



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**DENGESİZ YÜKLER ALTINDA
ŞEBEKEYE BAĞLI HİBRİT ENERJİ
SİSTEMİNİN TASARIMI,
OPTİMİZASYONU VE ANALİZİ**

Mehmet Selim AYGEN

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

HAZİRAN 2020



**DENGESİZ YÜKLER ALTINDA ŞEBEKEYE BAĞLI HİBRİT ENERJİ
SİSTEMİNİN TASARIMI, OPTİMİZASYONU VE ANALİZİ**

Mehmet Selim AYGEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2020

Mehmet Selim AYGEN tarafından hazırlanan “DENGESİZ YÜKLER ALTINDA ŞEBEKEYE BAĞLI HİBRİT ENERJİ SİSTEMİNİN TASARIMI, OPTİMİZASYONU VE ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa İNCİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi


Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



Başkan: Doç. Dr. Murat AKSOY

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim dalı, Çukurova Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ÇALIŞKAN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 17 / 06/ 2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Tolga DEPCI

Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

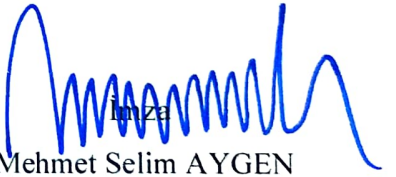


ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.


Mehmet Selim AYGEN

17 / 06 / 2020

DENGESİZ YÜKLER ALTINDA ŞEBEKEYE BAĞLI HİBRİT ENERJİ SİSTEMİNİN
TASARIMI, OPTİMİZASYONU VE ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet Selim AYGEN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2020

ÖZET

Birbirleriyle etkileşime giren ve özellikle düşük gerilimli elektrik santrallerini etkileyen dengesiz akımlar önemli güç kalitesi sorunlarıdır. Dengesiz yük grupları ve / veya dengesiz gerilimler, üç fazlı sistemlerde dengesiz akımlara neden olan yaygın durumlardır. Elektrik hizmetleri ve dağıtım şebekesi işletmecileri, dağıtım şebekesi ile tüketici yükleri arasındaki ortak bağlantı noktasında simetrik elektriksel özellikler sağlamakla yükümlüdür. Bunun için üç fazlı sistemlerde dengeli akım akışı hem elektrik tedarikçilerinin hem de tüketicilerin sorumluluğundadır.

Bu tezde, dengesiz hassas yüklere sahip hibrit fotovoltaik / yakıt hücresi enerji sisteminde test edilen geliştirilmiş bir şebeke-evirici kontrol şeması sunulmaktadır. Tasarlanan sistemde, dengesiz yükler her fazda dengesiz akımlar çekmekte olup, enerji birimlerinden farklı güç değerleri tüketmektedir. Bu durum şebekeye akan akımların dengesizleşmesine sebep olmaktadır. Elektrik şebekesi eviricilerinde kullanılan geleneksel bir güç akış kontrolcüsü ile şebekede oluşan bu dengesizlik önlenememektedir. Bunun için, dengesiz yükleme koşullarında şebekenin akım kalitesini artırmak için faz dengeleme kontrol yöntemi önerilmektedir. Önerilen yöntem güç farklılaşma değerlerini hesaplamakta ve geleneksel yöntemde abc / dq dönüşümü yerine çoklu düzlem $\alpha\beta / dq$ dönüşümüne dayanmaktadır. Önerilen yöntem ile güç akış kontrolüne ek olarak negatif ve sıfır sıra akım bileşenleri de ortadan kaldırmaktadır. Bu bağlamda, dengesiz koşullar altında simetrik referans değerleri üreten geleneksel yöntemin eksikliği giderilmektedir.

Bu tezde, dengesiz yüklere sahip sistemde enerji birimlerinden şebekelere farklı örnekleme çalışmaları için farklı güç sağlayan performans sonuçları verilmektedir. Enerji sistemlerinin optimizasyonu aynı zamanda bir maksimum güç noktası izleme algoritması ile sağlanmaktadır. Sonuçlar, önerilen yöntemin şebeke tarafında güç dengelemesi sağladığını ve şebeke tarafı akımlarında negatif ve sıfır akım bileşenlerinin ortadan kaldırılmasını sağladığını göstermektedir. Ayrıca, tasarlanan yük grupları altında önerilen yaklaşımın geçerliliğini doğrulamak için performans sonuçları geleneksel yöntemle karşılaştırılmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Hibrit enerji sistemi, fotovoltaik, yakıt hücresi, dengesiz yükler.

Sayfa Adedi : 69

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa İNCİ

DESIGN, OPTIMIZATION AND ANALYSIS OF GRID CONNECTED HYBRID ENERGY
SYSTEM UNDER UNBALANCED LOADS
(M. Sc. Thesis)

Mehmet Selim AYGEN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

June 2020

ABSTRACT

The unbalanced currents are significant power quality issues that interact with each other and particularly affect low-voltage power plants. Unbalanced load groups and/or unbalanced voltages are common conditions that cause unbalanced currents in three phase systems. Electricity services and distribution network operators are obliged to provide symmetrical electrical characteristics at the common connection point between distribution network and consumer loads. For this purpose, balanced current flow in the three phase systems is the responsibility of both electricity suppliers and consumers.

This thesis presents an improved grid-inverter control scheme tested in hybrid photovoltaic (PV)/fuel cell (FC) energy system with unbalanced sensitive loads. In designed system, unbalanced loads draw unbalanced currents at each phase and consume different power values from energy units. This situation causes the currents flowing into the grid to become imbalance. This problem in the grid cannot compensated by a conventional power flow controller used in electrical grid inverters. For this purpose, a phase balancing control method is proposed in order to improve the grid quality under unbalanced loading conditions. The proposed method calculates power differentiation values and it is based on multiple-frame $\alpha\beta/dq$ transform instead of abc/dq transform in the conventional method. With the proposed method, it eliminates negative & zero sequence components in addition to power flow control. In this regard, it removes the deficiency of conventional method, which generates the symmetrical reference values under unbalanced conditions.

In this thesis, the system with unbalanced loads is performed for different case studies, which supply different power from energy units to grids. The optimization of energy systems is also provided through a maximum power point tracking algorithm. The results show that the proposed method provides power balancing at grid-side and elimination of negative & zero sequence components at grid-side currents. Also, the performance results are compared to the conventional method in order to verify the validity of the proposed approach under the designed load groups.

Key Words : Hybrid energy system, photovoltaics, fuel cells, unbalanced loads.

Page Number : 69

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Mustafa İNCİ

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmamn yűrűtűlmesinde, bilgi birikimi ve deneyimlerini benimle paylaŐan deęerli danıŐmanım Dr. Őęr. Őyesi Mustafa İnci'ye en kalpten itenlięimle teŐekkűr ederim. Bu sűrete mesleki tecrűbelerini paylaŐmaları ve bilimsel alıŐmalarımıdaki desteklerinden dolayı her zaman műteŐekkiri olduęumu belirtmek isterim.

Son olarak, eęitim hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen ve her konuda yanımda olan en bűyűk destekim babam Őinasi Aygen'e ve annem Naciye Aygen'e ok teŐekkűr ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
2.1. Mevcut Çalışmaların Sistem Fonksiyonları.....	7
2.2. Geleneksel Sistem Yapısı.....	10
2.2.1. Hibrit Sistemlerde Enerji Üretimi.....	10
2.2.2. DA-DA Dönüştürücüler.....	12
2.2.3. Eviriciler.....	14
2.2.4. Çıkış Filtreleri.....	16
2.2.5. Transformatör	18
2.3. Geleneksel Güç Akışı Kontrol Yöntemleri.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1. Önerilen Sistem Yapısı.....	22
3.1.1. PV Panel ve Yakıt Hücresi.....	23
3.1.2. Çift Giriş Tek Çıkış DA-DA Dönüştürücü.....	25
3.1.3. Tam-Köprü Evirici.....	28
3.1.4. Şebeke ve Yükler.....	30

	Sayfa
3.2. Sistem Kontrolü.....	31
3.2.1. Akım Bileşenleri.....	31
3.2.2. Akış Diyagramı.....	33
3.2.3. Denetim Şeması ve Anahtarlama.....	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	40
4.1. Sistem Modeli.....	40
4.2. PV / FC Karakteristiği.....	42
4.3. Benzetim Sonuçları – Yüksüz Çalışma Durumu.....	44
4.4. Benzetim Sonuçları – Yüklü Çalışma Durumu.....	47
4.5. Tartışma.....	56
5. SONUÇLAR.....	58
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	68

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Yük durumu ve özgün fonksiyonlarına göre AA şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinin özeti.....	9
Çizelge 3.1. Şebeke ve yük parametreleri.....	31
Çizelge 4.1. Modellenen sistemin parametreleri ve değerleri.....	41
Çizelge 4.2. PV panel parametre değerleri.....	43
Çizelge 4.3. Yakıt hücresine ait parametre değerleri.....	44
Çizelge 4.4. Örnekleme durumlarına ait güç akışı değerleri.....	51
Çizelge 4.5. Geleneksel / önerilen yöntem tabanlı sistemler için şebeke akımlarının büyüklükleri.....	54
Çizelge 4.6. Faz dengeleme yönteminde sistem akımlarının harmonik bileşen değerleri.....	56

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi.....	2
Şekil 2.1. Geleneksel şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi.....	8
Şekil 2.2. Yakıt hücresi çalışması.....	11
Şekil 2.3. Yakıt hücresine ait tipik bir polarizasyon eğrisi.....	11
Şekil 2.4. PV panel tipik elektriksel eğrisi.....	12
Şekil 2.5. Şebeke entegrasyonunda sık kullanılan klasik yükseltici, çok katlı yükseltici ve çok giriş tek çıkış DA-DA dönüştürücü topolojileri.....	13
Şekil 2.6. Çift tam köprü, çift yarım köprü, çift aktif köprü, ileri, yüksek kademeli birleştirilmiş bobin ve sıfır gerilim geçişi DA-DA dönüştürücü topolojileri.	14
Şekil 2.7. Sık kullanılan evirici topolojileri.....	15
Şekil 2.8. Şebeke entegrasyonunda sık kullanılan çok seviyeli evirici topolojileri.....	16
Şekil 2.9. Evirici çıkışında kullanılan filtre çeşitleri.....	17
Şekil 2.10. abc/dq düzlem yöntemi.....	19
Şekil 2.11 abc/αβ düzlem yöntemi.....	20
Şekil 2.12. Bileşen kontrol yöntemi.....	20
Şekil 2.13. Basit PI tabanlı kontrol.....	21
Şekil 3.1. Faz dengeleme yöntemi kontrollü şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi.....	22
Şekil 3.2. Fotovoltaik hücreye ait eşdeğer devre modeli.....	23
Şekil 3.3. PEMFC eşdeğer devresi.....	24
Şekil 3.4. Çift giriş tek çıkış yükseltici tipi DA-DA dönüştürücü.....	26
Şekil 3.5. PO MPPT akış diyagramı.....	27
Şekil 3.6. Tam köprü eviriciye ait elektriksel eşdeğer devre şeması.....	28
Şekil 3.7. Tam köprü eviriciler yolu ile güç alışverişi.....	29
Şekil 3.8. Simetrik bileşenler.....	32

Şekil	Sayfa
Şekil 3.9. Tasarlanan sistemde faz dengeleme yönteminin akış diyagramı.....	33
Şekil 3.10. Önerilen faz dengeleme yöntemi.....	35
Şekil 4.1. Simulink'te tasarlanan hibrit enerji sistemi modeli.....	40
Şekil 4.2. Simulink'te tasarlanan faz dengeleme kontrol yöntemi.....	41
Şekil 4.3. PV panelin elektriksel karakteristiği.....	42
Şekil 4.4. Yakıt hücresinin elektriksel karakteristiği.....	43
Şekil 4.5. Yüksüz çalışma durumu anahtarlama doluluk/boşluk oranları, PV - FC gerilimleri ve DA-bağ gerilimi dalga formları.....	45
Şekil 4.6. Yüksüz çalışma durumu sistem gerilimleri ve akımları.....	46
Şekil 4.7. Yüksüz çalışma durumu güç dalga formları.....	47
Şekil 4.8. Doluluk boşluk oranı, PV panel/yakıt hücresi gerilimleri, DA-bağ gerilimi ve sistem gerilimine ait dalga formları.....	48
Şekil 4.9. Dengesiz yük durumu sistem, yük ve şebeke akımlarına ait dalga formları..	49
Şekil 4.10. Dengesiz yük durumu sistem, yük ve şebeke tarafı güç dalga formları.....	50
Şekil 4.11. Klasik ve önerilen yöntemin dengesiz yükler altında farklı örnekleme durumları için şebeke akımlarının karşılaştırılması.....	52
Şekil 4.12. Dengesiz yükler altında farklı benzetim durumları için klasik/önerilen yöntem kullanılarak elde edilen şebeke akımları genlikleri.....	53
Şekil 4.13. Dengesiz yükler altında klasik/önerilen yöntem tabanlı hibrit sistemin şebeke tarafında görülen negatif/sıfır bileşen akım dalga formları.....	55
Şekil 4.14. Dengesiz yükler altında şebeke akımlarının 21. harmoniğe kadar THB analizi.....	56

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Amper
D_{pv}	PV dönüştürücüdeki anahtarlama doluluk-boşluk oranı
D_{fc}	FC dönüştürücüdeki anahtarlama doluluk-boşluk oranı
F	Farad
G	Işıma miktarı
G_{nom}	1000 W/m ² değerdeki ışıma değeri
Hz	Hertz
I_{grid}	Şebeke akımı
I_{load}	Yük akımı
I_{sys}	Hibrit enerji sistemi evirici çıkışı akımı
K	Kelvin
k	Kilo
m	Mili
m²	Metre kare
N_p	PV paneldeki paralel bağlı modül sayısı
N_s	PV paneldeki seri bağlı modül sayısı
P_{dc}	DA-bağ noktasındaki güç değeri
P_{cap}	DA-bağ kapasitöründe depolanan enerji
P_{pv}	PV panel gücü
P_{sys}	Evirici üzerinden kaynak ve yüke basılan toplam güç
V	Volt
VA	Volt Amper
V_{dc}	DA-bağ gerilimi
V_{fc}	Yakıt hücresi gerilimi
V_{oc}	Yakıt hücresi açık devre gerilimi
V_{ohmic}	Yakıt hücresi rezistif gerilim kaybı

V_{pv}	PV panel gerilimi
V_{sys}	Hibrit sistem gerilimi
V_d	Yakıt hücresi polarizasyon gerilimi
W	Watt
Ω	Ohm
%	Yüzde

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AA	Alternatif akım
DA	Doğru akım
FC	Yakıt hücresi
MPPT	Maksimum güç noktası takibi
PEMFC	Proton değişim membranlı yakıt hücresi
PV	Fotovoltaik
THB	Toplam harmonik bozulma

1. GİRİŞ

Bu bölümde, önerilen çalışma ile ilgili genel bilgi, çalışmanın amacı, bilimsel katkısı ve tez organizasyonu ile ilgili bilgiler verilecektir.

Elektriksel gücün önemli bir kısmı yenilenebilir olmayan geleneksel enerji kaynakları tarafından üretilmektedir. Bu durum kömür ve fosil yakıtlar gibi kaynakları hızlı bir şekilde azaltmaktadır. Bu azalma ile birlikte geleneksel üretim dışında arz-talebi dengelemek amacıyla yeni yöntemleri ve enerji kaynaklarını popüler hale getirmektedir. Yenilenebilir veya alternatif enerji diye tabir ettiğimiz enerji kaynakları doğadaki kaynaklardan doğal yollarla elde edilebilen enerji olarak öne çıkmaktadır. Bu enerji kaynakları arasında hidroelektrik, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi gibi alternatif enerji kaynakları mevcut geleneksel donanımla ek enerji üretilmesine destek olmaktadır [1, 2]. Rüzgâr ve güneş enerjisine ek olarak biyokütle ve hidrojen enerjisi de popülerlik kazanmaktadır [3]. Günümüzde küresel enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan elde edilirken, yenilenebilir enerji kaynakları kömür ve petrol gibi fosil yakıtlara olan bağımlılığı ve kullanımı azaltmayı amaçlamaktadır. Bunun için en önemli rol yenilenebilir enerji kaynaklarına düşmektedir [4]. Temel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına ait sınıflandırma aşağıdaki şekildedir.

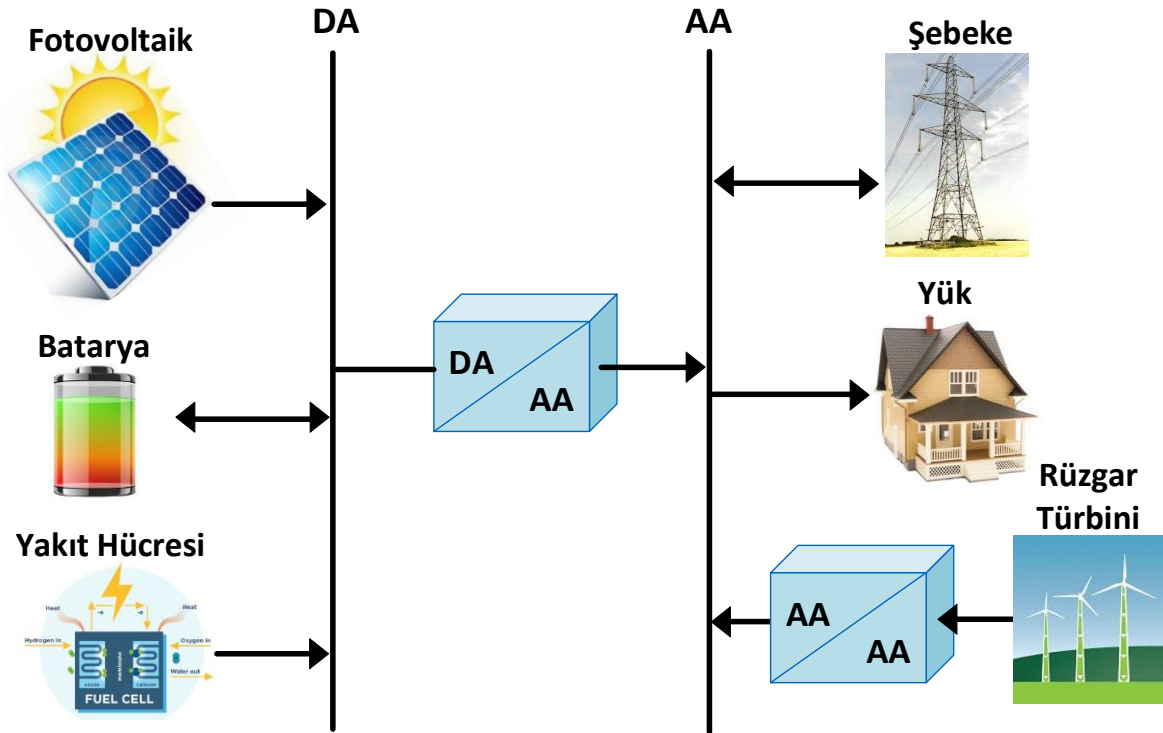
- Güneş Enerjisi
- Rüzgâr Enerjisi
- Biyokütle Enerjisi
- Jeotermal Enerji
- Hidrojen Enerjisi
- Hidroelektrik Enerji
- Dalga Enerjisi

Yenilenebilir enerji teknolojilerinde fotovoltaik (PV) paneller ve yakıt hücreleri içeren hibrit enerji sistemleri kolay kullanım, basit çalışma ve çevresel kaynaklara göre daha yaygın olarak tercih edilmektedir [5, 6]. Bu yapılar yenilenebilir enerji sistemlerinden elektrik şebekelerine optimize edilmiş aktif güç aktarmak için dikkatli bir şekilde organize edilmeli ve kullanılmalıdır. Bunun için, enerji üretim birimleri şebeke gücünü

güçlendirmek için elektrik hattına yerleştirilir, böylece anlık salınımlar azalır ve sistem kararlılığı / performansı artırılır [7]. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemleri, enerji ünitelerinden yerel yüklerle / şebekelere ortak bir güç alışverişi sağlamak için kullanılmaktadır.

Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri, yenilenebilir enerji teknolojilerindeki ilerlemeler ve petrol ürünlerinin fiyatlarındaki artış nedeniyle uzak bölgelerde elektrik sağlamak için bağımsız güç sistemleri olarak popüler hale gelmektedir. Bir hibrit enerji sistemi veya hibrit enerji kaynağı genellikle daha fazla sistem verimliliği sağlamak ve enerji arzında daha fazla denge sağlamak için birlikte kullanılan iki veya daha fazla yenilenebilir enerji kaynağından oluşmaktadır [7].

Hibrit enerji sistemleri, elektrik enerjisi jeneratörleri, elektrik enerjisi depolama sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynakları gibi çeşitli enerji üretim sistemlerinin entegrasyonu olarak da tanımlanmaktadır. Hibrit enerji sistemleri şebekeye bağlı modda, şebekeden bağımsız veya özel amaçlı uygulamalar için kullanılmaktadır [8]. Şekil 1.1 geleneksel şebekeye bağlı hibrit enerjisi sistemini göstermektedir.



Şekil 1.1. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi

Şebekeye bağlı bir sistem, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi veya hidrojen enerjisi gibi yenilenebilir enerji yolu ile tüketicilere enerji aktarımını sağlar ve üretilen fazla elektrik enerjisi şebekeye aktarılır [9]. Yenilenebilir kaynaklar mevcut olmadığında, şebekeden gelen elektrik, enerji talebini karşılayarak elektrik depolama cihazlarının giderlerini ortadan kaldırmaktadır. Hibrit enerji sistemlerinin üstün yanları ve faydaları aşağıdaki şekilde özetlenebilir [10, 11].

- Mevcut enerji kaynakları ile ilgili gelişmiş uygulamalı bilimler, enerji üretimi konusunda en yüksek verimi sağlayabilmektedir. Merkezi ve merkezi olmayan depolama biçimlerinin entegrasyonu sayesinde, enerji tüketiminin akıllı ve düşük kayıp kontrolüne de ulaşılabilir [12].
- Bu tarz bir elektriksel enerji tedarik ağının temel fonksiyonu, üretici ve tüketici arasında bir dengeli durum elde etmektir. Bu amaçla, gelecek vadeden kaynaklar için modern fırsatlar sunan, enerji ile ilgili üretim, depolama ve tüketim için farklı teknolojilerin sorunsuz bir şekilde bütünleşmesi gerekmektedir [10].
- Hibrit enerji kaynakları ve teknolojileri birbiri ile uyum içinde çalışan iki veya daha fazla enerji kaynağının birleşiminden oluşmaktadır. Klasik sürdürülebilir enerji teknolojilerinin elde edilebilecek bütünleşmeleri kentler, bölgeler veya kişisel haneler için inovatif ve enerji bakımında etkili çözümler sunmaktadır [6].
- PV ve rüzgâr enerjisi benzeri temiz enerji kaynaklarını bütünleştirirken, hibrit enerji teknolojileri, esneklikte iyileştirilmiş ve talebe uyum sağlama yeteneğinin ek faydası ile yüzde yüz yenilenebilir enerji sağlayabilir [13, 14].
- Enerji alanında modern imkânların ve yeniliklerin meydana gelmesinin kolaylaştırıcı bilimsel ilerlemenin artması nedeni ile hibrit enerji sistemlerine olan ihtiyaç önemli ölçüde artmaktadır [10]. Kentler, arz ve talebin etkin bir biçimde yönetilmesi ve böylece enerji güvenliğinin iyileştirilmesi için bir araç sundukları için bu çözümlere özel bir ilgi gösterdiğini doğrulamaktadır [10].
- Şebekeye bağlı yenilenebilir enerji tabanlı hibrit enerji sistemlerinde kapalı döngüden

dolayı istenmeyen fazla enerji kaybı olmaz ve tüketim miktarı denetlenebilir [15].

Bu çalışmada, şebekeye bağlı PV/FC tabanlı hibrit enerji sisteminin tasarımı, optimizasyonu ve analizi yapılmaktadır. Tasarlanan hibrit enerji sisteminde, elektriksel enerji üretimi PV panel ve yakıt hücresi tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda, PV panel / yakıt hücreli hibrit enerji sistemi şebekeye bağlı olup, farklı yükler altında test edilmektedir. Bu doğrultuda, sistemden yüksek verim elde etmek amacıyla optimizasyon çalışması yapılmaktadır. Optimizasyon kısmında, PV panel ve yakıt hücresi çift giriş tek çıkış yükseltici tipi DA-DA dönüştürücü yolu ile merkezi eviriciye bağlanmaktadır. PV panel ve yakıt hücresinden elde edilen enerji değiştir-gözle maksimum güç noktası takip (perturb and observe maximum power point tracking veya PO MPPT) yöntemi ile sağlanmaktadır. Değiştir-gözle maksimum güç noktası takip yöntemi, PV panel / yakıt hücresi çıkış akım/gerilim değerlerini kullanarak öncelikle enerji biriminin ürettiği güç değeri hesaplanmaktadır. Sonraki adımda, gerilimdeki veya yarıiletken anahtarlama elemanının doluluk-boşluk oranındaki birim değişimlere göre enerji birimlerinin güç değerleri yeniden hesaplanmaktadır. Elde edilen iki güç değeri birbirinden farklıysa, algoritma akışı çıkış gerilimi göz önüne alınarak gerçekleştirilmektedir. Ardışık gerilim değerleri arasındaki fark, anahtarlama elemanının doluluk-boşluk oranının değiştirilmesi ile sistem optimizasyonu yapılmış olmaktadır [16]. Enerji üretimi tarafında farklı örneklemeler üzerinden en optimum çalışma noktası tespit edilmektedir [16]. Kontrolcünün çıkışında üretilen anahtar doluluk-boşluk oranı DA-DA dönüştürücünün çıkışındaki gerilimi kontrol etmek için kullanılmaktadır.

Geleneksel şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinde (yüksüz veya dengeli durumlar), şebeke akımları ve güç akışları şebeke tarafında dengelidir. Bu durumda, temel olarak simetrik bir sistem olarak kabul edilir ve elektrik hattında sadece pozitif-sıra akımları görülmektedir. Ancak, sisteme dengesiz yüklerin bağlanması enerji birimlerinden farklı değerlerde güç akışı çekilmesine sebep olacaktır. Bunun sonucunda, enerji üretim birimlerinden şebeke tarafına basılan güç değerlerini ve dolayısıyla şebeke akımlarının denkliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca, bu bileşenler sistem kayıplarını arttırmakta ve çalışma verimliliğini azaltmaktadır. Dengesiz yükler altında çalışma durumu, şebeke tarafı akımlarında negatif ve sıfır sıra bileşenleri oluşmasına sebep olmaktadır. Bu amaçla, şebeke tarafındaki negatif ve sıfır sıra akımlarının ortadan kaldırılması, dengesiz yük koşulları için önemli bir konu haline gelmektedir. Bu vesile ile

bu çalışmada şebeke tarafı akımlardaki kararlılığı/dengeyi sağlamak için geliştirilmiş bir güç akış kontrolcüsü önerilmiştir. Önerilen yöntem şebeke tarafındaki kararlılığı sağlayarak, istenmeyen akım bileşenlerinin ortadan kaldırılmasını ve şebeke tarafı güç dengesini sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, dengesiz hassas yüklere sahip bir şebeke evirici ara yüzü hibrit fotovoltaik (PV) panel / yakıt hücresi (FC) enerji sistemi ayrıntılandırılmaktadır. Tasarlanan sistemdeki dengesiz yükler her fazda asimetrik akımlar çekerek, enerji sisteminin her fazından farklı güç değerleri kullanmaktadır. Bu durum şebekeyi dengesiz hale getirirken, şebeke eviricilerinde kullanılan geleneksel bir güç akış kontrolcüsü ile telafi edilememektedir. Bunun için, bu tezde dengesiz yük koşulları altında elektriksel şebeke kalitesini iyileştirmek için geliştirilmiş bir kontrol yöntemi önerilmiştir. Faz kontrol yöntemi, geleneksel yöntemde abc / dq dönüşümü yerine faz kontrollü $\alpha\beta$ / dq dönüşümü temeline dayanmaktadır. Şebeke tarafında kararlılık sağlamak için faz kontrol yöntemine entegre bir güç farklılaşması geliştirilmiştir. Böylece, güç akışı kontrolü ile birlikte negatif ve sıfır sıra akım bileşenleri minimize edilmektedir. Bu bakımdan, dengesiz koşullar altında simetrik referans değerleri üreten geleneksel metodun eksikliği giderilmektedir. Önerilen sistem, Simulink programı kullanılarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Performans sonuçlarında, dengesiz yüklere sahip sistem, enerji ünitelerinden şebekelere farklı güç sağlayan farklı durum çalışmaları için test edilmiştir. Ek olarak, şebeke akımları geleneksel ve önerilen sistemler için analiz edilmektedir. Performans sonuçları önerilen yöntemin şebeke tarafında güç dengelemesi sağladığını göstermektedir. Bu sayede, şebeke tarafındaki akımlarda negatif ve sıfır sıra bileşenleri yeterince azaltılmaktadır. Ayrıca, faz akım yönteminin dengesiz yükler altında geçerliliğini göstermek için sistem akımının toplam harmonik bozulma (THB) spektrumu verilmiştir.

Bu tezde, şebekeye bağlı PV panel / yakıt hücresi hibrit enerji sistemi, dengesiz yük dengeli şebeke gerilim koşulları için incelenerek analizi yapılmaktadır. Tasarlanan şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi, şebekenin dengesini sağlamak için geliştirilen güç dengeleme yöntemiyle kontrol edilmektedir. Faz kontrol yönteminin çalışma prensipleri çalışmada ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Ayrıca, bu tez çalışmasının temel hedefleri aşağıda açıklanmaktadır:

- Sistemin optimizasyonu için değiştir-gözle maksimum güç noktası takip yöntemi

kullanılmaktadır. Bu sayede, PV panel / yakıt hücresi enerji ünitelerinden şebeke tarafına basılabilecek maksimum güç üretilecektir.

- Sistem, her fazda ayrı olarak uygulanan tam köprü eviricilerden oluşmaktadır. Bu sayede, sistemde negatif & sıfır akım bileşenlerinin azaltılması amaçlanmaktadır.
- Tasarlanan sistemde, yükün daha fazla güç harcadığı faza daha fazla güç sağlanırken, yükün daha az güç harcadığı faz için ise daha az güç sağlanmaktadır. Bu sayede, yöntem şebeke tarafında güç dengelemesi sağlamaktadır.
- Güç dengeleme ile birlikte negatif ve sıfır sıralı bileşenler şebeke tarafındaki akımlarda elimine edilmektedir.

Bu çalışma, beş ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Bu çalışmaya ait tez organizasyonu aşağıdaki gibi verilmektedir.

Bölüm 1: Şebekeye bağlı hibrit enerji sistem ile ilgili genel bilgiler ve üstün yanları açıklanmaktadır. Bu bölümde, önerilen çalışmaya ait tezin amacı ve katkıları sunulmaktadır. Dengesiz yükler altındaki şebekeye bağlı hibrit enerji sisteminde meydana gelen problem ve çözümü kısaca açıklanmaktadır. Son olarak ise çalışmaya ait tez organizasyonu kısaca verilmektedir.

Bölüm 2: Literatürde mevcut olan klasik sistem yapıları ve fonksiyonları bu bölümde sunulmaktadır. Hibrit enerji sisteminin şebeke ile entegrasyonu için kullanılan arayüz devre bileşenleri bu bölümde tanıtılmaktadır.

Bölüm 3: Dengesiz yükler altında test edilecek olan şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi için önerilen devre yapısı ve kontrol şeması bu kısımda anlatılmaktadır.

Bölüm 4: Şebeke akımlarında meydana gelen negatif/sıfır akımlarının azaltılması ile ilgili yapılan çalışmaya ait performans sonuçları bu bölümde verilmektedir. İncelenen örnekleme durumları bu bölümde sunulmaktadır.

Bölüm 5: Bu bölümde çalışmada elde edilen bulgular kısaca özetlenmektedir.

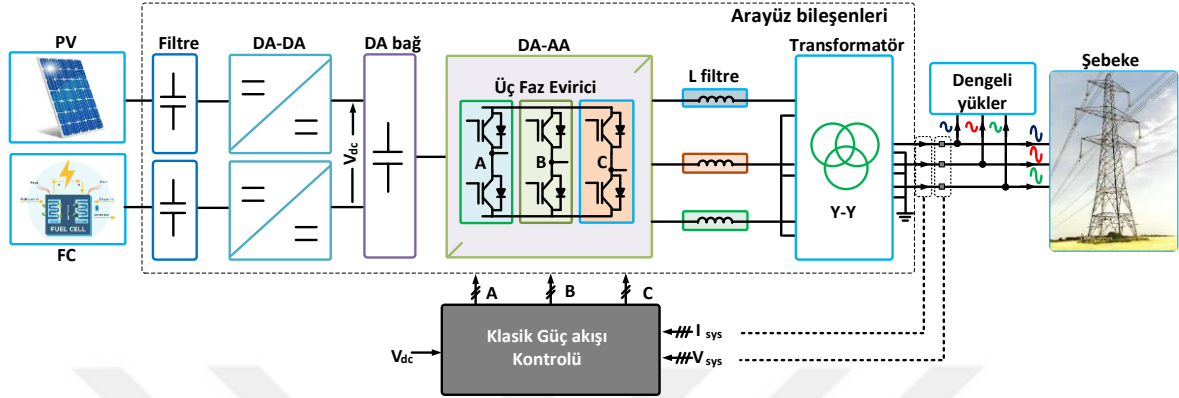
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yenilenebilir enerji teknolojileri, teknolojik ilerlemeler ile birlikte büyük ve küçük ölçekli uygulamalar için giderek daha popüler hale gelmektedir. Elektrik güç talebini karşılamak için, elektrik şebekesi entegrasyon uygulamalarında ek güç kaynağı için yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. İki veya daha fazla yenilenebilir enerji kaynağının faydalı şebekelerle entegrasyonu kısaca şebekeye bağlı hibrit enerji sistemleri olarak tanımlanmaktadır [16]. Geleneksel şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinde, fazla elektrik enerjisi şebekeye aktarılır veya yerel yük gruplarını beslemek için gereken elektrik enerjisi şebekeden tamamlanmaktadır. Bu, hibrit enerji sistemi tarafından üretilen elektriğin doğrudan kullanılabilmesi (binalardaki aydınlatma, ısıtma ve diğer cihazlar için uygun) veya elektrik dağıtım şirketlerine satılabileceği anlamına gelmektedir [16].

2.1. Mevcut Çalışmaların Sistem Fonksiyonları

Yenilenebilir enerji teknolojilerinde PV paneller ve yakıt hücreleri içeren hibrit enerji sistemleri kolay kullanım, basit çalışma ve çevresel kaynaklara göre daha yaygın olup tercih edilmektedir [17-19]. Şebekeye bağlı yenilenebilir enerji kaynaklı hibrit enerji sistemlerinde, enerji kaynaklarından şehir şebekelerine aktif güç basmak için ayrıntılı bir tasarım gerekmektedir [20, 21]. Bunun için, enerji üretim birimleri şebeke gücünü güçlendirmek için elektrik hattına yerleştirilir [22, 23], böylece anlık salınımlar azalır ve sistem kararlılığı / performansı artırılır [24]. Şebekeye bağlı yenilenebilir enerji kaynaklı hibrit enerji sistemleri, enerji ünitelerinden yerel yüklere / şebekelere ortak bir güç alışverişi sağlamaktadır [24]. Normal bir durumda, şebeke akımları ve güç akışları şebeke tarafında dengelidir (Şekil 2.1). Bunun için, elektrik sistemi temel olarak simetrik bir sistem olarak kabul edilir ve bu nedenle bir elektrik hattında sadece pozitif-sıra akımları görünmektedir. Ancak, dengesiz yükler, farklı büyüklüklerin derecelendirilmesinde bulunan şebeke akımlarının dengesini bozmaktadır [25]. Bu yük grupları şebekeye sağlanan güç dengesini bozarak sistem kayıplarını arttırmakta ve çalışma verimliliğini azaltmaktadır [26, 27]. Bu durum, şebeke tarafı akımlarında negatif ve sıfır sıra bileşenleri oluşturmaktadır [28]. Şebeke tarafındaki negatif ve sıfır sıra akımlarının ortadan kaldırılması, dengesiz yük koşulları için önemli bir konu haline gelmektedir. Bu tez çalışmasında şebeke tarafı akımlardaki kararlılığı sağlamak için geliştirilmiş bir güç akış kontrolcüsü önerilmiştir.

Önerilen güç akışı kontrol yöntemi ile hem güç akışı hem de şebeke akımı dengelemesi yapılmaktadır. Önerilen yöntem istenmeyen akım bileşenlerinin ortadan kaldırılmasıyla şebeke tarafındaki güç akışlarındaki güç dengesini kontrol etmektedir.



