



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

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**RÜZGÂR-GÜNEŞ HİBRİT GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİ İÇİN AKILLI
EVİRİCİ ANALİZİ VE DENETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDER SİNAN ŞAN

EYLÜL 2015

DÜZCE

KABUL VE ONAY BELGESİ

Ender Sinan ŞAN tarafından hazırlanan Rüzgâr-Güneş Hibrit Güç Üretim Sistemi İçin Akıllı Evirici Analizi ve Denetimi isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07/09/2015 tarih ve 2015/737 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Üye
(Tez Danışmanı)
Yrd. Doç. Dr. Mehmet UÇAR
Düzce Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Numan ÇELEBİ
Sakarya Üniversitesi

Üye
Yrd. Doç. Dr. Selman KULAÇ
Düzce Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih : 15/09/2015

ONAY

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Ender Sinan ŞAN'ın Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesini almasını onamıştır.

Prof. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

15 Eylül 2015

(İmza)

Ender Sinan ŞAN

Sevgili Aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanması süresince gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet UÇAR'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen Prof. Dr. Nedim TUTKUN'a da şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez çalışması sürecinde değerli katkılarından dolayı Arş. Gör. Osman DİKMEN'e ve Arş. Gör. Emre AVCI'ya teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

15 Eylül 2015

Ender Sinan ŞAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR SAYFASI	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖZET	1
ABSTRACT	2
EXTENDED ABSTRACT	3
1. GİRİŞ	5
2. DAĞITIK ÜRETİMDE KULLANILAN EVİRİCİLER	12
3. ADA MOD VE ŞEBEKE ETKİLEŞİMLİ EVİRİCİ DENETİMİ ..	16
3.1. PLL TABANLI ŞEBEKE SENKRONİZASYONU	16
3.2. DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONU	17
3.3. EVİRİCİ KONTROL YAKLAŞIMLARI	19
3.4. ADA MODU ÇALIŞMADA GERİLİM KONTROLÜ	22
3.5. ŞEBEKE BAĞLANTI GEREKSİNİMLERİ	23
3.5.1. Adalama	24
3.5.1.1. Pasif Saptama Yöntemleri	25
3.5.1.2. Aktif Saptama	26
3.5.1.3. GE Anti-Adalama Kavramı	26
3.5.1.4. Adalama Gerilim Kontrol Tekniği	26
4. 3-FAZLI AKILLI EVİRİCİ MATLAB/SİMULINK BENZETİ ...	28
4.1. ADA MODU ÇALIŞMA DURUMU	29
4.2. ŞEBEKE ETKİLEŞİMLİ ÇALIŞMA MODU	34
4.3. ADA MODU VE ŞEBEKE ETKİLEŞİMLİ ÇALIŞMA MODU	38
4.3.1. Akıllı Evirici Çalışma Modu 1	42

4.3.2. Akıllı Evirici Çalışma Modu 2	45
4.3.3. Akıllı Evirici Çalışma Modu 3	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
6. KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Akıllı şebeke sistem yapısı	5
Şekil 1.2. Akıllı şebekede hedefler	6
Şekil 1.3. Tipik bir mikro şebeke yapısı	6
Şekil 1.4. Farklı enerji depolama sistemlerinin kıyaslanması	7
Şekil 1.5. Enerji depolamalı dağıtık iletim sisteminin günlük elektriksel güç zaman dağılım grafiği	8
Şekil 1.6. Şebekeye bağlı bir konutun FV enerji üretim ve tüketim profilleri	10
Şekil 1.7. Batarya destekli güneş-rüzgar hibrit güç üretim sistemi genel blok diyagramı	11
Şekil 2.1. Genel bir dağıtık üreteç yapısı	12
Şekil 2.2. Şebeke bağlantılı bir PV sistemde adalama modu blok diyagramı	14
Şekil 2.3. 3-fazlı GKE yapısı	15
Şekil 3.1. Evirici denetim yönetiminin blok diyagramı	16
Şekil 3.2. Temel PLL Yapısı	17
Şekil 3.3. a)Histerezis bant denetleyici blok diyagramı, b)Histerezis bant denetleyici ile DGM sinyallerinin elde edilişi	18
Şekil 3.4. GKE sistemi tarafından üretilen aktif ve reaktif güç bileşenleri	19
Şekil 3.5. Akım kontrollü evirici blok diyagramı	21
Şekil 3.6. GKA sisteminin şebeke frekansında kontrolü	22
Şekil 3.7. Ada modu eviricinin gerilim kontrolünün blok diyagramı	23
Şekil 3.8. Adalama gerilim geri besleme şeması	27
Şekil 4.1. Ada mod ve şebeke etkileşimli akıllı evirici yapısı	28
Şekil 4.2. Ada modu çalışma durumuna ait sistemin genel blok diyagramı	30
Şekil 4.3. Referans gerilim üretme yönteminin blok diyagramı	30
Şekil 4.4. Histerezis bant gerilim denetim DGM yönteminin blok diyagramı	31
Şekil 4.5. Omik yük durumunda benzetim sonuçları	31
Şekil 4.6. Omik yük durumunda hat akımı için harmonik dağılımı	32

Şekil 4.7.	Omik-endüktif yük durumunda benzetim sonuçları	32
Şekil 4.8.	Geri güç faktörlü yük durumunda aktif ve reaktif güçler	33
Şekil 4.9.	Geri güç faktörlü yük durumunda hat akımı harmonik dağılımı	33
Şekil 4.10.	Anlık yük değişimi durumunda benzetim sonuçları	34
Şekil 4.11.	Anlık yük değişimi durumunda aktif ve reaktif güçler	34
Şekil 4.12.	Şebeke etkileşimli çalışma durumuna ait sistemin genel blok diyagramı	35
Şekil 4.13.	Referans akım üretme yönteminin blok diyagramı	35
Şekil 4.14.	Referans akım üretme yönteminin blok diyagramı	36
Şekil 4.15.	Şebeke etkileşimli çalışma durumunda benzetim sonuçları	36
Şekil 4.16.	Hat akımının harmonik dağılımı	37
Şekil 4.17.	Şebekeye aktarılan aktif gücün anlık değişimi	37
Şekil 4.18.	Şebekeye aktarılan hat akımının harmonik dağılımı	38
Şekil 4.19.	Ada modu ve şebeke etkileşimli çalışma durumuna ait blok diyagram	39
Şekil 4.20.	Adalama tespit algoritmasının blok diyagramı	39
Şekil 4.21.	Çift yönlü batarya dönüştürücüsüne ait blok diyagram	40
Şekil 4.22.	Şebeke kesintisi durumunda şebeke gerilimleri ve akımları	41
Şekil 4.23.	Şebeke kesintisi durumunda evirici gerilimleri ve akımları	41
Şekil 4.24.	Şebeke kesintisi durumunda yük gerilimleri ve akımları	41
Şekil 4.25.	Şebeke gerilimleri, şebeke, yük ve evirici akımları	42
Şekil 4.26.	RG HGUS, yük, batarya ve şebeke gücü	43
Şekil 4.27.	Batarya gerilimi, akımı ve şarj durumu	43
Şekil 4.28.	Şebeke gerilimi-evirici akımı ve DA-bara gerilimi	44
Şekil 4.29.	Evirici a-fazı akımı harmonik dağılımı	45
Şekil 4.30.	Şebeke gerilimleri, şebeke, yük ve evirici akımları	45
Şekil 4.31.	RG HGÜS, yük, batarya ve şebeke gücü	46
Şekil 4.32.	Batarya gerilimi, akımı ve şarj durumu	46
Şekil 4.33.	Şebeke gerilimi-evirici akımı ve DA-bara gerilimi	47
Şekil 4.34.	Evirici a-fazı akımı harmonik dağılımı	48
Şekil 4.35.	Şebeke gerilimleri, şebeke, yük ve evirici akımları	49
Şekil 4.36.	Şebeke, yük ve batarya gücü	49
Şekil 4.37.	Batarya gerilimi, akımı ve şarj durumu	49

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. Şebeke bağlantı standartları	24
Çizelge 3.2. Dağıtılmış güç için IEEE 1547 düzeltme zamanı standartları	25
Çizelge 4.1. Benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler	29
Çizelge 4.2. Akıllı evirici çalışma modu 1 benzetim sonuçları	44
Çizelge 4.3. Akıllı evirici çalışma modu 2 benzetim sonuçları	47
Çizelge 4.4. Akıllı evirici çalışma modu 3 benzetim sonuçları	50

SİMGELER VE KISALTMALAR

C_{DA}	DA-bara kondansatörü
f_s	Şebeke frekansı
f_{sw}	Anahtarlama frekansı
I_B	Batarya akımı
I_{BE}	Batarya evirici tarafı akımı
I_{DA}	DA-bara akımı
I_E	Evirici akımı
I_H	RG HGÜS akımı
I_L	Yük akımı
I_S	Şebeke akımı
L_F	AA indüktans
P_B	Batarya gücü
P_H	RG HGÜS gücü
P_S	Şebeke gücü
P_Y	Yük aktif gücü
Q_Y	Yük reaktif gücü
V_B	Batarya gerilimi
V_{DA}	DA-bara gerilimi
V_S	Şebeke gerilimi
x_d	3-fazlı gerilim/akımın d bileşeni
x_d^*	3-fazlı referans gerilim/akımın d bileşeni
x_q	3-fazlı gerilim/akımın q bileşeni
x_q^*	3-fazlı referans gerilim/akımın q bileşeni

AA	Alternatif Akım
DA	Doğru Akım
DGM	Darbe Genişlik Modülasyonu
FV	Fotovoltaik
FACTS	Esnek Alternatif Akım İletim Sistemi
GKE	Gerilim Kaynaklı Evirici
NDZ	Algılanamayan bölgeye (Non Detecton Zone)
PCC	Ortak bağlantı noktası (Point of Common Coupling)
PF	Gç faktörünün (Power Factor)
PI	Oransal-integral (Proportional-Integral)
PLL	Faz kilitlemeli döngü (Phase Locked Loop)
RG HGS	Rüzgar-Güneş Hibrit Güç retim Sistemi
SOC	şarj durumu (State of Charge)
THB	Toplam Harmonik Bozulma
VCO	Gerilim Kontrollü Osilatör (Voltage Controlled Oscillator)

ÖZET

RÜZGÂR-GÜNEŞ HİBRİT GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİ İÇİN AKILLI EVİRİCİ ANALİZİ VE DENETİMİ

Ender Sinan ŞAN
Düzce Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet UÇAR
Eylül 2015, 57 sayfa

Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi elde edilmesine ve verimli kullanılmasına yönelik çalışmalar giderek artış göstermektedir. Fotovoltaik (FV) paneller ve küçük güçlü rüzgâr türbinleri yenilenebilir enerji sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak rüzgâr ve güneş birincil enerji kaynakları olmadığından FV ve rüzgâr sistemleri sürekli enerji üretemezler.

Bu tez çalışmasında, elektrik enerjisini depolamak için bir batarya grubuna sahip Rüzgâr-Güneş Hibrit Güç Üretim Sisteminden (RG HGÜS) üretilen güç ile tüketilen güçler arasındaki dengeyi sağlamak için akıllı eviricinin analizi ve denetimi amaçlanmıştır. Önerilen akıllı evirici yapısı, şebekeden bağımsız ada modu, şebeke etkileşimli ve yedekleme gibi otomatik gerçekleştirilen çalışma modlarına sahiptir. Bu çalışma modlarına göre; RG HGÜS'ün ürettiği enerji ile öncelikle yük beslenmektedir. Üretilen fazla enerji daha sonra kullanılmak üzere batarya gruplarına depolanmakta ve şebekeye aktarılmaktadır. Eğer şebekede enerji kesintisi olursa yükler batarya gruplarında depolanan enerji ile beslenmektedir. Tez çalışması kapsamında tüm sistemin modellenmesi, analizi ve benzetimi MATLAB/Simulink yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Anahtar sözcükler: Akıllı evirici, dağıtık üretim, güneş enerjisi, hibrit güç üretim sistemi, rüzgâr enerjisi.

ABSTRACT

ANALYSIS AND CONTROL OF A SMART INVERTER FOR WIND-SOLAR HYBRID POWER GENERATION SYSTEM

Ender Sinan ŞAN

DüzceUniversity

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and
Electronics Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assistant Prof. Dr. Mehmet UÇAR

September 2015, 57 pages

Obtaining electricity from renewable energy sources and the efficient use of these energy sources are increasing in the world. Photovoltaic (PV) panels and small wind turbines are widely used in renewable energy systems. Although, PV and wind power systems can't produce energy continuously because these systems aren't primary energy sources.

In this thesis, analyzing and control of smart inverter is aimed, which using for balance between produced and consumed energy in Solar-Wind Hybrid Power Generation System (SW HPGS) that has battery equipment. The proposed smart inverter has automatic running mode such as on-grid, off-grid and storage. In these modes, loads are fed with energy that produced by SW HPGS. The generated energy is then stored in the battery group to be used and transferred to the grid. When energy cut off is occurred, the loads are fed by energy stored in battery group. In this work, all modes that mentioned before are modeled and analyzed with MATLAB/Simulink software.

Keywords: Smart inverter, distributed generation, solar energy, hybrid power generation system, wind energy.

EXTENDED ABSTRACT

ANALYSIS AND CONTROL OF A SMART INVERTER FOR WIND-SOLAR HYBRID POWER GENERATION SYSTEM

ENDER SİNAN ŞAN

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and
Electronics Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assistant Prof. Dr. Mehmet UÇAR

September 2015, 57 pages

1. INTRODUCTION:

This thesis includes analyzing, control and simulation of 3-phase smart inverter which has islanding and grid-connected mode. In considered hybrid electrical power generation system, PV and wind power are used as renewable energy sources. The inverter used in this work switches between different automatic running mode such as on-grid, off-grid, storage. Additionally, the inverter designed for low power domestic applications has an algorithm that achieves grid synchronization of inverter to manage produced energy.

2. MATERIAL AND METHODS:

In distributed power generation system, inverters can be categorized in two operating mode, which are grid-connected and islanding mode. Inverters operating with islanding mode are used in regions which haven't electricity or reaching electricity is expensive. In operating islanding mode, the produced excessive energy is stored in batteries. In the other mode operation, grid-connected mode, inverters transfer all or excessive of produced energy to the grid. To achieve energy transition, current transferred to grid is to synchronize with grid voltage. This synchronization needs parameters about phase angel and frequency of grid voltage. These parameters can be obtained with Phase

Locked Loop (PLL) algorithm. Also, when energy cut off is occurred, this situation is to detect immediately and distributed power system's grid connection must be broken.

Inverters which is used distributed generation has been examined in the second part of this thesis. Island mode and control of grid interactive inverter was explained in third section. Based on MATLAB/Simulink modeling of 3-phase smart inverter, simulation results and the results that is obtained in this study is presented in fourth section and fifth section respectively.

3. RESULT AND DISCUSSIONS:

In this study, proposed 3-phase smart inverter modeled and analyzed with MATLAB/Simulink. According to MATLAB/Simulink simulation results, it is seen that output current waveform of inverter is sinusoidal and synchronous with grid voltage; moreover total harmonic distortion of the inverter current is lower 5% which specified with IEEE 519 standard.

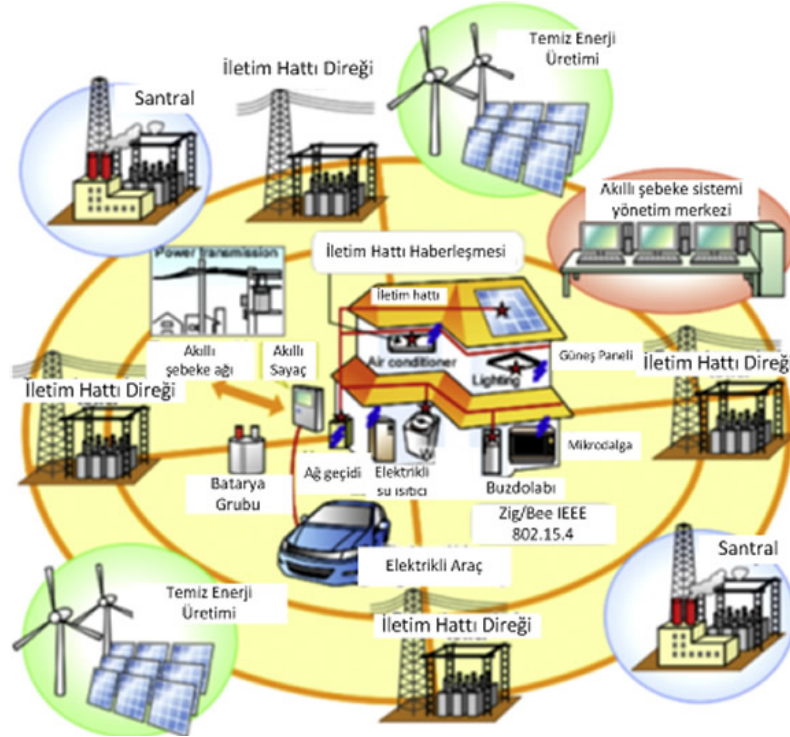
4. CONCLUSION AND OUTLOOK:

MATLAB/Simulink model of 3-phase island mode for SW HPGS and grid interactive smart inverter is created and simulation results are presented for grid inverter working conditions. This conditions; as grid connection working conditions, if power of SW HPGS greater than power of load, transferring to the grid and the battery this much power, if power of SW HPGS less than power of load, this lack of power is compensated from battery and grid and charging the battery from grid while SW HPGS is disabled.

Control of different current, voltage and different Pulse Width Modulation (PWM) control methods for smart inverter structure might have been surveyed in future studies. In addition, using multilevel Voltage Source Inverter (VSI) instead of 2-level VSI, increase in efficiency can be achieved. If ultra-capacitor is connected parallel to the battery groups, charge and discharge state of the battery groups can be optimized. For bi-directional battery converter, performance of power transmission can be improved by using modern control techniques.

1. GİRİŞ

Yenilenebilir dağıtık enerji kaynakları gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Yenilenebilir dağıtık üretim, çevre dostu olmanın yanı sıra iletim kayıplarının düşük ve şebeke verimliliğinin yüksek olması, evirici bağlantısı sayesinde yüksek kalitede enerji sağlanabilmesi ve küçük güçlü dağıtık üretim kaynakları ile birlikte artan güvenilirlik gibi nedenler ile daha da cazip hale gelmiştir. Dağıtık üretimin yaygınlaşmasıyla birlikte yeni şebeke yapıları, yeni kavramlar ve çözümleri gereken yeni sorunlar da ortaya çıkmıştır. Bunlardan bir tanesi, akıllı şebeke (smart grid) kavramı olup güç kalitesini ve güvenilirliği artırmak ve bununla birlikte maliyet ve verimlilik optimizasyonu sağlamak amacıyla dağıtık üretim ile birlikte bilgi teknolojilerinin de kullanımıyla iki yönlü veri akışının gerçekleştirilmesidir [1]. Akıllı şebeke yapısı ile elektrik şebekesinin maliyet, verimlilik, süreklilik, kalite gibi her yönüyle en iyi seviyede işletilmesi amaçlanmaktadır. Şekil 1.1’de akıllı şebeke sistem yapısı görülmektedir. Akıllı şebekede hedefler Şekil 1.2’de verilmiştir.

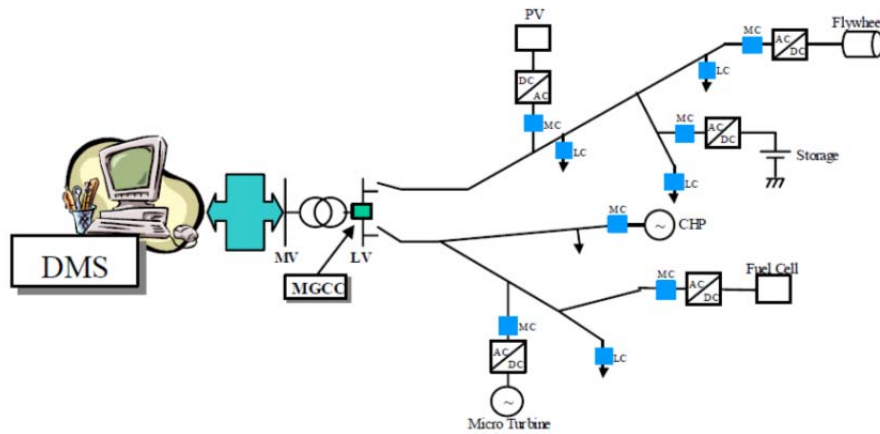


Şekil 1.1. Akıllı şebeke sistem yapısı.



Şekil 1.2. Akıllı şebekede hedefler.

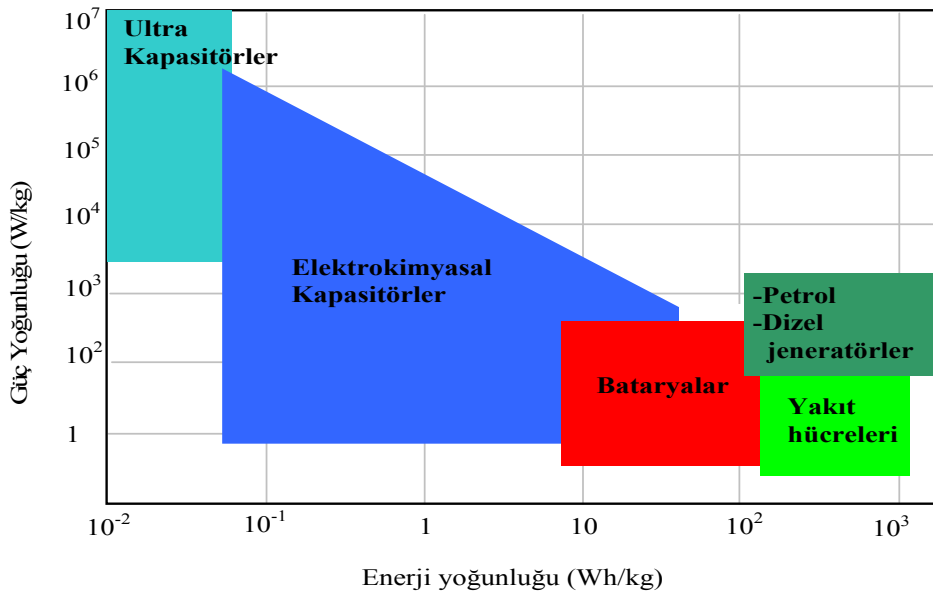
Akıllı şebeke hedeflerinden süreklilik kapsamında gerçekleştirilen diğer bir kavram ise mikro şebekedir. Mikro şebeke, elektrik şebekesinin alçak gerilim seviyesinde gerçekleştirilen, yenilenebilir enerji kaynaklarını da içeren dağıtık üretim kaynaklarından, enerji depolama sistemleri ve kontrol edilebilen yüklerden oluşan ve en önemli özelliği ise şebekeden bağımsız ada modunda çalışabilme özelliğine sahip olan özel bir parçasıdır [2,3]. Fotovoltaik sistemler, rüzgâr türbinleri, mikro türbinler, yakıt hücreleri, dizel jeneratörler mikro şebekeleri oluşturan tipik dağıtık üretim enerji kaynaklarıdır. Enerji depolama sistemlerine ise yaygın olarak bataryalar, uçan tekerlek (flywheel), süper kapasitörler ve süper iletken endüktanslar örnek olarak verilebilir. Tipik bir mikro şebeke yapısı Şekil 1.3’de gösterilmiştir [4].



