T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROŞEBEKE GERİLİM YAPISINA UYGUN 3 FAZLI İNVERTERİN LABVIEW İLE KONTROL EDİLMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ

CİHAT AKTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK MAKİNALARI VE GÜÇ ELEKTRONİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. İSMAİL AKSOY

İSTANBUL, 2016

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROŞEBEKE GERİLİM YAPISINA UYGUN 3 FAZLI İNVERTERİN LABVIEW İLE KONTROL EDİLMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ

Cihat AKTAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 22.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. İsmail AKSOY

Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Yrd. Doç. Dr. Mustafa BAYSAL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. İsmail AKSOY

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Yaşar BİRBİR

Marmara Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Mustafa BAYSAL

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Bu çalışma, 114E417 nolu “ Mikroşebeke Yapısına Uygun Gerilim Beslemeli İnverter Geliştirilmesi ” konulu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın hazırlanma sürecinde yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. İsmail AKSOY'a, bana projesinde yer veren, bilgi birikimiyle yol gösteren eş danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa BAYSAL'a, proje süresince bilgi ve tecrübelerini paylaşan Yrd. Doç. Dr. Evren İŞEN ve Arş. Gör. Yusuf YAŞA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her safhasında yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini eksik etmeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Nisan, 2016

Cihat AKTAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 2
1.2 Tezin Amacı 4
1.3 Hipotez 4

BÖLÜM 2

MİKROŞEBEKENİN TANITILMASI 5

2.1 Mikroşebeke Tanımı ve İhtiyaçları 7
2.2 Mikroşebeke Çeşitleri 9
2.3 Mikroşebekenin Sağladığı Faydalar 9
2.4 Mikroşebeke Yapısında Yer Alan Elemanlar 10
2.4.1 Mikrokaynaklar 10
2.4.2 Yük 10
2.4.3 Enerji Depolama Üniteleri 11
2.4.4 Kontrol Sistemleri 11
2.4.5 Ortak Bağlantı Noktası 11

BÖLÜM 3

İNVERTER ÇEŞİTLERİ, KONTROLDE KULLANILAN YÖNTEMLER VE FİLTRE 13

3.1 İnverter Çeşitleri 13
3.1.1 Şebekeye Bağlı İnverter 14
3.1.2 Şebekeden Ayrı Çalışan İnverter 14
3.1.3 Hibrit İnverter 14
3.2 Adalanma Tespiti 15
3.3 Senkronizasyonun Sağlanması 16
3.4 Kontrol Akışında Kullanılan Yöntemler 17
3.4.1 Vektörel Dönüşümler 17
3.4.1.1 Clarke Dönüşümü 18
3.4.1.2 Park Dönüşümü 20
3.4.2 Üç Fazlı İnverterde Kontrol Yapı Çeşitleri 22
3.4.2.1 d-q Eksen Takımında Kontrol 22
3.4.3 Modülasyon Yöntemleri 23
3.4.3.1 SPWM Yöntemi 23
3.4.4 Şebeke Senkronizasyon Metotları 24
3.4.4.1 α-β Filtre Yöntemi 24
3.5 Filtre Çeşitleri 25
3.5.1 LCL Filtre 25

BÖLÜM 4

MİKROŞEBEKE YAPISINDA KULLANILAN YÖNTEMLER 28

4.1 Şebekeye Bağlı Çalışma Modu 28
4.1.1 Sabit Akım Modunda Çalışma 28
4.1.2 Sabit Güç Modunda Çalışma 30
4.1.3 Şebekeye Bağlı İnverterde Şebekeye Enerji Aktarımı 31
4.2 Şebekeden Bağımsız Çalışma Modu 33
4.2.1 Eğim Kontrol Yöntemi 34

BÖLÜM 5

SİMÜLASYON VE PROJEDE KULLANILAN ELEMANLARIN TANITILMASI 40

5.1 LabView 40
5.2 Multisim 41
5.3 Co-simulation 41
5.4 NI 9683 GPIC Rio Mezzanine Card 42
5.5 Sensör Kartı 43
5.6 Anahtarlama Elemanı ve İzolasyon Kartı 44
5.7 Projede Kullanılan Diğer Elemanlar 44

BÖLÜM 6

SİMÜLASYON MODELİ VE SONUÇLARIN GÖRÜNTÜLENMESİ 48

6.1 Şebeke Bağlantısının Gerçekleşmesi ve Yük Testi 50
6.2 Ada Modunda Yük Değişikliği Yapılması 54
6.3 PI Kontrol 56

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR 57
7.1 Deneysel Sonuçların Görüntülenmesi 57
BÖLÜM 8
SONUÇ VE ÖNERİLER 61
KAYNAKLAR 63
ÖZGEÇMİŞ 68

SİMGE LİSTESİ

E	Yük gerilimi
f	Frekans
f_0	Ölçülen frekans değeri
f_{ref}	Referans frekans değeri
f_t	Taşıyıcı frekansı
$G(s)$	Transfer fonksiyonu
I	Akım
i_{abc}	3 faz hat akımları
i_d	Akımın d bileşeni
i_{dref}	Akımın referans d bileşeni
i_q	Akımın q bileşeni
i_{qref}	Akımın referans q bileşeni
L_1 ve L_2	Filtre endüktans değeri
m	Aktif Güç-frekans eğimi
n	Reaktif güç-gerilim eğimi
P	Aktif güç
P_{ref}	Referans aktif güç
Q	Reaktif güç
Q_{ref}	Referans reaktif güç
R	Hat direnci
S	Görünür güç
V	Gerilim genlik değeri
V_{abc}	3 faz Modülasyon gerilimi
V_d	Gerilimin d bileşeni
V_{dref}	Gerilimin referans d bileşeni
V_{iabc}	İnverter faz gerilimleri
V_q	Gerilimin q bileşeni
V_{qref}	Gerilimin referans q bileşeni
$V\alpha$	Gerilimin α bileşeni
$V\beta$	Gerilimin β bileşeni
ω	Açısal frekansı
ω_{rez}	Rezonans açısal frekansı
Z	Hat empedansı

KISALTMA LİSTESİ

AA	Alternatif Akım
AŞ	Akıllı Şebekeler
DEK	Dağıtık Enerji Kaynakları
DES	Distributed Energy Sources
DPGS	Distributed Power Generation Systems
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
OBN	Ortak Bağlantı Noktası
PI	Proportional-Integral
PLL	Phase Locked Loop
PV	Photovoltaic
PWM	Pulse Width Modulation
SPWM	Sine Pulse Width Modulation
SMUD	Sacramento Municipal Utility District
UCTE	Avrupa İletim Koordinasyonu Birliği
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Enerji sistem şeması 5
Şekil 2.2 Akıllı şebeke genel yapısı [59] 6
Şekil 2.3 Mikroşebeke sistem şeması 10
Şekil 3.1 Şebekeye entegre inverter şeması 14
Şekil 3.2 Şebekeden ayrı inverter şeması 14
Şekil 3.3 Hibrit inverter şeması 15
Şekil 3.4 Şebekeye bağlanma şartı algoritması 16
Şekil 3.5 Üç faz gerilimin fazör ve zamana bağlı grafiği 17
Şekil 3.6 α-β eksen vektörleri 19
Şekil 3.7 d-q eksen vektörleri 20
Şekil 3.8 Üç faz gerilimin ve eksen takımlarının zamana bağlı değişimi 22
Şekil 3.9 d-q eksen takımında kontrol şeması 23
Şekil 3.10 sinüs-üçgen PWM üretimi [58] 24
Şekil 3.11 α-β filtre ile şebeke açısının belirlenmesi 25
Şekil 3.12 LCL filtre 26
Şekil 3.13 Seri direnç ile akım sönümleme 27
Şekil 4.1 Sabit akım modu şeması 30
Şekil 4.2 Sabit güç modu şeması 31
Şekil 4.3 DPGS genel yapısı [58] 33
Şekil 4.4 Ada modu çalışma algoritması 34
Şekil 4.5 Enerji sistem şeması [59] 35
Şekil 4.6 f-P ve V-Q değişim grafikleri 37
Şekil 4.7 Eğim kontrol yöntemi şeması 38
Şekil 5.1 Örnek bir arayüz 40
Şekil 5.2 Örnek multisim devresi 41
Şekil 5.3 Multisim co-simulation blok 41
Şekil 5.4 Örnek co-simulation döngüsü 42
Şekil 5.5 NI 9683 42
Şekil 5.6 NI 9683 43
Şekil 5.7 Sensör kartı 43
Şekil 5.8 PM50RL1A120 IPM 44
Şekil 5.9 İzolasyon kartı (IPM) 44
Şekil 5.10 Varyak 45
Şekil 5.11 Kontaktör ve hazırlanan sürme devresi 45
Şekil 5.12 Üç fazlı trafo 46

Şekil 5.13 Üç fazlı yük bankası 46
Şekil 5.14 Deney düzeneği 47
Şekil 6.1 Arayüz 48
Şekil 6.2 Devre modeli 49
Şekil 6.3 Oluşturulan kontrol blokları 49
Şekil 6.4 Eğim kontrol yöntemi blokları 50
Şekil 6.5 İnverter akım değişimi 51
Şekil 6.6 İnverterden çekilen aktif ve reaktif güç 51
Şekil 6.7 İnverterden çekilen aktif ve reaktif güç 52
Şekil 6.8 Şebekeden çekilen akım 52
Şekil 6.9 Yük uçlarındaki gerilim değişimi 53
Şekil 6.10 Eğim referans frekans 53
Şekil 6.11 Ada modunda inverterden çekilen akımın değişimi 54
Şekil 6.12 Ada modunda akımın d-q eksenindeki değişimi 54
Şekil 6.13 Ada modunda aktif ve reaktif güç grafiği 55
Şekil 6.14 Ada modunda yük uçlarında oluşan gerilimin genliği 55
Şekil 6.15 Ada modunda frekansın değişimi 56
Şekil 7.1 t_0-t_2 aralığında gerçekleşen akım ve gerilim değişimi 59
Şekil 7.2 t_0-t_7 aralığında gerçekleşen akım ve gerilim değişimi 59
Şekil 7.3 Yük değişimlerinin gerilim, güç ve frekansa etkisi 60

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Harmonik sınır değerleri 32
Çizelge 7.1 Bağlı olan yüklerin güç değerleri 58
Çizelge 7.2 t zamanlarına ait değerler 58

ÖZET

MİKROŞEBEKE GERİLİM YAPISINA UYGUN ÜÇ FAZLI İNVERTERİN LABVIEW İLE KONTROL EDİLMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ

Cihat AKTAŞ

Elektrik ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail AKSOY

Eş Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa BAYSAL

Günümüzde artan enerji ihtiyacına karşılık fosil yakıtların azalması sonucu alternatif enerji kaynaklarının daha etkin kullanılması istenmiştir. Aynı zamanda iletim ve dağıtım hatlarında oluşan arızalar, enerji kesintilerine neden olmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarından faydalanmak ve arızalar sonucu meydana gelen kesintileri engellemek amacıyla DEK son yıllarda daha cazip hale gelmiştir. DEK'lerin fazlalaşması sonucu mikroşebeke yapıları ortaya çıkmıştır. Mikroşebekeler, şebeke ile birlikte çalışabilir. Şebekede bir arıza meydana geldiğinde ise şebekeden ayrılır ve yükü beslemeye devam eder. Böylece enerji sürekliliği sağlanarak, tüketicinin güveni sağlanmış olur. DEK'ler kolay tesis edilebilen yapılar olduğu için yüklere yakın yerlere kurulabilir. Bu da hatlarda oluşan kayıpları azaltıp, verimin artmasını sağlar.

Bu tez çalışmasında, eğim kontrol yöntemi uygulanmıştır. Mikroşebeke yapısına uygun üç fazlı inverterin şebekeye bağlı, şebekeden ayrı çalıştığı durum ve şebekeye bağlı çalışmaya geçtiği durumlar incelenmiştir. İnverter modeli, LabView ve Multisim programları kullanılarak oluşturulmuştur. İnverterin donanım modeli Multisim, kontrol algoritması ise LabView'da oluşturulmuştur. LabView ve Multisim'in birlikte çalışmasıyla (co-simulation) gerekli analizler yapılmış ve çıkarımlar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroşebeke, üç fazlı inverter, LabView, Multisim, DEK, dağıtık enerji kaynakları, YEK, yenilenebilir enerji kaynakları

ABSTRACT

CONTROL AND DEVELOPING OF THREE PHASE INVERTER FOR MICROGRID VOLTAGE STRUCTURE BY LABVIEW

Cihat AKTAŞ

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. İsmail AKSOY

Co-Adviser: Assist. Prof. Mustafa BAYSAL

Nowadays, energy demand increases but fossil fuels is running out. Result of this, there is higher need to use alternative energy sources. Also, faults occuring in the transmission-distubution lines, cause the power interruption. DES has become more attractive in recent years, in order to use alternative energy sources more useful and prevent interruption caused by faults. Result of two or more DES, microgrid structure has emerged. Microgrids can operate with grid. When fault occures in grid, microgrid is seperate from grid and continues to supply the load. So, energy persistence is provided and consumer confidence is achieved. DERs can be established in the fields close to the loads, because of that they are built easily. So, it provides increased efficiency by reducing the energy lost in lines.

In this study, droop control method has been implemented. Grid connect mode, island mode and transition of from grid connect mode to island mode of microgrid structure compatible three phase inverter has been analysed. Hardware model of inverter in Multisim and control algorithm has been design in LabView. Required analysis has been done by using co-simulation mode of LabView and Multisim and conclusion has been given.

Keywords: Microgrid, three phase inverter, Labview, Multisim, DES, distrubuted energy sources, RES, renewable energy sources

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Her geçen gün gelişen teknoloji, dünya nüfusundaki artış, sanayi sayısının artması, refah seviyesinin yükselmesi gibi sebepler dünyada enerji talebinde artış meydana getirmektedir.

Mevcut AC şebeke sistemi enerji talebindeki bir döneme kadar karşılamış ancak günümüzde artık cevap veremediği durumlar ortaya çıkmıştır. Üretim, iletim ve dağıtım hatlarında oluşan kısa süreli arızalar bile büyük maddi zararlara yol açmaktadır.

Oluşan arıza durumlarında meydana gelen kesintilere karşı hızlı cevap veren, her an tetikte olabilecek yeni bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur. Bu gibi şartlar Akıllı Şebeke fikrinin doğmasını sağlamıştır [1].

Günümüzde genelde enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Bu kaynakların daha verimli kullanılması ve alternatif enerji kaynaklarının mevcut şebekeye dahil edilmek istenmesi akıllı şebekenin (AŞ) ve dağıtık enerji kaynaklarının (DEK) önemini daha fazla arttırmıştır. Alternatif enerji kaynakları (Yenilenebilir Enerji Kaynakları-YEK) içinde bulunulan hava koşullarına göre değişkenlik göstermesine rağmen, doğada hazır halde bulunması ve tesis kurulmasında kolaylık ve ucuzluk nedeniyle çok daha cazip gelmektedir [2]. YEK'in tesisleşme açısından kolay olması tüketim merkezlerine daha yakın olmasına imkan vermekte bu da merkezi üretim dağıtık üretime geçilmesini kolaylaştırmaktadır.

AC şebeke sisteminde, sistem üzerinde oluşacak küçük güç değişimleri bile kararsızlıklara neden olmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında YEK'in güç çıkışları tahmin edilemediği için şebekeye bağlandığında sistem üzerinde etkisi olacaktır. Aynı zamanda

bu sistemde tüketicilerde birer aktif kullanıcı olabilmektedir. Akıllı şebekeler içinde bulunan bölgelerin kesintisiz bir biçimde beslenmesi için mikroşebekelerden oluşmaktadır. Mikroşebekeler; DEK, inverter, depolama birimi ve yüklerden oluşmaktadır [3].

1.1 Literatür Özeti

DEK'in aktif ve reaktif güçteki farklardan kaynaklanan sebeplerden dolayı gerilim ve frekansında kararsız durumlar oluşmaktadır. Bu da dağıtım şebekesine bağlanmayı zorlaştırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı çözüm olarak merkezi üretimden ayrılıp onun yerine dağıtık üretim birimlerine geçilmesini sağlayan daha esnek yapıdaki mikroşebeke yapıları önem kazanmaktadır [4],[5].

Mikroşebekenin temel faydaları arasında bulunan; verimli enerji sağlanması, enerjinin kesintisiz olması yani güvenilirliği ve güç kalitesinin sağlanması gibi sebepler bu yapıya geçişi daha istekli bir hale getirmiştir. Bunun yanı sıra mikroşebekelerin sağladığı birçok fayda bulunmaktadır [6],[7].

Mikroşebekelerin şebekeye bağlı çalışmayı, şebekeden ayrı çalışmayı, şebeke modundan ada moduna geçişi ve ada modundan şebekeye bağlanmada senkronizasyonu sağlaması gerekmektedir. Bu koşulların sağlanması kullanılan kontrolün önemini arttırmaktadır. Kontrol yapısının oluşturulmasında literatürde yapılan çalışmalar:

Ada modunda kullanılan kontrol ve şebeke senkronizasyonu ile ilgili sorunların yanı sıra mikroşebekenin kurulumunda karşılaşılan zorluklar anlatılmıştır. Mevcut statüler ve dünya çapında yapılan mikroşebeke projelerine yer verilmiştir [8].

Mikroşebeke tanımı ve genel yapısını tanıtmıştır. Mikroşebeke bünyesinde bulunana temel elemanları anlatmış ve kararlılık, haberleşme ve kontrol yapısı hakkında araştırma yapılmıştır [9].

Hali hazırda bulunan mikroşebeke kontrol yapıları tanıtılmış ve enerji yönetiminin önemi hakkında bilgi verilmiştir [10].

Mikroşebeke kontrol metotları ve çalışma modları hakkında bilgi verilmiştir. Çalışma mekanizmasının nasıl olacağı, akım paylaşımı ve gerilim yönetiminin nasıl sağlanacağı

anlatılmıştır ve bu yöntemler, aktif yük paylaşımı ve eğim kontrolü olmak üzere ikiye ayrılmıştır [11].

İki farklı durum incelenmiştir. Birincisi şebekeden ada moduna geçiş, ikincisinde ise ada modunda yük değişimi incelenmiştir. Çalışmada şebeke modunda P-Q kontrol, ada modunda ise eğim kontrol kullanılmıştır. Eğim kontrolü ve V/f ve ana/yardımcı kontrolör ile karşılaştırılmış ve avantajları anlatılmıştır [12].

Çalışma modları arası geçişte oluşan geçici durumu azaltmak için güç-gerilim-akım kontrolörleri beraber kullanılmıştır. Önerilen kontrol yapısı ile oluşan geçici etki azaltılmıştır. Aynı zamanda PID kontrolün PI kontrole göre daha verimli olduğu görülmüştür [13].

Akım kontrol yönteminden gerilim kontrol yöntemine geçişte, kontrol algoritması inverter çıkışından alınan gerilim değeri ve P-f eğimine bağlı olarak oluşturulmuştur. Alınan bu bilgilere göre şebekeye bağlanma ve şebekeden ayrılma imkanı sağlanır [14].

Yapılan çalışmada, yük ekleme-çıkarma işlemi yapılarak aktif/reaktif güç, aktif güç/gerilim ve frekans/gerilim kontrolleri karşılaştırılmıştır [15].

Ada modunda istenilen güç paylaşımını yapabilmek için yeni eğim kontrol modeli sunulmuştur. Yüksek salınımları engellemek için H∞ yöntemi kullanılmıştır [16].

İnverter uçlarındaki gerilim ve aktarılan akımın kalitesini artırmak için kaskat bağlı akım/gerilim kontrol metodu kullanılmıştır. Çalışmada düşük harmonik distoriyona ulaşmak amacıyla akım/gerilim kontrolü ile birlikte bulanık mantık ve H∞ kontrolleri de kullanılmıştır [17].

Yapılan çalışmalarda eğim kontrolü kullanılmıştır. Çalışmada şebekeye bağlı durumda güç değişimi yapılırken PI kontrolörün integral kısmı aktifken, ada modunda şebeke frekansının ve geriliminin sağlanması amacıyla pasif hale getirilmiştir [18].

Ada modunda çalışırken ortak bağlantı noktasında reaktif güç paylaşımının ve gerilim harmonik distorsiyonunun azaltılması amaçlanmıştır. Hat empedansı ve filtre çıkışında oluşan dengesizlikler, inverteri farklı işletme noktasında çalışmaya zorlayacaktır. Reaktif güçlerde oluşan farklılıklar, kontrol yöntemindeki eğime bağlı olarak farklı bir gerilim değerinde çalışacaktır. Bu durumları önlemek için sanal empedans çevrim yöntemi

kullanılmıştır. Aynı zamanda, bu çalışmada sistemde kararsızlıklara neden olması nedeniyle integral eklenmemiş, yalnızca P kontrolör kullanılmıştır [19].

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında LabView ve Multisim programları birlikte kullanılarak 3 fazlı bir inverter modeli tasarlanmıştır. Eğim kontrol modelini kullanarak inverterin şebekeye bağlı ve şebekeden ayrı modların her ikisinde de çalışması amaçlanmaktadır. İnverterin donanım modeli Multisim programı kullanılarak, algoritması ise LabView kullanılarak oluşturulmuş ve analiz edilmiştir.

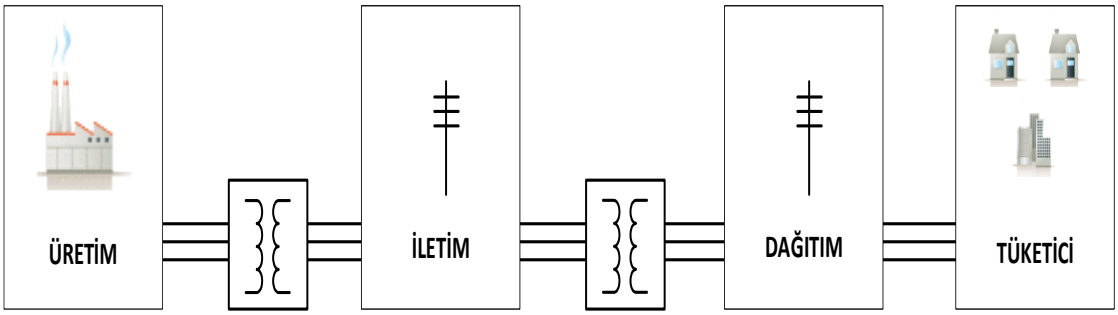
1.3 Hipotez

Çalışmada oluşturulan mikroşebeke modelinin her iki mod arasındaki geçişi sırasında oluşan etkiler görülmüştür. İnverterin şebekeye bağlanmasında, şebekenin o anki durumu ve inverterle arasındaki gerilim farkı dikkate alınmıştır. Şebeke ile birlikte yük beslenirken herhangi bir zamanda şebekenin bağlantısı kesilerek ada moduna geçilmiştir. İki durum için geçiş durumlarında gerilim tepe değerinin ve frekansın belirlenen sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 2

MİKROŞEBEKENİN TANITILMASI

Mevcut enerji sistemi enterkonnekte şebeke yapısıyla kuruludur. Bu sistem yapısına göre, santraller tarafından üretilen orta gerilim seviyesindeki elektrik enerjisi gerilim yükseltici trafolardan uzun iletim hattına verilir ve uzun mesafelerde taşınması sağlanır. Bunun devamında gerilim düşürücü trafolar vasıtasıyla orta gerilim seviyelerine çekilir. Daha sonra dağıtım trafolarıyla alçak gerilim seviyesine düşürülen enerji tüketiciye ulaştırılır. Enterkonnekte sistemin altyapısı tamamlandıktan sonra öncelikle hastane, okul ve fabrikalar gibi yerlerde ihtiyaç karşılanmıştır. Ancak son yüzyılda artan nüfus, yükselen yaşam standartları gibi nedenlerden dolayı enerjiye olan talep artmış ve bunun sonucu olarak elektrik şebekesinde problemler yaşanmıştır [20].



