



**SENKRON GENERATÖRLÜ FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNİN
MODELLENMESİ**

Canan ALADAĞ

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN

OCAK-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SENKRON GENERATÖRLÜ FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNİN
MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Canan ALADAĞ
(122113104)

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Programı: Elektrik Makinaları

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.12.2016
Tezin Savunulduğu Tarih : 24.01.2017

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Muhsin Tunay GENÇOĞLU

Yrd. Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ

OCAK-2017

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmalarında değerli bilgi ve tecrübelerini paylaşan, tezime ve bana sağlamış olduğu katkılarından dolayı danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Ahmet ORHAN'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın büyük bir kısmında varlığıyla ve bilgisiyle desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Abuzer ÇALIŞKAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Maddi ve manevi yardımını üzerimden eksiltmeyen, hayatımın her aşamasında örnek aldığım, ilk öğretmenim sevgili abim Sayın Yrd. Doç. Dr. Taner GÖKTAŞ'a bana ve tez çalışmalarına yaptığı katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca bana inanmaktan vazgeçmeyen, manevi desteğinin yanında mesleki paylaşımlarından ötürü değerli eşim Arş. Gör. İlyas ALADAĞ'a teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren, her zaman yanımda olan, sabırlarından dolayı çok kıymetli anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımda bana sağladığı imkan ve olanaklardan dolayı T.C. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesine teşekkürlerimi sunarım.

Canan ALADAĞ

ELAĞIĞ – 2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR.....	XIII
1. GİRİŞ	2
1.1. Genel Bakış	2
1.2. Literatür Taraması ve Tezin Literatürdeki Yeri	4
1.3. Tezin Amacı	8
1.4. Tezin Yapısı	9
2. SENKRON GENERATÖR, DOĞRU AKIM MOTORU ve YÜKSELTİCİ KONVERTER	10
2.1. Senkron Generatörler	10
2.1.1. Senkron Generatörlerin Paralel Çalışması	11
2.1.2. Senkron Generatör Karakteristikleri	12
2.1.3. Senkron Generatörde Farklı Yüklerin Etkisi	13
2.2. Doğru Akım Motorları	15
2.3. DA-DA Konverterler	16
2.3.1. Yükseltici Konverter	17
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	25
3.1. Fotovoltaik Sistem Yapısı	25
3.2. Fotovoltaik Hücre	26
3.3. Güneş Hücresi ve Çeşitleri	27
3.4. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri	28
3.4.1. Şebekeden Bağımsız Sistemler	28
3.4.2. Şebeke Bağlantılı Sistemler	29
4. SİSTEM TASARIMI	34
4.1. Fotovoltaik Hücresinin Modellenmesi	34
4.2. Senkron Generatörlü Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Modellenmesi	43

4.3.	Kontrolsüz Durum için Simülasyon Sonuçları	46
4.4.	Alan Gerilimi ve Hız Kontrolü Durumunda Simülasyon Sonuçları	49
5.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	60
	KAYNAKLAR.....	61
	ÖZGEÇMİŞ	64



ÖZET

Doğada bulunan enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve petrol, kömür gibi kendini yenileme durumu olmayan enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararlardan dolayı, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı kaçınılmaz bir hal almaktadır. Güneş enerjisi, günümüzde birçok alanda enerji sistemleri ile birlikte kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan şebeke bağlantılı sistemlerdir. Bu sistemlerde elektrik kesintileri nedeniyle yaşanan inverter kayıpları önem arz etmektedir. Şebeke ile bağlantılı (aküsüz) fotovoltaik sistemlerde, şebekede oluşabilecek herhangi bir kesinti durumunda, güneş panelleri gün ışığı olduğu sürece sisteme enerji vermeye devam edecek ancak şebeke tarafı enerjisiz hatlarla (sea) sarılı bir ada (island) gibi davranacaktır. Bu duruma “adalanma (islanding)” denilmektedir.

Bu çalışmada, enerji sürekliliğinin önemli olduğu sistemlerde, klasik inverterli sistemlerin alternatifi olabilecek fotovoltaik enerji tabanlı bir güç enerjisi üretim santralının tasarımı ve modellenmesi yapılmıştır. Klasik inverterli bir fotovoltaik santralde şebeke tarafının enerjisiz kalma durumunda, geliştirilen sistem ile lokal olarak yükleri besleyebilecek bir sistem önerilmiştir. Bu amaçla; fotovoltaik panelden elde edilen gerilim ile bir DA motoru sürülmüş ve bu motorla senkron generatör tahrik edilerek sistemde enerji sürekliliği sağlanmıştır. Tasarlanan sistem farklı yük profilleri altında incelenerek elde edilen sonuçların güvenilirliği ispatlanmıştır, 1 MW’lık bir güneş santralinde meydana gelen kesintiler sonucunda ortaya çıkan kaybın bu sistem ile ne kadar tolere edilebileceği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistem, Senkron Generatör, MATLAB/Simulink

SUMMARY

Modeling For Synchronous Generator Photovoltaic Power Systems

Due to rapid consumption of energy source in nature, and the self-non-renewal sources such as petrol, coal etc. that causes damaging to environment, using renewable energy source is getting inevitable position. Solar energy is used in many areas together with energy systems.

The most common used solar energy system is grid-connected systems. The inverter losses due to power failures are important in these systems. In grid-connected photovoltaic systems (without batteries), the solar panels keep to give energy to the system as long as daylight is maintained in case of any possible interruption in network, but the network side behaves such an island wrapped in unsealed lines. This is called as "islanding".

In this study, a power generation plant based on photovoltaic energy is modeled. In photovoltaic systems, providing energy even in transient regime and power continuity for unexpected situations is very important.

The aim of this study is that supplying DC motor with voltage by obtaining from photovoltaic panel as well as providing the continuity of system with driving synchronous generator by DC motor. The reliability of the obtained results has proved by analyzing the designed system under different load profiles. It is investigated that how much losses can be tolerated using the proposed system for resulting losses due to interruptions in 1 MW solar plant.

Keywords: Photovoltaic System, Synchronous Generator, MATLAB/Simulink

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Türkiye’de bulunan santral türlerinin kurulu güç değerleri	2
Şekil 1.2. Türkiye’de bulunan santral türlerine göre santral sayısı.....	3
Şekil 1.3. Türkiye’de bulunan santral türlerinin enerji üretimine katkı oranları	3
Şekil 2.1. Motor ve generatör çalışmanın gösterimi	10
Şekil 2.2. Senkron generatörde tahrik sistemi.....	11
Şekil 2.3. Senkron generatör basit eşdeğer devresi.....	12
Şekil 2.4. Senkron generatörün geri güç faktöründe fazör diyagramı	14
Şekil 2.5. Senkron generatörün birim güç faktöründe fazör diyagramı.....	14
Şekil 2.6. Senkron generatörün ileri güç faktöründe fazör diyagramı	15
Şekil 2.7. Serbest uyarımlı DA motorun MATLAB/Simulink modeli.....	16
Şekil 2.8. Bir konverterin basit çalışma şekli.....	17
Şekil 2.9. Yükseltici konverterin temel eşdeğer devresi	18
Şekil 2.10. Anahtar iletimde ve diyot kesimdeyken eşdeğer devre şekli.....	19
Şekil 2.11. Diyot iletimde anahtar kesimdeyken eşdeğer devre şekli.....	20
Şekil 2.12. Sürekli iletim modunda bir anahtarlama döngüsü için indüktansın akım ve gerilim dalga şekilleri	21
Şekil 3.1. Fotovoltaik hücre, modül ve dizi	26
Şekil 3.2. Fotovoltaik hücrede enerji aralığı	26
Şekil 3.3. Fotovoltaik hücrenin iç yapısı.....	27
Şekil 3.4. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem.....	29
Şekil 3.5. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem	30
Şekil 3.6. Şebeke bağlantılı sistemde oluşacak adalanma gösterimi	31
Şekil 3.7. Eylül ayına ilişkin gün bazlı toplam üretim grafiği	31
Şekil 3.8. 09.10.2016 tarihine ilişkin elektrik kesintileri	32
Şekil 3.9. MATLAB/Simulink ile modellenen sistemin şematik gösterimi.....	33
Şekil 4.1. Fotovoltaik hücrenin elektriksel eşdeğer devreleri: a) tek diyotlu model b) seri ve paralel dirençli tek diyotlu model c) seri dirençli tek diyotlu model.....	34
Şekil 4.2. Fotovoltaik sistemin MATLAB/Simulink ortamında tasarımı	41
Şekil 4.3. MATLAB/Simulink ile modellenen panelin farklı ışınımlardaki I-V eğrisi	42
Şekil 4.4. MATLAB/Simulink ile modellenen panelin farklı sıcaklıklardaki I-V eğrisi.....	42
Şekil 4.5. MATLAB/Simulink ile modellenen sistemin görseli	43
Şekil 4.6. Yükseltici konverterin giriş akımındaki dalgalanma	45

Şekil 4.7. Yükseltici konverterin çıkış gerilimindeki dalgalanma	46
Şekil 4.8. Kontrolsüz iken yüklenme durumunda senkron generatörün hız değişimi	47
Şekil 4.9. MATLAB/Simulink'te modellenen PI hız kontrol bloğu	47
Şekil 4.10. Kontrolsüz iken yüklenme durumunda senkron generatörün uç gerilimi.....	48
Şekil 4.11. MATLAB/Simulink'te modellenen PI gerilim kontrol bloğu	48
Şekil 4.12. 2 kW omik yük ile yüklenme durumu	49
Şekil 4.13. 2 kW omik yük durumunda hızdaki değişim.....	50
Şekil 4.14. 2 kW omik yük durumunda senkron generatörün uyarma gerilimi.....	50
Şekil 4.15. 2 kW omik yük durumunda senkron generatörün uç gerilimi	51
Şekil 4.16. Yükseltici konverterin giriş gerilimi (panelin çıkış gerilimi)	51
Şekil 4.17. Yükseltici konverterin çıkış gerilimi (DA motoruna uygulanan gerilim)	52
Şekil 4.18. a) 2 kW yük ile yüklenme durumu b) 2 kVAr indüktif yük ile yüklenme durumu	52
Şekil 4.19. 2 kW + 2 kVAr yük durumunda hızdaki değişim.....	53
Şekil 4.20. 2 kW + 2 kVAr yük durumunda senkron generatörün uyarma gerilimi.....	53
Şekil 4.21. 2 kW + 2 kVAr yük durumunda senkron generatörün uç gerilimi	54
Şekil 4.22. a) 2 kW yük ile yüklenme durumu b) 4 kVAr indüktif yük ile yüklenme durumu	54
Şekil 4.23. 2 kW + 4 kVAr yük durumunda hızdaki değişimi.....	54
Şekil 4.24. 2 kW + 4 kVAr yük durumunda senkron generatörün uyarma gerilimi.....	55
Şekil 4.25. 2 kW + 4 kVAr yük durumunda senkron generatörün uç gerilimi	55
Şekil 4.26. 6,4 kW tam yük durumunda aktif gücün değişimi.....	56
Şekil 4.27. 6,4 kW yük durumunda hızdaki değişim	56
Şekil 4.28. 6,4 kW yük durumunda senkron generatör uyarma gerilimi	57
Şekil 4.29. 6,4 kW yük durumunda senkron generatörün uç gerilimi	57
Şekil 4.30. 6,4 kW yük durumunda DA motorunun verimi.....	58
Şekil 4.31. 6,4 kW yük durumunda senkron generatörün verimi	58

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. 2015 yılı Eylül ayına ilişkin şebeke kesintisinden kaynaklı kayıplar	32
Tablo 4.1. Nominal ve standart test koşulları için değerler	38
Tablo 4.2. YL250P-29b panelinin STC değerleri.....	41



SEMBOLLER LİSTESİ

ΔI_L	: İndüktanstaki akım dalgalanması
ΔV_C	: Kondansatördeki gerilim dalgalanması
0	: Standart koşullar
A	: DA motorun rotor uçları
a	: Ortam koşulları
C	: Hücre
C₃	: Açık devre geriliminin sıcaklık katsayısı
D	: Diyot
d	: Görev periyodu
D_s	: Sönüm katsayısı
E_A	: Bir fazda üretilen gerilim
E_g	: Boşluğun enerjisi
eVs	: Elektro volt saniye
F	: Alan sargıları
f_s	: Frekans
G^a	: Ortamdaki ısıma
h	: Plank sabiti
i_a	: Rotor akımı
I_d	: Diyot tarafından çekilen akım
I_{FV}	: Panelin çıkış akımı
I_i	: Konverter giriş akımı
I_L	: İndüktans üzerinden akan akım
I_{max}	: İndüktans üzerindeki maksimum akım
I_{min}	: İndüktans üzerindeki minimum akım
I_o	: Konverter çıkış akımı
I_s	: Satürasyon akımı
I_{sc}	: Kısa devre akımı

J	: Atalet moment katsayısı
k_e	: Motorun gerilim sabitidir
k_f	: Oransal bir alan sabiti
K_i	: İntegral sabiti
K_p	: Oransal sabit
k_t	: Motorun moment sabiti
L	: İndüktans
L_{min}	: Minimum indüktans değeri
M	: Modül
n	: Nominal şartlar
N_{PA}	: Dizideki paralel modül sayısı
N_{PM}	: Modüldeki paralel hücre sayısı
n_s	: Senkron devir
N_{SA}	: Dizideki seri modül sayısı
N_{SM}	: Modüldeki seri hücre sayısı
p	: Kutup sayısı,
R	: Direnç
R_P	: Paralel direnç
R_S	: Seri direnç
S	: Anahtar
T^A	: Ortam sıcaklığı
T^C	: Hücre sıcaklığı
T_{em}	: Elektromanyetik moment
T_L	: Yük momenti
t_{off}	: Anahtarın kapalı kaldığı süre
t_{on}	: Anahtarın açık kaldığı süre
T_s	: Periyot
V_i	: Yükseltici konverterin giriş gerilimi
V_L	: İndüktans üzerindeki gerilim

V_o	: Konverter çıkış gerilimi
V_{oc}	: Açık devre gerilimi
V_T	: Isıl gerilim değeri
V_ϕ	: Çıkış gerilimi
W_h	: Watt saat
w_m	: Motorun hızı
W_p	: Wattpik
X_s	: Senkron reaktans
ϕ_f	: Alan akısı
ω	: Elektriksel hız (rad/s)
θ	: Faz açısı

KISALTMALAR

AA	: Alternatif akım
CCM	: Sürekli iletim modu
DAM	: Süreksiz iletim modu
NOCT	: Nominal çalışma şartları
SMPS	: Anahtar modlu güç kaynağı
STC	: Standart test koşulları

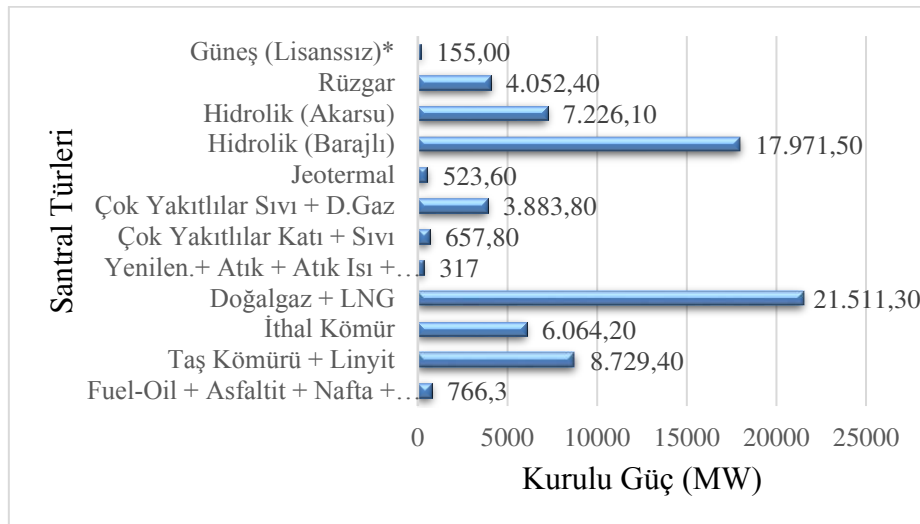


1. GİRİŞ

1.1. Genel Bakış

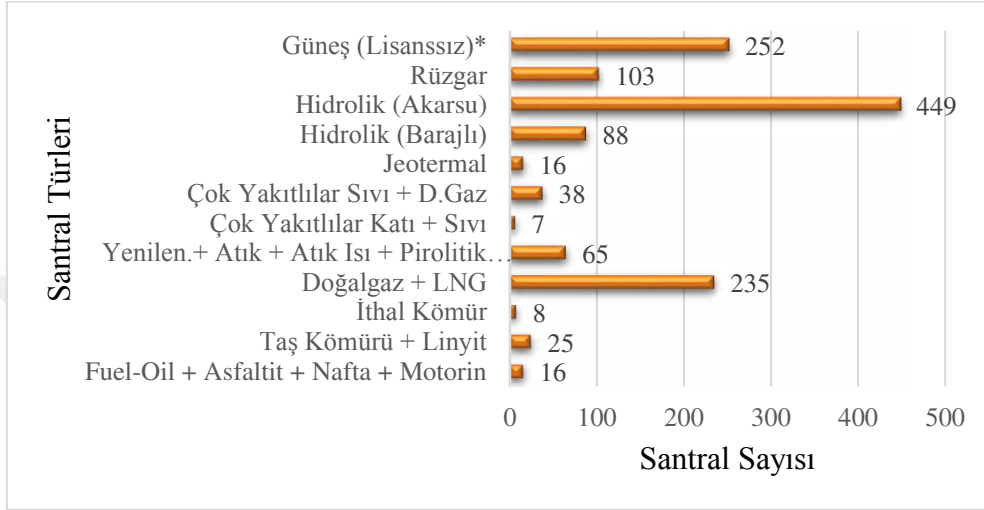
Dünya üzerinde giderek artan nüfus artışı, sanayileşme ve küreselleşme sonucu enerji talebinin karşılanmasındaki sürdürülebilirlik öncelikli bir hal almaktadır. Enerji elde etmek için kullanılan yöntemlerde; fosil yakıtların, CO₂ emisyonunun çevreye verdiği zararlar göz önüne alındığında yaşamın devamı için temiz ve güvenilir enerji kaynaklarına yönelimin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak ve çevresel sorunlara çözüm getirmek için yenilenebilir enerji alanındaki araştırmalar ve teknolojik gelişmeler her geçen gün artmaktadır.

Bulunduğu coğrafik konum gereği yeterli enerji kaynağına sahip olan ülkemizde de elektrik üretiminde hidrolik, rüzgar, güneş, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak için çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının Ağustos 2015 verilerine göre kurulu güçleri (MW) Şekil 1.1’de verilmiştir [2]. Şekil 1.1’den görüldüğü gibi Doğalgaz ve LNG ile üretim 21,511.30 MW ile maksimum güce sahip iken Lisanssız Güneş Enerji Santrallerinin (LES) ise 155 MW ile minimum güce sahip olduğu görülmektedir. Ocak 2017 verilerine bakıldığında güneş enerjisinin kurulu gücünün 819,63 MW’a ulaştığı bilinmektedir.



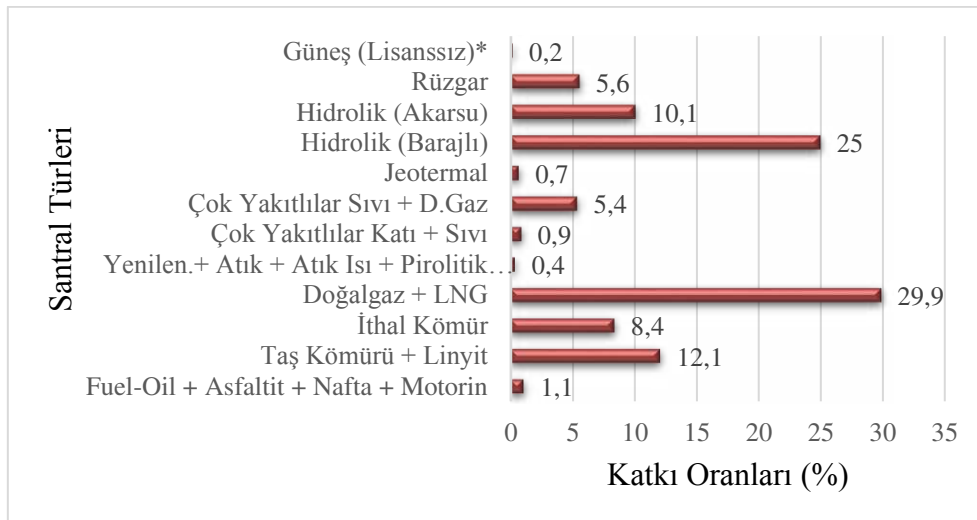
Şekil 1.1. Türkiye’de bulunan santral türlerinin kurulu güç değerleri

Şekil 1.2’de Ağustos 2015 verilerine göre Türkiye’de bulunan kurulu santrallerin büyük bir kısmını biriktirmeli ve biriktirmesiz HES’lerin oluşturduğu görülmektedir. Hidroelektrik santralleri sırasıyla lisanssız güneş enerji santralleri, doğalgaz ve LNG santralleri takip etmektedir [2]. Yine 2017 yılının Ocak verilerine bakıldığında güneş santrallerinin sayısının 1043 adete yükseldiği görülmektedir.



Şekil 1.2. Türkiye’de bulunan santral türlerine göre santral sayısı

Şekil 1.3’te Ağustos 2015 verilerine göre Türkiye’de bulunan santral türlerinin enerji üretimine katkı oranları verilmiştir [2]. 2017 yılında bu değerlere bakıldığında güneş enerjisinin elektrik üretimine katkısı %1.04’e ulaşmıştır.



Şekil 1.3. Türkiye’de bulunan santral türlerinin enerji üretimine katkı oranları

Sınırsız bir potansiyele sahip olmasına, tükenmez niteliğine, çevre kirliliğine yol açmamasına, iletim ve dağıtım sorununun olmamasına rağmen, ülkemizde güneş enerjisi santralleri ile ilgili gelişimin yavaş olmasının birçok nedeni vardır. Bu nedenlerin en önemlilerinden biri geçmişte yapılan enerji politikalarındaki yanlışlıklar ve birim maliyetleridir. Ancak güneş enerjisi su pompalama ve depolama, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve uydu sistemleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

Güneş enerjili sistemler genellikle şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız (ada tipi) olarak karşımıza çıkmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemlerde enerji bataryalarda depolanarak kullanılır. Şebeke ile bağlantılı olarak çalıştırılan sistemlerde tüketimin üretimden fazla olduğu durumlarda kullanıcı tüketim fazlası enerjiyi şebekeden alır; buna karşılık, kullanıcının tüketimi üretiminden az olduğu durumlarda ise üretim fazlası enerji ile şebeke beslenir. Depolanan enerjinin tükendiği ve şebekeden enerji alınamadığı durumlarda yük tarafı enerjisiz kalabilmektedir.

Bu sistemlere alternatif olarak geliştirilen sistemde; fotovoltaik (FV) beslemeli senkron generatör ile kesintisiz çalışma sağlanacak, inverter ihtiyacı ortadan kalkacak ve gerektiğinde şebekeden bağımsız olarak çalışabilecektir. Fotovoltaik sistemden elde edilen gerilim, bir DA motorunu besleyerek senkron generatörün tahrik edilmesini sağlayacaktır. Böyle bir sistemde sürekli bir enerji hareketliliği olacak ve kısmi olarak yükler beslenmeye devam edebilecektir. Bu da özellikle, enerji kesintisinin önemli maddi kayıplara neden olabileceği sanayi uygulamaları açısından çok önemli olacaktır.

