yük taşıyıcılarının ayrışmasına neden olan içsel bir elektrik alanı oluşturulur.



Şekil 1.1. Yarı-iletken katmanları

Elektrik alanı, elektronların yarı iletkenden negatif yüzeye doğru hareket etmelerine neden olur. Elektronlar burada elektrik devresi için kullanılabilir hale gelirler. Aynı zamanda delikler, elektronların aksi yönünde olmak üzere pozitif yüzeye doğru hareket ederler ve burada, gelecek olan elektronları beklerler. Herhangi bir metal temasıyla elektrik yükü kontrol edilebilir. Dıştaki devrenin kapalı olması, bir tüketicinin bağlı olduğu anlamına gelir ve doğru akım üretilmiş olur. Bu prosedür Şekil 1.1'de gösterilmiştir.

1.4. Fotovoltaik Hücrelerinin Türleri

Monokristal silikon hücreler tek, silindirik bir silikon kristalden kesilerek yapılan ve FV teknolojiler içinde en verimli hücrelerden biridir. Monokristal hücrelerin temel avantajı, tipik olarak %25,8 civarında olan yüksek verimlilikleridir. Monokristal güneş hücrelerinin pazar payı %36 'dır. Polikristal silikon hücreler erimiş ve yeniden kristalize olmuş silikon külçelerinden kesilerek elde edilen hücrelerdir. Daha basit bir

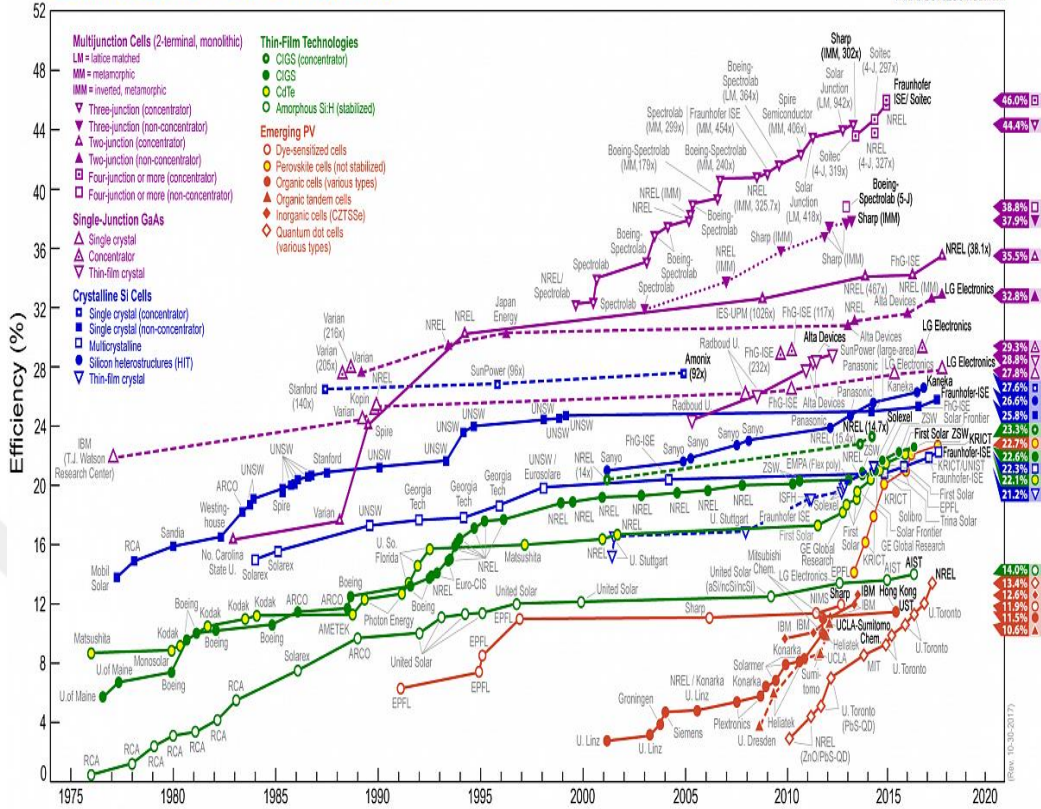
üretim sürecine sahip olduklarından, monokristal hücrelere kıyasla daha ucuzdurlar. Ancak ortalama %22.3 civarında bir verimlilik düzeyine ve parçacıklı bir yapıya sahip olup, monokristal hücrelere göre daha az verime sahiptirler. Çoklu kristal teknolojisiyle üretilen güneş hücrelerin pazar payı günümüzde %50 civarındadır [10].

Kalın filmli silikon sürekli bir işlem boyunca temel malzeme üzerine çöktildiği ve buna bağlı olarak ince taneli, ışıltılı bir görünümün elde edildiği bir diğer çoklu kristal teknolojisidir. Diğer bütün kristal FV'lerde olduğu gibi, burada da polimerden yapılmış şeffaf bir yalıtım malzemesi ve havalı cam kılıf ile kapsülleme işlemi gerçekleşir ve kapsül genellikle güçlü bir alüminyum çerçeveye oturtulur.

Amorf Silikon (a-Si) hücreler, kristal bir yapıdan ziyade, ince homojen bir tabaka oluşturan silikon atomlarından oluşmaktadır. Amorf silikon, ışığı kristal silikondan daha etkili bir şekilde emdiği için hücreler daha ince olabilmektedir. Bundan dolayı bu hücrelere aynı zamanda ince film FV hücreleri de denilmektedir. Kavisli yüzeyler ve katlanabilir modüller için idealdirler. Ancak %14 oranındaki tipik verimlilik düzeyiyle verimlilikleri kristal temelli hücrelerden daha düşüktür. Bununla birlikte üretim maliyetleri daha düşüktür.

Diğer ince film FV hücreler; kadmiyum tellür (CdTe), bakır indiyum diselenid (CIS) ve organik FV hücreler (OPC) şeklinde sıralanabilir. Bu malzemeler FV modüllerin üretiminde kullanılmaktadır. Bu malzemelerin en önemli özelliği kristal silikon teknolojileriyle karşılaştırıldığında, görece az maliyetle üretilibilmeleridir. Düşük maliyetlerine rağmen modül verimlilikleri tipik olarak, amorf silikon hücrelerle karşılaştırıldığında daha yüksektir. Şekil 1.2'de çeşitli teknolojiler için FV hücrenin verimliliği gösterilmektedir. Fotonsentez sürecine dayalı olarak geliştirilen yeni teknolojiler henüz piyasaya çıkmamıştır [11].

Best Research-Cell Efficiencies



Şekil 1.2. Çeşitli teknolojiler için FV hücre verimliliği [12]

1.5. FV Sistem Konfigürasyonu

FV sistem üç alt sistemden oluşmaktadır. Enerji üretimi tarafında, güneş enerjisini doğru akım (DA) elektriğine dönüştüren FV cihazların bulunduğu (hücreler, modüller, diziler) bir alt sistemdir. Şekil 1.3'te FV hücre, modül ve dizi gösterilmektedir.



Tekil pil Hücre



Modül

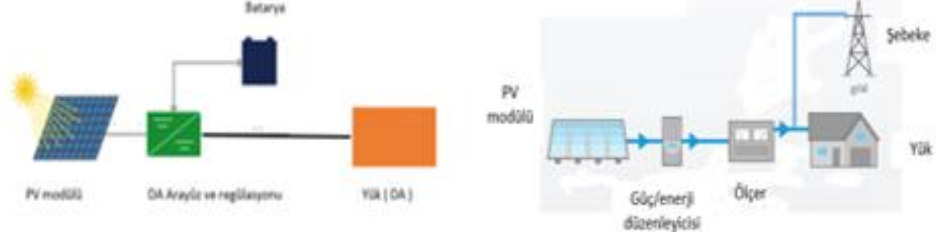


Dizi

Şekil 1.3. FV hücre, modül ve dizi

Enerji kullanımı tarafında, FV panel tarafında üretilen elektriği kullanan yükleri içeren alt sistem ikinci sistemdir. Bu ikisi arasında, FV tarafından üretilmiş elektriğin, yüke

uygun bir şekilde uygulanmasını olanaklı kılacak bir üçüncü sistem vardır. Üçüncü sistem genel olarak sistemin dengesi ya da BOS olarak adlandırılır. Şekil 1.4 FV sistemi tarafından üretilen enerjinin yüke ulaştırılması için ihtiyaç duyulan bileşenleri göstermektedir.



Şekil 1.4. Bir FV sistemin konfigürasyonunu gösteren şema [8]

Şekil 1.4'te gösterildiği gibi FV bağımsız sistem gece ve gündüz güvenilir doğru akım elektriği sağlamak için bataryanın depolama özelliğini kullanır. FV system şebekeye bağlı durumda gün boyunca elektrik üretir. Gün içinde üretilen fazla elektrik kamu şebeke kuruluşuna satılabilir ve böylece kuruluşa buna karşılık olarak geceleri ve kötü hava koşullarında haneye elektrik sağlar.

BOS sistemi tipik olarak FV dizilerini ya da modüllerini harekete geçirmek için kullanılan yapılardan ve doğru akım (DA) elektriğini alternatif akım (AA) tarafından ihtiyaç duyulan uygun forma ayarlayan ve dönüştüren güç /enerji düzenleyici ekipmanlarından meydana gelir. Aynı zamanda BOS, depolama cihazları (bataryalar) içerebilir. Bunun sayesinde FV system tarafından üretilen elektrik, bulutlu havalarda ve gece vakti de kullanılabilir [13].

1.6. FV Sistem Türleri

FV sistemler genel olarak fonksiyonel ve işletme gereksinimlerine, bileşen konfigürasyonlarına ve ekipmanın diğer güç kaynaklarına ve elektriksel yüklerle bağlanma şekline göre sınıflandırılırlar. Şebekeye bağlı ya da kamu hizmet etkileşimli ve tekil sistemler, iki adet temel kategoriyi oluştururlar. Fotovoltaik sistemler, DA ve/veya AA güç sağlamak, kamu şebekesiyle beraber ya da ondan bağımsız çalışmak ve diğer enerji kaynaklarına ve enerji depolama sistemlerine bağlanmak üzere tasarlanmışlardır. Konuyla ilgili olarak günümüzde, Avrupa'da en gözde olan FV sistemi, şebekeye bağlı FV sistemleridir. Bu sistemler elektrik şebekesine bağlıdır.

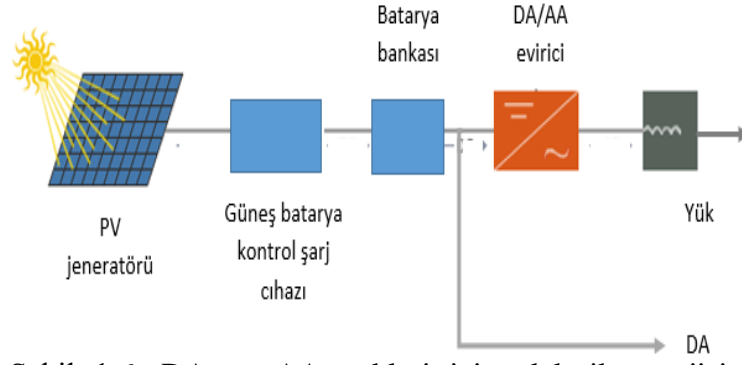
Bu durum gün içinde FV sistem tarafından üretilen elektriğin hemen kullanılabilmesinin yanında, elektrik tedarikini sağlayan şirketlerden herhangi birine satılabilmesi anlamına gelmektedir. Akşam vakti, güneş sistemi gerekli olan elektriği üretilmediğinde, sabah üretilip satılan fazladan elektrikten elde edilen gelir ile akşam vakti için kullanılacak elektrik şebekeden satın alınabilir. Şebeke bir nevi enerji depolama sistemi işlevi görmektedir. Bundan dolayıdır ki FV sisteminin bir batarya depolama sistemine ihtiyacı olmamaktadır [14].

Şebekeye bağlı FV sistemler genel olarak binalara entegre edilirler. Buna örnek tipik bir sistem Şekil 1.5’de gösterilmiştir. FV teknolojisi, binalarda kullanılmak için ideal olup, fazla yer kaplamadan, çevre ve ses kirliliğine neden olmadan elektrik üretimi sağlar. Avrupa’da son yıllarda FV sistemlerin bina çapında kullanımında, bazı etkileyici örneklerin halihazırda arttığı görülmektedir.