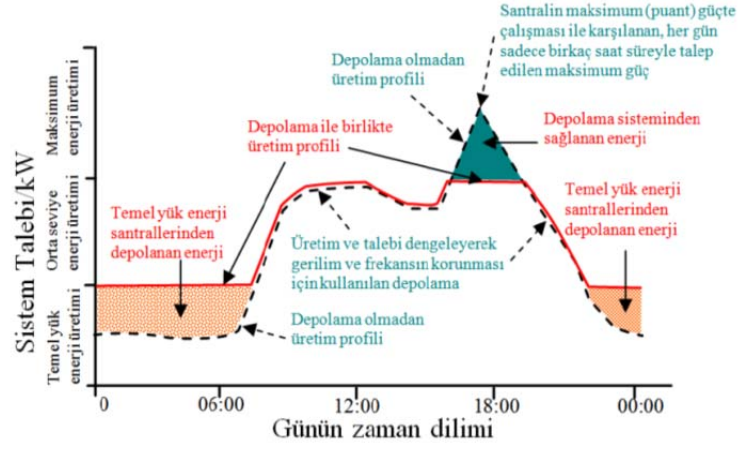
Şekil 1.3. Tipik bir mikro şebeke yapısı.

Mikro şebekelerin kontrol sistemleri Şekil 1.3’de görüldüğü gibi bir merkezi kontrolcü (MGCC) ve yerel kontrolcülerden (MC: mikro kaynak kontrolcüsü, LC: yük kontrolcüsü) oluşmaktadır. Mikro şebekeler genel olarak en temel seviyede yerel kontrolcülerle sistemi çalıştıracak şekilde tasarlanmakta olup merkezi kontrolcünün görevi ise sistemin optimizasyonudur.

Dağıtık üretimde güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlantısı günümüzde oldukça önem kazanmıştır. Mikro şebekelerde dağıtık üretimlerin hızlı bir şekilde artması kurulu üretim kapasitesinin yüzdesinde artışa neden olmuştur. Fakat bu enerji kaynaklarının dalgalı ve kesintili doğası, elektrik şebekesinin çalışması ve stabilitesini önemli şekilde etkileyen güç akışında dalgalanmalara neden olmaktadır [5-8]. Bu problemleri çözmek için, süper iletken manyetik enerji depolama (SMES), süper-kapasitör enerji depolama (SCES, veya ultra-kapasitör, UCES), volan enerji depolama gibi gelişmiş teknoloji temelli kısa süreli dağıtık enerji depolama sistemleri mikro şebekede şebeke ve yük arasındaki anlık karşılaştırmayı dengelemek için alternatif potansiyel olarak bulunmaktadır [9-13]. Şekil 1.4’de farklı enerji depolama sistemlerinin enerji ve güç yoğunluğuna göre kıyaslanması gösterilmiştir. Şekil 1.5’de enerji depolama sistemi bulunan dağıtık üretim sisteminin günlük güç zaman dağılım grafiği gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Farklı enerji depolama sistemlerinin kıyaslanması.



Şekil 1.5. Enerji depolamalı dağıtık üretim sisteminin günlük elektriksel güç zaman dağılım grafiği

Geleneksel enerji kaynaklarının tüketilmesi ve yenilenebilir enerji teknolojisindeki hızlı gelişim dolayısıyla, dağıtık üretim kavramı toplumun sürdürülebilir gelişimi için en önemli seçeneklerinden biri olarak giderek daha fazla ilgi çekici hale gelmektedir. Dağıtık üretim teknolojisi farklı şartlara esneklik gösterir ve çevre dostudur, ancak güç dalgalılığı ve düşük güç kalitesi gibi bazı dezavantajları vardır. Bu problemleri çözmek için ise mikro şebeke kavramı ortaya çıkmış ve bu konuda çalışmalar yapılmaktadır. Genel olarak bir mikro şebeke; dağıtık enerji kaynakları, depolama cihazları, güç dönüştürücüleri, yükler ve koruma cihazları bağlı olan bir alçak gerilim dağıtım şebekesi olarak tanımlanabilir. Bir mikro şebeke için enerji depolama sistemi çok önemlidir. Bu sistemdeki yükün doğru çalışmasının sağlanması ile sistemin güç kalitesini yükseltebilir. Aynı zamanda enerji depolama uygulamaları ile gücü hava şartlarına bağlı değişen rüzgâr türbinleri ve yalnız gündüz çalışabilen ve hava şartlarına göre değişen güneş enerji sistemleri gibi yenilenebilir enerji sistemlerinden kaynaklanan güç değerlerindeki değişimler ile başa çıkılabilir [14].

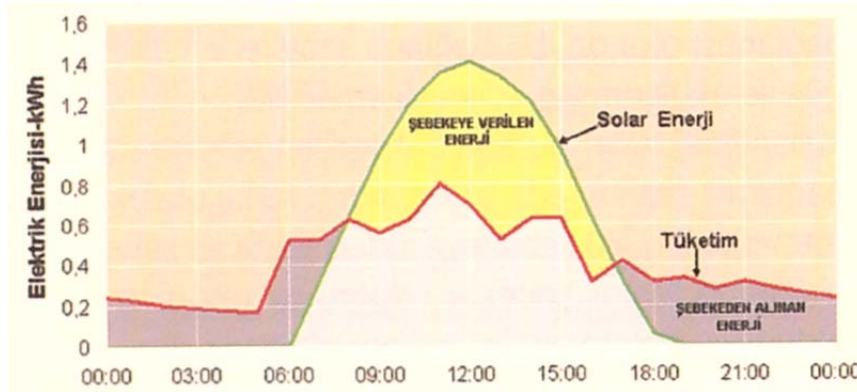
Yenilenebilir enerji temelli mikro şebekeler yenilenebilir kaynaklardan faydalanmak ve fosil yakıt tüketiminin azaltılması için iyi bir yoldur. Enerji depolama uygulamalarının kullanımı, yüklere kaliteli güç sağlanması için mikro şebekelerin kullanılmasıyla zorunlu hale gelmektedir. Mikro şebekelerde; şebeke bağlantılı ve ada modu olarak iki işletme modu bulunmaktadır. Ada modunda işletme süresince enerji depolama biriminin temel sorumluluğu enerji dengesinin sağlanmasıdır. Şebeke bağlantılı modda ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili ve yük dalgalanmasının şebekeyi etkilemesinin önlenmesidir. Tek tip bir enerji depolama sistemi ile yenilenebilir güç

kullanan mikro şebekede bu işlevlerin tümü etkili ve verimli bir şekilde gerçekleştirilemez. Fotovoltaik gibi kesintili yapıdaki yenilenebilir enerji kaynakları, yüksek enerji yoğunluklu enerji depolama kullanımı gerektirir. Aynı zamanda yükteki hızlı değişimler yüksek güç yoğunluklu enerji depolama kullanımını gerektirir. Batarya ve ultra-kapasitör yüksek enerji ve yüksek güç yoğunluğuna sahip bir hibrit enerji depolama sistemi olarak tasarlanmıştır ve bu birleşim mikro şebeke uygulamaları için birleşik enerji depolama sistemlerinin gerçekleştirilmesinde oldukça gelecek vadeden bir seçenektir [15-16].

Güneş enerjisi, güvenli ve sürdürülebilir çevre sağlaması bakımından gelecek vadeden bir teknolojidir. Ancak güneş enerjisinin kesintili ve fotovoltaik hücrelerin doğrusal olmayan karakterlere sahip olması gibi dezavantajları vardır. Bir çözüm olarak bataryaların kullanılması özellikle tepe yük akımlarının karşılanmasında büyük boyutlu bir tasarım gerektirir, bu da maliyet ve sistem boyutlarını artırmaktadır. Diğer dezavantajları ise bataryaların kısa çevrim ömürleri, kimyasal reaksiyonların ilerleyen zamanla bozulması/performansın düşmesi ve düşük sıcaklık şartlarında kötü performans göstermeleridir [17-18].

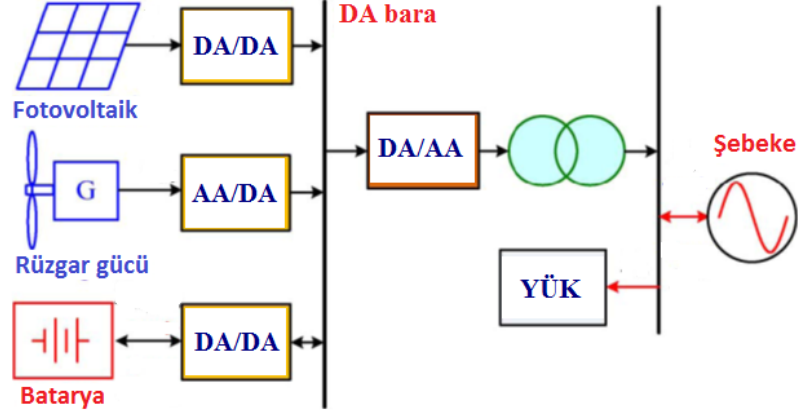
Güneşten yalnızca gündüzleri elektrik üretilebilirken rüzgârda ise güneş kadar kesin sınırlar ile ayrılmasa da günün bazı saatlerinde elektrik üretimi mümkün olmaktadır. Günün diğer kalan bölümünde ise yük enerjisiz kalmaktadır. Bu kesiklik üretilen enerjinin tüketim fazlasının enerji depolama elemanlarında depolanmasıyla ve üretimin yetersiz kaldığı zamanlarda yüklerin bataryadan beslenmesi sağlanabilmektedir [19]. Güneş ve rüzgârdan elde edilebilecek elektrik enerjisi, mevsimlere göre de farklılık göstermektedir. Kış aylarında güneşten günlerce elektrik enerjisi üretmek mümkün olmayabilirken benzer şekilde bahar ve yaz aylarında rüzgârdan elektrik enerjisi üretimi çok düşük seviyede kalabilmektedir [20]. Bir FV elektrik üretim sisteminin yirmi dört saatlik enerji üretim profili Şekil 1.6'da görüldüğü gibi süreksiz bir yapıdadır. Güneşli saatlerde üretilen fazla enerji şebekeye aktarılırken güneşsiz saatlerde şebekeden enerji sağlanmaktadır. Güneş enerjisi depolanarak sürekli hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, kritik yüklerin kesintisiz bir şekilde beslenmesini garanti altına alabilmek için, enerji depolama sistemlerinin enerji yönetim sistemleri ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Enerji depolama elemanı olarak bataryalar kullanarak, gün boyunca

üretilen fazla PV enerji akşam ve gece kullanılabilir. Dolayısıyla öz tüketim artırılması sağlanmış olur.



Şekil 1.6. Şebekeye bağlı bir konutun FV enerji üretim ve tüketim profilleri.

Küresel ısınmaya karşı küresel ilgi temelinde yenilenebilir enerji üretimi özellikle rüzgâr santrallerinin güç kapasitesi son yıllarda giderek artmıştır. Rüzgâr gücünün tamamen rüzgâr hızına bağlı olmasından dolayı çıkış gücü kontrol edilemez. Kontrol edilemeyen doğrusal olmayan çıkış karakteristiğinin sebep olduğu güç değerlerindeki dalgalanmalar yerel olarak gerilim sorunlarına sebep olurken tüm sistemde ise frekans problemlerine sebep olur. Rüzgâr gücü sistemindeki enerji depolama sistemi yük tarafındaki ve generatör tarafındaki güç farklarını ayarlamalı/dengelemelidir. Tek depolama elemanı ile bu amaç tam anlamıyla gerçekleştirilemez. Bu yüzden iki farklı özellikte depolama cihazı kullanılarak hibrit enerji depolama sistemi oluşturulur ve böylece tek depolama elemanına göre daha üstün performans sağlanır [21]. Rüzgâr enerjisi güç sistemlerinin çıkışındaki dalgalılık, güç kalitesine büyük etki yapabilmektedir. Bunun sonucu olarak, rüzgârın kontrol edilemeyen ve kestirilemeyen karakteri açısından hibrit enerji depolama sistemi temelli (batarya ve ultra-kapasitör teknolojilerinin birleşimi ile oluşturulmuş) güç düzgünleştirme ve optimize edilmiş kapasite paylaşırma metotları geliştirilmiştir [22]. Literatürde, birbirini tamamlayıcı değişim gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanımının sistem güvenilirliğini artıracığı belirtilmiştir. Şekil 1.7'de batarya destekli güneş-rüzgâr hibrit güç üretim sisteminin genel blok diyagramı gösterilmektedir.



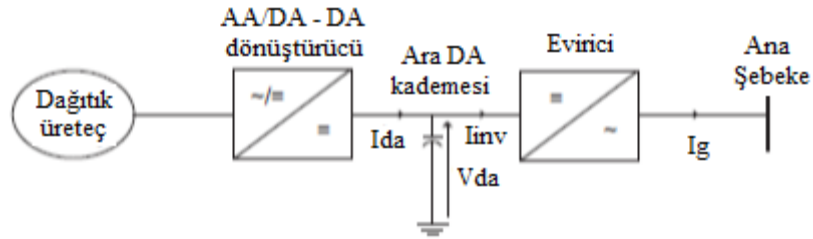
Şekil 1.7. Batarya destekli güneş-rüzgar hibrit güç üretim sistemi genel blok diyagramı

Bu tez çalışması Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Üretim Sistemi (RG HGÜS) için ada modu ve şebeke etkileşimli çalışabilen 3-fazlı akıllı eviricinin analizi, denetimi ve MATLAB/Simulink benzetimini içermektedir. Sistemde bulunan bataryalar sayesinde RG HGÜS tarafından üretilen fazla enerji daha sonra kullanılmak üzere depolanır. Bu sayede öz tüketim artırılması sağlanmıştır. Eğer yükler tarafından talep edilen enerji RG HGÜS'den karşılanamaz ise enerji fazlası şebekeden karşılanmaktadır. Akıllı evirici farklı çalışma durumlarını otomatik gerçekleştiren ve şebeke senkronizasyonu sağlayabilen bir enerji yönetim algoritmasına sahip olup daha çok düşük güçlü uygulamalara yönelik olarak tasarlanmıştır.

Bu tez çalışma kapsamında ikinci bölümde dağıtık üretimde kullanılan eviriciler incelenmiştir. Üçüncü bölümde ada mod ve şebeke etkileşimli evirici denetimi açıklanmıştır. Dördüncü bölümde 3-fazlı akıllı eviricinin MATLAB/Simulink tabanlı modelleme ve benzetim sonuçları ve beşinci bölümde çalışmada elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. DAĞITIK ÜRETİMDE KULLANILAN EVİRİCİLER

Dağıtık üretimin en önemli özelliklerinden birisi ise enerji üreten kaynakların sisteme genellikle evirici üzerinden bağlanmasıdır. Bu nedenle eviricilerin, üretilen gücün kalitesi ve sürekliliği açısından kontrol edilmesi dağıtık üretimin en önemli konuları arasında görülmektedir. Genel bir dağıtık üreteç yapısı Şekil 2.1’de görülmektedir. Literatürde, dağıtık üretimde kullanılan evirici çeşitleri ve kontrol yöntemleri bulunmaktadır [23-25].



Şekil 2.1. Genel bir dağıtık üreteç yapısı.

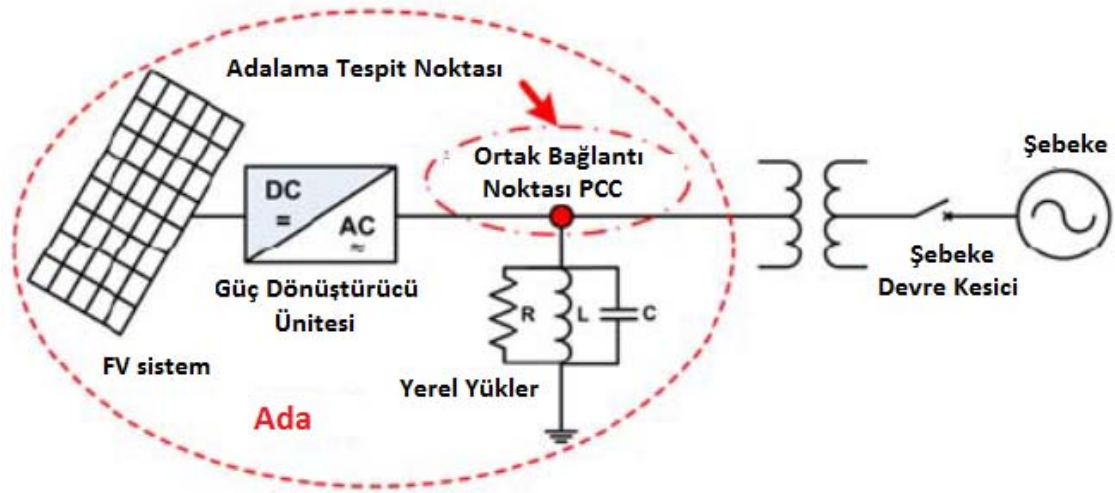
Dağıtılmış enerji kaynakları eviriciler ile şebekeye bağlanırlar. Bu eviriciler üretilmiş doğru akım (DA) gücünü alternatif akım (AA) şebekesine aktarmaktadır. Bir evirici şebekeye bağlı olarak çalışırken aktardığı güç şebeke güç kalitesi bağlantı standartlarına uymak zorundadır [26,27]. Günümüzde rüzgâr türbinleri ve güneş enerjili sistemler gibi uygulamalarda Gerilim Kaynaklı Eviriciler (GKE) yaygın olarak kullanılmaktadır [28,29]. Sistemin kararlı çalışma durumunda kayıplarının az olması ve sistem performansının yüksek olması için GKE'nin çıkış harmoniklerinin düşük olması ve anahtarlama hızının yüksek olması gerekmektedir. Yarıiletken anahtarlama elemanlarında anahtarlama hızlarının artmış olması, yüksek anahtarlama frekansı gerektiren denetim yöntemlerinin kullanılmasına olanak sağlamıştır [28]. GKE'lerde modülasyon tekniği olarak genellikle Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) kullanılmaktadır. DGM teknikleri ile GKE'lerin çıkış harmonikleri azaltılabilmekte ve performansları artırılabilir. Sinüzoidal DGM, histerezis bant DGM ve uzay vektör DGM en yaygın DGM teknikleridir.

Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız eviriciye uygulanan denetim stratejisi genellikle iki çevrim içermektedir. Bu çevrimlere örnek olarak şebekenin aktif ve reaktif akımını regüle eden iç akım çevrimi ve DA-bara gerilimini kontrol eden dış gerilim çevrimi örnek olarak verilebilir [30]. Akım çevrimi güç kalitesi ve akım korumasını sağlamaktadır. Böylece harmonik kompanzasyon ve dinamikleri akım denetleyicinin önemli özellikleridir [31]. DA-bara gerilim denetleyicisi sistemdeki güç akışını dengelemek için tasarlanmaktadır.

Yenilenebilir dağıtık enerji üretim sistemlerinin elektrik şebekesi ile uyumlu çalışması, sürdürülebilir ve güvenilir bir çalışmanın sağlanması çok önemlidir. Bir elektrik dağıtım sisteminde, güç sisteminin kalan kısmından izole edildiğinde, enerji akışının halen kendisine bağlı bulunan dağıtık üretim kaynakları tarafından devam ettirildiği ada modu çalışma durumu, şebeke bağlantılı üretim sistemlerinin şebeke ile olan etkileşiminde karşılaşılan problemlerin en önemlisidir [32]. Bir dağıtım sistemi, genellikle güç üreten herhangi bir aktif kaynağa sahip olmadığından bir arıza durumunda güç elde etmemektedir. Ancak dağıtık üretim sisteminde ada modu çalışma durumu meydana geldiğinde, mümkün olan en kısa sürede dağıtık üretim sisteminin elektrik şebekesinden ayrılması gerekliliğini ortaya koymaktadır [33]. Ada modu çalışma durumu, dağıtık üretim sistemlerinde çalışan personele ya da şebekeye güvenlik açısından problem oluşturmaktadır. Bu nedenle ada modu çalışma durumunun hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir [34-40]. Genel olarak, gerilim ve frekans gibi dağıtık üretim tarafındaki sistem parametrelerinin ölçülmesine dayalı olarak sistemin parametrelerindeki değişimden faydalanarak ada modu çalışma durumunun oluşup oluşmadığı tespit edilmektedir.

Ada modu çalışma durumu meydana geldiğinde, bu parametrelerde büyük miktarda değişim olmaktadır. Şebeke bağlantılı durum ile ada modu çalışma durumu arasındaki fark, bu parametreler için belirlenen eşik değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Ada modu çalışma durumunu sistemdeki diğer arızalardan ayırmak için eşik değerler dikkatli belirlenmelidir. Bu yöntem genellikle hızlı olmakla birlikte ada modu çalışmanın tespitinde hatalara neden olan büyük bir algılanamayan bölgeye (Non Detecton Zone, NDZ) sahiptir [39,40].

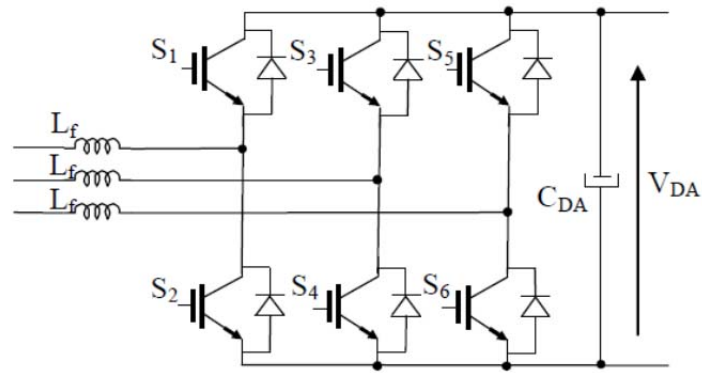
Şebeke bağlantılı bir FV sistemde adalama modu blok diyagramı Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Burada ortak bağlantı noktası (Point of Common Coupling, PCC), şebeke ve evirici arasındaki ortak bağlantı noktasıdır. Güneş paneli tarafından üretilen güç yükün harcadığı güçten daha küçük olduğu durumda, PCC noktasındaki gerilim eşdeğer giriş ve çıkış gücünü dengelemek amacı ile artırılması gerekmektedir. Eğer güneş panelinden üretilen güç ve yük gücü birbirine eşit ise ada modu çalışmayı tespiti oldukça zordur [41, 42].



Şekil 2.2. Şebeke bağlantılı bir PV sistemde adalama modu blok diyagramı.

Dağıtık üretim sistemlerinde ada modu ve şebeke etkileşimli eviriciler olmak üzere iki tip evirici kullanılmaktadır. Ada modu eviriciler, elektrik enerjisinin ulaşmadığı bölgelerde elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için dağıtık üretim sistemleri şebekeden bağımsız, yani ada modunda çalışmaktadır. Ada modunda çalışan dağıtık üretim sisteminde, üretilen enerjinin ihtiyaçtan fazla olması durumunda, fazla enerji bataryalara depolanır. Şebeke etkileşimli eviricilerde ise üretilen tüm veya fazla enerji direk şebekeye aktarılmaktadır. Bu durumda şebekeye aktarılan akımın şebeke gerilimi ile aynı fazda olması gerekmektedir. Birim güç faktörünün (Power Factor, PF) sağlanması için şebeke geriliminin faz ve frekans bilgisinin bilinmesi gereklidir. Bu parametreleri tespit etmek için faz kilitlemeli döngü (Phase Locked Loop, PLL) yapıları kullanılmaktadır. Şebeke etkileşimli eviricilerin şebeke kesintisi durumunda şebekenin kesildiğini tespit edip dağıtık üretim sistemini şebekeden hızlı bir şekilde ayırması gerekmektedir [28].