Sistemin performans analizlerini incelemek için çıkış karakteristiklerinin elde edilmesi ve yorumlanması gerekir. Bu çalışmada MATLAB/Simulink paket programı ile hedeflenen sistemin modellenmesi yapılmıştır ve farklı yüklerde çalışmalar irdelenmiştir.

1.2. Literatür Taraması ve Tezin Literatürdeki Yeri

Literatüre bakıldığında FV panellerle yapılan çalışmalarda FV sistemlerde gerçekleşen kayıplar ve bu kayıpların en aza indirgenmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca FV sistemlerin modellenmesi de çok önemli bir parametredir. FV panelin modellenmesi ve bir sistemi beslemesi üzerine yapılan çalışmalardan birkaçı aşağıda verilmiştir.

Villalva vd. [3] yaptıkları çalışmada, fotovoltaik dizilerin simülasyonu ve modellemesi ile ilgili bir metot önermişlerdir. Bu metot güneş panelinin elektriksel eşdeğer devresinin matematiksel

olarak ifade edilmesiyle oluşturulmuştur. Bu çalışmada güneş panelinin tek diyotlu seri ve paralel dirençli eş değer devresini kullanmışlardır. Önerdikleri metodun sonuçlarını ticari olarak kullanılan iki farklı güneş panelinin veri sayfaları ile karşılaştırarak doğrulamışlardır.

Ding vd. [4] bir FV dizi simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Önerdikleri FV dizi modeli özellikle düzenli olmayan güneş ışınımı altında ve farklı çalışma koşulları altında yani farklı ışınlım ve sıcaklık seviyesinde çıkış parametrelerinde doğru sonuçlar vermektedir. Ayrıca önerdikleri modeli deneysel test düzeneğinin sonuçları ile karşılaştırarak doğrulamışlardır. Vurguladıkları diğer bir önemli nokta ise önerdikleri FV dizi modelinin kontrol stratejisi ve devrenin davranışını simule etmek için bir elektronik devre ile birlikte çalıştırılabilir olmasıdır.

Tsai [5] çalışmasında, güneş pilinin tek diyotlu elektriksel eşdeğer devresinden faydalanarak bir FV panel modeli oluşturmuştur. Oluşturulan modelin Matlab/Simulink programında simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucunda güneş paneli karakteristiklerini etkileyen ana etkenlerin güneş ışınlımı ve ortam sıcaklığı olduğu görülmüştür. Ayrıca sistemin deneysel düzeneğini kurarak da sonuçlar almıştır. Deneysel sistem; güneş ışınlımını ölçmek için lüksmetre, ortam sıcaklığını ölçmek için termometre, elektriksel ölçümleri yapabilmek için multimetreler, akü, akü şarj düzenleyicisi ve bir yükten oluşmaktadır. Deneysel sistemin sonucunda elde edilen karakteristik eğrilerin simülasyonda elde edilen karakteristiklerle örtüştüğü gözlemlenmiştir.

Çelik ve Açıkgöz [6] çalışmalarında 120W gücünde bir monokristal güneş panelini matematiksel olarak modelleyerek deneysel sistem tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Sistemin kurulumu İskenderun, Türkiye’de gerçekleştirilmiştir ve optimum panel yerleşim açısı 36° olarak belirlenmiştir. Sistemin matematiksel modelini oluştururken iki ayrı modelden faydalanmışlardır. Deneysel sistem tasarımı sonucunda güneş panelinin verimliliğinde sıcaklığın önemli bir etken olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca çalışmada güneş panelinden alınan en yüksek verimin öğle saatlerinde olduğu belirlenmiştir.

Klein vd. [7] ise FV dizi performansını belirlemek için bir model oluşturmuştur. Tasarladıkları modeli deneysel bir çalışma ve daha önce yapılan bir model çalışmasının sonuçları ile karşılaştırarak doğrulamışlardır. Oluşturdıkları modelin adı beş parametre modelidir. Burada kullanılan parametreler güneş ışınlımının ürettiği akım, diyot ters saturasyon akımı, güneş hücresinin seri ve paralel direnci ve idealite faktörüdür. Bu giriş parametreleri ve güneş paneli üreticisinden temin edilen diğer veriler sayesinde güneş panelinin akım-gerilim eğrisini elde

etmişlerdir. Ayrıca farklı tipteki güneş panellerini analiz ederek çalışmanın doğruluğu kanıtlanmıştır.

Brano vd. [8] yaptıkları çalışma ile silikon yapılı fotovoltaik panellerin akım- gerilim eğrilerini yeni bir beş parametre modeli oluşturarak MATLAB/Simulink programında elde etmişleridir. Modelin doğruluğunu kanıtlamak için deneysel bir sistem kurmuşlardır. Ayrıca FVsyst yazılımını kullanarak elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır. Deneysel sistemde monokristal ve polikristal yapıda olan iki ticari güneş panelinin akım-gerilim eğrisini elde etmişlerdir. Dış ortamda gerçekleştirilen deney sayesinde güneş ışıınımı ve ortam sıcaklığının değerleri kaydedilerek güneş panelinin akım-gerilim karakteristiği laboratuvar ortamına göre daha hassas bir şekilde elde edilmiştir. Çalışmada elektriksel yük olarak farklı direnç değerlerini kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda oluşturdukları modelin doğruluğunu deneysel sistem ve FVsyst yazılımı sonuçları ile karşılaştırarak kanıtlamışlardır.

İshaque vd. [9] FV modülün iki diyotlu modeli için geliştirilmiş bir modelleme yaklaşımı önermişlerdir. Bu çalışmanın ana katkısı daha önce geliştirilmiş iki diyotlu modellerde beş veya altı parametre kullanılırken bu çalışmada dört parametre ile denklemin basitleştirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca seri ve paralel dirençlerin değerleri basit ve hızlı bir iterasyon metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Önerilen modeli doğrulamak için farklı üreticilerden farklı tiplerde temin edilen altı tane FV panel test edilmiştir. Çalışmanın sonucunda iki diyot modelinden alınan sonuçlar tek diyot modeline göre daha iyi çıktılar vermiştir.

Chatterjee vd. [10] tek diyotlu FV hücre ile oluşturdukları model üzerine çalışmışlardır. Oluşturulan modelde, sıcaklık ve ışıınımdaki değişikliklerin etkisiyle parametrelerin değişimi incelenmiştir. Ayrıca farklı çevresel koşullar altında bulunan panelin maksimum güç noktası belirlenmiştir.

Bellini vd. [11] herhangi bir sayısal yöntem kullanılmasına gerek kalmadan yalnızca FV panel üreticilerinin veri sayfaları tarafından sağlanan parametreleri kullanan gelişmiş bir FV model önermişlerdir. Çalışmada önerdikleri modelin detaylı tanımlamasından sonra farklı simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçları karşılaştırarak modeli doğrulamışlardır. Son olarak, modelin deneysel geçerliliği, FV modelinde gerçek işletim parametrelerini hesaba katan uygun bir prosedür ile birlikte sunulmuştur.

Ozerdem vd. [12] yaptıkları çalışmada Kuzey Kıbrıs'ta şebeke bağlantılı olarak kurulan ilk FV güç santralinin (Serhatköy FV güç santrali) performansını değerlendirmişlerdir. FV güç

santralinin simulasyonu FVsyst yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. NASA'dan alınan meteorolojik veriler kullanılarak performans oranı hesaplanmıştır. Kapasite faktörünün endüstriyel standartlarda %15-25 arasında değiştiği göz önüne alınmıştır. Böylece yapılan çalışma sonucunda sırasıyla %17.76 ve %19.26 kapasite faktörlerinin elde edilmesi santralin verimli olduğunu göstermiştir.

Kumar ve K. Sudhakar [13] Hindistan'da bulunan 10 MWp gücünde olan bir fotovoltaik güç santralinin performansını analiz etmişlerdir. Bu çalışmada santralin ürettiği enerjiyi SCADA sisteminden temin ederek FVsyst ve FV-GIS yazılımlarında oluşturdukları simülasyonlar ile karşılaştırmışlardır. Aynı zamanda santraldeki güç kayıplarını (örneğin; sıcaklık, güç elektroniği devreleri, şebeke bağlantısı gibi) ve performans oranını hesaplamışlardır. Ayrıca santralin hesaplanan performans oranı kullanılan yazılımlar sonucunda bulunan performans oranlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda santralin yıllık %86.12 performans oranına sahip olduğu belirtilmiştir.

Goura [14] Güney Hindistan'da kurulu olan 1 MWp'lık bir güç santralinin dizaynını ve performans analizini gerçekleştirmiştir. Yaptığı çalışmada FV sistemin performansını etkileyen faktörlerin sıcaklık, çevresel faktörler ve inverter performansı olduğunu belirlemiştir. Ayrıca güç santralinin performans oranının ortalama olarak 0.77 değerinde olduğunu hesaplamıştır.

Padmavathi ve S.A. Daniel [15] çalışmalarında 3 MWp gücünde şebeke bağlantılı bir FV güç santralinin performans analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada 2010 ve 2011 yıllarında güç santralinden alınan veriler kullanılarak sistemin enerji verimi, kayıpları ve yarı iletken madde verimlilikleri değerlendirilmiştir. İnverter kayıplarından dolayı santralin performans oranı 2010 yılının Ağustos - Kasım ayları aralığında 0.6'dan daha az bir değerde bulunmuştur. 2011 yılında ise inverter kayıplarının daha az olduğu bir dönemde santralin performans oranı 0.7 değerine ulaşmıştır. Bunun sonucunda santralin performansının pozitif bir eğilimde olduğu görülmüştür.

Yılmaz ve H.R. Özçalık [16] Kahramanmaraş'ın Pazarcık ilçesindeki bir tekstil fabrikasının enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurmuş olduğu 500 kW gücündeki şebeke bağlantılı güneş enerjisi santralinin modellenmesini ve fiyat analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada ilk olarak fotovoltaik panelin matematiksel modelini çıkartarak MATLAB/Simulink ortamında simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Santralde kullanılan güneş panelinin veri kataloğundaki değerler kullanılarak elde edilen akım gerilim ve güç gerilim eğrileri sayesinde modelin doğruluğu kanıtlanmıştır. Santralde her biri 250 Wp gücünde olan 2001 adet güneş paneli ve

50 kWp, 13 kWp ve 10 kWp güçlerinde olan inverterler kullanılmıştır. Yıllık iklimsel değerler kullanılarak yapılan analiz sonucunda üretilmesi beklenen enerji miktarı 496,2 MWh olarak hesaplanmıştır. Ağustos 2013'te üretime başlayan santral 8 aylık bir süre içinde 479,7 MWh enerji üretmiştir. Bu da santralin %96,57 gibi bir üretim başarısını ortaya koyduğunu göstermiştir. Santralin kurulumu için 1,304,413.30 TL harcanmıştır. Bu kurulum miktarının %72'sini fotovoltaik paneller içerirken %21'ini inverterler ve %6'sını ise diğer ekipmanlar oluşturmaktadır. Santralin yıllık üreteceği enerji ise 816,639 MWh ve santralin amortisman süresi 6.2198 yıl olarak hesaplanmıştır.

Akar [17] Ankara ili Haymana ilçesi Balçıkhisar beldesi, Hisar mevkiinde 1188 parsel üzerine kurulmuş olan 1150 kWp/1000 kW kapasiteli Haymana güneş enerji santralinin yatırım maliyeti, sistem performans oranı, üretimi, amortisman süresi ve sistem performansına etki eden parametreleri incelemiştir. Tesiste yaşanan elektrik kesintileri sebebi ile inverterin devre dışı kalmasından dolayı 2015 yılı içerisinde toplam 127.104,51 kWh üretilmesi gereken elektrik enerjisi üretilememiştir. Bu da yaklaşık olarak tesisin bir aylık üretim miktarına denk gelmektedir.

1.3.Tezin Amacı

Doğada bulunan enerji kaynaklarının giderek yok olması, yenilenemeyen enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararlar, günümüzde kendini yenileneyen, temiz ve güvenilir enerji kaynaklarına olan bağımlılığı arttırmıştır. Bu kaynaklardan en yaygın olarak kullanılan güneş enerjisi, birçok alanda enerji sistemleri ile birlikte kullanılmaktadır. Bu sistemlerde genelde, fiyat/verim oranının olabildiğince düşük tutulmasına çalışılır [18,19]. Bu çalışmada, enerji sürekliliğinin önemli olduğu sistemlerde, klasik inverterli sistemlerin alternatifi olabilecek fotovoltaik enerji tabanlı bir güç enerjisi üretim santralinin tasarımı ve modellenmesi yapılmıştır. Bir yıllık üretim performansı çıkarılmış olan 1 MW'lık klasik inverterli bir fotovoltaik santralde, şebeke tarafının enerjisiz kalma durumunda lokal olarak yükleri besleyebilecek bir sistem önerilmiştir. Enerji sürekliliği arz eden bir sistemde yaşanacak elektrik kesintilerine alternatif olarak kurulacak senkron generatörlü sistem ile şebekedeki kesintilerden yük etkilenmeden beslenmeye devam edecektir.

1.4. Tezin Yapısı

Bu tezde fotovoltaik panelden enerjisini temin eden senkron generatörlü bir enerji sistemi tasarlanmış ve modellenmiştir. Model MATLAB/Simulink benzetim programı ile oluşturulmuştur.

Bu çalışma 5 bölümden meydana gelmektedir. Tezin giriş bölümünde; enerji ihtiyacının gerekliliğine ve küresel ısınmadan dolayı yenilenebilir enerjinin kullanımının önemine değinilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları karşılaştırılmış ve bu kaynaklardan güneş enerjisinin önemi üzerinde durulmuştur. Güneş enerjisi sistemlerinin kullanım şekillerine göre avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

Bölüm 2’de sistem ana hatlarına ayrılıp senkron generatörün, DA motorunun ve yükseltici konverterlerin yapısı ve çalışma prensiplerinden bahsedilmiştir. Bu yapıların MATLAB/Simulink modelleri adım adım anlatılarak tasarımlarına yer verilmiştir.

Bölüm 3’te güneş enerjili sistemler hakkında bilgiler verilerek, FV sistemler karşılaştırılmış ve yapılacak çalışmanın gerekçeleri ortaya koyulmuştur.

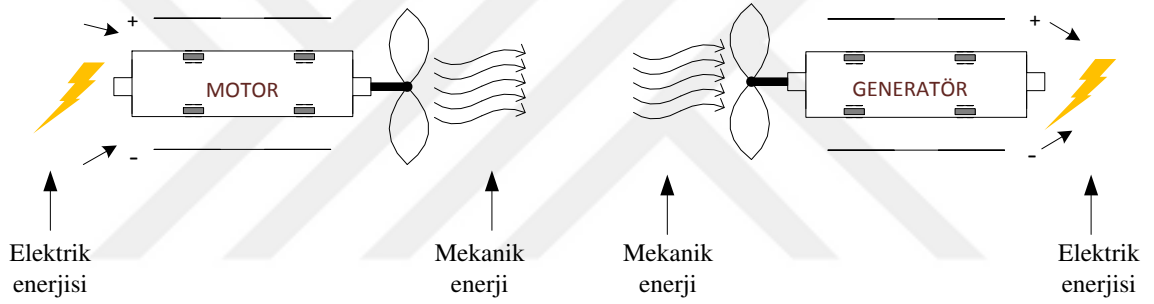
Bölüm 4’te tüm sistemin tasarımı denklemlerle birlikte anlatılmış, DA motorla akuple bağlantılı senkron generatör için güç değerleri belirlenerek sistemin MATLAB/Simulink ortamında sonuçları incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Bölüm 5 çalışmanın sonuçlarını ve gelecek çalışmalara öngörülerini içermektedir.

2. SENKRON GENERATÖR, DOĞRU AKIM MOTORU ve YÜKSELTİCİ KONVERTER

2.1. Senkron Generatörler

Senkron makineler, motor ya da generatör olarak çalışmak üzere üretilirler. Ayrıca, bağlı olduğu şebekeye büyük kapasite gösterebilen kompansatörler olarak da yapılabilirler. Senkron motor ile generatör arasında yapısal olarak bir fark bulunmamaktadır. Tek fark çalışma durumunda diğer makinelerde olduğu gibi mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makinelerin generatör, tersi durumda da motor olarak çalışmasıdır. Senkron generatörler, alternatif akım ürettiği için bunlara “alternatör” de denilmektedir [20]. Şekil 2.1’de motor ile generatör çalışma arasındaki temel fark basitçe gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Motor ve generatör çalışmanın gösterimi

Senkron makinalar temel olarak sabit kısım stator ve hareketli rotordan oluşmaktadır. Senkron generatörde rotor sargısına uygulanan doğru akım rotorda manyetik bir alan oluşturur. Generatör prensibi manyetik alan içerisinde hareketli bir sargıda gerilim indüklenmesi esasına dayanmaktadır. Dolayısıyla rotorda elde ettiğimiz bu duran manyetik alanın bir hareket kaynağı ile döndürülmesi gerekir. Böylece döner manyetik alan oluşur ve bu alanın etkisinde kalan stator da gerilim indüklenir.

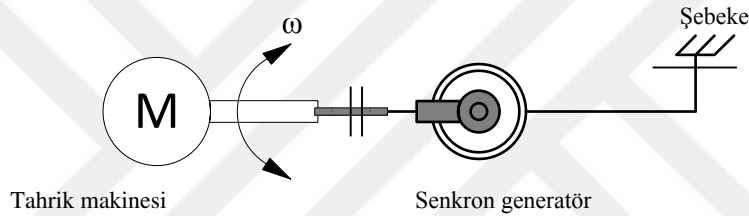
Bahsedilen döner manyetik alanı meydana getiren sargılar “alan sargıları” ve gerilimin meydana geldiği sargılar “endüvi sargıları” olarak tanımlanır. Senkron generatörde bunlar sırasıyla rotor ve stator sargıları olarak da adlandırılabilir.

Stator sargıları, temel olarak alternatif gerilimin elde edildiği kısımdır ve üzerinde her zaman alternatif gerilim üreten sargılar mevcuttur. Hava aralığında manyetik indüksiyonun sinüs

şeklinde olmasını sağlamak ve yüksek harmonikleri elimine etmek için bu sargılar stator iç yüzeyine dağılmış şekilde bulunur.

Rotor sargıları (kutup sargısı), manyetik alanın meydana geldiği yüksek elektromıknatıs özelliği olan kısımdır. Rotorun oluşturduğu bu manyetik alan sürekli mıknatıslar yardımıyla ya da sargılardan doğru akım akması ile üretilir.

Senkron generatörlerin ihtiyaç duyduğu mekanik enerji Şekil 2.2’de görüldüğü gibi generatörün miline bağlı olan tahrik makineleri ile sağlanmaktadır. Tahrik makineleri genellikle türbin sistemlerinden oluşmaktadır. En yaygın kullanılan tahrik yöntemleri buhar türbinleri hidrolik enerjiden oluşan sistemlerdir. Bu çalışmada senkron generatörün tahrik edilmesi için fotovoltaik sistemden beslenen bir DA motoru kullanılacaktır.



Şekil 2.2. Senkron generatörde tahrik sistemi

Burada asıl önemli olan, tahrik makinesi olarak hangi kaynak olursa olsun çekilen güce göre değişmeyen yaklaşık olarak sabit bir hızın elde edilmesidir. Çünkü sistemin frekansının sabit kalması için bu durum gereklidir.

2.1.1. Senkron Generatörlerin Paralel Çalışması

Generatörlerin birlikte çalıştırılması paralel bağlanma olarak bilinir. Böyle bir çalışma çoğu güç sistemi zorunlu bir durumdur. Çünkü şebekelerdeki yükler sürekli değişiklik gösterir. Bir tek generatörün böyle bir değişken yükü karşılaması sorun oluşturmaktadır. Tek başına bir alternatör yükün en fazla olduğu duruma göre yüklendiğinde azaldığı durumda verimsiz çalışacaktır. Düşük yüke göre ayarlandığında yük arttığında sargılarda yanmalar meydana gelecektir. Bu yüzden birden fazla generatörle bu durum ciddi oranda giderilmiş olur. Ayrıca generatörlerden biri arızaya girse bile sistem çalışmasını sürdürmeye devam edebilir ve birden fazla generatör daha büyük sistemleri besleyebilir.

Generatörlerin paralel bağlanması için aşağıdaki şartların sağlanması gerekir:

- Generatörlerin efektif gerilimleri eşit olmak zorundadır
- Faz sıraları aynı olmalıdır
- Aynı fazların açıları da eşit olmak zorundadır
- Sistemle paralel çalışacak olan generatör faz açısının değişimine uyum sağlaması için paralel bağlanacağı zaman frekansı bir miktar büyük tutulmalıdır.

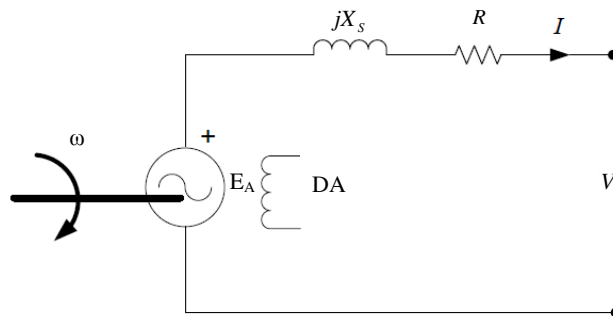
2.1.2. Senkron Generatör Karakteristikleri

Alternatif akım makinelerinin genel hız denkleminde bakıldığında elektriksel frekans ile dönme hızının senkron olduğu görülür.

$$n = \frac{120f_e}{p} \quad (2.1)$$

Burada f_e üretilen gerilimin frekansı ve n sistemin hızıdır. Denklem 2.1’ de görülen p kutup sayısı, makine üretilirken belirlenen bir parametre olduğundan hız ile frekans orantılı olarak değişecektir. Senkron generatörlerde gerilim, devir sayısı ve manyetik akı gibi parametrelere bağlı değişmektedir. Denklem 2.2’de generatörün gerilim ifadesi verilmiştir.

$$E_A = k\phi\omega \quad (2.2)$$



Şekil 2.3. Senkron generatör basit eşdeğer devresi

Denklem 2.2’den anlaşıldığı üzere senkron generatörde indüklenen gerilim açısal hız ve manyetik akının bir fonksiyonudur. Ancak frekansın sabit olması gerektiğinden açısal hız sabit tutulur ve E_A gerilimi manyetik akıyı da değiştirir.

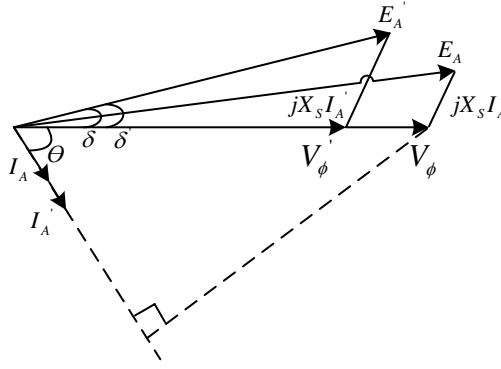
Şekil 2.3’te verilen senkron generatörün eşdeğer devresine bakıldığında E_A bir fazda üretilen gerilimi temsil etmektedir. Çıkış gerilimi V_ϕ , endüvi sargılarındaki direnç ve öz indüktansa bağlı gerilim düşümlerinin etkisiyle aynı olmamaktadır. Generatör yüklendiğinde akımın etkisiyle bir manyetik alan oluşur. Statorda oluşan bu manyetik alan ana manyetik alanı bozar. Bunun sonucunda E_A ile V_ϕ arasında gerilim farkı oluşur. Genelde çıkış frekansının 50 Hz ya da 60 Hz olması istenir. Denklem 2.1’den görüldüğü gibi generatörün çıkış frekansı rotor hızıyla orantılıdır.