Şekil 1.5. Tipik olarak ihtiyaç duyulan bileşenlerle birlikte şebekeye bağlı FV sistemi gösteren şema

Şekil 1.6’da bağımsız bir FV sisteme ait şematik temsili verilmiştir. Tekil bir FV sistemin en basit tipi, bir FV modülünden ya da dizisinden elde edilen DA gücünün doğrudan bir DA yüküne bağlandığı direct birleşimli FV sistemdir. Söz konusu sistemlerde elektrik enerji depolama (batarya) sistemi olmadığından yük yalnızca gün ışığının olduğu saatlerde çalışır ve bundan dolayı bu tasarımlar, havalandırma fanları, su pompaları ve solar termal su ısıtma sistemleri için küçük çaplı sirkülasyon pompaları üzerinde uygulamak için uygundur. Pek çok tekil FV sistemde, enerji depolama işlemi için bataryalar kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekil tipik bir bağımsız FV sistemin DA ve AA yüklerine sağladığı enerjinin bir diyagramını göstermektedir [13].

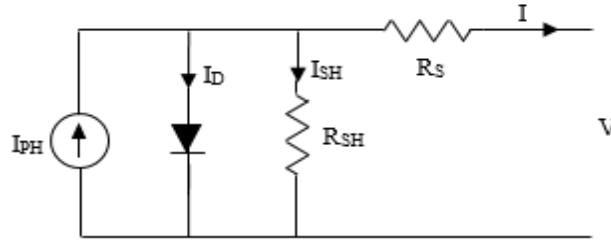


Şekil 1.6. DA ve AA yükleri için elektrik enerjisi sağlayan tipik bir bağımsız FV sistemi gösteren diyagram

1.7. Fotovoltaik Hücrelerin Elektriksel ve Nominal Değerleri

1.7.1. Fotovoltaik hücrenin elektriksel değerleri

FV hücreler bir yüzey alanı içerisinde seri ya da paralel bağlanarak güç çıkışının artması sağlanır. Literatürde tek diyot, iki diyot gibi farklı tipte FV hücre modelleri bulunmasına karşın bu çalışmada tek diyotlu FV hücre modeli kullanılmıştır. Bu modele ait basitleştirilmiş elektriksel devre yapısı Şekil 1.7’de gösterilmektedir.



Şekil 1.7. FV hücrenin elektrik şeması

Şekil 1.7’de görülen devre yapısına göre FV hücrenin çıkış gerilimi; güneş ışınımına bağlı olarak değişen ışık akımı, diyodun ters doyum akımı ve yük akımına bağlı değişmesi ile elde edilen bağıntı Eşitlik (1.1)’de verilmiştir.

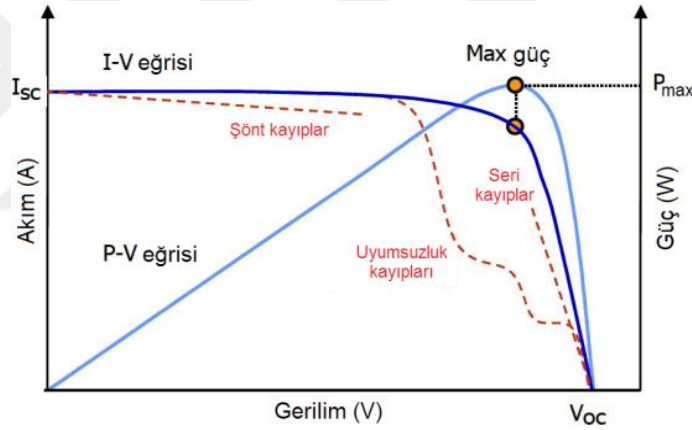
$$I = I_{PH} - I_S \left[e^{\frac{q(V+R_S I)}{nkT}} - 1 \right] - \frac{V+R_S I}{R_{SH}} \quad (1.1)$$

I ve V , FV hücrenin çıkış akımı ve gerilimidir. I_{PH} ışınım akımı, I_S diyot doyma akımıdır. k , q ve n , sırasıyla Boltzmann sabitini, elektron yükünü ve diyot kalite faktörünü temsil eder. R_S ve R_{SH} , seri ve paralel dirençleridir ve I_{SH} paralel dirençten geçen akımdır.

1.7.2. Fotovoltaik hücrenin nominal değerleri

FV hücrenin performansını ölçmek adına çok sayıda laboratuvar testi yapılmıştır. Yapılan testlerde belli başlı koşullar Standart Test Koşulları (STC) olarak tanımlanmıştır. Bu standartlar sıcaklık (25 °C), ışınım (1kW/m²) ve hava kütesidir(1.5).

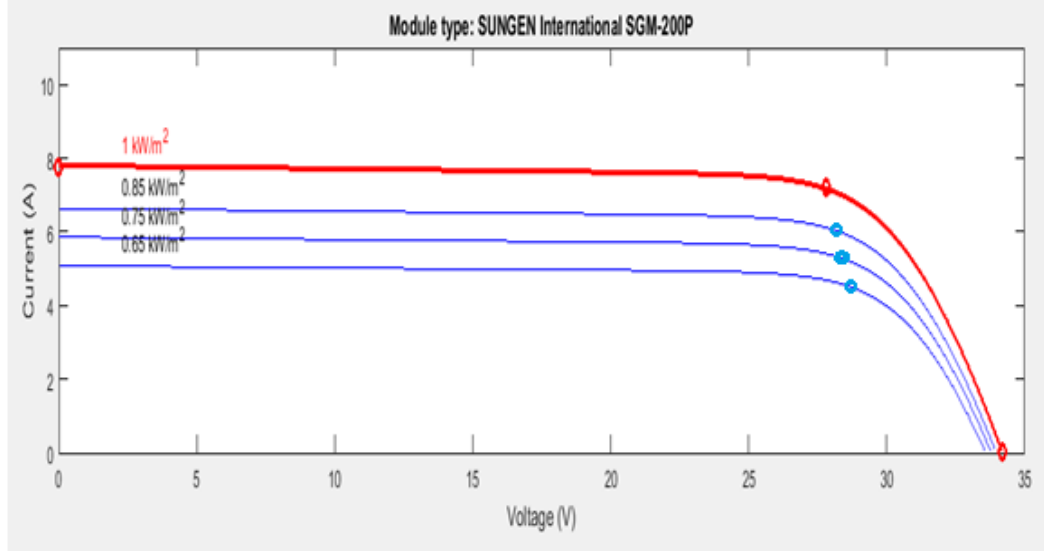
FV hücreler tarafından üretilen akımın miktarı, gerilimin bir fonksiyonudur. FV hücre akım-gerilim (I-V) eğrileri bu ilişkiyi ifade etmektedir. Bu eğriler hücrelerin belli başlı koşullar altında gösterdikleri performansı belirlemek ve farklı hücreler ile karşılaştırma yapmak için kullanılırlar. Standart koşullar altında bulunan kristal silikon bir hücrenin tipik I-V eğrisi Şekil 1.8'de verilmiştir. FV hücrenin nominal değerleri kısa devre akımı (I_{sc}), açık devre gerilimi (V_{oc}), maksimum güç (P_{maks}), maksimum güç noktasındaki akım (I_{pn}) ve maksimum güç noktasındaki gerilimdir (V_{pn}).



Şekil 1.8. STC altındaki tipik FV hücre için I-V eğrisi

1.7.3. Gerilim-akım karakteristiğine Hücre sıcaklığı ve güneş ışınımının değişiminin I-V etkisi

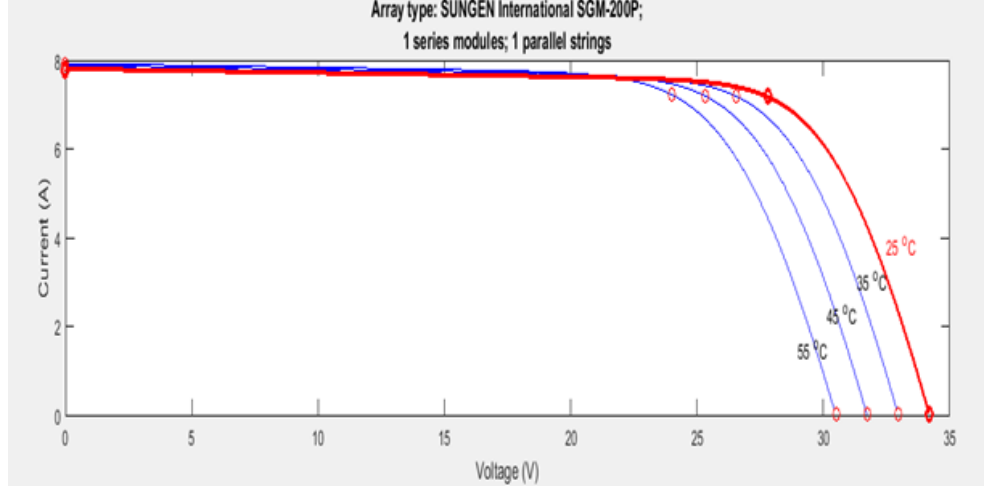
FV hücre tarafından üretilen enerji ile güneş ışınımı arasında yaklaşık olarak doğru orantı vardır. FV hücrelerin önemli bir özelliği de hücre geriliminin ışınımına fazla bağlı olmaması ve değişen ışınım ile aşağı yukarı sabit kalmasıdır. Ancak FV hücre akımı, ışınım yoğunluğu ve miktarıyla doğru orantılıdır. Bu durum, Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9. FV hücrenin farklı ışınım yoğunluklarında ürettiği akım ve gerilim miktarı

Hava kütlesi, güneş ışınımının geçtiği atmosferin kalınlık derecesini ifade etmektedir ve güneş hücreleri güneş radyasyonunu spesifik dalga boylarında alarak faydalı kıldıklarından, hava kütlesi mevcut ışınımın karakteristik özelliklerinin tanımlanmasının önemli bir göstergesidir. FV modülün doğrudan güneşe bakmasını engellemesi için bir takip mekanizmasının kullanılması veya bir lens ya da ayna kullanımı ile güneş ışınımının yoğunlaştırılması sonucunda FV hücrenin ürettiği enerji miktarı büyük ölçülerde artırılabilir. Ancak söz konusu mekanizmaların karmaşıklığından ve FV hücrenin ürettiği enerji miktarı aynı zamanda sıcaklığa bağlı olduğundan dolayısıyla FV hücrelerinin orta sıcaklıklarda tutulmaları gerektiğinden yukarıda bahsedilen işlemler belirli sınırlar dahilinde gerçekleştirilebilir.

Şekil 1.10'da tipik FV hücrenin I-V karakteristikleri dört farklı sıcaklık derecesinde gösterilmiştir. Şekilde ispat edildiği üzere üretilen akım yüksek sıcaklıklarda görece sabit olmakla birlikte, hücre sıcaklığı yükseldikçe gerilimin düştüğü ve dolayısıyla üretilen güçte bir düşüş yaşandığı gözlenmektedir. İdeal sıcaklık derecelerinin üzerine çıktığında hücrenin enerji üretimi dolayısıyla verimliliği de düşmektedir.



Şekil 1.10. Farklı sıcaklık değerleri için FV hücrenin ürettiği akım ve gerilim eğrileri

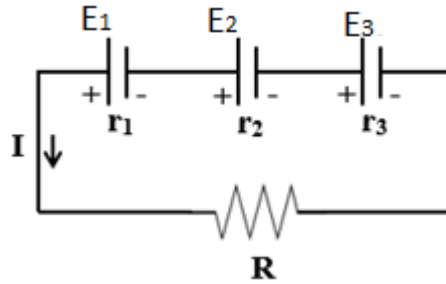
FV modülü aracılığıyla elde edilebilecek elektrik enerjisi basitçe malzemenin tipi ve bulunduğu bölge, güneş ışınımı ve güneş ışınımının dalga boyu tarafından belirlenmektedir. FV hücre tarafından üretilen elektrik enerjisinin alınan güneş radyasyonu seviyesine oranı, FV hücre verimliliği olarak bilinmektedir.

1.8. FV Panel Gruplandırma Hesabı

Büyük miktarlarda elektrik üretmek için paneller birbirine bağlanarak FV dizilerini meydana getirir.