Şekil 2.3’de standart bir 3-fazlı GKE yapısı gösterilmektedir. Burada, V_{DA} DA-bara gerilimi ve S_1 - S_6 elemanları ise çıkış geriliminin oluşturulmasını sağlayan altı adet güç anahtarlama elemanıdır. Üst koldaki anahtarlama elemanlarından birisi kesime girdikten sonra karşılık gelen alt koldaki anahtarlama elemanı, ölü zaman değeri kadar sonra ilettime sokulur. Böylece aynı fazdaki iki anahtarlama elemanının aynı anda ilettime girmesi ve DA giriş kaynağının kısa devre olması engellenir [28,29]. Evirici çıkışındaki akımlarda yüksek frekanslı harmonik bileşenleri süzmek Toplam Harmonik Bozulma (THB) değerini azaltmak için yaygın olarak bir LC filtre kullanılır.

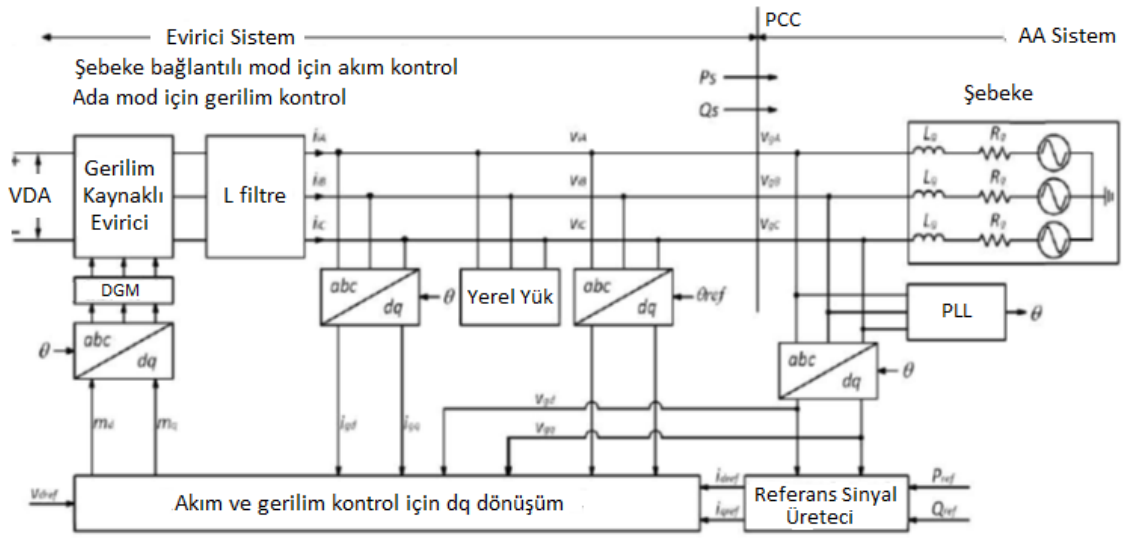


Şekil 2.3. 3-fazlı GKE yapısı.

Gerilim kaynaklı eviriciler de akım kontrollü ve gerilim kontrollü gerilim kaynaklı eviriciler olmak üzere iki çeşittir. Çıkış geriliminin üretilmesi için kullanılan başlıca DGM yöntemleri sinüzoidal DGM, histerezis bant DGM’dir. Histerezis akım DGM yöntemi uygulama kolaylığı bakımından en çok tercih edilen bir kontrol yöntemidir. Hızlı dinamik cevabı ve doğal akım koruması özelliklerinin yanında sistem parametrelerindeki değişimlerden etkilenmemektedir. Ancak sabit bantlı akım kontrolünde eviricinin anahtarlama frekansı değişkendir. Bu da giriş filtre tasarımını zorlaştırmaktadır.

3. ADA MOD VE ŞEBEKE ETKİLEŞİMLİ EVİRİCİ DENETİMİ

Bu bölümde ada modu ve şebeke etkileşimli çalışabilen evirici için PLL tabanlı şebeke senkronizasyonu, çıkış filtreleme ve evirici kontrol metodu sunulmaktadır. Şekil 3.1’de bu tip evirici denetim yönteminin blok diyagramı gösterilmiştir [43].



Şekil 3.1. Evirici denetim yönteminin blok diyagramı.

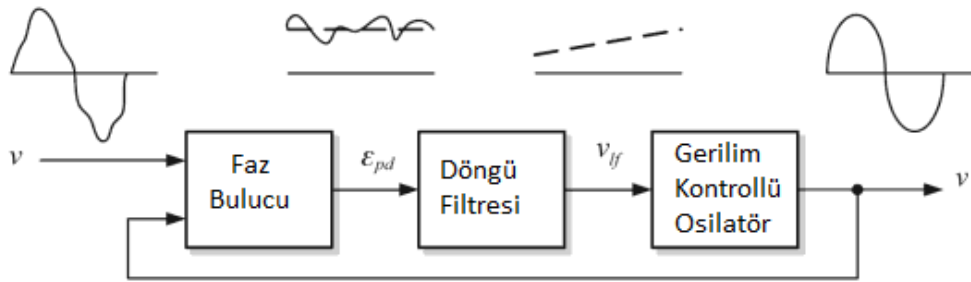
Şebeke etkileşimli durumdaki PLL algoritması şebekenin faz açısını, şebeke frekansını ve şebeke gerilimini tespit etmektedir. Gerilim ve frekans, şebeke şartlarını izlemek ve sistemin dinamik kararlılığı için gereklidir. Şebekenin faz açısı dq dönüşüm için gereklidir. Şebekeden bağımsız ada mod için, standart bir oransal-integral (PI) kontrolü evirici çıkış uçlarında sabit gerilimi korumak için kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız çalışma durumdaki evirici çıkış gerilimi algoritması PLL algoritmasına çok benzerdir [43].

3.1. PLL TABANLI ŞEBEKE SENKRONİZASYONU

Faz takibi için sıfır geçiş, durağan referans çerçeve ve senkron dönen referans çerçeve (SRF) olmak üzere başlıca üç çeşit PLL yöntemi bulunmaktadır [44]. SRF yöntemi PLL

bozuk ve ideal olmayan şebeke şartlarında çok iyi performans sağlamakta olup 1-fazlı ve 3-fazlı uygulamalar için de geçerlidir [44].

Temel PLL yapısı Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bir PLL üç temel bloktan oluşmaktadır. Bunlardan faz bulucu (PD), giriş sinyali (v) ve dahili osilatör çıkışı (v') arasındaki faz farkı ile orantılı olarak çıkış sinyali üretmektedir. Döngü filtresi (LF), faz bulucu çıkışındaki yüksek frekanslı AA bileşenleri azaltmak için alçak geçiren filtre karakteristiği göstermektedir. Tipik olarak bu blok birinci dereceden alçak geçiren filtreden veya PI denetleyiciden oluşmaktadır. Gerilim kontrollü osilatör (Voltage Controlled Oscillator, VCO) ise çıkışında, döngü filtresi tarafından üretilen giriş geriliminin fonksiyonu olarak, verilen merkez frekansa (ω_c) göre frekansı kaydırılmış AA sinyal üretmektedir.

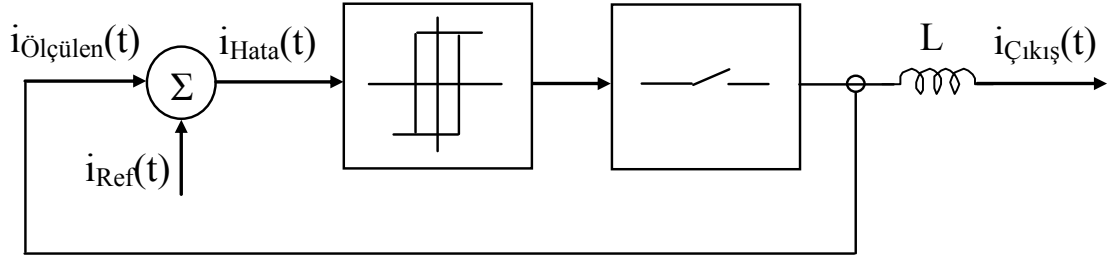


Şekil 3.2. Temel PLL Yapısı

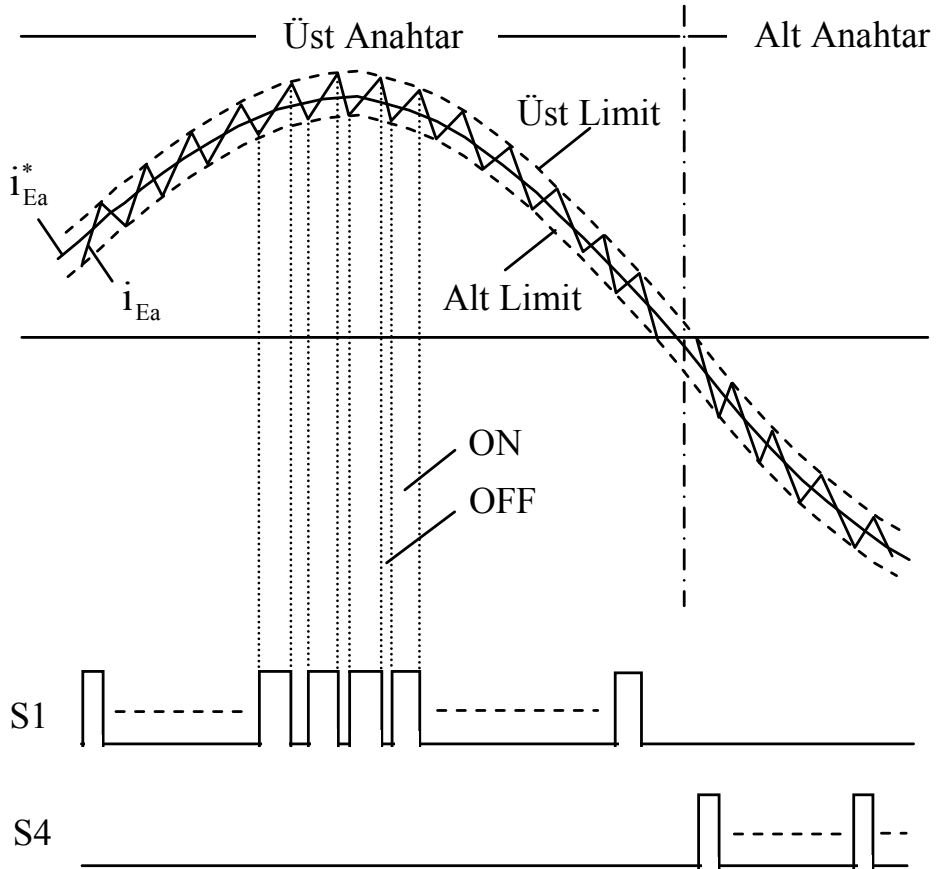
3.2. DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONU

DGM için en yaygın yöntem DGM tabanlı taşıyıcı, uzay vektör modülasyonu ve rastgele DGM’dir. Bu yöntemler arasındaki temel farklılıklar [45]’de tanımlanmıştır. Bu çalışmada histerezis bant akım denetim tekniği kullanılmıştır. Histerezis bant akım denetimi Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Bu yöntemde anlık referans akımlar ile ölçülen evirici akımları karşılaştırılmakta ve elde edilen hata sinyalleri histerezis bant denetleyiciye uygulanmaktadır. Eğer ölçülen akım, referans akım değerinden daha büyükse eviricinin üstteki anahtarlama elemanı iletimden çıkarılarak alttaki anahtarlama elemanı iletime sokulur. Bu durumda çıkış akımının azalması sağlanmış olur. Eğer ölçülen akım, referans akım değerinden daha küçükse eviricinin alttaki anahtarlama elemanı iletimden çıkarılarak üstteki anahtarlama elemanı iletime sokulur. Böylece çıkış akımının artırılması sağlanmış olur. Böylece ölçülen akımlar referans akımları takip

edecek şekilde bant içinde hareket etmektedir. Bu yöntemde histeresis bandının genişliği ne kadar dar seçilirse ölçülen evirici akımı referans akıma daha fazla yaklaştırılmış olur.



(a)

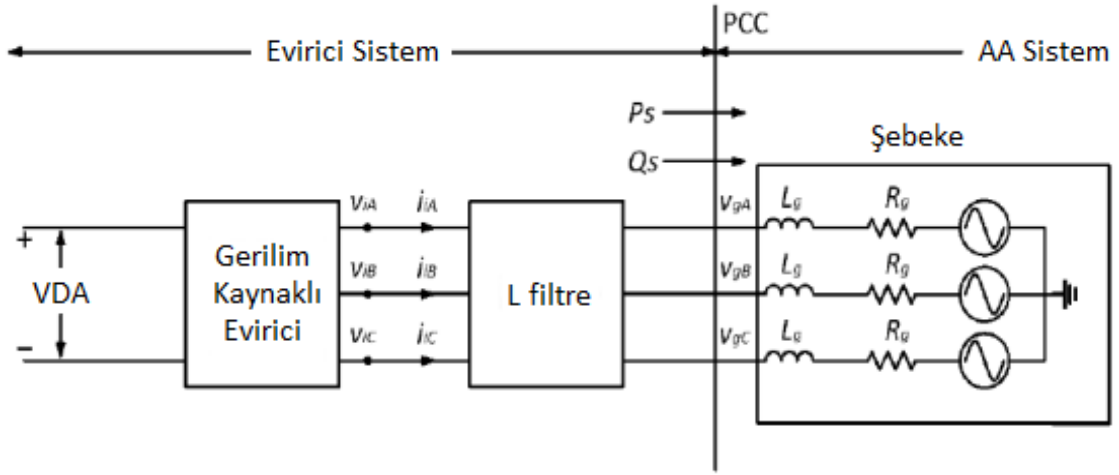


(b)

Şekil 3.3. a) Histeresis bant denetleyici blok diyagramı, b) Histeresis bant denetleyici ile DGM sinyallerinin elde edilişi

3.3. EVİRİCİ KONTROL YAKLAŞIMLARI

Aktif güç P ve reaktif güç Q GKE sisteminde gerilim ve akım kontrol yöntemleri kontrol edilebilmektedir. Endüstriyel uygulamaların yanı sıra gerilim kontrol yöntemi çoğunlukla Esnek Alternatif Akım İletim Sistemi (FACTS) denetleyicileri gibi yüksek gerilim/güç uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada şebeke gerilimleri sinüzoidal, dengeli ve sabit frekansta olduğu varsayılmaktadır. Böylece AA sistem ideal bir 3-fazlı gerilim kaynağı ile modellenmektedir. Ayrıca, Şekil 3.4’de gösterildiği gibi GKE sistemi tarafından üretilen aktif güç P_S ve reaktif güç Q_S bileşenleri ortak bağlantı noktasında AA sisteme aktarılmaktadır [43].



Şekil 3.4. GKE sistemi tarafından üretilen aktif ve reaktif güç bileşenleri.

Şekil 3.5’deki GKE sistemde aktif ve reaktif güçleri kontrol etmek için ikinci yaklaşım akım kontrol yöntemi olarak adlandırılır. Bu yaklaşımda ilk olarak, GKE’nin AA tarafı akımı GKE uç gerilimi aracılığıyla kontrol yöntemi tarafından kontrol edilmektedir. Daha sonra, hem aktif hem de reaktif güç PCC gerilimine göre faz açısı ve GKE hat akımının genliği ile kontrol edilir. Böylece, akım denetim yöntemi sayesinde GKE aşırı yük durumlarına karşı korunmaktadır. Akım kontrolünün diğer avantajları GKE ve AA sistemin parametrelerinin değişimlerine karşı sağlamlık, üstün dinamik performans ve daha fazla kontrol hassasiyeti içermektedir [29].

Senkron referans kontrolü aynı zamanda dq kontrol olarak bilinir. Aynı zamanda dq kontrolü olarak bilinen senkron referans kontrolü $abc-dq$ şebeke geriliminin ani açılal frekansı şebeke gerilimi ile senkron hızda dönen referans çerçeveye şebeke akımı ve

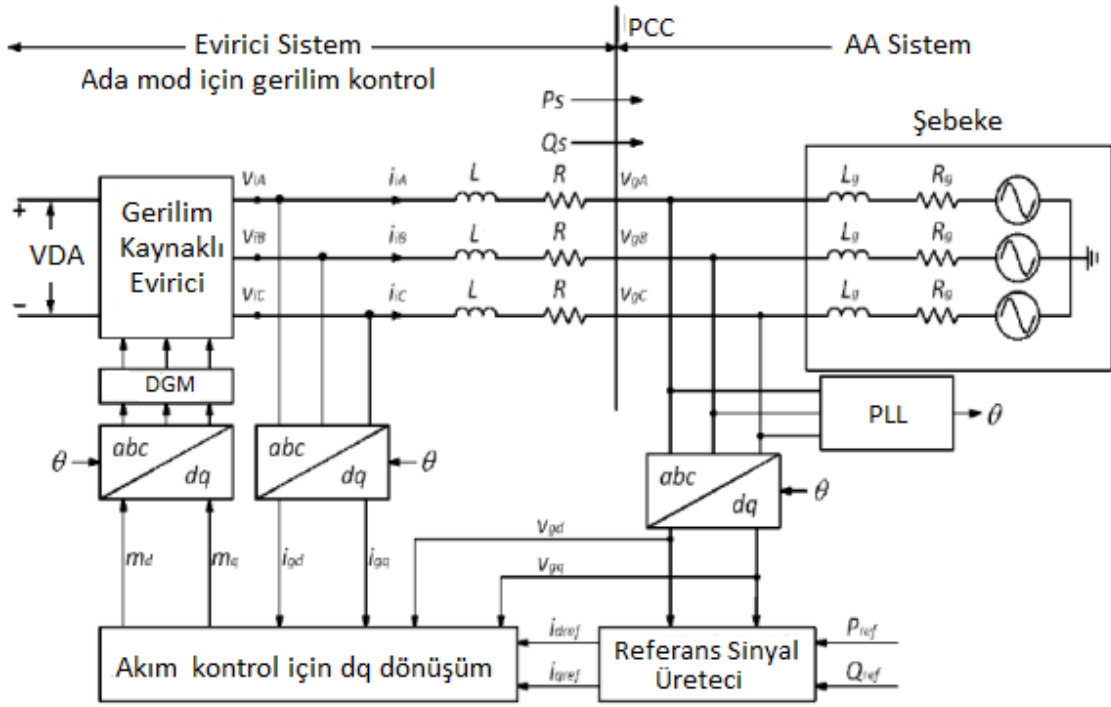
gerilim dalga şekillerini dönüştürmek için referans çerçeve dönüşümü kullanılmaktadır. Bu dönüşüm sonrası kontrol değişkenleri doğru akım değişkenlerine dönüşür böylece kontrol ve filtreleme basit olarak gerçekleştirilebilir. Bu kontrol yöntemi elektrik makineleri kuramından elde edilmiştir [46-47]. Doğru akım değişkenleri kullanıldığında yeterli performans söz konusu olduğundan dq kontrol yapısı PI kontrol stratejisiyle genellikle ilgilidir. Kontrol edilen akım şebeke gerilimi ile aynı fazda olmak zorundadır. Öyle ki $abc-dq$ dönüşüm modülü tarafından kullanılan faz açısı şebeke veya referans gerilim modelinden çıkarılmak zorundadır. Fazı kilitlemeli döngü (PLL) şebeke senkronizasyonu için şebeke gerilim faz açısının çıkarılmasında en gelişmiş haline dönüşür [44, 45].

Şekil 3.5’de aktif/reaktif güç kontrolü amacıyla senkron referans yapı tabanlı denetim yöntemi şematik diyagramı gösterilmektedir [43]. Bu yöntemde kaynak akımları (i_a , i_b ve i_c) faz kilitlemeli çevrim (Phase-Locked Loop, PLL) devresi ile üretilen (ωt) kullanılarak abc ’den dq koordinatlarına (4) eşitliğinde verildiği gibi dönüştürülür. PLL’in amacı kaynak akımlarının şebeke gerilimi ile senkronizasyonunu sağlamaktadır. Burada ωt , PLL girişine kaynak gerilimleri uygulanarak üretilmektedir. Bu dönüşüm T_{park} dönüşüm matrisiyle gerçekleştirilip (3.1) eşitliğinde gösterilmiştir.

$$T_{\text{park}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\omega t) & -\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ \sqrt{\frac{1}{2}} & \sqrt{\frac{1}{2}} & \sqrt{\frac{1}{2}} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Denetim yönteminde, kaynak akımlarının d -ekseni bileşeninin ortalama değeri (i_d) bir Alçak Geçirgen Filtre (AGF) ile elde edilir. Ayrıca, DGM doğrultucunun aktif güç kayıplarını kompanse etmek için, DA-bara gerilimi (V_{da}) referans değeri (V_{da}^*) ile karşılaştırılır ve PI denetleyici ile gerekli etkin akım (i_{d_vda}) değeri elde edilir. Böylece i_d ve i_{d_vda} toplanarak referans d -ekseni bileşeni (i_d^*) elde edilir. Reaktif gücü kompanse etmek amacıyla referans q -ekseni bileşeni (i_q^*) sıfır yapılmaktadır. Daha sonra ters dq dönüşümü yapılarak referans akım sinyalleri (i_a^* , i_b^* ve i_c^*) elde edilir. Ölçülen kaynak akımları (i_a , i_b ve i_c) referans akım sinyalleri (i_a^* , i_b^* ve i_c^*) ile karşılaştırılır ve histerezis bant DGM akım denetleyici ile anahtarlama sinyalleri üretilmektedir. Böylece, P_S ve Q_S

hat akım bileşenleri i_{gd} ve i_{gq} ile kontrol edilirler. GKE'yi korumak için, i_{dref} ve i_{qref} referansları satürasyon blokları ile sınırlandırılmaktadır.



Şekil 3.5. Akım kontrollü evirici blok diyagramı.