2.1.3. Senkron Generatörde Farklı Yüklerin Etkisi

Senkron generatörün yüklendiğinde tek başına ya da paralel çalışma durumunda gösterdiği karakterisitik güç faktörüne göre değişmektedir. Yükün artması ile generatörden çekilen aktif ya da reaktif güç bileşenleri de artacaktır. Böylece çekilen akım da artacaktır.

Tek başına çalışan bir senkron generatörün yüklenme durumları incelenirken; generatör sabit hız ve anma hızı değerinde döndürülerek, yük akımı ile çıkış gerilimi arasındaki karakteristik eğriler elde edilir. Burada alan akımının ve direncinin de değişmediği kabul edilir ve güç faktörü sabittir. Bu durumda generatörde indüklenen gerilim değeri Denklem 2.2’de görüldüğü gibi sabit olur. Bu şartlar altında omik, indüktif ve kapasitif yükler için çalışma durumu incelenir.

Yüklenme durumları için öncelikle senkron generatörün fazör diyagramı göz önüne alınır. İndüktif yük durumunda Şekil 2.4’teki fazör diyagramı elde edilir [20].



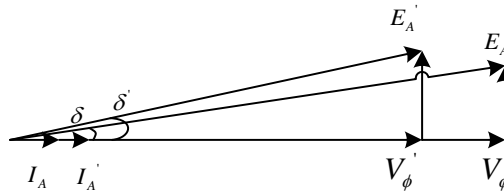
Şekil 2.4. Senkron generatörün geri güç faktöründe fazör diyagramı

Generatör aynı güç faktörüne sahip bir yükle yüklendiğinde; I_A akımının mutlak değeri artarken V_ϕ ile arasındaki θ açısının değişmediği görülür. Bu durumda yük artsa bile geri güç faktörü değişmeyecektir. Denklem 2.3'teki gerilim denkliği incelendiğinde;

$$E_A = V_\phi + jX_S I_A \quad (2.3)$$

I_A akımının artışına bağlı olarak $jX_S I_A$ değeri artacak ve E_A sabit olduğundan yük artışıyla V_ϕ değerinin azaldığı söylenebilir.

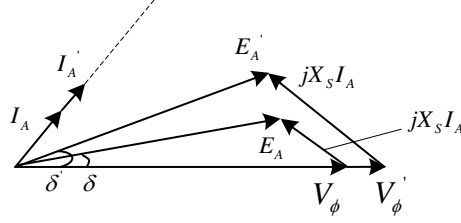
Omik yük durumuna göre senkron generatöre aktif yükler eklendiğinde; güç faktörü değişmeyecek ve yine I_A ile V_ϕ arasındaki açı değişmeyecektir. I_A 'nın değeri arttığından dolayı Denklem 2.3'ten anlaşıldığı gibi V_ϕ de az da olsa bir azalma meydana gelecektir. Şekil 2.5'te omik yük durumunda fazör diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.5. Senkron generatörün birim güç faktöründe fazör diyagramı

İleri güç faktörüyle yani kapasitif yük ile yüklenen bir senkron generatörün Şekil 2.6'da verilen fazör diyagramında görüldüğü gibi endüvi akımın değeri artar ancak V_ϕ ile yaptığı açı

aynı kalır. $jX_s I_A$ artarken E_A 'nın sabit kalmasından dolayı aradaki açı artacak ve sonuçta generatör uç gerilimi V_ϕ artacaktır.



Şekil 2.6. Senkron generatörün ileri güç faktöründe fazör diyagramı

2.2. Doğru Akım Motorları

Serbest uyartımlı DA motorlarda stator ve rotor sargıları elektriksel olarak birbirinden ayrıdır. Birçok uygulamada moment ve hız ilişkisi önemli bir etkindir. Motor yüklendiği zaman da aynı hızı sürdürmesi istenir. Dolayısıyla hızın geniş bir aralıkta kontrol edilmesi gerekmektedir [21-24].

DA motorun modeli oluşturulurken dinamik durum denklemlerinden faydalanılır. Denklem 2.9 – 2.12 arasında görüldüğü gibi durum denklemleri aşağıdaki gibi Kirchhoff'un Gerilimler Yasası uygulanarak elde edilir.

$$V_t = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_a \quad (2.9)$$

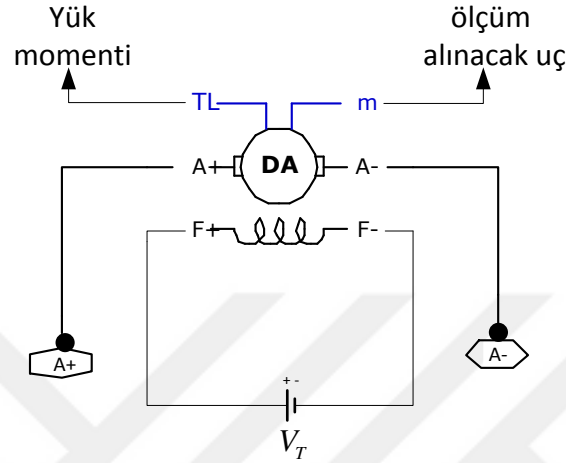
$$V_f = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} \quad (2.10)$$

$$e_a = k i_f \omega_m \quad (2.11)$$

$$T_{em} = J \frac{d\omega}{dt} + D\omega_m + T_L \quad (2.12)$$

J atalet moment katsayısını, D sönüm katsayısını göstermektedir. Denklemlerdeki a ve f alt indisleri sırasıyla armatür ve alan devreleri ile ilgili katsayıları temsil etmektedir.

Bu bilgiler altında oluşturulan DA motorun MATLAB/Simulink modeli Şekil 2.7'deki gibidir.



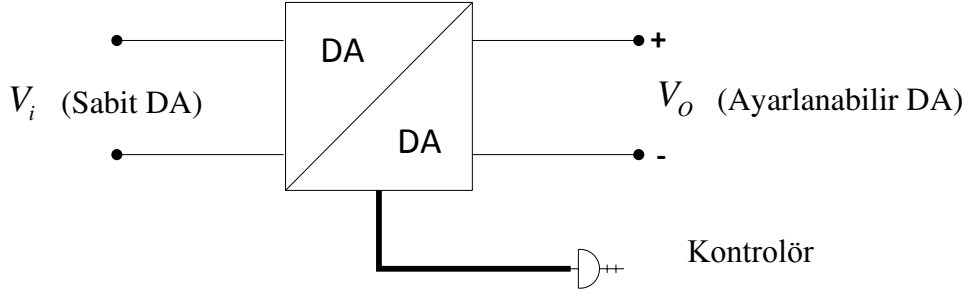
Şekil 2.7. Serbest uyarımlı DA motorun MATLAB/Simulink modeli

Modelde; A ile gösterilen DA motorun rotor uçlarını, F indisi ise alan sargılarını temsil etmektedir. T_L yük momenti ve m ile gösterilen DA motor çıkışında almak istediğimiz ölçümleri veren uçtur. Oluşturulan modelde senkron generatörün tahriği DA motoru ile sağlanacaktır. DA motorunun hızını sabit tutmak için FV panel çıkışı yükseltici konverterle yükseltilerek DA motoru sürülecektir.

2.3. DA-DA Konverterler

Konverter kelime anlamı olarak dönüştürücü demektir. DA-DA konverterler belli bir gerilim seviyesini başka bir gerilim seviyesine dönüştürmeye yarayan anahtarlama elemanlarıdır. Çalışma şekli devrede kullanılan anahtarların iletim ve kesim sürelerine göre ayarlanır.

DA-DA konverterler lineer olmayan ve zamanla değişen sistemlerdir. DA-DA bir konverterden beklenen özellikler temel olarak; çıkış geriliminin ayarlanabilir olması ve çıkıştan alınan gerilimin yeterince düzgün olmasıdır. Şekil 2.8'de konverterin temel çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Bir konverterin basit çalışma şekli

- V_i , giriş DA gerilim olup sabit olarak kabul edilir.
- V_o , çıkış DA gerilim olup ayarlanabilir olmalıdır.
- $V_o \leq V_i$ ise düşürücü konverter (buck converter) denir.
- $V_o \geq V_i$ ise yükseltici konverter (boost converter) denir.

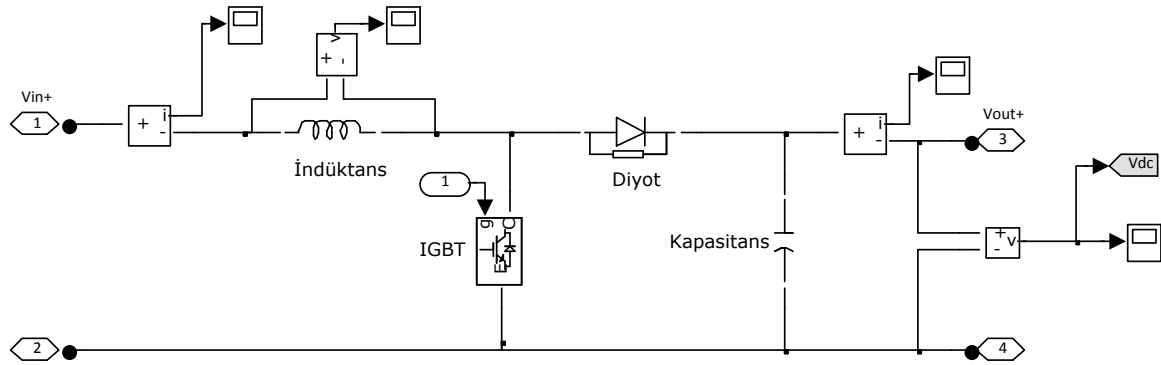
Çıkış gerilimini istenildiğinde artırıp istenildiğinde azaltan devrelere düşürücü-yükseltici konverter (buck-boost converter) denilir.

Bunların dışında literatürde yer alan DA-DA konverterler arasında CUK konverter ve tam köprü konverter de vardır [25]. Düşürücü-yükseltici konverterler ve CUK konverterleri diğer konverterlerin birlikte çalışmalarından ortaya çıkmıştır. Tam köprü konverterler düşürücü konverterlerden türetilmiştir. Bu çalışmada gerilimin yükseltilme ihtiyacını karşıladığı için yükseltici konvertere değinilecektir.

2.3.1. Yükseltici Konverter

Yükseltici konverterler, diyot veya transistör gibi en az iki yarı iletken ve en az bir enerji depolama elemanı (kondansatör, indüktör veya her ikisi birlikte) içeren temel anahtarlama modlu güç kaynağı (SMPS) topolojilerinden biridir [26].

Gücünü; bataryalar, güneş panelleri, doğrultucular ve DA generatörler gibi uygun herhangi bir DA kaynaktan alır. Adından da anlaşıldığı gibi giriş gerilimi yükseltilerek çıkışta istenilen büyüklükte gerilim elde edilir. Yükseltici konverter devresinin çalışma şeklini anlamak yani giriş gerilimi nasıl yükselttiğini bilmek önemlidir.



Şekil 2.9. Yükseltici konverterin temel eşdeğer devresi

Şekil 2.9’da MATLAB/Simulink ile modellenen devre; bir indüktans (L), S ile gösterilen bir güç anahtarlama elemanı (örn. IGBT), diyot (D), bir filtre kondansatörü (C) ve bir yük görevi gören dirençten (R) oluşmaktadır. Kontrollü anahtar, $f_s=1/T_s$ anahtarlama frekansı boyunca açılır ve kapanır, burada T_s anahtarlama çevrimi periyodunu ifade eder. Görev periyodu, anahtarın açık olduğu zaman aralığının anahtarlama döngüsü periyoduna oranıdır ve Denklem 2.13’deki gibi hesaplanır.

$$d = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (2.13)$$

Anahtar döngüsü periyodu Denklem 2.14’deki gibi tanımlanabilir:

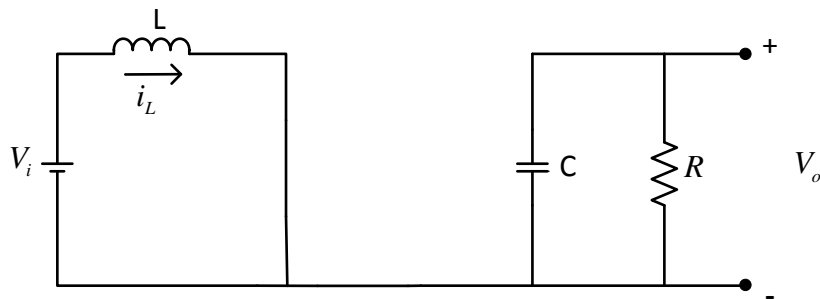
$$T_s = t_{on} + t_{off} \quad (2.14)$$

Yükseltici dönüştürücüsünün iki çalışma modu vardır: anahtarlama döngüsünün sonunda indüktans akımının davranışına bağlı olarak Sürekli İletim Modu (CCM) ve Süreksiz İletim Modu (DAM). CCM durumunda, anahtarı kapatıldığında enerji hala indüktörde kalır ve indüktör akımı hiçbir zaman sıfıra düşmez. DAM durumunda, indüktansta depolanan tüm enerji, anahtar kapanmadan önce yüke aktarılır ve indüktansın akımı sıfıra düşer. Çalışma aralığı, sabit indüktans değeri için görev periyodu ve yük akımı ile sınırlıdır. Yük akımı azaldığında, çalışma şekli sürekli moddan süreksiz iletim moduna geçecektir. Bu yüzden, CCM modunu ayarlamak için, indüktans değeri ile yük akımı arasında ters orantılı bir ilişki vardır.

Anahtar, indüktansın ve kapasitansın tamamen boşalmasını önlemek için yeterince hızlı anahtarlanmalıdır böylelikle yük her zaman giriş kaynağı geriliminden daha büyük bir gerilim elde edebilir. Bu devrede, giriş gerilim kaynağı yüksek gerilim seviyelerinde değişirse, konverterin giriş gerilimi çıkış geriliminden daha yüksek olur ve diyotun birçok anahtarlama döngüsü için iletimde olması gibi bir sorun ortaya çıkabilir. Bu yüzden diyot ani akım artışından dolayı zarar görebilir. Aynı problem, anahtarlama döngüsünün ilk anlarında, çıkış gerilimi başlangıçta sıfır olduğunda ve giriş gerilimi yüksek olduğunda ortaya çıkar. Bu durum, kararlı durum zamanına kadar devam edecektir. Böyle bir durumda konverter devresine, ani akım artışlarını engellemek için diyot bağlanarak dönüştürücü olası problemlerden korunabilir. Diğer yandan çıkıştaki gerilim dalgalanmasını azaltmak için yükseltici konverterin çıkışına bir filtre kondansatörü eklenir [27-30]. Eğer çıkışta düzgün ve sabit bir gerilim elde etmek istenirse bu kondansatörün kapasitesi yeterince büyük seçilmelidir.

Konverter devresinin analizi, bir anahtarlama döngüsü için ele alınacaktır. Konverterin analizini yapmak için bazı kabuller yapılmasına ihtiyaç vardır. Güç anahtarı ve diyotlar ideal anahtarlar olarak kabul edilecektir. Transistör ve diyotun çıkış kapasitesi kayıpları, indüktans ve anahtar kayıpları sıfır olarak alınacaktır. Pasif bileşen doğrusal, zamanla değişmez ve frekanstan bağımsızdır. Hem DA hem AA giriş gerilim kaynağının sıfır çıkış empedansı bileşenleri sıfır olarak alınacaktır.

Zaman aralığı $0 < t < dT$ iken kontrollü anahtar kapalı, diyot açık konumdadır ve eşdeğer devre Şekil 2.10'daki halini alır. Diyodun üzerindeki gerilim yaklaşık olarak giriş gerilimine eşittir, bu durumda diyot kutuplanmıştır. Anahtar kısa devre ve diyot açık devre özelliği gösterir.



Şekil 2.10. Anahtar iletimde ve diyot kesimdeyken eşdeğer devre şekli

DA giriş akımı, indüktans akımının ortalama değerine eşittir. Anahtar üzerindeki akım, indüktans akımına eşittir. Daha sonra, anahtar akımı DA giriş akımı cinsinden yazılabilir. İndüktans üzerine düşen gerilim Denklem 2.15'teki gibi formülize edilir.

$$V_L = V_i = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.15)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_i}{L} \quad (2.15a)$$

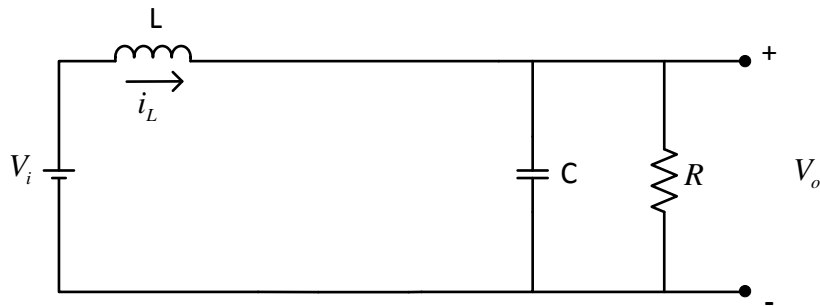
Akım değişim hızı sabittir, bu nedenle akım Denklem 2.16’da görüldüğü gibi doğrusal olarak artar.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{dT} = \frac{V_i}{L} \quad (2.16)$$

$$\Delta i_L = \frac{dT V_i}{L} \quad (2.16a)$$

$$I_s = I_L = I_i + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.17)$$

Zaman aralığı $(1-d)T < t < T$ iken; anahtar açık yani kesimde ve diyot iletimdedir. Bu durumda, anahtar akımı ve diyodun üzerindeki gerilim sıfırdır. Eşdeğer devre Şekil 2.11’de gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Diyot iletimde anahtar kesimdeyken eşdeğer devre şekli

$$V_L = V_i - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.18)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_i - V_0}{L} \quad (2.18a)$$

İndüktanstan geçen akımın türevi sabittir ve akım doğrusal olarak azalır.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{I_{\min} - I_{\max}}{\Delta t} = \frac{-\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{-\Delta i_L}{(1-d)T} = \frac{V_i - V_0}{L} \quad (2.19)$$

$$\Delta i_L = \frac{(1-d)T(V_0 - V_i)}{L} \quad (2.19a)$$

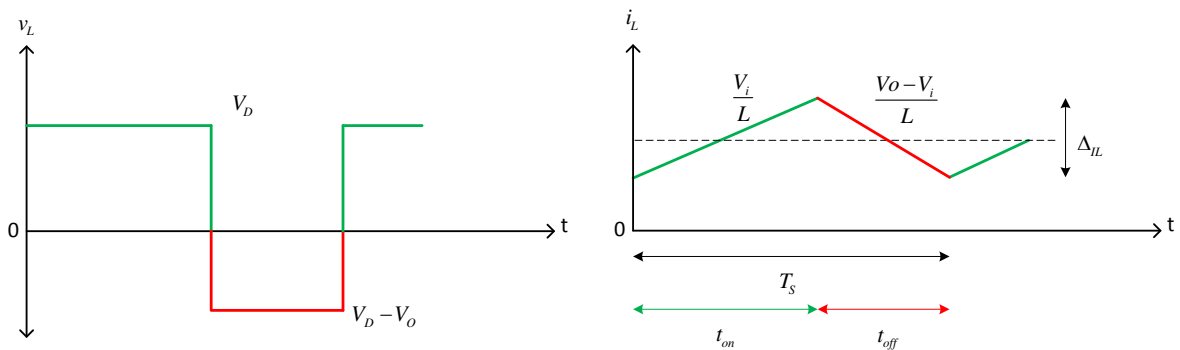
Δi_L değeri her iki durum içinde aynı olacağından;

$$\Delta i_L = \frac{(1-d)T(V_0 - V_i)}{L} = \frac{dTV_i}{L} \quad (2.19b)$$

$$= (1-d)V_0 - (1-d)V_i = dV_i \quad (2.19c)$$

$$V_0 = \frac{V_i}{1-d} \quad (2.19d)$$

Denklem 2.19d'ye bakıldığında yükseltici tip konverterin çıkış geriliminin giriş gerilimi ve görev periyoduna bağlı olarak değiştiği gözlemlenmektedir.



Şekil 2.12. Sürekli iletim modunda bir anahtarlama döngüsü için indüktansın akım ve gerilim dalga şekilleri

Şekil 2.12 konverterin akım ve gerilim davranışları için ideal dalga formlarını göstermektedir. Bir anahtarlama periyodu için t_{on} anahtarın iletimde t_{off} ise kesimde olduğu durumdur. V_i ve V_o sırasıyla kaynak giriş ve çıkış gerilimlerini temsil etmektedir. I_s ve V_s anahtar üzerindeki akım ve gerilimi, d görev periyodunu, I_d ve V_d ise sırasıyla diyotun akım ve gerilim değerlerini göstermektedir.

Konverter tasarımında gerekli olan indüktans ve kapasite seçimi için ideal kabul edilen bileşenlerin, güç kaynağı yük direnci tarafından emilen güç ile aynı olmasına dayanarak Denklem 2.20'den faydalanılır.

$$P_o = P_i \quad (2.20)$$

$$V_o I_o = V_i I_i \quad (2.20a)$$

$$\frac{V_i}{1-d} I_o = V_i I_i \quad (2.20b)$$

$$I_o = (1-d) I_i \quad (2.20c)$$

Ayrıca ortalama indüktör akımı, ortalama giriş akımına eşittir. Maksimum ve minimum indüktans akımları, ortalama değer ve akımdaki değişim kullanılarak Denklem 2.21'deki gibi ifade edilebilir.

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = I_i + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{I_o}{1-d} + \frac{V_i dT}{2L} \quad (2.21)$$

$$\frac{V_o}{R(1-d)} + \frac{V_i dT}{2L} = \frac{V_i}{R(1-d)^2} + \frac{V_i dT}{2L} \quad (2.21a)$$

$$I_{\max} = V_i \left[\frac{1}{R(1-d)^2} + \frac{dT}{2L} \right] \quad (2.21b)$$

$$I_{\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.22)$$

$$I_{min} = V_i \left[\frac{1}{R(1-d)^2} - \frac{dT}{2L} \right] \quad (2.22a)$$

Sürekli ve süreksiz akım arasındaki sınır,

$$I_{min} = 0 = V_i \left[\frac{1}{R(1-d)^2} - \frac{dT}{2L} \right] \quad (2.23)$$

$$L_{min} = \frac{d(1-d)^2 RT}{2} \quad (2.23a)$$

Böylelikle Denklem 2.23'ten faydalanılarak sürekli iletim durumunda gereken minimum indüktans değeri olan L_{min} bulunur.