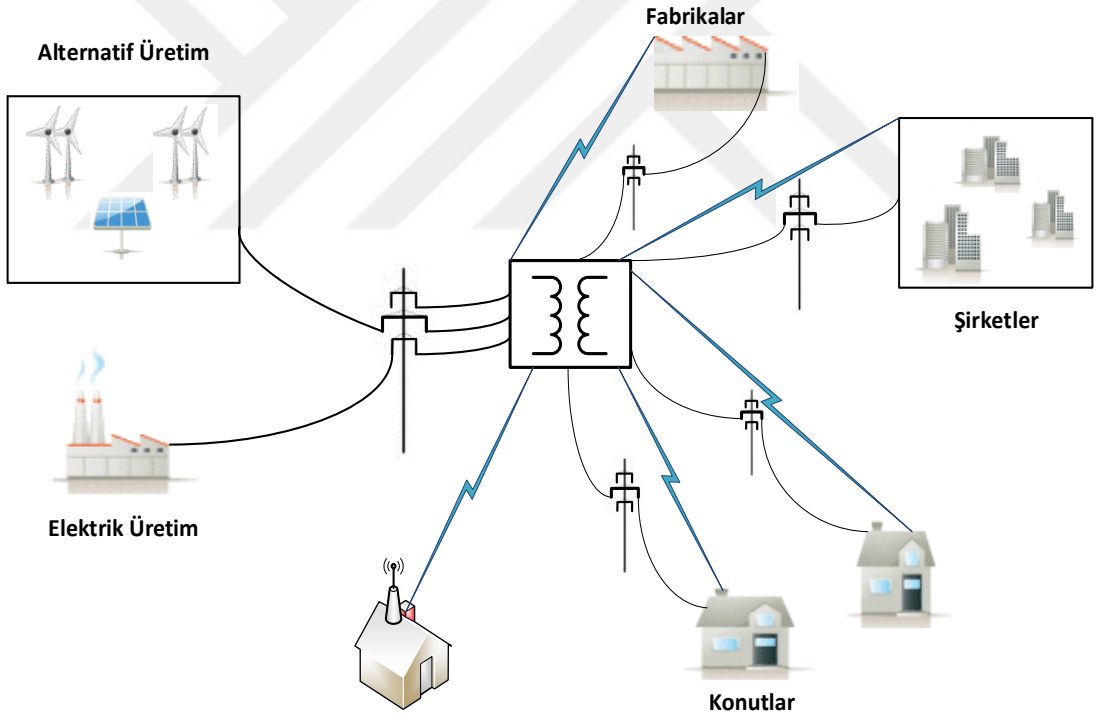
Şekil 2.1 Enerjinin tüketiciye ulaştırılması

Enterkonnekte sistem yapısında iletim hatlarında meydana gelen arızalar şebeke yapısına göre farklı büyüklükte etkiye sahip olabilir. Böyle durumlarda ortaya çıkan elektrik kesintileri, sürekli enerji ihtiyacı olan şirketlerde ciddi ekonomik zararlara neden olmaktadır. Amerika'da 2003 yılında yaşanan ve 50 milyon kişinin etkilendiği elektrik çökmesi yaklaşık olarak 7 dakika sürmüş [21] ve 8.2 milyar dolarlık bir zarara neden

olmuştur [22]. Bunların yanında hat empedanslarından kaynaklanan kayıplar ve iletim-dağıtım hatlarının sürekli bakım-onarım masrafları da bulunmaktadır.

Türkiye'de mevcut dağıtım şebekesi ağaç modeline benzeyen dal-budak şebeke modelidir. Bu modelde tek bir trafo üzerinden birden fazla kola enerji sağlanmaktadır. Trafo kolunda veya herhangi bir kolda yaşanacak bir arıza neticesinde aynı fider hattında bulunan tüketicilerde enerji kesintisi yaşanacaktır [23].

Enerji talebindeki artışın yanında yaşanan sosyal ve ekonomik alandaki gelişmeler, mevcut durumdaki fosil yakıtlardan sağlanan enerji kaynaklarını zor durumda bırakmıştır. Bunların yanı sıra merkezi üretim odaklı elektrik şebekesi ve fosil yakıtların zararlı salınımları sonucuna yeni kaynak arayışlarına gidildi. Bu durum sonucunda akıllı şebeke olarak adlandırılan, arızaları her an olabilecek arızaları karşılayabilecek, çevreyle dost ve esnek yapıdaki yeni modele gerek duyulmuştur [24].



Şekil 2.2 Akıllı şebeke genel yapısı [59]

Akıllı şebekelerde iletim ve dağıtım hatları, otomasyon sistemiyle göre sürekli olarak birbirlerini kontrol ederek çalışan etkili bir güç sistemidir. Bu güç sistemi belirli olmayan bir durumda oluşabilecek acil durumda kendini toparlayarak tüketiciye enerji vermeye devam edebilecek yeteneğe sahiptir [23].

Akıllı şebekelerden beklenen faydalar [23],[24],[25];

- Haberleşme sistemi ile hatlarda oluşan aşırı yüklenmeler belirlenerek enerji akışı düzenlemesi,
- Mevcut enerji kaynaklarının YEK ile birkteliği sağlanarak daha aktif ve randımanlı bir şekilde kullanılmasının sağlanması,
- Tüketicilerin dağıtım şirketleriyle yaptıkları anlaşmalarla enerji tüketimlerinin kontrolü ve fatura maliyetlerinin düşürülmesi,
- Şebekede ansızın gerçekleşen hataya hızlı cevap verebilme yeteneği ile şebekenin diğer tarafının etkilenmesinin önlenmesi,
- Planlı ya da plansız gerçekleşen kesintilerde maliyet yönünden kamu binalarının zararının azaltılması

2.1 Mikroşebeke Tanımı ve İhtiyaçları

Merkezi elektrik şebeke sistemi 1960 yılında gelişimini tamamladı ancak 21 yy.'da yaşanan enerji talep artışı karşısında kendini yenileyememesi nedeniyle enerji iletim ve dağıtım şebekelerinde birçok problem meydana geldi [26]. Bu sorunların giderilmesi için akıllı şebeke yapısı ortaya çıktı. Fosil yakıtların azalması, zehirli gaz emisyonu gibi nedenler dağıtık enerji kaynaklarının (DEK) önemini artırmıştır [24].

DEK, kullanılan tabana göre fosil yakıtlı ve fosil yakıtlı olmayan olarak iki gruba ayrılır. Fosil yakıt tabanlı olmayanlar; güneş pilleri, rüzgar türbinleri ve hidroelektrik santrallerinin kullanıldığı YEK'dır. Fosil yakıt tabanlı kaynaklar ise; mikro türbin ve yakıt hücreleridir.

DEK'in sunduğu yararlar [6],[16],[27],[28];

- Yüke yakın yerlere kurulabildiği için büyük alt yapı sistemlerine ihtiyaç duyulmaması,
- Yerel olarak kurulduğu için iletim ve dağıtım şebekelerinde oluşan kayıpların azaltılması,
- Küçük boyutlu olması nedeniyle yatırım maliyetinin az olması,

- Güneş panelleri, rüzgar türbinleri ve jeotermal gibi YEK kullanımını kolaylaştırması

DEK'in bir faydası olan YEK kullanımının kolaylaşması sonucunda merkezi üretimden dağıtık üretime geçmenin önü açılmıştır. Öte yandan YEK'in kesintili güç çıkışı üretimine sahip olması, iletim-dağıtım hatlarında bozucu etkilerin oluşmasına neden olur. Bunun sonucunda şebekede kararsızlıkların oluşmasına neden olur. Bu nedenler, YEK'in şebekeye bağlanmasını zorlaştırmaktadır. Dağıtık üretim birimlerinin şebekeye katılması ile birlikte, sistemde ani reaktif güç değişikliği olduğunda bara geriliminde dengesizlikler meydana gelecektir. Şu an kullanılan sistemde güç akışı tek yönlü olduğu için reaktif güç karşılanamaz ve reaktif güçteki değişme gerilim seviyesinin bozulmasına neden olur. Aktif güç açısından koruma yönetimindeki düzen bozulmasına sebebiyet verir [22].

Belirtilen dezavantajları çözebilmek amacıyla, AŞ'nin bir parçası olan mikroşebeke fikri ortaya çıkmıştır. Mikroşebeke yapısının temel tanımı; bir veya birden fazla dağıtık üretim birimi, evirici, depolama üniteleri ve yüklerden oluşan yerel güç sistemidir [6]. Kısaca enerji depolama sistemleri ve güç elektroniği elemanlarının bir arada kullanılmasıdır. Mevcut şebekedeki aksaklıkların yanında enerji sürekliliği ve enerji güvenilirliği gibi önemli iki faktör mikroşebeke yapısının ortaya çıkmasında etkili olmuştur[28]. Bu faktörler güç kalitesinin sağlanmasında etkilidir. Enerji sürekliliği; şebekenin yedek üretim birimleri desteklenmesidir. Enerji güvenilirliği; sistemdeki bozucu etkiyi tespit ederek karşı hızlı bir şekilde düzeltilmesidir. Mikroşebeke yapısında arıza durumunda şebekeden ayrılarak çalışmaya bağımsız olarak devam edilebilir [29]. Böylece şebekeden ayrı çalışarak tüketici kesintisiz bir şekilde beslenir. Bu da şebekeye olan güvenilirliği sağlamış olur.

Mikroşebekenin işletilmesinde bire bir (peer to peer) modeli kullanılır. Bu model, mikroşebeke içerisinde bulunan herhangi bir eleman ya da jeneratörün ayrılmasına ve sistemin çalışmasına imkan vermektedir. Fazladan bir kaynak olduğu bir durumda ise şebekeye bu kaynak eklenebilir. Mikroşebeke yapısında bulunan bir diğer özellik ise tak-çıkar (plug and play) metodudur [6],[15]. Bu sayede sistem içerisindeki elemanlar değiştirilebilir. Bu özelik yüke yakın noktalarda üretim şansını arttırır. Yakın mesafeler hatlarda oluşacak olan kayıpları azaltmış olur.

2.2 Mikroşebeke Çeşitleri

Mikroşebeke yapılarının uygulandığı alanlar [30];

- Şebeke Entegreli Kampüs Mikroşebekeler: Bu yapılarda ana şebeke ile bağlantılı ve ana şebekeden bağımsız olarak çalışılabilir. Bu yapılar üniversite, hastane ve askeri bölgelerde kullanılır.
- Toplu Mikroşebekeler: ana şebeke entegrasyonu sağlanan bu şebeklerede toplum içerisinde yer alan birden fazla tüketiciye hizmet verilir.
- Şebekeden Bağımsız Mikroşebekeler: ada ve uzak yerleşim birimleri gibi elektrik şebekesinin bulunmadığı bölgelerde kullanılır.
- Mini Mikroşebekeler: Küçük bir mikroşebeke yapısı olan bu uygulamalarda tek bir yapıya veya yüke hizmet verilir.

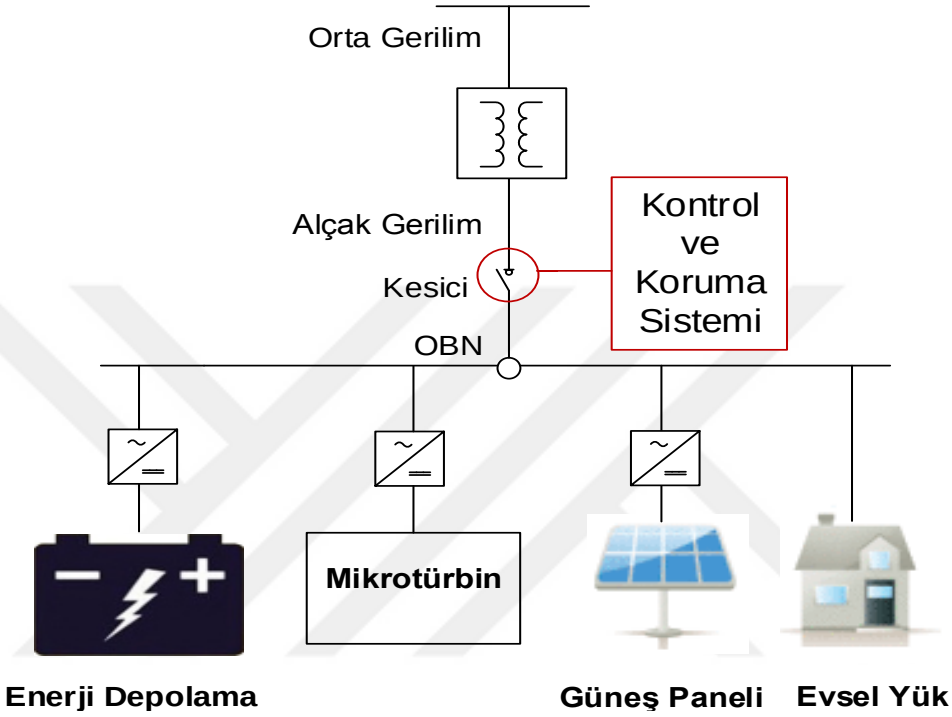
2.3 Mikroşebekenin Sağladığı Faydalar

Mikroşebekelerin problemlerin çözümünde getirmiş olduğu faydalar [31];

- Dağıtık üretim birimlerinin kullanılması neticesinde YEK'in daha kullanımının artması,
- Statik tüketici olan konutların mikroşebeke sayesinde üretken tüketici durumuna geçmesi,
- Üretim yerlerinin tüketim alanlarına yakın olmasının iletim hatlarına yapılacak olan bakım ve onarım maliyetlerini ve aynı zamanda hatlarda oluşacak elektriksel kayıpları azaltması,
- Mikroşebeke kurulum süresinin daha kısa olması,
- Artan güç talebine katkı sağlaması,
- Şebekede yaşanan arıza durumlarında ada moduna geçerek enerji akışını devam ettirmesi ve bu sayede güvenilirliğin artması,
- Kojeneratif üretim ile ısı ve elektrik enerjisini bir arada sağlaması

2.4 Mikroşebeke Yapısında Yer Alan Elemanlar

Mikroşebeke mevcut dağıtım sistemine entegre edilir. Mikroşebeke yapısında mikrokaynaklar, depolama sistemleri, kontrol sistemleri, yük ve mikroşebekenin ana şebeke ile olan bağlantısının sağlandığı ortak bağlantı noktası olmak üzere 5 ana bileşeni vardır.



Şekil 2.3 Mikroşebeke sistem şeması

2.4.1 Mikrokaynaklar

Şebeke içerisinde yer alan kaynaklar güç açısı ve kontrolü açısından iki gruba ayrılır. senkron generatör tabanlı enerji kaynakları; şebeke frekansında sabit güç üretir. İnverter tabanlı üretim kaynaklar; PV, rüzgar türbini ve yakıt hücreleri gibi çıkış güçleri değişken olan kaynaklardır. Bu kaynakların çıkış frekansının ulusal şebeke frekansına uygun olabilmesi güç elektroniği elemanları kullanılır [11].

2.4.2 Yük

Yükler hassas ve hassas olmayan yükler olarak iki gruptur. Bu yükler içerisinde elektrik, termal ya da her ikisi birlikte bulunur. Mikroşebeke şebekeyle bağlıyken yük şebeke ve

mikroşebekeden aynı anda beslenir. Mikroşebeke ana şebekeden ayrıldığı zamanlarda kontrol yapılarıyla veya yük atma işlemi yüklere istenilen enerjiyi sağlayabilmektedir

2.4.3 Enerji Depolama Üniteleri

Yüklere gerekli enerjinin sağlanmasında ana enerji kaynağının depolama sistemleri ile desteklenmesi önemli bir konudur.

Enerji depolama sistemlerine örnek, bataryalar ve ultra kapasitörlerdir. Enerji depolama sistemleri DEK ve yük arasındaki enerji dengesini sağlar. Yani üretim birimleri yüklere yeterli enerjiyi sağlayamadığı durumlarda kaynak ile yük arasındaki dengeyi ve gerilim kararlılığının devam etmesini sağlar.

2.4.4 Kontrol Sistemleri

IEEE 1547.4 - 2011 standardına göre şebeke modu, şebeke modundan ada moduna geçiş, ada modu, ada modundan şebekeye geçiş olmak üzere 4 çalışma alanı bulunmaktadır [32].

Şebeke modunda çalışmada akım kontrolü yapılır. Şebeke gerilimi sabit olduğuı için gerilim ve frekans kontrolü yapılmasına gerek yoktur. Bu tür çalışmada; inverter ile şebeke arasındaki güç dengesini sağlayabilmek, aktarılan akımın harmonik distorsiyonunu düşük miktarlarda tutabilmek ve akımın pik değere çıkmasını önleyebilmek için kontrol yapılır.

Şebekeden herhangi bir nedenle ayrılma durumunda ise ada modunda çalışmaya geçilir. Bu modda şebeke geriliminin ve frekansının oluşturulması gerekmektedir. Ada modunda gerilim ve frekansın sağlanması için bu çalışmada eğim kontrolü uygulanmıştır.

2.4.5 Ortak Bağlantı Noktası

Ortak bağlantı noktası, normal koşullarda mikroşebekenin ana şebekeye bağlandığı ve herhangi bir arıza durumunda mikroşebekenin ana şebekeden ayrıldığı noktadır. Bu noktada statik anahtarlar büyük önem kazanmaktadır. Statik anahtarlar, güç elektroniği tabanlı olarak çalışmaktadır. Sistemde kısa devre olması veya üretimin herhangi bir nedenden dolayı devre dışı kaldığı durumda statik anahtarın şebeke ve mikroşebeke

arasındaki bağlantıyı kesmesi gerekmektedir. Bu durum ortak bağlantı noktasında yer alan statik anahtarın önemini daha da arttırmaktadır.

BÖLÜM 3

İNVERTER ÇEŞİTLERİ, KONTROLDE KULLANILAN YÖNTEMLER VE FİLTRE

İnverter, bir DC gerilimi belirli bir genliğe ve frekansa sahip AC gerilime çeviren güç elektroniği düzeneğidir. Yani, inverter doğru akımı alternatif akıma evirir.İnverterlerde oluşturulacak olan kontrol algoritması girişine uygulanan besleme türüne ve çıkışında istenen gerilim özelliklerine belirlenir.İnverterlerin girişine uygulanan besleme türüne göre gerilim beslemeli ve akım beslemeli olarak iki gruba ayrılır.Tek fazlı olan gerilim beslemeli inverterler düşük güçlü uygulamalarda kullanılırken, üç fazlı inverterler orta ve yüksek güç uygulamalarında kullanılır.Akım beslemeli inverterin çıkışında sabit genlikli AA bulunmaktadır. Çıkışında bulunan akım sabit olduğu için gerilim bağlanan yüke göre değişiklik gösterir.

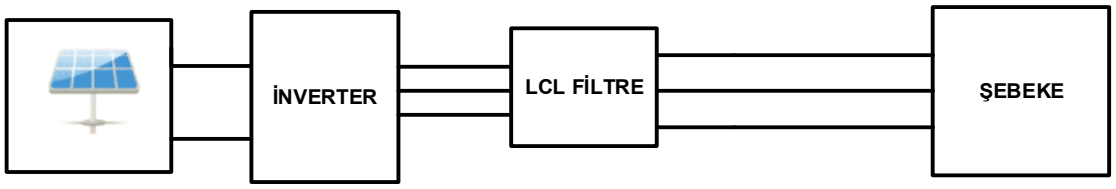
İnverterler, istenilen güç kalitesinin sağlanması, harmonik bileşenlerin azaltılması, alternatif akımın kullanılmadığı yerlerde, asansör, tramway gibi yüksek güç aktarımı olan yerlerde, asenkron motor kontrolünde ve güneş paneli, rüzgar türbini gibi kaynakların şebekeye dahil edilmesinde kullanılır.

3.1 İnverter Çeşitleri

Günümüzde mevcut koşullar sebebiyle YEK kullanmak çoğu durumda daha avantajlı ve gerekli hale geldi. Bu sebeple konutlarda ve orta büyüklükteki işletmelerde inverteri YEK'in yanında kullanmak ihtiyaç haline gelmiştir. İnverterler şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız çalışabilir.

3.1.1 Şebekeye Bağlı İnverter

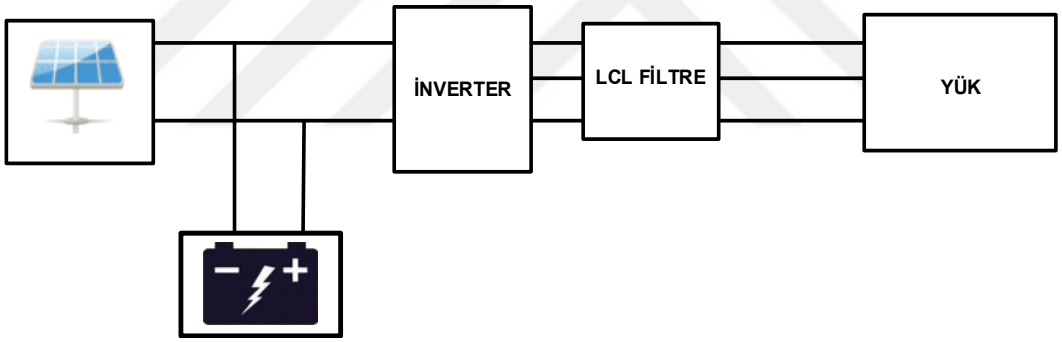
Şebekeye bağlı çalışan inverterler YEK'in şebekeye bağlanmasını sağlar. Şebekeye paralel olan bu inverterlerde enerji ihtiyacı karşılanırken aynı zamanda fazla enerji şebekeye satılabilir.



Şekil 3.1 Şebekeye entegre inverter şeması

3.1.2 Şebekeden Ayrı Çalışan İnverter

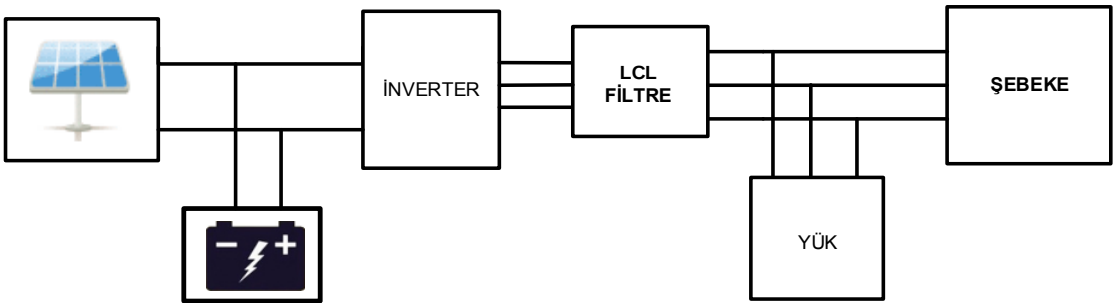
Şebekeden bağımsız çalışan inverterler, şebekeye bağlanmanın zor olduğu uzak yerlerde ya da şebekede var olan bir arıza olduğu zamanlarda kullanılır. Bu sistemde batarya kullanılması önemlidir.



Şekil 3.2 Şebekeden ayrı inverter şeması

3.1.3 Hibrit İnverter

Hibrit çalışan inverterlerde güç akışı iki yönlüdür. Yani YEK'ten sağlanan enerji yükü beslemeye yeterliyse yük YEK'ten sağlanan enerji ile beslenir. Eğer YEK'ten sağlanan enerji yükü beslemeye yetmiyorsa şebekeden güç çekilecektir. YEK kullanımı için ortam şartları uygun olmadığı durumlarda enerji, depolama birimlerinden veya şebekeden sağlanır.



Şekil 3.3 Hibrit inverter şeması

3.2 Adalanma Tespiti

Mikroşebeke ve ana şebeke bir arada çalışırken bir arıza meydana geldiğinde tüketici güveninin sağlanması, ve kararlılığın devam etmesi amacıyla mikroşebeke kendisini ana şebekeden ayırarak hizmet vermeye devam eder. Ayrılan bölgenin DEK ile beslenmesine adalanma denir.

Adalanma, planlanarak ya da plansız olarak gerçekleşebilir [33]. Önemli olan adalanma durumunun hızlıca tespit edilmesi, uygulanması veya uygulamadan kaldırılmasıdır. Plansız olan adalanma, meydana gelen bir arıza durumunda gerçekleşir. Planlı olan adalanma bilinçli bir şekilde yapılan geçiştir. Bu adalanmada üretilen gerilimin ve frekansın IEEE 1547,4-2011 standardına uygun olacağının garantisi verilir. Bu standart cihazların güvenliği, performansı ve test bakımı, gerilim frekans ve harmonik değerlerin sınırlarını belirtmektedir [32].

Ada moduna geçişte belli başlı tehlikeler bulunmaktadır. Bu tehlikelere karşı yapılması gereken aktif veya pasif bazı yöntemler bulunmaktadır [34],[35].

Pasif yöntemler: şebekenin kesilmesiyle ortak bağlantı noktasından alınan akım, gerilim, harmonik ve frekans gibi değerlerde oluşan farklılık prensibiyle çalışır. Bu oluşan farklar; inverterin çalışma yöntemini IEEE, IEC VE UCTE gibi standartlarda yer alan değerler belirler. Pasif yöntemlerden bazıları; frekans ve gerilim koruması, vektör kaydırma yöntemi, frekans değişim oranı, frekans/güç değişim oranı, faz sıçraması yöntemi ve çıkış gücü değişim oranıdır.