Şekil 2.1. Geleneksel şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi

Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinde PV paneller, yakıt hücreleri, bataryalar ve/veya süper kapasitörler gibi enerji üretim birimleri DA dalga formunda elektrik enerjisi üretmektedir [19]. Bununla birlikte, DA dalga formundaki elektriksel gücün şebeke ile bağlantısı için AA dalga formuna dönüştürülmesi gerekmektedir [29]. Düzgün bir bağlantı sağlamak için, bu üretim birimleri elektrikli arayüz bileşenleri kullanılarak elektrik şebekelerine bağlanmaktadır [30]. Geleneksel bir sistemde, DA-DA dönüştürücü ve evirici temel devre bileşenleridir [30, 31]. Sistemde evirici elemanları üzerinden güç akışı yönetimi sağlanmaktadır. Evirici ile DA-DA dönüştürücü arasında bulunan DA-bağ kapasitörü enerji depolama birimi olarak kullanılmaktadır [32]. Bunun için, darbeleri genişlik modülasyonlu eviricilere bağlı olarak şebekeye bağlı PV panel / yakıt hücresi sisteminin kontrolü önem taşımaktadır. Eviricilerin ana hedefi, enerji üretim birimlerinden yüklerle/tesislerle kadar aktif güç sağlamak ve sağlanan akımları/dc-link gerilimini kontrol etmektir [33]. Literatürde şebekeye bağlı hibrit enerji sistemleri ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların ortak işlevi, şebeke ve enerji birimleri arasındaki güç akışını kontrol etmektir. Bununla birlikte, literatürde bulunan bu sistemlerin spesifik fonksiyonel yetenekleri Çizelge 2.1'de özetlenmiştir. Verilen kaynaklarda üç fazlı dengeli hassas yükler için birçok çalışma göz önüne alınmıştır.

Literatürde, [29-33] nolu çalışmalar dengeli koşullar altında optimizasyonla güç akışı kontrolüne dikkat çekmektedir. Ancak bu çalışmalar incelendiğinde, hibrit enerji sistemlerin dengeli yükler altında test edildiği görülmektedir. Bunun sonucunda şebeke

tarafında herhangi bir dengesizlik durumu oluşmamaktadır. Diğer çalışmalar incelendiğinde, [34-36] nolu yayınlarda üç fazlı dengeli hassas yüklerle şebekeye bağlı ve otonom modları için göz önünde bulundurulmaktadır. Aşırı akım sınırlama konusu [37] nolu çalışmada güç akışı kontrolü sorunu ile incelenmektedir. [38, 39] nolu çalışmalarda, temel konu üç fazlı dengeli doğrusal olmayan yükler altında mevcut harmoniklerin kompanzasyonudur.

Çizelge 2.1. Yük durumu ve özgün fonksiyonlarına göre AA şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinin özeti

Yük türü	Özgün fonksiyonları	Kaynak
3- faz dengeli hassas yük	Optimizasyon	[29-33]
	Adalama	[34-36]
	Aşırı akım koruma	[37]
3- faz dengeli lineer olmayan yük	Optimizasyon ve harmonik akım eliminasyonu	[38, 39]
3- faz dengeli reaktif yük	Optimizasyon	[40]
Tek- faz dengeli hassas yük	Kayıpların azaltılması	[41-43],
	Adalama	[44, 45]
Tek-faz lineer olmayan yük	Optimizasyon ve harmonik akım eliminasyonu	[46]
Tek faz- yüksüz	Optimizasyon	[47, 48]
Dengesiz şebeke durumu	Negatif sıra bileşen eliminasyonu	[49]
3-faz dengesiz yük	Optimizasyon ve negatif/sıfır bileşen akım eliminasyonu	Önerilen

Literatürde, reaktif yüklere sahip hibrit bir enerji sistemi [40] nolu çalışmada incelenmektedir. [41-43], [44, 45] ve [46] nolu çalışmalar sırasıyla hassas yükler, doğrusal olmayan yükler ve yüksüz koşullar için tek fazlı sistemler ile ilgilenmektedir. [47, 48] nolu çalışmada, sistem dengesiz akımlara neden olan dengesiz şebeke arıza koşulları olan yüksüz çalışma durumu altında gerçekleştirilmektedir. Bu tez çalışmasında, dengeli akım sağlamak için üç fazlı üç telli evirici ile pozitif-negatif sıra yöntemi uygulanmıştır. [49] nolu çalışmada dengesiz şebeke durumlarında sistem kararlılığı sağlamak için gerilim çukurları konusu ele alınmaktadır. [47-49] nolu çalışmaların ortak noktası sistemlerin dengesiz şebeke koşullarında ve üç fazlı üç telli eviricilere dayanarak test edilmesidir. Bu

durum onları yalnızca negatif sıra bileşenlerinin telafisine uygulanabilir kılmaktadır. Bu amaçla, bu tez çalışmasında, şebeke tarafındaki negatif ve sıfır sıra bileşenlerini telafi etmek için yeni bir güç akış kontrolcüsü önerilmiştir. Ayrıca, sistem klasik sistemlerin aksine dengesiz yükler altında dengeli şebeke gerilimleri altında test edilmiştir. Tasarlanan şebekeye bağlı hibrit enerji sisteminde negatif sıra bileşenlerine ek olarak, şebeke tarafında sıfır sıra akımlarının telafisi amaçlanmaktadır.

2.2. Geleneksel Sistem Yapısı

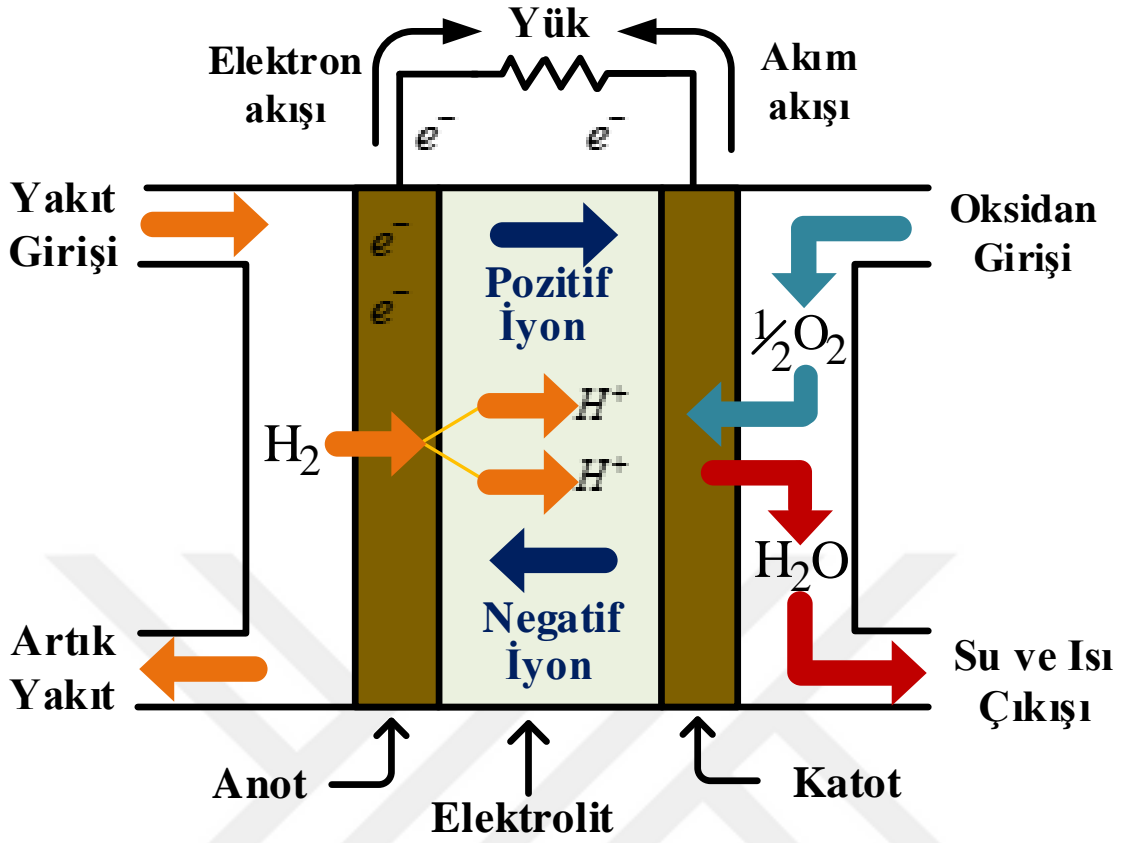
Bu bölümde, şebekeye bağlı hibrit enerji sisteminde temel olarak bulunan devre bileşenleri ele alınacaktır. Bu bileşenler, enerji üretim birimleri, DA-DA dönüştürücü topolojileri, evirici topolojileri, çıkış filtreleri ve transformatörler olarak ele alınacaktır.

2.2.1. Hibrit Sistemlerde Enerji Üretimi

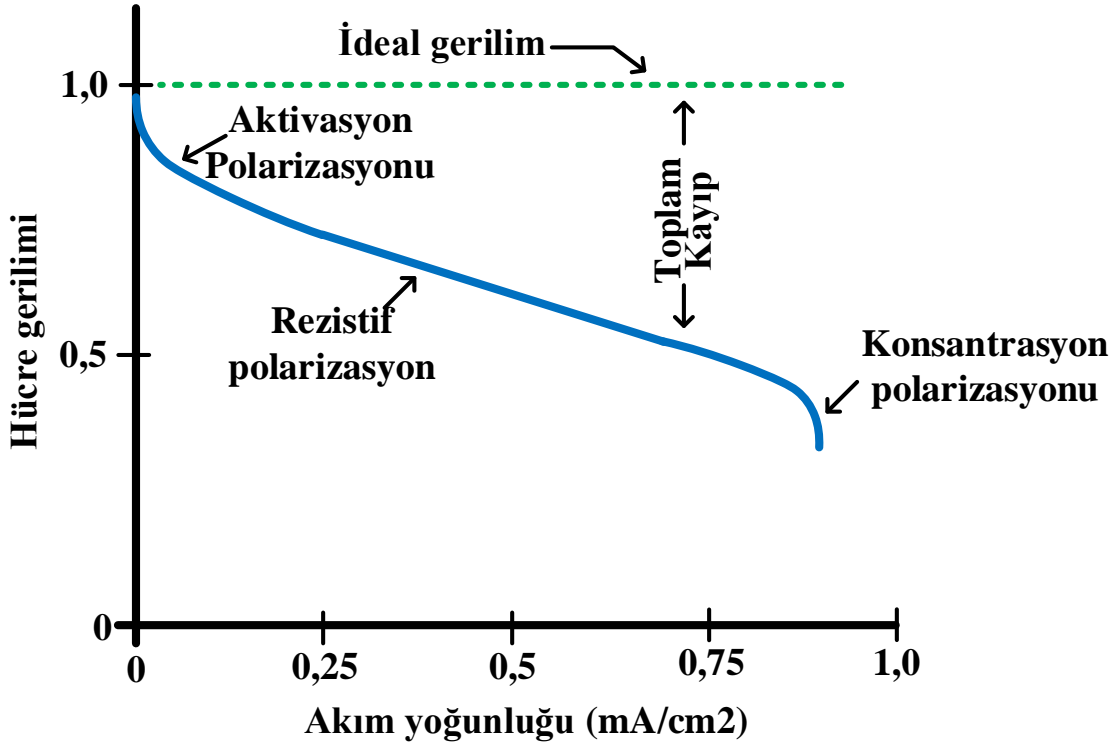
Enerji üretimi, şebeke entegrasyonunda sağlanan enerjinin birincil işlemidir. Elektrik enerjisi endüstrisindeki tesisler için, son kullanıcılara (iletim, dağıtım vb.) veya depolanması (örneğin, pompalanan depolama yöntemi kullanılarak) gibi teslim edilmeden önceki aşamadır. Bu kısımda, enerji üretim birimleri olarak çıkışında da güç üreten yakıt hücresi ve PV panellerle ilgili bilgi verilmektedir.

Yakıt hücresi, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren yapı olarak bilinmektedir. Yakıt hücresinde çalışma prensibine göre anot ucundan hidrojen, katottan ise oksijen girişi olmaktadır. Anottan sokulan hidrojen gazı, yakıt hücresinde bulunan katmanlardan geçişinde proton ve elektronlarına ayrışmaktadır. Bu yapıda, elektron ise dış bir elektriksel yapı yoluyla elektriksel gücü ve ısıyı meydana getirmektedir. Ayrıca katotta dış devreden ulaşan elektron ve hidrojen protonları oksijen ile bütünleşerek suyu meydana getirmektedir. Tipik bir yakıt hücresinin temel yapısı ve polarizasyon eğrisi sırasıyla Şekil 2.2’de ve Şekil 2.3’de verilmektedir.

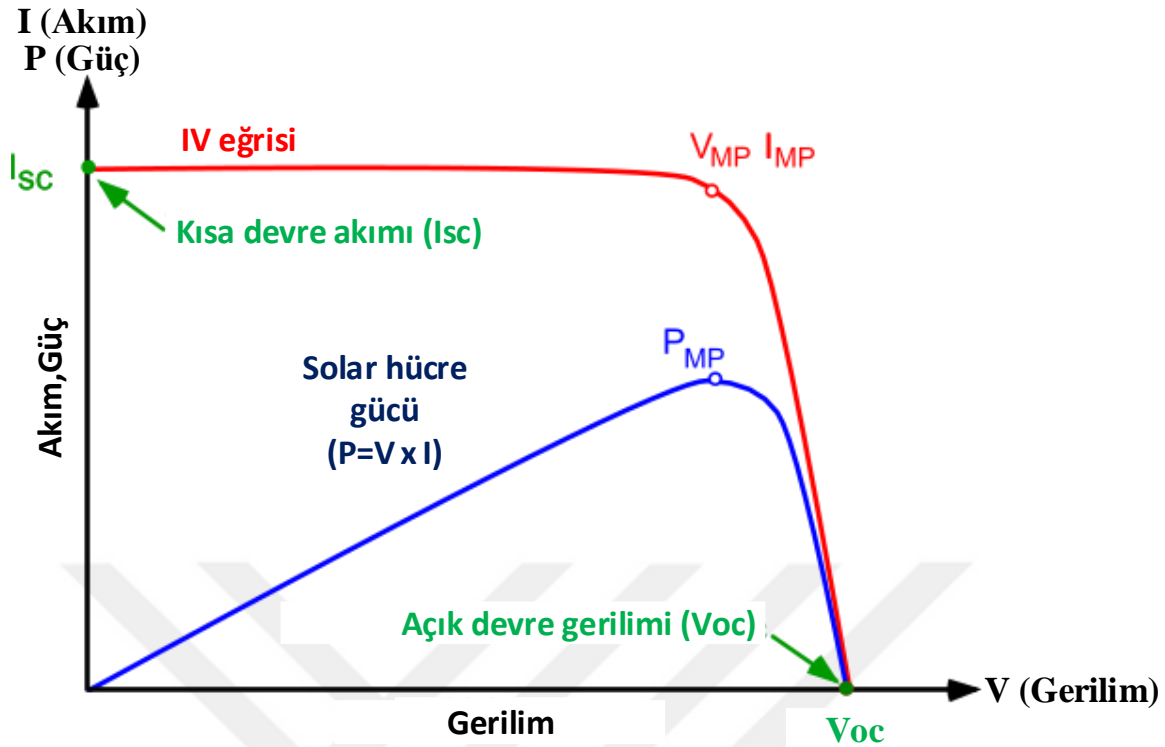
PV paneller (güneş pilleri ya da hücreleri) yoluyla ışık kaynaklarından (çoğunlukla güneşten) elektriksel enerjisi meydana getirmek için kullanılmaktadır. PV panele ait tipik bir elektriksel eğri Şekil 2.4’de verilmektedir.



Şekil 2.2. Yakıt hücresi çalışması



Şekil 2.3. Yakıt hücresine ait tipik bir polarizasyon eğrisi



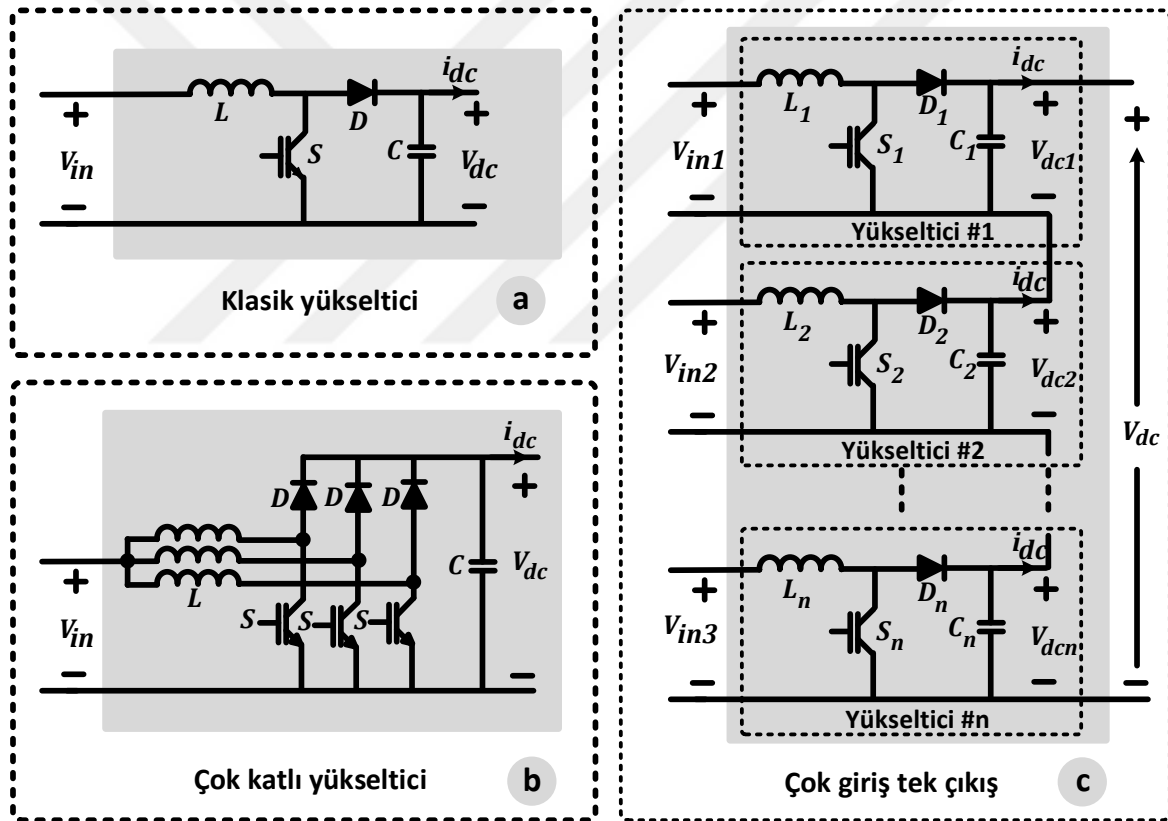
Şekil 2.4. PV panel tipik elektriksel eğrisi

2.2.2. DA-DA Dönüştürücüler

DA-DA dönüştürücüler, enerji üretim birimi gerilimini DA formda farklı bir seviyeye dönüştüren güç elektroniği cihazlarıdır. Şebekeye bağlı yenilenebilir enerji tabanlı hibrit enerji sistemlerinde, giriş gerilimini arttırmak ve düzenlemek önemlidir [50]. Bu dönüştürücülerin rolü, bir elektrik sistemindeki elektriksel gücü kontrol etmektir. Enerji üretim birimleri ile elektrik şebekesi arasında izole edilmiş ve izole edilmemiş çeşitli dönüştürücü topolojileri kullanılmaktadır.