1.8.1 Panellerin seri bağlantısı

Panellerin seri bağlantısı Şekil 1.11'deki devrede görüldüğü gibi EMK'ları E_1 , E_2 , E_3 ve iç dirençleri r_1 , r_2 , r_3 olan panellerin birinin pozitif ucu, diğerinin negative ucuna birleştirilerek yapılır [8].



Şekil 1.11. Panellerin seri bağlantısı

Seri bağı güneş panellerinde potansiyel farkı, panellerin potansiyel farkları toplamına eşittir. Bütün panellerden geçen akımın değeri aynıdır. Devredeki panellerin t kadar zamanda verdiği enerjilerin toplamı, bu panellerin yerine geçen eş değer dizinin aynı zamanda verdiği enerjiye eşittir. Eşitlik (1.2) toplam FV gerilimini, Eşitlik (1.3) toplam FV akımını göstermektedir.

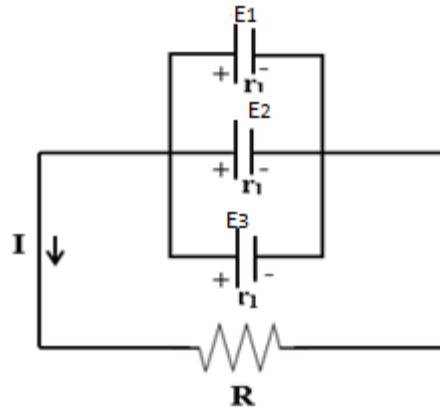
$$E=E_1+E_2+E_3 \quad (1.2)$$

$$I=\frac{E_1+E_2+E_3}{R+E_1+E_2+E_3} \quad (1.3)$$

1.8.2. Panellerin paralel bağlantısı

EMK'ları E_1 ve iç dirençleri r_1 olan n tane panelin pozitif ve negatif kutuplarının Şekil 1.12'deki gibi kendi aralarında birleştirilerek yapılan bağlantıya paralel bağlantı denir.

Paralel bağlantıda panellerin gerilimleri eşit olmalıdır. Aksi takdirde R direncinden geçmesi gereken akım gerilimleri küçük olan ara devrelerden geçerek istenmeyen akımların akmasına neden olabilir. Devredeki panellerin t kadar zamanda verdiği enerjiler toplamı, bu panellerin yerine geçen eş değer dizinin aynı zamanda verdiği enerjiye eşittir. Paralel bağı panel devresinde eş değer gerilim, panellerin birinin gerilimine eşittir.



Şekil 1.12. Panellerin paralel bağlantısı

Gerilimleri E_1 ve iç dirençleri r_1 olan özdeş n tane panel paralel bağlanırsa eş değer direnç Eşitlik (1.5)'de verilen bağıntı ile hesaplanabilir.

$$r_{eş} = \frac{r_1}{n} \quad (1.5)$$

Devreden geçen akım şiddeti Eşitlik (1.6)'daki gibi olur.

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} = \frac{E}{R + \frac{r_1}{n}} \quad (1.6)$$

Bir devrede hem paralel hem de seri bağlı paneller bulunuyorsa bu tür bağlantıya karışık bağlantı denir. Böyle devrelerde paralel ve seri bağlı kısımlardaki eş değer panellerin EMK ve iç direnci hesaplanır. Sonra devreden geçen akım şiddeti bulunur [15].

1.9. Fotovoltaik Enerjinin Avantaj ve Dezavantajları

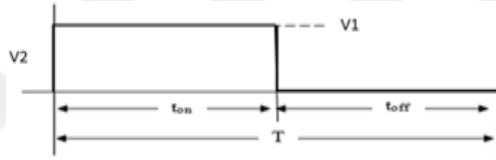
Fotovoltaik enerjinin avantajları ücretsiz kaynak ve yüksek potansiyel, yüksek güvenilirlik ve az bakım (hareketli parça yok), kullanım sırasında kirlilik olmaması, miliWatt'tan Megawatt'a büyük üretim esnekliğidir.

Fotovoltaik enerjinin dezavantajları ise yüksek yatırım maliyeti, teşvik ihtiyacı, politik kararlara ve politikalara bağımlılık, dağınık kaynak, alan gereksinimi entegrasyon zorluğu üst düzey üretim teknolojisi, yoğun kimyasal enerji kullanımı, kötü hava koşullarında bile 20 yıldan fazla dayanması gereken bileşenleri geri dönüştürmenin zorluğu şeklinde özetlenebilir [16].

2. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

2.1 Darbe Genişlik Modülasyonu Kontrolü

Darbe genişlik modülasyonu kontrolü, transistörün iletim süresi (t_{ON}) kesim süresi (t_{OFF}) olarak adlandırılan bir zaman için kesme bölgesine yönlendirildiği yöntemdir. Anahtar kapalı olduğunda kaynak gerilimi (V_1) yük boyunca görünür ve anahtar açıldığında, çıkış gerilimi (V_2) sıfır olur. Şekil 2.1’de darbe genişlik modülasyonu kontrolünün iletim ve kesim durumları gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Darbe genişlik modülasyonu kontrolü

Anahtarlama frekansı (f), ortalama çıkış gerilimi (V_2) doluluk oranı (D) ve ortalama güç (P) ifadeleri sırasıyla Eşitlik (2.1), Eşitlik (2.2), Eşitlik (2.3) ve Eşitlik (2.4) 'de gösterilmiştir. Ortalama çıkış gerilimi, Eşitlik (2.2)'de gösterildiği gibi doluluk oranı kullanılarak ifade edilir.

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

$$V_2 = \frac{1}{T} \int_0^{t_{ON}} V_1 dt = \frac{t_{ON}}{T} V_1 \quad (2.2)$$

$$D = \frac{t_{ON}}{T} \quad (2.3)$$

$$P = \frac{D}{R} V_1^2 \quad (2.4)$$

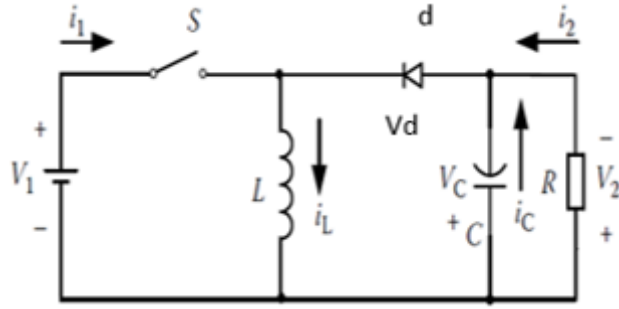
Darbe genişlik modülasyonu tarafından kontrol edilen DA-DA dönüştürücülerin avantajları arasında düşük bileşen sayısı, yüksek verim, sabit frekans çalışması, tümleşik devre denetleyicilerinin nispeten basit kontrolü, ticari kullanılabilirliği ve yüksek dönüştürme oranlarını elde etme yeteneği sayılabilir [17].

2.2. Temel DA-DA Dönüştürücüler

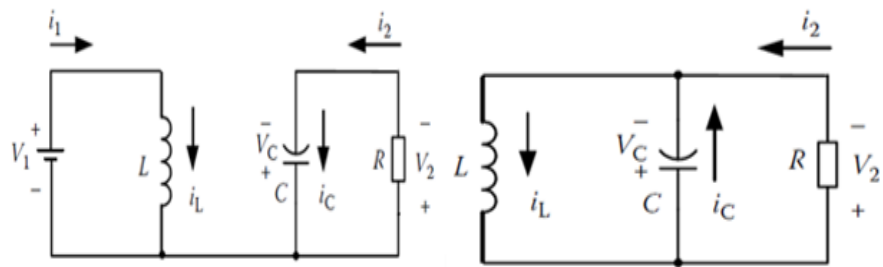
DA-DA dönüştürücüler temel olarak izoleli ve izolesiz iki grup dönüştürücüden oluşmaktadır. Temel dönüştürücü topolojileri düşürücü, yükseltici, düşürücü-yükseltici ve Cük dönüştürücülerdir.

2.3. Düşürücü-Yükseltici Dönüştürücü

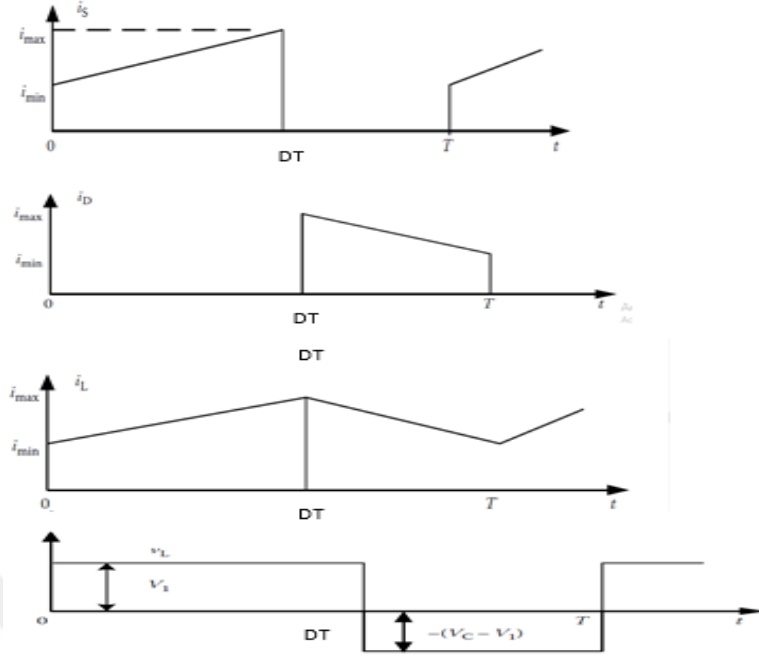
Doluluk oranına bağlı olarak, düşürücü-yükseltici dönüştürücü, giriş geriliminden daha yüksek veya daha düşük çıkış gerilimi üretir. Dönüştürücünün devresi ve anahtarlama durumları Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Şekil 2.4'te akım ve gerilim dalga şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Düşürücü-yükseltici dönüştürücü



Şekil 2.3. Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün anahtarlama durumu



Şekil 2.4. Akım ve gerilim dalga şekilleri

Anahtar açıldığında endüktans akımı artar. Anahtar kapalı olduğunda endüktansta biriken enerji diyot üzerinden çıkışı besler. Yüke ters yönde güç aktarılması çıkış geriliminde negatif polariteye neden olur. Çıkış gerilimi ve giriş gerilimi arasındaki ilişki Eşitlik (2.5)'de ifade edilmiştir. Çıkış geriliminin giriş gerilimine eşit olabilmesi için $D=0.5$ olmalıdır. Endüktansın sınır değeri Eşitlik (2.6) 'daki gibi ifade edilir. Eşitlik (2.7), Eşitlik (2.8) ve Eşitlik (2.9)'da düşürücü-yükseltici dönüştürücünün çıkış gücü, giriş (C_1) ve çıkış (C_2) kondansatör değerleri elde edilir [18, 19].

$$V_1 = \frac{D}{1-D} V_2 \quad (2.5)$$

$$L_{\min} = \frac{(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.6)$$

$$P_2 = \frac{V_2^2}{R} \quad (2.7)$$

$$C_1 = \frac{(1-D)DI}{\Delta V_1 f} \quad (2.8)$$

$$C_2 = \frac{D^2 TV_1}{(1-D)\Delta V_2 R} \quad (2.9)$$

3. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME ALGORİTMALARI

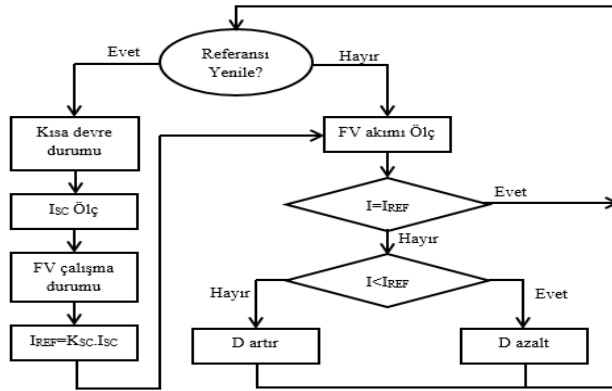
3.1. Kısa Devre Akımı Algoritması

Sabit akım diğer ismiyle kısa devre akımı algoritması sabit gerilim algoritmasına çok benzer. FV modül MGNİ akımı ($I_{MGNİ}$) ile kısa devre akımı (I_{SC}) arasındaki ilişki yaklaşık doğru orantı şeklindedir. Bu değer FV hücre üretim tekniği ve çevresel koşullara bağlı olarak değişmekle birlikte %85'ler civarındadır. Kısa devre akımı ile MGNİ akımı arasındaki orantısal K_{SC} sabiti sıcaklık ve ışıınım değişikliğinde korunur. Kısa devre akımı ile MGNİ akımı arasındaki bağıntı Eşitlik (3.1) ile ifade edilebilir.