Şebeke bağlantılı eviricilerin güç kontrolü, dq çerçeve güç teorisi ve referans çerçevedeki güç tanımının bir sonucu olarak temel alınır. Genellikle yönlendirilmiş gerilim kontrolü, ω_g hızda dönen dq çerçeve kullanımı temellidir ve d -eksenin şebeke gerilim vektörü üzerinde hizalandığı şekilde konumlandırılmıştır. Akım referans bileşeni i_d^* aktif güç kontrolünü gerçekleştirmek için kontrol edilirken; akım referans bileşeni i_q^* reaktif güç değişimini kontrol eder ve genellikle istenilen güç faktörünü ifade etmek için kullanılır:

$$P_{dq} = \frac{3}{2}(V_d I_d + V_q I_q) \quad (3.2)$$

$$Q_{dq} = \frac{3}{2}(V_q I_d - V_d I_q) \quad (3.3)$$

d -ekseninin şebeke gerilimi $v_{qg} = 0$, ile mükemmel uyumlu olduğu varsayılırsa, aktif güç ve reaktif güç bu nedenle sırasıyla i_d ve i_q ile doğru orantılı olacaktır [29]:

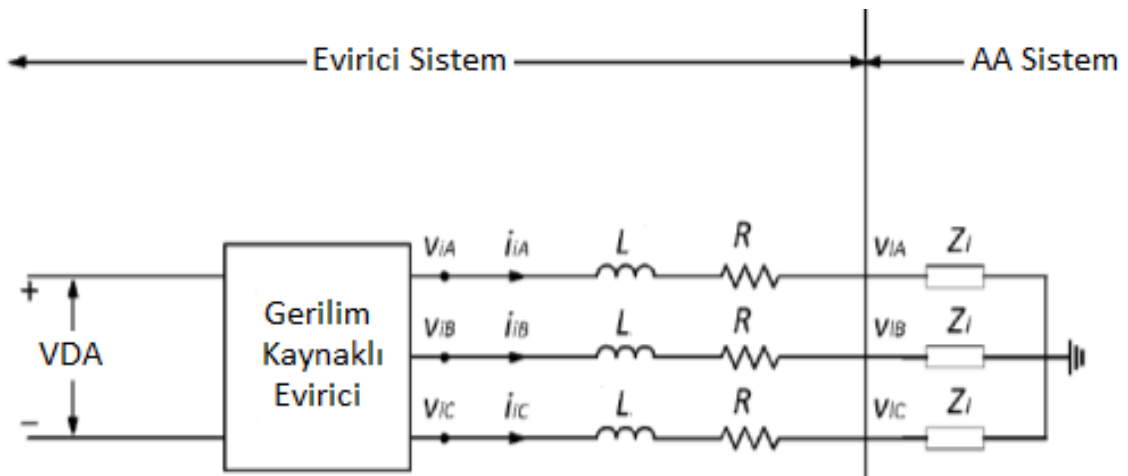
$$P_{dq} = \frac{3}{2}V_d I_d \quad (3.4)$$

$$Q_{dq} = -\frac{3}{2}V_d I_q \quad (3.5)$$

3.4. ADA MODU ÇALIŞMADA GERİLİM KONTROLÜ

Bir önceki bölümde, AA sistem tarafından maruz bırakılabilen ve çalışma frekansı önceden tahmin edilebilen GKE sisteminin şebeke frekansında çalışması ve kontrolü ele alınmıştır. Elektrik şebekesi kesintisinde; yenilenebilir enerji sistemleri, mevcut yerel yüklerle evirici üzerinden yeterli enerji desteğini sağlayabilir. DA ve AA taraflardaki kontrol yapıları yerel yüklerin ihtiyaçlarını karşılamak için değiştirilir.

Sistemde batarya yedeklemesi olmadığı sürece, bu sürekli güç dengesizliğine yol açacağından sistem kaynaktan maksimum güç çekme esasına göre çalışmaz. Ada modu şebeke çalışmasında, güç transferi öncelikle yerel yüklerin ihtiyaçlarına ayrılır. Bu bölüm GKE sisteminin şebeke frekansında kontrolü ile evirici çıkış gerilimine ve frekansına dönüştürmektedir. Bu sistem Şekil 3.6'da gösterilmiştir [43].

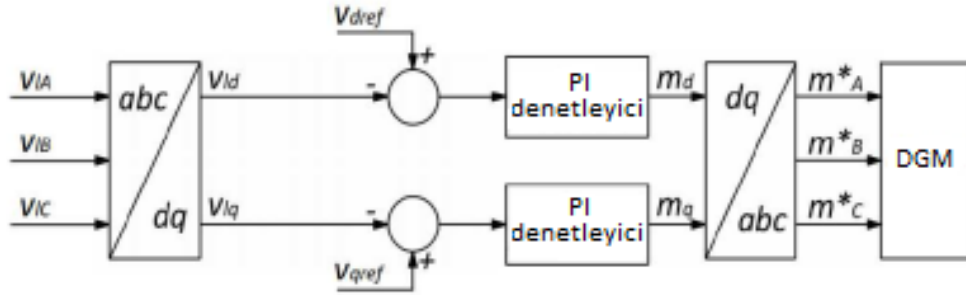


Şekil 3.6. GKE sisteminin şebeke frekansında kontrolü.

GKE sistemin kontrollü frekansında karşılaşılan tipik durumlar şunlardır:

- Elektronik olarak eşleşmiş dağıtılmış bir üretim (PV/rüzgâr/yakıt pili) ya da şebekeden bağımsız şartlar altında, tahsis edilmiş bir yükü veya bir yük grubunu besleyen dağıtılmış enerji depolama birimi.
- Acil şartlarda, hassas yükün gerilimini ve frekansını düzenlemek için bir GKE sistemi kullanan kesintisiz güç kaynağı (UPS).

AA tarafın gerilimi ve frekansı evirici ile ayarlanmaktadır. Kullanılan yöntemlerden biri [48] nolu referansda gösterilmiştir. Evirici çıkış gerilimi PI denetleyici tarafından kontrol edilir. PI denetleyicinin çıkışı 50 Hz sinüs PWM modülasyon indeksini ayarlar. Bu tip kontrol, sürekli durumda kararlı çıkış sağlar fakat geçiş performansı dinamik yük geçişleri için yeterli olmayabilir. Şekil 3.7’de ada modu eviricinin gerilim kontrolünün blok diyagramı gösterilmektedir [43].



Şekil 3.7. Ada modu eviricinin gerilim kontrolünün blok diyagramı.

3.5. ŞEBEKE BAĞLANTI GEREKSİNİMLERİ

Çizelge 3.1’de dağıtılmış enerji kaynakları için gerekli şebeke bağlantı standartları verilmektedir. Bir cihazın şebeke uyumluluğunu incelerken, bazı hususların ele alınması gerekmektedir: Bunlar; üretilen ortalama ve maksimum güç, reaktif güç seviyesi, kısa devre şebeke akımı (zayıf ya da güçlü şebeke durumları), gerilim dalgalanmaları, şebeke ile senkronize olma ve harmoniklerdir.

Çizelge 3.1. Şebeke bağlantı standartları.

Parametreler	Gereksinimler
Gerilim regülasyonu	ANSI C84 Oran A (+/-5%)
Gerilim kontrol	IEEE 1547
Fliker	IEEE 1543
Harmonikler	<%5 THD;< %4 altı 11.;< %2 için 11.-15.,< %1.5 için 17.-21.; (IEEE 519)
Güç faktörü	Çıkış güç faktörü 0.85 ileri/geri veya yüksek
Doğru akım aktarımı	<0.5% rms çıkış akımının (IEEE 1547)
Senkronizasyon ve koruma	Atanmış koruma ve senkronizasyon
Güvenlik	NFPA, NEC, IEEE NESC

3.5.1. Adalama

Adalama, şebeke arıza durumları nedeniyle ya da bakım amacıyla kesilirse dağıtılmış üretim kaynaklarının sürekli çalışması olarak tanımlanabilir [39]. Eviriciye bağlı olan cihazlara zarar verebileceğinden ve şebekenin enerjisiz olduğu kabul edilebileceğinden oluşabilecek tehlikeli durumlara yol açabileceğinden, evirici sisteminin istemsiz adalama istenilmez. Besleme sistemi yeniden bağlanırsa da sorun oluşacaktır. Çünkü bu andan sonra evirici sisteminin fazın dışında kalması muhtemeldir ve büyük akımlar evirici sistemine doğru aktarılabilir.

Adalama modu olmayan eviriciler, adalama durumunun oluşmasından belli bir zaman sonra faaliyeti durduran bir evirici olarak tanımlanabilir. Adalama durumunu saptayabilmek için evirici kontrolünde farklı algoritmalar uygulanabilir. Referans [40]'da bu algoritmalar uzaktan kumandalı (haberleşme tabanlı) ve bölgesel yerleşik algılama şemaları olmak üzere iki ana gruba bölünmüştür. Bölgesel algılama şemaları da bir başka iki gruba aktif ve pasif olarak ayrılabilir. Çizelge 3.2'de 30 kW'tan az dağıtılmış güç için IEEE 1547 düzeltme zamanı standartları verilmiştir.

Çizelge 3.2. Dağıtılmış güç için IEEE 1547 düzeltme zamanı standartları.

Parametreler	Sınır (% of pu)	Düzeltilme zamanı
V	$88 \leq V \leq 110$	İşletim oranı
	$V \leq 50$	0.16s
	$50 \leq V \leq 88$	2s
	$110 \leq V \leq 120$	1s
	$V \geq 120$	0.16s
f	$59.3 \leq f \leq 60.50$	İşletim oranı
	$f \leq 59.3$	0.16s
	$f \geq 60.50$	0.16s

3.5.1.1. Pasif Saptama Yöntemleri

Pasif yöntemler bölgesel ölçümler tabanlıdır ve çok yaygın kullanılan yöntemler şunlardır:

- Frekans sınırlamaları:
 - Büyüklük değişikliği;
 - Hız değişikliği;
 - Faz kayması;
- Gerilim değişiklikleri
- Güç
 - Aktif güç değişimi
 - Reaktif güç değişimi
 - Güç faktörü(P/Q) indeksi
- Harmonik içerik değişiklikleri

Bu yöntemlerin uygulaması genellikle kolaydır ve evirici ada modunda çalışmazken sistemin kararlılığını ve güç kalitesini etkilemeden çalışırlar. Bu yöntemlerin temel sınırlamalarından biri, her bir yöntemin belirli sınırlar içinde bir adalama durumunu saptayamadıkları çalışma bölgesine sahip olmasıdır. Bu bölge tespit edilemez alan (NDZ) olarak adlandırılır. Bu alanların etkisi özellikle dengeli yük koşullarında, yük evirici tarafından üretilen güce eşit olduğunda [49] çok önemli olabilir. Bu yöntemlerin kombinasyonları bazen NDZ durumunu azaltabilir.

3.5.1.2. Aktif Saptama

Sistem cevabı tabanlı adalama durumları tespit etmek amacıyla, bu yöntemlerin bozuklukları besleme sistemine aktarılabilirler. En yaygın kullanılan yöntemler aşağıdaki ilkelerden birisi tabanlıdır:

- Empedans ölçümü
- Gerilim değişimi
- Frekans değişimi
- Çıkış gücü değişimi

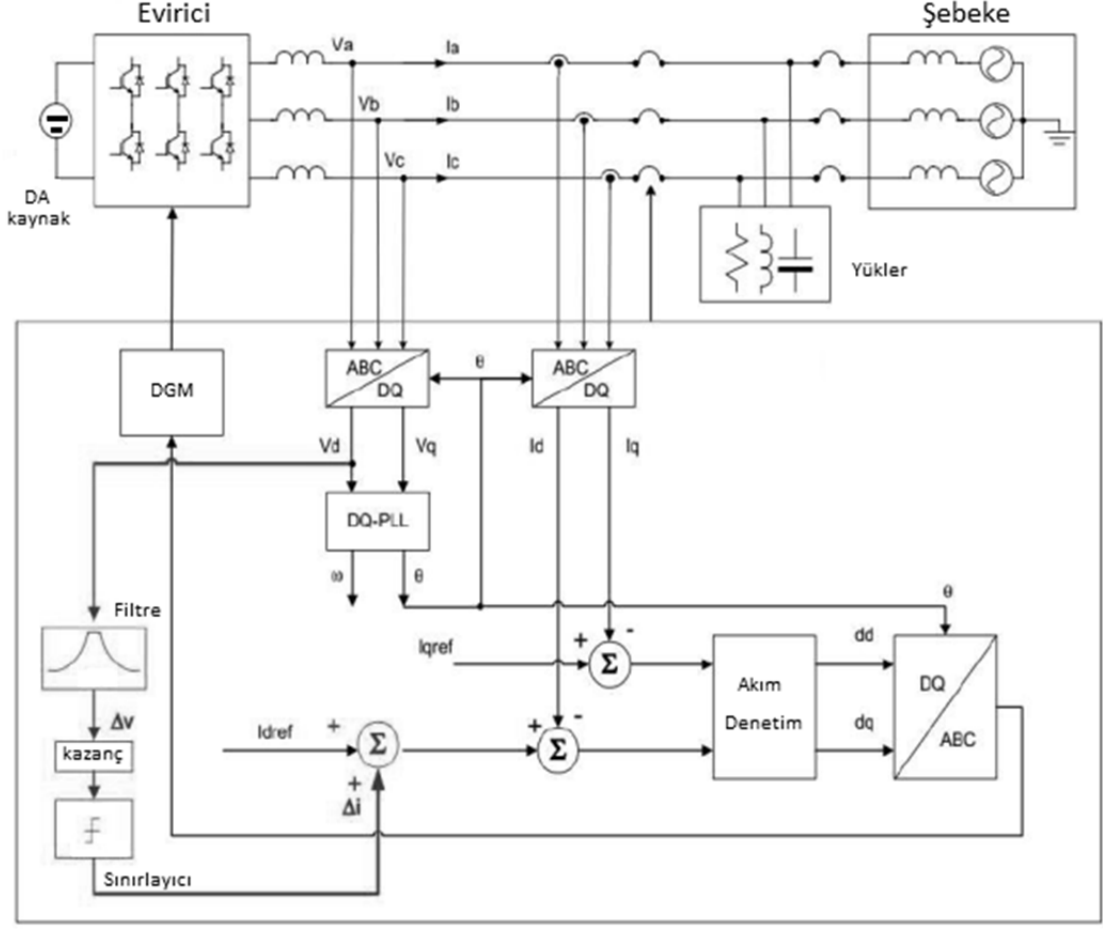
Bu yöntemlerin avantajlarından biri dengeli yük koşullarında bile adalama tespit etme yeteneğini artmasıdır ve böylece NDZ azaltılır. Aktif yöntemlerin temel dezavantajı aynı şebekeye bağlı birden çok dağıtılmış kaynaklar tarafından başlatılan bozuklukların müdahalesidir. Ayrıca bu yöntemler çalıştırılan eviricilerin güç kalitesini düşürebilir.

3.5.1.3. GE Anti-Adalama Kavramı

Önerilen GE anti-adalama yöntemleri biri pozitif geri besleme diğeri dq uygulaması olmak üzere iki kavram temellidir. Bu iki kavramın birleştirilmesi anti-adalama şemalarının yeni bir türüne yol açar.

3.5.1.4. Adalama Gerilim Kontrol Tekniği

Şekil 3.8'de V_d için I_{dref} tabanlı gerilim geri besleme kontrol şeması göstermektedir [43]. V_d gerilimi bant geçiren filtreden (BPF), kazançtan ve sınırlayıcıdan geçirilmektedir. I_{dref} 'e Δi eklenerek bir akım varyasyonu oluşturulmaktadır. Kazanç için iki kritik tasarım vardır. Birincisi, evirici şebekeye bağlanıldığı zaman sistemin kararlılığı için kazanç yeterince küçük olmalıdır. Adalama durumunda, adalama sistemin kararlı olması için kazanç yeteri kadar büyük olmalıdır, aksi takdirde nominal aralıklar içerisinde olabilen başka bir kararlı durumda çalışabilir. Böylece NDZ durumu ortaya çıkar [43].

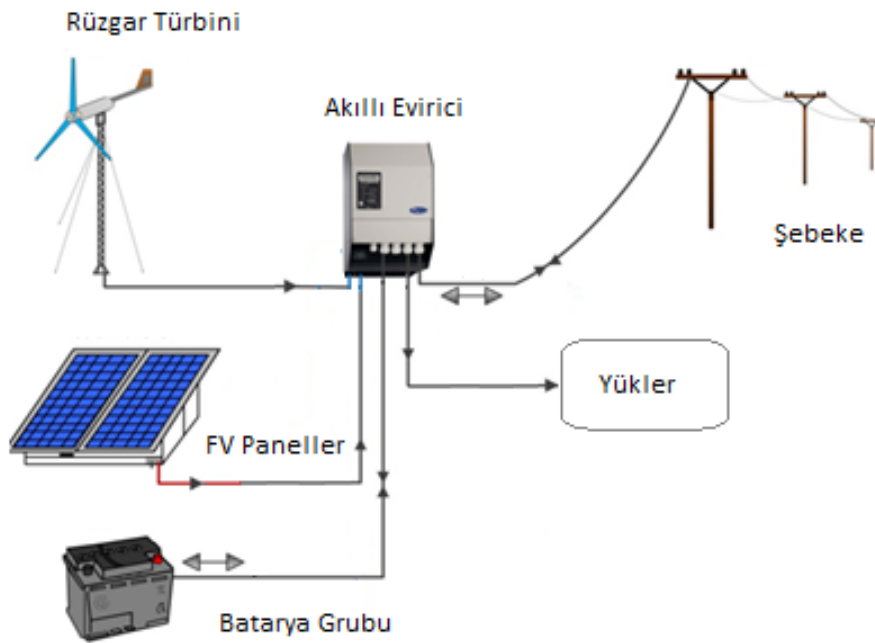


Şekil 3.8. Adalama gerilim geri besleme şeması.

Bant geçiren filtrenin kullanılmasının nedeni gürültü aktarımı ve anti-adalama çevriminin sebep olduğu DA ofseti önlemektir. DA ofset kararlı durum referans izlemesini etkiler ve gürültü güç kalite sorunlarına neden olur. Sınırlayıcı fonksiyonu izin verilen maksimum akımı aktarmak için belirtilir. İki faktör sınırlayıcı ayarlarını belirler. Birincisi evirici aşırı akım kapasitesidir. Diğeri I_{qref} 'e akım aktarılırsa, izin verilen maksimum güç faktörüdür [43].

4. 3-FAZLI AKILLI EVİRİCİ MATLAB/SİMULİNK BENZETİMİ

Bu bölümde RG HGÜS için ada modu ve şebeke etkileşimli 3-fazlı akıllı eviricinin MATLAB/Simulink modeli oluşturulmuş ve benzetim sonuçları sunulmuştur. Bu çalışmada kullanılan DA-barasında RG HGÜS ve batarya grubu bulunan ada mod ve şebeke etkileşimli akıllı evirici yapısı Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Ada mod ve şebeke etkileşimli akıllı evirici yapısı.

Burada öncelikle eviricinin ayrı ayrı ada modu ve şebeke etkileşimli çalışma durumları analiz edilmiş olup benzetim sonuçları sunulmuştur. Daha sonra hem ada modu ve hem de şebeke etkileşimli çalışan eviricinin çalışma durumları analiz edilmiş olup elde edilen benzetim sonuçları verilmiştir. Son olarak DA-barasında RG HGÜS ve batarya grubu bulunan ada mod ve şebeke etkileşimli akıllı evirici için farklı çalışma modları analiz edilmiş olup MATLAB/Simulink benzetimi yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında akıllı evirici için çalışma modları aşağıda sıralanmıştır.

- RG HGÜS'ün gücü yükün gücünden büyük ise fazla gücün bataryaya ve şebekeye aktarılmasıdır. Yükün bulunmaması durumunda da bu çalışma modu gerçekleştirilmektedir.
- RG HGÜS'ün gücü yükün gücünden küçük ise eksik gücün bataryadan ve şebekeden karşılanmasıdır.
- RG HGÜS devre dışı iken bataryanın şebekeden şarj edilmesidir.

RG HGÜS için önerilen akıllı evirici yukarıdaki çalışma durumlarını otomatik gerçekleştiren bir enerji yönetim algoritmasına sahiptir. Benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

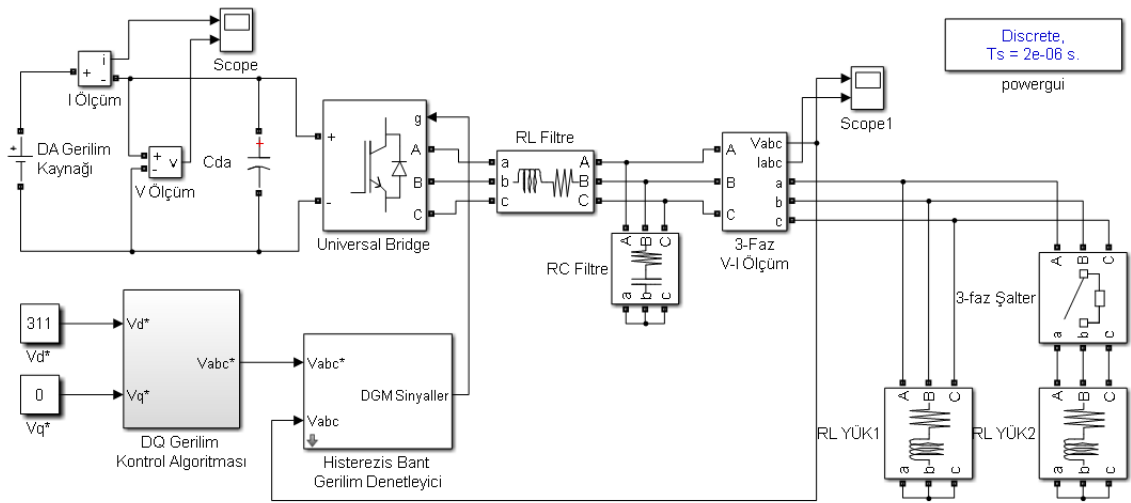
Çizelge 4.1. Benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler.

Parametre		Değişken	Değeri
Şebeke	Gerilimi	V_S	380 V
	Frekans	f_s	50 Hz
Evirici	Anahtarlama frekansı	f_{sw}	15 kHz
	Nominal güç	P_n	5 kW
	DA-bara gerilimi	V_{DA}	670 V
	DA-bara kondansatörü	C_{DA}	2200 μ F
	AA indüktans	L_F	3 mH
	RC Filtre	R_f, C_f	3 Ω , 50 μ F
Çift Yönlü Batarya Dönüştürücüsü	İndüktans	L	5 mH
	Kondansatör	C_1, C_2	10 μ F
Batarya	Gerilimi	V_B	240 V
	Kapasitesi	Ah	100 Ah

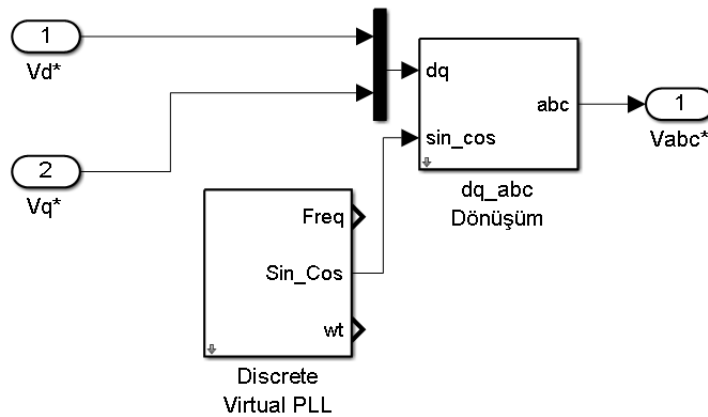
4.1. ADA MODU ÇALIŞMA DURUMU

Ada modu çalışmada evirici için gerilim kontrollü denetim yönetimi uygulanmaktadır. Bu çalışma durumuna ait sistemin MATLAB/Simulink blok diyagramı Şekil 4.2'de

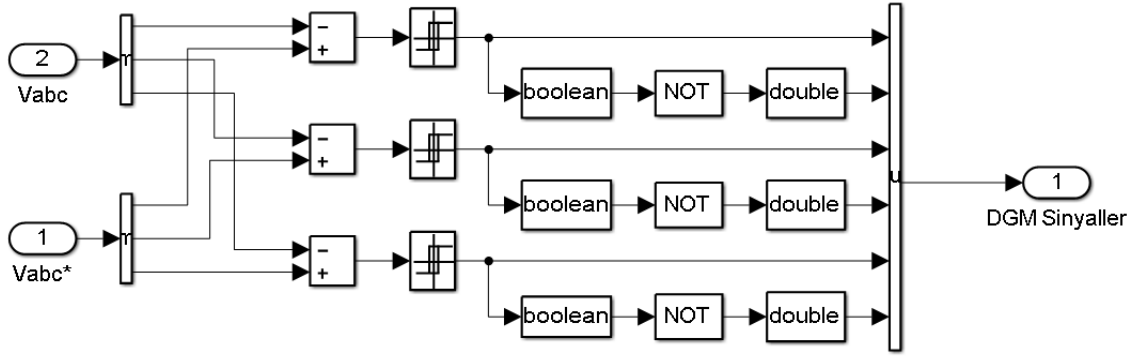
gösterilmiştir. Şekil 4.3’de ada modu çalışma durumunda dq senkron referans yapı tabanlı referans gerilim üretme yönteminin ve Şekil 4.4’de histerezis bant gerilim denetim DGM yönteminin blok diyagramı gösterilmektedir. Bu çalışma durumunda evirici çıkışındaki faz-nötr gerilimin etkin değerinin 220 V olması için referans gerilimin d -ekseni bileşeni V_d^* 311 V ve referans gerilim q -ekseni bileşeni V_q^* 0 V olarak belirlenmiştir. Histerezis bant gerilim denetim DGM yöntemi ile de eviricinin çıkış tarafından ölçülen 3-faz gerilimler referans gerilimleri takip edecek şekilde bant içinde hareket etmektedir.