Aktif yöntemler: yek ve tüketicilerin talep ettiği güç farkının minimum olması durumunda tespit edilir. Bazı aktif koruma yöntemleri; empedans ölçüm yöntemi, faz

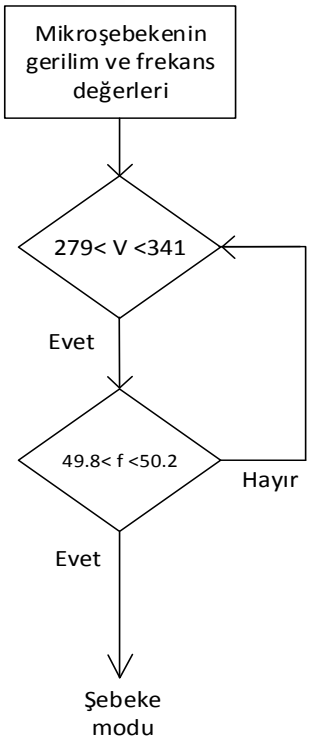
veya frekans kaydırma yöntemi, reaktif güç akışı hata tespiti, aktif frekans öteleme yöntemidir.

Bu yapılan projede, pasif yöntemler başlığı altında yer alan frekans ve gerilim koruma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem için EPDK tarafından belirlenen koşul değerler[36];

- Nominal 50 Hz için belirlenen frekans aralığı 49.8-50.2 değerleri arasında olmalıdır.
- Gerilim değişim değeri ± %10 olmalıdır.

3.3 Senkronizasyonun Sağlanması

Mikroşebeke, ana şebekeden ayrı çalışırken güç farkından dolayı şebeke ile arasındaki senkronizasyon kaybolur. Böyle bir durumda her hangi bir anda şebekeye bağlanılması halinde ise ciddi tehlikelerle karşılaşılabilir. İnverter ve şebeke arasındaki faz farkından sirkülasyon akımı geçer ve cihaza büyük zararlara yol açabilir. Bu gibi durumları önlemek için şebeke ve inverter arasında senkronizasyon şartlarının sağlanması gerekir. Bunun için de frekans ve gerilim değerlerinin belirli bir aralıkta tutulup, kontrol edildikten sonra bağlanması gerekir. Bu projede kullanılan algoritma Şekil 3.4'te görülmektedir.



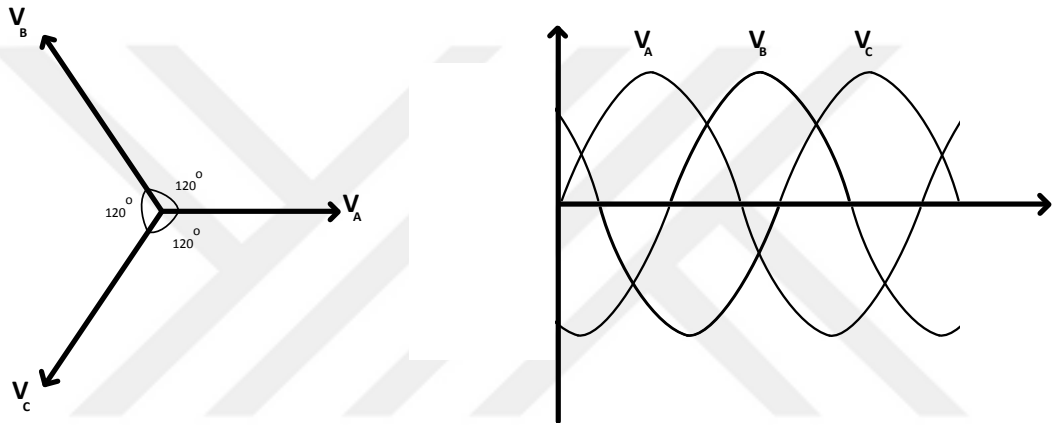
Şekil 3.4 Şebekeye bağlanma şartı algoritması

3.4 Kontrol Akışında Kullanılan Yöntemler

Bu bölümde kontrol yapısı oluşturulurken kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

3.4.1 Vektörel Dönüşümler

Üç fazlı analizlerde kontrolü ve hesaplamaları daha kolay yapabilmek amacıyla eksen takımlarında dönüştürmeler uygulanır. Bu dönüşümler uygulanarak akım ve gerilim değerleri üç fazlı sistemden ikili eksen takımına indirgenir. Üç fazlı değerler önce iki eksenli sabit eksen takımına (α-β) daha sonra α-β eksen takımından senkron hızda dönen d-q eksen takımına dönüştürülür.



Şekil 3.5 Üç faz gerilimin fazör ve zamana bağlı grafiği

Şekil 3.5'te gösterilen üç fazlı dengeli sistemde gerilimler 120° faz farkı olan eşit genlikli vektörlerdir.

Üç fazlı dengeli bir sistemin gerilimleri aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$V_a = V_m \sin(\omega t) \tag{3.1}$$

$$V_b = V_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \tag{3.2}$$

$$V_c = V_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \tag{3.3}$$

Üç faz büyüklükler tek bir vektör olarak yazıldığında,

$$\bar{v} = v_a + \bar{a} v_b + \bar{a}^2 v_c \tag{3.4}$$

olarak yazılır Aynı zamanda,

$$\underline{\mathrm{a}} = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \tag{3.5}$$

$$\underline{\mathrm{a}}^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \tag{3.6}$$

ifadeleri 3.4 eşitliğinde kullanılırsa;

$$\underline{\mathrm{v}} = \mathrm{v}_a + v_b e^{j\frac{2\pi}{3}} + v_c e^{j\frac{4\pi}{3}} \tag{3.7}$$

denklemine ulaşılır.

3.4.1.1 Clarke Dönüşümü

Clarke dönüşümü kullanılırak üç fazlı sistem α ve β olarak isimlendirilen sabit ikili eksen takımına indirgenir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi α ekseni a fazı ile çakışmakta ve β ekseni α ekseninden 90° geridedir.

v vektörünün ikili eksen takımındaki α-β ve üç fazdaki a-b-c bileşenleri cinsinden ifadesi;

$$\underline{\mathrm{v}} = \mathrm{v}_\alpha + j\mathrm{v}_\beta = \frac{2}{3}\mathrm{K}\left[\mathrm{v}_a + \mathrm{v}_b e^{j\frac{2\pi}{3}} + \mathrm{v}_c e^{j\frac{4\pi}{3}}\right] \tag{3.8}$$

olarak yazılabilir. Sıfır sıralı bileşen ifadesi ise;

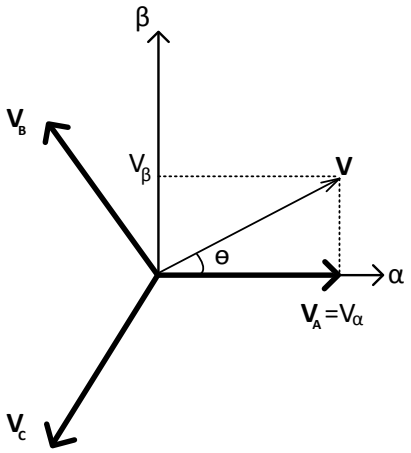
$$\mathrm{v}_0 = \frac{1}{3}(\mathrm{v}_a + v_b + v_c) \tag{3.9}$$

Eşitlikte görülen K katsayısı ölçekleme faktörü olarak isimlendirilir ve isteğe bağlı olarak seçilir. Bu çalışmada K = 1 olarak alınmıştır. K katsayısının değerleri aşağıda verilmiştir.

Tepe değer ölçekleme : K = 1

RMS değer ölçekleme : $K = \frac{1}{\sqrt{2}}$

Güç sabiti ölçekleme : $K = \sqrt{\frac{3}{2}}$



Şekil 3.6 α-β eksen vektörleri

Şekil 3.6'ya bakılarak bileşke vektörün α-β eksen bileşenleri geometrik olarak hesaplandığında;

$$v_\alpha = \frac{2}{3}\left(v_a + v_b \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) + v_c \cos\left(\frac{4\pi}{3}\right)\right) \tag{3.10}$$

$$v_\beta = \frac{2}{3}\left(v_b \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) + v_c \sin\left(\frac{4\pi}{3}\right)\right) \tag{3.11}$$

(3.10) ve (3.11) eşitliklerine ulaşılır [37]. Elde edilen eşitlikler matris formunda ifade edildiğinde;

$$\begin{bmatrix} V\alpha \\ V\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3}\begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \tag{3.12}$$

Üç fazlı sistemlerde herhangi bir andaki bileşke vektör faz gerilimlerinin vektörel toplamı ile bulunur. Sabit ikili eksen takımında v_α a fazı ile aynı fazda ilerlemekte ve v_β ise 90° geride kalmaktadır.

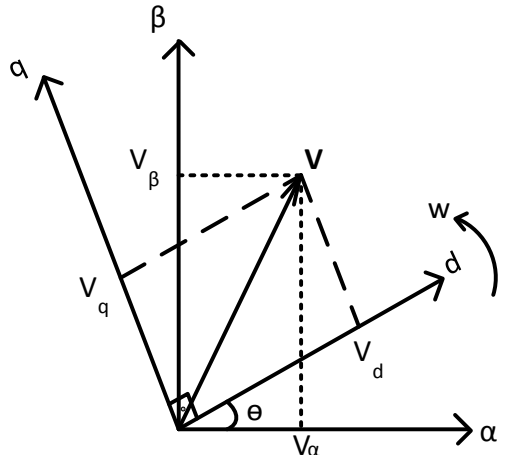
(3.12) eşitliğinde ters dönüşüm yapıldığında sabit ikili eksen takımından üç fazlı büyüklüklere geçilir. Bu ifade (3.13) eşitliğinde verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V\alpha \\ V\beta \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

3.4.1.2 Park Dönüşümü

Sabit eksen takımına dönüştürülen üç fazlı büyüklükler park dönüşümü kullanılarak dönen ikili eksen takımına (d-q eksen takımı) indirgenir. Bu dönüşüm uygulandıktan sonra sabit eksen takımındaki dönen vektör sabit değer alır. d bileşeni üç fazlı büyüklüklerin genliğine eşit olurken q bileşeni ise dengeli bir sistemde sıfır değerini almaktadır.

d-q eksen takımı üç fazlı büyüklükler ile aynı hızda döner ve bu dönüşümde θ açısı bulunmaktadır. Bileşke vektör α-β eksenine göre sabit hızla hareket ederken d-q eksen takımına göre sabit kalmaktadır. Bundan dolayı d-q eksen takımındaki büyüklükler DC olmaktadır.



Şekil 3.7 d-q eksen vektörleri

$$\bar{\alpha} = \bar{\mathrm{d}}\cos(\theta) - \bar{\mathrm{q}}\cos(\theta) \tag{3.14}$$

$$\bar{\beta} = \bar{\mathrm{d}}\sin(\theta) + \bar{\mathrm{q}}\sin(\theta) \tag{3.15}$$

$$\bar{\mathrm{v}} = \mathrm{v}_a\bar{\alpha} + \mathrm{v}_\beta\bar{\beta} = \mathrm{v}_d\bar{\mathrm{d}} + \mathrm{v}_q\bar{\mathrm{q}} \tag{3.16}$$

(3.14) ve (3.15) eşitlikleri (3.16) yerine yazıldığında;

$$\bar{\mathrm{v}} = \mathrm{v}_a(\bar{\mathrm{d}}\cos(\theta) - \bar{\mathrm{q}}\sin(\theta)) + \mathrm{v}_\beta(\bar{\mathrm{d}}\sin(\theta) + \bar{\mathrm{q}}\cos(\theta)) \tag{3.17}$$

(3.16) ve (3.17) eşitliklerine bakıldığında;

$$V_d = V_\alpha\cos\theta + V_\beta\sin\theta \tag{3.18}$$

$$V_q = -V_\alpha\sin\theta + V_\beta\cos\theta \tag{3.19}$$

sonucuna ulaşılır. Bu eşitliklerin matris formunda ifadesi;

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \tag{3.20}$$

Aynı şekilde dönen eksen takımından sabit eksen takımına geçiş yapmak için;

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} \tag{3.21}$$

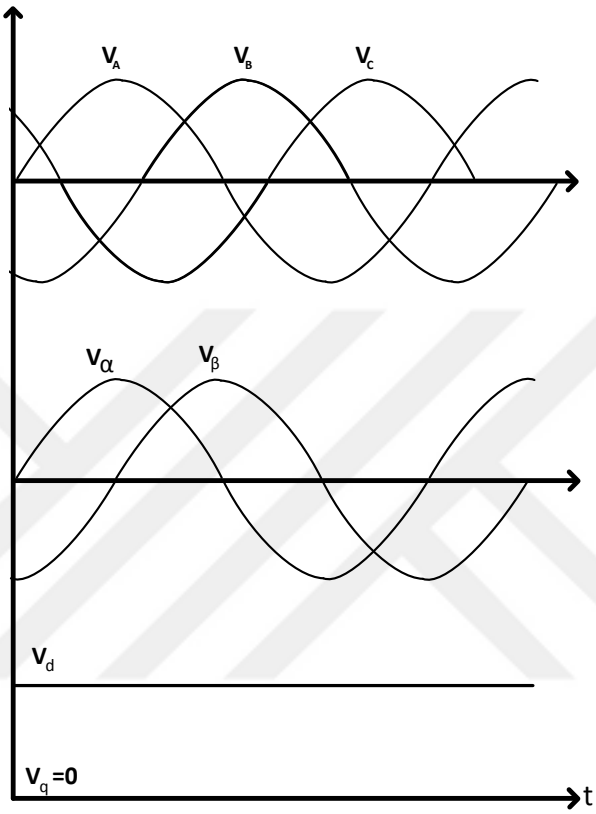
Yukarıda anlatılanlarda indirgeme yapılırken üç fazlı sistemden önce α-β sabit eksen takımına daha sonra d-q eksen takımına geçiş yapılıyordu. Üç fazlı sistemden d-q eksenine direkt geçiş yapmak için (3.23) eşitliğindeki Park dönüşümü kullanılır. Bu dönüşümü elde etmek için (3.20) eşitliğinde (3.21) eşitliği yerine yazılır.

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & \cos\frac{2\pi}{3} & \cos\frac{4\pi}{3} \\ 0 & \sin\frac{2\pi}{3} & \sin\frac{4\pi}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \tag{3.22}$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\theta\cos\frac{2\pi}{3} + \sin\theta\sin\frac{2\pi}{3} & \cos\theta\cos\frac{4\pi}{3} + \sin\theta\sin\frac{4\pi}{3} \\ -\sin\theta & -\sin\theta\cos\frac{2\pi}{3} + \cos\theta\sin\frac{2\pi}{3} & -\sin\theta\cos\frac{4\pi}{3} + \cos\theta\sin\frac{4\pi}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \tag{3.23}$$

(3.23) eşitliğine trigonometrik dönüşümler uygulandığında eşitlik son haline ulaşır [37].

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ -\sin\theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3.24)$$



Şekil 3.8 Üç faz gerilimin ve eksen takımlarının zamana bağlı değişimi

3.4.2 Üç Fazlı İnverterde Kontrol Yapı Çeşitleri

Üç fazlı inverterler sabit eksen takımı, sabit hızda dönen eksen takımı (d-q) ve üç faz eksen takımı kullanılarak kontrol edilmektedir. Bu çalışmada sabit hızda dönen eksen takımı kullanılarak kontrol yapılmıştır.

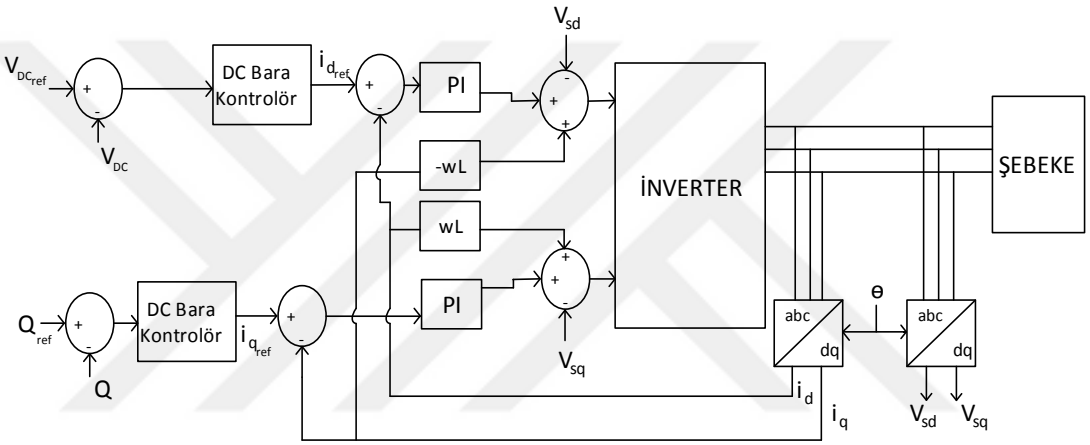
3.4.2.1 d-q Eksen Takımında Kontrol

Üç fazlı sistem değerlerinin park dönüşümü ile d-q senkron hızda dönen ikili eksen takımına indirgenmesiyle yapılan kontrol yöntemidir. d-q eksen takımı şebeke ile eş zamanlı seyretmekte olup kullanılan büyüklükler DC değerlerdir. Bu da kontrolü ve filtreleme işlemlerini kolaylaştırmaktadır.

Şekil 3.9'da blok diyagramı görülen sistemde üretilmek istenen güce göre DC bara kontrolü ile şebeke akımı genliğini belirleyen i_d akımı referansı elde edilir. Reaktif güç aktarımı istenmediğinden dolayı i_q referansı sıfır alınmaktadır.

DC değişkenleri kolaylıkla düzenleyebildiği için kontrolör olarak PI kontrol kullanılmıştır. PI kontrolün transfer fonksiyonu (3.25) ifadesiyle verilmiştir. Referans değer ve ölçülen değer arasındaki hata PI kontrolöre verilir. Orantı katsayısı (K_p) ve integratör katsayısı (K_i) değiştirilerek en uygun çıkış referansı elde edilir [38].

$$G_{PI}^{dq}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \tag{3.25}$$



Şekil 3.9 d-q eksen takımında kontrol şeması

3.4.3 Modülasyon Yöntemleri

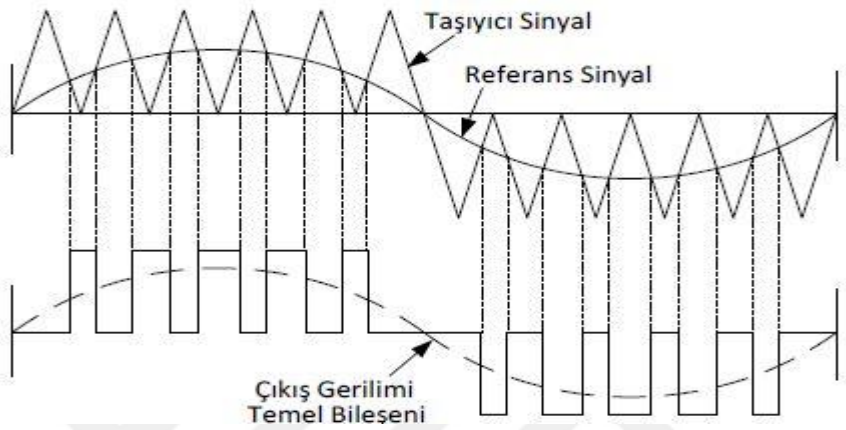
Modülasyon yöntemi olarak uzay vektör darbe genişlik modülasyon (SVPWM) yöntemi, sinüzoidal darbe genişlik modülasyon (SPWM) yöntemi ve histeresiz akım kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada sinüzoidal darbe genişlik yöntemi kullanılmıştır.

3.4.3.1 SPWM Yöntemi

Bu yöntemde yüksek frekanslı üçgen bir taşıyıcı sinyal ile sinüzoidal bir modülasyon sinyali karşılaştırılarak PWM sinyalleri üretilir. Burada çıkış geriliminin frekansı modülasyon sinyalinin frekansı ile belirlenir. Çıkış geriliminin genliğini, taşıyıcı üçgen sinyalin genliğinin modülasyon sinyalinin genliğine oranı belirler. Bu oranın en büyük değeri 1'dir ve bu oran 1'e yaklaştıkça çıkış geriliminin genliği artmaktadır. Üçgen taşıyıcı

sinyalin frekansı ise anahtarlama frekansını belirler. Üretilen çıkış akımının harmonikleri anahtarlama frekansının katları şeklindedir.

Referans sinyal, referans akım ve ölçülen akım arasındaki farkın hata sinyali olarak PI kontrolörde işlenmesiyle PI kontrolörün çıkışı olarak elde edilir. Elde edilen referans gerilim taşıyıcı üçgen sinyal ile karşılaştırılarak her faza ait PWM sinyalleri üretilir [39].



Şekil 3.10 sinüs-üçgen PWM üretimi [58]

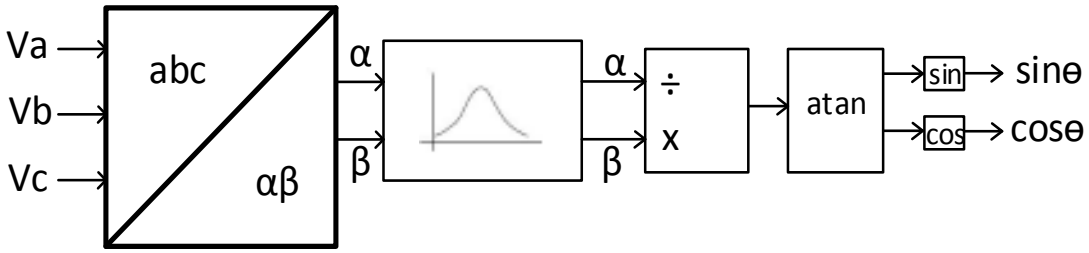
3.4.4 Şebeke Senkronizasyon Metotları

Şebekeye bağlı çalışmalarda en önemli noktalardan birisi şebeke senkronizasyonunu sağlamaktır. Anahtarlama elemanına verilmesi gereken sinyaller şebeke gerilim vektörünün açısına göre verilmelidir. Kullanılan algoritmayla şebeke vektörünün açısının tespit edilmesi bu bağlamda önem kazanmaktadır. Şebeke senkronizasyonunun sağlanması amacıyla sıfır geçiş, α-β filtre, d-q filtre, d-q PLL ve adaptif PLL gibi yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada α-β filtre yöntemi kullanılmıştır.

3.4.4.1 α-β Filtre Yöntemi

Bu yöntemde önce üç faz şebeke gerilimleri α-β sabit eksen takımına indirgenir ve sonra filtreleme ile açı tespiti yapılır.

Uygulamanın blok diyagramı Şekil 3.11'te görülmektedir.



Şekil 3.11 α-β filtre ile şebeke açısının belirlenmesi

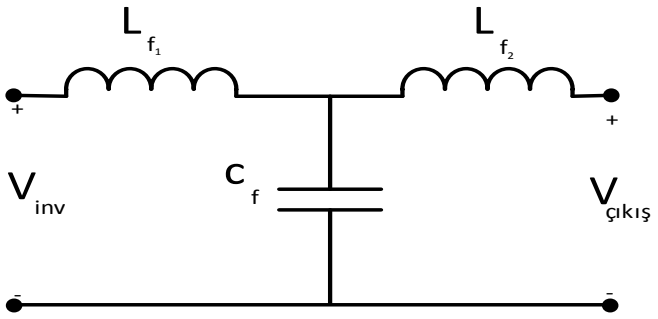
Bu konuyla ilgili literatürde; LPF, çentik filtre, uzay vektör filtre gibi farklı metotlar sabit eksende uygulanmıştır [40]. Filtreleme işlemi, giriş sinyallerinde oluşan gecikmelerden dolayı açı tespitinde bazı problemlere neden olabilir. Bu nedenle filtre tasarımı ehemmiyeti büyüktür [41].

3.5 Filtre Çeşitleri

İnverterlerin çıkışında L ve C elemanları farklı şekillerde kullanılarak pasif filtre konulur. Bu filtrelerin amacı inverterde üretilen akımın harmonik içeriğini düşürmektir[42]. Bu amaçla inverter çıkışlarında L, LC ve LCL filtreler kullanılmaktadır. Bu çalışmada LCL filtre kullanılmıştır [43].