$$I_{MGNİ} = K_{SC}I_{SC} \quad (3.1)$$

Eşitlik (3.1) kullanılarak MGNİ akımı kısa devre akımının ölçülmesi ile bulunur ve Eşitlik (3.2)'deki akım denetimli dönüştürücünün referans işareti oluşturulur.

$$I_{MGNİ} = K_{SC}I_{REF} \quad (3.2)$$



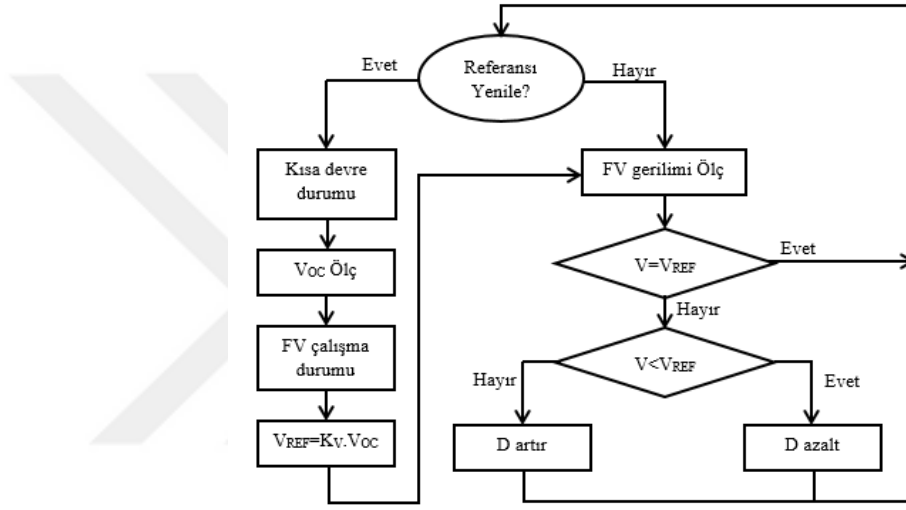
Şekil 3.1. Kısa devre akımı algoritması

Kısa devre akımı yöntemi basit ve karmaşık devreler gerektirmeyen yapıda olmasına rağmen kısa devre akımının ölçülmesi gerekliliği, bu esnada enerji kaybı, K_{SC} sabiti belirlleme işlemi ve panel yüzeyinde meydana gelebilecek kirlilik v.b. sebeplerden dolayı bu yöntemin performansı düşüktür. Algoritmanın akış diyagramı ise sabit gerilim algoritmasında olduğu gibidir [19, 20]. Şekil 3.1'de kısa devre akımı algoritması gösterilmektedir.

3.2. Açık Devre Gerilimi Algoritması

FV modülün açık devre geriliminin (V_{OC}) maksimum güç noktasındaki gerilim (V_{MNGI}) ile orantısal ilişkisinden yola çıkılarak uygulanan bir yöntemdir. Eşitlik (3.3) ile verilen bağıntıda açık devre gerilimi ve maksimum güç noktası gerilim arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 3.2’de açık devre gerilimi algoritmasının akış diyagramı verilmiştir.

$$V_{MNGI} = K_1 V_{OC} \quad (3.3)$$



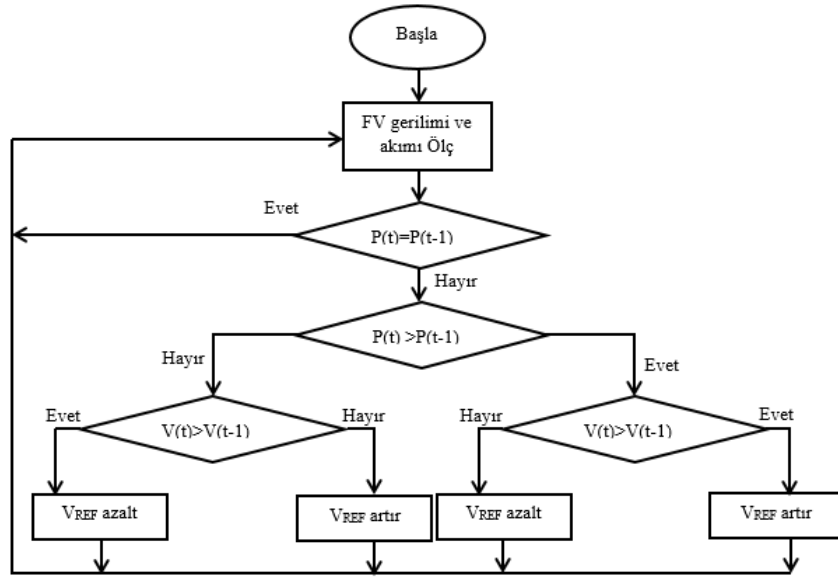
Şekil 3.2. Açık devre gerilimi algoritması

MGN geriliminin hesaplanabilmesi için Şekil 3.2’de görülen açık devre gerilimi yöntemi çalışma diyagramındaki gibi işlem basamakları yürütülmektedir. İlk etapta FV panel belirli periyotlarda yükten ayrılacaktır. Ardından açık devre gerilimi ölçülecek ve sabit k çarpanı da işleme dahil edilerek maksimum güç noktası gerilimi matematiksel Eşitlik (3.3) yardımıyla hesaplanacaktır. Hesaplanan bu değer referans değer olarak atanacak ve denetleyicinin referans işareti olacaktır. Bu yöntem kısa devre akımı yönteminde olduğu gibi kolay ve kompleks devreler gerektirmemektedir. Fakat açık devre gerilimini ölçüm işleminde FV panelin yükten ayrılma zorunluluğu ve bu esnada yaşanan enerji kaybı dezavantaj oluşturmaktadır [20, 21].

3.3. Değişir Gözle Algoritması

Bu yöntem FV panel çıkış gücündeki değişimin panel akımının ve geriliminin ölçülerek hesaplanması temeline dayanmaktadır. Algoritma, panel giriş gerilimini

periyodik olarak artırarak veya azaltarak çalışmaktadır. Bu yöntemin çalışma prensibine göre kontrol değişkeninde gerçekleştirilen bir değiştirme işlemi, panel giriş gücünde bir artışa sebep oluyorsa, sıradaki değiştirme işlemi aynı yönde, değilse değiştirme işlevi ters yönde yapılmaktadır. Böylece bu işlemler maksimum güç noktasına ulaşıncaya kadar tekrarlanmaktadır. Gerçekte ise sistem tam olarak maksimum güç noktasına ulaşamamakta, bu nokta etrafında salınım yapmaktadır. Değiştir-gözle yönteminin çalışma prensibi Şekil 3.3'teki algorithmada verilmiştir [22]



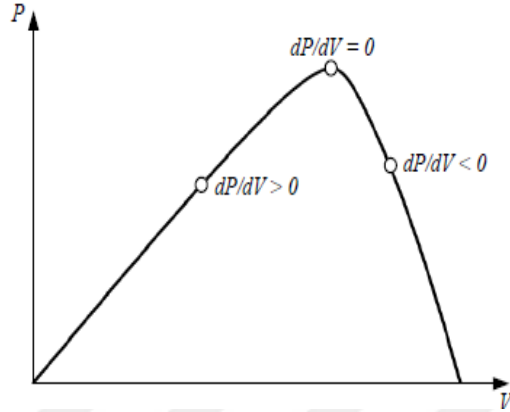
Şekil 3.3. Değiştir gözle algoritması

FV sistemlerde değiştir gözle yönteminin oldukça yaygın uygulamaları vardır. Bunun nedeni bu yöntemin basit bir kontrol yapısına sahip olması ve güç takibi için birkaç ölçüm gerektirmesidir. Ayrıca FV panel karakteristiğine bağımlı olmaması ve bunun sonucu olarak herhangi bir panele kolaylıkla uygulanabilmesi de bu yöntemin avantajıdır. Kararlı çalışma durumunda bile maksimum güç noktası etrafındaki salınım nedeniyle, bir miktar güç kaybı olması ve hızla değişen hava şartlarına karşı tepki verme süresinin yavaş olması bu yöntemin dezavantajlarıdır [23].

3.4. Artan İletkenlik Algoritması

Artan iletkenlik yöntemi maksimum güç noktasında FV panel gücünün gerilime göre türevinin sıfır olması esasına dayanır. Bu yöntemin çalışmasını açıklayan grafik Şekil 3.4'te verilmiştir. Şeki 3.4'de panel gücünün panel gerilimine göre değişimi

görülmektedir. Grafiğe göre FV panelin güç eğrisinin eğiminin sıfır olduğu yer maksimum güç noktası, pozitif olduğu yer maksimum güç noktasının solu ve negatif olduğu yer maksimum güç noktasının sağı olarak belirlenebilir [24, 25].



Şekil 3.4. Artan iletkenlik MGNİ algoritması temel prensibi

FV panel gücün gerilime göre değişiminin sıfır olduğu durum Eşitlik (3.4)'de verilmiştir. Gücün gerilime göre değişiminin pozitif olduğu durumda çalışma noktası maksimum güç noktasının sağında olup, Eşitlik (3.5)'de bu duruma ilişkin koşul verilmektedir. Eşitlik (3.6)'da ise gücün gerilime göre değişiminin negatif olduğu durum vermiştir.

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (3.4)$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \quad (3.5)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \quad (3.6)$$

Eşitlik (3.4)'de güç yerine $V \cdot I$ yazılırsa Eşitlik (3.7) elde edilebilir.

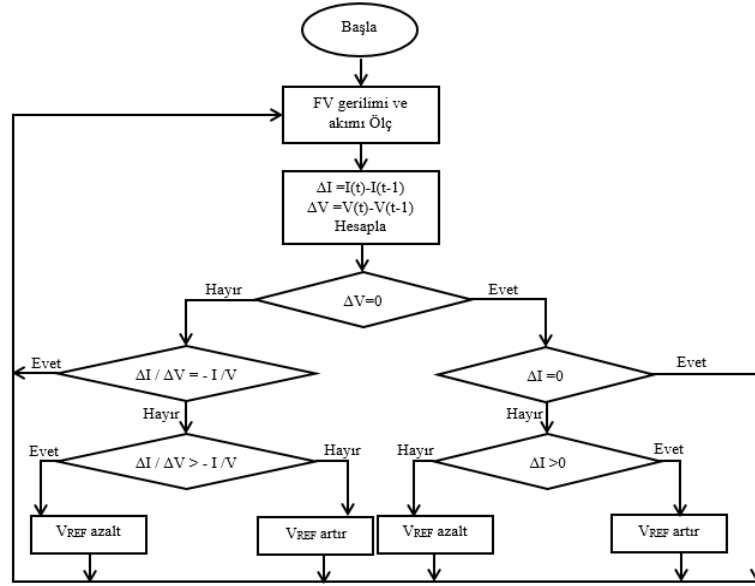
$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VI)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \quad (3.7)$$

Eşitlik (3.7) tekrar düzenlenirse, Eşitlik (3.8) elde edilir.

$$-\frac{I}{V} = \frac{dI}{dV} \quad (3.8)$$

FV panel geriliminin, ölçümler sonucu elde edilen iletkenlik değişiminin (dI/dV) ve artan iletkenliğin (I/V) Eşitlik (3.8)'de kullanılmasıyla, maksimum güç noktasındaki

gerilim değerine ulaşılır. Artan iletkenlik yönteminin yukarıda anlatılan çalışmasına dair akış diyagramı Şekil 3.5'te verilmiştir [26, 27].



Şekil 3.5. Artan iletkenlik algoritması

Bu algoritmanın en önemli avantajı hızla değişen hava şartlarında iyi sonuçlar vermesidir. Maksimum güç noktası etrafındaki salınımlar değiştir gözle yöntemine kıyasla daha az olsada, değiştir ve gözle yöntemi optimize edildiğinde artan iletkenlik yöntemiyle aynı performansa sahip olur [28, 29].