Şekil 4.2. Ada modu çalışma durumuna ait sistemin genel blok diyagramı.

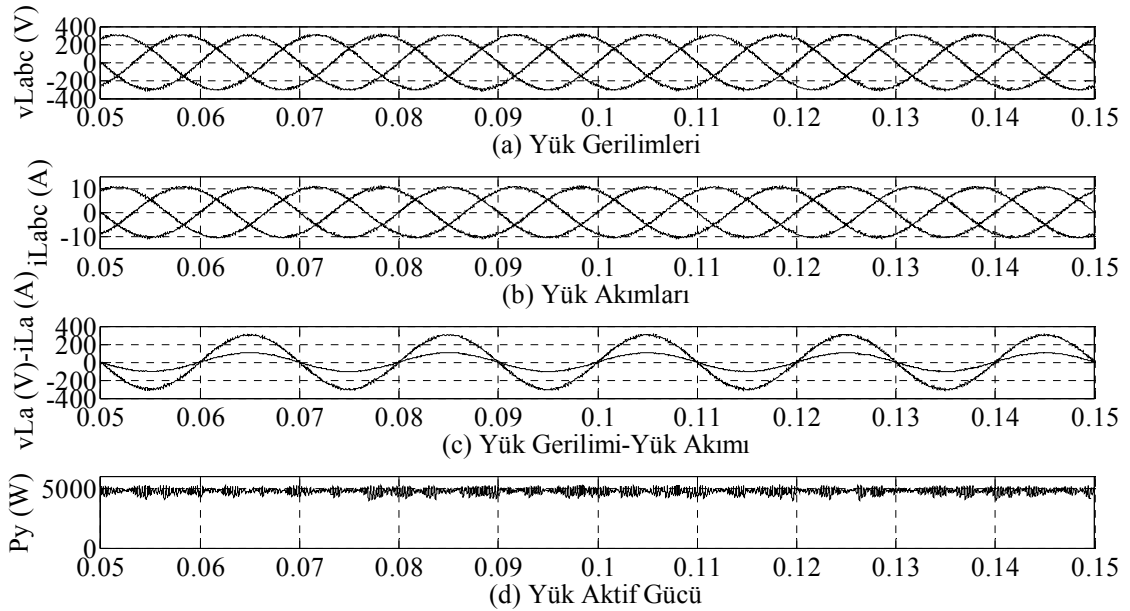


Şekil 4.3. Referans gerilim üretme yönteminin blok diyagramı.

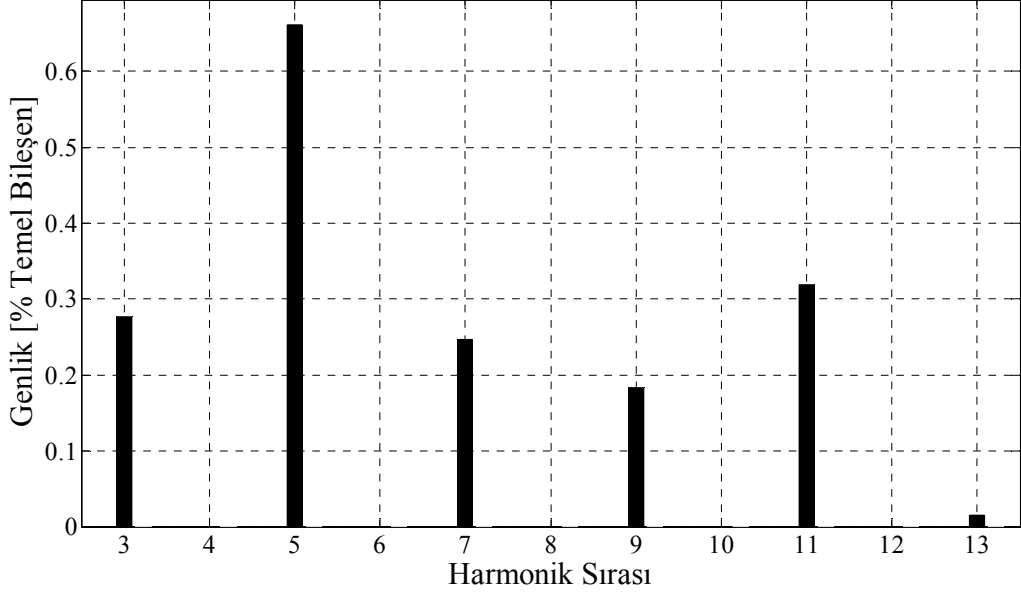


Şekil 4.4. Histerezis bant gerilim denetim DGM yönteminin blok diyagramı.

Eviricinin aktif yükü beslemesi durumunun test edilmesi için çıkış tarafına 5 kW'lık bir omik yük bağlanmıştır. Bu çalışma durumunda elde edilen benzetim sonuçları Şekil 4.5'de gösterilmektedir. Şekil 4.5(a)'daki yük uçlarındaki faz-nötr gerilimin etkin değeri 220 V ve Şekil 4.5(b)'deki yükün çektiği akımın etkin değeri 7,07 A'dır. Evirici omik yükü beslediği için Şekil 4.5(c)'de görüldüğü gibi yük uçlarındaki akım ve gerilim aynı fazdadır. Hat akımı ise %3,10 THB değerine sahip olup harmonik dağılımı Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

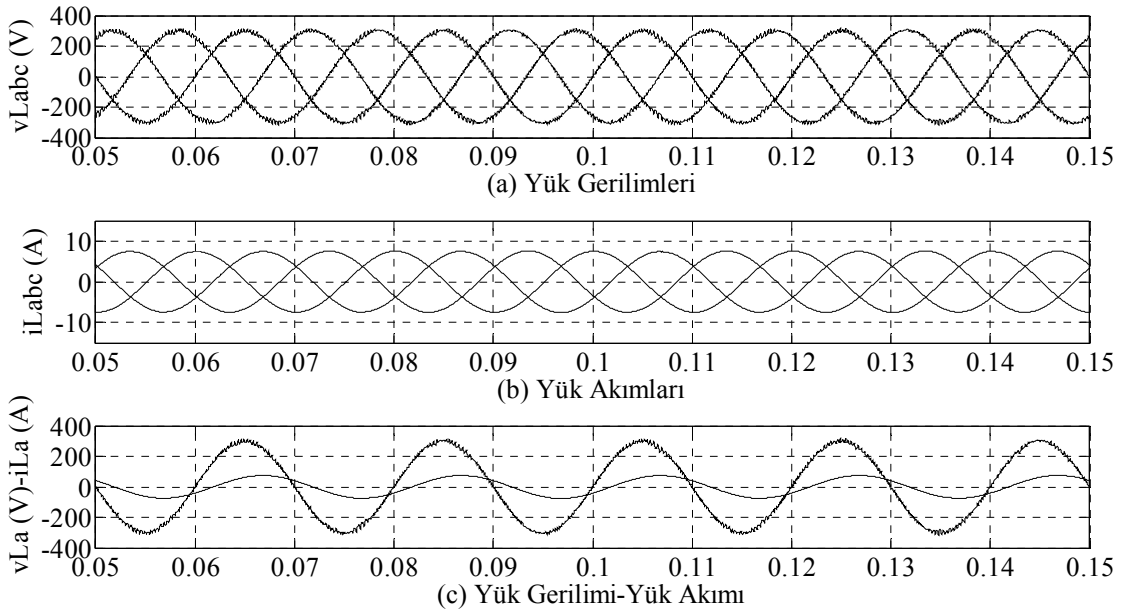


Şekil 4.5. Omik yük durumunda benzetim sonuçları.



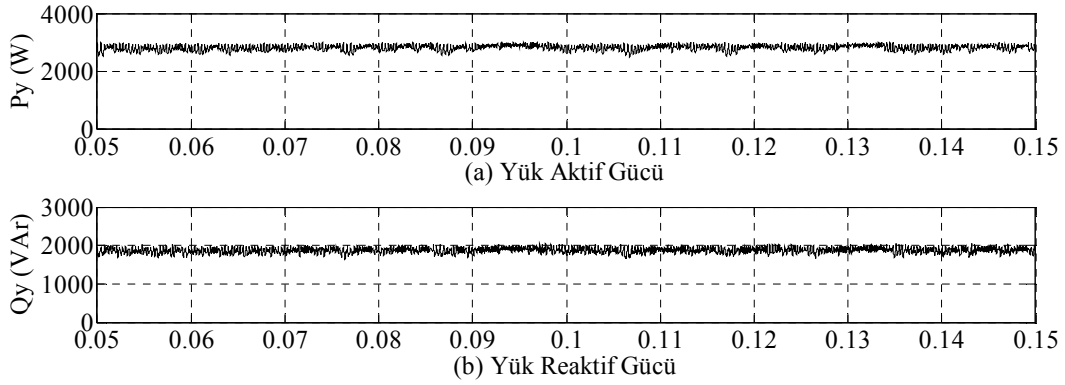
Şekil 4.6. Omik yük durumunda hat akımı harmonik dağılımı.

Eviricinin geri güç faktörlü yükü beslemesi durumunun test edilmesi için çıkış tarafına 3 kW'lık aktif güç ve 2 kVAR'lık reaktif güç çeken bir yük bağlanmıştır. Bu çalışma durumunda elde edilen benzetim sonuçları Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Şekil 4.7(a)'daki yük uçlarındaki faz-nötr gerilimin etkin değeri 220 V ve Şekil 4.7(b)'deki yükün çektiği akımın etkin değeri 5,49 A'dır.

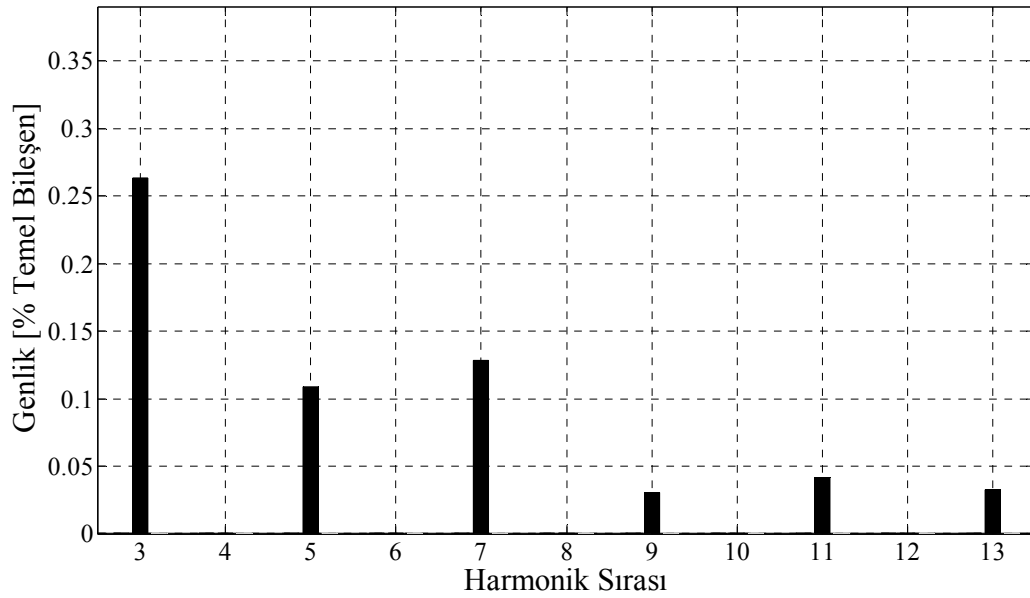


Şekil 4.7. Omik-endüktif yük durumunda benzetim sonuçları.

Evirici geri güç faktörlü yükü beslediği için Şekil 4.7(c)'de görüldüğü gibi yük uçlarındaki akım ve gerilim aynı fazda olmayıp Güç Faktörü (PF) değeri 0,83'dür. Şekil 4.8'de ise geri güç faktörlü yük durumunda aktif ve reaktif güçler gösterilmektedir. Hat akımı ise %0,52 THB değerine sahip olup harmonik dağılımı Şekil 4.9'da verilmektedir.



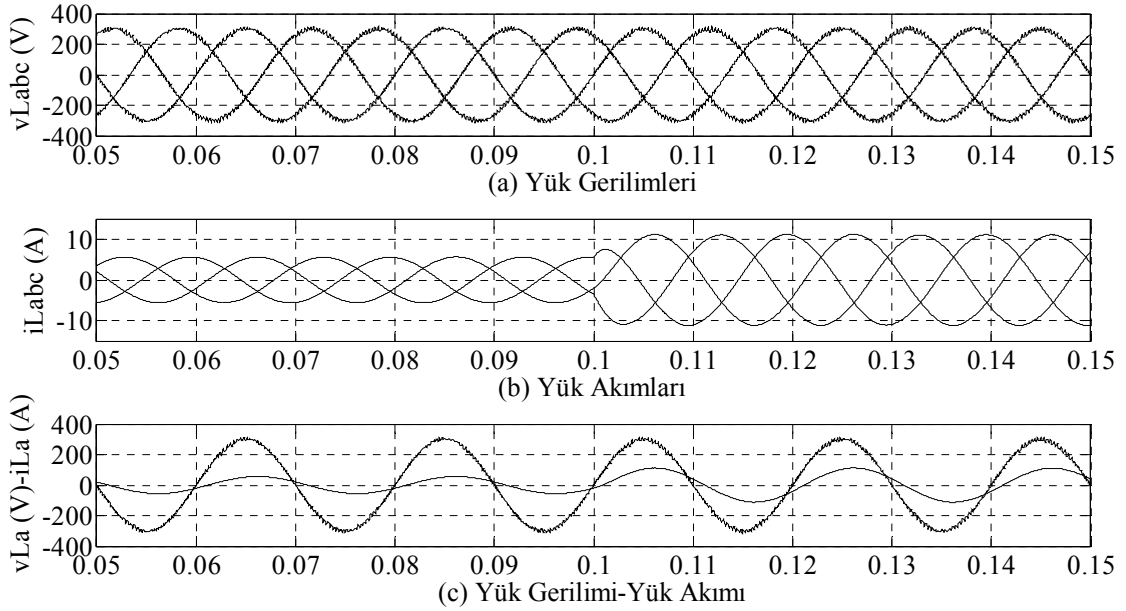
Şekil 4.8. Geri güç faktörlü yük durumunda aktif ve reaktif güçler.



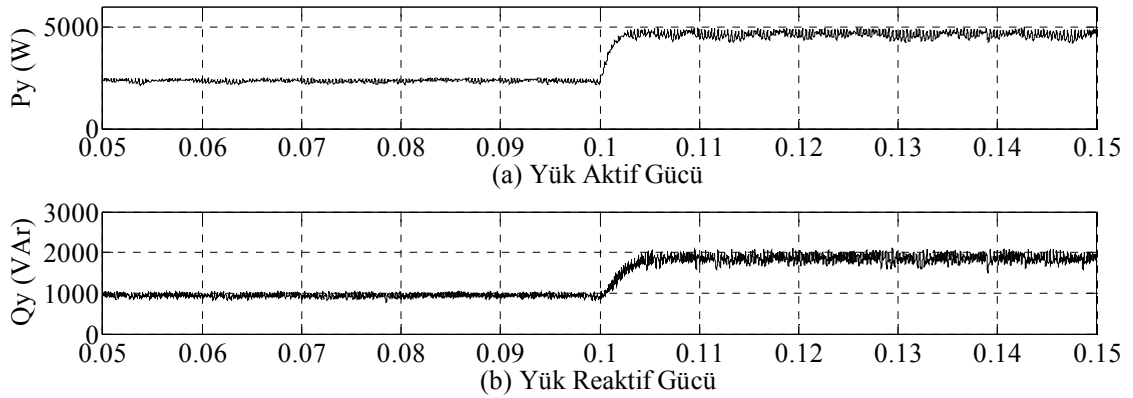
Şekil 4.9. Geri güç faktörlü yük durumunda hat akımı harmonik dağılımı.

Eviricinin geri güç faktörlü yükü beslemesi durumunda anlık yük değişiminin test edilmesi için çıkış tarafındaki yük 2,5 kW ve 2 kVAr iken 0.1'inci saniyede aynı aktif ve reaktif güce sahip olan ikinci bir geri güç faktörlü yük devreye alınmıştır. Bu çalışma durumunda elde edilen benzetim sonuçları Şekil 4.10'da verilmektedir. Şekil 4.10(a)'daki yük uçlarındaki faz-nötr gerilimin etkin değeri 220 V ve Şekil 4.10(b)'deki

yükün çektiği akımın etkin değeri 0,1 s öncesinde 4,1 A iken 0,1 s sonrasında 8,2 A'dır. Evirici geri güç faktörlü yükü beslediği için Şekil 4.10(c)'de verildiği gibi yük uçlarındaki akım ve gerilim aynı fazda olmayıp PF değeri 0,92'dir. Anlık yük değişimi durumunda aktif ve reaktif güçler Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Anlık yük değişimi durumunda benzetim sonuçları.

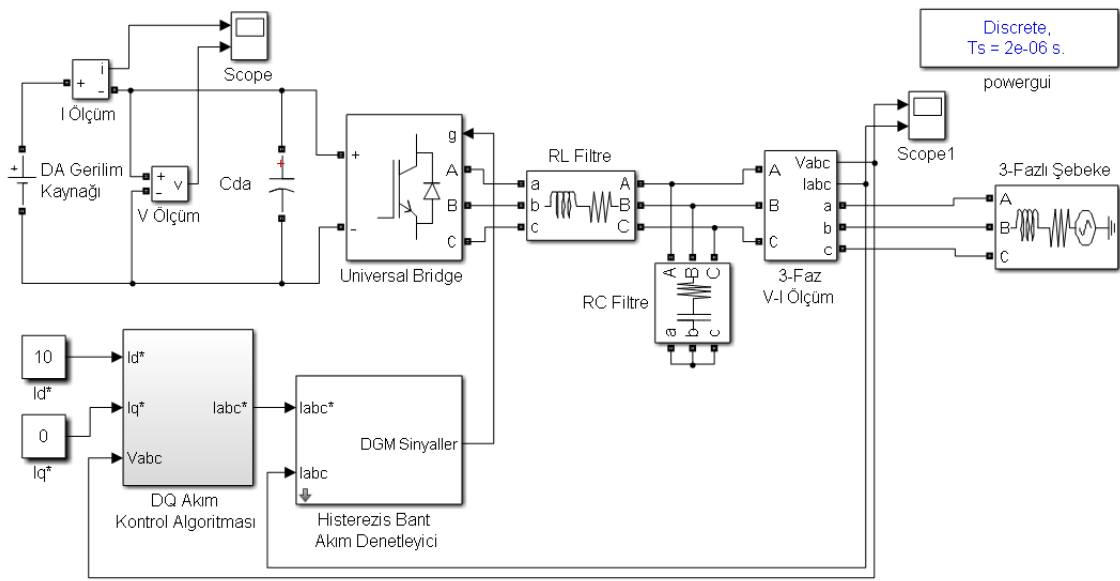


Şekil 4.11. Anlık yük değişimi durumunda aktif ve reaktif güçler.

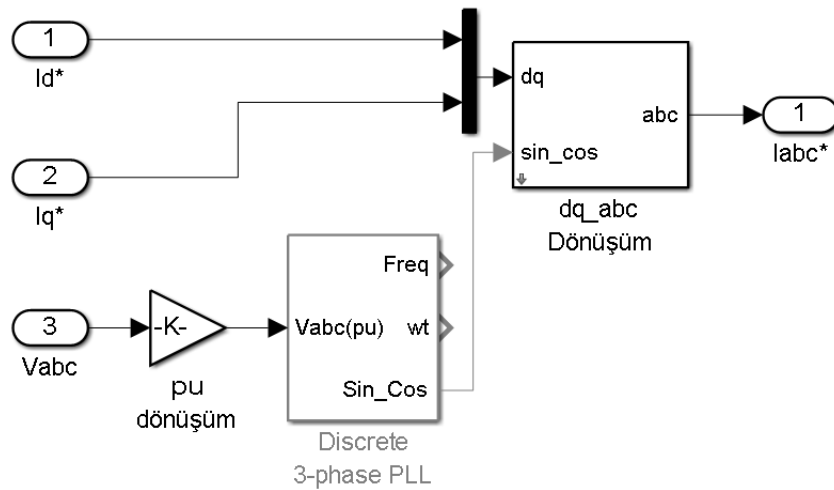
4.2. ŞEBEKE ETKİLEŞİMLİ ÇALIŞMA MODU

Şebeke etkileşimli çalışmada evirici için akım kontrollü denetim yönetimi uygulanmaktadır. Bu çalışma durumuna ait sistemin MATLAB/Simulink blok diyagramı Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Şebeke etkileşimli çalışmada dq senkron

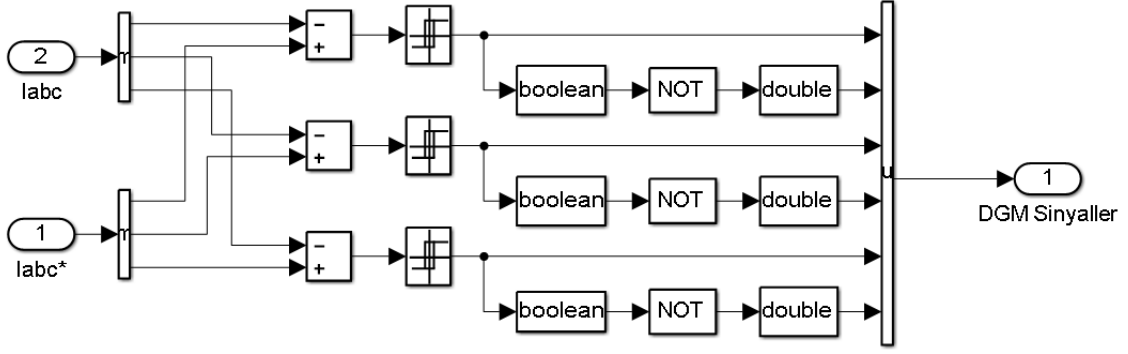
referans yapı tabanlı referans akım üretme yönteminin ve histerezis bant akım denetim DGM yönteminin blok diyagramı sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de gösterilmektedir. Şebekeye aktarılan akımın şebeke gerilimi ile aynı fazda olması için PLL bloğu kullanılmıştır. Bu çalışma durumunda evirici çıkışındaki hat akımının etkin değerinin 7,07 A olması için referans akımın d-ekseni bileşeni I_d^* 10 A olarak belirlenmiştir. Referans akımın q-ekseni bileşeni I_q^* 0 A olarak belirlenerek şebekeye reaktif güç aktarımı yapılmamaktadır. Histerezis bant akım denetim DGM yöntemi ile de eviricinin çıkış tarafından ölçülen 3-faz akımlar referans akımları takip edecek şekilde bant içinde hareket etmektedir.