3.5.1 LCL Filtre

LCL filtre kontrol açısından L ve LC filtreye göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Buna rağmen inverter çıkışlarında son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. LCL filtrenin endüktans değerinin düşük olması nedeniyle üzerine düşen gerilim değeri düşük ve bunun sonucu olarak da dinamik cevap verme süresi daha kısadır. Düşük endüktans değeri aynı zamanda maliyeti de azaltmaktadır. Filtrenin yük tarafında bulunan LC filtre yüksek frekanslı harmonikleri filtreleyip, çıkış tarafındaki dalgalanmayı daha da azaltmaktadır. Böylece çıkış tarafındaki endüktans üzerindeki dalgalanma azalmakta ve endüktans değerinin düşük tutulmasına imkan vermektedir. Aynı filtre endüktans değerinde, LCL filtre kullanılması durumunda düşük anahtarlama frekansında L filtre ile aynı harmonik içeriğe sahip olmaktadır. Bu da büyük güçlü uygulamalarda düşük anahtarlama frekansı verim açısından önemli olduğu için LCL filtrenin daha avantajlı olduğunu göstermektedir [44],[45],[46].



Şekil 3.12 LCL filtre

Bu özelliklerinin yanında LCL filtrenin dezavantajları da bulunmaktadır. Rezonans durumu, endüktanslar üzerindeki akım dalgalanması, filtrenin toplam empedansı, anahtarlama frekansındaki endüktansların bastırılması ve kondansatör tarafından oluşturulan reaktif güç filtre dizaynının önemini artırmaktadır. Endüktansların değerinin yükselmesi endüktans üzerinde düşen gerilimin artmasına sebep olur. Bu da DC bara gerilimini artırır ve bunun sonucu anahtarlama kayıplarının yükselmesidir. Yüksek kondansatör değeri reaktif güç faktörünü artmasına sebep olacağından %5 reaktif güç sınırının altında kalmayı sağlayacak kondansatör gerekmektedir. Kondansatör ve endüktans değerleri birbirlerine zıt olarak değişmektedir. Yani kondansatör değeri düşürüldüğünde endüktans değeri azaltılmalıdır. Filtrede oluşacak rezonans durumunun önüne geçmek için rezonans frekans aralığı şebeke frekansının 10 katı ile anahtarlama frekansının yarı değeri arasında olmalıdır.

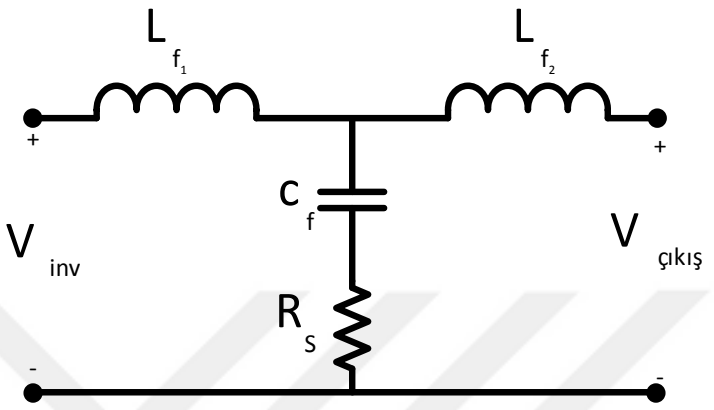
LCL filtrenin açısal rezonans frekansı ve transfer fonksiyonu;

$$\omega_{rez} = \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1.L_2.C}} \tag{3.26}$$

$$G(s) = \frac{\mathrm{i}_{L_2}(s)}{\mathrm{v}_{inv}(s)} = \frac{1}{(L_1 L_2 C)s^3 + (L_1 + L_2)s} \tag{3.27}$$

olarak verilir [44],[46]. LCL filtrenin rezonans frekansını ortadan kaldırabilmek amacıyla aktif veya pasif rezonans sönümleme yöntemi uygulanır. Kolaylığı nedeniyle genellikle kondansatöre seri veya paralel bir direnç bağlanarak gerçekleştirilen pasif sönümleme yöntemi kullanılır [47],]48]. Bu direnç rezonans durumu engellese de üzerinde ekstra bir gerilim düşümü olacağı için verimi düşürmektedir [49],[50]. Bu çalışmada kondansatöre seri bir direnç bağlanarak pasif sönümleme yapılmıştır. LCL filtre kullanımında, girişteki

endüktans akımının yanı sıra kondansatörün akım ve gerilimi, çıkış endüktansının akımının da kontrol edilmesi gereklidir. Bu nedenle LCL filtre kontrol açısından daha zor hale gelmektedir [51].



Şekil 3.13 Seri direnç ile akım sönümleme

BÖLÜM 4

MİKROŞEBEKE YAPISINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

Şebekeye bağlı veya şebekeden ayrı her iki durumda da amaç güvenilirlik ve kararlılığı sürdürmektir. Şebekeye bağlı çalışmada sistemin gerilimini ve frekansını şebeke belirlerken, ada modunda çalışmada ise sistem içerisinde yer alan DEK tarafından belirlenir.

4.1 Şebekeye Bağlı Çalışma Modu

Şebekeye bağlı modda çalışırken, şebekeye aktarılan enerjinin yüksek kaliteli ve bozucu etkenlerden arındırılmış olması istenir. Yüksek kalitede enerji aktarımı için, 3 faz akımların ve gerilimlerin arasında faz farkı olmamalıdır. Bu sebeple şebekeye bağlı çalışmada akım kontrolü yapılarak yüksek kalite sağlanmış olur.

4.1.1 Sabit Akım Modunda Çalışma

Şebekeye bağlı model; DC gerilim kaynağı, inverter, filtre, kontrol çevrimi, yük ve şebekeden oluşur. Akım kontrol çevrimi, hızlı cevap verme yeterliliğine sahip olmalıdır. Harmonik miktarını azaltarak güç kalitesini iyileştirir ve akım korumasını sağlar. Akım kontrol çevrimi ile şebekelere aktarılan aktif reaktif istenilen değerlerde tutulur. Akım kontrol yapısında görülen P_{ref} ve Q_{ref}, şebekeye aktarmak istenilen aktif reaktif gücü, V_{abc} şebekenin 3 fazından alınan gerilim örneklerini ifade eder. Şebeke vektörünün açısı tespit edilir. V_{abc} değerleri clarke-park dönüşümlerinden geçirilerek şebeke gerilimine ait V_{d-q} değerleri bulunur. Denklem (4.1) ve (4.2) kullanılarak i_{d-qref} değerlerine ulaşılır. Bu elde i_{d-qref} değerleri LCL filtrenin çıkışından alınan i_{d-q} gerçek akım değerleriyle karşılaştırılarak hata sinyali alınır. Alınan hata sinyaline PI kontrol uygulanır. PI kontrolör

çıkışından alınan değerlere kondansatör ve bobinlerdeki düşümler de eklendikten sonra $V_{d\text{-}q}$ referans değerleri elde edilir. $V_{d\text{-}q}$ referans değerlerine ters Park ve ters Clarke dönüşümleri uygulanarak 3 faz sinüzoidal referans gerilimlere ulaşılır. Daha sonra bu üç faz referans sinüsler, üçgen dalga ile karşılaştırılarak PWM sinyalleri üretilmiş olur.

Şebekeye reaktif güç aktarmak istenilmediği için V_q=0 alınır ve güç korunumu ilkesine göre;

$$P = \frac{3}{2} \mathrm{V}_d \mathrm{i}_d \tag{4.1}$$

$$Q = -\frac{3}{2} \mathrm{V}_d \mathrm{i}_q \tag{4.2}$$

3 fazlı inverterin çıkış tarafına kirchoff gerilim yasası uygulandığında:

$$V_{iabc} = V_{abc} + Ri_{abc} + L\frac{di_{abc}}{dt} \tag{4.3}$$

(4.2) eşitliği, matris formunda ve 3 faz ayrı olarak yazıldığında;

$$\begin{bmatrix} V_{ia} \\ V_{ib} \\ V_{ic} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} + R\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + L\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \tag{4.4}$$

(4.3) eşitliğine Clarke dönüşümü uygulandığında (4.4) eşitliği elde edilir.

$$\begin{bmatrix} V_{id} \\ V_{iq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} + R\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + L\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + Lw\begin{bmatrix} -i_d \\ i_q \end{bmatrix} \tag{4.5}$$

Matris formunda elde edilen d-q eksen bileşenleri birbirinden ayrı olarak (4.5) ve (4.6) eşitliklerinde gösterilmiştir.

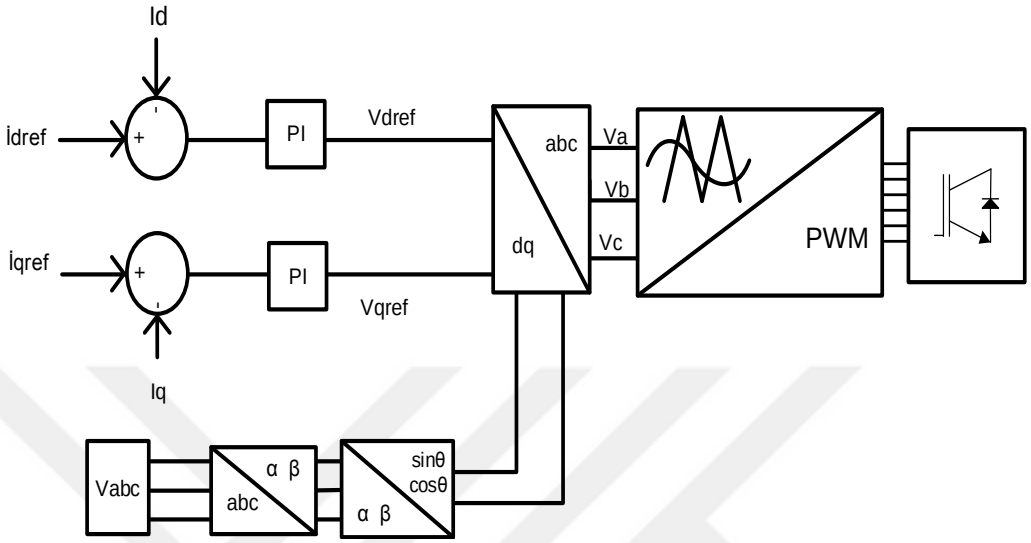
$$V_{id} = V_d + Ri_d + L\frac{di_d}{dt} - Lwi_d \tag{4.6}$$

$$V_{iq} = V_q + Ri_q + L\frac{di_q}{dt} + Lwi_q \tag{4.7}$$

(4.5) ve (4.6) eşitliklerine PI kontrolör ifadesi eklenerek yeniden düzenlendiğinde elde edilecek olan referans değerler aşağıdaki gibi bulunur:

$$V_{id} = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) \left(i_{dref} - i_d(0) \right) - Lwi_d + V_d \tag{4.8}$$

$$V_{iq} = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) \left(i_{qref} - i_q(0) \right) + Lwi_q + V_q \tag{4.9}$$



Şekil 4.1 Sabit akım modu şeması

4.1.2 Sabit Güç Modunda Çalışma

Sabit akım ve sabit güç modu arasındaki fark; sabit akım modunda aktarılan akım kontrol edilirken, sabit güç modunda aktarılan gücün belirli aktif ve reaktif değerde tutulması istenir. Algoritmaya aktif ve reaktif güçlerin kontrol edildiği iki PI kontrolör daha eklenir ve çıkışından $i_{d\text{-}q}$ referans değerleri alınır. Bu kısımdan sonrası sabit akım modunda anlatıldığı gibidir.

P_{ref} ve P arasındaki hata sinyali PI kontrolden geçirildikten sonra elde edilen $i_{d\text{-}q}$ referans değerlerinin matematiksel ifadesi;

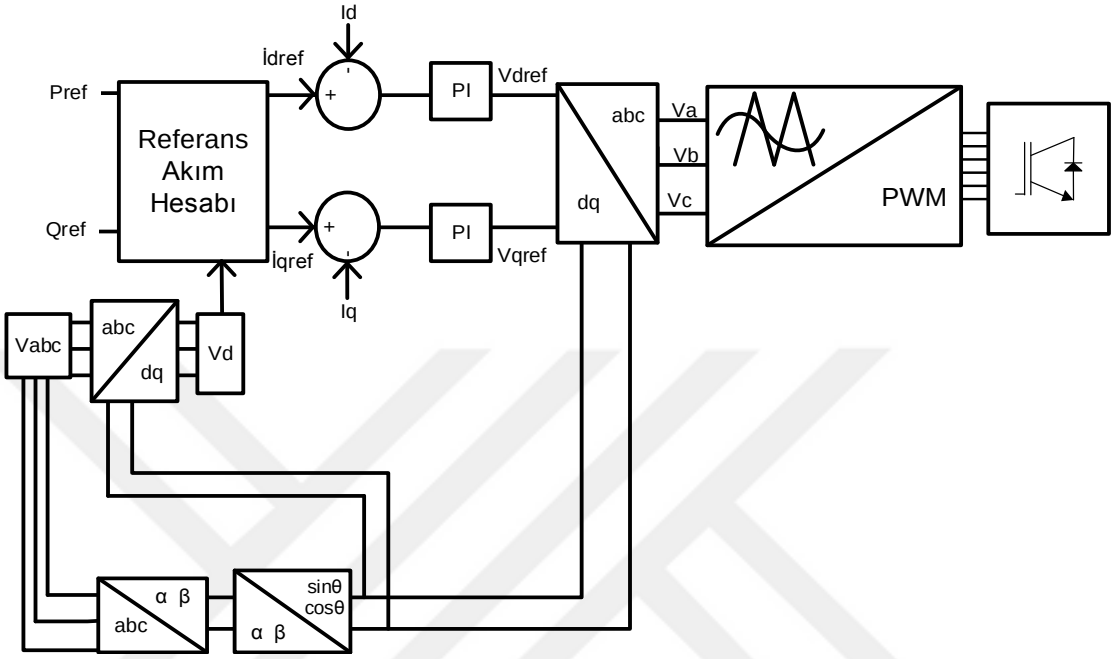
$$i_{d_{ref}} = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) \left(P_{ref} - P \right) \tag{4.10}$$

$$i_{q_{ref}} = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) \left(Q_{ref} - Q \right) \tag{4.11}$$

$i_{d\text{-}q}$ referans değerleri ve ölçülen $i_{d\text{-}q}$ değerleri arasındaki fark PI kontrolden geçirildikten sonra elde edilen $V_{d\text{-}q}$ referans değerlerin matematiksel ifadesi;

$$V_{d_{ref}} = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) \left(i_{dref} - i_d \right) \tag{4.12}$$

$$V_{q_{ref}} = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) \left(i_{qref} - i_q \right) \tag{4.13}$$



Şekil 4.2 Sabit güç modu şeması

4.1.3 Şebekeye Bağlı İnverterde Şebekeye Enerji Aktarımı

YEK'ten şebekeye enerji aktarılması DPGS ile sağlanmaktadır. DPGS genel yapısı Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Rüzgar enerjisi çalışmalarında çıkıştaki AC gerilim doğrultulurken, güneş enerjisi gibi uygulamalarda çıkış zaten DC olduğu için böyle bir uygulamaya gerek yoktur. Alternatif enerji kaynaklarından elde edilen bu doğru gerilimin şebekeye verilmeden önce alternatif gerilime çevrilmesi gerekir. Bu dönüşümün yapılması için inverterlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu enerji şebekeye aktarılırken şebekede bozucu etki oluşturmamak için inverterle oluşturulan enerjini kalitesinin yüksek olması istenir. Yüksek enerji kalitesi için üretilen akımların sinüzoidale yakın ve verilecek olan fazla aynı fazda olması gerekmektedir. Aynı zamanda inverterin güç yoğunluğunun ve veriminin yüksek, maliyetinin düşük olması istenmektedir.

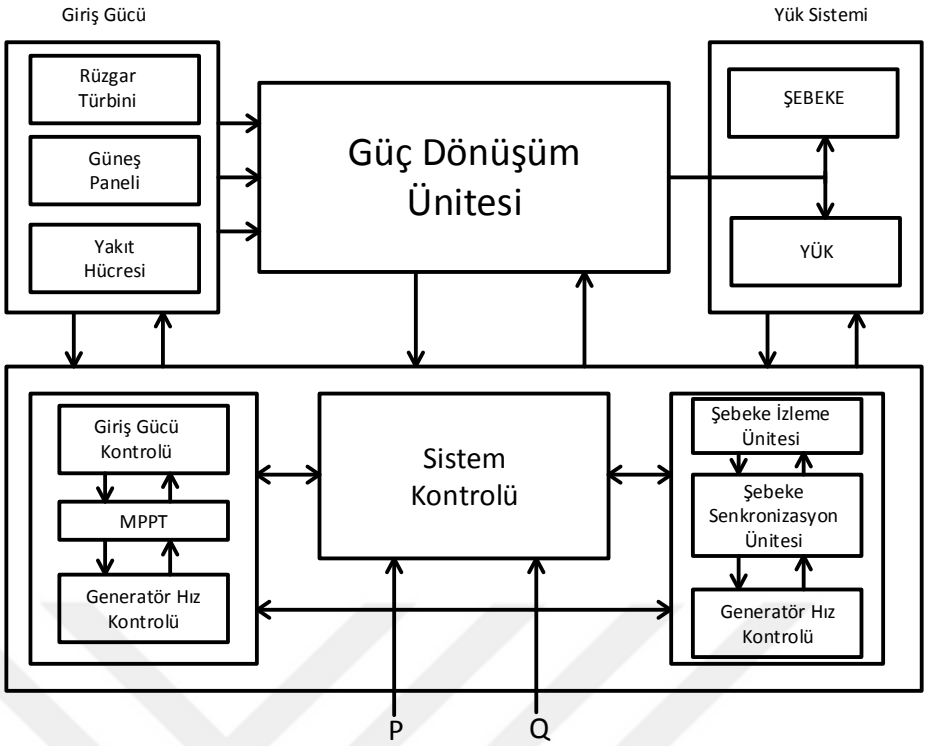
DPGS giriş ve şebeke olmak üzere iki kısımdan oluşur. Standartlara uygun gerilim verebilmek için gerekli kontrol yapıları da iki ayrılmaktadır [52].

1. Giriş tarafı genelde DC/DC dönüştürücüye sahiptir. Güç kaynağı olarak çıkış gerilimleri düşük ve aynı zamanda değişken olan PV panel kullanılması durumunda, yüksek ve sabit bir gerilim elde etmek amacıyla bir DC/DC dönüştürücü kullanılır. Ayrıca DC/DC dönüştürücü yardımıyla çekilen güç maksimum olur.
2. Çıkışta bulunan inverter ile şebekeye aktarılan aktif ve reaktif güç kontrol edilerek gücün kalitesinin yüksek olmasını ve şebekeyle eş zamanlı hareket etmesini sağlar.

Şebekeye bağlı inverterlerin, güç aktarabilmesi şebeke ile eş zamanlı olması gerekmektedir. Aynı zamanda bu akımların harmonik içerikleri belli sınırlar dahilinde olmalıdır. IEEE 519 harmonik standardı, şebekeye aktarılan harmonik içeriğin %5'ten daha küçük olması gerektiğini belirtir. Ülkemizde uygulanan Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği'nde harmonik sınır değerleri belirtilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.1'de görülmektedir [53],[36].

Çizelge 4.1 Harmonik sınır değerleri

Harmonik	Sınır Değer
3 - 9	<%4
11 - 15	<%2
17 - 21	<%1.5
23 - 33	<%0.6
33 ve üstü	<%0.3



Şekil 4.3 DPGS genel yapısı [58]

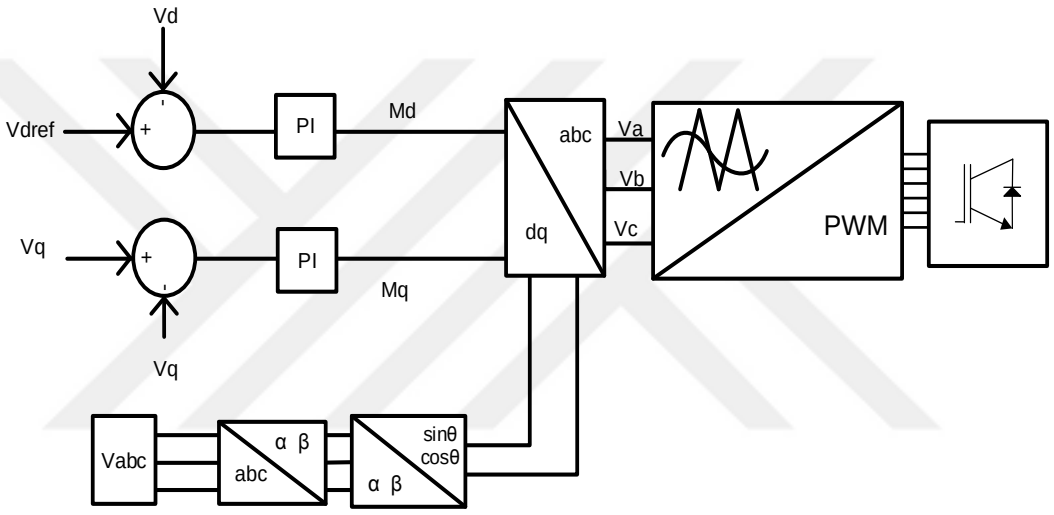
Şebekeye bağlı invereterlerde temel olarak iki kontrol çevrimi bulunmaktadır. Bunlardan ilki, güç kalitesi ve akım koruması işlemlerini geçekleştiren şebeke akım kontrol çevrimidir. Harmonik elemesi ve dinamik cevap akım kontrölünün önemli bölümünü oluşturur. Diğeri ise sistemin güç akış dengesini sağlayan DC bara gerilim kontrolüdür. Kontrolör tasarımı farklı durumlarda sistemin kararlılığını korumasını sağlamalıdır [55],[56].

Şebekeye bağlı inverterlerin kontrolü, bu iki kontrolün yerine güç kontrolü gerçekleştirilir ve böylece dolaylı olarak akım kontrolü yapılmış olur [57],[58].

4.2 Şebekeden Bağımsız Çalışma Modu

İnverterin şebekeden ayrı bir biçimde yükü beslediği çalışma şeklidir. Bu çalışma şeklinde gerilim ve frekans belirlenen koşullarda kalmalıdır. Bu çalışma ya dışarıdan referans gerilim ve genlik alınır ya da hayali bir şebeke oluşturularak kontrol yapıları ile sağlanır. Şebekeye bağlı çalışma modunda akım kontrolü yapılırken bu çalışma modunda gerilim kontrolü yapılır.

Sistemi kontrolünde kullanılan en kolay yöntem V/f kontrolüdür. V_{ref} ve f_{ref} referans değerleri kullanılarak 3 fazlı sinüs dalgaları elde edilir. Bu üç fazlı sinüs dalgaları Park dönüşümü kullanılarak d-q eksen takımına indirgenir. Bu d-q referans değerleri filtre çıkışından alınan 3 fazlı gerilim örneklerinin d-q eksen değerleri ile karşılaştırılarak PI kontrolde kullanılacak olan hata değerleri elde edilir. Hata değerleri PI kontrole verilir ve çıkışında üçgenle karşılaştırılacak olan üç fazlı sinüs referansının genliği (d-eksen) ve q-eksen değerleri alınır. Bu iki bileşen M_d ve M_q olarak isimlendirilmiştir. Bu değerler dq/abc dönüşümü yapıldıktan sonra üçgenle karşılaştırılır ve PWM sinyalleri üretilmiş olur.



Şekil 4.4 Ada modu çalışma algoritması

M_d ve M_q değerlerinin matematiksel ifadeleri (4.14) ve (4.15)'te verilmiştir.

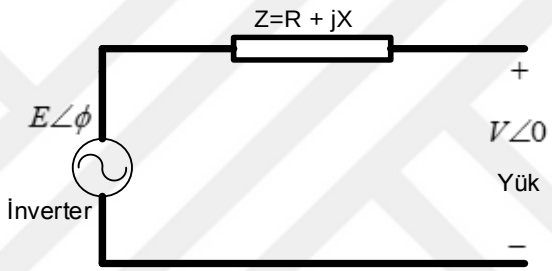
$$\mathrm{M}_d = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) \left(V_{d_{ref}} - V_d \right) \tag{4.14}$$

$$\mathrm{M}_q = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) \left(V_{q_{ref}} - V_q \right) \tag{4.15}$$

4.2.1 Eğim Kontrol Yöntemi

Şebekeye bağlı çalışma modunda gerilim ve frekans değerlerini şebeke belirler. Ancak şebekeden ayrı çalışıldığında gerilim ve frekans değerlerini DÜK kendisi ayarlar. DÜK kendisine bağlı olan yüklerin ihtiyacını sahip olduğu kapasiteye bağlı olarak düzenler. Bu koşul sağlanamadığında gerilim ve frekans değerlerinde kararsız durumlar oluşur.