Şebeke entegrasyonunda, izole edilmemiş dönüştürücüler arasında en yaygın topolojiler yükseltici (boost) DA-DA dönüştürücülerdir [30, 33, 34, 38]. Geleneksel yükseltici dönüştürücü, giriş gerilimini istenen evirici giriş gerilimine dönüştüren bir yapıdır. Şebekeye bağlı enerji sisteminde kullanılan yükseltici dönüştürücüye ait elektrik devre şeması Şekil 2.5(a) 'da gösterilmiştir. Bir diğer topoloji olan çok katlı (interleaved) DA-DA dönüştürücü, giriş akımı dalgalanmalarını ve anahtarlama kayıplarını daha iyi bir şekilde azaltmak için kullanılır [51, 52]. Bu dönüştürücünün ana özelliği, geleneksel yükseltici dönüştürücülerden daha küçük elektronik bileşenlerin kullanılmasıdır. Çok katlı DA-DA

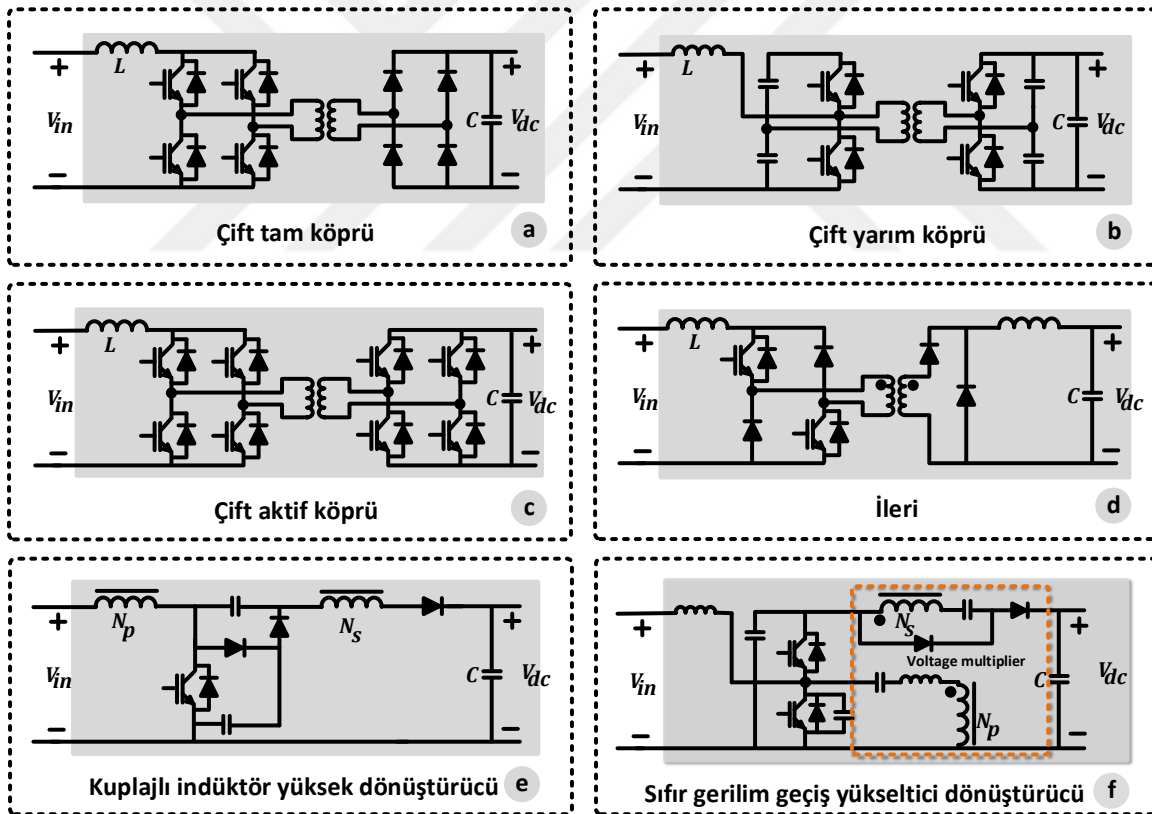
dönüştürücüye ait genel devre Şekil 2.5(b) 'de verilmektedir. Yaygın olarak kullanılan topolojilerden biri, çok girişli tek çıkışlı (MISO) DA-DA dönüştürücüdür [16, 52]. çok girişli tek çıkışlı DA-DA dönüştürücü tabanlı sistemin yapısı Şekil 2.5(c) 'de gösterilmiştir. Bu yapı, gerilim/ akım seviyeleri birbirinden farklı olan çok sayıda enerji ünitesini birleştirmek için kullanılır. Buna ek olarak, dört faz paralel [53] ve gerilim katlayıcı (booster) [54] DA-DA dönüştürücüleri, yüksek kademeli gerilim kazancı sağlamak için konfigürasyonlar olarak uygulanmaktadır. Yükseltici dönüştürücülerinin aksine, ayrıca düşürücü (buck) dönüştürücüler yine şebeke entegrasyonuna kullanılmaktadır [55, 56]. Bu yapılar ise daha düşük dağıtım gerilimleri için yüksek yakıt hücresi gerilimlerine indirgenir [52].



Şekil 2.5. Şebeke entegrasyonunda sık kullanılan klasik yükseltici, çok katlı yükseltici ve çok giriş tek çıkış yükseltici DA-DA dönüştürücü topolojileri

İzole DA-DA dönüştürücü tabanlı çalışmalarda, çıkış gerilimini stabilize etmek için köprü dönüştürücüler daha yaygındır. Köprü dc-dc dönüştürücüler arasında, Şekil 2.6(a) 'da gösterilen çift tam köprülü DA-DA dönüştürücü, yalıtım transformatörüne dayanan bir topolojidir [57-59]. Çift tam köprü dönüştürücüsü daha karmaşık ve pahalı olmasına rağmen, bu dönüştürücüdeki güç kontrolü diğer DA-DA dönüştürücülere göre daha

basittir. Akım beslemeli çift yarı köprü ve gerilim beslemeli çift yarı köprü dönüştürücüler kullanılan alternatif köprü tabanlı DA-DA dönüştürücülerdir [57, 58, 60]. Şekil 2.6(b), enerji sistemlerindeki çift yarı köprü dönüştürücünün sistem konfigürasyonunu göstermektedir. Çift aktif köprü ayrıca şebeke ara bağlantısı için hibrit sistemlerinde kullanılan köprü dönüştürücülerine bir örnektir. Çift aktif köprü dönüştürücünün devresi Şekil 2.6(c) 'de verilmektedir. İleri DA-DA dönüştürücü, bir transformatör kullanarak galvanik izolasyon sağlayan ve Şekil 2.6(d) 'de sunulan bir güç dönüştürücüsüdür [59]. Bir başka izole edilmiş DA-DA dönüştürücü ise push-pull DA-DA dönüştürücüsüdür. Bu topolojilere ek olarak, yüksek kademeli birleştirilmiş indüktör dönüştürücü (high step-up coupled inductor converter) ve sıfır gerilim geçişi (zero voltage transition), önemli gerilim dönüşüm oranına sahip topolojilerdir [57, 58]. Bu topolojilere ait eşdeğer devreler sırasıyla Şekil 2.6 (e) ve Şekil 2.6 (f)'de sunulmaktadır.



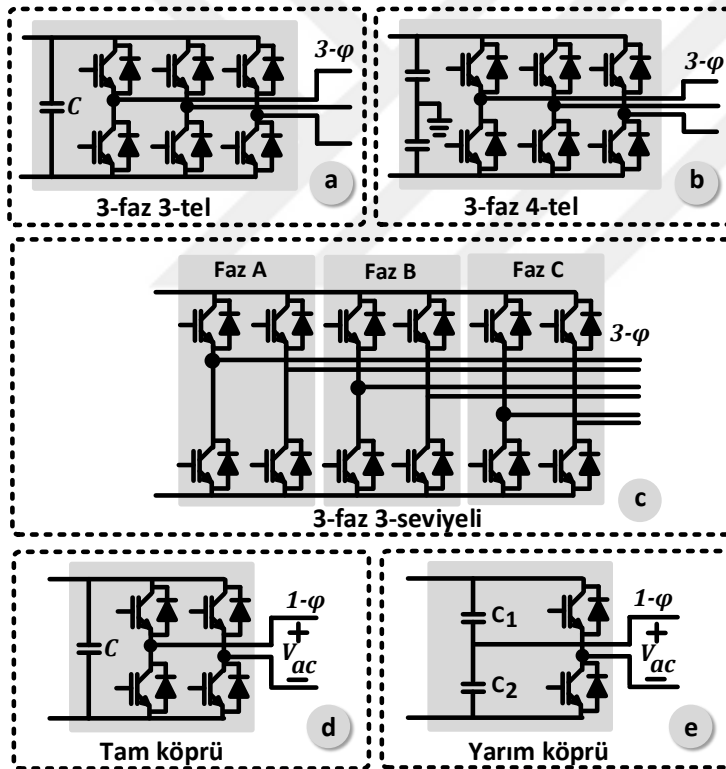
Şekil 2.6. Çift tam köprü, çift yarı köprü, çift aktif köprü, ileri, yüksek kademeli birleştirilmiş bobin ve sıfır gerilim geçişi DA-DA dönüştürücü topolojileri

2.2.3. Eviriciler

DA-AA dönüştürücülere evirici (invertör) denir. Eviriciler, elektrik enerjisini şebekeye aktarmak için DA gerilimi AA gerilimine dönüştürmektedir [61]. Bu dönüştürücülerin ana

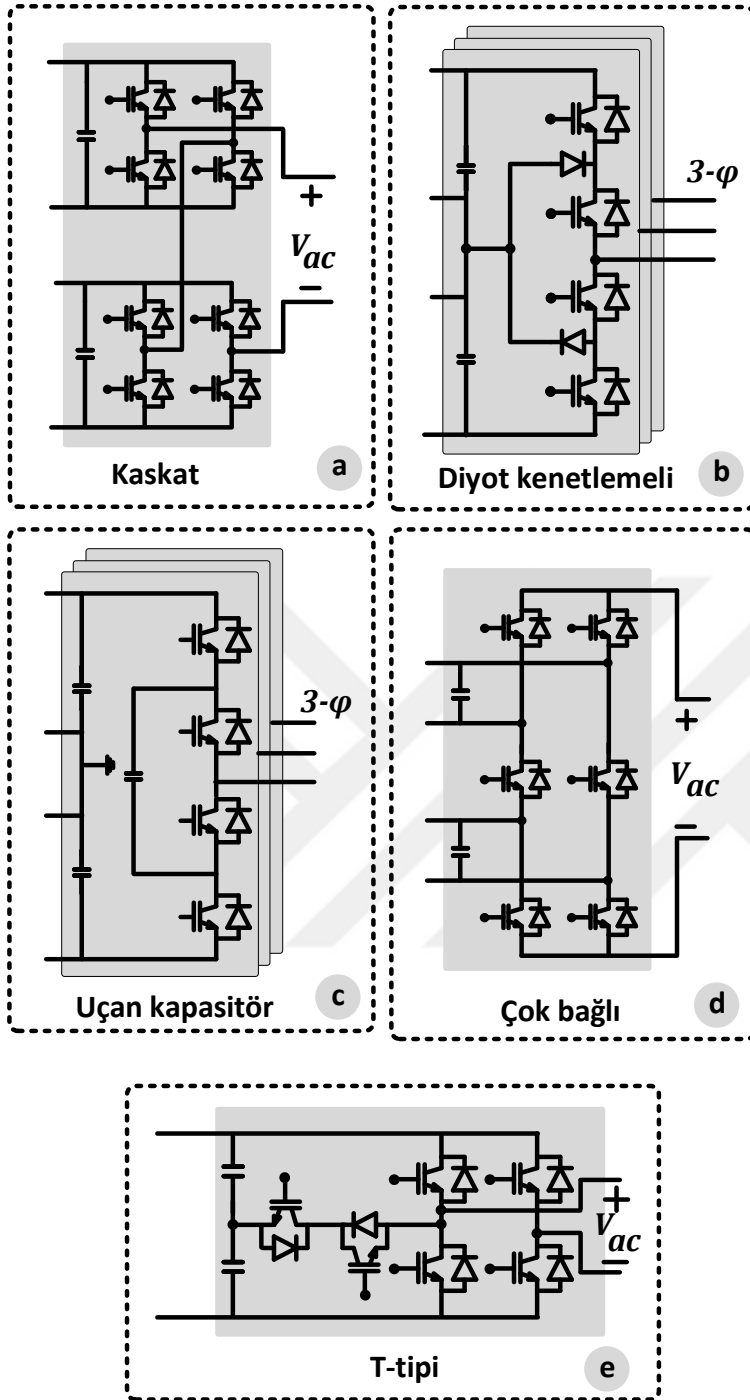
işlevi, enerji üretim ünitesi ile şebeke ara bağlantısı arasındaki gerçek ve reaktif gücün kontrol edilmesidir Hibrit enerji sistemlerinin şebeke bağlantısında çeşitli evirici topolojileri kullanılmaktadır.

Üç fazlı üç telli evirici, 3-faz şebekeye bağlı yakıt hücresi sistemleri için en çok kullanılan topolojidir [33, 37, 38]. Üç faz üç telli evirici bağlantı şeması Şekil 2.7(a) 'da verilmiştir. Ayrıca, üç fazlı dört tel ve üç fazlı üç seviyeli eviriciler de 3-faz sistemler için kullanılmaktadır. Şekil 2.7(b) ve Şekil 2.7(c), sırasıyla üç faz üç tel evirici ve 3 faz üç seviyeli evirici tabanlı sistemlerin mimarilerini tanıtmaktadır [62]. Tek faz sistemlerde ortak evirici yapıları, Şekil 2.7(d) ve Şekil 2.7(e) 'de gösterildiği gibi tam köprü ve yarım köprü eviricilerdir [34, 63].



Şekil 2.7. Sık kullanılan evirici topolojileri

Şekil 2.8'de çok seviyeli eviricilere ait devre şekilleri verilmektedir. Kaskat (cascaded), diyot kenetlemeli (diode clamped), uçan kapasitör (flying capacitor), T-tipi ve çok bağlı (multi-string) gibi çok seviyeli eviriciler hem tek faz hem de üç faz için uygun topolojilerdir [63-65]. Ayrıca, boost, z-kaynağı (z-source), akım kaynağı ve tek kademeli (single-stage) eviriciler, tek faz ve üç faz sistemlerde kullanılan modifiye edilmiş evirici yapılarıdır [64-66].

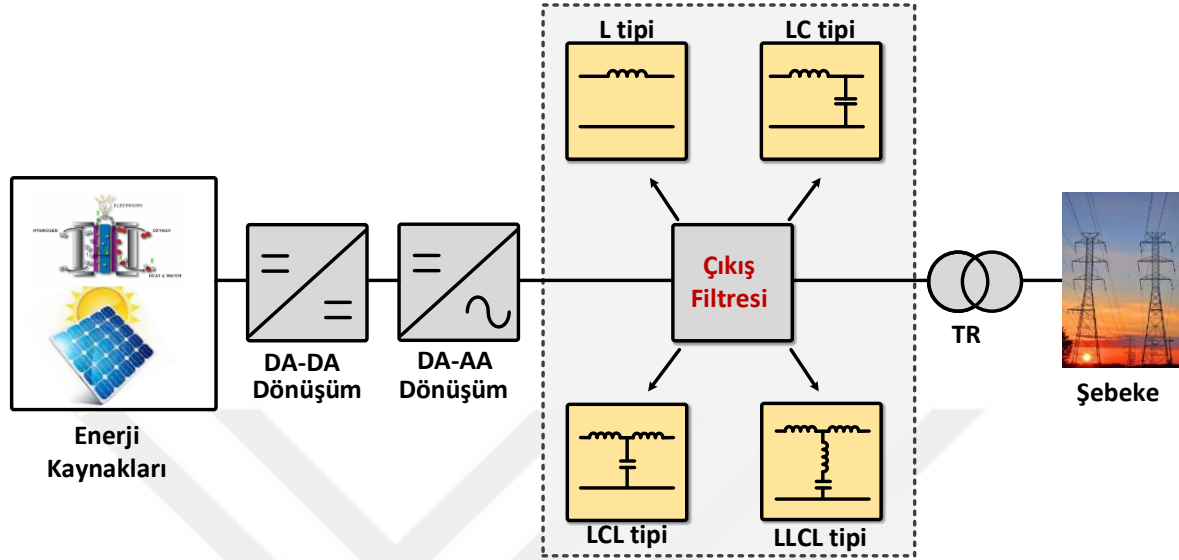


Şekil 2.8. Şebeke entegrasyonunda sık kullanılan çok seviyeli evirici topolojileri

2.2.4. Çıkış Filtreleri

Gerilim kaynağı eviricilerinde anahtarlama işlemi, elektrik şebekesinde önemli güç kalitesi problemleri yaratan anahtarlama dalgalanmaları oluşturur. Enerji üretim birimlerinin şebekeye bağlanmasında, gerilim kaynağı eviricileri tarafından üretilen anahtarlama dalgalanmalarının etkilerini en aza indirmek için çıkış filtreleri kullanılır. Literatürde

birkaç filtre yapısı vardır: L, LC, LCL ve LLCL tipi filtreler. Farklı filtrelere sahip bir şebekeye bağlı hibrit enerji sisteminin tek hat şeması Şekil 2.9’da sunulmaktadır.