İndüktansı Δi_L cinsinden ifade edersek;

$$L = \frac{V_i dT}{\Delta i_L} \quad (2.24)$$

Önceki denklemler, çıkış geriliminin sabit olduğu varsayımıyla geliştirildi. Uygulamada, sonlu bir kapasitans, çıkış geriliminde bir miktar dalgalanmaya neden olacaktır. Anahtar açıldığında, kapasitör yük akımını sağlar. Ortalama kondansatör akımı ve kondansatörün tepe gerilimi Denklem 2.25'teki gibi ifade edilir.

$$\Delta V_c = V_c - V_c(t=0) = \frac{1}{C} \int_0^{dT} I_c dt = \frac{1}{C} \int_0^{dT} I_o dt = \frac{dT I_o}{C} \quad (2.25)$$

Maksimum değişimde çıkış gerilimindeki dalgalanma Denklem 2.26'da verilir.

$$\Delta V_c = 2V_o \quad (2.26)$$

Bu yüzden minimum kapasite değeri Denklem 2.27 ile hesaplanır.

$$C_{\min} = \frac{dT I_o}{2V_o} = \frac{dT}{2R} \quad (2.27)$$

Bu kapasitansın değeri ΔV_c cinsinden yazılırsa Denklem 2.27a'daki gibi ifade edilir.

$$C = \frac{dT I_o}{\Delta V_c} \quad (2.27a)$$



3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

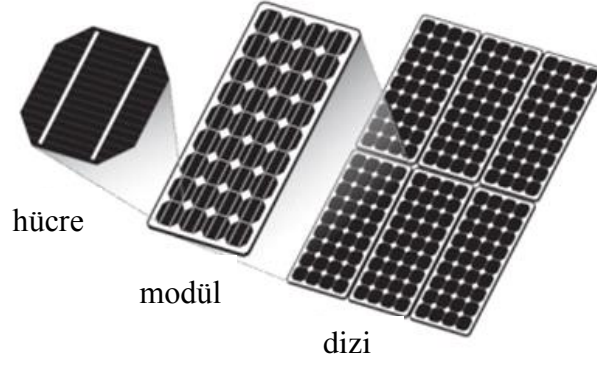
Güneş enerjisi; potansiyelinin fazla olması, temizliği, yenilenebilirliği ve kullanım kolaylığı gibi nedenlerle diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre yaygın olarak tercih edilir. Yüksek kurulum maliyeti, düşük verim ve kapasite faktöründeki iyileştirmeler gelecekte güneş enerjisinin kullanım alanlarını arttıracaktır. Türkiye, güneş enerjisi potansiyelinde elverişli bir konumda olmasına karşın sahip olduğu potansiyeli yeterince kullanamamaktadır [31].

Güneş ışınımının şiddeti, hemen hemen 1370 W/m^2 değerindedir; yeryüzünde ise $0-1100 \text{ W/m}^2$ aralığında değişiklik gösterir.

Güneş enerjisinin kesikli ve değişken bir karaktere sahip olması, güneş radyasyonunun atmosferik şartlara bağlı olarak değişmesinden ileri gelmekte olup, güneşlenme süresi ve şiddeti günlere ve mevsimlere, coğrafi bölgeye ve toplayıcı pozisyonuna göre değişebilir. Bu özellikler sebebiyle, güneş enerjisinin bazı uygulamaları için, enerji depolama veya yedek enerji sistemleri gerekli olmaktadır. Bununla birlikte, bazı uygulamalar için enerji depolama önemli değildir.

3.1. Fotovoltaik Sistem Yapısı

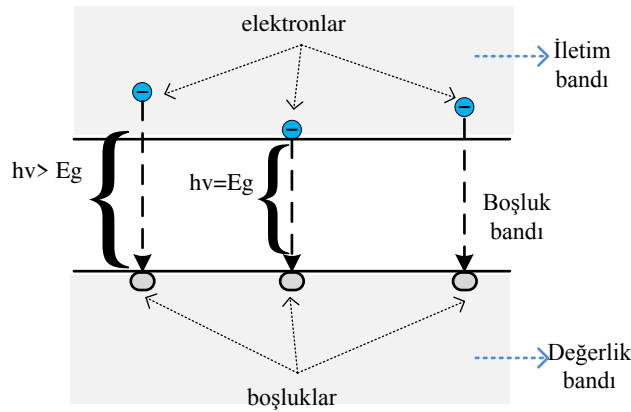
Bir fotovoltaik sistem direk olarak güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürür. Fotovoltaik kelime olarak ışık anlamına gelen foton ve gerilim anlamına gelen voltaj kelimelerinden türemiştir. Fotovoltaik etki Fransız bilim adamı Edmond Becquerel tarafından 1839 yılında bulunmuş ancak ışık ve katı hal fiziği kuantum teorisinin geliştirilmesine kadar tamamen anlaşılamadı. Bir FV sistemin en temel elemanı FV hücresidir. Üzerine düşen ışığı elektriğe dönüştürür. Genel olarak hücreler yaklaşık $1-2 \text{ W}$ civarında çıkış gücüne sahiptir. Hücreler gruplandırılarak paneller ya da diziler elde edilerek çıkış gücü istenilen değerlere çıkartılabilir. Bu yapı Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Bir FV yapının terminallerinde mevcut gerilim ve akım doğrudan aydınlatma sistemlerini ve DA motorlar gibi küçük yükleri besleyebilir. Daha gelişmiş uygulamalar FV sistemden elektrik elde etmek için gerilim ve akımı ayarlayan güç elektroniği devrelerine ihtiyaç duyarlar.



Şekil 3.1. Fotovoltaik hücre, modül ve dizi

3.2. Fotovoltaik Hücre

Fotovoltaik hücre, bir FV generatör sisteminin temel dönüşüm birimini temsil eder. Güneş ışığına maruz kalan FV hücre, yarı iletken bir diyet ile benzer özellik gösterir. İletkenden akım akması için bir elektriksel alana ihtiyaç vardır ve elektrik alanı meydana getirmek için, iki yarı iletken tabakanın temas halinde olması gerekir. Yarıiletkenler, valans (değerlik) bandı ve iletim bandı bir bant aralığı ile ayrılır. Valans bandı, iletim bandı altında bulunan elektronların en yüksek aralığındayken elektronlar yeterli enerjiye ulaşır serbest kalabilirler. Valans bandındaki elektronların iletim bandına geçmesi ile elektriği geçirme özelliğine sahip olurlar.



Şekil 3.2. Fotovoltaik hücrede enerji aralığı

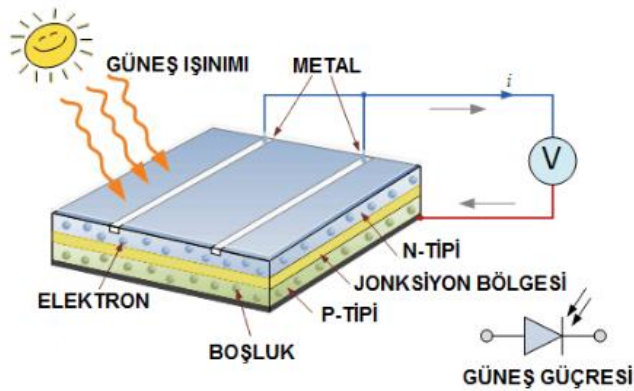
Boşluğun enerjisi ile yarıiletken malzemenin geçirgenliği arasındaki ilişki Denklem 3.1'deki gibi verilebilir;

$$h\nu > E_g \quad (3.1)$$

Burada h ; plank sabiti olup değeri 4.135667×10^{-15} eVs, E_g boşluğun enerjisi olarak ifade edilir. İdeal bir yarıiletken Şekil 3.2’de görüldüğü gibi iletim bandındaki serbest elektron çifti ve valans bandındaki elektron boşlukları eşittir. Güneş ışığı hücre yüzeyine düştüğünde serbest elektronlar harekete geçer, bu enerji transferi momentum ve enerjinin korunumu korunması kuralına göre oldu edilir ve çıkışa yük bağlandığında akım akmaya başlar.

3.3. Güneş Hücresi ve Çeşitleri

Hücreler genellikle çok kristalli veya tek kristalli silisyumlu yarıiletkenler olarak üretilirler. Şekil 3.3’te gösterilen negatif elektrik yüklü n tipi tabaka ve pozitif elektrik yüklü p tipi tabakadan oluşurlar. Güneş hücrelerinden elde edilebilecek enerji miktarı, güneş radyasyonunun akı yoğunluğuna ve yarı iletken maddenin emme özelliğine bağlıdır. Yarıiletken maddenin emme yeteneği; ilgili yük taşıyıcı konsantrasyonu ve malzeme yapısının pürüzlülüğü, ısıyı yansıtma, özellikle de yarı iletken bant boşluk enerjisi gibi parametrelere göre değişiklik gösterir. Yüzeye gelen fotonların enerjisi yarıiletken malzemeden elektronları serbest bırakmak için FV hücrenin düşük band aralığı enerji sınırından daha yüksek olmalıdır. Düşük enerjili fotonlar absorbe edilemez ve kullanılamaz, yani elektron akışı oluşturamaz. FV hücrenin boşluk bandındaki enerjisinin alt sınırından daha yüksek enerjili fotonlar elektron akışı meydana getirir ve böylece gerilim oluşturabilir. Yarıiletken malzemelerin düşüklüğüne bağlı olarak FV hücrelerin verimleri de çok yüksek değildir [32].



Şekil 3.3. Fotovoltaik hücrenin iç yapısı

3.4. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri

Fotovoltaik sistemler temel olarak şebekeden bağımsız ve şebeke ile bağlantılı sistemler olarak ikiye ayrılır. Bunların yanında bir de hibrit sistemler vardır.

Temel olarak şebekeye bağlantı durumuna göre ayrılan sistemler farklı teknolojilerin birlikte kullanılmasıyla hibrit olarak adlandırılır. Hibrit sistemler birden fazla enerji üretim kaynağına sahip oldukları için enerji güvenliği daha esnek olacaktır. Bu sistemler çoğunlukla güneş, rüzgar, hidroelektrik, dizel generatör, ve hidrojen enerjisi teknolojilerinin ortak kullanımı ile ortaya çıkmaktadır. Daha çok FV sistemlerde enerjinin üretilmediği gece saatleri ve kış ayları dikkate alındığında hibrit sistem ile destek bir enerji üretimi sağlanacaktır. Dizel generatörlerle kurulan sistemlerde özellikle şebekeden bağımsız durumda yakıt tüketimi azalmaktadır. Özellikle maliyetin önemli olduğu ve farklı kaynaklardan yararlanmanın mümkün olduğu sistemlerde hibrit kullanılabilir bir teknolojidir.

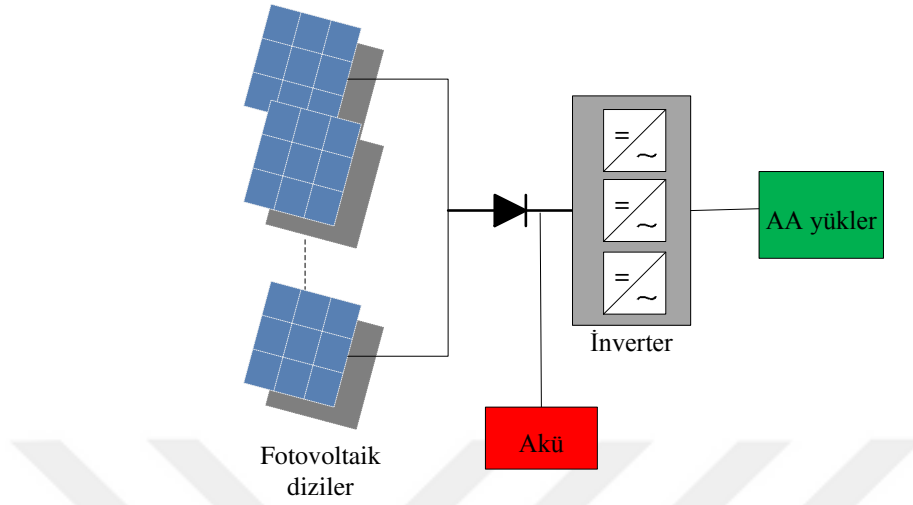
3.4.1. Şebekeden Bağımsız Sistemler

Şebekeden bağımsız FV sistemler genellikle yerleşim yerlerine uzak bölgelerde herhangi bir elektrik bağlantısı olmadığı için enerji ihtiyacını karşılamada tercih edilen sistemlerdir. Böyle yerlerde kullanımının zorunluluğu sistemin eski zamanlardan beri tercih edilmesine olanak sağlamıştır. Çok büyük güçlerde çalışma imkanı sağlayamaz ancak birkaç yüz kWh değerinde enerji üretimine olanak sağlar. bağımsız sistemler genellikle ışıklandırma, demiryolu, yaya geçidi ışığı, yalnız pompalar, ev aydınlatılması, botlar, yatlar, güneşe maruz kalan küçük konutlar ve benzeri yerlerde elektrik sağlarlar.

Bu sistemler, kullanılan depo elemanına (akü) ve yükün çeşidine göre birkaç farklı şekilde kurulabilmektedirler. Akü destekli şebekeden bağımsız sistem olarak bilinen sistemler, çoğu kez şebekedeki elektrik kesintisi durumunda uzak konutlarda kullanılarak elektrik üretimi problemindeki ekonomik ve çevreci çözüm olmuştur.

Şekil 3.4'te şebekeden bağımsız bir sistemin şematik gösterimi incelendiğinde sistemde herhangi bir AA yük ihtiyacının olduğu durumlarda, bir DA-AA dönüştürücüye ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu tip sistemlerde, inverterin sağladığı güç öncelikle yerel yükler tarafından tüketilmektedir. Artan güç ise elektrik şebekesine verilip daha uzak bölgelerdeki yükler tarafından tüketilebilmektedir. Dünyada özellikle Japonya gibi bazı ülkelerde yaygın olarak

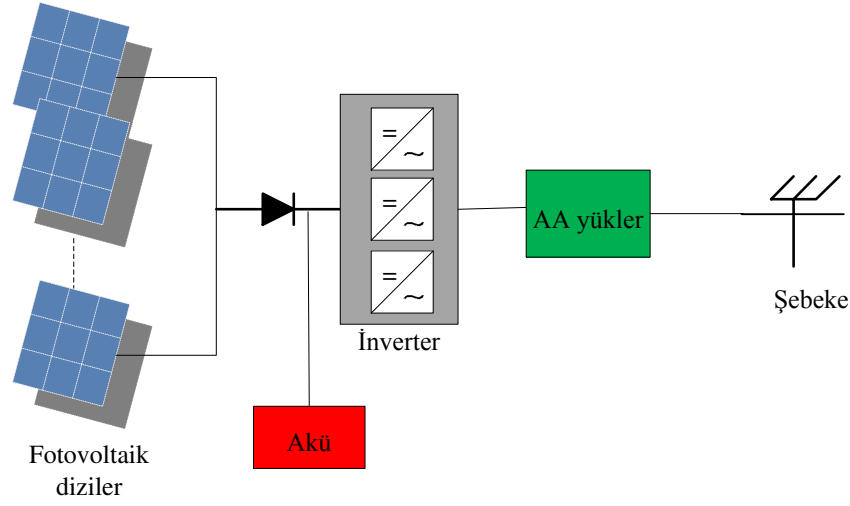
kullanılan bu sistemde tüketici kendi ihtiyacını karşılar ve fazla ürettiği elektriği şebekeye satarak kazanç sağlamaktadır.



Şekil 3.4. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem

3.4.2. Şebeke Bağlantılı Sistemler

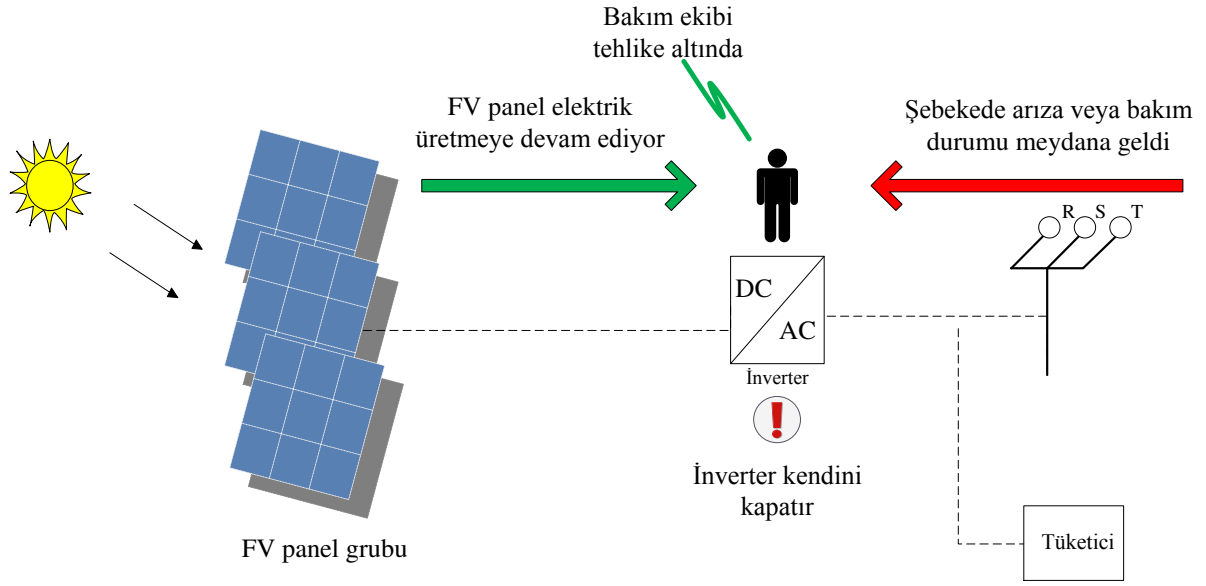
Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler diğer sistemden farklı olarak şebekeyle bağlantılı olarak çalışır. Üretilen enerjinin tüketici tarafından hem şebeke hem kendi ürettiğini kullanması sağlanır. Bu sistemler adından da anlaşıldığı üzere şebekeyle çalışan ve bu nedenle şebekeden uzak olmayan yerlere kurulan sistemlerdir. Şebekeyle bağlantılı olması sistemi rahatlatmakta ve şebekeye yakın kurulması kayıpları azaltmaktadır. Kullanılan çift yönlü sayaç ile fazla enerji şebekeye satılır, enerjinin yeterli olmadığı durumlarda şebekeden yararlanır. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi FV panellerin ürettiği DA gerilimin şebekeye uyumlu olması için DA/AA inverterlere ihtiyaç vardır.



Şekil 3.5. Şebeke bağlantılı fotovoltaiik sistem

Şebeke bağlantılı sistemlerde kullanılan inverterler şebeke ile uyumlu karaktersitiklere sahip olmalıdır. Her ülkenin kendi şebekeleri için belirledikleri gerilim, frekans ve harmonik seviyeleri vardır. Üretim santralının karakteristiğine bakılmaksızın uyulması gereken temel parametrelere göre inverter firmaları üretim aşamasında çalışma aralığını belirler ve belirlenen sınırlara uygun çalışma inverterler ile sağlanır. Bu da daha güvenli bir elektrik sistemi kurulmasına olanak sağlar. Bu sayede inverter şebeke gerilim ve frekans değerlerini belirli aralıklarla takip eder ve sistem belirlenen limitlerin haricinde çalıştırıldığında otomatik olarak kendini kapatır. Bu; FV elektrik gücünün tüketileceği esnada bakım personelinin güvenliğini garanti altına almak için kullanılan bir elektrik şebekesi zorunluluğudur.

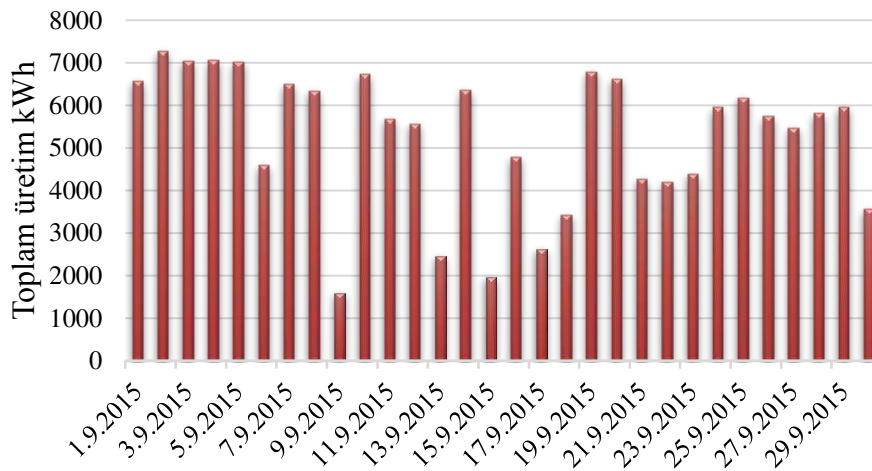
Herhangi bir bakım gerekliliğinden ya da güneşli bir günde şebeke arızasından kaynaklanan elektrik kesintisinde, FV sistemler halihazırda elektrik üretimine devam edecektir. Tüketici açısından ihtiyaç bulunmadığı durumda enerjiyi şebekeye verme eğiliminde olacaktır. FV sistem hala elektrik üretmeye devam ederken bakım ekipleri elektriğin kesildiğini varsayıp zarar göreceklerdir. İnverter çalışma prensibi olarak böyle bir duruma izin vermeyecektir. Şebekenin kesildiğini farkeden inverter çok kısa süreler içinde çalışmasını durduracaktır. Bu tip durumlarda şebeke gittiğinde elektriğin kullanılmaya devam edilmesi için enerjinin depolanması ve yedekleme sistemlerinin kurulması gerekir. Yedekleme sistemleri akü grupları ile depolama yapabilen, duruma göre dizel veya rüzgâr türbinleri ile takviye edilebilen sistemlerdir [33-37].



Şekil 3.6. Şebeke bağlantılı sistemde oluşacak adalanma gösterimi

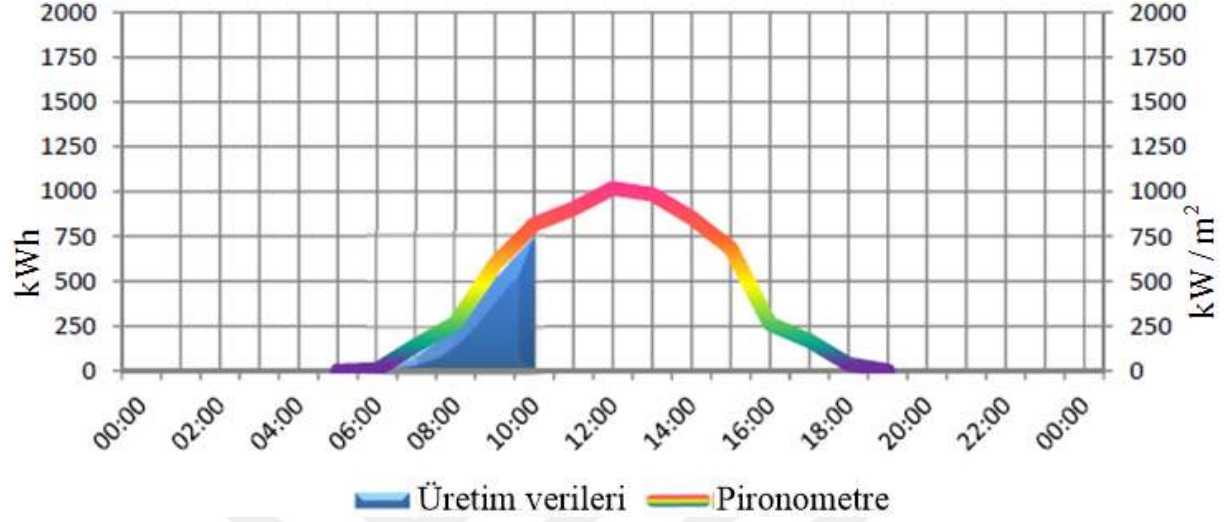
Şekil 3.6’da gösterilen bu durum “adalanma (islanding)” etkisi olarak bilinmekte ve inverterlerin devre dışı kalmasına neden olmakta, buna bağlı olarak da fabrika gibi lokal sistemler ürettikleri enerjiyi şebekeye basamadıkları için büyük kayıplarla karşılaşabilmektedirler. Ayrıca döküm sanayi gibi sektörlerde enerjinin kesilmesi pota içerisindeki hammaddenin zayi olmasına ve dolayısıyla büyük kayıplara neden olmaktadır.