Mevcut sistemde karşılaşılan ani durumlara cevap verebilmek için dayanıklı, kolay kurulan, taşınabilir ve çevresel şartlara uyum sağlayabilen şebeke yapısına ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için mikroşebekelerde düşük ataletli jeneratörler kullanılmıştır. Ancak bu jeneratörler de büyük güç değişimlerinde kararsız kalmaktadırlar. Bu durum jeneratörün kendisine ve aynı zamanda mikroşebekeye zarar vermektedir. Senkron generatörlerde, yükün arttığı durumlarda, generatör yavaşlar yani frekans düşer. Bunun sonucu olarak da torkun arttırılması gerekmektedir. Benzer durum gerilim ve reaktif güç dengesinde de yaşanmaktadır. Mevcut enterkonnekte sistem yapısında frekansın sistem üzerindeki etkisi büyüktür. Yükün arttığı ve azaldığı durumlarda oluşacak olan aktif güçteki değişim talebi frekans değerinde değişimi gerektirir. Bu koşulların karşılanması için kontrole ihtiyaç duyulur.



Şekil 4.5 Enerji sistem şeması [59]

İncelenen basit devrede inverterden yüke aktarılan görünür gücün ifadesi;

$$S = P + jQ = VI' \tag{4.16}$$

(4.16) eşitliğinde S görünür gücü, P aktif gücü ve Q aktarılan reaktif gücü belirtmektedir. (4.17) eşitlinde V inverter geriliminin genliğini, E yük geriliminin genliğini, I' ifadesi inverter ve yük arasındaki akımı ifade etmektedir.

$$I' = \left(\frac{\overline{E} - \overline{V}}{\overline{Z}} \right)' \tag{4.17}$$

(4.17) eşitliği kullanılarak yükte oluşan görünür güç hesaplanırsa;

$$S = V \left(\frac{Ee^{-j\phi} - V}{Ze^{-j\theta}} \right) \tag{4.18}$$

4.18 eşitliğinde ϕ, inverter terminal gerilimin açısını, Z hat empedansını, θ ise hat empedansının açı değerini belirtir.

$$S = EV\frac{e^{-j(\phi-\theta)}}{Z} - V^2\frac{e^{j\theta}}{Z} \tag{4.19}$$

(4.19) eşitliğinde yer alan üstel ifadesi trigonometrik olarak düzenlendiğinde, P ve Q eşitlikleri sırasıyla (4.20) ve (4.21)'de gösterilmiştir:

$$P = \frac{EV\cos(\theta-\phi)}{Z} - \frac{V^2\cos(\theta)}{Z} \tag{4.20}$$

$$Q = \frac{EV\sin(\theta-\phi)}{Z} - \frac{V^2\sin(\theta)}{Z} \tag{4.21}$$

İletim hatlarında endüktif yük fazla olduğu için (X>>R), R ihmal edilir. Sonuç olarak,

Z = X ve $\theta = 90^o$ olur. (4.20) ve (4.21) eşitlikleri buna göre tekrar düzenlendiğinde;

$$P = \frac{EV\sin(\phi)}{X} \tag{4.22}$$

$$Q = \frac{EV\cos(\phi)}{X} - \frac{V^2}{X} \tag{4.23}$$

Kısa hat uzunlukları dikkate alınarak ϕ değeri yaklaşık 0 alınırsa, $\sin(\phi) \approx \phi$ ve $\cos(\phi) \approx 1$ olur. (4.22) ve (4.23) eşitlikleri bu duruma göre tekrar düzenlenirse;

$$\phi = \frac{PX}{EV} \tag{4.24}$$

$$E - V = \frac{QX}{V} \tag{4.25}$$

$$\Delta P \propto \left(f_0 - f\right) \tag{4.26}$$

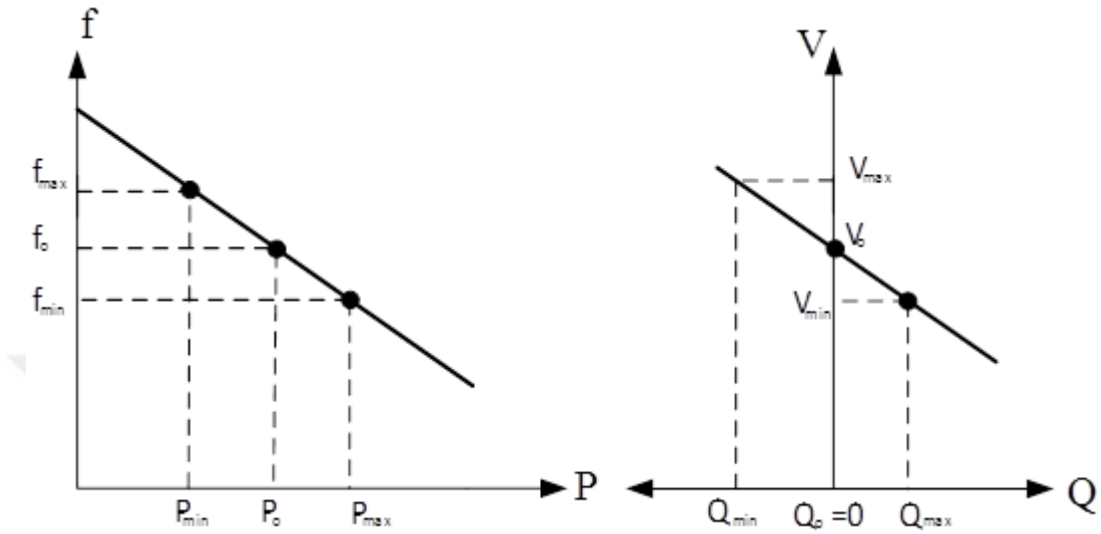
$$\Delta Q \propto \left(V_0 - V\right) \tag{4.27}$$

(4.26) ve (4.27) ifadelerine bakıldığında frekansın aktif güç ve gerilimin reaktif güç ile ilişkili olduğu görülmektedir. Eğim kontrol yöntemi kullanıldığında ifadedeki bu ilişkiden faydalanılır. Üretim birimlerinin ilk faz değerleri bilinmediği için, aktif güç kontrolünde frekans kullanılır. Sistemde aktif güç-frekans, reaktif güç-gerilim ikililerini regüle edebilmek için, eğim kontrol ifadesi;

$$f = f_0 - m(P - P_0) \tag{4.28}$$

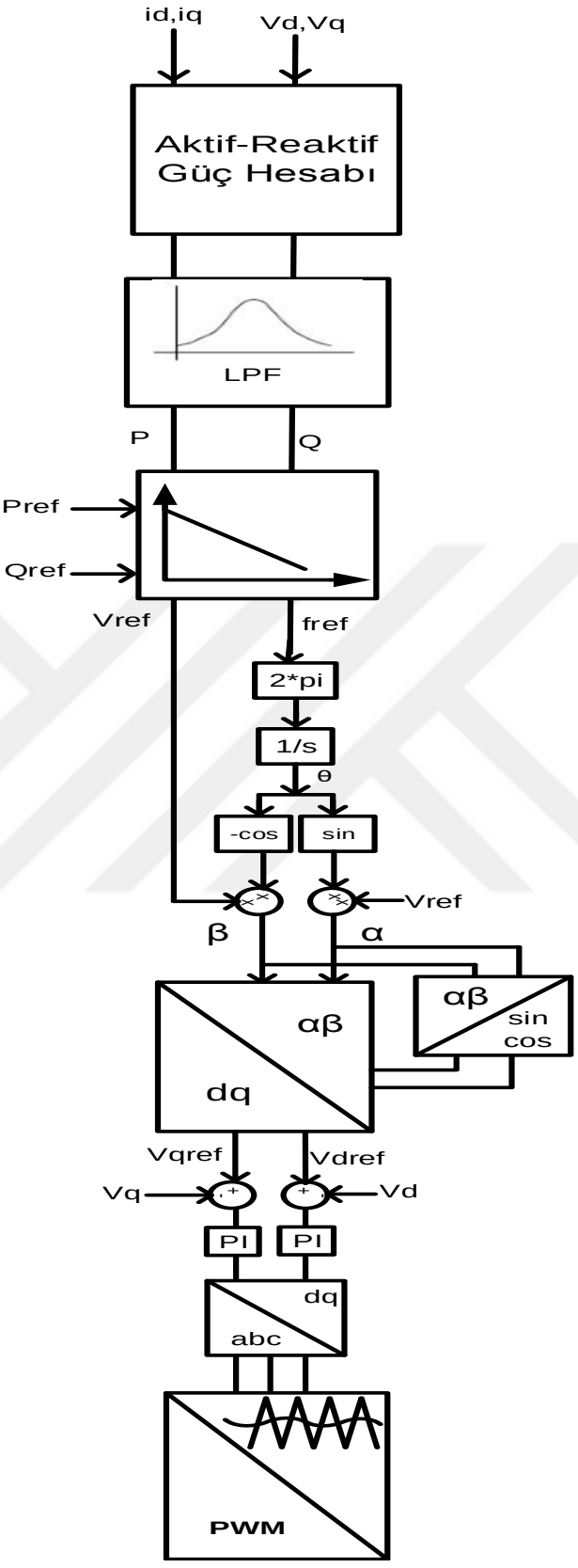
$$V = V_0 - n(Q - Q_0) \tag{4.29}$$

(4.28) ve (4.29) denklemlerinin karakteristiği Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 f-P ve V-Q değişim grafikleri

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, güç P_0'dan P'ye değiştiği zaman frekans da f_0'dan f'e değişir. Kontrol bu şekilde sağlanmış olur. Benzer şekilde reaktif güç Q_0'dan Q'ya değiştiği zaman frekans da V_0'dan V'ye değişir.



Şekil 4.7 Eğim kontrol yöntemi şeması

Özet olarak;

İnverterin ortak bağlantı noktasından alınan gerilim ve akım örnekleri kullanılarak aktif ve reaktif güç değerleri hesaplanır ve alçak geçiren filtre ile filtrelenir. Hesaplanan aktif ve reaktif güç değerleri, denklem (4.1) ve (4.2) uygulandıktan sonra referans gerilim ve frekans elde edilir. Elde edilen gerilim ve frekans değerleri ters Park sonucu $V_{d\text{-}qref}$'e dönüştürülür. V_{dqref} PI kontrolden geçtikten sonra Ters Clarke ile V_{abcref}'e evrilir. Üçgenle karşılaştırıldıktan sonra üretilen PWM sinyalleri anahtarlama elemanlarına verilir.

Yapılan bu tez çalışmasında eğim kontrol yöntemi kullanılarak şebekeye bağlı ve şebekeden ayrı çalışma modlarının her ikisi de sağlanmaya çalışılmıştır.

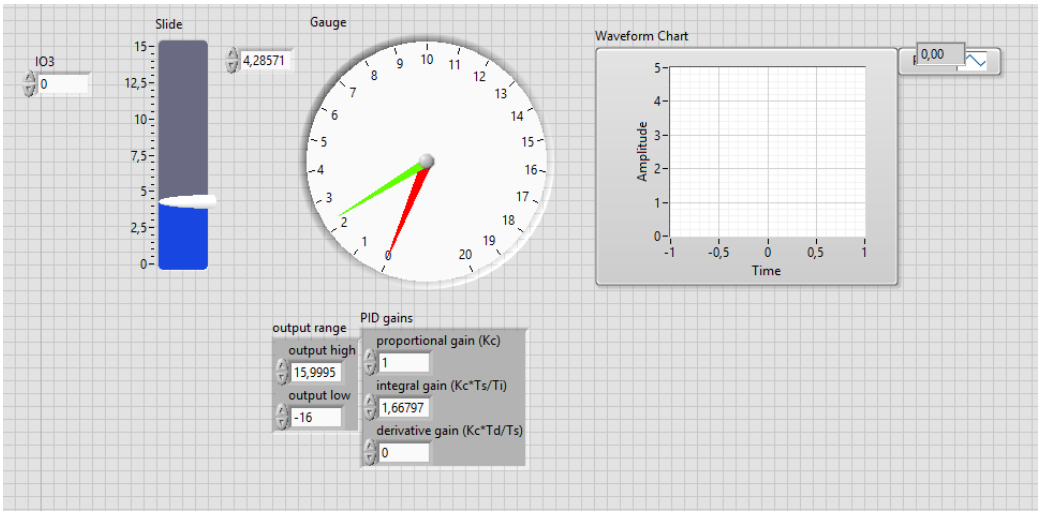
BÖLÜM 5

SİMÜLASYON VE PROJEDE KULLANILAN ELEMANLARIN TANITILMASI

5.1 LabView

Labview, National Instruments firması tarafından üretilen bir yazılım ortamıdır.

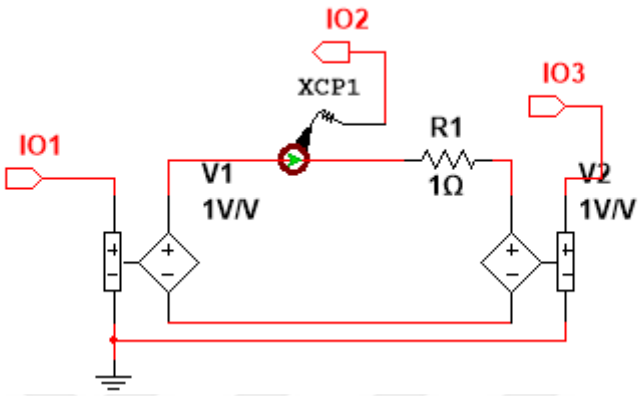
Metin tabanlı programlamanın dışına çıkmıştır. Yazı dili kullanmak yerine görsel olarak blokların birbirine bağlanmasından oluşan, daha çok görsele hitap eden yeni bir bakış ortaya koymuştur. Program; grafiklerin, göstergelerin ve veri girişlerinin olduğu ön panel ve algoritmanın oluşturulduğu blok panel kısmından oluşmaktadır. Böylelikle daha efektif, kullanışlı ve basit arayüzler oluşturulabilir. Labview sinyal işleme konusunda sıklıkla kullanılır. Gerçek zamanlı, FPGA, Mobile, Embedded, Datalogging ve Supervisay Kontrol, Vision Development, Motion kontrol, Simulation gibi ek modülleri bulunmaktadır. Şekil 5.1'de örnek arayüz görünütüsü bulunmaktadır [60].



Şekil 5.1 Örnek bir arayüz

5.2 Multisim

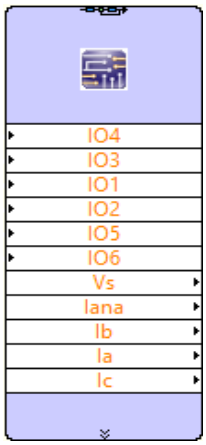
Multisim, National Instruments firmasına ait bir elektronik devre modelleme, simülasyon programıdır. Multisim, akademik ve endüstriyel alanda devre eğitimi, elektronik şematik dizayn ve SPICE simülasyon için geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Şekil 5.2'de örnek bir multisim şeması görülmektedir[61].



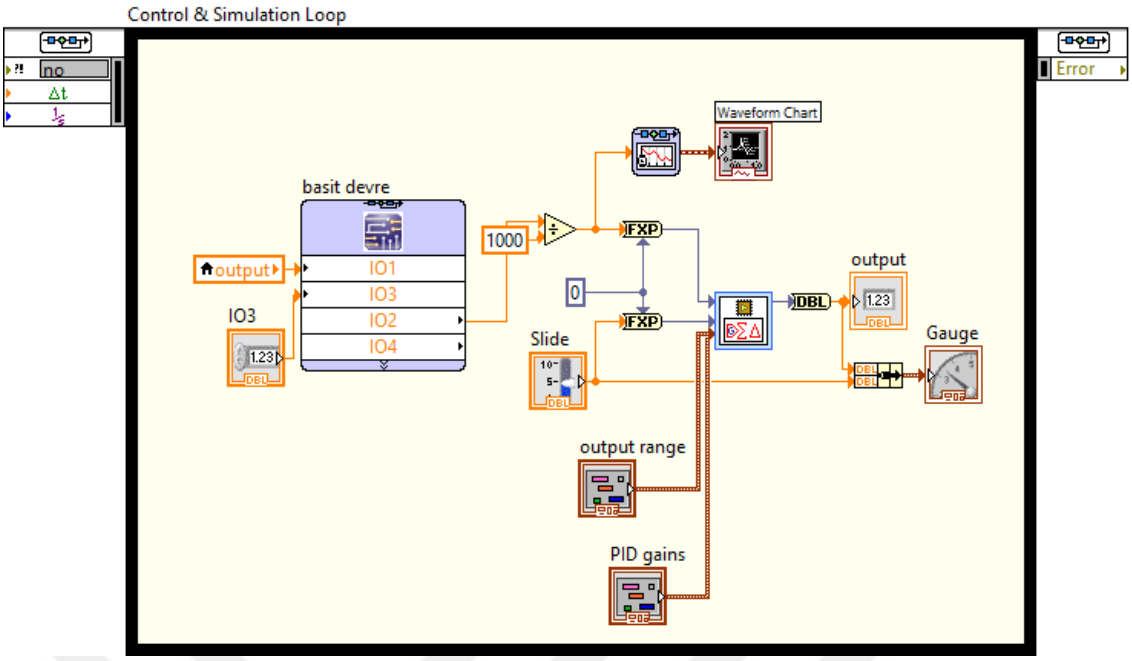
Şekil 5.2 Örnek multisim devresi

5.3 Co-simulation

Labview ve Multisim'in birlikte kullanıldığı çalışma modudur. Bu çalışmada devrenin donanımı Multsismde modellenir. Kontrol algoritması ise Labview ortamında oluşturulur. Labview'da bulunan Control&Simulatıon döngüsü içerisinde birlikte çalıştırılır. Devrenin çalışması ve davranışı hakkındaki analiz bu şekilde gerçekleştirilmektedir.



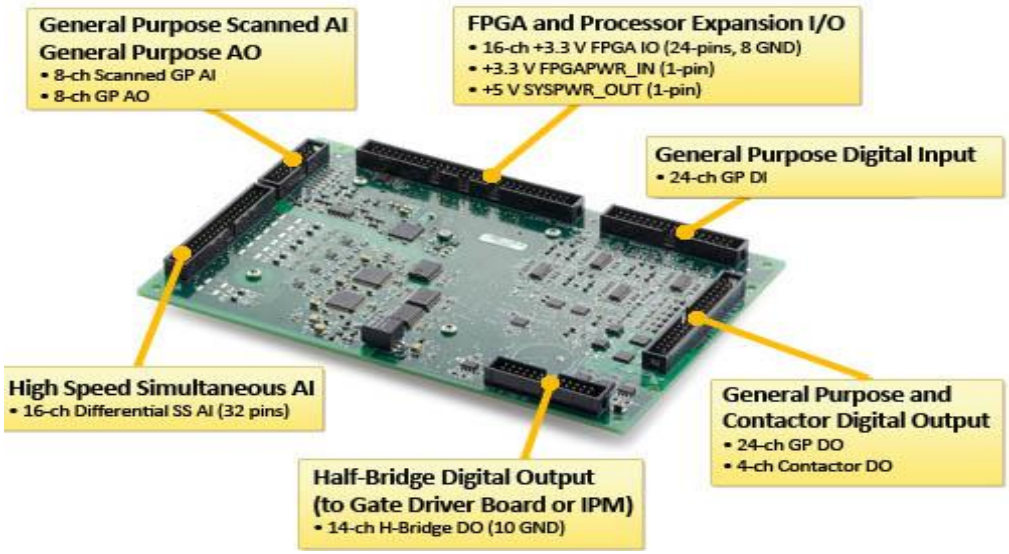
Şekil 5.3 Multisim co-simulation blok



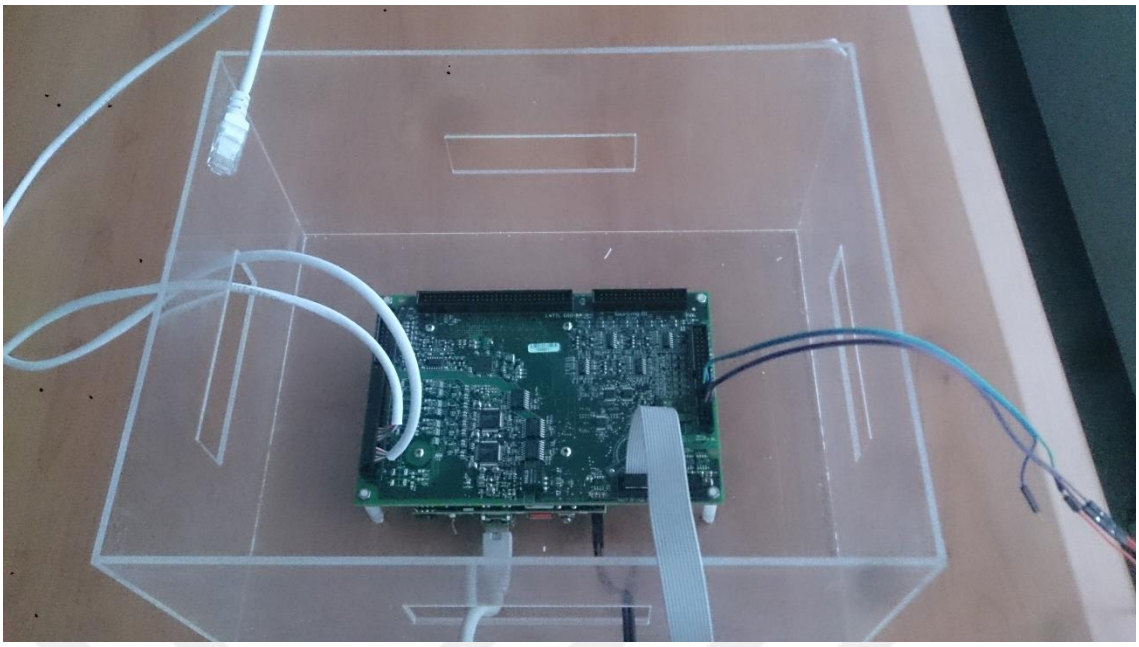
Şekil 5.4 Örnek co-simulation döngüsü

5.4 NI 9683 GPIC Rio Mezzanine Card

National Instruments'ın üretmiş olduğu, üzerinde analog ve dijital giriş çıkış pinlerinin bulunduğu bir geliştirme kitidir. Projede geliştirilmek istenen inverter bu kit ile kontrol edilecektir. Kit FPGA ve sahip olduğu işlemcisi ile 40 MHz tarama hızıyla çalışmaktadır. Yazılan algoritmada, 10 us'lik örnekleme süresi kullanılacaktır.



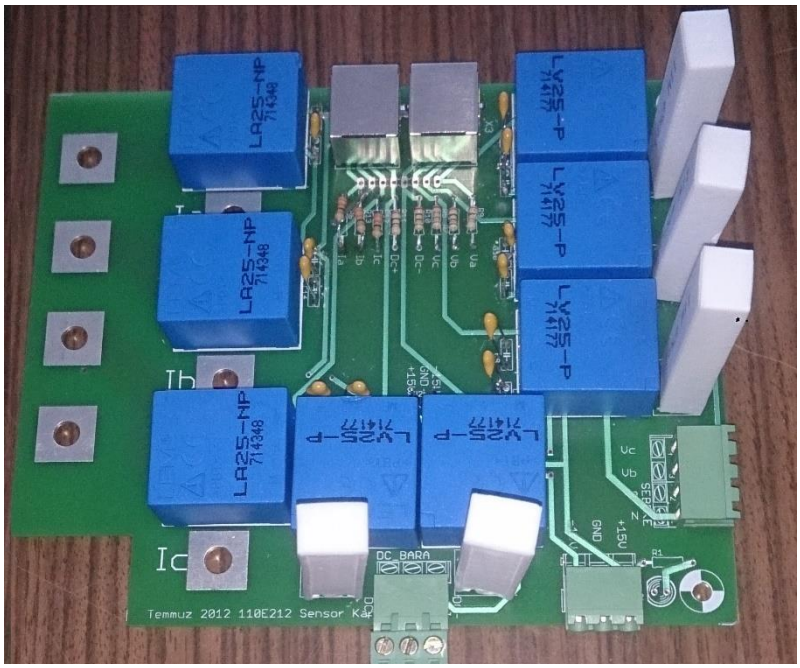
Şekil 5.5 NI 9683



Şekil 5.6 NI 9683

5.5 Sensör Kartı

Kart üzerinde 5 adet LV25-P gerilim sensörü ve 2 adet LA25-NP akım sensörü bulunmaktadır. Seviyesi düşürülen akım ve gerilim değerleri ethernet çıkışları üzerinden kontrol kartına aktarılmaktadır.



Şekil 5.7 Sensör kartı

5.6 Anahtarlama Elemanı ve İzolasyon Kartı

Anahtarlama elemanı olarak Şekil 5.8'de gösterilen Mitsubishi PM50RL1A120 modül kullanılmıştır. Modül 50 A akım taşıma ve 1200 V gerilim dayanımına sahiptir. Modülde yer alan pinler üzerinden anahtarlama kontrol sinyalleri şekil 5.9'de gösterilen izolasyon kartı üzerinden verilmektedir. Kart üzerinde sinyal izolasyonu için HCPL4506 entegresi kullanılmıştır.