3.5. Sabit Gerilim Algoritması

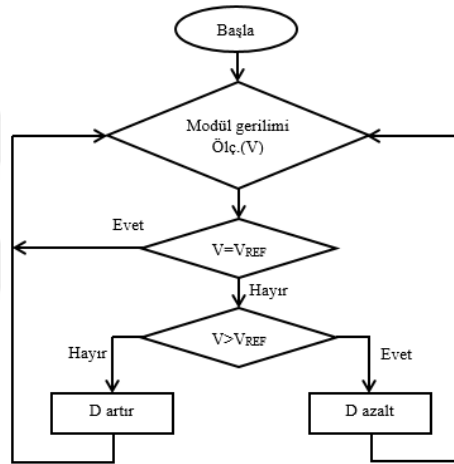
Sabit gerilim diğeri ismi ile açık devre gerilim algoritması FV panel açık devre gerilimini referans alan bir yöntemdir. Araştırmalar V_{MGN} geriliminin V_{OC} geriliminin doğrusal bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Bu değer üretim tekniği, çevresel koşullar gibi etkenlere bağlı olarak polikristal modüllerde ortalama V_{OC} geriliminin %73-80 civarındadır. Bu bağıntı Eşitlik (3.9)'da verilmiştir.

$$V_{OC} = KV_{MGN} \quad (3.9)$$

Burada K sabiti değişmediğinden V_{MGN} gerilimi (V_{MGN}) açık devre gerilimi (V_{OC}) yardımı ile kolaylıkla bulunabilir. Örnekleme işlemi çıkış yükü devrede değilken V_{OC} geriliminin okunması ile gerçekleşir. Sık örnekleme V_{MGN} işleminin hassas bir şekilde sürdürülmesini, dolayısı ile hata oranını azaltacaktır.

Sabit gerilim yöntemi oldukça basit, karmaşık devreler gerektirmeyen, ucuz ve kullanışlı bir yöntemdir. Ancak referans işareti oluşturabilmek için gereken V_{OC} gerilim bilgisini okuyabilmek için FV modülden yükü ayırma gerekliliğinin yükler için sorun teşkil etmesi, bu esnada güneş enerjisinden faydalanılamaması, gerçek MGNİ işleminin sağlanamaması olumsuz etkileridir.

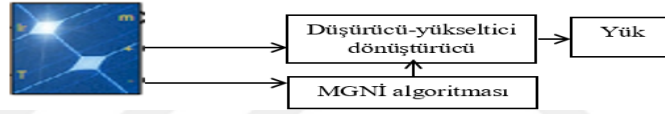
Sistem güvenilirliği ve yüklerin devreden çıkarılmasını önlemek amacı ile aynı özellikte bir hücre örnekleme elemanı olarak kullanan sistemlerde mevcuttur. Bu durumda bir hücre sürekli devre dışı kalmaktadır [21]. Şekil 3.6'da sabit gerilim algoritması gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Sabit gerilim algoritması

4. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN TASARIMI, MODELİ VE SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu bölümde MATLAB/SIMULINK’de sabit gerilim, değişir gözle ve artan iletkenlik algoritmaları bir düşürücü-yükseltici dönüştürücü devresi üzerinden 200W’lık bir güneş panel kullanılarak analiz edilmiştir. Öncelikle güneş panelinin elektriksel parametreleri, farklı çevre koşulları için beş senaryo için I-V ve P-V karakteristiği çıkartılmıştır. İkinci olarak düşürücü-yükseltici dönüştürücünün tasarımı, modeli ve simülasyon sonuçları verilmiştir. Son olarak farklı ışınım ve sıcaklık için sabit gerilim, değişir gözle ve artan iletkenlik algoritmalarının simülasyonun sonuçları verilmiş ve algoritmalar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.1’de FV sistemin blok devresi verilmiştir.



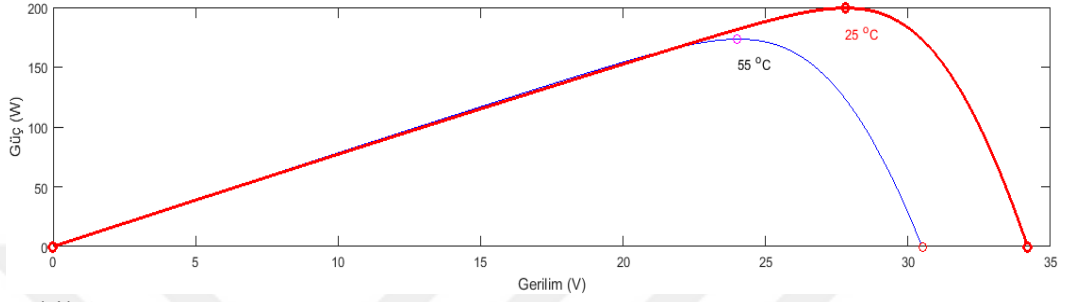
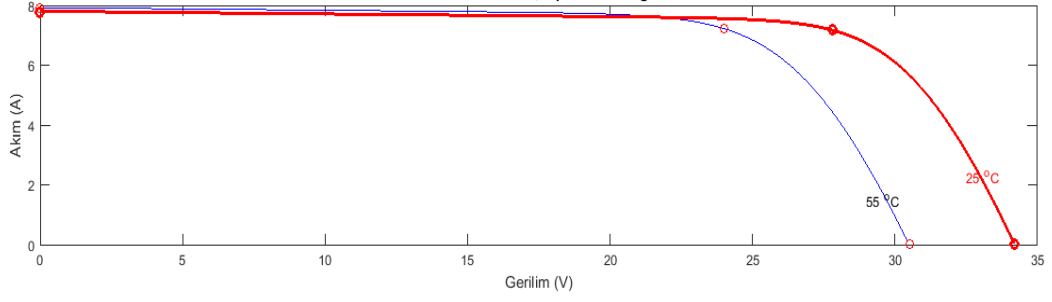
Şekil 4.1. FV sistem

4.1. FV SUNGEN INT SGM-200P

Tablo 4.1’de SUNGEN INT SGM-200P’in karakteristikleri verilmiştir.

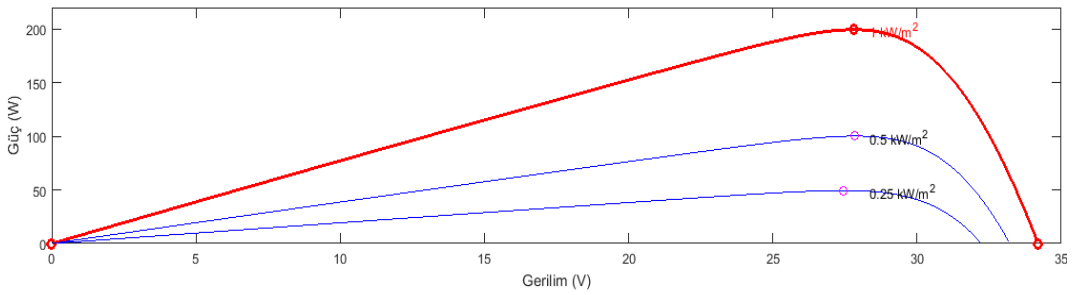
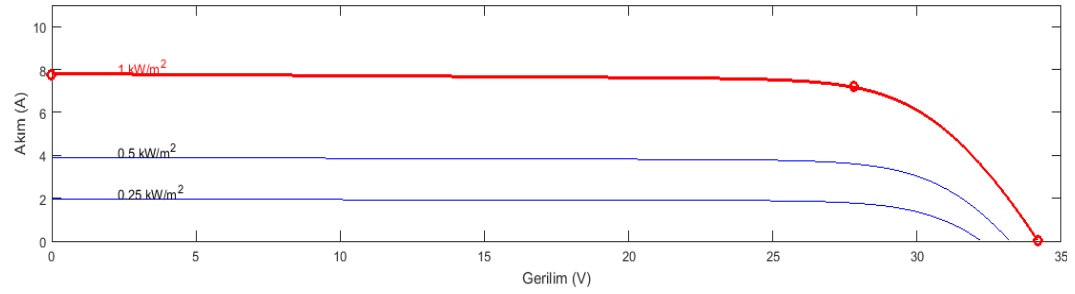
Tablo 4.1. SUNGEN INT SGM-200P’in elektriksel parametreleri

P_{pn}	200 W
P_{maks}	199.882 W
V_{pn}	27,8 V
I_{pn}	7.19A
V_{oc}	34,2 V
I_{sc}	7.77 A
$K_v (V_{oc})$	-0.36044 V / ° C
$K_i (I_{sc})$	0.052819 A / ° C
I_{PH}	7.8256 A
I_s	2.6241e-10 A
n	0.92138
R_{SH}	111.3843 Ω
R_s	0.30346 Ω
N	60



Şekil 4.2. SUNGEN INTL SGM-200P'nin I-V ve P-V karakteristikleri

MATLAB/SIMULINK programında farklı ışınım ve sıcaklık değerlerini değiştirerek Şekil 4.2'te ve Şekil 4.3'te sırasıyla SUNGEN INT SGM-200P'nin I-V ve P-V karakteristikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3. SUNGEN INT SGM-200P'nin I-V ve P-V karakteristikleri

4.2. Düşürücü-Yükseltici Dönüştürücü

4.2.1. Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün tasarımı

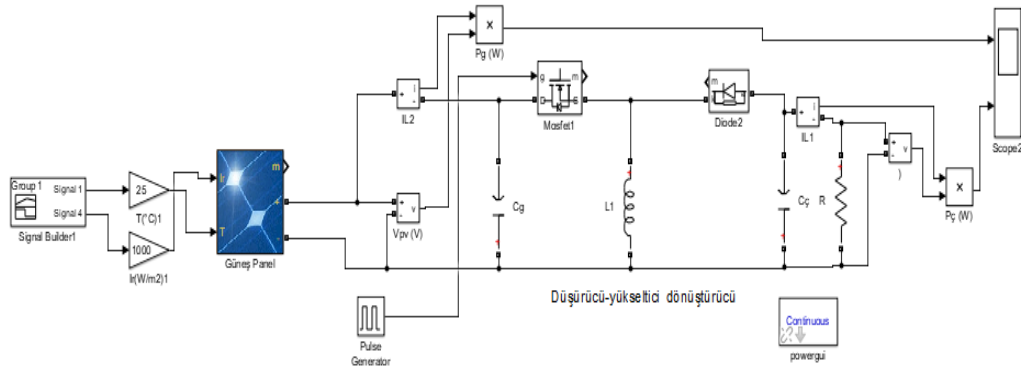
Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün tasarım parametreleri Tablo 4.2'de listelenmiştir. Kondansatör değeri %1 dalgalanma gerilimi dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.2. Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün parametreleri

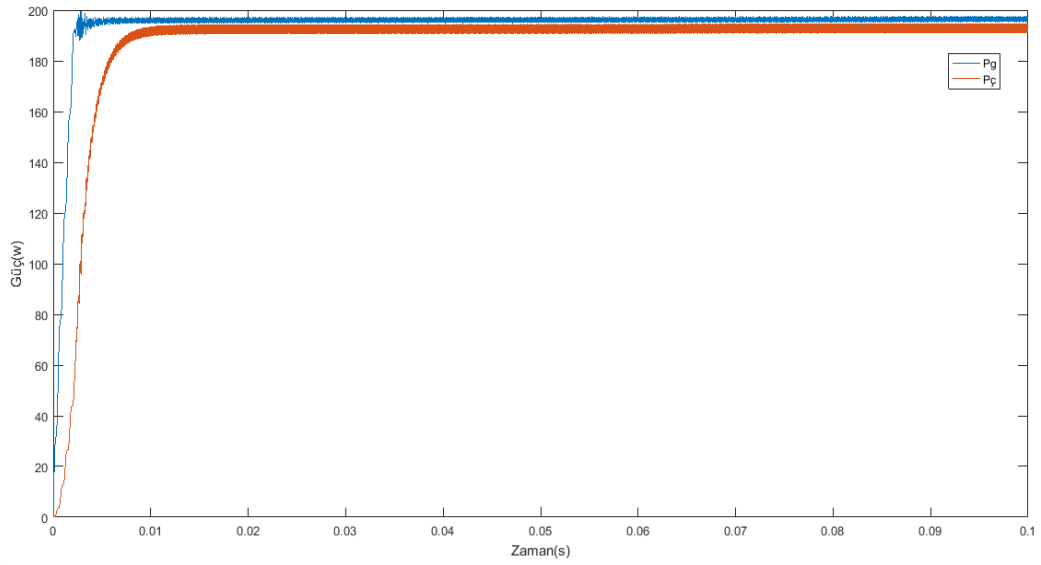
Parametreler	Değerler	
FV modülü çıkış değerleri	P_{pn} (W)	200
	P_{maks} (W)	199.98
	V_1 (V)	27.8
İstenen parametreler	V_2 (V)	48
	f (KHZ)	20
	I_1 (A)	7.19
Hesaplanan parametreler	D	0.633
	L_{min} (μ H)	38.81
	C_2 (μ F)	274.5748
	C_1 (μ F)	300.41656
	R (Ω)	11.5268