Şekil 3.7’de 1 MW’lık bir güneş enerjisi santralinden alınan verilere göre 2015 yılı için Eylül ayında üretilen toplam elektrik enerjisi 165,023.514 kWh olarak ölçülmüştür. Santralde üretilen toplam elektrik elektrik enerjisi 2015 yılı içinde 1,674,945.993 kWh olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.7. Eylül ayına ilişkin gün bazlı toplam üretim grafiği [17].

Eylül ayına ilişkin elektrik kesintilerinden kaynaklı güvenlik sebebiyle inverterin kapanmasından kaynaklı kayıpları hesaplamak için saat 05.00-20.00 arasında alınan ölçümlerden faydalanılmıştır.



Şekil 3.8. 09.10.2016 tarihine ilişkin elektrik kesintileri [17].

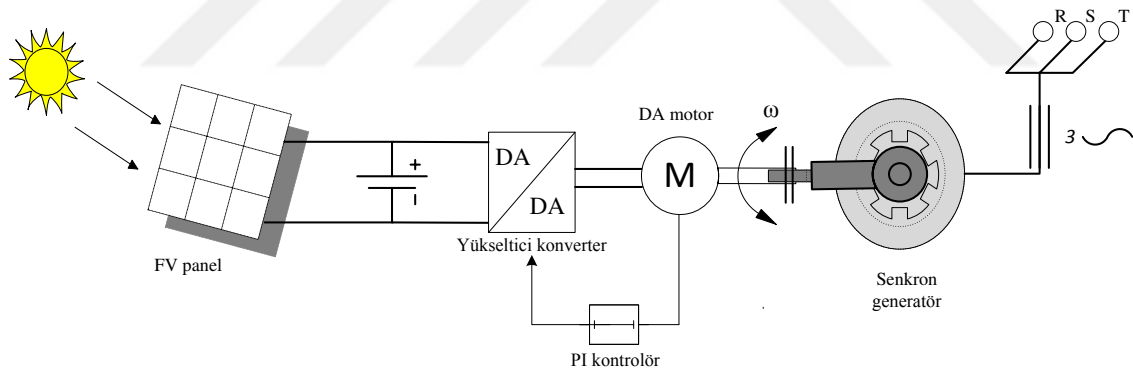
Şekil 3.8 Eylül ayına ilişkin bir günlük elektrik kesintisini göstermektedir. Eylül ayında gün içinde yaşanan bütün elektrik kesinti saatleri ve karşılık gelen üretim kaybı Tablo 3.1’de verilmiştir. Sadece Eylül ayı içerisindeki üretim kaybı 29383,05 kWh olarak ölçülmüştür.

Tablo 3.1. 2015 yılı Eylül ayına ilişkin şebeke kesintisinden kaynaklı kayıplar [17].

Kesintinin olduğu tarihler	Kesinti süresi (saat)	Üretim kaybı (kWh)
1.9.2015	4,5	1176,56
3.9.2015	2,5	149,42
6.9.2015	4	2456,46
9.9.2015	9	4796,23
11.9.2015	2	437,43
13.9.2015	7,5	4114,17
14.9.2015	1	13,13
15.9.2015	9	4097,33
16.9.2015	3	1107,96
17.9.2015	6,5	3535,06
18.9.2015	5	3410,98
21.9.2015	3,5	2315,58
22.9.2015	3	1772,74
TOPLAM	60,5	29383,05

Yapılan enerji maliyet analizine göre tesiste yaşanan elektrik kesintileri sebebi ile 2015 yılı içerisinde toplam 127,104.51 kWh üretilmesi gereken elektrik enerjisi üretilenmemiştir [17]. Bu da yaklaşık olarak tesisin bir aylık üretim miktarına denk gelmektedir. Enerji sürekliliği arz eden bir sistemde yaşanacak böyle bir kesintinin etkilerini minimize edecek senkron generatörlü bir sistem ile kesinti durumlarında dahi yük lokal olarak beslenmeye devam edebilecektir.

Bu çalışmada, enerji sürekliliğinin önemli olduğu sistemlerde, klasik inverterli sistemlerin alternatifi olabilecek fotovoltaik enerji tabanlı bir güç enerjisi üretim santralinin tasarımı ve modellenmesi yapılmıştır. Bir yıllık üretim performansı çıkarılmış olan 1 MW'lık klasik inverterli bir fotovoltaik santralde, şebeke tarafının enerjisiz kalma durumunda lokal olarak yükleri besleyebilecek bir sistem önerilmiştir. Bu amaçla; Şekil 3.9'da tasarlanacak sisteme ait görsel incelenecek olursa, fotovoltaik panelden elde edilen gerilim öncelikle istenilen gerilim değeri için tasarlanan yükseltici bir konvertere uygulanır daha sonra DA motoru sürülür ve bu DA motorla senkron generatör tahrik edilerek sistem sürekliliği sağlanır. Tasarlanan sistem farklı yük profilleri altında incelenerek elde edilen sonuçların güvenilirliği ispatlanmıştır.



Şekil 3.9. MATLAB/Simulink ile modellenecek sistemin şematik gösterimi

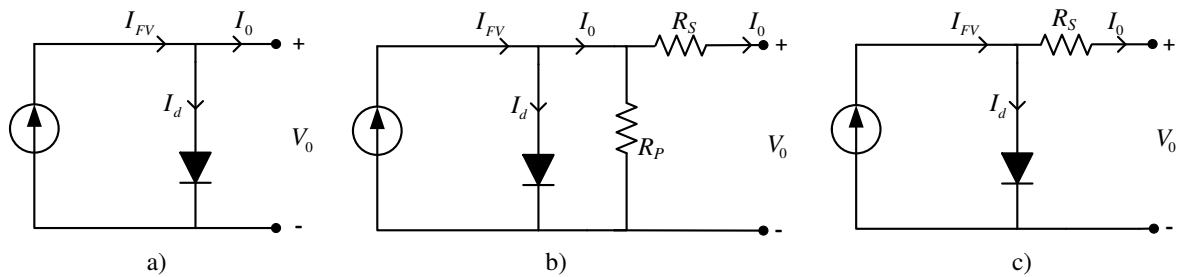
4. SİSTEM TASARIMI

Bu çalışmada güneş enerjisi destekli yenilenebilir bir enerji sisteminin modellenmesi ve kontrolü için MATLAB/Simulink programından yararlanılmıştır. Sistem temel olarak FV panel modeli, DA-DA yükseltici konverter modeli, senkron generatör ve bu modüllerin kontrolü için temel oransal-integral (PI) kontrolörlerinden oluşmaktadır.

4.1. Fotovoltaik Hücrenin Modellenmesi

Güneş hücrelerinin verimi, üretildiği malzemeye, hava koşullarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Çıkış gücü güneş ışınlamına ve sıcaklığa bağlı değişkenlik gösterir. Bu durumda doğrusal olmayan akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristikleri elde edilir. FV hücrenin bu eğriler üzerinde, FV sistemin o andaki çalışma koşulları için maksimum çıkış gücü ürettiği, maksimum güç noktası olarak adlandırılan bir çalışma noktası mevcuttur. FV sistemleri tasarlamak için, bir FV hücrenin eşdeğer devresinin nasıl modellendiğini bilmek önemlidir.

İdeal bir FV hücre genellikle diyot akımı, fotovoltaik akım ve elektron yüklerin taşınmasını yansıtmak için bir akım kaynağı içeren elektriksel eşdeğer devre ile temsil edilir.



Şekil 4.1. Fotovoltaik hücrenin elektriksel eşdeğer devreleri: a) tek diyotlu model b) seri ve paralel dirençli tek diyotlu model c) seri dirençli tek diyotlu model

Şekil 4.1’de güneş pilinin basitleştirilmiş tek diyotlu eşdeğer devreleri gösterilmektedir [38-39]. Basit diyot modelinden, diyot akımı Denklem 4.1’deki gibi ifade edilebilir.

$$I_d = I_s \left[e^{\left(\frac{qV_0}{\alpha k T^C} \right)} - 1 \right] \quad (4.1)$$

Burada a ; idealite faktörünü, k ise değeri 1.38×10^{-23} J/°K olan Boltzmann sabitini verir. q elektriksel yük olup değeri 1.602×10^{-19} Coloumb (C)'dur. I_s ters saturasyon akımını temsil eder. T^C , bir hücrenin p-n jonksiyonunun Kelvin (°K) cinsinden sıcaklık değerini, kT^C / q değeri p-n jonksiyonun ısıl gerilim değeri V_T 'yi ifade etmektedir ve Denklem 4.2'deki gibi gösterilebilir.

$$I_d = I_s \left[e^{\left(\frac{V_0}{\alpha V_T} \right)} - 1 \right] \quad (4.2)$$

Diyot tarafından çekilen akım; I_d ve FV hücrenin ürettiği akım; I_{FV} arasındaki fark çıkış akımı I_0 'ı vermektedir ve Denklem 4.3'teki gibi ifade edilir.

$$I_0 = I_{FV} - I_d \quad (4.3)$$

Diyot akımı Denklem 4.3'te yerine konulursa genişletilmiş ifade ile çıkış akımı Denklem 4.4 elde edilir.

$$I_0 = I_{FV} - I_s \left[e^{\left(\frac{V_0}{\alpha V_T} \right)} - 1 \right] \quad (4.4)$$

Pratikte modelleme yaparken bazı parametrelerinde göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Örneğin; kullanılan malzemelerin ve temas yüzeyinin dirençlerinin toplamı güneş hücresi modelinde seri direnç (R_s) olarak temsil edilmektedir. Buna ek olarak, hücrenin üretim şekline ve iç karakteristiğine bağlı olarak p-n jonksiyonunda bir kaçak akım mevcuttur. Bu akım paralel direnç (R_p) ile temsil edilmektedir. Çıkış akımı, seri ve paralel dirençlerin eklenmesiyle birlikte Denklem 4.5'teki halini alır.

$$I_0 = I_{FV} - I_s \left[e^{\left(\frac{V_0 + I_0 R_s}{\alpha V_T} \right)} - 1 \right] - \frac{V_0 + I_0 R_s}{R_p} \quad (4.5)$$

Genelde, R_p oldukça yüksek olduğundan modeli basitleştirmek için ihmal edilebilir ve Denklem 4.6'daki gibi ifade edilir.

$$I_0 = I_{FV} - I_S \left[e^{\left(\frac{V_0 + I_0 R_S}{a V_T} \right)} - 1 \right] \quad (4.6)$$

Böylece yalnızca R_S direnci kullanılarak basitleştirilmiş Şekil 4.1c'deki eşdeğer devre modellenebilir.

Bu durumda çıkış akım ve gerilim ifadeleri sırasıyla Denklem 4.7 ve Denklem 4.8'deki gibi ifade edilebilir.

$$I_0 = I_{FV} - I_S \left[e^{\left(\frac{V_0 + I_0 R_S}{a V_T} \right)} - 1 \right] \quad (4.7)$$

$$V_0 = a V_T \times \ln \left[\frac{I_{FV} - I_0}{I_S} + 1 \right] - I_0 R_S \quad (4.8)$$

Güneş hücreleri genellikle düşük çıkış güçlerine sahiptirler (1-2 Watt). Daha yüksek güçler elde edebilmek için bu hücreler birbirlerine seri veya paralel olarak bağlanırlar. Böylece fotovoltaik bir sistem birçok modül ve diziden oluşmaktadır. Seri bağlantılar çıkış gerilimini arttırırken, paralel hücre bağlantıları çıkış akımını yükseltir.

Güneş hücresi üreten firmalar genellikle açık devre gerilimi (V_{OC}), kısa devre akımı (I_{SC}), maksimum güç (P_{max}) gibi büyüklükleri kataloglarında bulundururlar. Bu yüzden elde edilen büyüklüklerin bilinen değerler olan V_{OC} ve I_{SC} cinsinden ifade edilmesi gerekmektedir. I_{FV} akımı ışınlığa bağlı olduğundan Denklem 4.9'daki gibi ifade edilebilir.

$$I_{FV} = I_{SC} \times k \quad (4.9)$$

Burada k standart koşullarda (1000 W/m^2 ve 25°C) anlık ışınlım seviyesini göstermektedir. Bu yüzden, I_{FV} ve I_{SC} eşit alınır. Bir fotovoltaik hücrenin açık devre gerilimi Denklem 4.10'da verilir.

$$V_{OC} = aV_T \times \ln \left[\frac{I_{SC}}{I_S} + 1 \right] \quad (4.10)$$

I_S değerinin küçük olması nedeniyle daha basit ifade ile V_{OC} Denklem 4.11'deki gibi olur.

$$V_{OC} \cong aV_T \times \ln \left[\frac{I_{SC}}{I_S} \right] \quad (4.11)$$

Denklem 4.11'den elde edilen saturasyon akımı Denklem 4.12 ile verilir.

$$I_S = \frac{I_{SC}}{e^{\left(\frac{V_{OC}}{aV_T}\right)}} \quad (4.12)$$

Bu denklem, çıkış akımının elde edildiği Denklem 4.7'de yerine konulursa çıkış akımı aşağıdaki gibi olur.

$$I_0 = I_{SC} - \frac{I_{SC}}{e^{\left(\frac{V_{OC}}{aV_T}\right)}} \left[e^{\left(\frac{V_0 + I_0 R_S}{aV_T}\right)} - 1 \right] \quad (4.13)$$

Ters saturasyon akımı (I_S) oldukça küçük olduğundan ihmal edilebilir ve Denklem 4.14 elde edilir.

$$I_0 \cong I_{SC} - \frac{I_{SC}}{e^{\left(\frac{V_{OC}}{aV_T}\right)}} \left[e^{\left(\frac{V_0 + I_0 R_S}{aV_T}\right)} \right] \quad (4.14)$$

$$I_0 = I_{SC} \left[1 - e^{\left(\frac{V_0 - V_{OC} + R_S I_0}{aV_T}\right)} \right] \quad (4.14a)$$

Böylelikle temel olarak bir fotovoltaiik hücrenin çıkış akımını modelleyen matematiksel eşitlik Denklem 4.14a ile elde edilmiş oldu.

Buradan yola çıkılarak modül çıkış akımı (I_0^M); I_{SC} ve V_{OC} 'ye bağlı olarak Denklem 4.15'teki gibi verilir.

$$I_0^M = I_{SC}^M \left[1 - e^{\left(\frac{V_0^M - V_{OC}^M + R_S^M I_0^M}{N_{SM} \alpha V_T^C} \right)} \right] \quad (4.15)$$

Üst indis “ M ” modülü temsil ederken, “ C ” ise hücreyi ifade etmektedir. Paralel panel sayıları akımı etkilerken seri panel sayısı gerilimi etkilemektedir.

$$I_{SC}^M = N_{PM} I_{SC}^C \quad (4.16)$$

$$V_{OC}^M = N_{SM} V_{OC}^C \quad (4.17)$$

$$R_S^M = \frac{N_{SM}}{N_{PM}} R_S^C \quad (4.18)$$

Burada N_{PM} ve N_{SM} sırasıyla paralel ve seri bağlı hücre sayısını, V_{OC}^C ; hücrenin açık devre gerilimini belirtir.

I_0^M , bir FV modülün çıkış akımını, I_{SC}^M modülün kısa devre akımını, I_{SC}^C hücrenin kısa devre akımını vermektedir. R_S^C ve R_S^M sırasıyla hücre ve modülün seri dirençlerini temsil etmektedir. FV panel üreten firmalar, Tablo 4.1’de gösterilen standart test koşullarında (STC) ve nominal çalışma şartlarında (NOCT); I_{SC} , V_{OC} , P_{MAX} , N_{SM} , N_{PM} gibi parametreleri kataloglarında vermektedir. Bu parametreler bize panelin farklı koşullarda çıkış karakteristiklerini elde etmede yardımcı olacaktır.

Tablo 4.1. Nominal ve standart test koşulları için değerler

	Nominal Çalışma Sıcaklığı (NOCT)	Standart Test Koşulları (STC)
Işınım (W/m ²)	G _{a,nn} = 800	G ₀ = 1000
Sıcaklık (°C)	T _{a,nn} = 20 (ortam)	T ₀ ^C = 25 (hücre)

Her iki koşul için tanımlanan parametreler incelendiğinde “a” ortamı, “0” standart koşulu, “n” nominal şartları temsil etmektedir. Denklem 4.16 ve 4.17 kullanılarak hücrenin standart koşullarda I_{SC} , V_{OC} ve P_{max} denklemleri elde edilir.

$$I_{SC,0}^C = \frac{I_{SC,0}^M}{N_{PM}} \quad (4.19)$$

$$V_{OC,0}^C = \frac{V_{OC,0}^M}{N_{SM}} \quad (4.20)$$

$$P_{max,0}^C = \frac{P_{max,0}^M}{N_{SM} N_{PM}} \quad (4.21)$$

Foton enerjisinin absorbe edilmesi ile üretilen akım ve gerilim ortam sıcaklığına ve ışıyım seviyesine bağlı olarak değişir. Işıyım ile değişen kısa devre akımı Denklem 4.22’deki gibi verilir [40].

$$I_{SC}^C = C_1 G_a \quad (4.22)$$

Standart koşullardaki kısa devre akımının ışıyım katsayısı C_1 Denklem 4.23 ile verilir.

$$C_1 = \frac{I_{SC,0}^C}{G_0} \quad (4.23)$$

Işıyım ve ortam sıcaklığına bağlı hücre sıcaklığı T^C , Denklem 4.24’deki gibi tanımlanır.

$$T^C = T_a + C_2 G_a \quad (4.24)$$

Normal koşullardaki hücre sıcaklığı biliniyorsa, ışıyım ile bağlı katsayı C_2 Denklem 4.25 yardımıyla hesaplanır.

$$C_2 = \frac{T_n^C - T_{a,n}}{G_{a,n}} \quad (4.25)$$

Burada $T_{a,n}$ ve $G_{a,n}$ normal koşullar altındaki ortam sıcaklığı ve ışıyım değerleridir. Hücre sıcaklığı ile açık devre gerilimi arasındaki bağıntı Denklem 4.26’da gösterilmiştir.

$$V_{OC}^C = V_{OC,0}^C + C_3(T^C - T_0^C) \quad (4.26)$$

Buradaki C_3 , açık devre geriliminin sıcaklık katsayısıdır ve genellikle üretici firmaların kataloglarında verilir [40].

Buraya kadar bir hücrenin modellenmesi için gerekli bütün denklemler elde edilmiş oldu. Hücreden yola çıkarak türetilen modül akımı Denklem 4.27’deki gibidir.

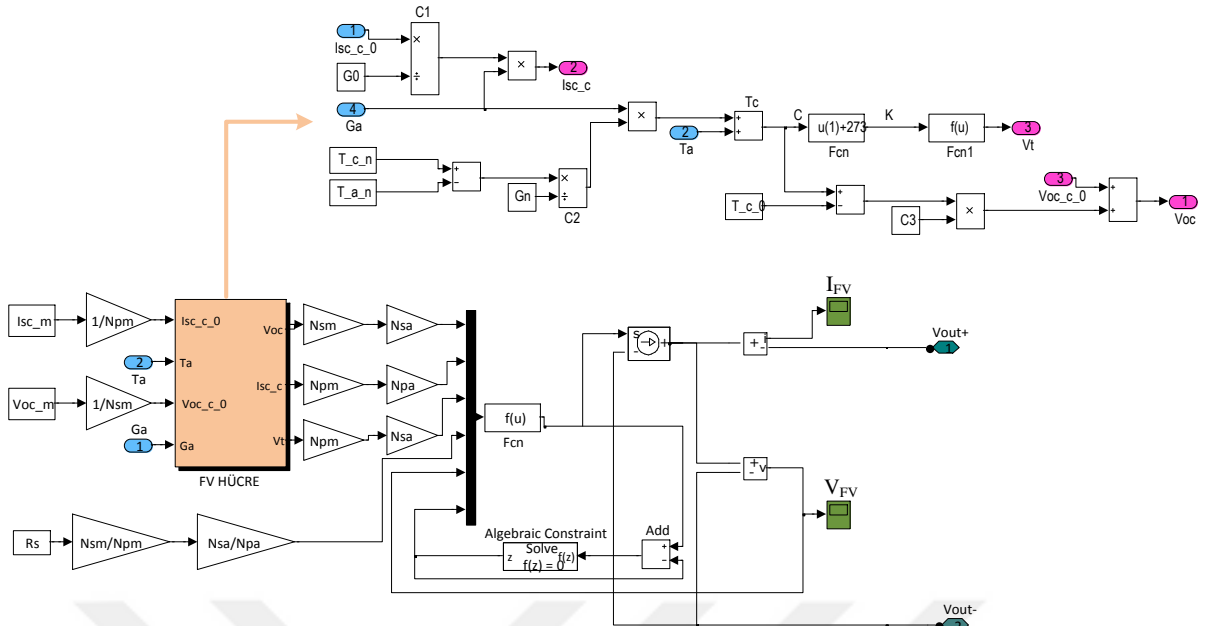
$$I_0^M = N_{PM} I_{SC}^C \left[1 - e^{\left(\frac{V_0^M - N_{SM} V_{OC}^C + \frac{N_{SM} R_S^C I_0^M}{N_{PM}}}{N_{SM} a V_T^C} \right)} \right] \quad (4.27)$$

Daha büyük güçlerde FV sistemler için modüllerin bir araya gelmesiyle oluşan dizi Denklem 4.28’deki gibi türetilir [40].

$$I_0^A = N_{PA} N_{PM} I_{SC}^C \left[1 - e^{\left(\frac{V_0^A - N_{SA} N_{SM} V_{OC}^C + \frac{N_{SA} N_{SM} R_S^C I_0^A}{N_{PA} N_{PM}}}{N_{SA} N_{SM} a V_T^C} \right)} \right] \quad (4.28)$$

Burada N_{SA} ve N_{PA} sırasıyla dizi için gerekli olan seri ve paralel modül sayılarını temsil etmektedir.

Fotovoltaik hücreye ait denklemler kullanılarak oluşturulan sistemin MATLAB/Simulink modeli Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Fotovoltaik sistemin MATLAB/Simulink ortamında tasarımı

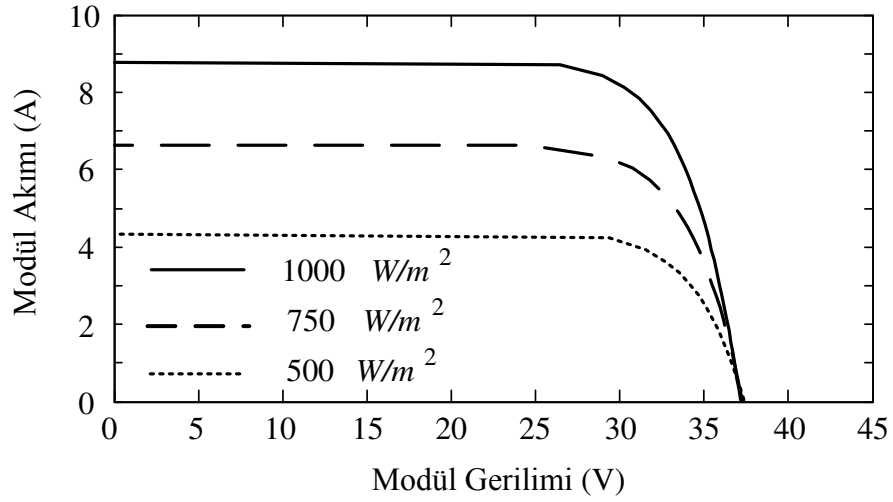
Modelde öncelikle fotovoltaik hücre modellenmiş daha sonra fotovoltaik dizi yapılarak daha büyük güçlerde çalışma olanağı sağlanmıştır. Panel çıkışından elde edilen akım (I_{FV}) ve gerilim (V_{FV}) değerlerine göre çizdirilen I-V eğrisi ile kullanılan panelin karakteristik eğrileri kıyaslanmış ve doğruluğu ispatlanmıştır.