Şekil 5.8 PM50RL1A120 IPM



Şekil 5.9 İzolasyon kartı (IPM)

5.7 Projede Kullanılan Diğer Elemanlar

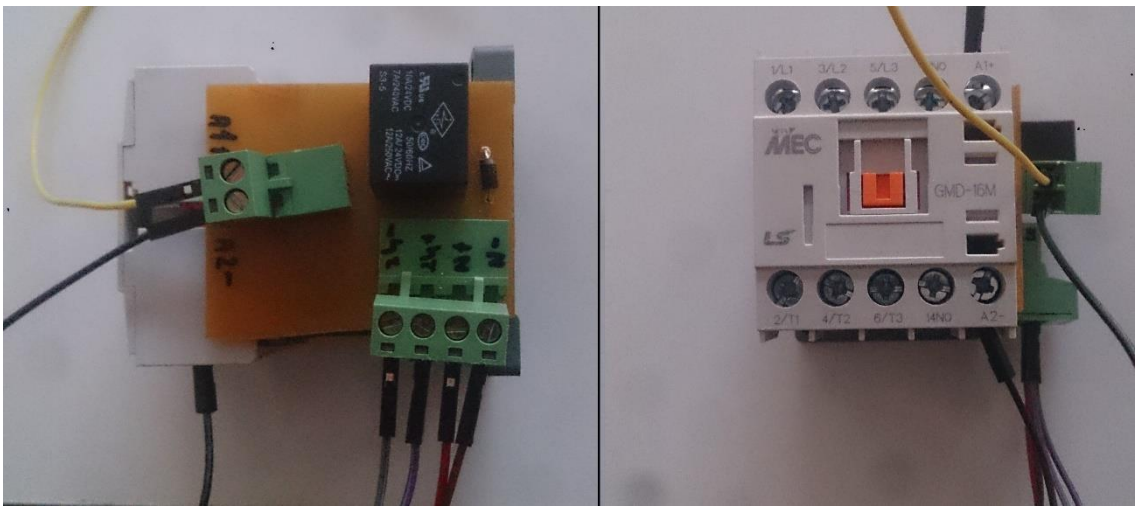
Şekil 5.10'da gösterilen varyak ile gerilimin genliği kontrol edilerek deney gerçekleştirilmektedir. Böylelikle girişte kullanılan kondansatörlere verilen gerilim

kontrollü olarak artırılarak ilk anda çok yüksek akım çekmesi önlenmektedir. Aynı zamanda kondanstör uçlarında olması gereken DC gerilim bu şekilde istenilen değere yükseltilmektedir.



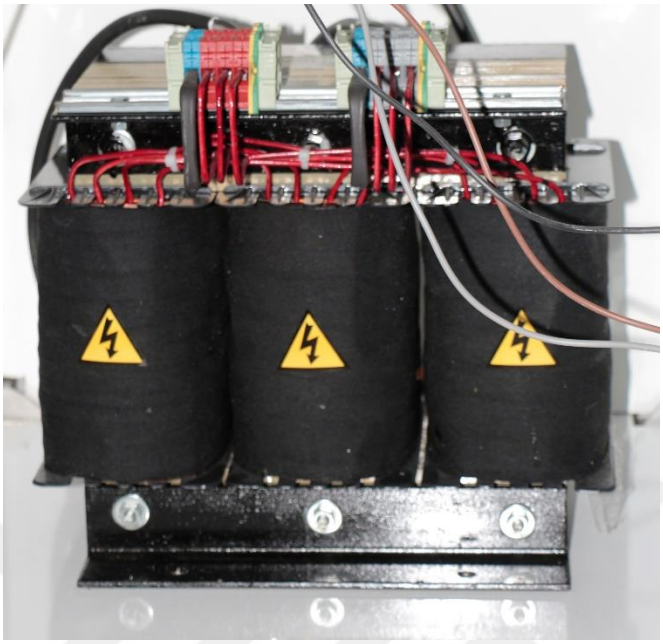
Şekil 5.10 3 Fazlı varyak

Şekil 5.11'de bulunan kontaktör ve sürme devresi, kontrol ve koruma amacıyla kullanılmaktadır. Yüksek akım ve yüksek gerilim korumasının yanı sıra şebeke bağlantısının gerçekleşmesi için kullanılmaktadır.



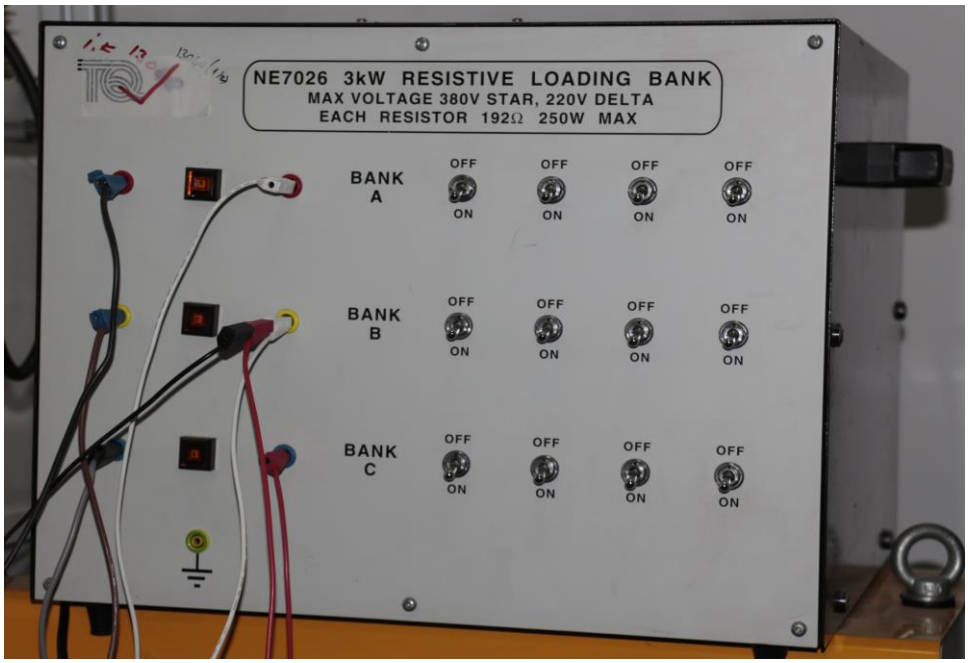
Şekil 5.11 Kontaktör ve hazırlanan sürme devresi

Şekil 5.12'de bulunan trafo ile izolasyon sağlanmakta ve aynı zamanda girişindeki gerilim yükseltilmektedir.



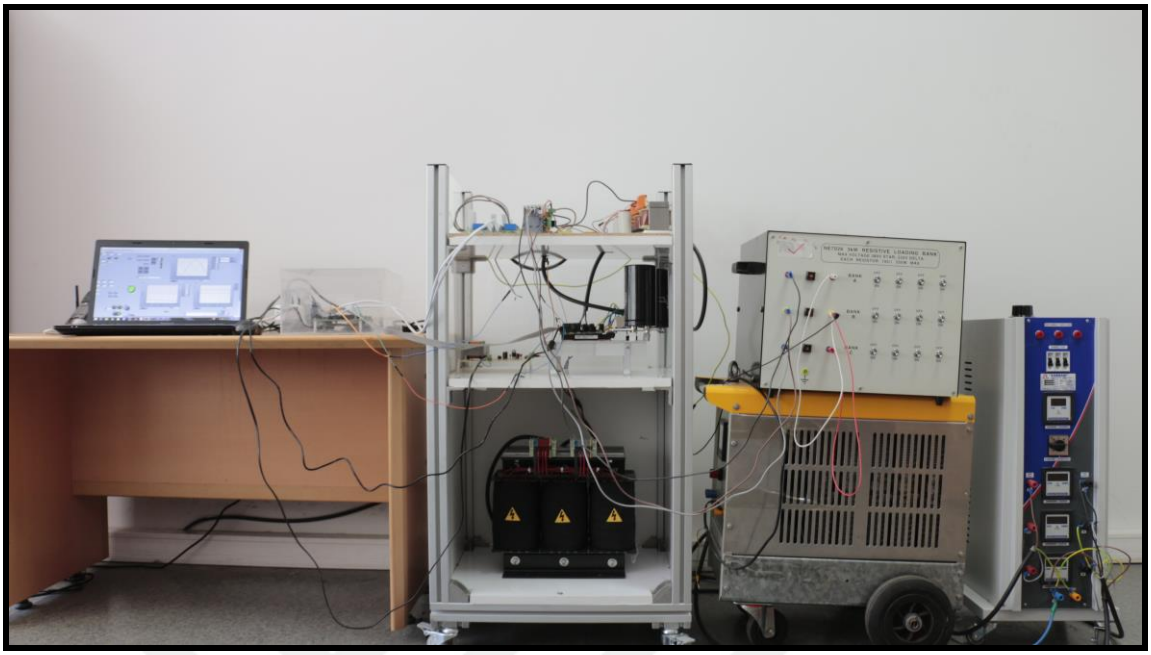
Şekil 5.12 Üç fazlı trafo

Şekil 5.13'de dört kademeli ve 3 fazlı yük bankası bulunmaktadır. Her fazda birbirine paralel bağlı dört adet 192 Ω paralel bağlı direnç bulunmaktadır. Yükün değeri değiştirilmek istendiğinde her kol üzerinde bulunan anahtarlar aynı anda anda hareket ettirilmelidir.



Şekil 5.13 Üç fazlı yük bankası

Şekil 5.14’te hazırlanan deney düzeneği verilmiştir. Çalışma ada modunda yapılıp gerçek sonuçlar alınmıştır. Alınan sonuçlar 7. bölümde incelenmiştir.

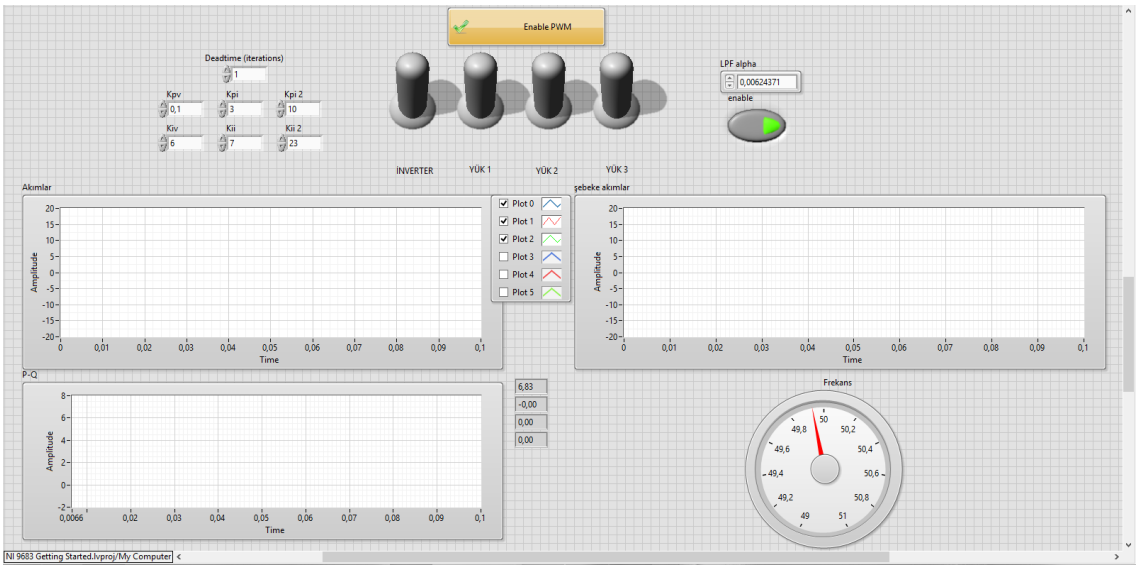


Şekil 5.14 Deney düzeneği

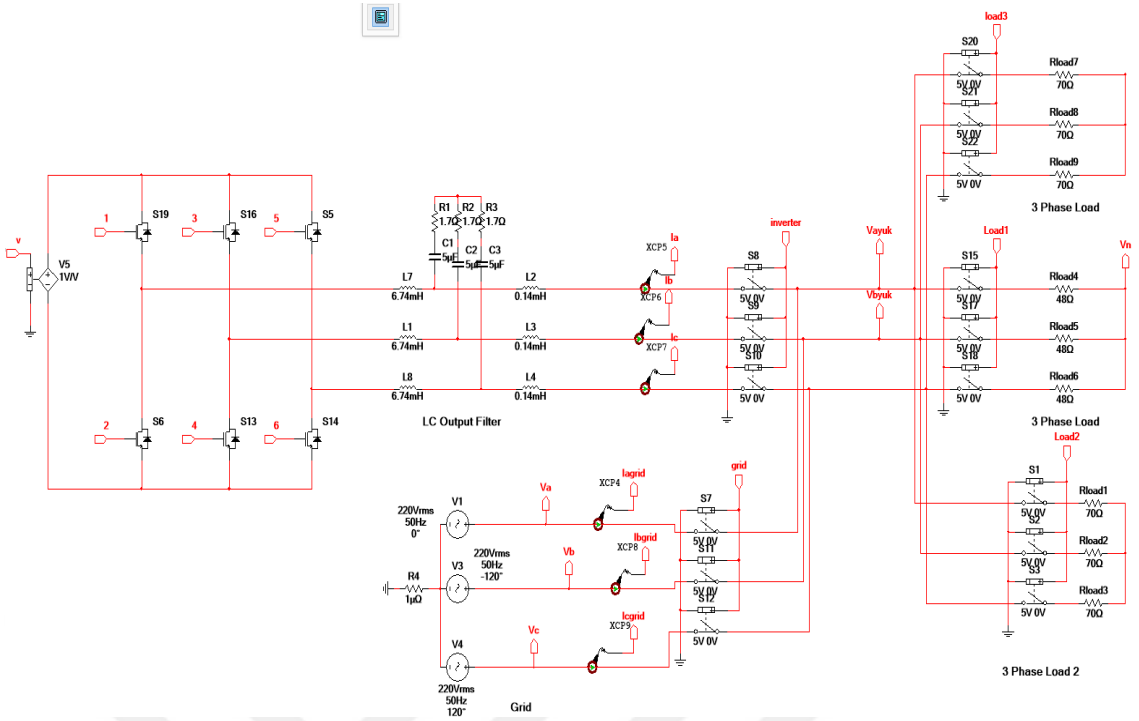
BÖLÜM 6

SİMÜLASYON MODELİ VE SONUÇLARIN GÖRÜNTÜLENMESİ

Bu bölümde mikroşebeke yapısında çalıştırılmak istenen üç fazlı tam köprü inverterin Labview ortamında modellenerek yapılan simülasyon çalışmaları anlatılmıştır. Simülasyonda taşıyıcı dalganın frekansı (f_t) 15 kHz'dir. Yani anahtarlama frekansı olarak 15 kHz kullanılmıştır. İnverterin şebekeye bağlanmasında, şebeke bağlantısının kesilmesinden ada moduna geçişinde görülen değişiklikler incelenmiştir. Aynı zamanda şebekeye bağlıyken ve ada modunda yük değişiklikleri yapılarak oluşan etki de analiz edilmiştir. Kullanılan devre, modeli, arayüz ve kontrol blokları Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3'te gösterilmiştir.

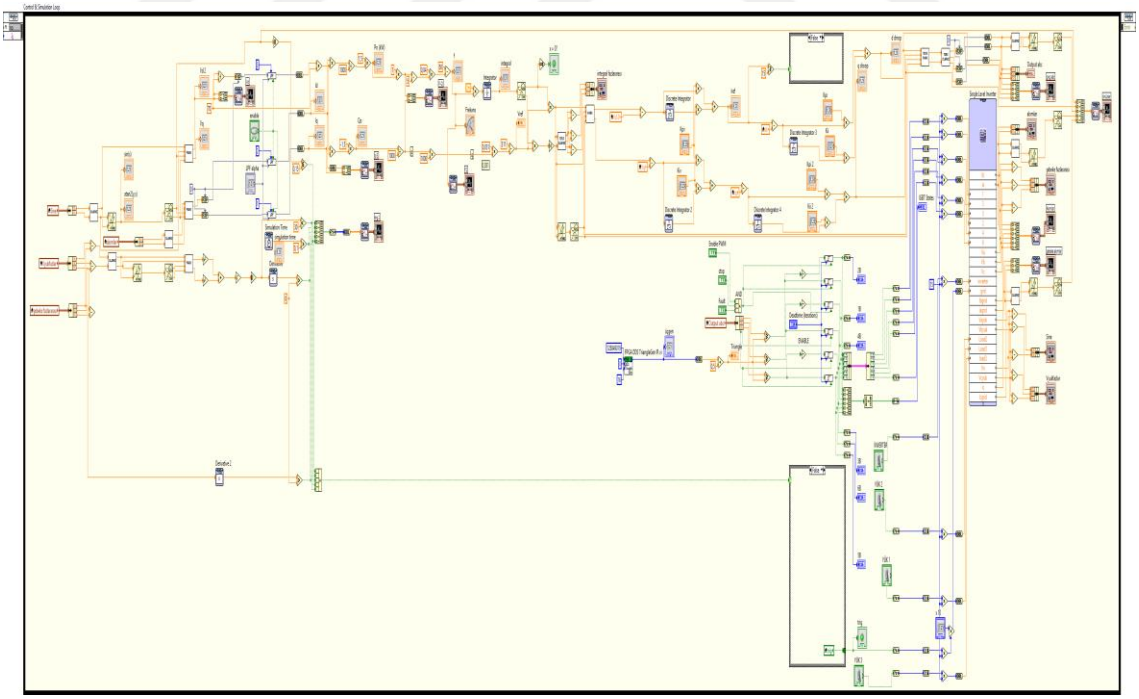


Şekil 6.1 Arayüz

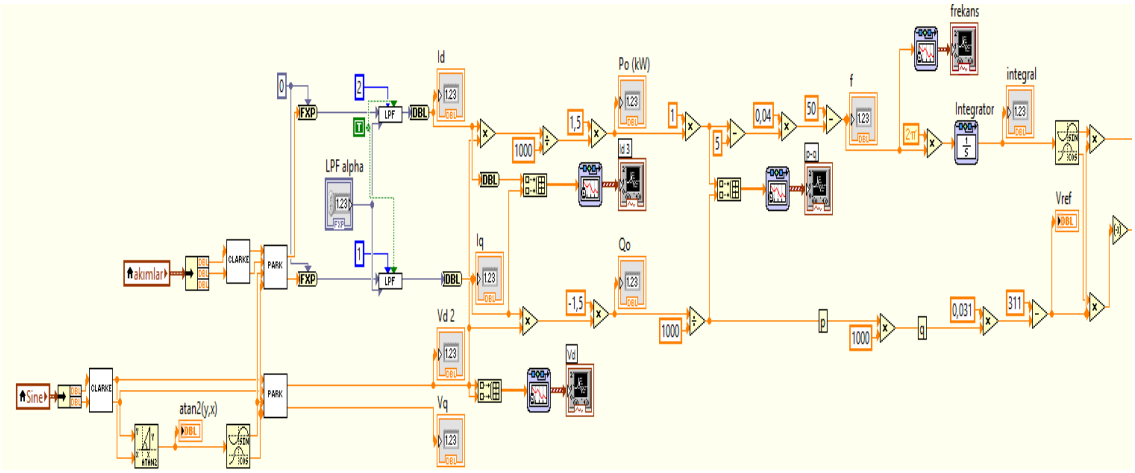


Şekil 6.2 Devre modeli

Şekil 6.2'de gösterilen model, inverter ve çıkışında LCL filtre, 4 anahtar, 2 adet 2 kW ve 1 adet 3 kW yükten ve şebekeden oluşmaktadır.



Şekil 6.3 Oluşturulan kontrol blokları

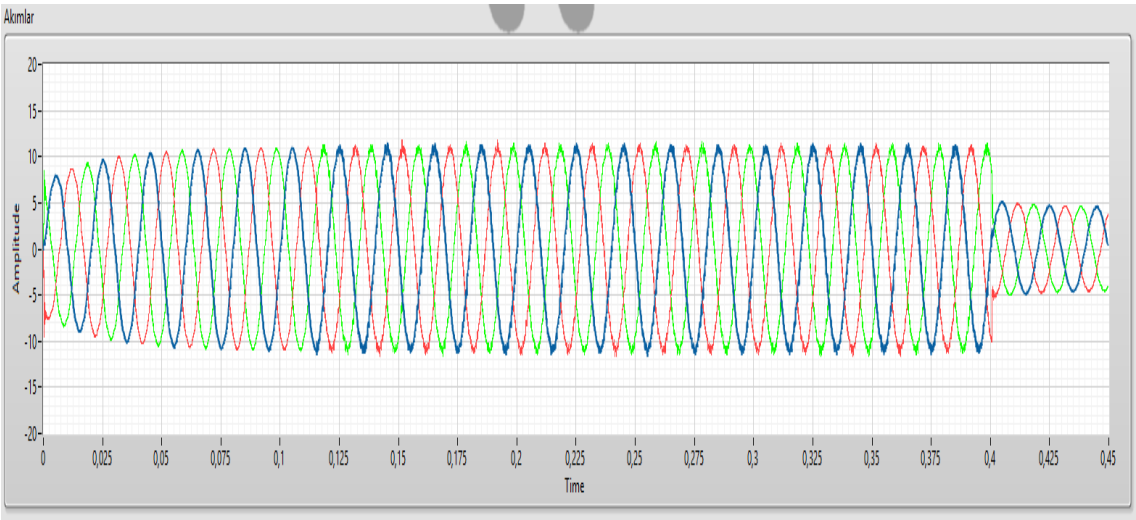


Şekil 6.4 Eğim kontrol yöntemi blokları

6.1 Şebeke Bağlantısının Gerçekleşmesi ve Yük Testi

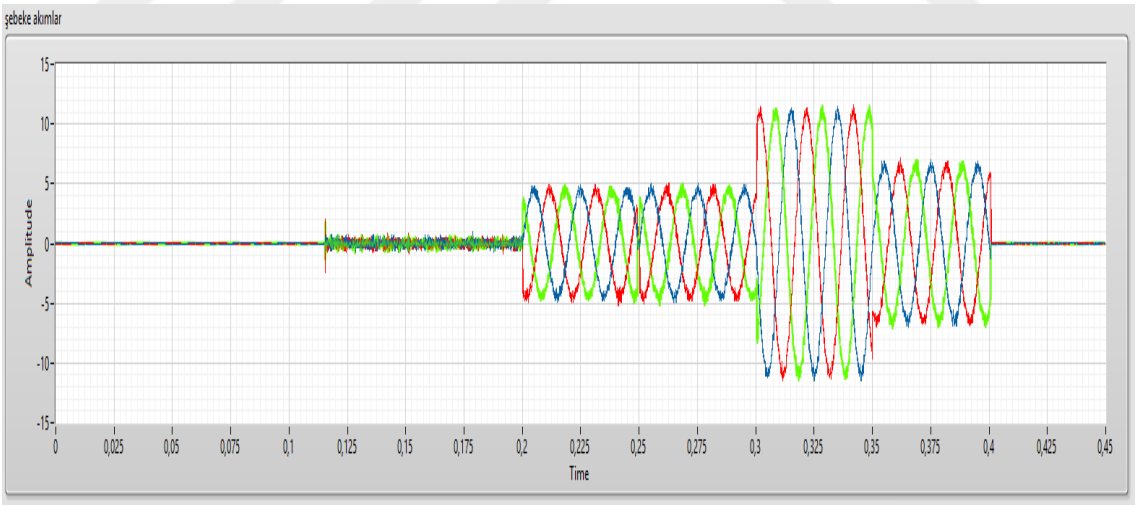
Başlangıçta ada modunda inverter 5 kW yükü beslemektedir. Ada moduyla başlangıç yapıldığında, yükün uçlarındaki gerilim artışı zamana yayılmaktadır. Böylelikle LCL filtrede bulunan kondansatörlerin yüksek şarj akımı çekmesi önlenmiştir. İnverter yükü beslerken gerekli şartların oluşmasından sonra şebekenin bağlandığı durumda oluşan etkiler incelenmiştir. Şebekenin bağlantısı bizim belirlediğimiz şartlar gerçekleştikten sonra önünde bulunan anahtar kapatılarak bağlanmaktadır. Belirlenen şartlar, 0.1 sn'den sonra inverter ve şebeke arasındaki gerilim farkının 30 V'tan az olduğu ve şebekenin 0 noktasından geçtiği bir anda yapılmaktadır. Sonrasında yapılan yük değişimlerinin akım, gerilim, güç ve frekans üzerindeki etkisi Şekil 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10'da gösterilmiştir. Testteki aşamalar:

- 120. ms'de şebeke bağlantısı gerçekleşmiştir.
- 200. ms'de yük 5 kW'tan 7 kW'a çıkarılmıştır.
- 250. ms'de yük 7 kW'tan 3 kW'a düşürülmüştür.
- 300. ms'de yük 3 kW'tan 0 kW'a düşürülmüştür.
- 350. ms'de yük 0 kW'tan 2 kW'a çıkarılmıştır.
- 400. ms'de şebeke bağlantısı kesilmiştir.