4.2.2. Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün modeli

Şekil 4.4'te düşürücü yükseltici tip dönüştürücü devresinin modeli Matlab/Simulink ortamında kurulmuştur. Standart test koşullarında dönüştürücünün giriş ve çıkış gücü Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Düşürücü-yükseltici dönüştürücünün modeli

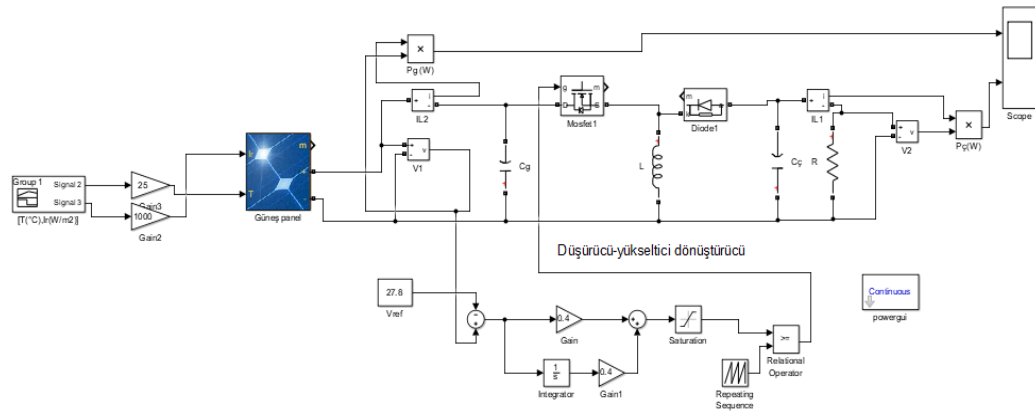


Şekil 4.5. Standart test koşullarında dönüştürücü giriş ve çıkış güçleri

4.3. MGNİ Algoritmalarının Modeli ve Simülasyon Sonuçları

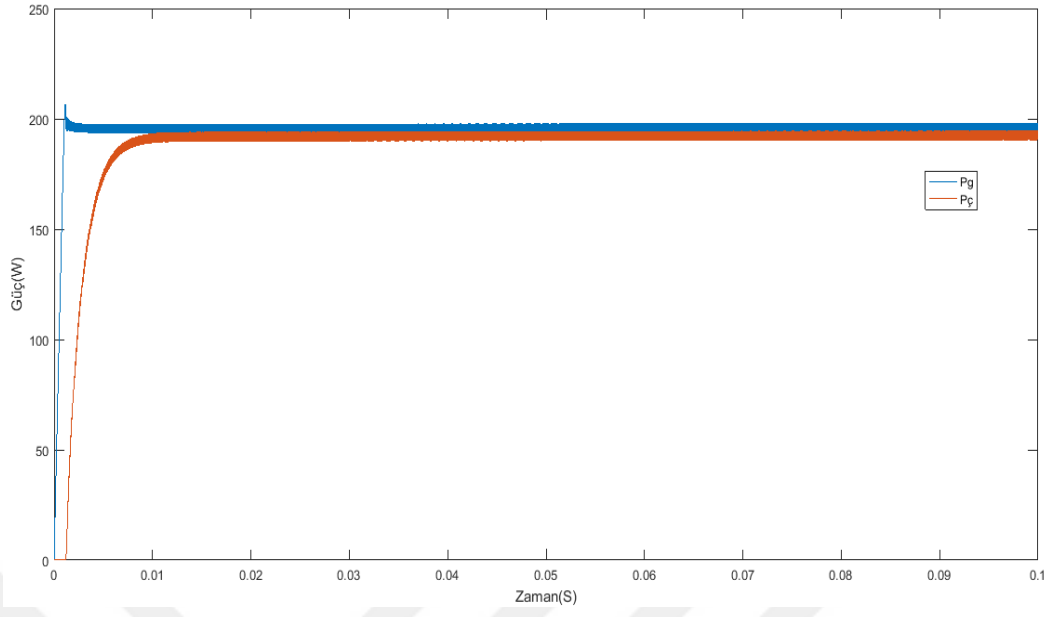
4.3.1. Sabit Gerilim Algoritması

Sabit gerilim algoritması ile kontrol edilen düşürücü-yükseltici dönüştürücüne bağlı FV sistemin şeması Şekil 4.6'da gösterilmektedir.

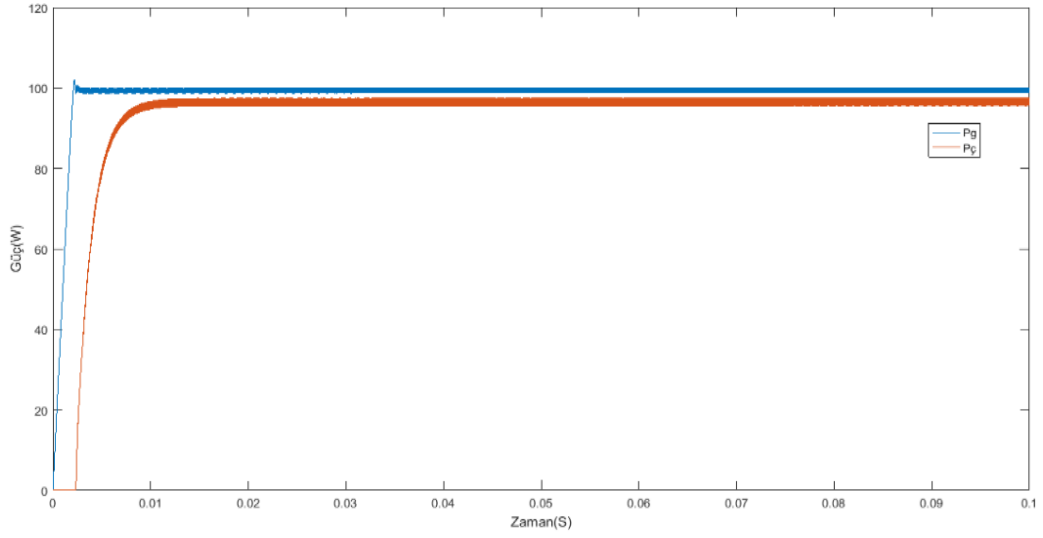


Şekil 4.6. Sabit gerilim algoritması ile kontrol edilen düşürücü-yükseltici dönüştürücüne bağlı FV sistem

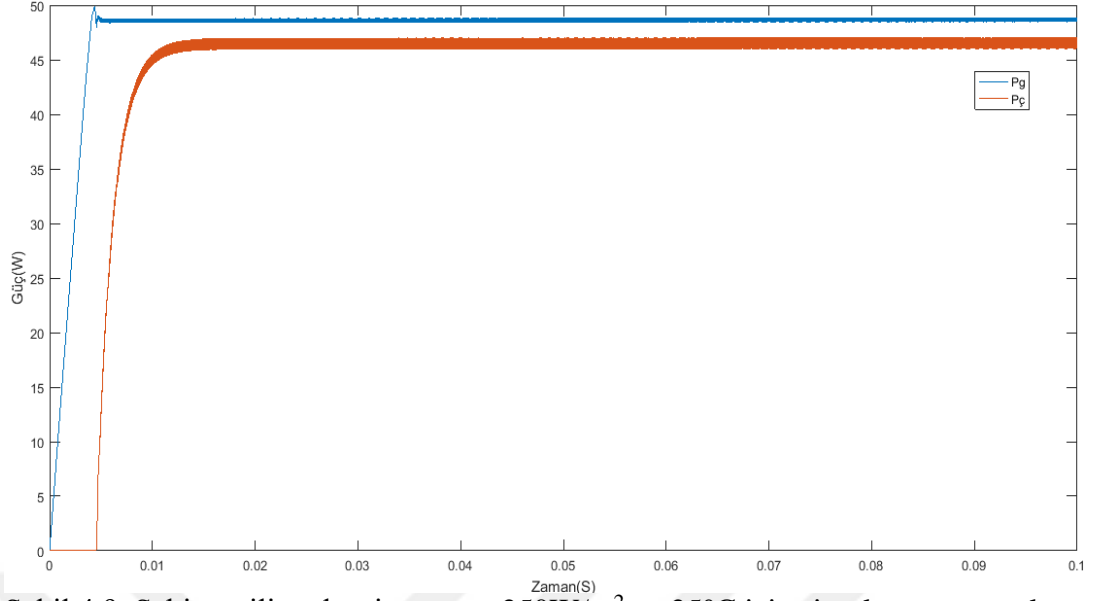
Farklı ışınım, sıcaklık değerleri için sabit gerilim algoritması ile kontrol edilen düşürücü-yükseltici dönüştürücünün simülasyonu gerçekleştirilmiş, dönüştürücünün çıkış ve giriş gücü Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Sabit gerilim algoritmasının $1000\text{W}/\text{m}^2$ ve 25°C için simülasyon sonuçları



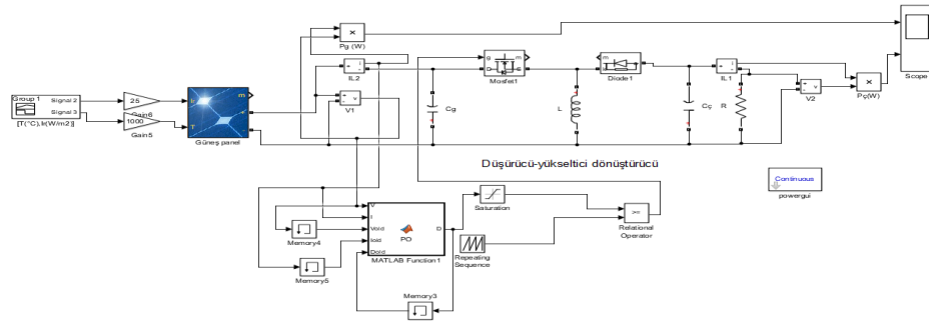
Şekil 4.8. Sabit gerilim algoritmasının $500\text{W}/\text{m}^2$ ve 25°C için simülasyon sonuçları



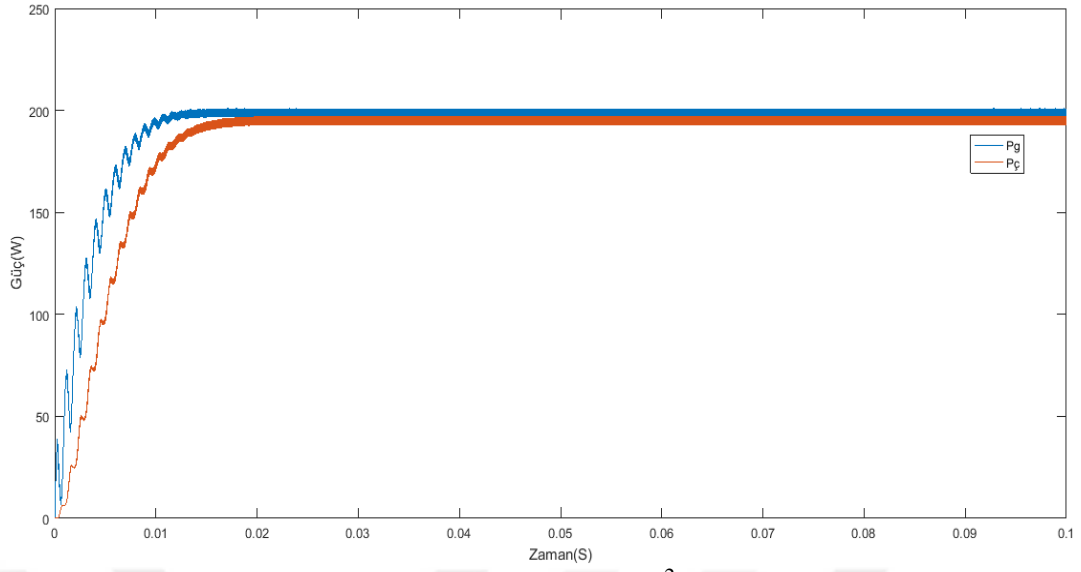
Şekil 4.9. Sabit gerilim algoritmasının 250W/m^2 ve 25°C için simülasyon sonuçları