Şekil 2.9. Evirici çıkışında kullanılan filtre çeşitleri

L tipi filtre, daha az bileşenli basit bir tasarıma rağmen büyük ölçekli bir indüktör ve düşük harmonik etki azaltma performansına sahiptir [30]. Ayrıca L filtresi aracılığıyla harmonik bileşenleri yeterince zayıflatmak için yüksek frekanslarda anahtarlama gereklidir. IEEE 519-1992 standartlarını karşılamak için L tipi filtrede yüksek dereceli indüktörler kullanılmalıdır. Ancak, bu yüksek gerilim düşüşü ve yavaş yanıt ile sonuçlanmaktadır. L çıkış filtresi, harmoniklerin yeterli düzeyde zayıflatılması için eviricilerin yüksek bir anahtarlama frekansıyla tetiklenmesini gerektirmektedir. Bu dezavantajlar nedeniyle, L tipi filtre, gerilim kaynağı eviricilerin çıkışında nadiren kullanılmaktadır. Yüksek dereceli harmoniklerin L filtresi kullanılarak düşük performans göstermesi nedeniyle, uygun harmonik standartlarını elde etmek için LC filtresi daha sıklıkla uygulanmaktadır [33]. Bu tip filtrede yüksek frekanslar için düşük empedans yolu oluşturmak amacıyla indüktöre paralel bir kondansatör yerleştirilmektedir. Enerji üretim kaynaklarının şebeke bağlantısında, LC tipi, eviricilerin çıkışındaki en yaygın filtredir [38]. Son yıllarda, LCL tipi filtreler de mevcut uygulamalardaki L ve LC tipinin yerini almaktadır [34]. L ve LC filtrelerden daha düşük nominal kapasitörler ve indüktörler kullanılmasına rağmen, LCL tipi filtreler daha etkili filtreleme sonuçlarına sahiptir [35, 67]. Ayrıca, daha küçük indüktans bileşeni nedeniyle harmonik akımları daha iyi azaltılabilmektedir. Bununla birlikte, LCL tipinin dezavantajları, L ve LC tiplerine kıyasla rezonans ve karmaşıklık

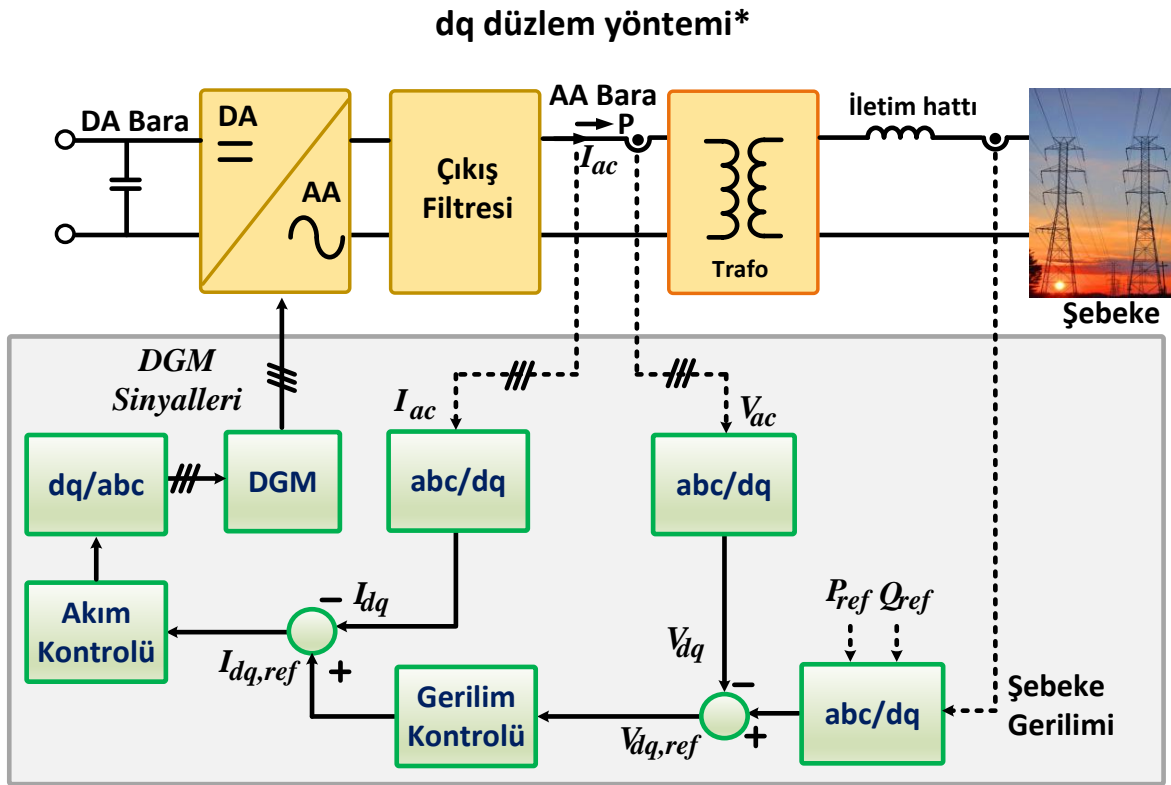
[34]. LLCL filtresi yakın zamanda yenilenebilir enerji sistemlerinin şebeke bağlantıları için kullanılmaktadır [68]. Şebeke bağlantısında LLCL tipi, anahtarlama harmonik dalgalanmalarını L, LC ve LCL tiplerinden daha iyi zayıflatabilmektedir [17, 69].

2.2.5. Transformatör

Transformatörler, iletim hattı yoluyla enerji üretim birimlerini elektrik şebekelerine bağlamak için kullanılmaktadır. Eviricilerin harici elektrik şebekelerine bağlamak için çoğunlukla yükseltici transformatörlerin kullanılması yaygındır [33, 38]. Çalışmaların çoğu, yüksek bir kademeli transformatöre dayanmasına rağmen, eviriciler bir transformatör olmadan doğrudan elektrik şebekesine bağlanabilmektedir [34, 35].

2.3. Geleneksel Güç Akışı Kontrol Yöntemleri

Şekil 2.10'da geleneksel güç akışı kontrolüne ait denetim şeması verilmektedir. Bu şemaya göre, üç faz sistemlerde sistem akımları senkron referans düzlem yolu ile önce d ve q bileşenlerine dönüştürülmektedir. Elde edilen bileşenler referans d ve q bileşenleri ile karşılaştırılır. Devamında ise tekrar ters senkron referans düzlem ile üç faz referans sinyallerine dönüştürülmektedir. Üretilen referans sinyaller ise darbe genişlik modülasyonu ile eviricileri tetiklenmesinde kullanılmaktadır. Kontrol şemasına göre, dengeli üç faz sistemler için aktif / reaktif güç kararlılığını sağlamak üzere tasarlanmıştır. Şebeke ara bağlantısında, abc/dq tabanlı kontrol teorisi kullanılan en yaygın yöntemdir. Kontrolcü şemasına göre, akımların referans değerleri gerçek ve aktif / reaktif gücün referansları kullanılarak hesaplanır. Ters dq dönüşümü ile elde edilen referans akımlar ölçülen akım sinyalleri ile karşılaştırılır. Son aşamada, anahtarlama sinyalleri modülasyon teknikleri kullanılarak üretilir. Sistem akımlarının gerçek / referans değerleri kullanılarak dq tabanlı kontrol teorisi kullanılır. Ancak, bu yapı dengesiz akım koşullarında sağlam ve kararlı değildir. Çünkü güç akış kontrolcüsü abc / dq dönüşümü kullanarak simetrik referans değerleri üretir, böylece sistemden dengeli güçler sağlar. Bu durum, kontrolcünün asimetrik şebeke / yük koşulları için uygulanamamasını sağlar.

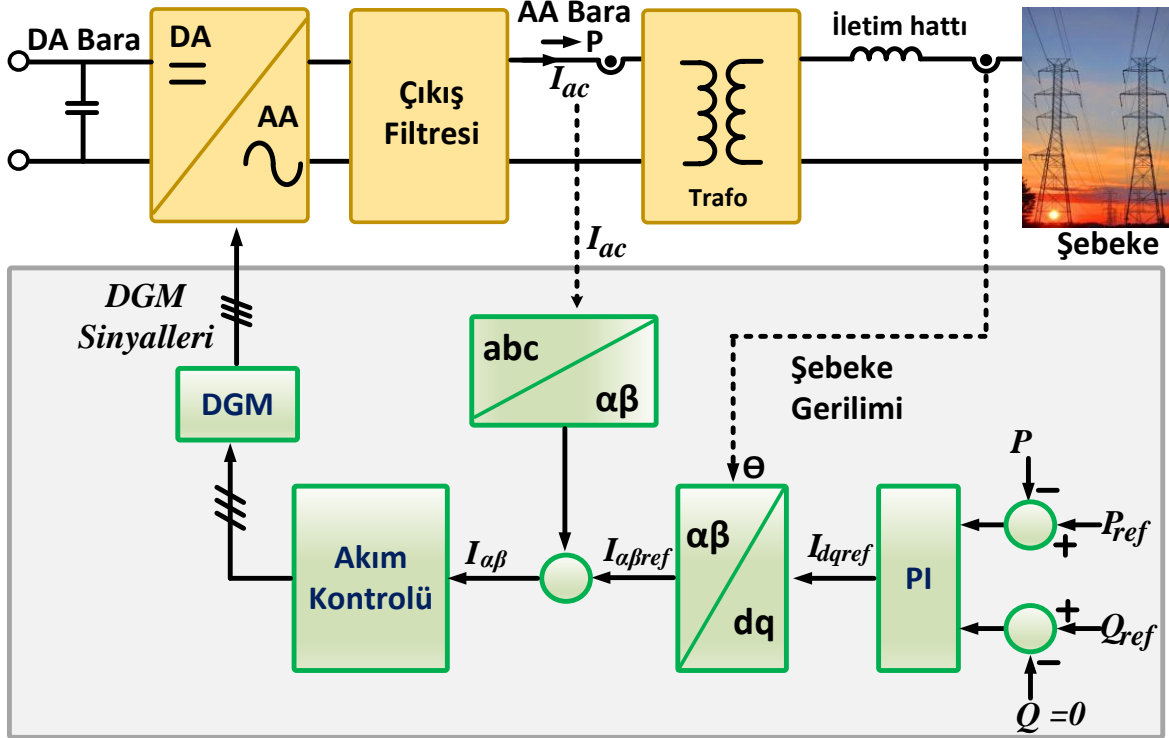


Şekil 2.10. abc/dq düzlem yöntemi

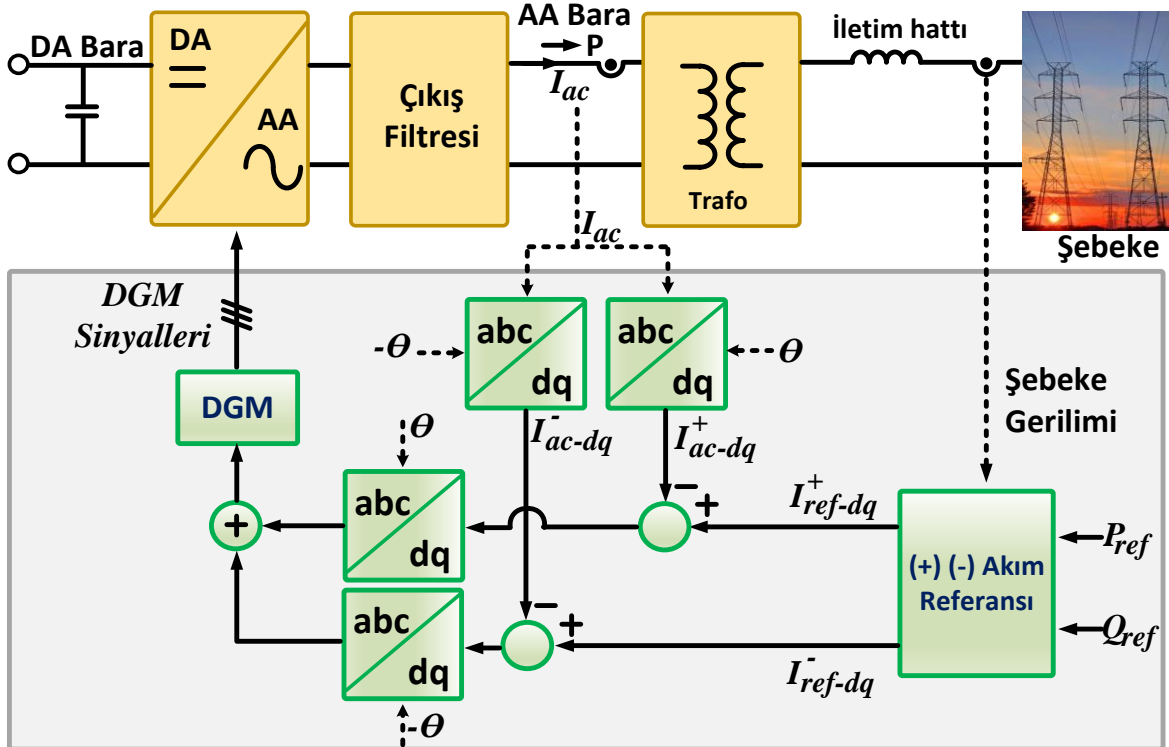
Güç akışı kontrolünde, hem tek hem de üç fazlı şebeke bağlantılarında $\alpha\beta$ dönüşüm tabanlı yöntem kullanılabilir. Enerji ünitesi ve şebeke arasındaki güç akışını kontrol etmek için Clark dönüşümü, dq referanslarından ve üç faz akımlarından $\alpha\beta$ bileşenleri elde etmek için kullanılmaktadır. Bu yöntemde, $\alpha\beta$ dönüşümü bazlı yöntemin kontrolcü şeması Şekil 2.11’de verilmektedir. Bu yöntemde, kararlı durum hatası geleneksel abc/dq dönüşümü esaslı yöntemle kıyasla giderilmektedir. Ancak, geleneksel dq tabanlı yöntemle kıyasla gelişmiş donanım devresi gerektirmektedir.

Şekil 2.12’de pozitif-negatif sıralara dayalı kontrolcü sunulmaktadır. Bu yöntem, gerilim kararlılığı için dengesiz sistem koşulları altında tercih edilmektedir. Normal çalışma sırasında, negatif sıra bileşeni sıfırdır ve şebeke ile sistem arasındaki güç akışını kontrol etmek için pozitif sıra bileşeni kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu yapı, dq ve $\alpha\beta$ dönüşüm tabanlı yöntemlerle karşılaştırıldığında daha karmaşık bir yapıdadır.

$\alpha\beta$ düzlem yöntemi

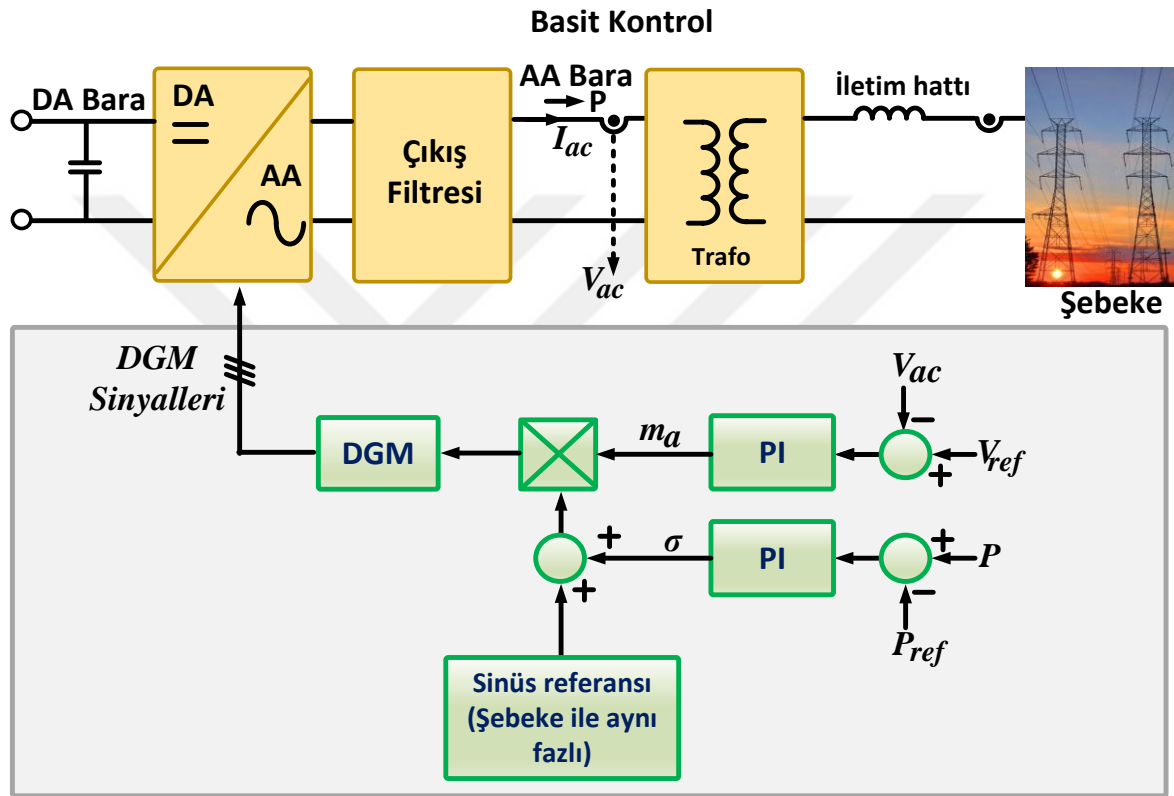
Şekil 2.11 abc/ $\alpha\beta$ düzlem yöntemi

Bileşen Kontrol



Şekil 2.12. Bileşen kontrol yöntemi

Şekil 2.13’de şebeke geriliminden alınan sinüs referansına dayanan basit bir kontrol stratejisini sunmaktadır. Bu kontrolde, çıkış gerilimi ve referans sinyalinin karşılaştırılması, modülasyon indeksini kontrol etmek için yapılmaktadır. Referans ve güç çıkışı, aktif güç akışını kontrol etmek için karşılaştırılır ve evirici çıkış gerilimini izlemek için bir PI kontrolcü aracılığıyla kontrol edilir. Bu şekilde, eviricinin faz bilgisi şebeke gerilimi ile senkronize edilmektedir.