Şekil 4.12. Şebeke etkileşimli çalışma durumuna ait sistemin genel blok diyagramı.

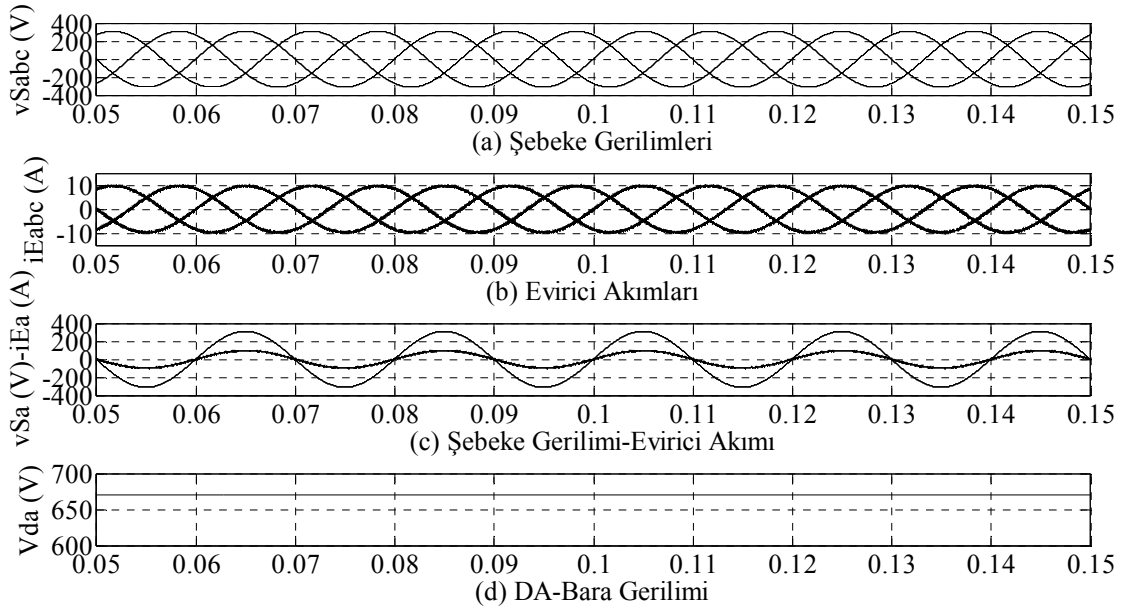


Şekil 4.13. Referans akım üretme yönteminin blok diyagramı.



Şekil 4.14. Referans akım üretme yönteminin blok diyagramı.

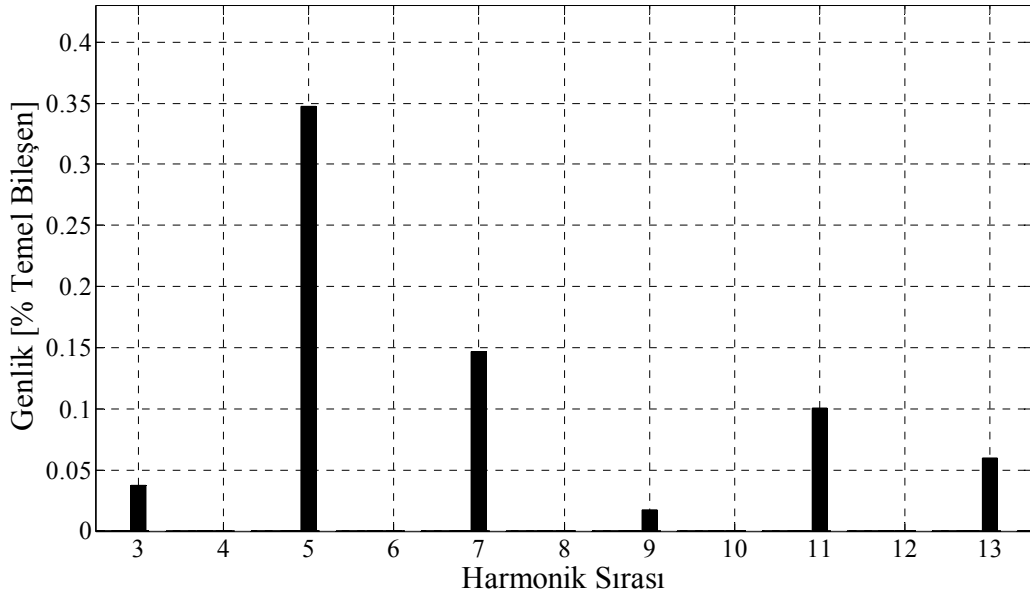
Şekil 4.15’de şebeke etkileşimli durumda benzetim sonuçları gösterilmektedir. Şekil 4.15(a)’daki şebeke faz-nötr geriliminin etkin değeri 220 V ve Şekil 4.15(b)’deki evirici çıkışında şebekeye aktarılan hat akımının etkin değeri 7,07 A’dır. Eviricinin şebekeye aktardığı akım ve gerilim aynı fazda olup Şekil 4.15(c)’de gösterilmektedir. Hat akımı ise %3,07 THB değerine sahip olup harmonik dağılımı Şekil 4.16’da gösterilmektedir.



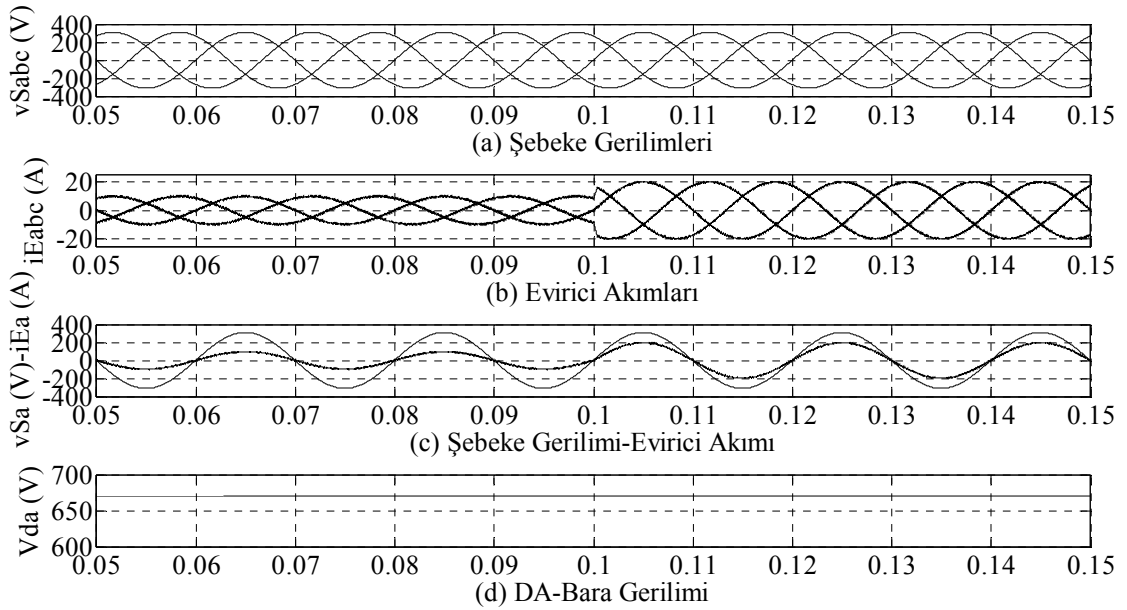
Şekil 4.15. Şebeke etkileşimli çalışma durumunda benzetim sonuçları.

Şebekeye aktarılan aktif gücün değerinin anlık olarak 0.1 s’de değiştirildiği durumdaki benzetim sonuçları Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Bu durumda referans akımın d-ekseni bileşeni değeri 0.1 s’de 10 A’dan 20 A’ya çıkarılmıştır. Şekil 4.17(b)’deki evirici çıkışında şebekeye aktarılan hat akımının etkin değeri 7,07 A’dan 14,14 A’ya

yükselmiştir. Anlık aktif güç değerinin yükselmesi durumunda da, eviricinin şebekeye aktardığı akım ve gerilim aynı fazda olup Şekil 4.15(c)'de gösterilmektedir.

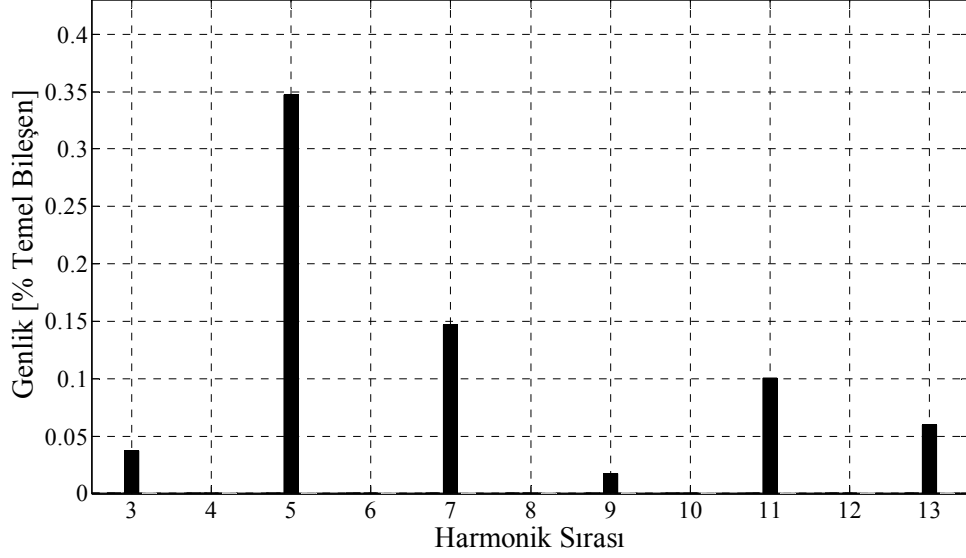


Şekil 4.16. Hat akımının harmonik dağılımı.



Şekil 4.17. Şebekeye aktarılan aktif gücün anlık değişimi.

Anlık aktif güç değerinin yükselmesi durumunda şebekeye aktarılan hat akımının THB değeri %1,51 olup harmonik dağılımı Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Ayrıca histeresis bant akım denetiminde sistem yüksek yükte çalışırken akım THB değerinin daha az olduğu görülmüştür.



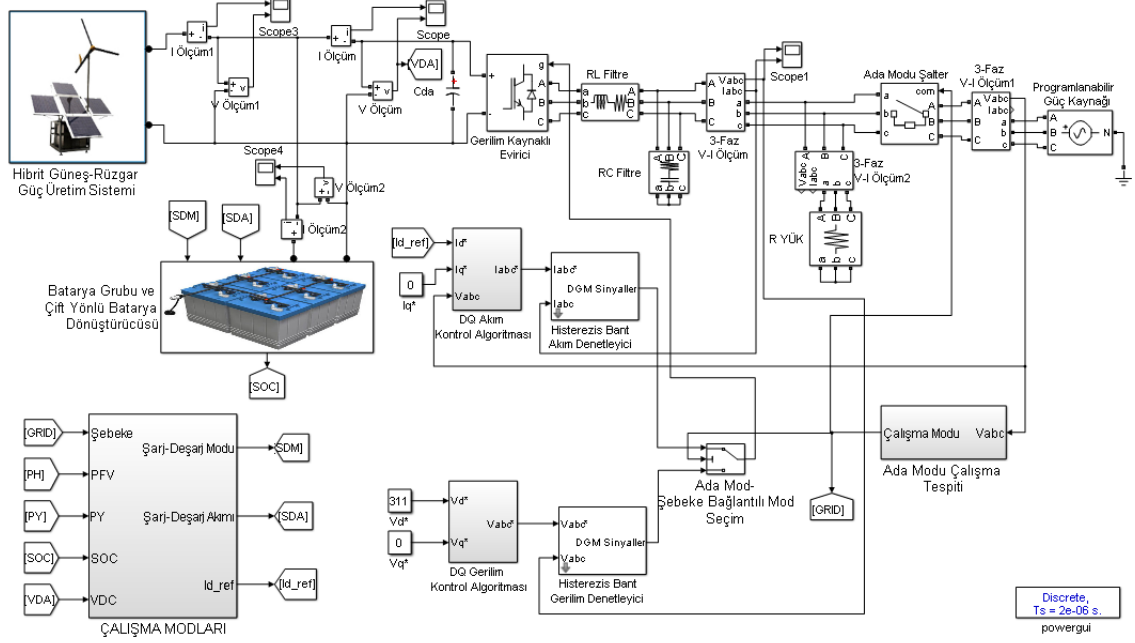
Şekil 4.18. Şebekeye aktarılan hat akımının harmonik dağılımı.

4.3. ADA MODU VE ŞEBEKE ETKİLEŞİMLİ ÇALIŞMA MODU

Bu bölümde şebekede güç kaybı yaşandığı durumda eviricinin ada modu ve şebeke etkileşimli çalışma modu için MATLAB/Simulink benzetimi yapılmıştır. En önemli durum şebeke ve evirici arasındaki güç değişiminin sifıra eşit olduğu durumdur. Yerel yük evirici için referans güce eşittir. Bu durumda basit pasif adalama tespiti olayların çoğunda çalışmayacaktır (NDZ). Eviricinin ada modu ve şebeke etkileşimli çalışmasına ait MATLAB/Simulink blok diyagramı Şekil 4.19’da gösterilmektedir.

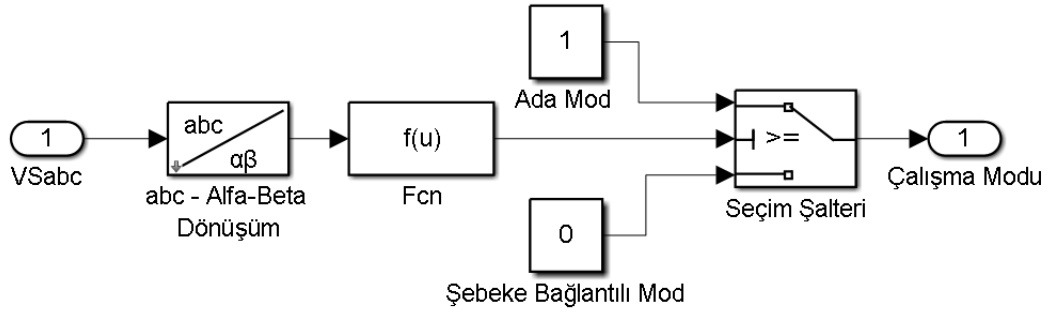
Şebeke etkileşimli çalışmada evirici için akım kontrollü, şebeke kesintisi durumunda yani ada modu çalışmada ise gerilim denetim yönetimi uygulanmaktadır. Şebeke kesintisi durumunda adalama tespit algoritması sayesinde şebeke bağlantılı moddan ada modu çalışmaya otomatik olarak geçiş yapılmaktadır. Şebeke tekrar geldiğinde ise tekrar şebeke bağlantılı moda geçilmektedir. Dolayısıyla yük her durumda kesintisiz olarak beslenebilmektedir. Bu çalışmada yükün omik ve dengeli olduğu varsayılarak benzetim yapılmıştır.

Adalama tespit algoritmasının blok diyagramı Şekil 4.20’de verilmiştir. Şebekenin kesilmesi durumunda oluşacak ada durumu düşük gerilim metodu ile algılanarak eviricinin şebeke bağlantılı moddan ada moduna geçiş yapması sağlanmaktadır. Aynı zamanda şebeke tarafındaki devre kesici şalter de devreyi kesmektedir.



Şekil 4.19. Ada modu ve şebeke etkileşimli çalışma durumuna ait blok diyagramı.

Evirici çalışmasına devam ederek yerel omik yükün beslenmesi sağlanmaktadır. Şebeke tekrar geldiğinde ise PLL ile şebeke senkronizasyonu sağlanarak ada moddan şebeke bağlantılı çalışmaya geçilmektedir.

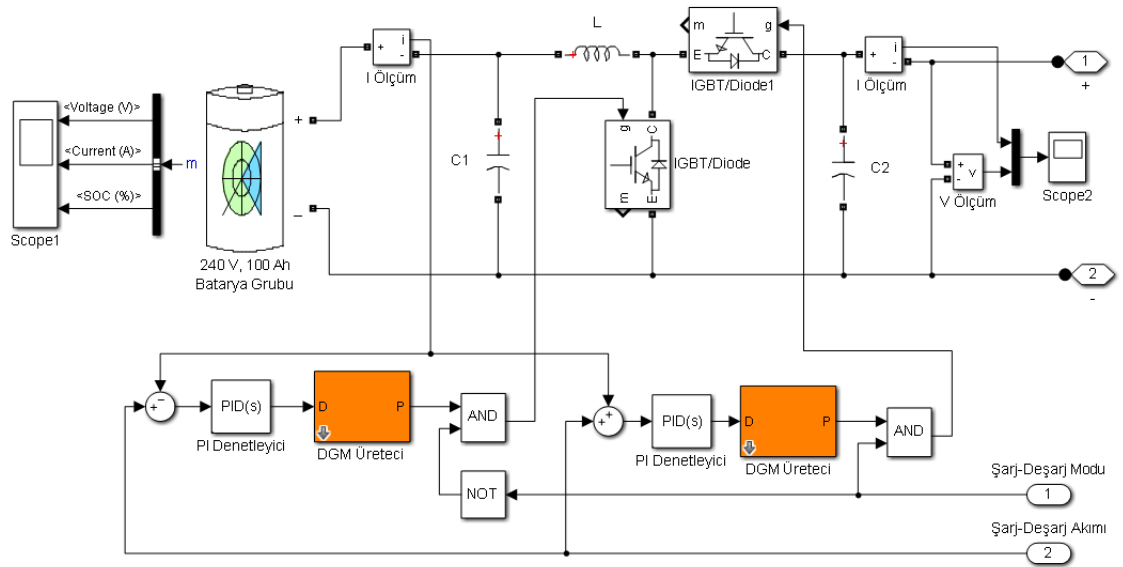


Şekil 4.20. Adalama tespit algoritmasının blok diyagramı.

Şekil 4.21'de çift yönlü batarya dönüştürücüsünün blok diyagramı gösterilmektedir. Çift yönlü batarya dönüştürücüsü ile enerji yönetim algoritması tarafından belirlenen çalışma durumlarına göre batarya şarj veyadeşarj edilmektedir. Batarya 240 V ve 100 Ah kapasitesinde olup şarj durumu (State of Charge, SOC) durumu izlenerek derindeşarj ve aşırı şarj olması önlenmektedir. SOC değeri %20'den küçük olduğundadeşarj, %95'den büyük olduğunda ise şarj işlemi durdurulmaktadır. Deşarj durumunda bataryadönüştürücüsü yükselten dönüştürücü olarak çalıştırılmakta olup bataryagerilimi

yükseltilecek evirici DA-barasına güç aktarımı yapılmaktadır. Şarj durumunda ise batarya dönüştürücüsü düşüren dönüştürücü olarak çalıştırılmakta olup evirici DA-bara gerilimi düşürülerek batarya şarj edilmektedir.

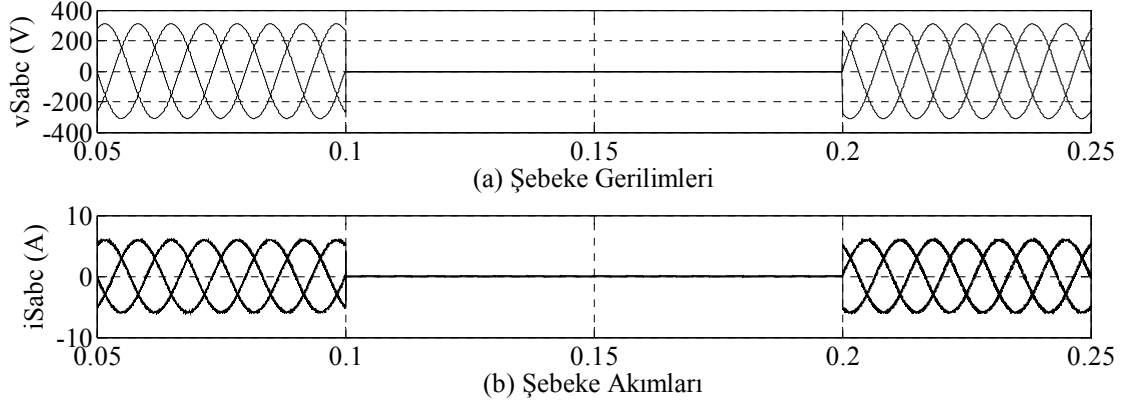
Bu çalışmada bataryanın şarj ve deşarj akımı 10 A ile sınırlandırılmıştır. Bu amaçla çift yönlü batarya dönüştürücüsünün PI tabanlı denetleyici ile ölçülen batarya akımının referans akım değerini takip etmesi sağlanmıştır.



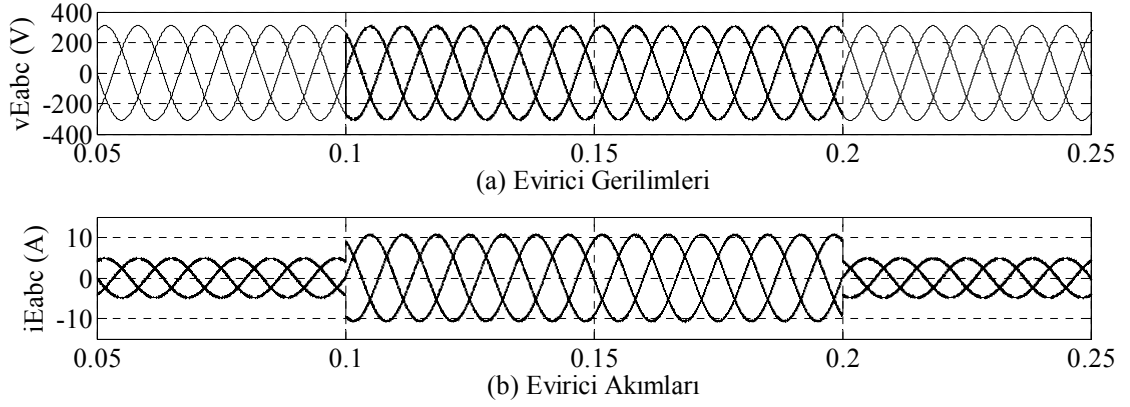
Şekil 4.21. Çift yönlü batarya dönüştürücüsüne ait blok diyagramı.