Tasarlanan sistem için kullanılan YL250P-29b paneline ait katalog değerleri Tablo 4.2’de verilmektedir.

Tablo 4.2. YL250P-29b panelinin STC değerleri [41]

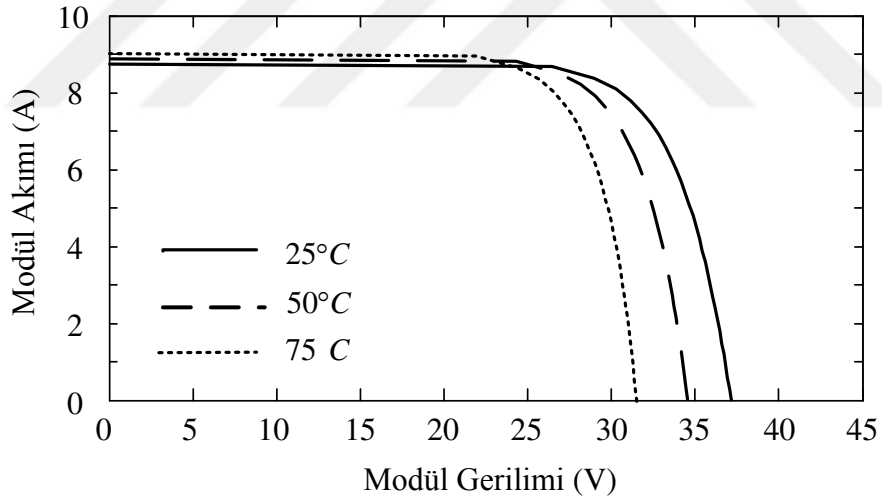
Standart Test Koşulları (STC)	
Maksimum güç - P_{mpp} (W)	250
Açık devre gerilimi - V_{OC} (V)	37.6
Kısa devre akımı - I_{SC} (A)	8.92
Maksimum güç gerilimi - V_{mpp} (V)	29.8
Maksimum güç akımı - I_{mpp} (A)	8.39

Panele ait değerler tasarlanan sisteme uygulandığında farklı sıcaklık ve ışınlam değerleri için beklenen sonuçlar elde edilmiştir. 1000 W/m^2 ışınlam ve 25°C ’de panelin V_{OC} ve I_{SC} katalog değerlerinde eksenleri kestiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3. MATLAB/Simulink ile modellenen panelin farklı ışınlımlardaki I-V eğrisi

Şekil 4.3 farklı ışınlım değerleri altında panelin I-V eğrisini vermektedir. Görüldüğü gibi ışınlım değeri arttıkça panelin çıkış akımı da artarken geriliminde ciddi bir değişim görülmemektedir.

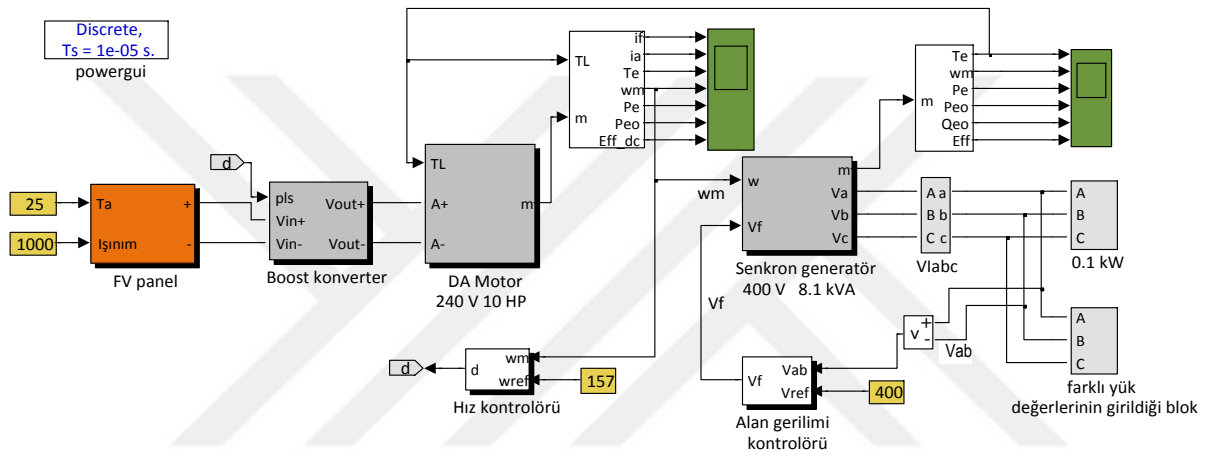


Şekil 4.4. MATLAB/Simulink ile modellenen panelin farklı sıcaklıklardaki I-V eğrisi

Şekil 4.4'te yine standart test koşullarında ışınlım değeri değiştirilmeden sıcaklık değerinin artmasının panelin çıkış geriliminde düşüşe neden olduğu görülmektedir.

4.2. Senkron Generatörlü Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Modellenmesi

Tezde önerilen sistemin MATLAB/Simulink modeli Şekil 4.5'te verilmiştir. Sistemde FV panelin gücü 9 kW olarak belirlenmiştir. Bunun için 250 W'lık panelden 2 tane seri 18 tane paralel panel bağlanmıştır. Panel çıkışından elde edilen 75 V'luk gerilim; DA motoru tahrik edebilmesi için yükseltici tip DA-DA konverterin giriş uçlarına uygulanmaktadır. Bu 75 V'luk gerilim Şekil 2.9'da modeli verilen konverter ile 205 V'a yükseltilmiştir. DA motoru bu gerilim ile sürülmüş ve 1500 dev/dak'lık tahrik hızı elde edilmiştir. Anahtarlama frekansı 5 kHz seçilmiştir.



Şekil 4.5. MATLAB/Simulink ile modellenen sistemin görseli

Yükseltici konverterin gerilim denkleminde (Denklem 2.19d);

$$205 = \frac{75}{1-d} \quad (4.29)$$

görev periyodu olan $d = 0,635$ olarak bulunmuştur. Bu durumda yük akımı Denklem 4.30 ile hesaplanır.

$$I_o = \frac{P}{V_o} = \frac{9000}{205} = 43,90 \text{ A} \quad (4.30)$$

Giriş akımı da Denklem 4.31 ile bulunur.

$$I_i = \frac{P}{V_i} = \frac{9000}{75} = 120 \text{ A} \quad (4.31)$$

Konverterin indüktans değerini hesaplamak için ortalama akım hesaplanır ve indüktans akımı giriş akımına eşit kabul edilir ($I_L = I_i$). İndüktans akımındaki dalgalanma %20 olarak belirlenirse;

$$\Delta I = 120 \cdot \frac{20}{100} = 24 \text{ A} \quad (4.32)$$

Anahtar kapalı iken;

$$V_L = V_i = L \frac{di}{dt} = L \frac{\Delta I}{dT} \quad (4.33)$$

$$L = \frac{dTV_L}{\Delta I} = \frac{0,635 \cdot \frac{1}{5 \cdot 10^3} \cdot 75}{24} \quad (4.33a)$$

$L \geq 198,4 \mu H$ olmalıdır.

İndüktans üzerinden akan maksimum akım Denklem 4.34'teki gibi hesaplanır.

$$I_{L_{\max}} = I_L + \frac{\Delta I}{2} = 120 + 120 \cdot \frac{20}{100} = 144 \text{ A} \quad (4.34)$$

Kondansatör seçimi için çıkış akımındaki dalgalanma %5 kabul edilirse Denklem 4.35 ile ifade edilir.

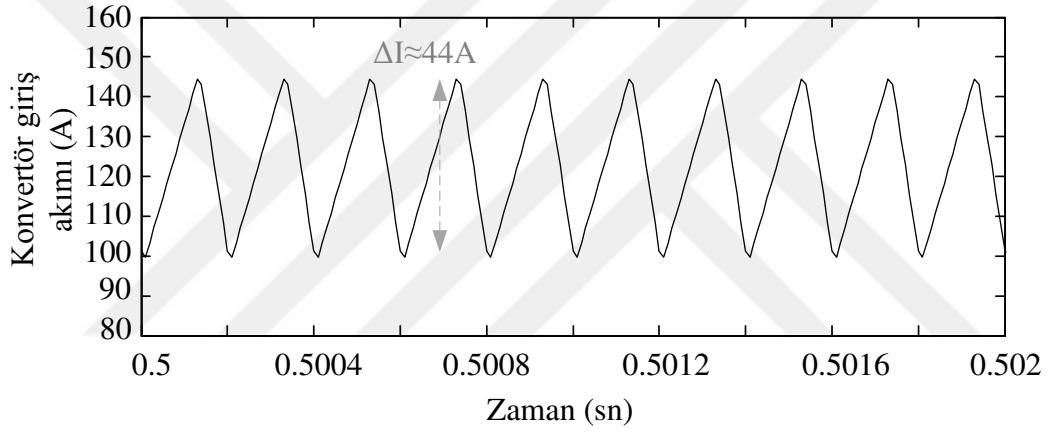
$$\Delta V_C = 205 \cdot \frac{5}{100} \cdot 2 = 20,5 \quad (4.35)$$

Anahtar kapalı iken diyot kesimdedir ve kondansatör üzerinden I_o akımı akar ($I_C = I_o$).

$$C = \frac{dT \cdot I_o}{\Delta V_C} = \frac{0,635 \cdot \frac{1}{5 \cdot 10^3} \cdot 4,5}{20,5} \quad (4.36)$$

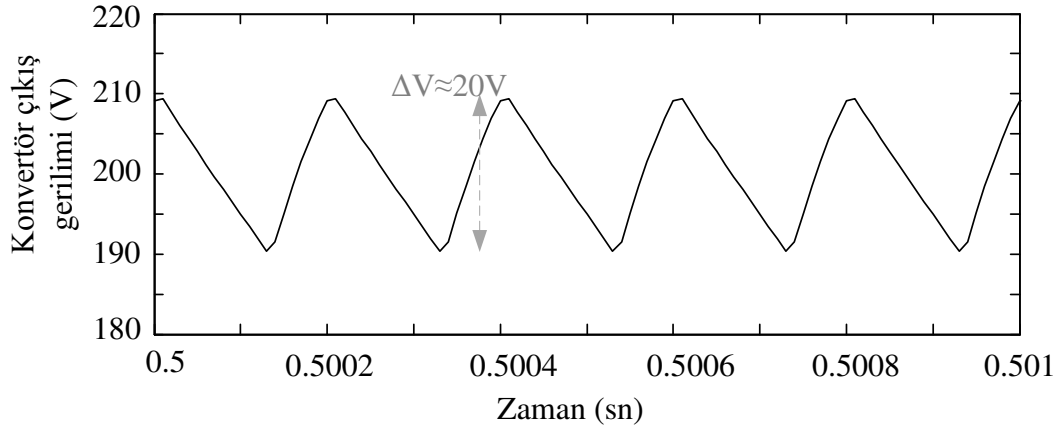
$C \geq 270,81 \mu F$ olmalıdır.

Tasarlanan yükseltici konverterin giriş akımındaki değişim Şekil 4.6’da verilmiştir. Yapılan hesaplamalardan görüldüğü gibi giriş akımındaki dalgalanma (ΔI) hesaplamalarla örtüşmektedir.



Şekil 4.6. Yükseltici konverterin giriş akımındaki dalgalanma

Şekil 4.7 yükseltici konverterin çıkışındaki gerilim dalgalanmasının yaklaşık 20 V olduğu görülmektedir. Bu değer Denklem 4.35’te bulunan değer ile uyum içerisindedir. Şekil incelendiğinde çıkış geriliminin ortalama olarak, DA motora uygulacak olan 200 V’a ulaştığı görülür. Konverterin çok kısa sürelerle yaptığı bu salınım değerleri tasarlanan konverterin iyi bir çalışma aralığında olduğunu kanıtlamaktadır. Akım değerinin sıfıra düşmemesi konverterimizin sürekli iletim modunda (CCM) çalıştığını göstermektedir.



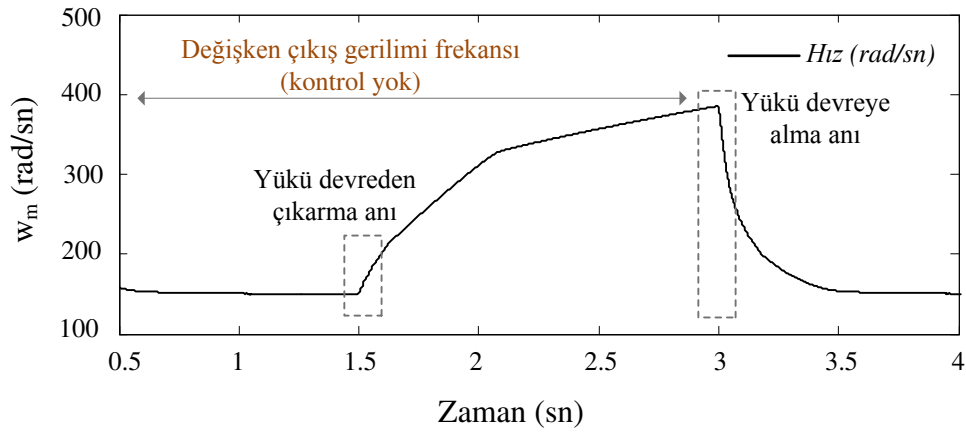
Şekil 4.7. Yükseltici konverterin çıkış gerilimindeki dalgalanma

Konverter çıkışından elde edilen doğru gerilim ile DA motorunun hızı ayarlanmaktadır. Şekil 4.5'te verilen sistemde DA motorunun hızı ayarlanarak aslında senkron generatörden elde edilen gerilimin frekansı belirlenmektedir.

Bir senkron generatörde elde edilen uç geriliminin büyüklüğü, yük durumundan bağımsız olarak sabit genlikte ve istenilen frekansta olmalıdır. Bir senkron generatörde uç geriliminin büyüklüğü ve frekansı; rotorun dönme hızına ve rotordaki akıya (rotora verilen DA alan gerilimine) bağlıdır. Tasarlanan sistemde senkron generatörün rotor dönme hızı $\omega_m = 157 \text{ rad/sn}$ olarak ayarlanmıştır. Sistemde oluşacak herhangi bir yük değişimi durumunda hız regülasyonunu sağlamak için DA motorunun gerilimi yükseltici konverter ve PI-Hız kontrolör ile ayarlanmıştır. Generatörün omik indüktif yüklenmesi durumunda oluşan uç gerilim düşümünü kompanze etmek için alan akımı kontrol edilmiştir.

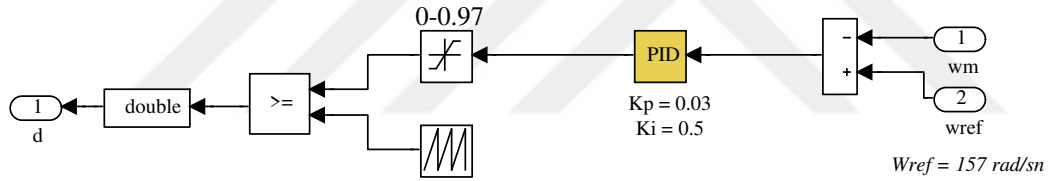
4.3. Kontrolsüz Durum için Simülasyon Sonuçları

Senkron generatörün güç değeri 8 kVA olarak belirlenmiştir. Sistemin dinamik davranışını gözlemlemek için 1.5 sn aralıklarla yük devreye alınıp daha sonra devreden çıkarılarak sonuçlar gözlemlenmiştir. Kontrolsüz durum için sistem boştaki 0.1 kW'lık bir yük, sonrasında ise 4 kVA'lık omik indüktif bir yük ile yüklenmiştir. Yüklenme sonucunda elde edilen kontrolsüz sistem performansları Şekil 4.8 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



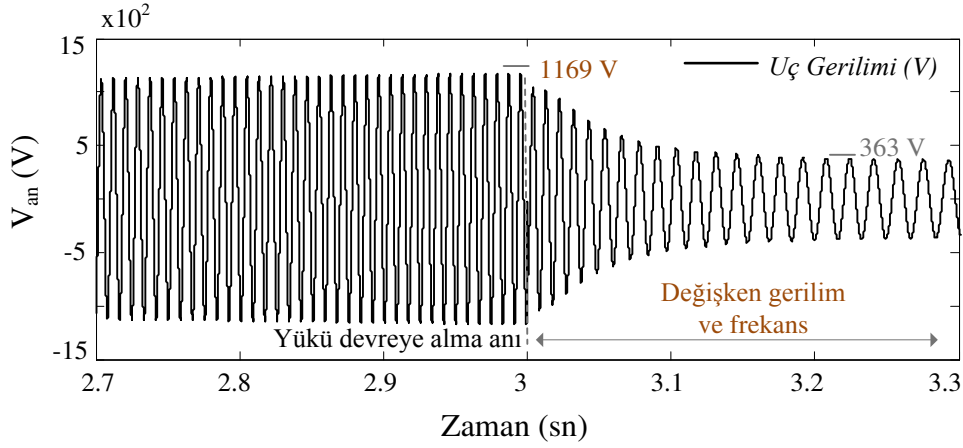
Şekil 4.8. Kontrolsüz iken yüklenme durumunda senkron generatörün hız değişimi

Şekil 4.8’de yükün değişim durumlarına göre hızda (ω_m) meydana gelen değişiklikler görülmektedir. Hız kontrolü olmadığından yük devreden çıktıktan sonra ve devreye alındıktan sonra sistemin herhangi bir şekilde kararlı duruma geçemediği gözlemlenmiştir. Bu yüzden temel bir PI-Hız kontrolör tasarlanarak hız kontrolü sağlanmıştır.



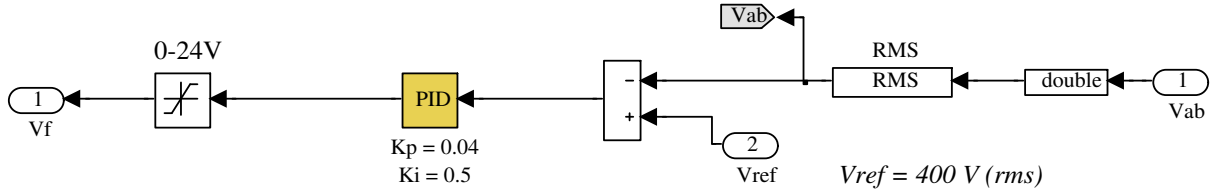
Şekil 4.9. MATLAB/Simulink’te modellenen PI hız kontrol bloğu

Hız kontrol bloğunda gerçek rotor hızı ile referans rotor hızı ($\omega_m = 157 \text{ rad/sn} \Rightarrow 50 \text{ Hz}$ ’lik senkron generatör uç gerilimi) karşılaştırılarak, aradaki fark PI giriş kontrolör değeri olarak belirlenmiştir. Tasarlanan kontrolörün yapısı Şekil 4.9’da görülmektedir. Kontrolörde kullanılan oran katsayısı $K_p = 0.03$ ve integral katsayısı $K_i = 0.5$ olarak belirlenmiştir. Bu katsayı parametreleri belirlenirken konverterin yük değişimine karşı oldukça hızlı cevap verebilmesi durumu göz önüne alınmıştır.



Şekil 4.10. Kontrolsüz iken yüklenme durumunda senkron generatörün uç gerilimi

Şekil 4.10 ise senkron generatörün alan sargısına (rotora) verilen DA gerilimin uç gerilimi kontrolü yok iken değerleri görülmektedir. Yine 3. sn’de yük devreye alındığı anda gerilimin genliğinin ve frekansının hızlı bir şekilde düştüğü görülmektedir. Sistemde hız kontrolü olsa bile çıkışta sabit frekansta ve genlikte bir gerilim elde edilememiştir. Çünkü sistemin hızı kontrol edilse bile, alan sargısına uygulanan DA gerilim sabit olursa generatörün yüklenmesine bağlı olarak çıkış uç geriliminde değişme olacaktır. Sistemin yük durumundan bağımsız olarak sabit çıkış gerilimi verebilmesi için gerilim kontrolüne de ihtiyaç vardır.



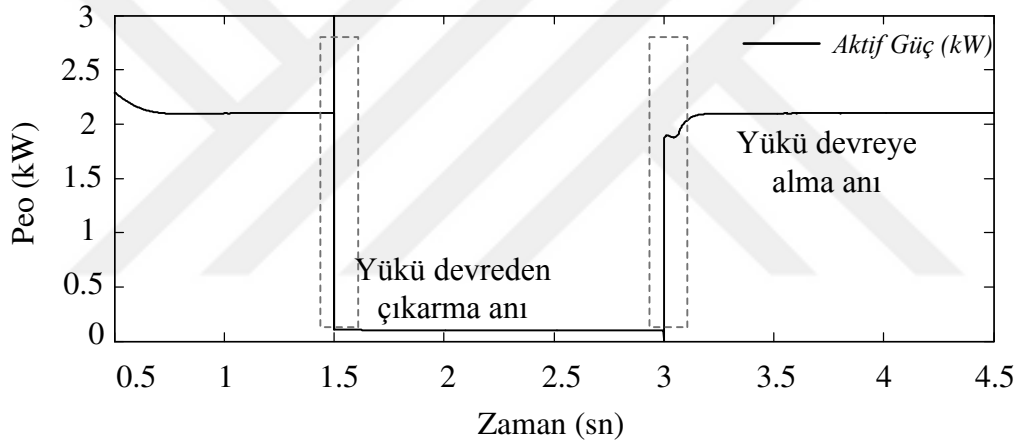
Şekil 4.11. MATLAB/Simulink’te modellenen PI gerilim kontrol bloğu

Senkron generatörün omik-indüktif bir yük ile yüklenmesi durumunda meydana gelecek bu gerilim düşümünü anlık olarak kompanze etmek gerekmektedir. Bu gerilim düşümünü kompanze etmek ve gerilim regülasyonu amacıyla uyarma gerilimini kontrol etmek için Şekil 4.11’de görüldüğü gibi klasik bir PI-Gerilim kontrolör tasarlanmıştır. Senkron generatörün çıkış uç geriliminin etkin değeri hesaplandıktan sonra referans gerilim olan 400 V ile karşılaştırılmaktadır. Daha sonra parametreleri $K_p = 0.04$ ve $K_i = 0.5$ olan kontrolörden geçirilmektedir. Kontrolör çıkışında gerilimde ani sıçrama olmasını engellemek için [0-24 V] arası bir sınırama yapılmıştır.