Şekil 2.13. Basit PI tabanlı kontrol

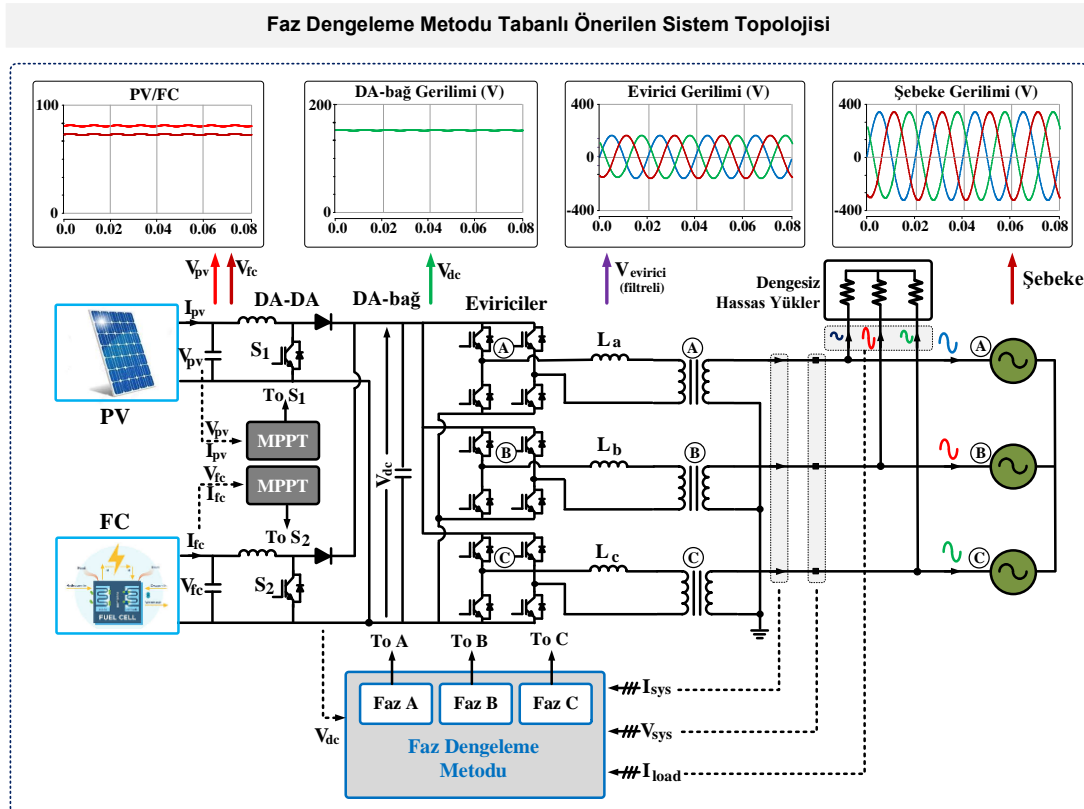
Güç akışı kontrol yöntemleri incelendiğinde, bu yöntemlerde temel fonksiyon olarak aktif güç kontrolü olarak öne çıkmaktadır. Bu kontrol yapıları incelendiğinde üretilen referans sinyallerin en son darbe genişlik modülasyonu yoluyla anahtarlama sinyallerinin üretildiği ve üretilen anahtarlama sinyallerinin eviriciye gönderildiği görülmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi, PV+FC enerji ünitelerine ek olarak yükseltici tipi DA-DA dönüştürücü, evirici, çıkış filtresi ve transformatör (opsiyonel) içermektedir. Sistemi oluşturan ara yüz elemanları arasında, PV+FC enerji birimlerinden şebekeye doğru güç akışını kontrol eden ana bileşenler DC-DC dönüştürücü ile eviricidir. Hibrit enerji sisteminde, DA-DA yükseltici dönüştürücü genellikle DA gerilimi artırıp, çıkıştaki DA gerilimi stabilize etmektedir [70]. Yükseltici dönüştürücünün çıkışındaki DA gerilim, evirici topolojisi aracılığıyla AA dalga formuna dönüştürülür [71]. Bu sayede evirici DA-bağ gerilimini kontrollü AA dalga formuna dönüştürür. Eviriciye bağlı dalgalanma filtresi, evirici çıkışındaki istenmeyen bileşenleri azaltmak için kullanılmaktadır. Transformatör isteğe bağlıdır ve işlevi yüksek gerilim elektrik hatları ile bütünleştirmektir [72].

3.1. Önerilen Sistem Yapısı

Şekil 3.1'de gösterildiği gibi tasarlanmış hibrit enerji topolojisinde enerji üretim birimi PV panel ve yakıt hücresi enerji ünitelerinden oluşmaktadır.



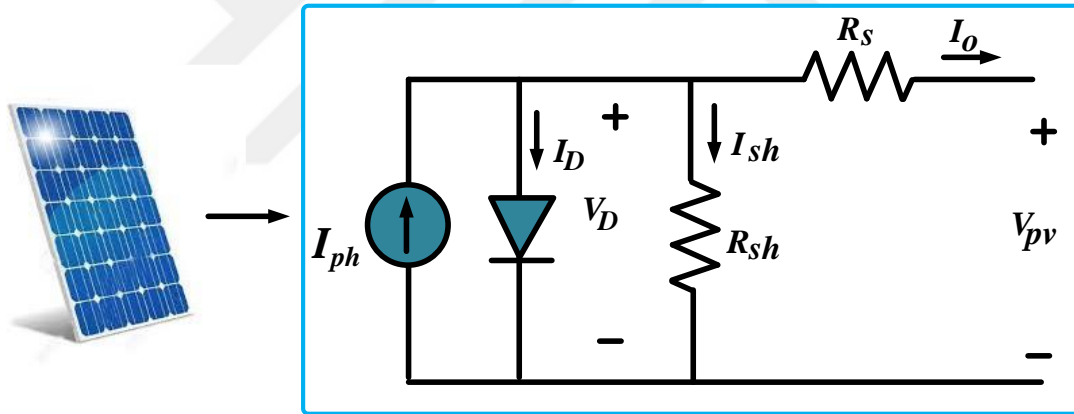
Şekil 3.1. Faz dengeleme yöntemi kontrollü şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi

Önerilen sistem, dengeli şebeke gerilimleri altındaki dengesiz hassas (dirençli) yüklerle bağlanmaktadır. Ayrıca tam köprülü evirici kullanılarak inşa edilerek, üç adet tek fazlı izolasyon transformatörü ile şebekeye bağlanmaktadır. Sistem, sunulan kontrol stratejisi ile her fazı ayrı ayrı kontrol etmeyi önermektedir.

3.1.1. PV Panel ve Yakıt Hücresi

Bu bölümde, hibrit enerji sisteminde kullanılan enerji üretim sistemleri açıklanmaktadır. Enerji üretim birimleri sırasıyla 15,6 kW güç değerinde PV panel ve 19,3 kW güç değerinde yakıt hücresinden oluşmaktadır.

PV panel, güneş ışınları yoluyla dc elektrik enerjisi üretmektedir [73]. Fotovoltaik hücreye ait eşdeğer devre modeli Şekil 3.2’de sunulmaktadır.



Şekil 3.2. Fotovoltaik hücreye ait eşdeğer devre modeli

PV panelin çıkış gücü ışınım, sıcaklık ve güneş pili özellikleri gibi farklı değişkenlere bağlıdır [74]. PV panel ünitesinin (P_{pv}) çıkış gücü Eş. 3.1’de açıklanmaktadır [42]:

$$P_{pv} = (N_s \times N_p) P_{nom} \left(\frac{G}{G_{nom}} \right) \left[1 + \alpha (T_{c,actual} - T_{nom}) \right] \quad (3.1)$$

Eşitlikte N_s ile N_p sırasıyla PV paneldeki seri ve paralel modül sayısını belirtmektedir.

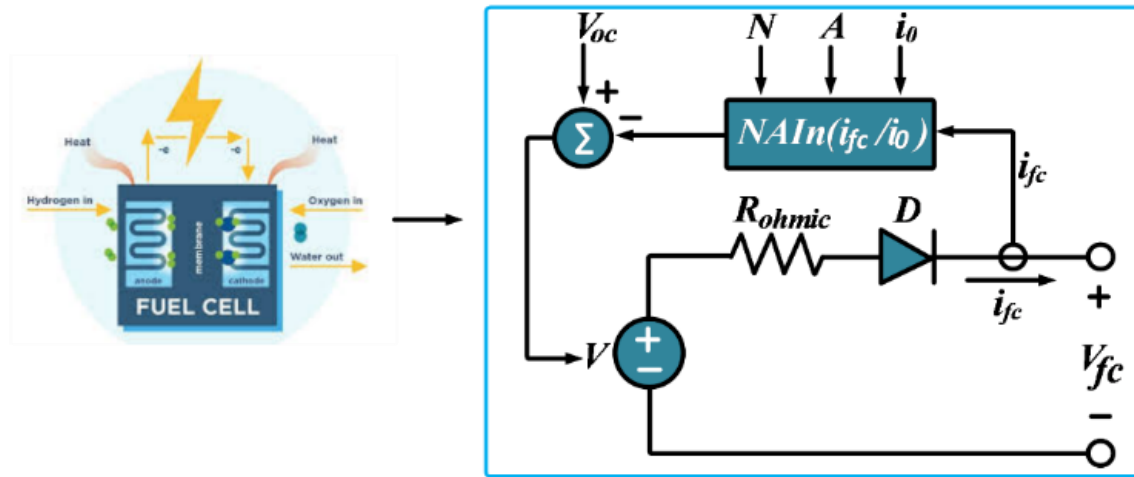
P_{nom} değeri PV panel modülün test aşamasındaki optimum güç değeridir. G değeri ışıma

miktarını, G_{nom} ise 1000 W/m^2 değerdeki ışımaya değeri olarak tanımlanmaktadır. $T_{c,actual}$ ve T_{nom} ise PV panelin çalışma sıcaklığı ve nominal sıcaklık değerleridir. Ayrıca, α sabit sıcaklık parametresidir.

PV hücreye ait çıkış akımı Eş. 3.2’de verilmektedir[73]:

$$I_o = I_{ph}(1 + C_o(T - 273)) - I_D - \frac{V_{pv} + I_o R_s}{R_{sh}} \quad (3.2)$$

Endüstriyel / konut uygulamalarında proton değişim membranlı yakıt hücreleri (proton Exchange membrane fuel cell veya PEMFC), dc güç üretmek için yaygın olarak kullanılan elektrokimyasal hücrelerdir [17]. Bu bağlamda, önerilen hibrit enerji sisteminin girişinde PEMFC modeli tercih edilmektedir. Şebekeye bağlı hibrit enerji sisteminde uygulanan PEMFC'nin dinamik yapısı bu bölümde detaylandırılmaktadır. Tasarlanan sistemde kullanılan yakıt hücresi PEMFC'nin elektriksel dinamik cevabını gösteren eşdeğer devre şeması Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. PEMFC eşdeğer devresi

PEMFC, hibrit enerji sisteminin ikinci enerji üretim birimi olarak kullanılmaktadır. Yakıt hücresinin çalışma gerilimi Eş. 3.3’de verilmektedir [75].

$$V_{fc} = V_{oc} - V_{\Omega} - V_d \quad (3.3)$$

V_{fc} yakıt hücresinin çıkış gerilimini belirtmektedir. V_{oc} ve V_{Ω} is sırasıyla açık devre gerilimini ve rezistif gerilim kaybını tanımlamaktadır. v_d gerilimi mutlak polarizasyon gerilimi olarak adlandırılmaktadır. Açık devre gerilimi (V_{oc}) Eş.3.4'de tanımlanmaktadır:

$$V_{oc} = K_c \left[V_o + (T - 298) \frac{-44,43}{zF} + \frac{RT}{zF} \ln \left(\frac{P_{H_2} P_{O_2}^{1/2}}{P_{H_2O}} \right) \right] \quad (3.4)$$

V_o ve z değeri sabit basınç değerindeki elektromotor kuvveti ve hareketli elektron değeridir [76]. Eş. 3.5'de verilen rezistif gerilim kaybı (V_{Ω}) ise yakıt hücresi akımı ve iç dirence bağlı bir değerdir [77].

$$V_{\Omega} = i_{fc} R_{ohmic} \quad (3.5)$$

Polarizasyon gerilimi (v_d) ise Eş. 3.6 ile ifade edilmektedir [76].

$$v_d = N \times A \times \ln(i_{fc}/i_o) \quad (3.6)$$

N ise yakıt hücresindeki hücre sayısını göstermektedir. A ve i_o ise Tafel eğrisi ve takas akımı olarak adlandırılmaktadır [76].

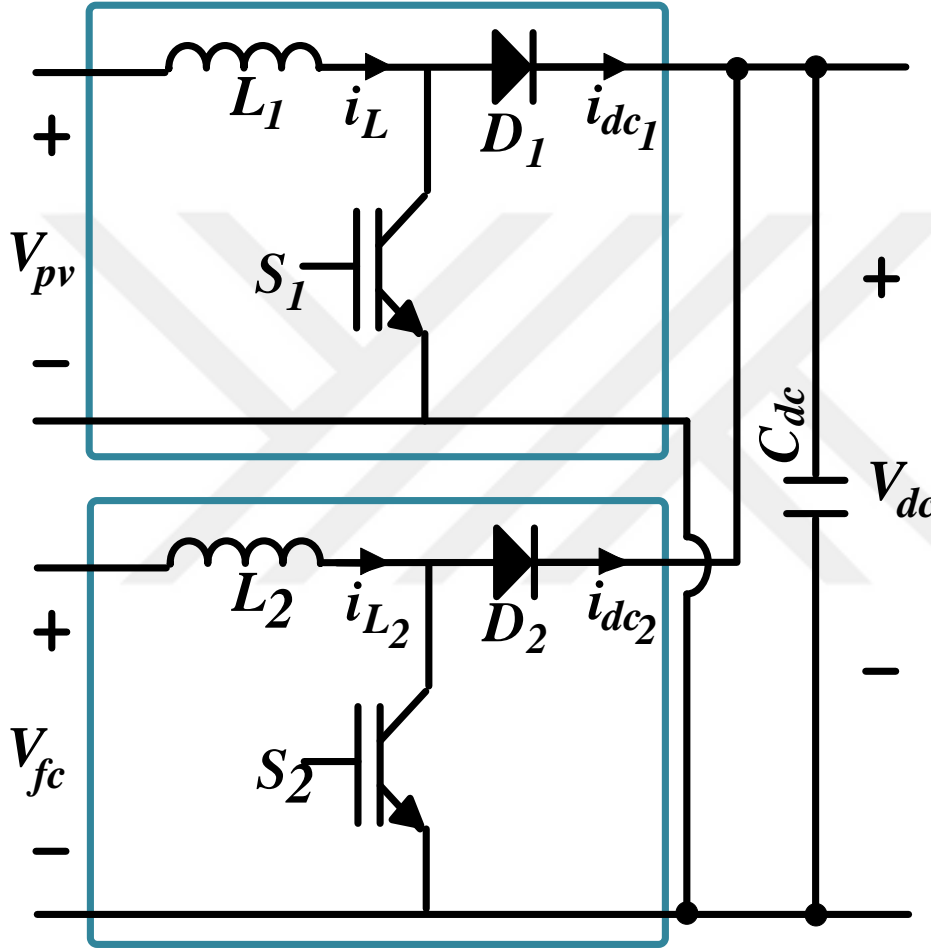
3.1.2. Çift Giriş Tek Çıkış DA-DA Dönüştürücü

Arabirim öğeleri arasında, DA-DA dönüştürücüler, evirici ünitesi için sabit bir giriş gerilimi sağlamaktadır [46]. Tasarlanan sistemde, çift girişli tek çıkışlı DA-DA yükseltici dönüştürücü, DA-bağ gerilimini korumak ve stabilize etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca kullanılan dönüştürücünün temel fonksiyonu giriş gerilimlerini çıkışta daha yüksek bir gerilime dönüştürmektir [78]. Çift giriş tek çıkış yükseltici tipi DA-DA dönüştürücüye ait eşdeğer devre Şekil 3.4'de verilmektedir.

Giriş ve çıkış gerilimi arasındaki ilişki Eş. 3.7'de ifade edilmektedir.

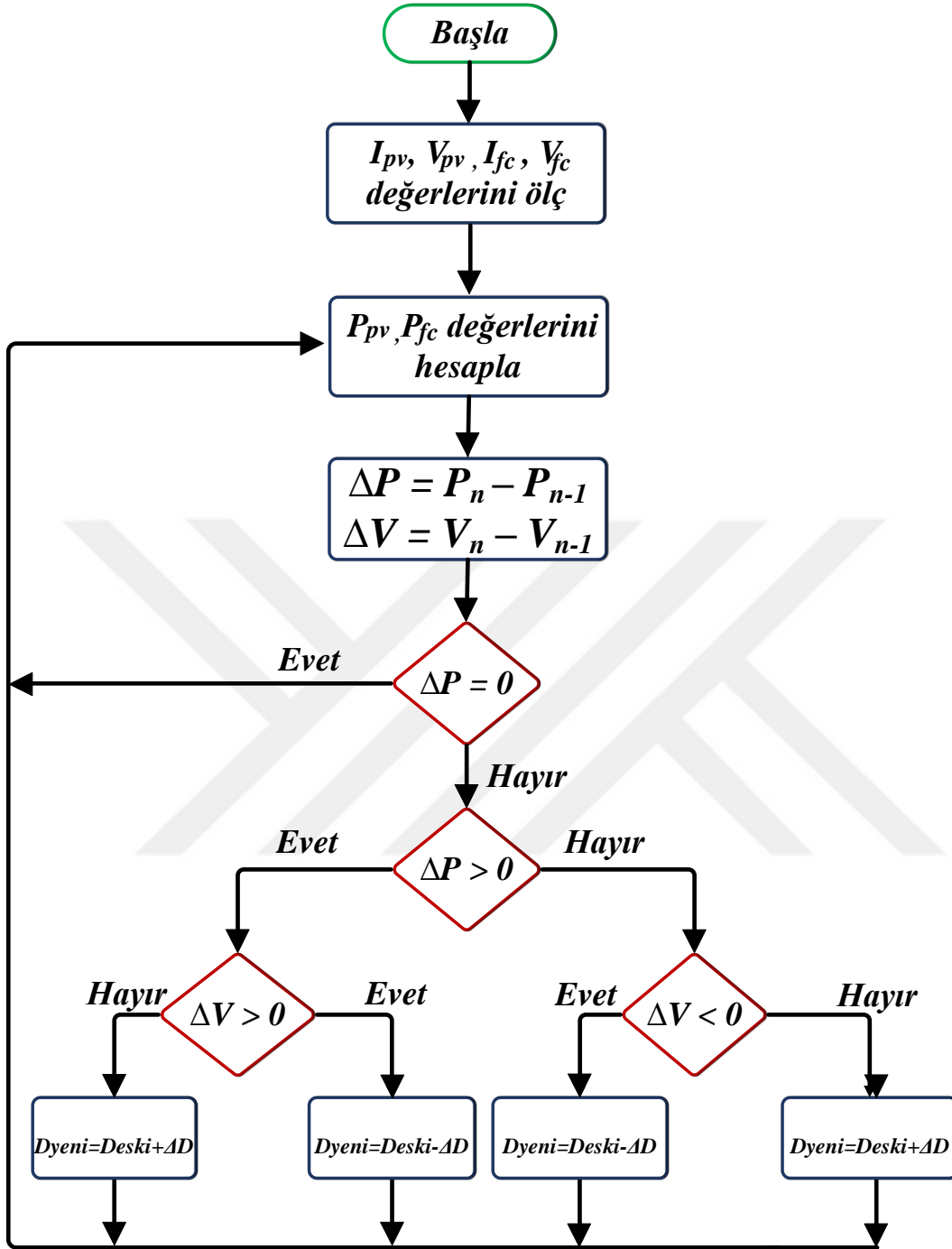
$$V_{dc} = \begin{cases} V_{fc}/(1-D_{fc}) & \text{for FC} \\ V_{pv}/(1-D_{pv}) & \text{for PV} \end{cases} \quad (3.7)$$

D_{pv} ve D_{fc} sırasıyla çift girişli yükseltici tipi DA-DA dönüştürücüdeki S1 ve S2 anahtarları için uygulanan doluluk-boşluk oranı için yapılan tanımlamalardır.