Şekil 6.5 İnverter akım değişimi

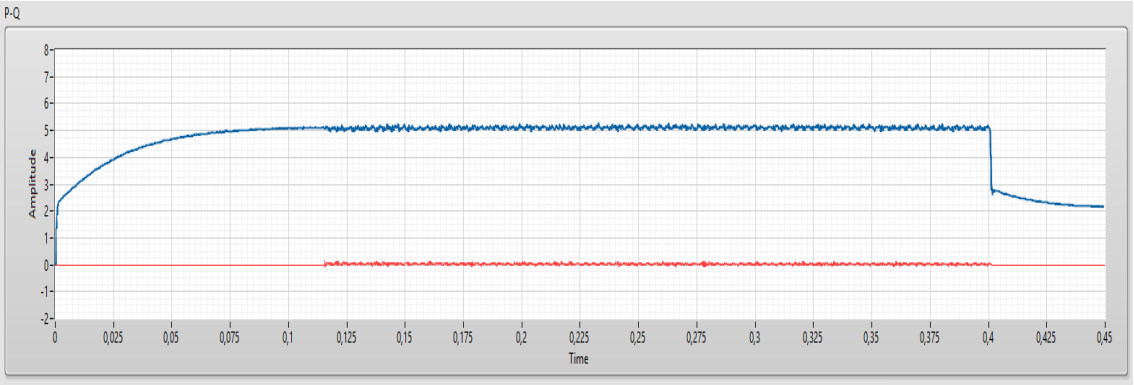
Şekil 6.5 incelendiğinde, akım yük uçlarındaki gerilim 220 V_{rms} değere ulaşıncaya kadar yükselmiştir. Sonrasında 120. ms'de şebeke önündeki anahtar kapanmıştır. Şebekeye bağlandığı durumda arzu edilen 5 kW gücün yüke ve şebekeye verilmesidir. Şekil 6.1'de görüldüğü gibi inverter, 200 ve 400 ms aralığındaki yük değişiminden etkilenmeden gerekli akımı sağlamıştır. Bağlanan yüke göre akımın fazlası şebekeye verilmektedir. 400 ms'de sonra inverter 2 kW' yük için gerekli akımla yükü beslemektedir.



Şekil 6.6 İnverterden çekilen aktif ve reaktif güç

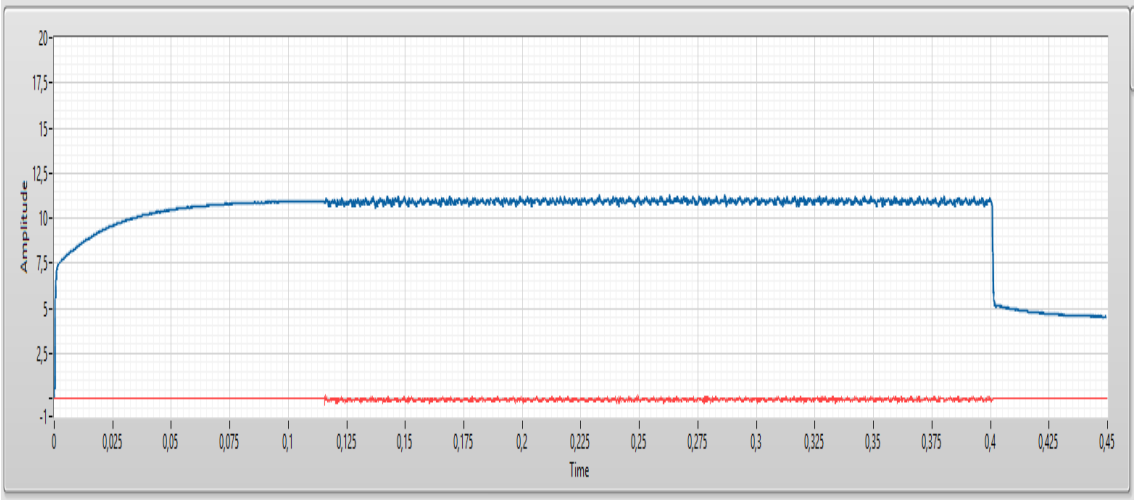
Şekil 6.6'da şebekeden çekilen akım görülmektedir. 200 ve 400 ms aralığında, 5 kW yük bağlı ve inverter bu 5 kW gücü sağlamaktadır. 200 ve 250 ms aralığında, yük 7 kW'a çıkarılmış ve eksik olan 2 kW güç şebekeden yüke aktarılmıştır. 250 ve 300 ms aralığında, yük 3 kW'a düşürülmüş ve bu sefer fazla olan 2 kW güç şebekeye aktarılmıştır. 300 ve 350 ms aralığında, yük kaldırılmış ve üretilen 5 kW güç tamamen şebekeye

aktarılmaktadır. 350 ve 400 ms aralığında, yük 2 kW'a çıkarılmış ve fazla üretilen 3 kW şebekeye aktarılmıştır. 400 ms'den sonra şebeke bağlantısı kesilerek ada moduna geçilmiştir. Yük saf omik olduğu için reaktif güç alışverişi şebekeyle olmaktadır.



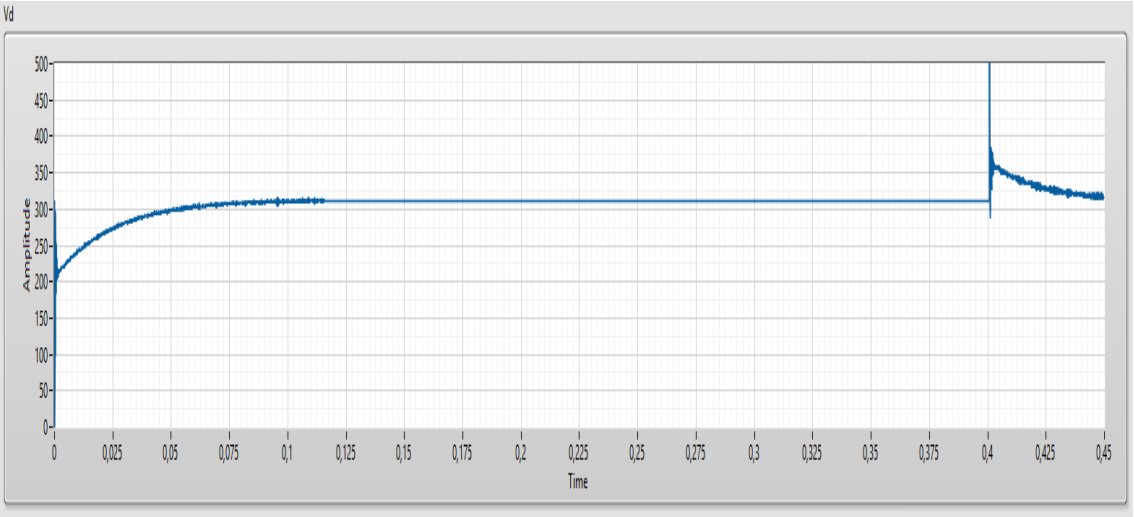
Şekil 6.7 İnverterden çekilen aktif ve reaktif güç

Şekil 6.7'de çekilen aktif ve reaktif güç gösterilmiştir. Şebekeye bağlandıktan sonra 5 kW sabit güç yüke ve şebekeye verilmiştir. Yük değişiminin aktif ve reaktif güç üzerinde etkisi olmamıştır.



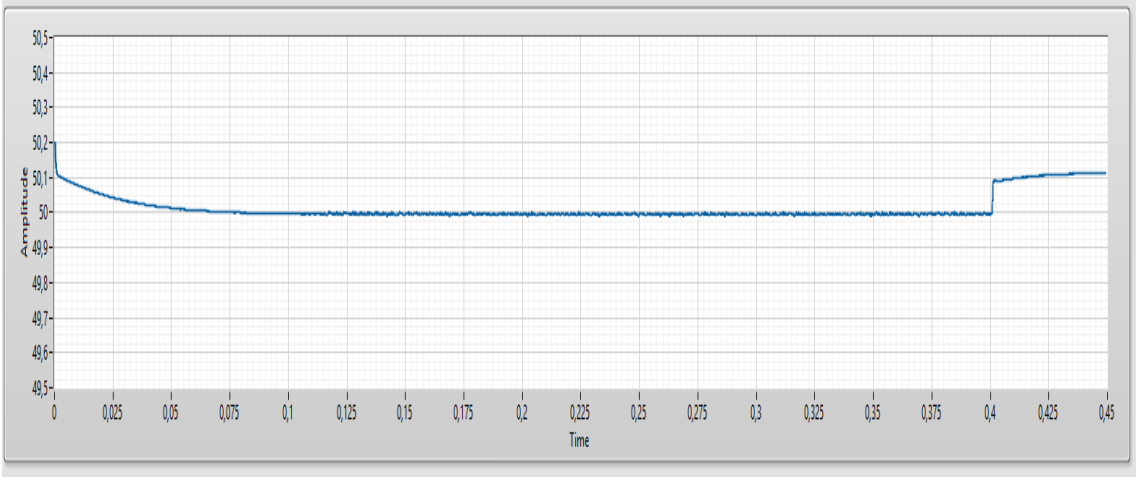
Şekil 6.8 Şebekeden çekilen akım

Şekil 6.8'de şebekeden çekilen akımın aktif ve reaktif bileşenlerinin genliği gösterilmiştir. Güç, gerilim ve akımın genliklerinin çarpımıyla hesaplanmaktadır. Şebekeye bağlı modda gerilimin genliği sabit olduğu için akım ve güç grafikleri birbirinin benzeri olmaktadır.



Şekil 6.9 Yük uçlarındaki gerilim değişimi

Şekil 6.9'da gerilimin genliğinin değişimi gösterilmektedir. Ada modunda akımın yükselmesiyle gerilimin genliği 311 V civarında salınım yapmaktadır. Devamında şebeke bağlanmış ve sabit bir 311 V ölçülmüştür. 400. ms'de ada moduna geçildiği anda gerilim bir anlık yükselmekte ve 311 V'a düşmektedir.

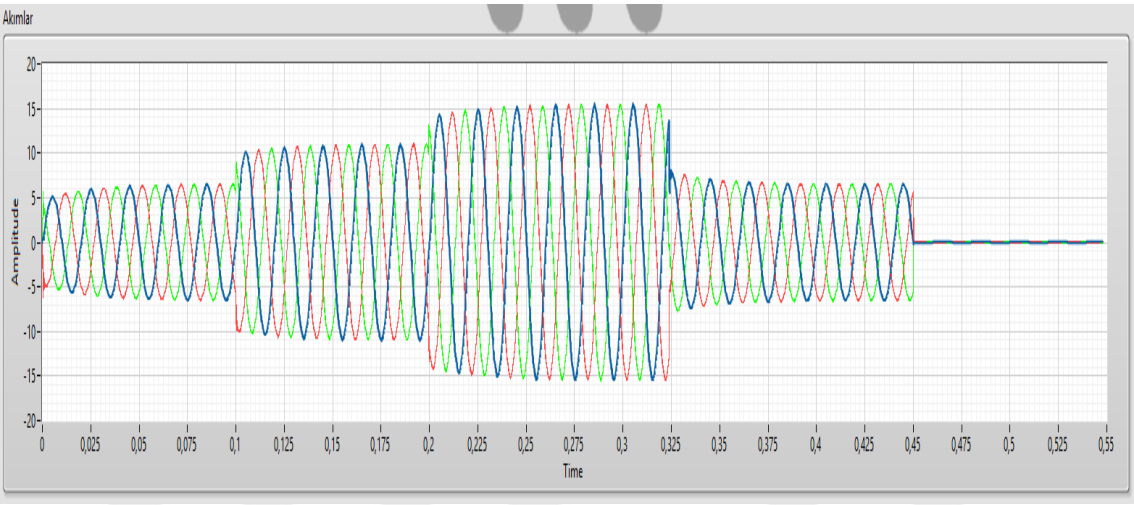


Şekil 6.10 Eğim referans frekans

Şekil 6.10, eğim kontrol yöntemi tarafından hesaplanan referans frekans değerini göstermektedir. Üretilen gücün 5 kW olduğu yerlerde frekans değeri 50 Hz olmaktadır. Şebekeye bağlıyken 5 kW sabit üretildiği için frekans 50 Hz'dir ve yük değişiminden etkilenmemektedir.

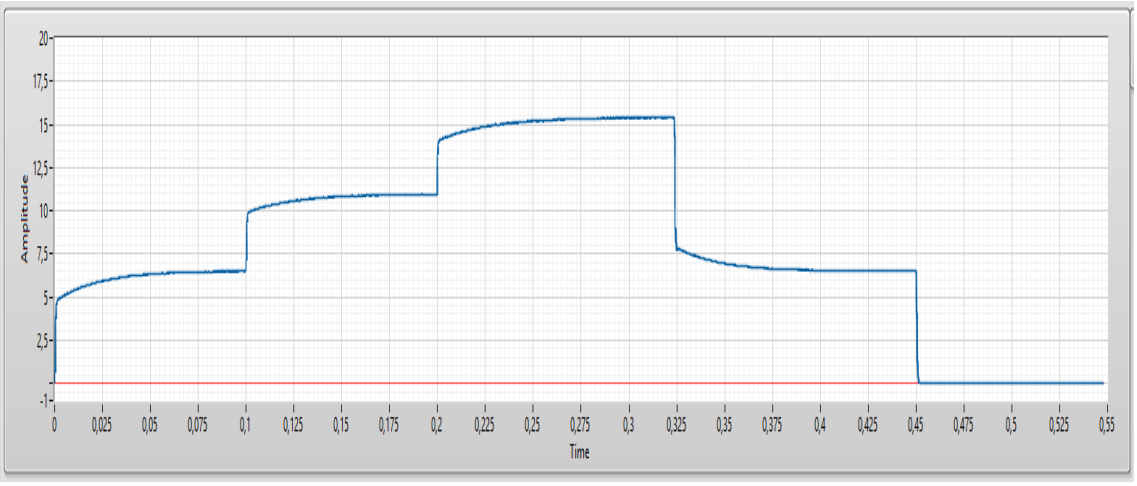
6.2 Ada Modunda Yük Değişikliği Yapılması

Bu bölümde inverter ada modunda çalışırken yükte olan değişikliklerin etkisi anlatılmıştır. Ada modundan istenen, inverterin sabit bir şekilde şebeke gerilim efektif değerini ve frekansını sağlamasıdır. Çalışmada öncelikle 3 kW yük ile başlangıç yapılmıştır. Sonrasında yük 100. ms'de 5 kW'a, 200. ms'de 7 kW'a çıkarılmıştır. 325. ms'de yük 3 kW'a düşürülmüş, 450. ms'den sonra inverter boşta çalıştırılmıştır.



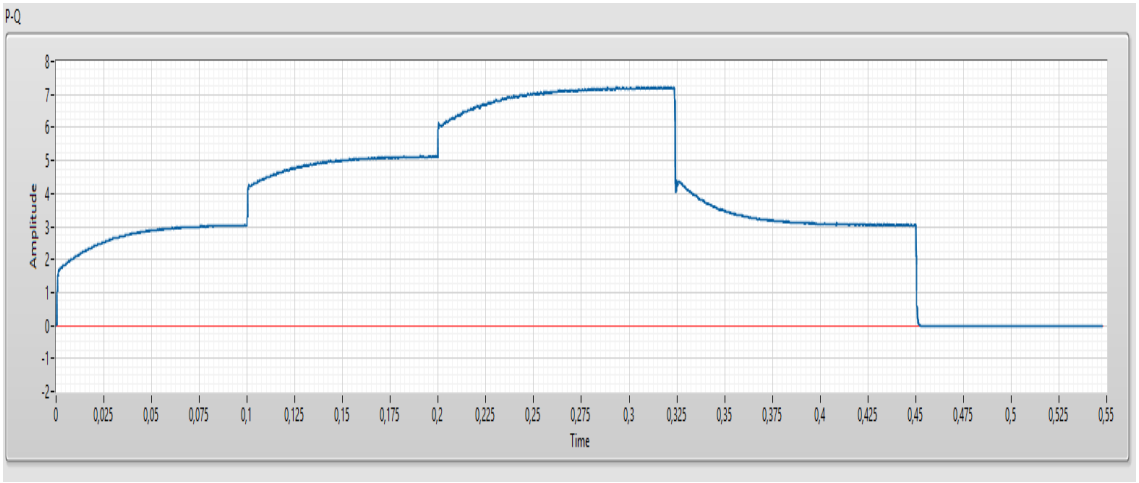
Şekil 6.11 Ada modunda inverterden çekilen akımın değişimi

Şekil 6.11'de ada modunda inverterden çekilen akımın değişimi görülmektedir. Akımın genliği yük uçlarında 220 V_{rms}'i sağlamak üzere değişmektedir.



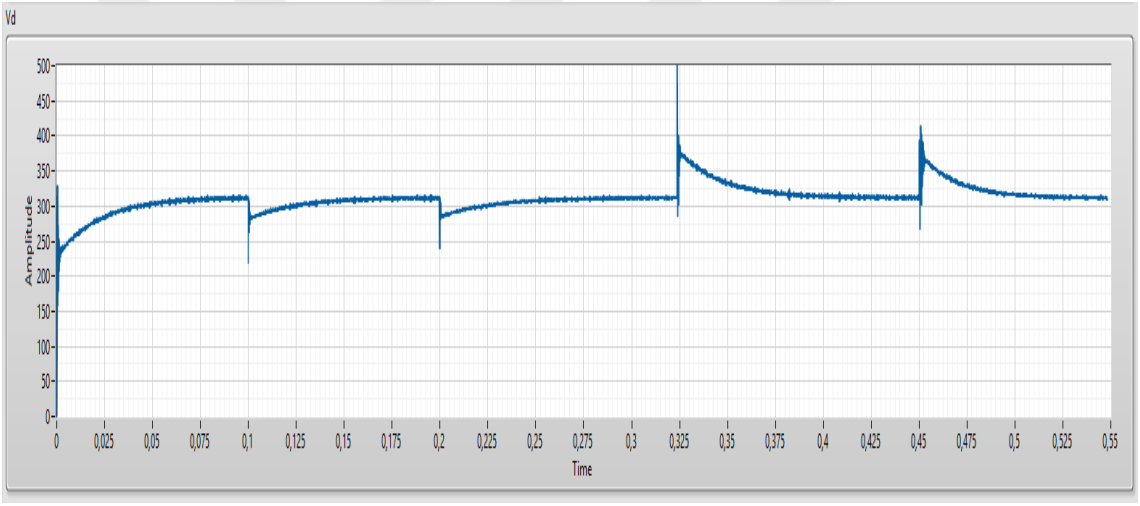
Şekil 6.12 Ada modunda akımın d-q eksenindeki değişimi

Şekil 6.12'de akımın genliğinin değişimi görülmektedir.



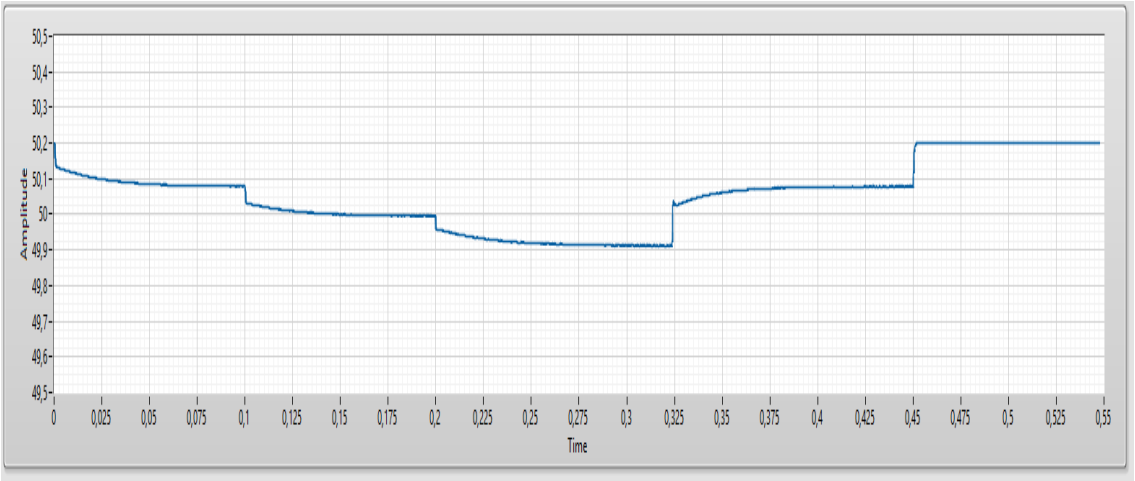
Şekil 6.13 Ada modunda aktif ve reaktif güç grafiği

Şekil 6.13'te çekilen aktif ve reaktif güç gösterilmiştir. Burada yük saf omik olduğu için reaktif güç çekmemektedir.



Şekil 6.14 Ada modunda yük uçlarında oluşan gerilimin genliği

Şekil 6.14'te gerilimin genliğinde oluşan değişim gösterilmiştir. Yükün değiştiği anlarda gerilimde ani yükselmeler veya düşmeler yaşanmış ancak zamanla istenilen değere ulaşmıştır.



Şekil 6.15 Ada modunda frekansın değişimi

Şekil 6.15'te frekansın yüke göre değişimi gösterilmektedir. Yük değiştikçe belirlenen eğim değerine bağlı olarak frekans değişmektedir. Frekans boşta çalışmada 50.2 Hz, 5 kW yükte 50 Hz olmaktadır. Simülasyonda 7 kW yük bağlanmış ve bunun değişimi de incelenmiştir. Ancak deneyin uygulamasında en fazla 5 kW yükle çalışılacaktır.

6.3 PI Kontrol

Eğim kontrol yönteminde d-q eksen takımında PI kontrol yapılmıştır. d ekseninde ve q ekseninde akım ve gerilimi kontrol eden PI kontrolörler bulunmaktadır. Yani d ekseninde iki adet ve q ekseninde 2 adet olmak üzere 4 adet kontrolör kullanıldı. Her iki modda aynı katsayılar kullanılmıştır. PI kontrol için LabView içerisinde hazır blok bulunmasına rağmen istenilen verim alınmadığı için kullanılmamıştır. PI katsayıları, deneme-yanılma yapılarak bulundu. Bu şekilde katsayı tespiti süreci uzatmaktadır.

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde teorik olarak incelenen ve LabView ile simülasyonu gerçekleştirilen ada modunda çalışmanın, deneysel olarak alınan sonuçları incelenmiştir.

7.1 Deneysel Sonuçların Görüntülenmesi

Kontrol, National Instruments firmasına ait FPGA kit üzerinden yapılmıştır. Bilgisayar ve kit arasındaki haberleşme ethernet üzerinden gerçekleşmktedir. LabView'da hazırlanan algoritma ethernet yoluyla FPGA karta yüklenmekte ve inverter kontrolü yapılmaktadır. Geri besleme için gerekli akım ve gerilim değerleri sensörlerden sağlanmaktadır. Sensörlerden alınan akım ve gerilim bilgisini FPGA bilgisayara göndermekte ve LabView vasıtasıyla bu bilgiler görüntülenebilmektedir. LabView'un sağladığı avantajlardan birisi de alınan verilerin osiloskop gibi aletlere ihtiyaç duyulmadan hazırlanan arayüzde kolaylıkla incelenebilmesidir. Kart üzerinde bulunan analog giriş pinlerinden alınan verileri ilave bir ADC'ye ihtiyaç duymadan FPGA işlemekte, gerekli sinyalleri üzerinde bulunan anahtarlama çıkış pinlerinden izolasyon kartı aracılığıyla anahtarlama elemanlarına vermektedir.