4.4. Alan Gerilimi ve Hız Kontrolü Durumunda Simülasyon Sonuçları

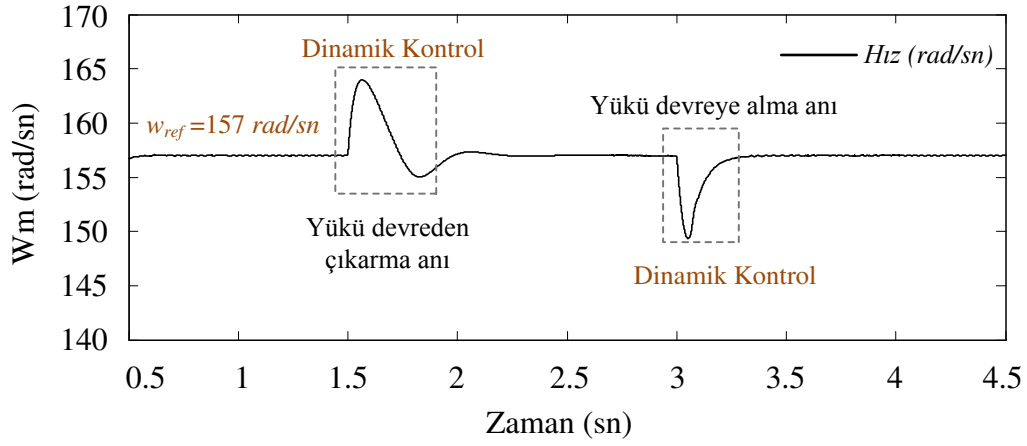
Tasarlanan sistemde alan gerilimi ve hız kontrolü sağlandıktan sonra sistemde farklı yüklerin sonuçları gözlemlenmiştir. Bunun için omik ve omik-indüktif yük durumları dikkate alınmıştır. Kontrolsüz durumla kıyaslama yapmak için aynı şekilde ilk 1.5 sn yük devredeyken; 1.5 sn ile 3 sn arasında yük devreden çıkarılarak sonuçlar alınmıştır.

İlk olarak sistemin davranışlarını gözlemlemek için Şekil 4.12'deki gibi 2 kW omik yük durumu ele alınmıştır. Şekil 4.12'de senkron generatörün çıkışta verdiği elektriksel gücün 2 kW olduğu görülmektedir.



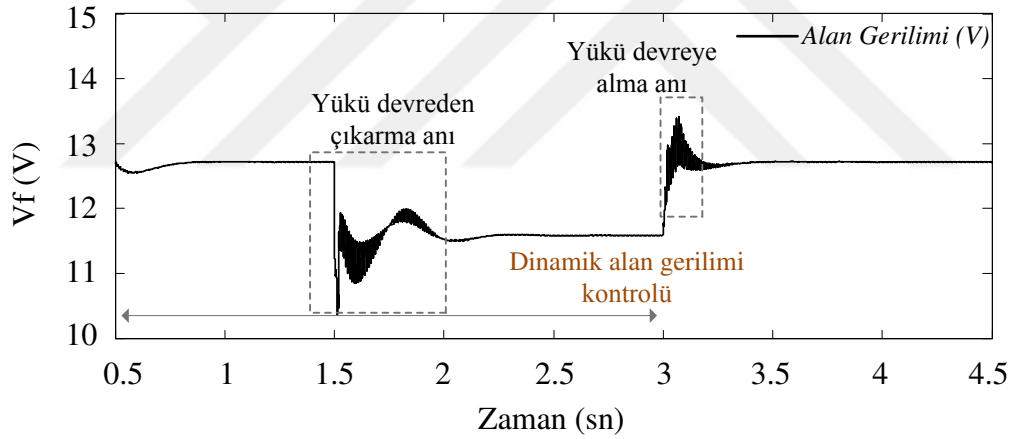
Şekil 4.12. 2 kW omik yük ile yüklenme durumu

Şekil 4.13'te ilk 1.5 sn yük devredeyken dinamik frekans kontrolü olduğundan rotor hızının kısa zaman aralığında (<0.5 sn) referans hız değerine ($\omega_m=157$ rad/sn) ulaştığı gözlemlenmiştir. Beklendiği gibi yük devreden çıkarıldığında senkron generatörün hızı kısa bir süre artmış daha sonra yine sabit hızda dönmeye devam etmiştir.



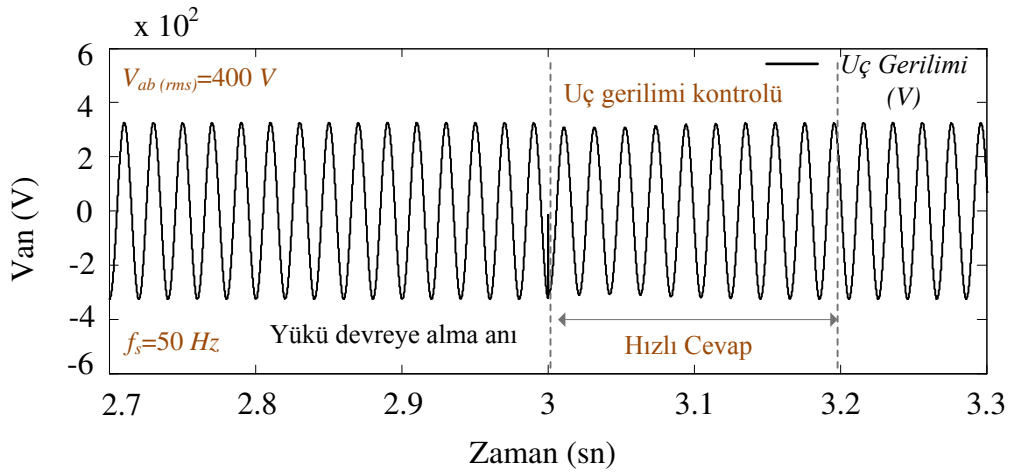
Şekil 4.13. 2 kW omik yük durumunda hızdaki değişim

Şekil 4.14’te aynı yük durumu için senkron generatörün alan sargısına uygulanan gerilimin değişimi görülmektedir. Sistemin yük durumundan bağımsız olarak sabit çıkış gerilimi verebilmesi için anlık olarak gerilim kontrolü sağlanmıştır



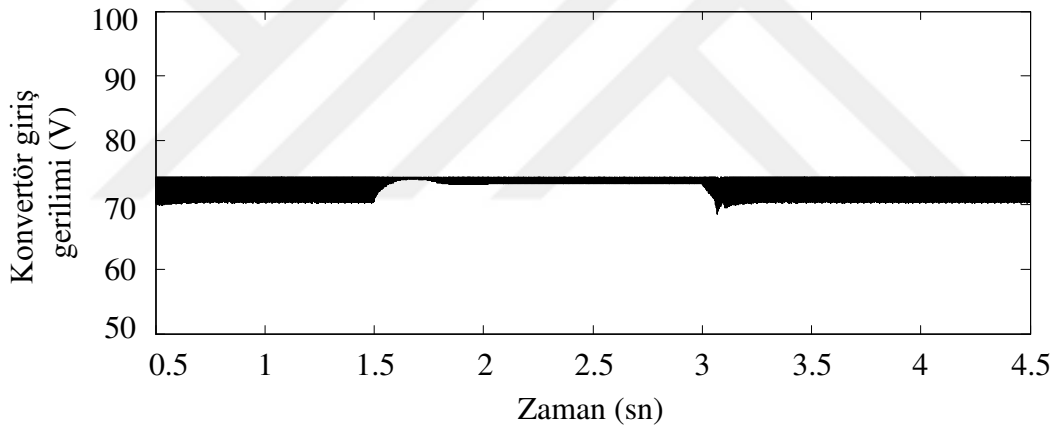
Şekil 4.14. 2 kW omik yük durumunda senkron generatörün uyarma gerilimi

Şekil 4.15’te sistemde kontrolörler devrede olduğundan 2 kW’lık yük devreye alındığında 0.2 sn kadar kısa bir sürede çıkış geriliminin ve frekansının istenilen değerde sabit olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum bize tasarlanan kontrolörlerin dinamik performansının kabul edilebilir bir düzeyde olduğunu göstermiştir.



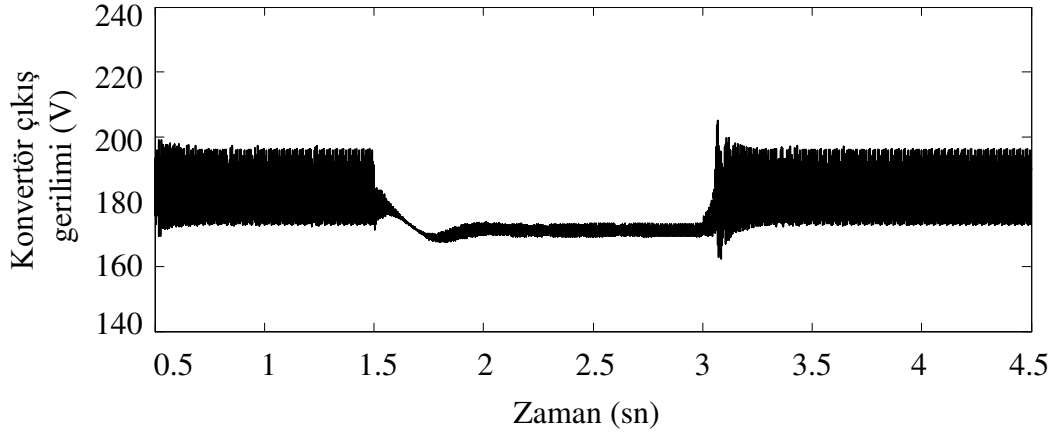
Şekil 4.15. 2 kW omik yük durumunda senkron generatörün uç gerilimi

Tasarlanan konverterin girişine uygulanan gerilim Şekil 4.16’da görüldüğü gibi 75 V olarak belirlenmiştir. Bu değer 9 kW olarak tasarlanan fotovoltaik panelin çıkış gerilimine eşittir.



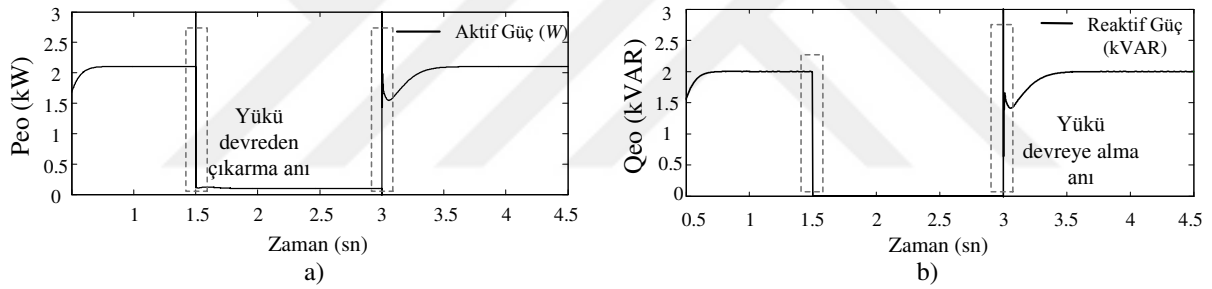
Şekil 4.16. Yükseltici konverterin giriş gerilimi (panelin çıkış gerilimi)

Şekil 4.17’de konverterin çıkış gerilimini $d = 0,665$ çalışma periyodunda istenildiği gibi DA motora uygulanması gereken 200 V’a yakın bir değerde olduğu görülmektedir.



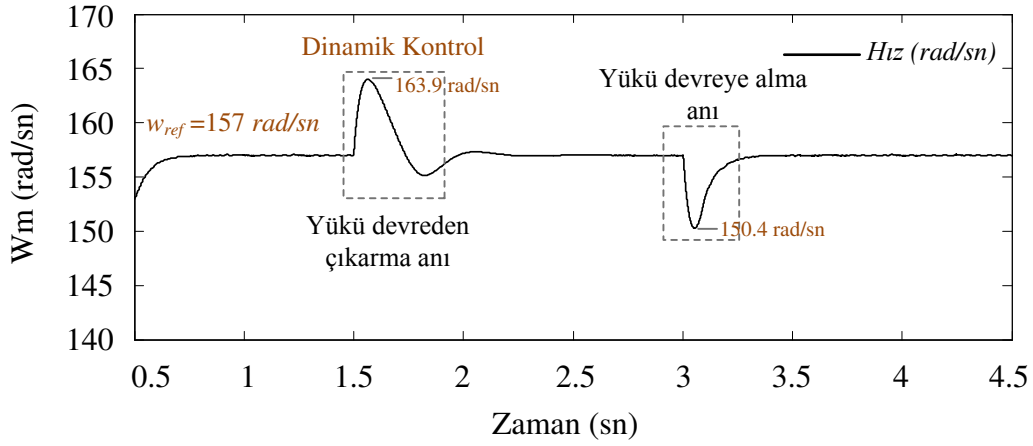
Şekil 4.17. Yükseltici konverterin çıkış gerilimi (DA motoruna uygulanan gerilim)

Sistemin gerçek yüklerle davranışını daha iyi gözlemlemek ve şebeke durumuna benzer bir çalışma sağlamak için omik-indüktif yük çalışmaları da yapılmıştır. Bunun için öncelikle Şekil 4.18'deki gibi 2 kW omik ve 2 kVAr indüktif yük ile yüklenmiştir.



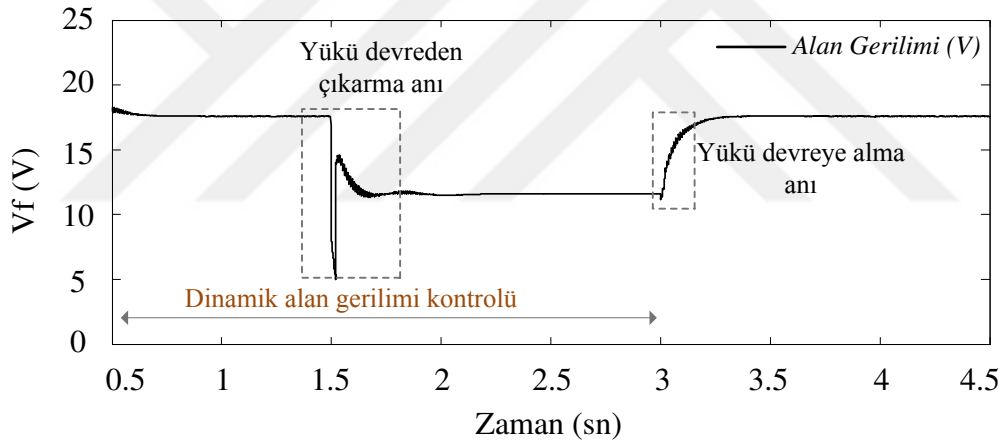
Şekil 4.18. a) 2 kW yük ile yüklenme durumu b) 2 kVAr indüktif yük ile yüklenme durumu

Şekil 4.19'da 2 kW + 2 kVAr yük durumunda dönme hızı görülmektedir. Sistem daha önce bahsedildiği gibi kontrolörler ile 1500 dev/dak'daki dönme hızını yakalamıştır. Bu da tasarlanan kontrolörlerin omik indüktif yük durumuna da cevap verdiğini göstermektedir. 0-1.5 sn arası omik-indüktif yük devredeyken de dinamik frekans kontrolü sayesinde rotor hızı yine kısa zaman aralığında (<0.5 sn) referans hız bilgisine ($\omega_m=157$ rad/sn) ulaşmıştır.



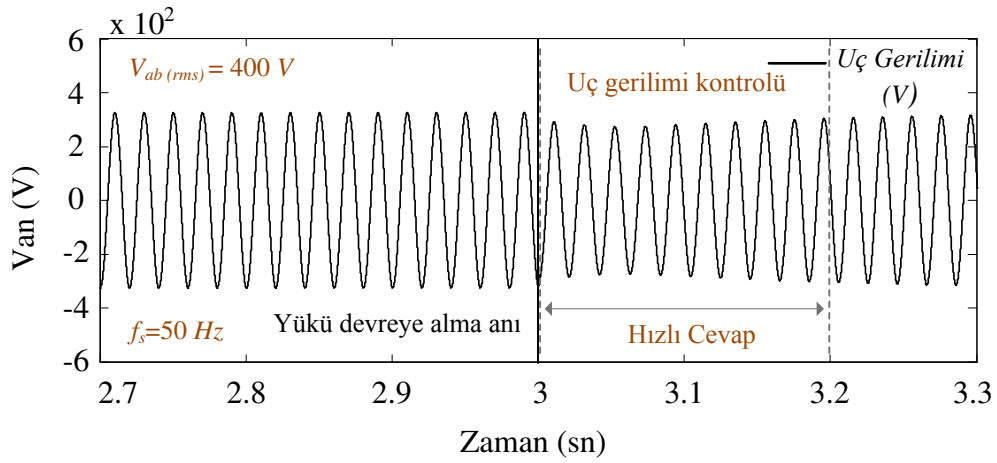
Şekil 4.19. 2 kW + 2 kVAr yük durumunda hızdaki değişim

Şekil 4.20’de senkron generatörün indüktif yük durumunda uyarma geriliminin değişimini göstermektedir.



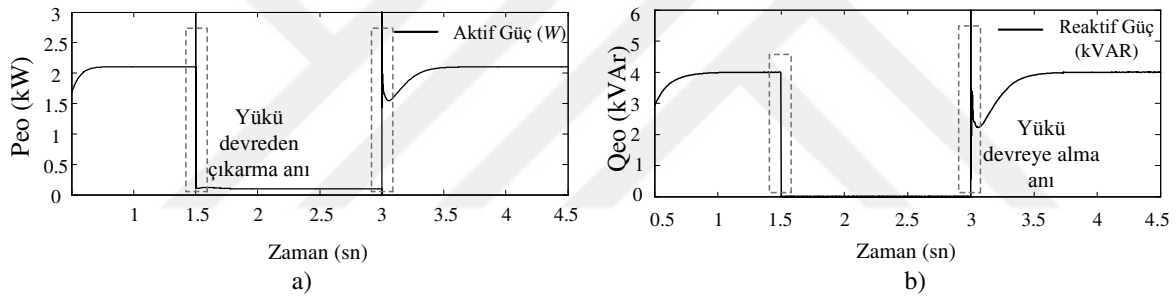
Şekil 4.20. 2 kW + 2 kVAr yük durumunda senkron generatörün uyarma gerilimi

Şekil 4.21’de sistemde kontrolörler devredeyken 2 kW + 2 kVAr’lık yük devreye alındığında 0.2 sn kadar kısa bir sürede çıkış gerilimin ve frekansının istenilen değerde sabit olduğu görülmektedir. Senkron generatörün yük durumları incelendiğinde indüktif yük durumundaki gerilim düşümünün, omik yük durumuna göre daha fazla olması beklenen bir durumdur.



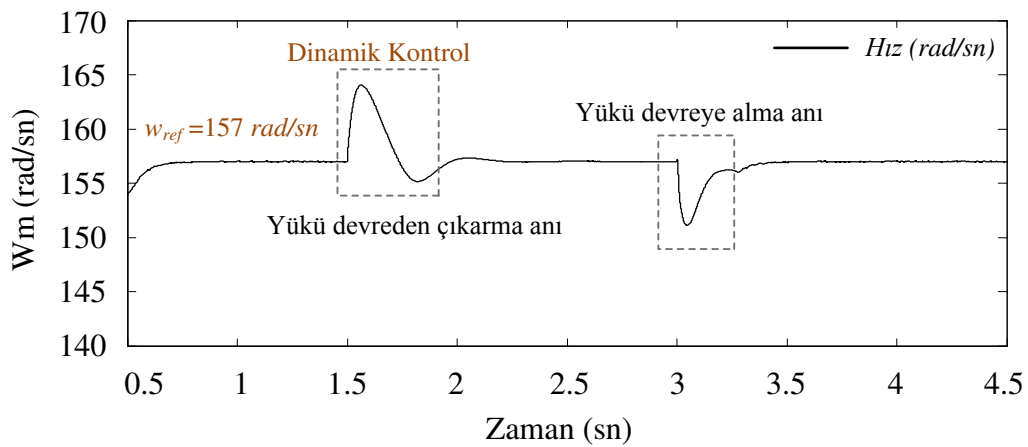
Şekil 4.21. 2 kW + 2 kVAr yük durumunda senkron generatörün uç gerilimi

Sistemin daha büyük bir indüktif yükteki davranışını incelemek için Şekil 4.22'deki gibi 2 kW + 4 kVAr'lık bir yükle çalıştırılarak sistemdeki değişimler gözlemlenmiştir.



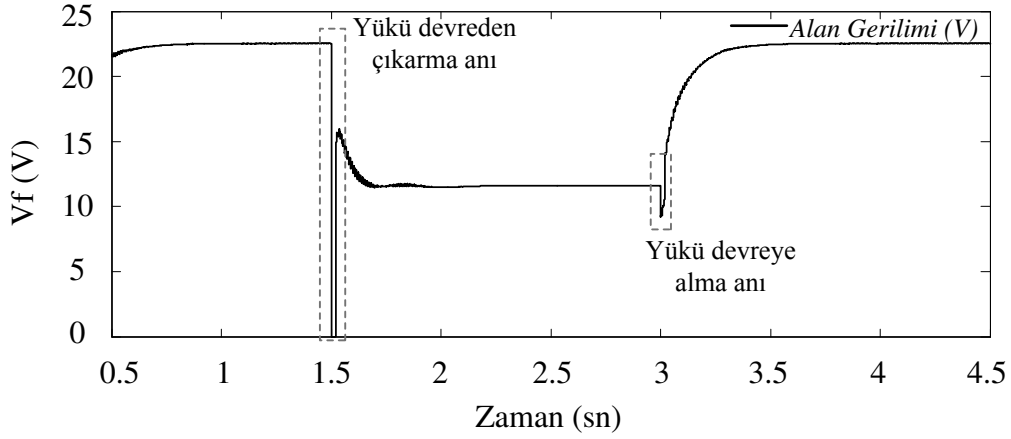
Şekil 4.22. a) 2 kW yük ile yüklenme durumu b) 4 kVAr indüktif yük ile yüklenme durumu

Şekil 4.23 omik indüktif yük durumunda hızdaki değişimi vermektedir.



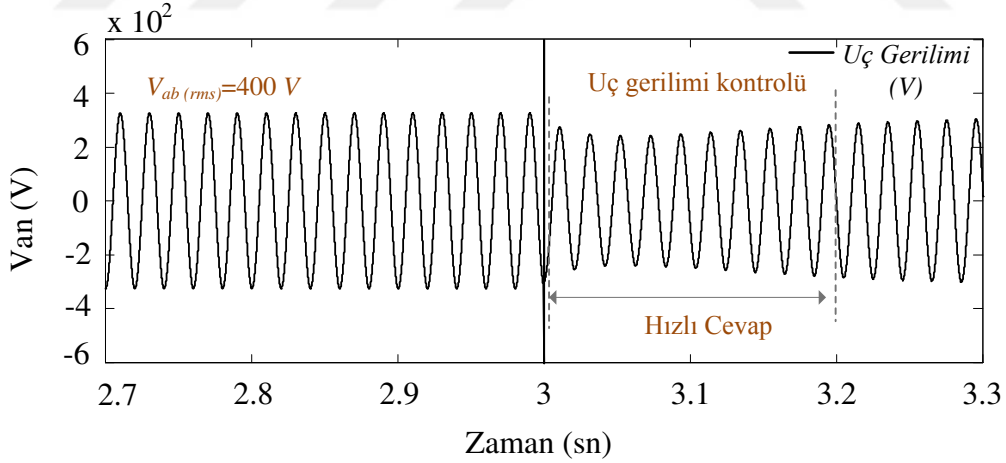
Şekil 4.23. 2 kW + 4 kVAr yük durumunda hızdaki değişimi

Şekil 4.24 omik-indüktif yük değerinin artması durumundaki alan gerilimini vermektedir.