Şekil 3.4. Çift giriş tek çıkış yükseltici tipi DA-DA dönüştürücü

Boost dönüştürücünün kontrol kısmında, S1 ve S2 için anahtarlama sinyallerini üretmek için PO MPPT optimizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Çevrimiçi yinelemeli yöntem olan PO MPPT, çıkışta referans doluluk-boşluk oranı değeri oluşturur ve doluluk-boşluk oranı boyunca gerilim dönüşüm oranını belirler. Operasyonel süreçte kullanılan yöntem, PV panel / yakıt hücresi ünitelerinin pozitif ve negatif değişim değerlerini gözlemleyerek çalışmaktadır. Şekil 3.5'de PO MPPT'ye ait akış diyagramı gösterilmektedir [74].



Şekil 3.5. PO MPPT akış diyagramı

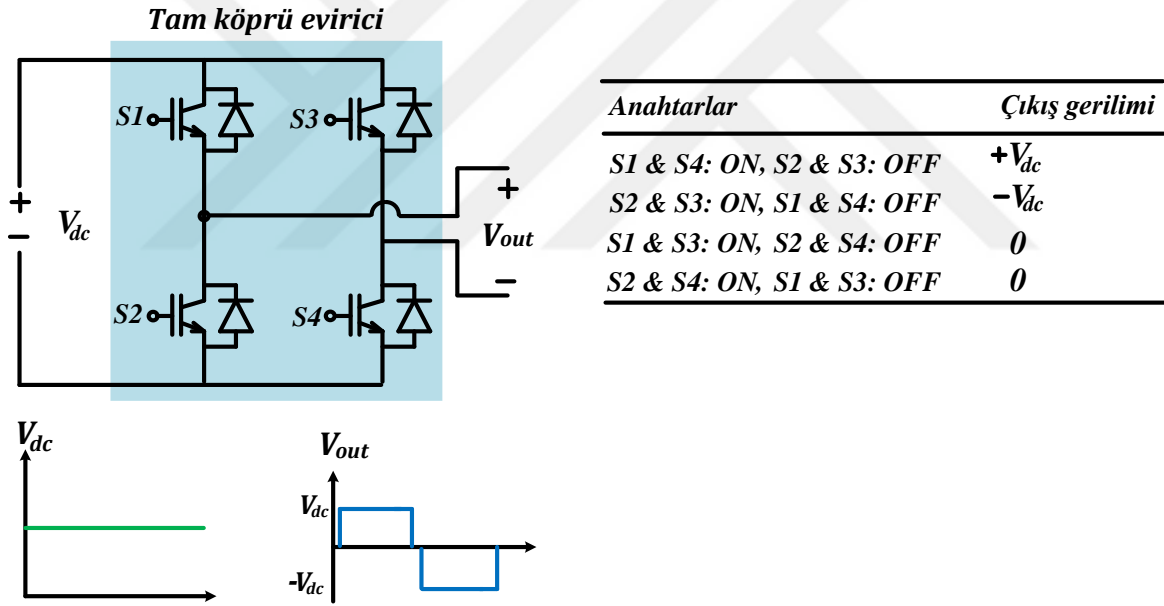
Eş. 3.8’de ise DA-DA dönüştürücüye ait kararlılık eşitlikleri verilmektedir.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dV_{in}}{dt} = \frac{1}{C_{in}} (i_{inductor} - i_{in}) \\ \frac{di_{inductor}}{dt} = \frac{1}{L_{boost}} (D-1)V_{in} - \frac{R_{boost}}{L_{boost}} i_{inductor} \end{array} \right\} \quad (3.8)$$

Kullanılan yükseltici dönüştürücüde, çift girişli yükseltici yapıcının anahtarlaması, DA-bağ kapasitörü gerilimini 150 V'da sabit tutmak için 5 kHz'de gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, indüktör değeri $L_{boost} = V_{in}D/(\Delta i_{inductor}f)$ eşitliği kullanılarak ise 0,5 mH olarak seçilmiştir.

3.1.3. Tam-Köprü Evirici

Endüstriyel uygulamalarda, eviriciler DA elektrik gücünü AA elektrik gücüne dönüştüren güç elektroniği dönüştürücüler olarak bilinmektedir [79, 80]. Bu dönüştürücüler, yenilenebilir enerji entegrasyonu, özel güç cihazları, farklı güç aralıklarındaki endüstriyel ve ev aletleri gibi farklı uygulamalarda mevcuttur [81].

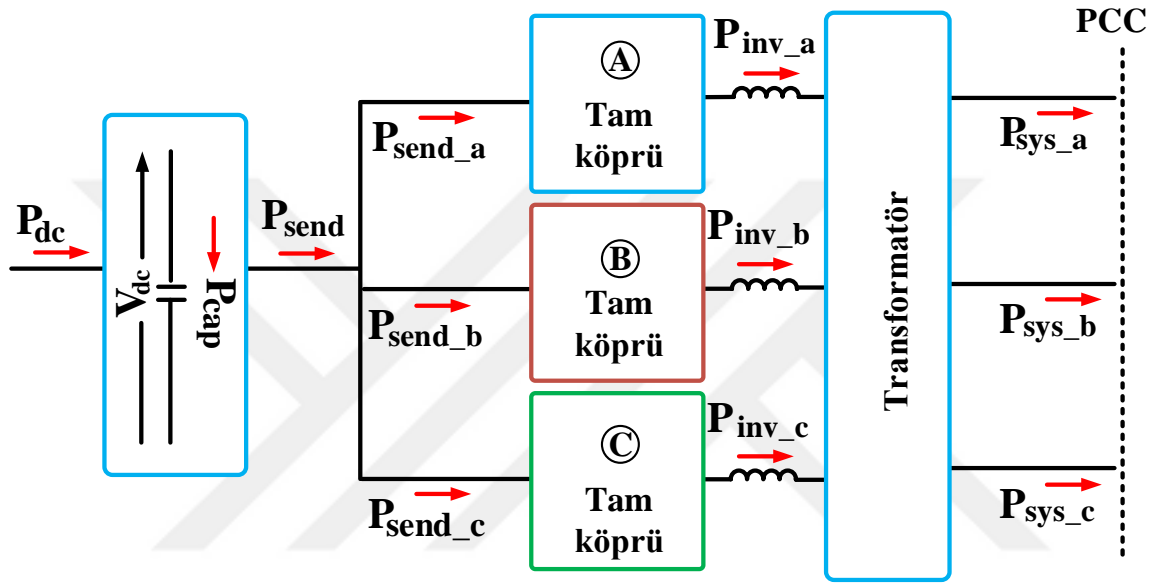


Şekil 3.6. Tam köprü eviriciye ait elektriksel eşdeğer devre şeması

Tek fazlı bir tam-köprü eviricinin eşdeğer şeması Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Evirici yapısı, her bir bacak için iki anahtara dayanan iki ayrı baccaktan oluşmaktadır [82]. Giriş gerilimi sabit olup, çıkış gerilimi V_o olarak adlandırılmaktadır [83]. S1-S4 anahtarlama kombinasyonlarında, eviricinin çıkışında üç gerilim seviyesi üretilmektedir: $+V_{dc}$, 0 , $-V_{dc}$. Eviricinin çalışmasında sırasıyla $+V_{dc}$ ve $-V_{dc}$ seviyeleri üretmek için S1-S4 ve S2-S3 aktif duruma geçer. İlk durumda, S1 ve S4 tetiklenir ve çıkış gerilimi $+V_{dc}$ 'ye eşittir. Bu durumda, akım S1'den gelen yolu takip eder ve S4'ten geri döner. İkinci aşamada, S2 ve S3 anahtarlanır, ve DA kaynağın ters gerilimi olarak çıkış gerilimi elde edilir. Bu,

geleneksel tam-köprü eviricinin negatif çevrim işlemidir. Durum 3'te ve durum 4'te, yük geriliminde sıfır değeri elde etmek için S1-S3 ve S2-S4 anahtarları sırası ile kapatılmaktadır [63, 84].

Tam köprü evirici tabanlı sistemde güç akış devresi Şekil 3.7'de gösterilmektedir. Eviricilerin temel işlevi her faz için hesaplanan değerlerde kontrollü güç sağlamaktır.



Şekil 3.7. Tam köprü eviriciler yolu ile güç alışverişi

DA-bağ noktasındaki güç değeri Eş. 3.9'daki gibi hesaplanmaktadır [85, 86]:

$$P_{dc} = P_{cap} + P_{send} \quad (3.9)$$

P_{dc} ve P_{cap} sırasıyla gelen ve depolanan enerjiyi belirtmektedir. P_{send} ise eviriciler üzerinden gönderilen toplam gücü ifade etmektedir. Gönderilen güçler arasındaki bağıntı Eş. 3.10, Eş. 3.11 ve Eş. 3.12 şeklinde yazılmıştır [87].

$$P_{send} = P_{send_a} + P_{send_b} + P_{send_c} \quad (3.10)$$

$$P_{sys} = P_{sys_a} + P_{sys_b} + P_{sys_c} \quad (3.11)$$

P_{sys} , tasarlanan sistemde evirici üzerinden kaynak ve yüke basılan toplam gücü ifade etmektedir. Evirici ve trafoya bağlı oluşan güç kayıpları önemselenmediğinde, Eş. 3.12’de açıklandığı gibi P_{sys} yaklaşık olarak P_{send} ile aynı değerdedir [87].

$$P_{send} \approx P_{inv} \approx P_{sys} \quad (3.12)$$

Eş. 3.12 yeniden düzenlendiğinde, DA-bağ gücü Eş. 3.13’de ifade edilmektedir:

$$P_{dc} = P_{cap} + P_{sys} \quad (3.13)$$

$P_{cap} = V_{dc} C_{dc} \frac{dV_{dc}}{dt}$ olduğu için, P_{dc} ve P_{sys} arasındaki ilişki Eş. 3.14’deki gibi tanımlanmaktadır.

$$P_{dc} = P_{sys} + V_{dc} C_{dc} \frac{dV_{dc}}{dt} = P_{sys} + V_{dc} C_{dc} \frac{\Delta V_{dc}}{\Delta t} \quad (3.14)$$

P_{dc} ’nin aktif güce sahip olmadığı varsayılırsa, DA-bağ gerilimi sistem gücü ile doğrusal olarak değişir. Bunun için, Eş. 3.14’deki gerilim değişimi zamana bağlı değişim olarak Eş. 3.15’deki gibi yeniden düzenlenir.

$$\frac{\Delta V_{dc}}{\Delta t} = \frac{-P_{sys}}{V_{dc} C_{dc}} \quad (3.15)$$

3.1.4. Şebeke ve Yükler

Tasarlanan sistemde, hibrit enerji üretim ünitesi 220 Vrms / 50 Hz değerlerinde üç fazlı elektrik şebekesine bağlanmaktadır. Farklı değerlerde güç tüketmek amacıyla dengesiz yük grubu kullanılmaktadır. Çizelge 3.1’de elektriksel şebeke ve dengesiz yüklerle ait parametre değerleri verilmektedir. Şebeke geriliminin etkin gerilim değeri 220 Vrms olup, fazlar dengelidir. Yük tarafında ise rezistif yükler kullanılmış olup, empedans değerleri a, b ve c fazları için sırasıyla 12 Ω , 8 Ω ve 10 Ω ’dur.

Çizelge 3.1. Şebeke ve yük parametreleri

Parametre	Değer
Şebeke gerilimleri	Faz a: $220\sqrt{2}\sin(2\pi 50t+0^\circ)$
	Faz b: $220\sqrt{2}\sin(2\pi 50t+120^\circ)$
	Faz c: $220\sqrt{2}\sin(2\pi 50t-120^\circ)$
Yük türü	Hassas (rezistif) yük
Yük değerleri	Faz A= 12 Ω
	Faz B= 8 Ω
	Faz C= 10 Ω

3.2.Sistem Kontrolü

Enerji üretim ünitelerinden elektrik şebekelerine / yüklere doğru güç akışı kontrolü, evirici yolu ile sağlanmaktadır. Tedarik edilen AA gücü, evirici kısmı ile senkronize edilir ve güç akışı kontrolcüsü tarafından elektrik şebekelerine verimli bir şekilde aktarılır. Düzgün çalışma için şebeke eviricisi (1) şebeke senkronizasyonu ile güç faktörü (2) aktif / reaktif gücün kontrolü (3) DA-bağ gerilim kontrolünün denetlenmesini ve (4) tüm fazlardaki güç akışının dengelenmesini sağlamalıdır.

3.2.1. Akım Bileşenleri

Dengeli/Dengesiz üç faz iletim sistemlerin analizinde simetrik bileşenler yöntemi önemli bir metottur. Dengeli üç faz sistemlerde, simetrik bileşenler metodu uygulandığında sistemde sadece pozitif bileşen görülmektedir. Bununla birlikte, dengesiz bir sistemde pozitif, negatif ve sıfır bileşenler görülebilmektedir (Şekil 3.8).

Dengesiz yükler altında şebeke akımları Eş. 3.16'da, Eş. 3.17'de ve Eş. 3.18'de ifade edildiği üzere üç adet bileşenden oluşmaktadır.

$$I_{grid,a} = I_{grid,a0} + I_{grid,a+} + I_{grid,a-} \quad (3.16)$$

$$I_{grid,b} = I_{grid,b0} + I_{grid,b+} + I_{grid,b-} \quad (3.17)$$

$$I_{grid,c} = I_{grid,c0} + I_{grid,c+} + I_{grid,c-} \quad (3.18)$$

Hibrit enerji sisteminin ürettiği akım değerleri ise dengelidir ve negatif/sıfır bileşen değerleri sıfırdır. Önerilen sistemde, tasarlanan sistem ile fazla güç ihtiyacı olan yüke fazla, az ihtiyacı olan faza az yük basarak kaynak tarafında dengesiz akım kompanzasyonu amaçlanmaktadır. Simetrik bileşenler metodu kullanılarak sistem akımları Eş. 3.19, Eş. 3.20 ve Eş. 3.21'deki gibi ifade edilmektedir.:

$$I_{sys,a} = I_{sys,a0} + I_{sys,a+} + I_{sys,a-} \quad (3.19)$$

$$I_{sys,b} = I_{sys,b0} + I_{sys,b+} + I_{sys,b-} \quad (3.20)$$

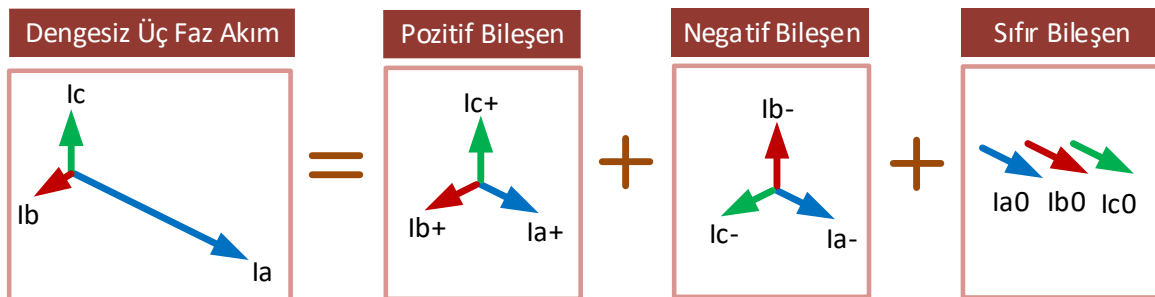
$$I_{sys,c} = I_{sys,c0} + I_{sys,c+} + I_{sys,c-} \quad (3.21)$$

Hem klasik hem de önerilen sistem için şebeke tarafındaki bileşen akımları ise Eş. 3.22, Eş. 3.23 ve Eş. 3.24 kullanılarak elde edilmektedir.

$$I_{grid,0} = (I_{grid,a} + I_{grid,b} + I_{grid,c})/3 \quad (3.22)$$

$$I_{grid,+} = (I_{grid,a} + aI_{grid,b} + a^2I_{grid,c})/3 \quad (3.23)$$

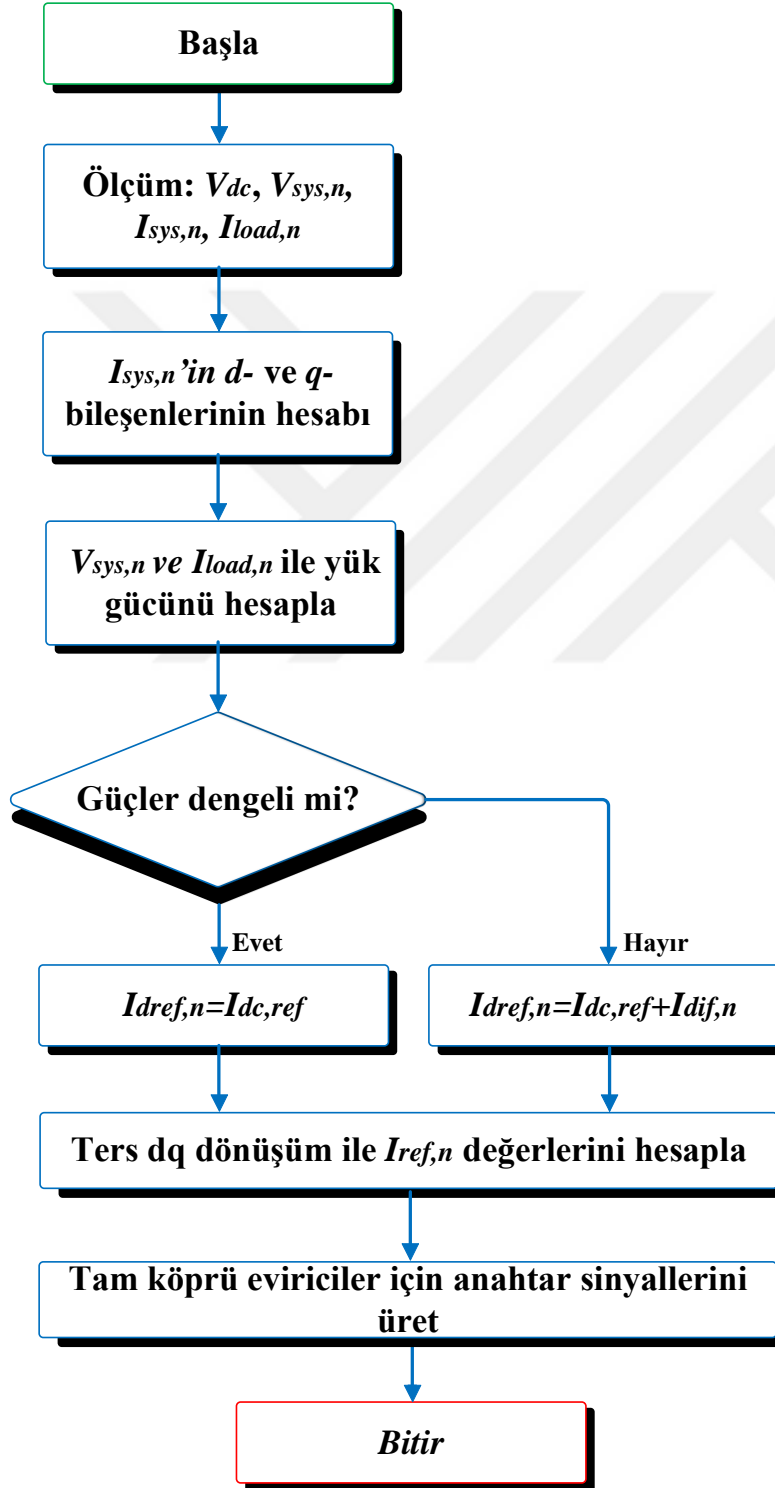
$$I_{grid,-} = (I_{grid,a} + a^2I_{grid,b} + aI_{grid,c})/3 \quad (3.24)$$



Şekil 3.8. Simetrik bileşenler

3.2.2. Akış Diyagramı

Önerilen güç akış kontrolünün algoritması, Şekil 3.9'da gösterildiği gibi bir akış diyagramı vasıtasıyla açıklanmaktadır.