4.3.2. Değiştir Gözle Algoritması

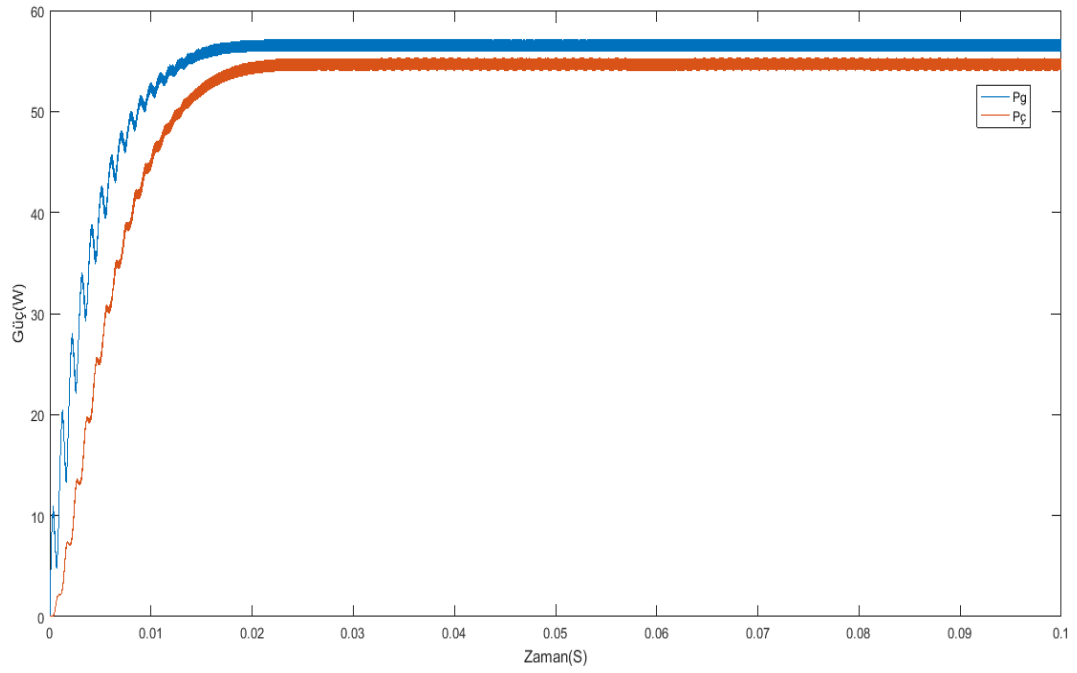
Şekil 4.10'da değiştir gözle algoritması ile kontrol edilen düşürücü-yükseltici dönüştürücüsüne bağlı FV sistemin şeması verilmiştir. Farklı ışınım ve sıcaklık değerleri için değiştir gözle algoritması ile kontrol edilen düşürücü-yükseltici dönüştürücünün simülasyonları gerçekleştirilmiş olup, dönüştürücünün giriş ve çıkış gücü Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir.



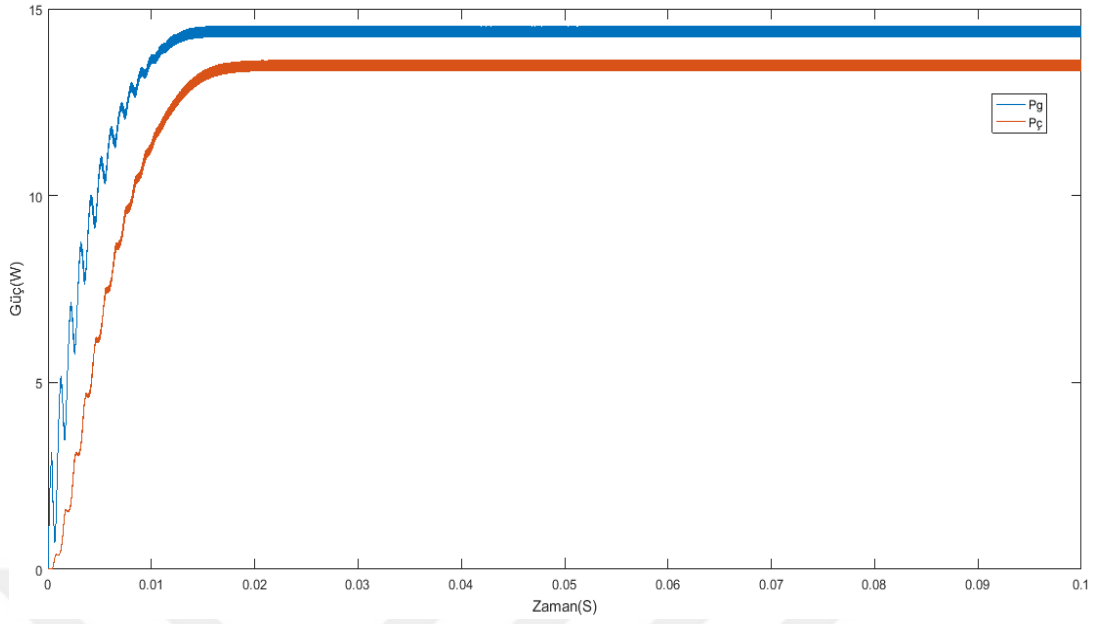
Şekil 4.10. Değiştir gözle algoritması ile kontrol edilen düşürücü-yükseltici dönüştürücüye bağlı FV sistem şeması



Şekil 4.11. Değiştir-gözle algoritmasının $1000\text{W}/\text{m}^2$ ve 25°C için simülasyon sonuçları



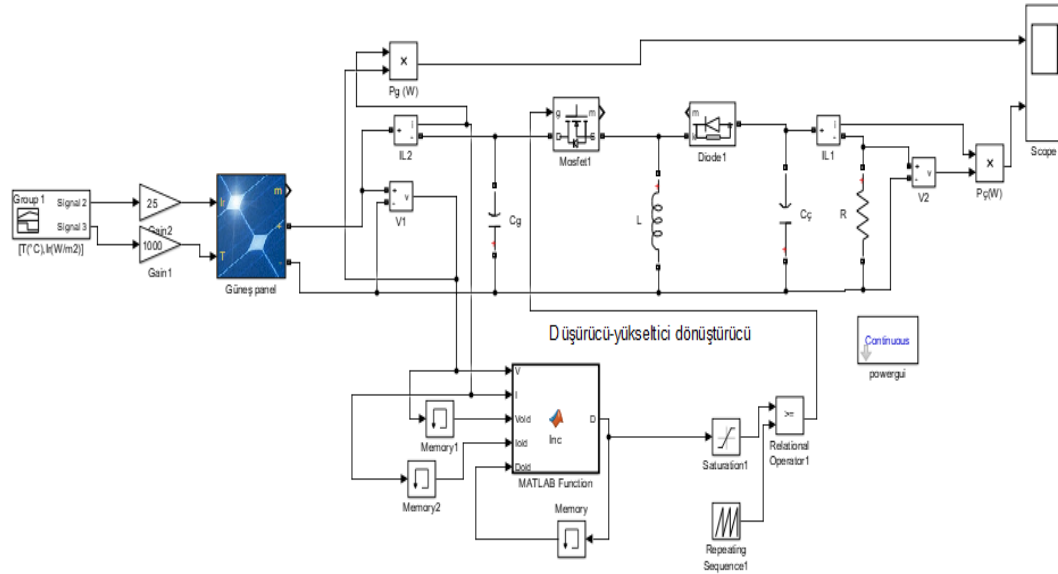
Şekil 4.12. Değiştir gözle algoritmasının $500\text{W}/\text{m}^2$ ve 25°C için simülasyon sonuçları



Şekil 4.13 Değiştir gözle algoritmasının 250W/m² ve 25°C için simülasyon sonuçları

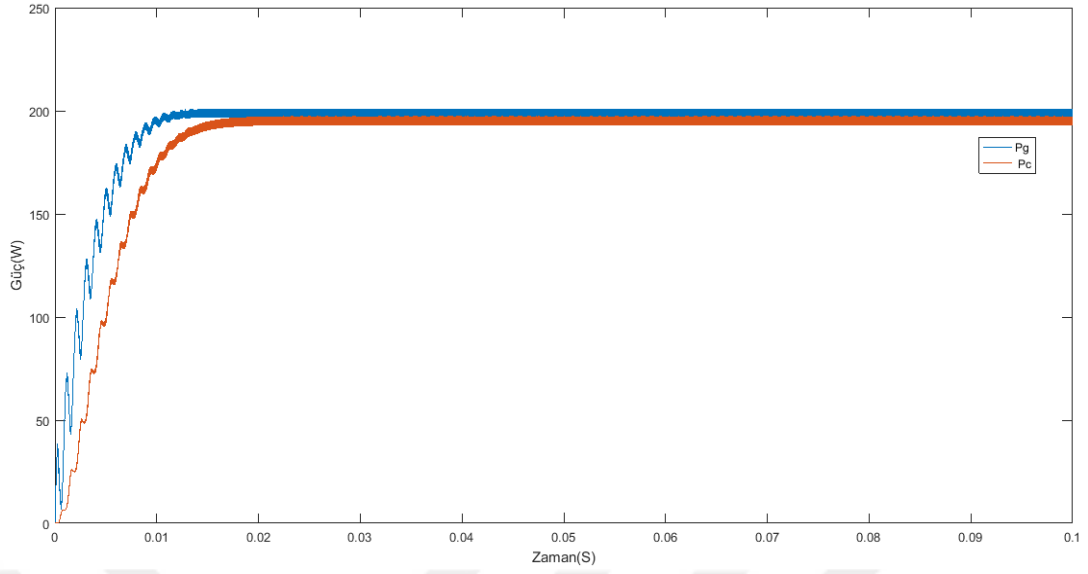
4.3.3. Artan İletkenlik algoritması

Artan iletkenlik algoritması ile kontrol edilen düşürücü-yükseltici dönüştürücüye bağlı FV sistemin şeması Şekil 4.14'te gösterilmektedir. Farklı ışınım ve sıcaklık değerleri için düşürücü-yükseltici dönüştürücünün simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

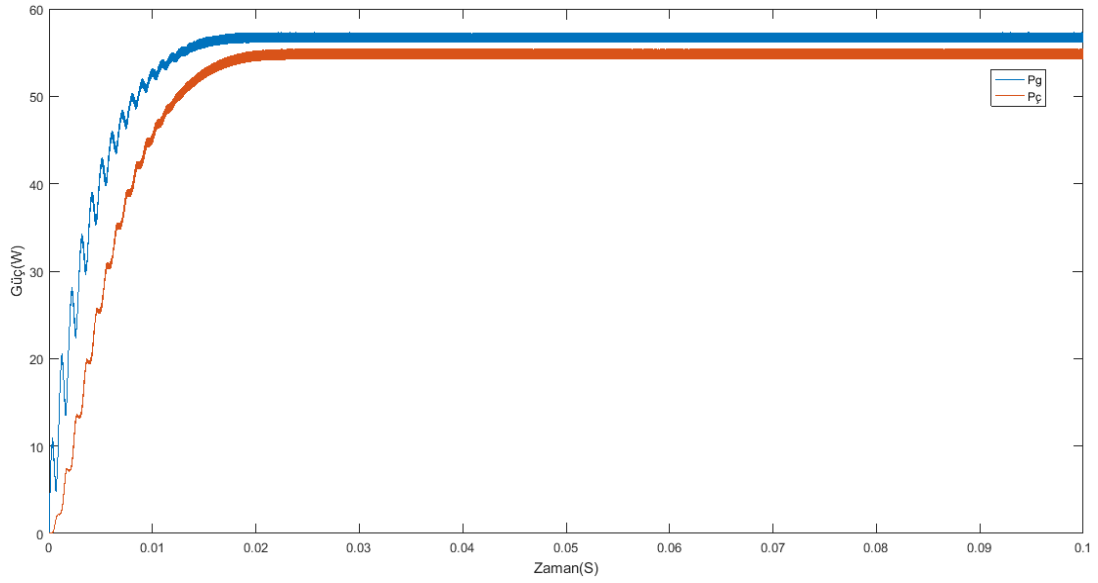


Şekil 4.14. Artan iletkenlik algoritması ile kontrol edilen düşürücü-yükseltici dönüştürücüye bağlı FV sistemin şeması