Deneyde nominal değer 2 kW'a ayarlanmıştır. İlk kısımda yük artışının, ikinci kısımda yük azalmasının etkileri incelenmiştir. Deney sırasında bağlı olan yüklerin güç değerleri Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Bağlı olan yüklerin güç değerleri

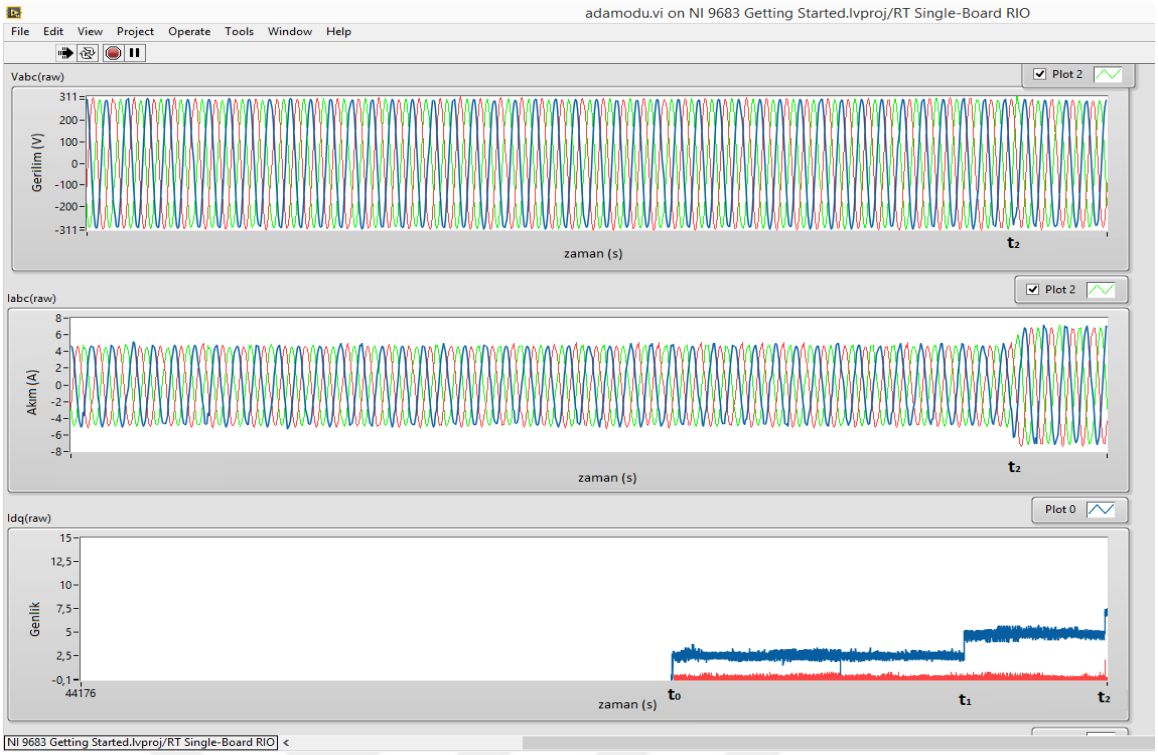
t0	750 W
t1	1500 W
t2	2250 W
t3	3000 W
t4	2250 W
t5	1500 W
t6	750 W

Yapılan uygulama toplam 35 saniye çalıştırılmıştır. Her 5 sn'de bir yük değiştirilmek istenmekteydi ancak değişiklikler elle yapıldığı için sürede sapmalar olmuştur. Grafiklerde görülen t zamanlarına ait değer Çizelge 7.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2 t zamanlarına ait değerler

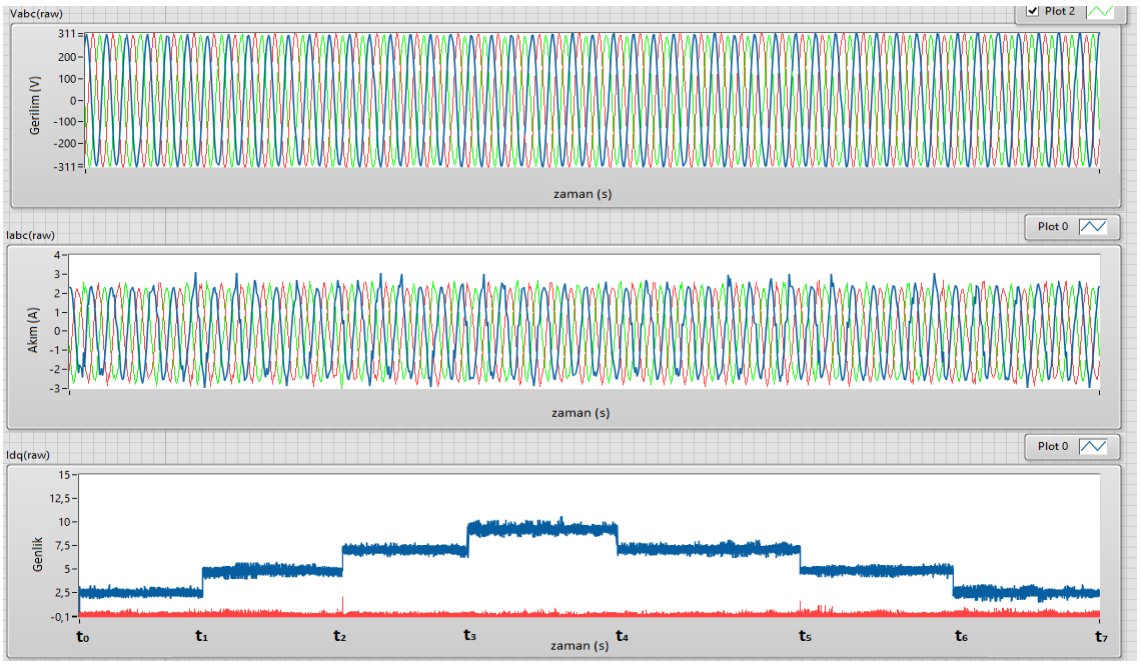
t_0	0
t_1	4.28 (s)
t_2	9.04 (s)
t_3	13.32 (s)
t_4	18.47 (s)
t_5	24.79 (s)
t_6	30.52 (s)
t_7	35 (s)

Alınan sonuçlar şekil 7.1, 7.2 ve 7.3'te gösterimiştir.



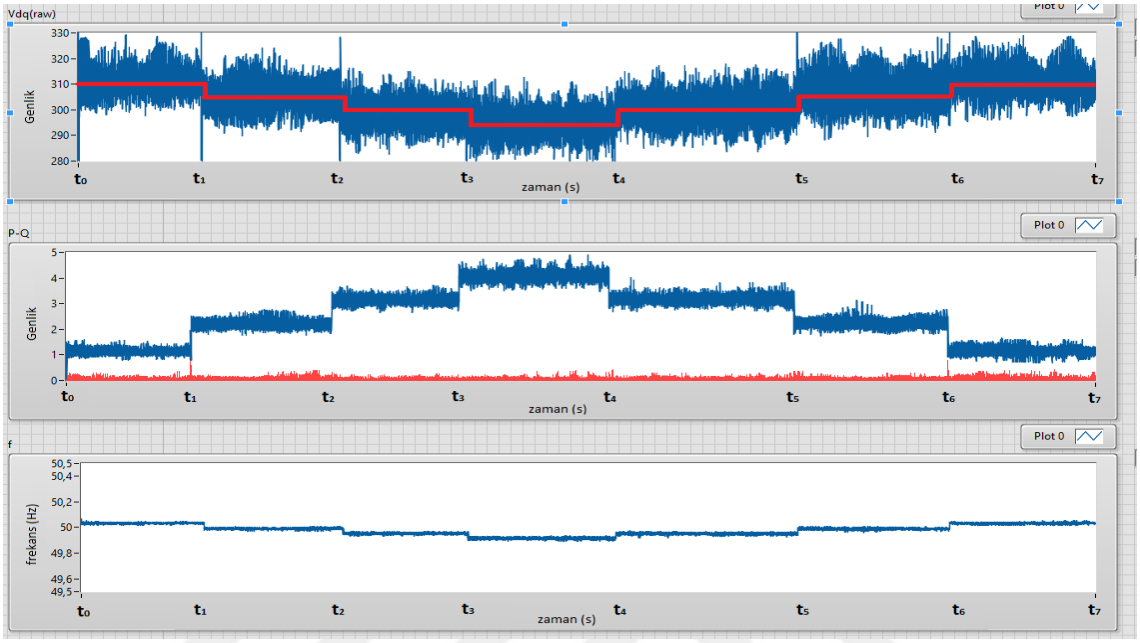
Şekil 7.1 t_0-t_2 aralığında gerçekleşen akım ve gerilim değişimi

Şekil 7.1'de bulunan ilk iki grafik 1 sn zaman aralığında gerilim ve akımda olan değişimi göstermektedir. t_2 anında gerçekleşen yük değişiminden akımın ve gerilimin nasıl etkilendiği görülmektedir. Yük arttığı anda akım yükselmeye başlamakta, gerilimde ise önce bir düşme yaşanmakta devamında ise beklenen seviyeye ulaşmaktadır.



Şekil 7.2 t_0-t_7 aralığında gerçekleşen akım ve gerilim değişimi

Şekil 7.2'nin ilk iki grafiği akım ve gerilmin son 1 saniyelik görüntüsüdür. Üçüncü grafikte 35 saniyede yapılan yük arttırma ve düşürme deneylerinin akımın genliğini nasıl değiştirdiği gösterilmiştir. Şekil 7.3'te yük değişiminin gerilimin genliği, güç ve frekans üzerindeki değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.3 Yük değişimlerinin gerilim, güç ve frekansa etkisi

Akım, PI kontrolden kaynaklanan eksiklik neticesinde yüksek salınım yapmaktadır. Bu salınım aynı şekilde gerilim ve güç değerlerini de etkilemektedir. Gerilimin genliğinin yükün fazla olduğu yerlerde düştüğü görülmektedir. Ancak bu düşüm %10 sınırı içerisindedir. Frekans, bağlı olan yüke göre beklenildiği gibi değişmiştir.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada 5 kw'lık bir şebekeye enerji aktarabilen inverterden alınan sonuçlar incelenmiştir. Simülasyonda yapılan çalışmada ada ve şebekeye bağlı çalışma analiz edilmiştir. Yalnızca ada modunda çalışma deneysel olarak görüntülenmiştir. Burada eğim kontrol yöntemi yöntemi şebekeye bağlı ve ada modunda uygulanmış ve yük değişimi yapılarak ayrı ayrı test edilmiştir. Genel olarak bakıldığında eğim kontrol yöntemi isteneni vermiştir. Ada çalışmada gerilim ve frekans, şebekeye bağlı çalışmada güç kontrolü sağlıklı bir şekilde yapıldı.

LabView, pratik olması ve arayüz tasarımında özgürlük sağlaması yönüyle büyük avantaj sağlamaktadır. Metin yerine görsel bir dil kullanılması yönüyle öğrenme ve uygulama açısından kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca istenildiği gibi hazırlanan arayüz vasıtasıyla alınan veriler; grafiklerle, ibrelerle veya sayısal göstergelerle düzgün bir biçimde görüntülenebilmektedir. LabView'un bu yönü, osiloskop gibi cihazlara ihtiyacı azaltmaktadır. Bunların dışında LabView'un eksik bazı noktaları da bulunmaktadır. Hazır bulunan bazı blokların yerine klasik yöntemler kullanmak daha etkili olabiliyor.

Çalışmada başlangıçta inverter, şebeke bağlantısı olmadan yükü beslemektedir. Bu sayede, kondansatör uçlarındaki gerilimin yavaş bir şekilde artması sağlanmış ve yüksek şarj akımı çekmesini engellenmiştir. Böylelikle sönümleme direnci kullanılmasına ve ek kontrol uygulanmasına gerek kalmamıştır.

Eğim kontrol yöntemi mikroşebekede kararlılığı sağlamıştır. Şebekeye bağlandığında aktarılan güç belirlenen değerde koruyabilmektedir. Ada modunda çalışmaya başlayan inverterin, şebeke bağlantısının gerçekleşmesi için nominal gücünden farklı bir değerde çalışması daha uygundur. Nominal güçte çalışan inverterin frekansı 50 Hz olmaktadır. Bu

durumda şebekeyle arasındaki faz farkının kapanması zorlaşmaktadır. Simülasyon çalışmasında görüdüğü üzere, nominalden farklı bir güçle başlayıp şebekeye bağlandığında güç değeri zamanla nominal değere ulaşmaktadır. Bu noktada belirleyici olan nominal frekansa ulaşma eğilimidir. Şebeke bağlantısı kesildiğinde, ada moduna geçerek çalışmasını devam ettirebilmekte, frekansı ve gerilimi belirli aralıkta tutarak enerji sürekliliğini sağlayabilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Amin, S. ve Wollenberg, B., (2005). “Toward a smart: power delivery for the 21st century”, IEEE Power and Energy Magazine, 3:34-41.

[2] Ackermann, T., Andersson, G., ve Söder, L., (2001). “Distributed generation: a definition”, Electric Power Systems Research, 57:195-204.

[3] Joan, R., Luna, A., Blaabjerg, F. ve Rodriguez, P., (2012). "Control of Power Converters in AC Microgrids", IEEE Trans. on power electronics, 27:4734-4749.

[4] Salam, A., Mohamed, A. ve Hannan, M., (2009). “Improved Control Strategy for Fuel Cell and Photovoltaic Inverters in a Microgrid”, WSEAS Trans. on Power Systems, 4:331-340.

[5] Lasseter, R. ve Piagi, P., (2004). “Microgrid: A Conceptual Solution”, In IEEE Power Electronics Specialists Conference 2004.

[6] Lasseter, R., (2008). “Extended CERTS Microgrid”, IEEE Power and Energy Society Genaral Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 1-5 Pittsburgh.

[7] Piagi, P. ve Lasseter, R., (2006). “Autonomous Control of Microgrids”, IEEE PES Meeting, Montreal.

[8] Bhaskara, S. N. ve Chowdhury, B. H., (2012). “Microgrids – A Review of Modeling, Control,Protection, Simulation and Future Potential”, IEEE.

[9] Hossain, E., Kabalci, E., Bayindir, R. ve Perez, R., (2014). “A Comprehensive Study on Microgrid Technology”, International Journal of Renewable Energy Research, 4:1094-1107.

[10] Katiraei, F., Iravani, R., Hatziargyriou, N. ve Dimeas, A., (2008). “Microgrids Management”, Power and Energy Magazine IEEE, 6:54-65.

[11] Gulin, M., “Control of a DC Microgrid”, University of Zagreb, Croatia.

[12] Bai, W. ve Lee, K., (2014). “Distributed Generation System Control Strategies in Microgrid Operation”, 19th IFAC World Congress 2014, South Africa.

[13] Nagashree, J., Kumara, V. ve Narasimhegowda, (2014). “Voltage Support and Reactive Power Control in Micro-grid using DG”, International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER), 4:1-6.

[14] Surprenant, M., Hiskens, I. ve Venkataramanan, G., (2011). “Phase Locked Loop Control of Inverters in a Microgrid”, Energy Conversion Congress and Exposition, 17-22 September, 2011, Phoenix, AZ.

[15] Kamel, R., Chaouachi, A. ve Nagasaka, K., (2011). “Three Proposed Control Techniques Applied upon Inverters which Interfacing Micro Sources with the Islanded Micro Grid (MG)”, ISESCO Science and Technology Vision, 14:76-84.

[16] Queralt, J. P., Bianchi, F. ve Bellmunt, O.G., (2012). “Optimal Droop Control for Voltage Source Converters in Islanded Microgrids”, 8th Power Plant and Power System Control Symposium, 2-5 September, Toulouse, France.

[17] Sunkireddy, M., Manesh Kumar Reddy, A, ve Prataparao, V., (2014). “Improvement of Power Quality in Microgrid System by H∞ Repetitive Current Controller and Fuzzy Based Voltage Controller”, International Journal of Professional Engineering Studies, 3:72-81.

[18] Rizo, M., Bueno, E., Dell’Aquila, A., Liserre, M. ve Mastromauro, R. A., (2011). “Generalized Controller for Small Wind Turbines Working Grid-Connected and Stand-Alone”, Clean Electrical Power (ICCEP), 14-16 June 2011, Ischia.

[19] Micallef, A., Apap, M. ve Guerrero, J., (2014). “Reactive Power Sharing and Voltage Harmonic Distortion Compensation of Droop Controlled Single Phase Islanded Microgrids, Smart Grid, IEEE Transactions on, 5:1149-1158.

[20] Sivaprasad, K., Sarathbabu, G. ve Rambabu, C., (2014). “A Dual purpose Inverter Topology for Power Quality Improvement and Power Generation from Grid Connected Renewable Energy Systems”, International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM), 3:275-283.

[21] Ateş, Y., Uzunoğlu, M. ve Yumurtacı, R., (2011). “Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebekeye Entegrasyonunda Akıllı Şebekelerin Rolü ve Gelecek Öngörüleri”, 4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 12-13 Mayıs 2011 Kartepe / Kocaeli.

[22] Elma, O., (2014). “Türkiye’de Akıllı Şebekeler Alt Yapısına Uygun Akıllı Ev Labarotuvarı”, ICSG İstanbul 2014, 8-9 Mayıs 2014, İstanbul.

[23] Çoksürer, Y., (2013). “Akıllı Şebekeler ve Orta gerilim Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[24] Jiang, Z., Gable, C., Li, F., Qiao, W. ve Sun, H., (2009). “A Vision of Smart Transmission Grids”, Power & Energy Society General Meeting, 26-30 July 2009, Calgary, AB.

[25] Turan, M., (2014). “Akıllı Şebekelerde arıza Analizi ve Koruma”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[26] Akçin, M., Alagöz, B., Keleş, C., Karabiber, A. ve Kaygusuz, A., (2013). “Dağıtık kontrol ile akıllı şebekelerde geniş-alan yönetimi ve geleceğe dönük projeksiyonlar”, SAÜ. Fen Bil. Der., 2013.

[27] Penya, Y. K. J., Nieves, V., Espinoza, A., Borges, C. E., Pena, A. Ve Ortega, M., (2012). “Distributed Semantic Architecture for Smart Grids”, Energies, 5:4824-4843.

[28] Gao, Y., Liu, J., Yang, J., Liang, H. ve Zhang, J., (2014). "Multi-Objective Planning of Multi-Type Distributed Generation Considering Timing Characteristics and Environmental Benefits", Energies, 7:6242-6257.

[29] Özdemir, E., (2007). "Dağıtılmış Enerji Üretim Sistemlerinden Elektrik Üretimi ve Şebeke Desteği Hizmetleri". Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM 2007), 31 Ekim–2 Kasım 2007, Gaziantep.

[30] Hope, L. T., (2009). "California's Public Interest Energy Research on Microgrids", California Energy Commission.

[31] Agrawal, M. ve Mittal, A., (2011). "Micro Grid Technological Activities Across the Globe: A Review", International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, 7:147-152.

[32] IEEE Guide for Design, Operation and Integration of Distributed Resource Island System with Electric Power Systems, 2011.

[33] Seyedi, M., Naderi, P., Reza, M. ve Pahlavani, A., (2013). "The Innovative Method of Islanding Detection Based on the Unbalance Voltage Parameters with Frequency Control Loop", Journal of Applied Science and Agriculture, AENSI, 8:599-606.

[34] Xu, X. ve Zha, X., (2007). "Overview of the Researches on Distributed Genaration and Microgrid", Power Engineering Conference, 3-6 December 2007, Singapore.

[35] Bayrak, M. ve Cebeci, G., (2014). "Fotovoltaik Kaynaklı Dağıtık Güç Üretim Sistemlerinin Şebeke İle Etkileşiminde Önemli Bir Sorun: Ada Modlu Çalışma (ADMÇ)", Elektrik Dergisi, 128-137.

[36] Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği, http://www.epdk.gov.tr/index.php/elektrik-piyasasi/mevzuat?id=46, 6 Mart 2016.

[37] Ong, C.M., (1998). Dynamic Simulation of Electric Machinery, Prentice Hall, New York.

[38] Blaabjerg, F., Teodorescu, R., Liserre, M. ve Timbus, A.V., (2006). "Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 53:1398-1409.

[39] Yu, Z., Mohammed, A. ve Panahi, I., (1997). "A Review of Three PWM Techniques", American Control Conference (ACC'97), 4-6 June 1997, 257-261.

[40] Svensson, J., (2001). "Synchronisation methods for grid-connected voltage source converters", IEE Generation, Transmission and Distribution, 148:229-235.

[41] Timbus, A., Teodorescu, R., Blaabjerg, F. ve Liserre, M., (2005). "Synchronization Methods for Three Phase Distributed Power Generation Systems. An Overview and Evaluation", IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC'05), 12-18 June 2005, 2474-2481.

[42] Raoufi, M. ve Lamchich, M.T., (2004). "Average Current Mode Control of a Voltage Source Inverter Connected to the Grid:Application to Different Filter Cells", Journal of Electrical Engineering, 55:77-82.

[43] Ahmed, K.H., Finney, S.J. ve Williams, B.W., (2007). "Passive Filter Design for Three-Phase Inverter Interfacing in Distributed Generation", Compatibility in Power Electronics (CPE'07), 29 May-1 June 2007, 1-9.

[44] Cha, H. ve Vu, T.K., (2010). "Comparative analysis of low-pass output filter for single-phase grid-connected Photovoltaic inverter", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC'10), 21-25 February 2010, 1659-1665.

[45] Lee, K.J., Park, N.J., Kim, R.Y. , Ha, R.Y. ve Hyun, D.S., (2008). "Design of an LCL filter employing a symmetric geometry and its control in grid-connected inverter applications", IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC'08), 15-19 June 2008, 963-966.

[46] Liu, F., Zha, X., Zhou, Y. ve Duan, S., (2009). "Design and research on parameter of LCL filter in three-phase grid-connected inverter", IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC'09), 17-20 May 2009, 2174-2177.

[47] Liu, F., Zhou, Y., Duan, S., Yin, J., Liu, B. ve Liu, F., (2009). "Parameter Design of a Two-Current-Loop Controller Used in a Grid-Connected Inverter System With LCL Filter", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 56:4483-4491.

[48] Wang, T.C.Y., Zhihong, Y., Sinha, G. ve Yuan, X., (2003). "Output filter design for a grid-interconnected three-phase inverter", IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC'03), 19 Jun. 2003, 779-784.

[49] Wei, S., Xiaojie, W., Peng, D. ve Juan, Z., (2008). "An over view of damping methods for three-phase PWM rectifier", IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT'08), 21-24 April 2008, 1-5.

[50] Liserre, M., Dell'Aquila, A. ve Blaabjerg, F., (2002). "Stability improvements of an LCL-filter based three-phase active rectifier", IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC'02), 23-27 June 2002, 1195-1201.

[51] Loh, P.C. ve Holmes, D.G., (2005). "Analysis of multiloop control strategies for LC/CL/LCL-filtered voltage-source and current-source inverters", IEEE Transactions on Industry Applications, 41:644-654.

[52] Blaabjerg, F., Teodorescu, R., Liserre, M. ve Timbus, A.V., (2006). "Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 53:1398-1409.

[53] IEEE 519-1992 Standard, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.

[54] Agirman, I. ve Blasko, V., (2003). "A Novel Control Method of a VSC Without AC Line Voltage Sensors", IEEE Transactions on Industry Applications, 39: 519-524.

[55] Chen, X., Fu, Q., Yu, S. ve Zhou, L., (2008). "Unified Control of Photovoltaic Gridconnection and Power Quality managements", Workshop on Power Electronics and Intelligent Transportation System (PEITS'08), 2-3 Aug. 2008, 360-365.

[56] Ramos, C.J., Martins, A.P., Araujo, A.S. Ve Carvalho, A.S., (2002). "Current control in the grid connection of the double-output induction generator", linked to a variable speed wind turbineIEEE Industrial Electronics Society (IECON'02), 5-8 Nov. 2002, 979-984.

[57] Candusso, D., Valero, L. ve Walter, A., (2002). "Modelling, control and simulation of a fuel cell based power supply system with energy management", IEEE Industrial Electronics Society (IECON'02), 5-8 Nov. 2002, 1294-1299.

[58] İşen, E., (2011). Alternatif Enerji Kaynakları İçin Şebekeye Bağlı Düşük Harmonikli ve Yüksek Verimli Üç fazlı İnverter Sisteminin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[59] Ülker, F., (2015). Mikroşebeke Yapısına Uygun 3 Fazlı İnverterin Simülasyon Modelinin Geliştirilmesi ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[60] Vikipedi, LabVIEW, https://tr.wikipedia.org/wiki/LabVIEW ,7 Mart 2016.

[61] Wikipedia, Ultisim, https://en.wikipedia.org/wiki/NI_Multisim ,7 Mart 2016.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Cihat AKTAŞ

Doğum Tarihi ve Yeri : 13.04.1992 İstanbul

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : c.aktas17@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Fen Bilimleri	Bayrampaşa Anadolu Lisesi	2010

YAYINLARI

Proje

1. “Mikroşebeke Yapısına Uygun Gerilim Beslemeli İnverter Geliştirilmesi”, 114E417 nolu TUBİTAK 3001 projesi, Proje Yürütücüsü Yrd. Doç. Dr. Mustafa BAYSAL, 2014-2016