Şebeke kesintisi durumuna ait benzetim sonuçları sırasıyla Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de sunulmuştur. Şekil 4.22'de 0,1-0,2 s aralığında gerçekleşen şebeke kesintisi durumunda şebeke gerilimleri ve akımları gösterilmektedir. Şekil 4.23'de şebeke kesintisi durumunda evirici gerilimleri ve akımları verilmiştir. Evirici 0,1 s öncesinde akım kontrollü olarak çalışmakta olup referans akım değeri $I_d^* = 5$ A şebekeye aktarılmaktadır. Şebeke kesintisi olduğu durumda, 0,1-0,2 s aralığında şebeke tarafındaki devre kesici şalter açılır ve evirici otomatik olarak gerilim kontrollü çalışmaya geçmektedir. Bu durumda 5 kW olan yerel yük evirici üzerinden beslenir. Şebeke tekrar geldiğinde 0,2 s sonrasında şebeke tarafındaki devre kesici şalter kapanır ve evirici tekrar akım kontrollü olarak çalışır. Şekil 4.24'de şebeke kesintisi durumunda yük gerilimleri ve akımları gösterilmektedir. Benzetim sonuçlarından uygulanan adalama tespit şeması başarılı bir şekilde şebeke güç kesintisini tespit ettiği ve hızlı bir

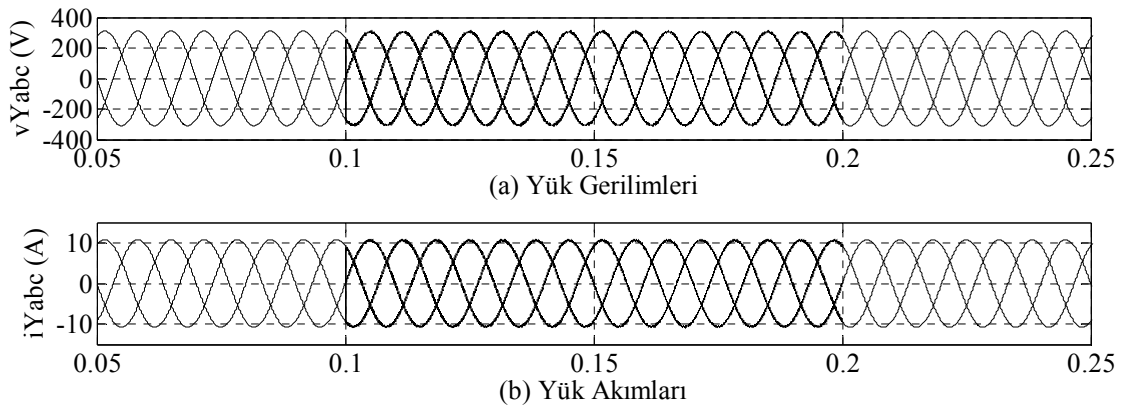
şekilde bir kontrol yönteminden diğerine geçiş yaptığı görülmektedir. Her iki durumda yük kesintisiz olarak beslenmiştir.



Şekil 4.22. Şebeke kesintisi durumunda şebeke gerilimleri ve akımları.



Şekil 4.23. Şebeke kesintisi durumunda evirici gerilimleri ve akımları.

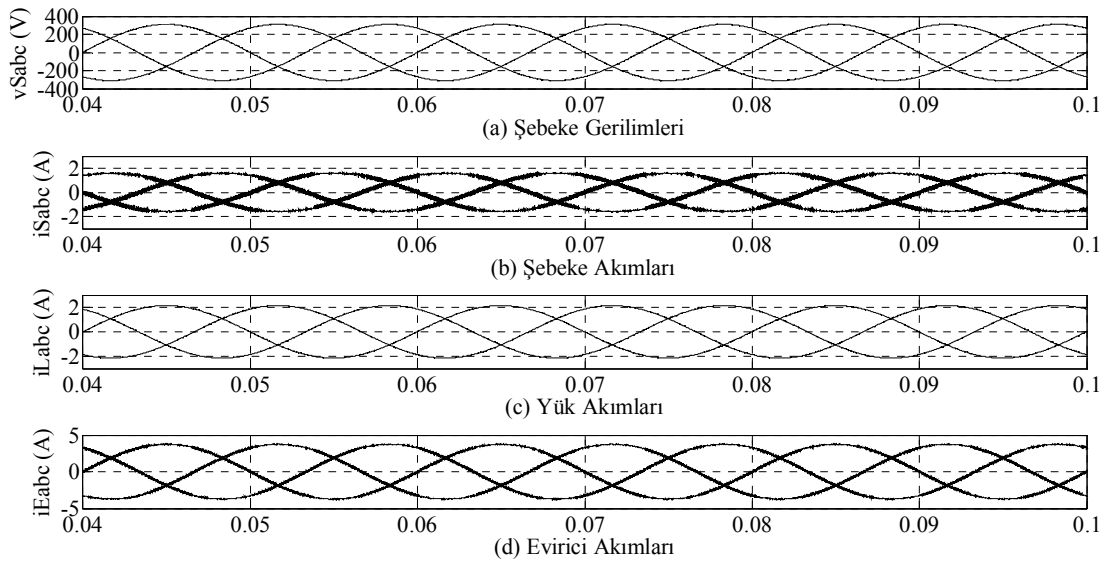


Şekil 4.24. Şebeke kesintisi durumunda yük gerilimleri ve akımları.

Aşağıdaki bölümlerde DA-barasında RG HGÜS ve batarya grubu bulunan ada mod ve şebeke etkileşimli akıllı evirici için farklı çalışma modları açıklanmıştır.

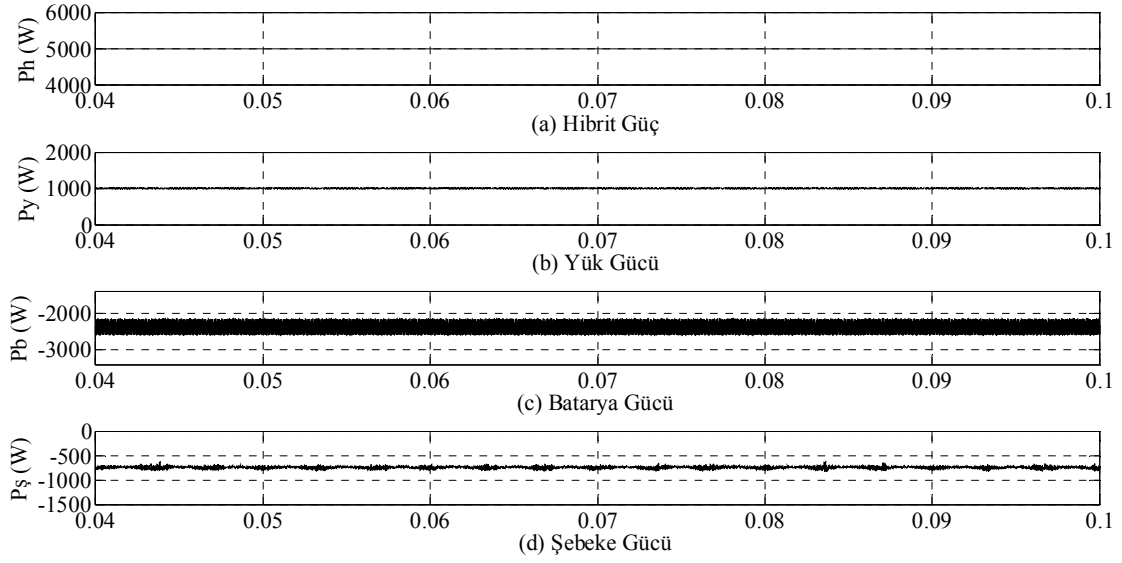
4.3.1. Akıllı Evirici Çalışma Modu 1

Şebeke etkileşimli çalışma koşulunda RG HGÜS'nin gücü yükün gücünden büyük ise öncelikle yük beslenmekte, fazla güç batarya grubuna ve şebekeye aktarılmaktadır. Yükün bulunmaması durumunda da üretilen güç batarya grubuna ve şebekeye aktarılmaktadır. Çalışma modu 1 için enerji yönetim koşulu, şebeke mevcut, $P_H > 0$, $P_H \geq P_Y$, batarya şarj durumu $SOC \leq \%95$ olarak belirlenmiştir. Bataryanın maksimum şarj akımı 10A'de sınırlandırılmıştır. Şekil 4.25'de şebeke gerilimleri, şebeke, yük ve evirici akımları gösterilmektedir. RG HGÜS, yük, batarya ve şebeke güçleri ise Şekil 4.26'da görülmektedir. Çizelge 4.2'de çalışma modu 1 için benzetim sonuçlarının özeti verilmiştir. Şekil 4.26(c)'de batarya gücü batarya şarj olduğu için ve Şekil 4.26(d)'de şebeke akımı şebekeye akım aktarıldığı için negatif olarak görülmektedir.

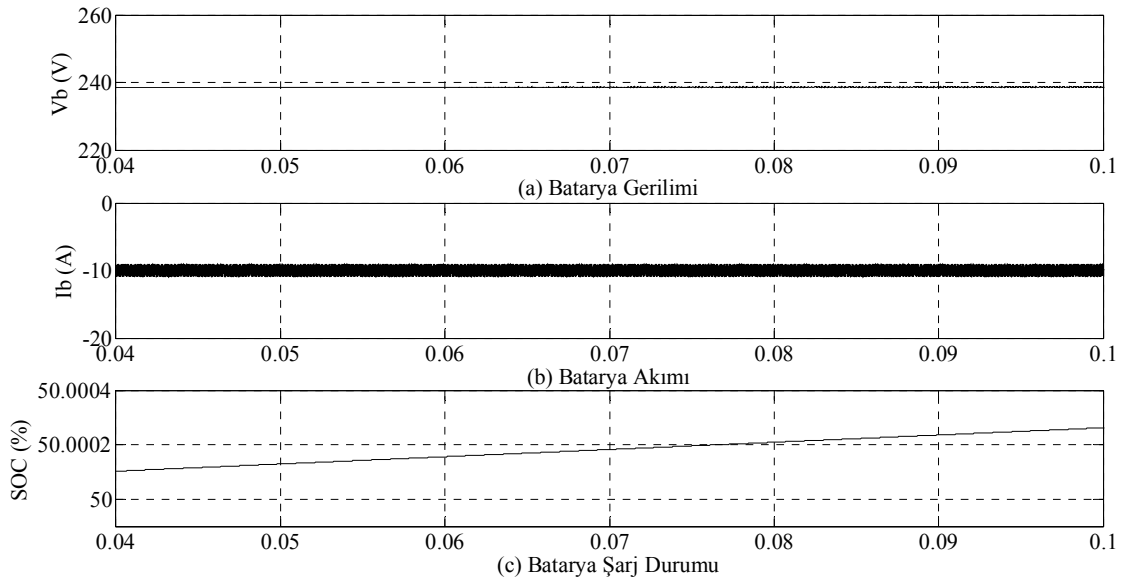


Şekil 4.25. Şebeke gerilimleri, şebeke, yük ve evirici akımları.

Şekil 4.27'de batarya gerilimi, akımı ve şarj durumu gösterilmiştir. Batarya maksimum sınır değer olan 10 A ile şarj edilmektedir. Şekil 4.27(c)'de batarya şarj olduğu için SOC değeri zamanla artmaktadır.

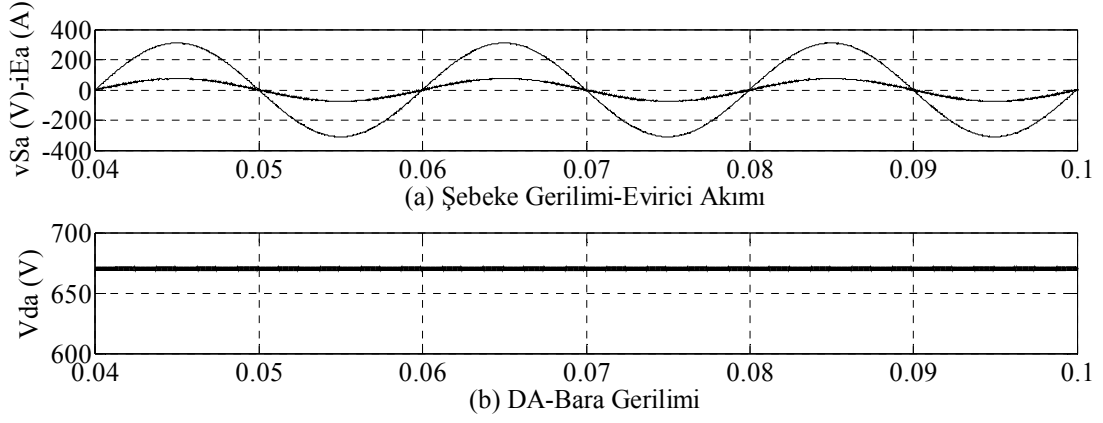


Şekil 4.26. RG HGÜS, yük, batarya ve şebeke gücü.



Şekil 4.27. Batarya gerilimi, akımı ve şarj durumu.

Şekil 4.28'de şebeke gerilimi-evirici akımı ve DA-bara gerilimi gösterilmiştir. Şekil 4.28(a)'da görüldüğü gibi şebeke gerilimi ile evirici akımı aynı fazda olduğundan birim güç faktörü sağlanmıştır. Şekil 4.28(b)'de evirici DA-bara geriliminin 670 V olduğu görülmüştür.

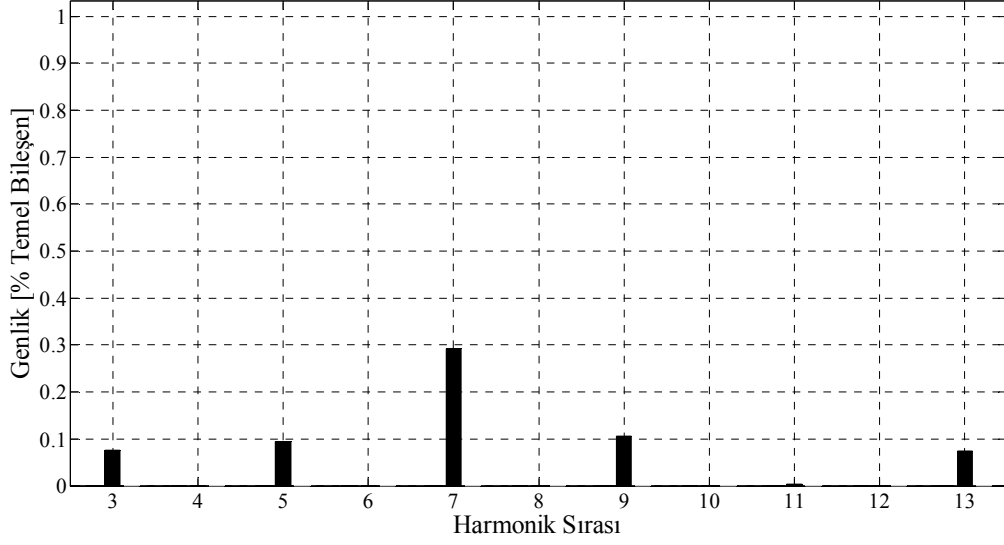


Şekil 4.28. Şebeke gerilimi-evirici akımı ve DA-bara gerilimi.

Çizelge 4.2. Akıllı evirici çalışma modu 1 benzetim sonuçları.

Parametreler		Değeri
RG HGÜS gücü	P_H	5 kW
Yük gücü	P_L	1 kW
Batarya gücü	P_B	2,39 kW
Şebeke gücü	P_S	0,85 kW
RG HGÜS akımı (DA)	I_H	7,46 A
Yük akımı (rms)	I_L	1,52 A
Evirici akımı (rms)	I_E	2,70 A
Şebeke akımı (rms)	I_S	1,35 A
Batarya evirici tarafı akımı (DA)	I_{BE}	3,58 A
DA-bara gerilimi	V_{DA}	670 V
DA-bara akımı	I_{DA}	3,88 A
Evirici akımı THB değeri	THB_I	% 3,46
Batarya gerilimi	V_B	240 V
Batarya akımı	I_B	10 A
Batarya ilk şarj durumu	SOC	%50

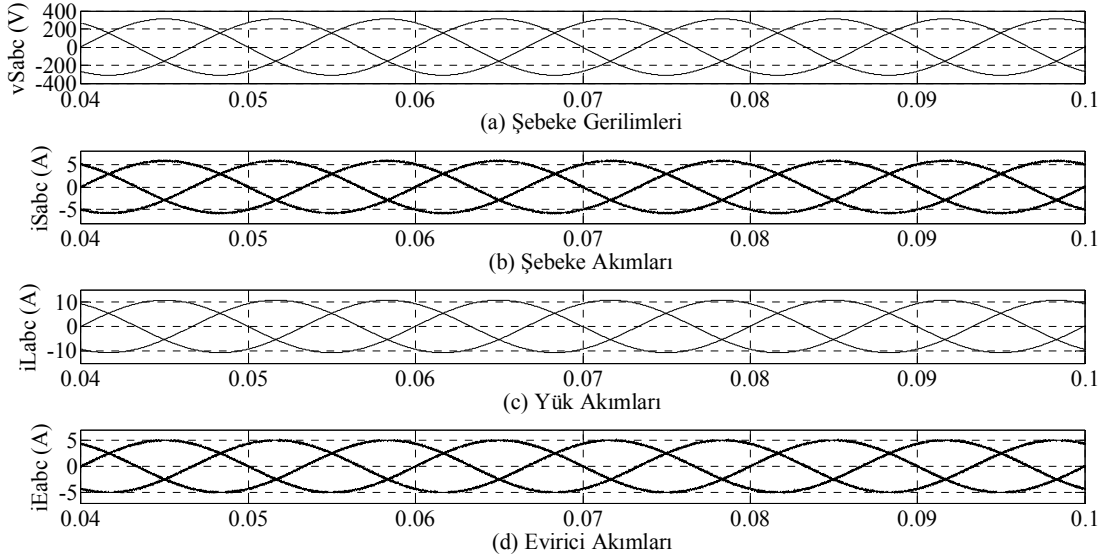
Şekil 4.29’da evirici a-fazı akımı harmonik dağılımı gösterilmiştir. Ayrıca evirici a-fazı akımı THDI değeri %3,46 olarak ölçülmüş olup bu değer IEEE-519 standardında belirtilen sınır değerinin altındadır.



Şekil 4.29. Evirici a-fazı akımı harmonik dağılımı.

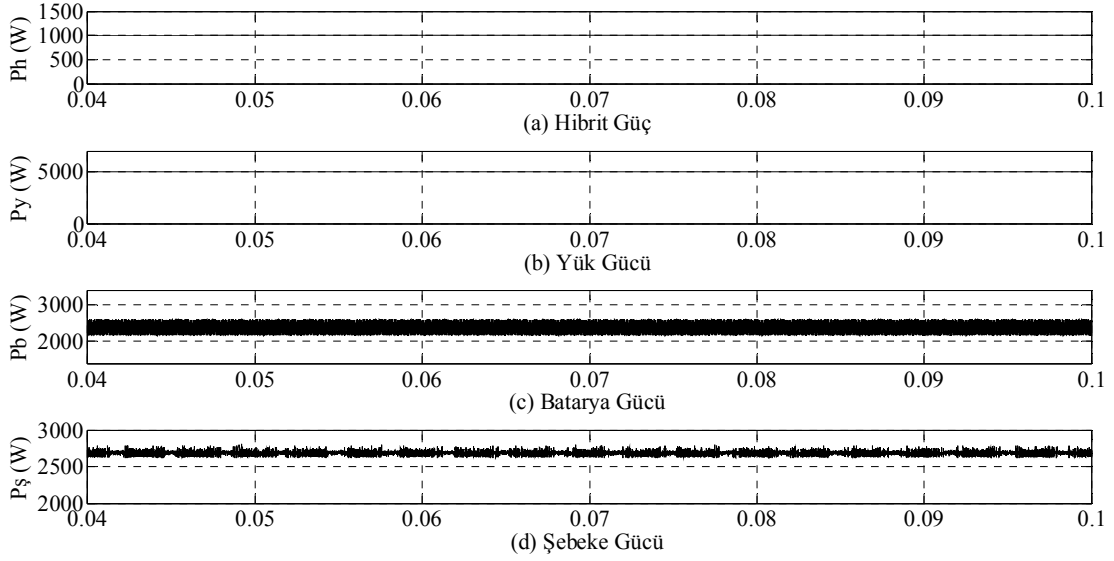
4.3.2. Akıllı Evirici Çalışma Modu 2

Şebeke etkileşimli çalışma koşulunda güneş-rüzgar hibrit güç üretim sisteminin gücü yükün gücünden küçük ise yükün beslenmesi için gerekli eksik güç, batarya grubundan ve şebekeden karşılanmaktadır. Çalışma modu 2 için enerji yönetim koşulu, şebeke mevcut, $P_H > 0$, $P_H < P_Y$, batarya şarj durumu $SOC \geq \%20$ olarak belirlenmiştir. Bataryanın maksimum deşarj akımı 10A'de sınırlandırılmıştır. Şekil 4.30'da şebeke gerilimleri, şebeke, yük ve evirici akımları gösterilmektedir.

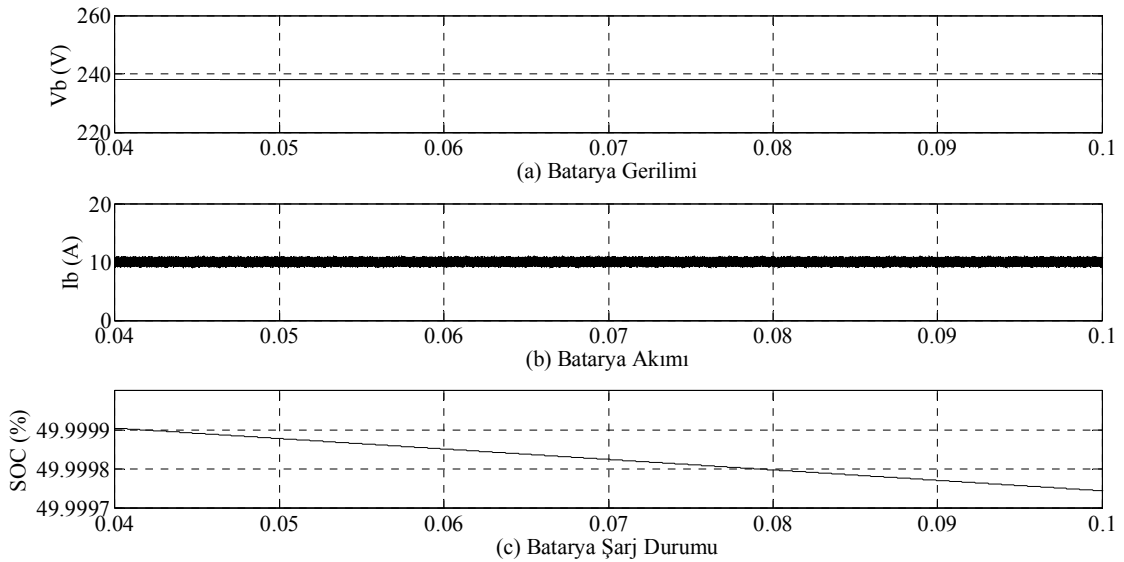


Şekil 4.30. Şebeke gerilimleri, şebeke, yük ve evirici akımları.

Hibrit, yük, batarya ve şebeke güçleri ise Şekil 4.31'de görülmektedir. Çizelge 4.3'de çalışma modu 2 için benzetim sonuçlarının özeti verilmiştir. Şekil 4.31(c)'de batarya gücü batarya deşarj olduğu için ve Şekil 4.31(d)'de şebeke akımı şebekeden akım çekildiği için pozitif olarak görülmektedir. Şekil 4.32'de batarya gerilimi, akımı ve şarj durumu gösterilmiştir. Batarya maksimum sınır değer olan 10 A ile deşarj edilmektedir. Şekil 4.32(c)'de batarya deşarj olduğu için SOC değeri zamanla azalmaktadır.