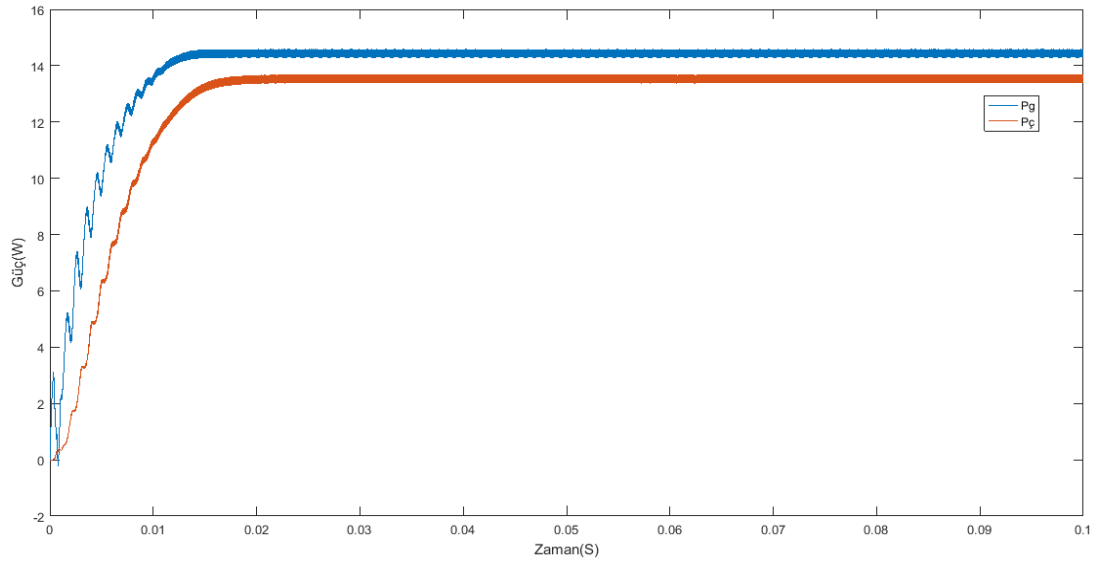
Dönüştürücünün giriş ve çıkış gücü değişimleri, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Artan iletkenlik algoritmasının $1000\text{W}/\text{m}^2$ ve 25°C için simülasyon sonuçları



Şekil 4.16 Artan iletkenlik algoritmasının $500\text{W}/\text{m}^2$ ve 25°C için simülasyon sonuçları



Şekil 4.17. Artan iletkenlik algoritmasının 250W/m^2 ve 25°C için simülasyon sonuçları

4.4. MGNİ Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi

Farklı ışınım ve sıcaklık değerleri için değiştir-gözle, artan iletkenlik ve sabit gerilim algoritmalarının sayısal simülasyon sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. MGNİ algoritmalarının simülasyon sonuçları

Test şartları ($\text{W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$)	Değiştir-gözle algoritması			Artan iletkenlik algoritması			Sabit gerilim algoritması		
	Pg (W)	Pç (W)	η (%)	Pg (W)	Pç (W)	η (%)	Pg (W)	Pç (W)	η (%)
1000-25	200	196.7	98.35	200	196.6	98.3	197.4	193.7	98.12
1000-55	169.5	166.1	97.99	169.2	165.8	97.99	99.16	95.80	96.61
500-25	56.82	54.98	96.76	57.05	55.28	96.89	99.74	96.84	97.09
500-55	58.6	56.73	96.8	58.83	57.02	96.92	40.65	38.65	95.07
250-25	14.48	13.61	93.99	14.52	13.65	94	48.72	46.49	95.42

Nominal sıcaklık değerine yakın olan senaryolarda ve düşük sıcaklık durumunda sabit gerilim algoritması değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmalarına göre daha iyi performans göstermiştir. Fakat yüksek sıcaklık değerleri için sabit gerilim algoritması diğer algoritmalara göre oldukça kötü performans göstermiştir. Bunun nedeni sıcaklığın gerilimi direkt etkilemesidir. Nominal ışınım değerleri veya o değerlerin civarında olan çevresel koşullarda artan iletkenlik ve değiştir gözle algoritmaları sabit

gerilim algoritmasında daha iyi performans göstermiştir. Fakat düşük ışı nım değerleri için de ğiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmaların performansının düşük oldu ğu gözlenmiştir.

Genel olarak çeşitli atmosfer koşulunda artan iletkenlik ve de ğiştir gözle algoritmalarının performansları birbirine yakındır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında farklı iklim koşullarına (sıcaklık, ışınım) ilişkin MGNİ algoritmalarının performansları için karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. MATLAB/SIMULINK programında sabit gerilim, değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmaları bir düşürücü-yükseltici dönüştürücü devresi üzerinden 200 W'lık bir güneş paneli kullanılarak analiz edilmiş ve her üç algoritma için alınan simülasyon sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Algoritmalara ait farklı çevre koşulları için düşürücü-yükseltici DA-DA dönüştürücü devresinin giriş ve çıkışına ait karakteristikleri karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre nominal sıcaklık değere yakın olan koşullarda ve düşük sıcaklık durumunda sabit gerilim algoritması değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmalarından daha iyi performans sergilemiştir. Fakat yüksek sıcaklık değerleri için sabit gerilim algoritmasının performansı düşüktür. Bunun sebebi sıcaklığın gerilimi direkt etkilemesidir. Nominal ışınım koşulunda veya o koşulun civarında olan durumlarda artan iletkenlik ve değiştir gözle algoritmaları sabit gerilim algoritmasından daha performanslıdır. Fakat düşük ışınım değerleri için değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmaların performansları düşüktür. Simülasyon sonuçlarına göre farklı senaryolarda genellikle artan iletkenlik ve değiştir-gözle algoritmalarının performansları birbirine yakındır.

Maksimum güç noktasını yakalama süreleri kıyaslandığında yaklaşık 0.008 sn ile sabit gerilim algoritmasının daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Artan iletkenlik ve değiştir gözle algoritmaları ise MGN yakalama süreleri yaklaşık 0.015 sn olup, algoritmalar arasında ciddi farklar yoktur.

Bu çalışmanın devamında düşürücü-yükseltici dönüştürücü, bulanık mantık, genetik ve sinir ağı gibi diğer akıllı MGNİ algoritmaları kullanılarak incelenebilir. Ayrıca çuk dönüştürücü topolojisi ile de sabit gerilim, değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmaları kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yan Z., Fei L., Jinjun Y., Shanxu D., Study on Realizing MPPT by Improved Incremental Conductance Method with Variable Step-size, *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, Singapore, 3-5 June 2008.
- [2] Liu F., Duan S., Liu B., Kang Y., A Variable Step-size INC MPPT Method for PV Systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2008, **55**(7), 2622–2628.
- [3] Sangita M., Kondawar S., Vaidya U., A Comparison of Two MPPT Techniques for PV System in Matlab Simulink, *International Journal of Engineering research and Development*, 2012, **2**(7), 73-79.
- [4] Dezso S., Laszlo M., Tamas K., Sergiu S., Perturb-and-Observe and Incremental Conductance MPPT Methods for PV Systems, *IEEE Journal of Photovoltaics*, 2013, **3**(3), 1070-1078.
- [5] Gomathy S., Saravanan S., Thangavel S., Design and Implementation of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Algorithm for a Standalone PV System, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2012, **3**(3), 2229-5518.
- [6] Ramdan B., Koad A., Ahmed F., Comparative Study of 5 MPPT Algorithms, *International Journal on Energy Conversion*, 2014, **2**(1), 1329-1437.
- [7] Hegazy R., Ali M., A Comprehensive Comparison of Different MPPT Techniques for Photovoltaic Systems, *Solar Energy*, 2014, **12**(1), 1-11.
- [8] Hohm D., Michael R., Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms, *Progress in Photovoltaics Research and Application*, 2003, **11**(1), 47-62.
- [9] David S., Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications, Master Thesis, Aalto University, Helsinki, 2010.
- [10] <https://www.energysage.com/solar/101/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/> png (Ziyaret tarihi: 10.10.2017).
- [11] Stuart R. et al., *Applied Photovoltaics*, Routledge, Melbourne, 2013.
- [12] <https://www.nrel.gov/PV/assets/images/efficiency-chart.png> (Zirayet tarihi :15.11.2017). [13] Colin H. et al., Raccordement des Installations Photovoltaïques Au Réseau Public de Distribution Electrique à Basse Tension, *Agence de l'Environnement de la Maitrise de l'Energie*, 2010, **24**(1), 6669-6684.

- [14] Andrej C., Andrej F., Generality on Photovoltaic Systems, *Irena–Istrian Regional Energy*, 2012, **9**(1), 1-11.
- [15] Smetz A. et al., *Solar Energy: Fundamentals, Technology and Systems*, Delft University of Technology, Delft, 2014.
- [16] <http://tpe-energie-solaire.e-monsite.com/pages/science-et-technique/l-energie-photovoltaique/avantages-et-inconvenients-du-photovoltaique.html>, (Ziyaret tarihi : 03.12.2017).
- [17] Muhammad H., *Power Electronics Handbook, Devices, Circuits, and Applications*, Third Edition, Elsevier Inc, Oxford, 2011.
- [18] Fang L., Hong Y., *Advanced Conversion Technologies*, Taylor & Francis Group, New York, 2010.
- [19] Atallah A., Abdelaziz A., Jumaah R., Implementation of Perturb and Observe MPPT of PV System with Direct Control Method using Buck and Buck-Boost Converters, *Emerging Trends in Electrical, Electronics & Instrumentation Engineering*, 2014, **1**(1), 31-44.
- [20] Femia N., Petrone G., Spagnuolo G., Vitelli M., Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2005, **20**(4), 963-973.
- [21] Salih N., PV Sistemler için Yumuşak Anahtarlama Maksimum Güç Noktası İzleyici Tasarım Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2014, 363978.
- [22] Yunus E., Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 372687.
- [23] Şaban Ö., Fotovoltaik Sistemler için Mikrodenetleyicili en Yüksek Güç Noktasını İzleyen bir Konvertörün Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 212683.
- [24] Mohand M., *Electromecanique sous Simscape et SimPowersystems*, Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, 2012.
- [25] Verma D., Nema S., Shandilya A., Dash S., MPPT Recapitulation in Solar Photovoltaic Systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, **111**(54) 1018–1034.
- [26] Femia N., Petrone G., Spagnuolo G., Vitelli M., Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method, *IEEE Transactions Power Electronics*, 2005, **20**(4), 963–973.

- [27] Ocran T., Junyi C., Binggang C., Xinghua S., Artificial Neural Network Maximum Power Point Tracker for Solar Electric Vehicle, *Tsinghua Science and Technology*, 2005 **10**(2), 204-208.
- [28] Femia N., Petrone G., Spagnuolo G., Vitelli M., Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method, *IEEE Transactions Power Electronics*, 2005, **20**(4), 963-973.
- [29] Noguchi T., Togashi S., Nakamoto R., Short-Current Pulse-Based Maximum-Power Point Tracking Method for Multiple Photovoltaic and Converter Module System, Industrial Electronics, *IEEE Transactions Power Electronics*, 2002, **49**(1), 217-223.
- [30] Bajpai A., Mittal A., Solar Powered DC to DC Buck-Boost Converter with MPPT Control, *International Journal of Electronics, Electrical and Computational System*, 2014, **5**(3), 1117-2348.

KİŞESEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Denis Y. S.**, Bekir Ç., Mohamed Y., Comparative Analysis of the Maximum Power Point Tracking Techniques Performance using Boost Converter, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2018, **9**(5), 1-2



ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Kongo Demokratik cumhruyeti'nde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kinshasa'da tamamladı.2004 yılında girdiği Kinshasa Üniversitesi Politeknik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 2011 yılında mezun oldu. 2012- 2014 arasında ,Özel şirkette çalıştı .