Şekil 4.24. 2 kW + 4 kVAr yük durumunda senkron generatörün uyarma gerilimi

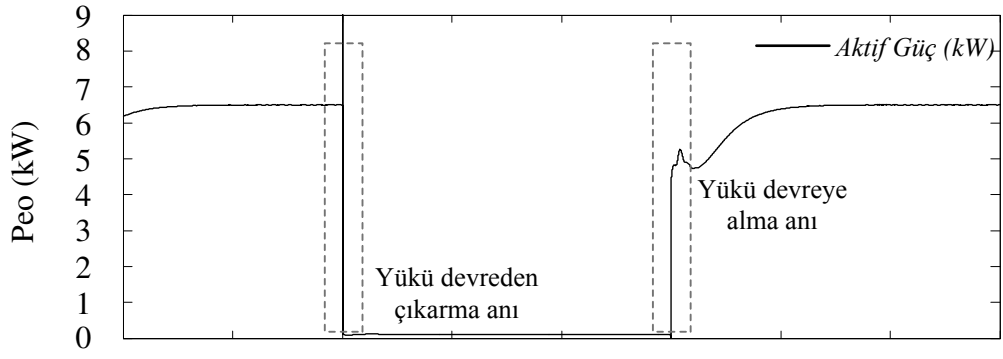
Şekil 4.25'te sistemin 3. sn'den itibaren omik-indüktif yükün artmasıyla senkron generatörün uç gerilimindeki düşmenin daha belirgin olduğu gözlemlenmektedir. Ancak kontrolör devrede olduğundan yaklaşık 0.2 sn sonra uç geriliminin kendini toparlaması bu yük durumunda da kontrolörlerin kabul edilebilir bir seviyede olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.25. 2 kW + 4 kVAr yük durumunda senkron generatörün uç gerilimi

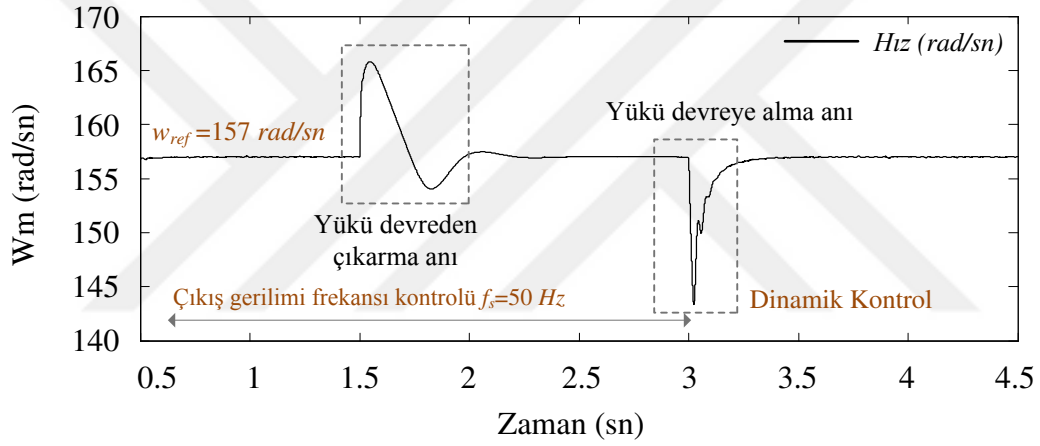
Fotovoltaik panel ile kurulan 8 kVA'lık senkron generatörün çıkış aktif gücü $\cos \varphi = 0,8$ güç faktörüne göre Denklem 4.1'deki gibi hesaplanır. Bu durumda sistemin tam yük değeri 6,4 kW olarak belirlenebilir.

$$P = S \cos \varphi = 8 \times 0,8 = 6,4 \text{ kW} \quad (4.1)$$



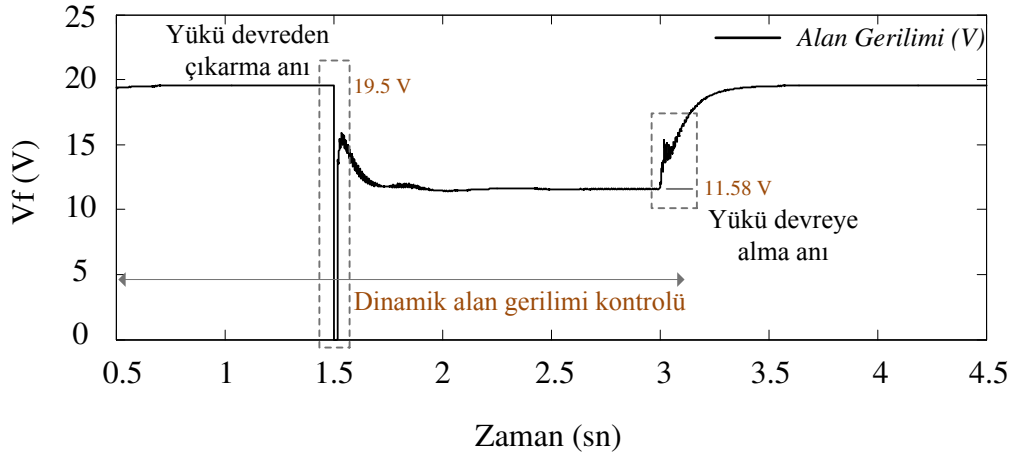
Şekil 4.26. 6,4 kW tam yük durumunda aktif gücün değişimi

Sistemin tam yükte davranışını gözlemlemek için Şekil 4.26'daki gibi 6,4 kW'lık yükle yüklenmiştir.



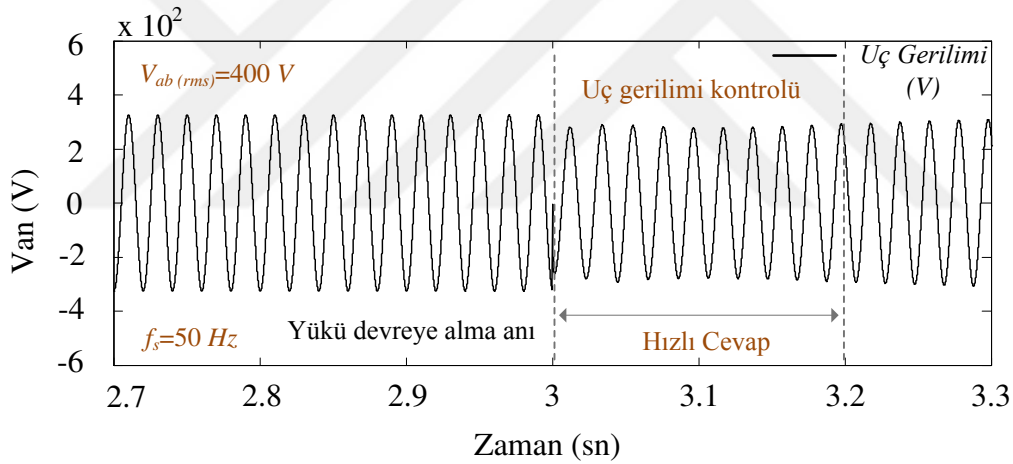
Şekil 4.27. 6,4 kW yük durumunda hızdaki değişim

Şekil 4.27 sistemin tam yük durumunda hız değişimini vermektedir. Sistemde omik yükün artmasının hızda ciddi değişim yapması sistemin doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.



Şekil 4.28. 6,4 kW yük durumunda senkron generatör uyarma gerilimi

Şekil 4.28 senkron generatörün uyarma geriliminindeki değişimi göstermektedir. Sistemde anlık olarak gerilim kontrolü sağlanmıştır.



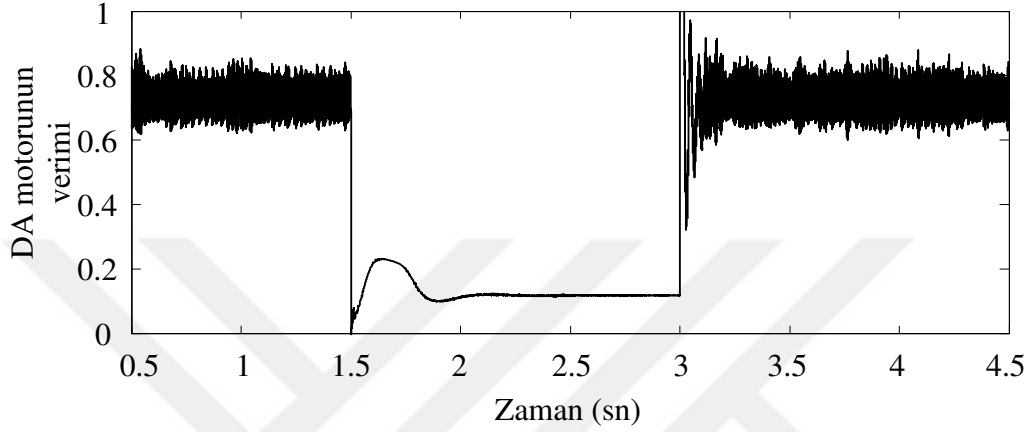
Şekil 4.29. 6,4 kW yük durumunda senkron generatörün uç gerilimi

Şekil 4.29’da görüldüğü gibi yükü arttırmamızın uç geriliminde daha belirgin bir düşmeye neden olduğu görülmektedir.

Böylece sistemin farklı yük profilleri altında grafikleri elde edilerek sistem davranışları incelenmiştir ve senkron generatörün tam yük durumunda da beklenen sonuçlar elde edilerek MATLAB/Simulink ortamında yapılan modelin doğruluğu ispatlanmıştır.

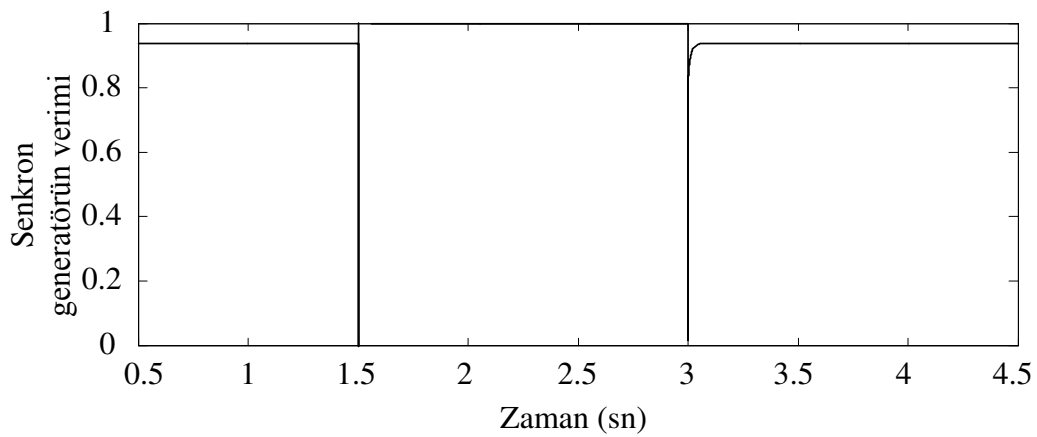
Seçilen senkron generatörün gücü 8 kVA olarak belirlenmiştir. Şebeke ile uyumlu olması amaçlandığından $\omega_m = 157 \text{ rad/sn}$ ’de döndürülmüştür. Bu sistemi besleyebilecek fotovoltaik panelin gücü yaklaşık 9 kW olarak belirlenmiştir. Modellenen sistemde uygun kontrolörler

kullanılarak dinamik yük değişimi altında sistem davranışı gözlemlenmiştir. Böylece çıkışta farklı omik ve omik-indüktif yük durumlarında sonuçlar elde edilmiştir. İndüktif yükün artması sonucunda uç geriliminin değiştiği, omik yükün artması sonucunda devir sayısında değişim gözlemlenmiştir. Sistem tam yük durumunda da incelenerek senkron generatörün ve DA motorun verimleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.30. 6,4 kW yük durumunda DA motorunun verimi

Şekil 4.30 çıkışta 6,4 kW'lık aktif güç yüklenmesi durumunda DA motorunun verimindeki değişimi göstermektedir. DA motorunun verimi beklenildiği gibi yük ile artmaktadır. Bu sistemde DA motorunun verimi yaklaşık % 78 civarındadır.



Şekil 4.31. 6,4 kW yük durumunda senkron generatörün verimi

Şekil 4.31 ise sistemin tam yük durumunda senkron generatörün verimini göstermektedir. Senkron generatörün verimi yaklaşık %94 civarındadır.

Ankara Haymana’da kurulan 1 MW’lık güneş enerjisi santrali verilerine bakıldığında Eylül ayına ilişkin elektrik kesintileri yaklaşık 60,5 saat olarak ölçülmüştür (Bknz Tablo 3.1). Şebeke bağlantılı inverterli bu santralde 2015 yılı için Eylül ayında üretilen toplam elektrik enerjisi 165,023.514 kWh olarak ölçülmüştür. Santralde Eylül ayı için elektrik kesintilerinden kaynaklanan üretim kaybı 29383,05 kWh’tır. Bir yıl içerisinde toplam 1,674,945.993 kWh elektrik enerjisi üretilmiştir. Tesiste yaşanan elektrik kesintileri sebebi ile 2015 yılı içerisinde toplam 127.104,51 kWh üretim kaybı yaşanmıştır[17]. Bu da yaklaşık olarak tesisin bir aylık üretim miktarına denk gelmektedir.

Yapılan çalışmada simülasyon hesaplarına göre senkron generatörlü sistem tam yükte çalışırken 60,5 saatlik elektrik kesintisi durumunda bir ayda yaklaşık 387,2 kWh bir enerji üretebilecektir. Böylece yılda yaklaşık 4646,4 kWh enerji tasarrufu elde edilecektir. Bu sistem 1 MW olarak uygulanabildiğinde özellikle enerji sürekliliğinin önemli olduğu fabrika gibi lokal yüklerde sistemde zorunlu olarak inverterin kapatılması durumunda oluşacak kayıplar ortadan kaldırılacaktır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Fotovoltaik sistemlerde “adalanma (islanding)” etkisi, bu sistemler için vazgeçilmez olan inverterlerin devre dışı kalmasına neden olmaktadır ve fabrika gibi tüketiciler enerjiyi şebekeye basamadıkları gibi lokal olarak kendi gereksinimleri için de kullanamamaktadırlar. Ayrıca döküm sanayi gibi sektörlerde enerjinin kesilmesi pota içerisindeki hammaddenin zayi olmasına ve dolayısıyla büyük kayıplara neden olmaktadır.

Fotovoltaik sistemlerde elektrik kesintilerinden dolayı inverterin kapanmasına bağlı olan kayıplarını yok etmek ve bu sistemlere alternatif oluşturmak amacı ile fotovoltaik panel ile beslenen senkron generatörlü bir sistem tasarlanmıştır. Senkron generatörün rotorunu döndürecek DA motorun gerilimi modellenen fotovoltaik panelden sağlanmıştır. Panelden elde edilen çıkış gerilimi tasarlanan yükseltici bir konverter ile yükseltilerek DA motoruna uygulanmıştır.

Yapılan hesaplanmalardan bu sistemin inverterli FV sistemlere alternatif olabilecek bir sistem ortaya koyabileceği görülmektedir.

İleride yapılacak olan çalışmalarda konverter ve kontrolörlerin daha iyi tasarlanması ile simülasyon sonuçları iyileştirilebilir. Ayrıca daha esnek yüklerde sistem davranışlarını gözlemleme imkanı bulunabilir.

Simülasyon ortamında tasarlanan bu çalışmanın uygulamaya koyulması sistemin performansını gözlemlemek açısından önemlidir. Enerji talebinin ve sürekliliğinin önemli bir sorun olduğu günümüzde böyle bir sistem enerji kayıplarını ciddi oranda azaltarak enerji verimliliği sağlayacaktır.

Ayrıca inverterli sistemlerde meydana gelecek olan çıkış harmonikleri, senkron generatörün çıkışında görülmeyeceği için bundan sonraki çalışmalarda sistem bu açıdan ele alınıp incelenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Ebtesam, N. A. A., Kadhom, L. M. and Al-Fahham, W. J.,** 2013. Information Technology and Stand-Alone Solar Systems in Tertiary Institutions, *Energy Procedia*, **36**, 369-379.
- [2] **Şimşek, B. ve Bizkevelci, E.,** 2015. Türkiye elektrik dağıtım şebekesinde fotovoltaik sistemlerin güç kalitesine etkisi, *IV. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi İzmir*, Türkiye, 21-24 Ekim.
- [3] **Villalva, M. G., Gazoli, J. R. and Filho, E. R.,** 2009. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays, *IEEE Transactions On Power Electronics*, **24**, 1198-1208.
- [4] **Ding, K., Bian, X., Liu, H. and Peng T.,** 2012. A MATLAB-Simulink-Based PV Module Model and Its Application Under Conditions of Nonuniform Irradiance, *IEEE Transactions On Energy Conversion*, **27**, 864-872.
- [5] **Tsai, H.L.,** 2012. Insolation-Oriented model of photovoltaic module using Matlab Simulink, *Solar Energy*, **84**, 1318-1326.
- [6] **Çelik, A. N. and Açıkgoz, N.,** 2007. Modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules using four and five parameter models, *Applied Energy*, **84**, 1-15.
- [7] **Soto, W. D., Klein, S. A. and Beckman W. A.,** 2006. Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance, *Solar Energy*, **80**, 78-88.
- [8] **Lo Brano, V., Orioli, A. and Ciulla, G.,** 2012. On the experimental validation of an improved five-parameter model for silicon photovoltaic modules, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **105**, 27-39.
- [9] **Ishaque, K., Salam, Z. and Taheri, H.,** 2010. Simple, fast and accurate two-diode model for photovoltaic modules, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **95**, 586-594.
- [10] **Chatterjee, A., Keyhani, A. and Kapoor, D.,** 2011. Identification of Photovoltaic Source Models, *IEEE Transactions On Energy Conversion*, **26**, 883-889.
- [11] **Bellini, A., Bifaretti, S., Iacovone, V. and Cornaro C.,** 2009. Simplified Model of A Photovoltaic Module, *Applied Electronics*, Rome, 9-10 September, 47-51.
- [12] **Özerdem, O., C., Tackie, S., Biricik, S.,** 2015. Performance evaluation of Serhatkoy (1.2 MW) PV power plant, *2015 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, Bursa, 26-28 November, 398-402.
- [13] **Kumar, B., S., Sudhakar, K.,** 2015. Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India, *Energy Reports*, **1**, 184-192.
- [14] **Goura, R.,** 2015. Analyzing the on-field performance of a 1-megawatt-grid-tied PV system in South India, *International Journal of Sustainable Energy*, **34(1)**, 1-9.
- [15] **Padmavathi, K., Daniel, S., A.,** 2013. Performance analysis of a 3 MWp grid connected solar photovoltaic power plant in India, *Energy for Sustainable Development*, **17**, 615-625.

- [16] **Yılmaz, Ş., Özçalık, H., R.,** 2015. Performance analysis of a 500-kWp grid-connected solar photovoltaic power plant in Kahramanmaraş, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, **23**, 1946-1957.
- [17] **Akar, A.,** 2016. Bir Güneş Enerji Santralinin Kurulumu ve Performansının Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [18] **Madeti, S., R., Singh, S., N.,** 2017. Monitoring system for photovoltaic plants: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **67**, 1180-1207.
- [19] **Obi, M., Bass, R.,** 2016. Trends and challenges of grid-connected photovoltaic systems – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **58**, 1082-1094.
- [20] **Chapman, S., J.,** 2001, Electric Machinery and Power System fundamentals 1st ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill.
- [21] **El-Hawary, M.,** 2002. Principles of Electric Machines with Power Electronic Applications, Wiley-IEEE Press.
- [22] **Karady, G., Holbert, K.,** 2005. Electrical Energy Conversion and Transport: An Interactive Computer-Based Approach, Wiley-IEEE Press.
- [23] **Krause, P., Wasynczuk, O., Pekarek, S.,** 2012. Electromechanical Motion Devices, Wiley-IEEE Press.
- [24] **Beloiu, R.,** 2014. Dynamic determination of DC motor parameters - Simulation and testing, Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2014 6th International Conference on, Bucharest Romania, 23-25 October, 13-18.
- [25] **Mohan, N., Undeland. T., M., Robbins, W., P.,** 1989. Power Electronics-Converters, Applications and Design, New York: Wiley, 1989.
- [26] **Elison, C.,** 2005. Designing a Boost-Switching Regulator with the MCP1650, Microchip Technology Inc.
- [27] **Rashid, M., H.,** 2004, Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications, 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- [28] **Teel, J., C.,** 2005, Understanding power supply ripple rejection in linear regulators, 2Q Analog Applications Journal Power Management, Texas Instruments Incorporated.
- [29] **Kazimierczuk, M., K., Starman, L., A.,** 1999, Dynamic Performance of PWM DC-DC Boost Converter with Input Voltage Feedforward Control, IEEE Transactions On Circuits And Systems: Fundamental Theory And Applications, **46(12)**, 1473-1481.
- [30] **Hauke, B.,** 2014. Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage, Texas Instruments, Application Report, SLVA372C.
- [31] **Özden, S., Y.,** 2009. Dünya’da ve Türkiye’de güneş enerjisi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, DEK-TMK-0011/2009, 1-2.
- [32] **Das, N., Wongsodihardjo, H., Islam, S.,** 2015. Modeling of multi-junction photovoltaic cell using MATLAB/Simulink to improve the conversion efficiency, *Renewable Energy*, **74**, 917-924.

- [33] **Rodrigo, P., Fernandez, F., E., Almonacid, F., Perez-Higueras, P., J.,** 2013. A simple accurate model for the calculation of shading power losses in photovoltaic generators, *Solar Energy*, **93**, 322-333.
- [34] **Malamaki, K-N., Demoulias C., S.,** 2014, Analytical Calculation of the Electrical Energy, *IEEE Transactions On Sustainable Energy*, **5(4)**, 1080-1089.
- [35] **Rodrigo, P., M., Velazquez, R., Fernandez, F., E.,** 2016. DC/AC conversion efficiency of grid-connected photovoltaic inverters in central Mexico, *Solar Energy*, **139**, 650-665.
- [36] **De la Parra, I., Marcos, J., Garcia, M., Marroyo, L.,** 2016. Improvement of a control strategy for PV power ramp-rate limitation using the inverters: Reduction of the associated energy losses, *Solar Energy*, **127**, 262-268.
- [37] **Bakhshi, R., Sadeh, J.,** 2016. Voltage positive feedback based active method for islanding detection of photovoltaic system with string inverter using sliding mode controller, *Solar Energy*, **137**, 564-577.
- [38] **Chin, V., J., Salam, Z., Ishaque, K.,** 2015. Cell modelling and model parameters estimation techniques for photovoltaic simulator application: A review, *Applied Energy*, **154**, 500-519.
- [39] **Jordehi, A., R.,** 2016. Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **61**, 354-371.
- [40] **Khaligh, A., Dusmez, S.,** 2013. Solar Energy Harvesting: Power Electronics Interfaces and Control, Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, 1-40.
- [41] <http://www.yinglisolar.com/tr/>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

İsim Soyisim : Canan ALADAĞ
Doğum Tarihi : 27.02.1989
Doğum Yeri : ELAZIĞ
Email : cananaladag@osmaniye.edu.tr

Eğitim Bilgileri Derece Üniversite/Okul M e z u n i y e t Tarihi

Lisans Fırat Üniversitesi 2012

Elektrik-Elektronik Müh.

Bölümü

Lise Elazığ Anadolu Lisesi 2007 2007

Çalışma Bilgileri Kurum Yıl

Araştırma Görevlisi
Osmaniye Korkut Ata
Üniversitesi
Enerji Sistemleri Mühendisliği 2015-devam

TEZ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Aladağ C., Orhan A. 2016. Fotovoltaik Panellerin Senkron Generatör ile Kullanımı, *Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı*, Bursa, 1-3 Aralık, (Kabul edildi, Sunuldu)