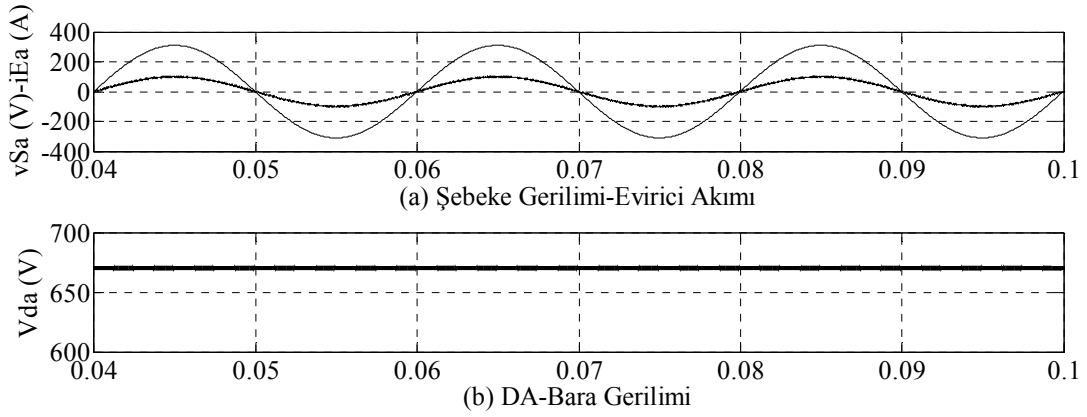


Şekil 4.31. RG HGÜS, yük, batarya ve şebeke gücü.



Şekil 4.32. Batarya gerilimi, akımı ve şarj durumu.

Şekil 4.33’de şebeke gerilimi-evirici akımı ve DA-bara gerilimi görülmektedir. Şekil 4.34(a)’da görüldüğü gibi şebeke gerilimi ile evirici akımı aynı fazda olduğundan birim güç faktörü sağlanmıştır. Şekil 4.34(b)’de evirici DA-bara geriliminin 670 V olduğu görülmüştür.

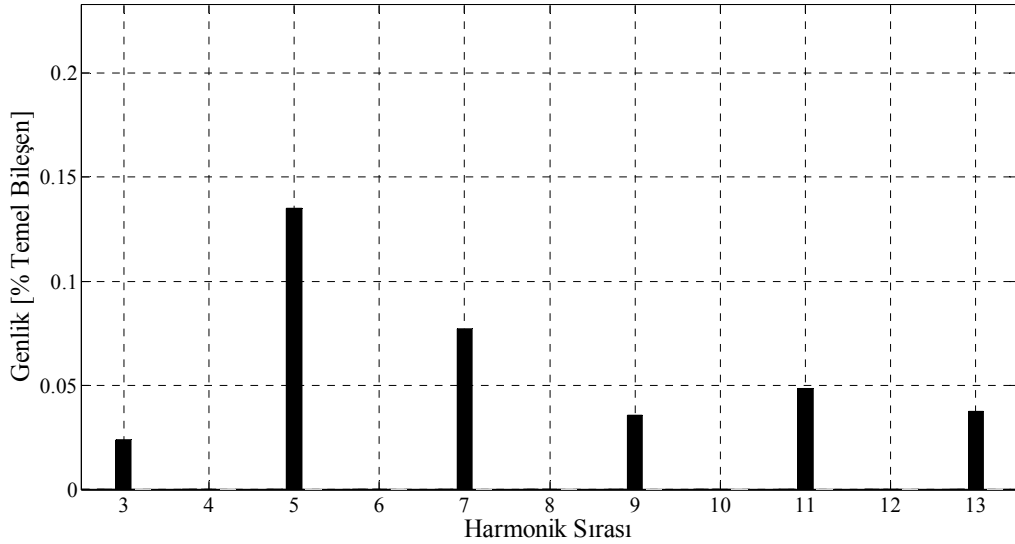


Şekil 4.33. Şebeke gerilimi-evirici akımı ve DA-bara gerilimi.

Çizelge 4.3. Akıllı evirici çalışma modu 2 benzetim sonuçları.

Parametreler		Değeri
RG HGÜS gücü	P_H	1 kW
Yük gücü	P_L	5 kW
Batarya gücü	P_B	2,39 kW
Şebeke gücü	P_S	2,3 kW
RG HGÜS akımı (DA)	I_H	1,5 A
Yük akımı (rms)	I_L	7,5 A
Evirici akımı (rms)	I_E	3,7 A
Şebeke akımı (rms)	I_S	3,81 A
Batarya evirici tarafı akımı (DA)	I_{BE}	3,58 A
DA-bara gerilimi	V_{DA}	670 V
DA-bara akımı	I_{DA}	5,3 A
Evirici akımı THB değeri	THB _I	%4,88
Batarya gerilimi	V_B	240 V
Batarya akımı	I_B	10 A
Batarya ilk şarj durumu	SOC	%50

Şekil 4.34’de evirici a-fazı akımı harmonik dağılımı gösterilmiştir. Ayrıca evirici a-fazı akımı THD_I değeri %4,88 olarak ölçülmüş olup IEEE-519 standardında belirtilen sınır değerinin altındadır.

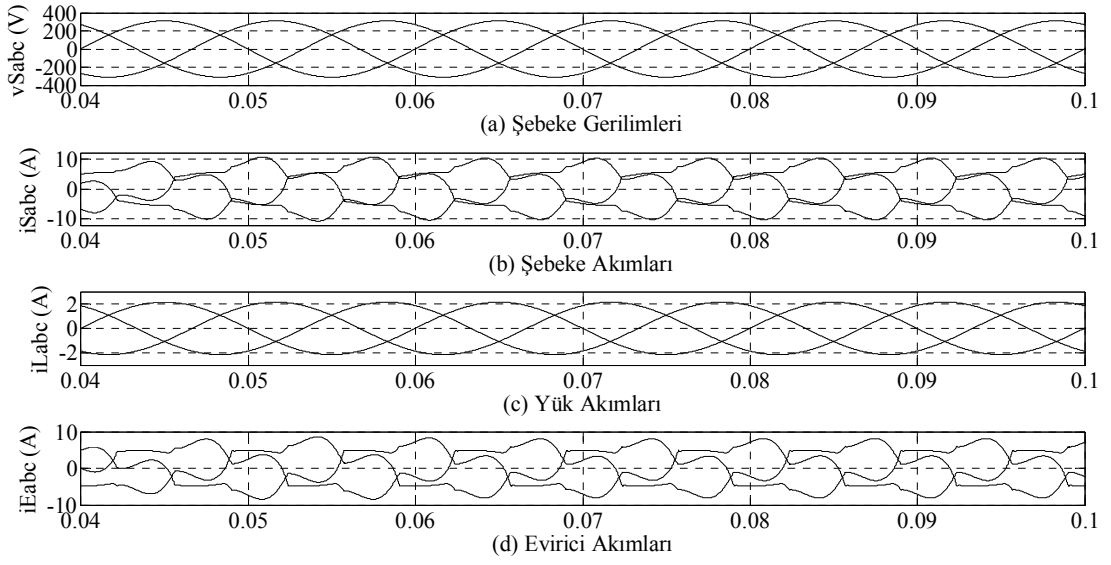


Şekil 4.34. Evirici a-fazı akımı harmonik dağılımı.

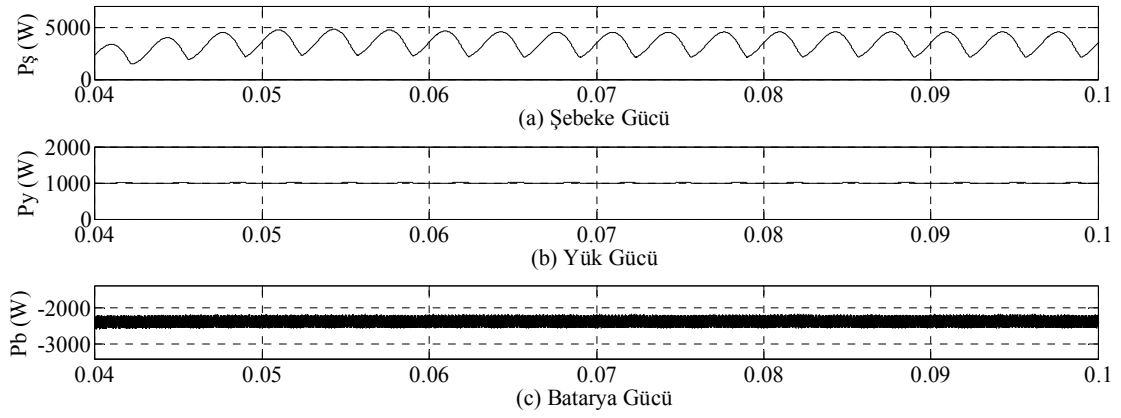
4.3.3. Akıllı Evirici Çalışma Modu 3

Şebeke etkileşimli çalışma koşulunda güneş-rüzgar hibrit güç üretim sistemi devre dışı iken batarya grubu şebekeden şarj edilmektedir. Çalışma modu 3 için enerji yönetim koşulu, şebeke mevcut, $P_H=0$, batarya şarj durumu $SOC \leq \%95$ olarak belirlenmiştir. Bataryanın maksimum şarj akımı 10 A’de sınırlandırılmıştır. Şekil 4.35’de şebeke gerilimleri, şebeke, yük ve evirici akımları gösterilmektedir. Şebeke, yük ve batarya güçleri ise Şekil 4.36’da görülmektedir. Çizelge 4.4’de çalışma modu 3 için benzetim sonuçlarının özeti verilmiştir. Şekil 4.36(c)’de batarya gücü batarya şarj olduğu için negatif olarak görülmektedir.

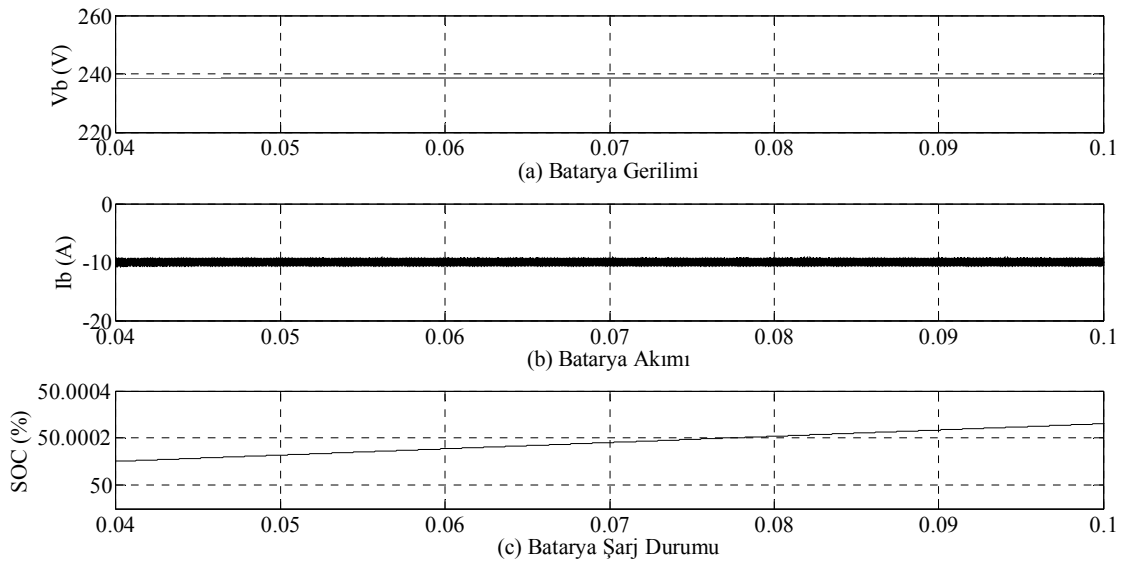
Şekil 4.37’de batarya gerilimi, akımı ve şarj durumu gösterilmiştir. Batarya maksimum sınır değer olan 10 A ile şarj edilmektedir. Şekil 4.37(c)’de batarya şarj olduğu için SOC değeri zamanla artmaktadır. Evirici DA-bara gerilimi 500 V olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.35. Şebeke gerilimleri, şebeke, yük ve evirici akımları.



Şekil 4.36. Şebeke, yük ve batarya gücü.



Şekil 4.37. Batarya gerilimi, akımı ve şarj durumu.

Çizelge 4.4. Akıllı evirici çalışma modu 3 benzetim sonuçları.

Parametreler		Değeri
Yük gücü	P_L	1 kW
Batarya gücü	P_B	2,35 kW
Şebeke gücü	P_S	3,4 kW
Yük akımı (rms)	I_L	1,52 A
Şebeke akımı (rms)	I_S	5,24 A
DA-bara gerilimi	V_{DA}	500 V
DA-bara akımı	I_{DA}	4,76 A
Batarya gerilimi	V_B	240 V
Batarya akımı	I_B	10 A
Batarya ilk şarj durumu	SOC	%50

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması 3-fazlı şebekeye bağlı ada modlu ve şebeke etkileşimli çalışabilen akıllı eviricinin analizi, denetimi ve MATLAB/Simulink benzetimini içermektedir. Hibrit güç üretim sisteminde güneş ve rüzgâr yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Evirici farklı çalışma durumlarını otomatik gerçekleştiren ve şebeke senkronizasyonu sağlayabilen bir enerji yönetim algoritmasına sahip olup daha çok düşük güçlü uygulamalara yönelik olarak tasarlanmıştır.

RG HGÜS için 3-fazlı ada modu ve şebeke etkileşimli akıllı eviricinin MATLAB/Simulink modeli oluşturulmuş ve akıllı evirici çalışma durumları için benzetim sonuçları sunulmuştur. Akıllı evirici çalışma durumları; Şebeke bağlantılı çalışma durumları olarak RG HGÜS'ün gücü yükün gücünden büyük ise fazla gücün bataryaya ve şebekeye aktarılması, RG HGÜS'ün gücü yükün gücünden küçük ise eksik gücün bataryadan ve şebekeden karşılanması, RG HGÜS devre dışı iken bataryanın şebekeden şarj edilmesidir.

MATLAB/Simulink benzetim sonuçlarından GKE çıkış akımının sinüzoidal dalga şeklinde ve şebeke gerilimi ile aynı fazda olduğu, akım harmoniklerinin de IEEE 519 standardında belirtilen %5 sınır değerinin altında olduğu görülmüştür.

İleriki çalışmalarda akıllı evirici yapısı için farklı akım, gerilim kontrol ve farklı DGM yöntemleri incelenebilir. Ayrıca evirici yapısında 2-seviyeli GKE yerine çok seviyeli GKE kullanılarak verim artışı sağlanabilir. Batarya grubuna paralel olarak ultra-kapasitör bağlanarak batarya grubunun şarj deşarj durumu optimize edilebilir. Çift yönlü batarya dönüştürücüsü için modern kontrol teknikleri kullanılarak güç aktarımı performansı iyileştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Kethani A., Marwali M., *Smart Power Grids*, Springer, (2011).
- [2] Anonim, <http://www.microgrids.eu/index.php> (Eriřim Tarihi: 15 Eylöl 2015).
- [3] Dađ B., Aydemir T.M., Nadar A., Yerleřim bölgeleri için evirici arayözölü hibrid yenilenebilir enerji kaynaklari içeren bir mikro ađ felsefesi, *II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi, ETUK 2011*, (2011) 296-302.
- [4] Anonim, <http://www.microgrids.eu/micro2000/presentations/19.pdf> (Eriřim Tarihi: 10 Ađustos 2015).
- [5] Barton J.P., Infield D.G., Energy storage and its use with intermittent renewable energy, *IEEE Trans. Energy Convers*, 19 (2), (2004) 441-448.
- [6] Connolly D., A review of energy storage technologies for the integration of fluctuating renewable energy, *Ph.D Dissertation*, University of Limerick, (2009).
- [7] Alamri, B.R., Alamri, A.R., Technical review of energy storage technologies when integrated with intermittent renewable energy, *International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, SUPERGEN*, (2009) 1-5.
- [8] Yeleti S., Yong Fu, Impacts of energy storage on the future power system, *North American Power Symposium (NAPS)*, (2010) 1-7.
- [9] Wade N.S., Taylor P.C., Lang P.D., Jones P.R., Evaluating the benefits of an electrical energy storage system in a future smart grid, *Energy Policy*, 38 (11) (2010) 7180-7188.
- [10] Roberts B.P., Sandberg C., The role of energy storage in development of smart grids, *Proceedings of the IEEE*, 99, (6), (2011) 1139-1144.
- [11] Molina M.G., Distributed energy storage systems for applications in future smart grids, *Sixth IEEE/PES Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition*, (2012) 1-7.
- [12] Wei Z., Garrett D., Butkowski J., Yang W., Overview of distributive energy storage systems for residential communities, *IEEE Energytech*, (2012) 1-6.

- [13] Tan X., Li Q., Wang H., Advances and trends of energy storage technology in Microgrid, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 44 (1), (2013) 79-191.
- [14] Baoquan L., Fang Z., Xianwen B., Control method of the transient compensation process of a hybrid energy storage system based on battery and ultra-capacitor in micro-grid, *21st IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, (2012) 28-31.
- [15] Liu B., Zhuo F., Bao X., Fuzzy control for hybrid energy storage system based on battery and ultra-capacitor in micro-grid, *7th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC)*, 2 (2012) 778-782.
- [16] Zhou H., Bhattacharya T., Tran D., Siew T.S.T., Khambadkone A.M., Composite energy storage system involving battery and ultracapacitor with dynamic energy management in microgrid applications, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26 (3) (2011) 923-930.
- [17] Singo T.A., Martinez A., Saadate S, Design and implementation of a photovoltaic system using hybrid energy storage, *11th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment*, (2008) 389-394.
- [18] Singo T.A., Martinez A., Saadate S., Rael S., An optimized photovoltaic system using an effective energy conversion, *8th International Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems*, (2009) 376-381.
- [19] Habib M.A, Said, S.A.M. El-Hadidy, M.A. I. Al-Zaharna, Optimization procedure of a hybrid photovoltaic wind energy system, *Energy*, 24 (1999), 919-929.
- [20] Hans George Bayer, Christian Langer, A method for the identification of configurations of PV/wind hybrid systems for the reliable supply of small loads, *Solar Energy*, 57 (5), (1996) 3381-3911.
- [21] Liu F.C., Liu J.J., Zhou L.Y., A novel control strategy for hybrid energy storage system to relieve battery stress, *2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, (2010) 929-934.
- [22] Han X.J., Chen F., Cui X.W., Li Y., Li X.J., A power smoothing control strategy and optimized allocation of battery capacity based on hybrid storage energy technology, *Energies*, 5(5) (2012) 1593-1612.

- [23] Engler, A. Control of parallel operating battery inverters, *PV Hybrid Power Syst.*, (2000).
- [24] Engler A., Osika O., Barnes M., Jenkins N., Arulampalam A., Large scale integration of micro-generation to low voltage grids, *Microgrids Project DB1:Local Microsource Controller Strategies and Algorithms*, (2004).
- [25] Mohd A., Ortjohann E., Sinsukthavorn W., Lingemann M., Hamsic N., Morton D., Supervisory control and energy management of an Inverter-based Modular Smart Grid, *Power Systems Conference and Exposition, PSCE'09*. (2009) 1-6.
- [26] 1547.1 IEEE standard conformance test procedures for equipment interconnecting distributed resources with electric power systems, *IEEE Std. 1547.1-2005*, (2005).
- [27] IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems, *IEEE Std 519-1992*, (1993).
- [28] Teodorescu R., Liserre M., and Rodriguez P., *Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems*, John Wiley and Sons, (2011).
- [29] Yazdani A., and Iravani R., *Voltage-Sourced Converters in Power Systems: Modeling, Control, and Applications*, John Wiley and Sons, (2010) 451.
- [30] Teodorescu R. and Blaabjerg F., Flexible control of small wind turbines with grid failure detection operating in stand-alone and grid-connected mode, *IEEE Transactions on Power Electronics* 19 (5) (2004) 1323-1332.
- [31] Blaabjerg F., Teodorescu R., Liserre M., and Timbus A.V., Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 53(5) (2006) 1398-1409.
- [32] Jian W., Xing-yuan L., Xiao-yan Q., Power system research on distributed generation penetration, *Automation of Electric Power Systems*, 29(24) (2005) 90-97.
- [33] IEA International Energy Agency, Evaluation of islanding detection methods for photovoltaic utility interactive power systems, *Task V Report*, (2002).
- [34] D. Velasco, et al., Review of anti-islanding techniques in distributed generators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (6), (2010) 1608-1614.

- [35] Xuancai Z., et al., Analysis of the non-detection zone with passive islanding detection methods for current control DG system, *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, (2009).
- [36] Liserre M., Blaabjerg F., Teodorescu R., Grid impedance estimation via excitation of LCL-filter resonance, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 43(5) (2007) 1401-1407.
- [37] M. Ciobotaru, R. Teodorescu, P. Rodriguez, Online grid impedance estimation for single-phase grid-connected systems using PQ variations, *Power Electronics Specialists Conference*, pp: 2306-2312, (2007).
- [38] Bayrak G, Cebeci M., Şebeke bağlantılı PV güç sistemlerinde ada modlu çalışma (ADMÇ) ve tespit yöntemleri, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2013*, (2013).
- [39] Woyte A., De Brabandere K., Dommelen D. Van, Belmans R., and Nijs J., International harmonization of grid connection guidelines: adequate requirements for the prevention of unintentional islanding, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 11(6) (2003) 407-424.
- [40] Xu W., Mauch K., and Martel S., An assessment of distributed generation islanding detection methods and issues for Canada, *CANMET Energy Technology Centre-Varennnes*, (2004).
- [41] Velasco D., et al., Review of anti-islanding techniques in distributed generators, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(6) (2010) 1608-1614.
- [42] Xuancai Z., et al., Analysis of the non-detection zone with passive islanding detection methods for current control DG system, *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, (2009).
- [43] Reznik A., Analysis and design of a smart-inverter for renewable energy interconnection to the grid, Colorado School of Mines, *MSc Thesis in Electrical Engineering*, (2013).
- [44] Meersman B., De Kooning J., Vandoorn T., Degroote L., Renders B., and Vandeveldel L., Overview of PLL methods for distributed generation units, *Energy*, (2010).
- [45] Bose B. K., *Modern Power Electronics and AC Drives*, Prentice Hall, (2001) 736.

- [46] Park R. H., Two-reaction theory of synchronous machines generalized method of analysis-part I, *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, 48, (3), **(1929)** 716-727.
- [47] Park R. H., Two-reaction theory of synchronous machines-II, *Transaction of the American Institute of Electrical Engineers*, 52(2), **(1933)** 352-354.
- [48] Torrey D. A. and Sozer Y., Control of utility interactive inverters, *Advanced Energy Conversion, LLC*, **(2006)** 1-13.
- [49] Ye Z., Walling R., Miller N., Du P., Nelson K., Li L., Zhou R., Garces L., General M. D., Corporate E., and York N., Reliable, low-cost distributed generator utility system interconnect, *NREL/SR-560-38017*, **(2006)**.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ŞAN Ender Sinan
Uyruğu : TC
Doğum tarihi ve yeri : 1976 KARASU
Telefon : 0 (506) 359 65 71
E-posta : endersinan@gmail.com

Eğitim

Derece Eğitim Birimi Mezuniyet tarihi

Yüksek Lisans : Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Lisans : Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2002-2015	SAKARYA	ÖĞRETMEN

Yayımlar

1. Tutkun N, San E.S., Optimal power scheduling of an off-grid renewable hybrid system used for heating and lighting in a typical residential house, *13th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)* (2013).