Şekil 3.9. Tasarlanan sistemde faz dengeleme yönteminin akış diyagramı

Adım 1: DA bağ gerilimi, sistem gerilimleri sistem akımları ve yük akımları ölçülmektedir. Tanımlarda n ifadesi a, b, c fazlarını belirtmektedir.

Adım 2: Her faz için sistem akımlarının dik sinyalleri oluşturulur. Ardından, her faz akımı için d- ve q- bileşenleri hesaplanmaktadır.

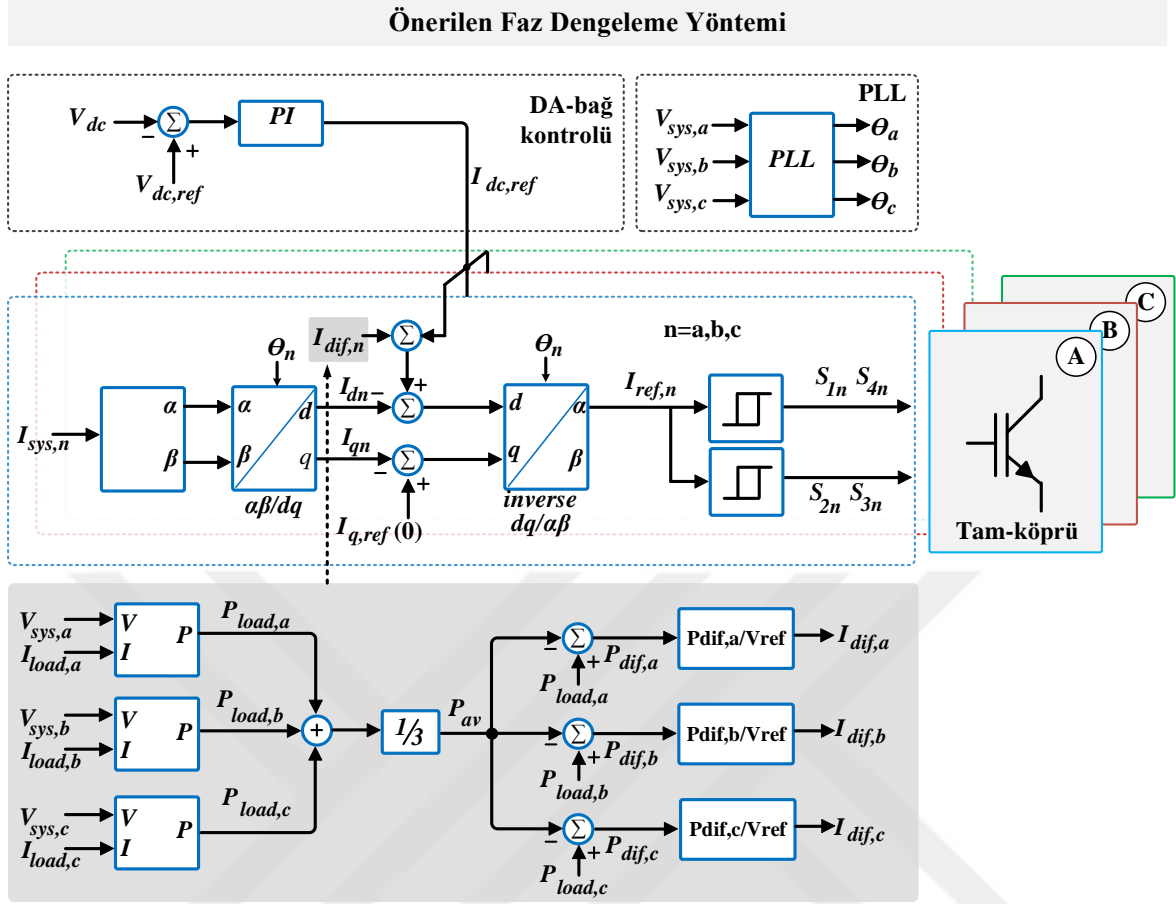
Adım 3: Sistem gerilimlerini ve yük akımlarını kullanarak yük güçleri hesaplanmaktadır. Yük güçleri dengesizse, şebeke güçlerini stabilize etmek için farklılaşma değerini hesaplanır ve DA-bağ gerilimi ile üretilen mevcut referans değerine bir referans değeri eklenir. Yük güçleri dengeli durumdaysa, d bileşeninin referans akımı eşittir.

Adım 4: Sonraki işlemde, $dq / \alpha\beta$ dönüşümü ile referans değerleri üretilmektedir. Bu adımda, α -bileşenleri ayrı faz yapısına göre referans olarak kullanılmaktadır.

Adım 5. Son adım ise hibrit enerji sisteminden şebekeye güç akış kontrolü sağlamak için anahtarlama sinyallerinin üretilmesidir.

3.2.3. Denetim Şeması ve Anahtarlama

Dengesiz hassas yüklere sahip tam-köprü evirici tabanlı PV panel/ yakıt hücresi enerji üretim sisteminde kullanılan yöntemin kontrol şeması Şekil 3.10'da gösterilmektedir. Geleneksel yöntemle kıyaslandığında, her faz için kontrollü güç akışını farklı miktarlarda ayarlamaktadır. Kontrolcünün ana işlevi, yükün daha fazla güç tükettiği faza daha fazla güç sağlamak ve yükün daha az güç tükettiği faza daha az güç sağlamaktır. Bu şekilde, kontrolcü şebeke tarafında güç dengelemesi sağlamaktadır. Aynı zamanda güç akışı dengelemesi sayesinde şebeke tarafındaki akımlarda negatif / sıfır sıra bileşenleri elimine edilmektedir [75]. Şemada (I_{dn}), ($I_{dif,n}$) ve ($I_{dc,ref}$) sinyalleri kullanılarak d- bileşeni ile aktif güç üzerinden kontrol edildiğini göstermektedir. Reaktif güç ise q- bileşeni üzerinden kompanze edilmekte olup, referans bileşen değeri ($I_{q,ref}$) sıfır olarak alınmaktadır [88]. Bunun sebebi olarak sistem tarafında şebeke tarafına reaktif güç basmamaktır. Bu sebep ile güç akışı kontrolü asıl olarak d bileşeni ile yapılmaktadır.



Şekil 3.10. Önerilen faz dengeleme yöntemi

Dengesiz durumlarda, akım DA-bağ kapasitöründe yüksek dereceli dalgalanmalara neden olur. Önerilen çalışmada, yüksek dereceli dalgalanmaları önlemek için DA-bağ gerilimini üç şekilde optimize edilmektedir. Bu yollar:

- (1) DA-DA dönüştürücü aracılığıyla ayarlanmış DA-bağ gerilimi: Şebekeye bağlı eviricilerde, dc-dc dönüştürücü, DA-bağ gerilimini sabit tutmak için önemli bir ara yüz elemanıdır.
- (2) Filtrelenmiş DA-bağ gerilimi: Bu tür sistemlerin tasarımında, dalgalanma % 5'ten az olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu durumda, çıkış akımı büyük ölçüde etkilenmemektedir.
- (3) Yüksek reytingli DA-bağ kapasitörü: Endüstriyel uygulamalarda, bu sorunun üstesinden gelmek için DA-bağ kapasitörü biraz daha büyük seçilmektedir.

Üç fazlı bir sistem için, verilen güçler sistem gerilimleri ve sistem akımları ile hesaplanır [89]. Bu yapıda dq düzlemdeki güç büyüklükleri aşağıdaki eşitliklerde verilmektedir:

$$P_{sys,n} = \frac{3}{2} (V_{sys,n-d} i_{sys,n-d} + V_{sys,n-q} i_{sys,n-q}) \quad (3.25)$$

$$Q_{sys,n} = \frac{3}{2} (V_{sys,n-q} i_{sys,n-d} - V_{sys,n-d} i_{sys,n-q}) \quad (3.26)$$

Eş. 3.25 ve Eş. 3.26'da, aktif/reaktif güç değerlerinin sistem akımlarının d- ve q- bileşenleri kullanılarak hesaplandığı görülmektedir. Sistem gerilimi d-bileşeni düzleminde referans alınarak yönlendirilirse, d- ve q- gerilimleri Eş. 3.27'de ve Eş. 3.28'de tanımlanmaktadır [88]:

$$V_{sys,n-d} = V_{sys,n} \quad (3.27)$$

$$V_{sys,n-q} = 0 \quad (3.28)$$

Sistem tarafından üretilen aktif ve reaktif güç değerleri Eş. 3.29 ve Eş. 3.30 ile temsil edilmektedir [89, 90]:

$$P_{sys,n} = \frac{3}{2} V_{sys,n-d} i_{sys,n-d} \quad (3.29)$$

$$Q_{sys,n} = -\frac{3}{2} V_{sys,n-d} i_{sys,n-q} \quad (3.30)$$

DA-bağ gerilimi aktif güç kaynağını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Bunun için DA-bağ geriliminin referans değeri Eş. 3.31'de açıklanmaktadır [88]:

$$I_{dc,ref} = K_p (V_{dc,ref} - V_{dc}) + K_i \int (V_{dc,ref} - V_{dc}) dt \quad (3.31)$$

Sistemde reaktif güç oluşmaması için q bileşenin referans değeri Eş. 3.32 belirtildiği gibi sıfır olmalıdır.

$$I_{q,ref} = 0 \quad (3.32)$$

Sistem akımlarının d- ve q- bileşenleri, sistem akımlarının α - ve β - bileşenleri kullanılarak Eş. 3.33'de hesaplanmaktadır.

$$\begin{bmatrix} I_{dn} \\ I_{qn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & \sin(\omega t) \\ -\sin(\omega t) & \cos(\omega t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sys,n-\alpha} \\ I_{sys,n-\beta} \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

Kontrol kısmında, Eş. 3.34 ve Eş. 3.35'de verilen $\alpha\beta/dq$ dönüşümüne göre I_{dn} ve I_{qn} bileşenleri tanımlanmaktadır:

$$I_{dn} = I_{sys,n-\alpha} \cos(\omega t) + I_{sys,n-\beta} \sin(\omega t) \quad (3.34)$$

$$I_{qn} = -I_{sys,n-\alpha} \sin(\omega t) + I_{sys,n-\beta} \cos(\omega t) \quad (3.35)$$

Şebeke tarafında faz dengelemesi sağlamak için yük güçleri hesaplanmaktadır. Dengesiz bir durumda, referans farklılaşma değerleri referans değerine ($I_{dc,ref}$) eklenir. Bu işlem, her bir fazdan sağlanan aktif gücü kontrollü bir şekilde artırır veya azaltır. Bu durumda, hassas yüklerin gücü Eş. 3.36'da ifade edilmektedir.

$$P_{load,n} = V_{sys,n} I_{sys,n} \cos \theta_n \quad (3.36)$$

Eş. 3.37 ise yük gücünün ortalama değeri hesaplanmaktadır:

$$P_{av} = \frac{1}{3} \sum_{n=1}^3 P_{load,n} \quad (3.37)$$

Hesaplanan ortalama değer, her bir fazın farklılaşma gücü değerini bulmak için her faz değerinden çıkarılır. Bu işlemin sonucunda, her faz için ayrı ayrı farklılaşma değeri

hesaplanmış olmaktadır. Bu adım aşağıdaki Eş. 3.38'de verildiği gibi gerçekleştirilmektedir:

$$\begin{cases} P_{dif,a} = P_{load,a} - P_{av} \\ P_{dif,b} = P_{load,b} - P_{av} \\ P_{dif,c} = P_{load,c} - P_{av} \end{cases} \quad (3.38)$$

Sistem denetiminde d-bileşenine eklenecek farklılaşma değerleri akım kontrolü kullanılarak Eş. 3.39'da hesaplanmaktadır.

$$I_{dif,n} = K.P_{dif,a} \quad (3.39)$$

K, farklılaşma gücünün sistem akımına dönüştürülme oranı olarak tanımlanır ve 150 olarak seçilmektedir. Eş. 3.40 ve Eş. 3.41'de d ve q bileşenleri fark değerleri ifade edilmektedir. Bu bileşenler, dq düzlemde hata akımları olarak adlandırılmaktadır [18].

$$I_{derror,n} = I_{d,ref} + I_{dif,n} - I_{dn} \quad n = a, b, c \quad (3.40)$$

$$I_{qerror,n} = I_{q,ref} - I_{qn} = -I_{qn} \quad n = a, b, c \quad (3.41)$$

Elde edilen d- ve q bileşenleri anahtarlama sinyallerini tetiklemek için kullanılan referans akım sinyalleri histerezis darbe genişlik modülasyonunda kullanılmaktadır. Bunun için, d- ve q- bileşenleri dq / aβ dönüşümü kullanılarak, Eş. 3.42'de tanımlandığı gibi her faz için α bileşenlerine dönüştürülmektedir [18].

$$\begin{cases} I_{ref,a} = I_{derror,a} \cos \theta_a + I_{qerror,a} \sin \theta_a \\ I_{ref,b} = I_{derror,b} \cos \theta_a + I_{qerror,b} \sin \theta_a \\ I_{ref,c} = I_{derror,c} \cos \theta_a + I_{qerror,c} \sin \theta_a \end{cases} \quad (3.42)$$

Son aşamada, referans akım değerleri ($I_{ref,n}$) anahtarlama sinyallerini ($S_{1n}, S_{2n}, S_{3n}, S_{4n}$) üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Tam köprü evirici kullanıldığı için 12 adet anahtarlama sinyali üretilmektedir. Anahtarlama sinyallerinin üretilmesi için histerezis akım kontrolü kullanılmaktadır. Referans sinyalleri histerezis değeri ile karşılaştırılarak

anahtarlama sinyalleri üretilmektedir. Bu kontrolcünün temel anahtarlama kuralları Eş. 3.43'de belirtilmektedir [18].

$$\begin{array}{l} \text{Anahtarlama} \\ \text{Durumlan} \end{array} = \left\{ \begin{array}{ll} I_{ref,a} > +h & S_{1a}, S_{4a} \\ I_{ref,a} < -h & S_{2a}, S_{3a} \\ I_{ref,b} > +h & S_{1b}, S_{4b} \\ I_{ref,b} < -h & S_{2b}, S_{3b} \\ I_{ref,c} > +h & S_{1c}, S_{4c} \\ I_{ref,c} < -h & S_{2c}, S_{3c} \end{array} \right\} \quad (3.43)$$

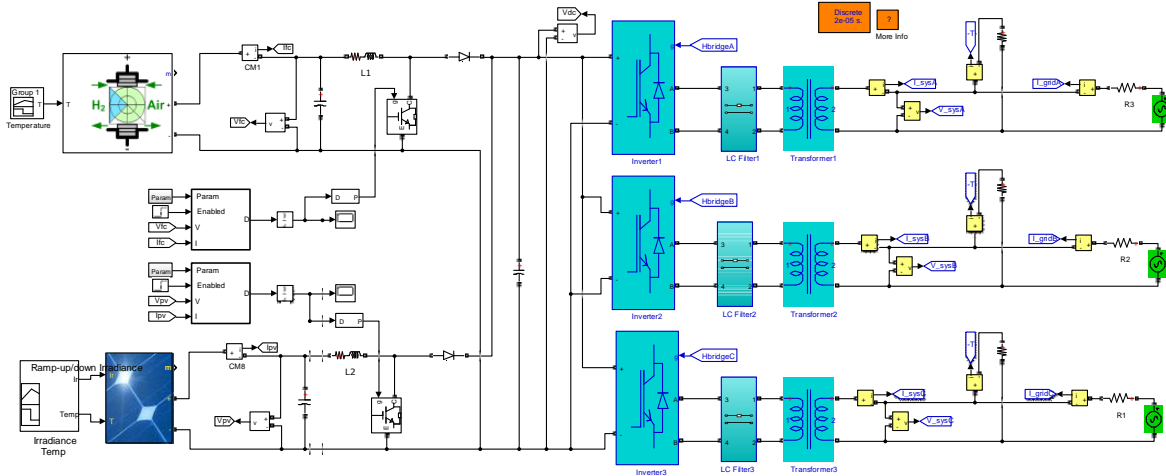
Anahtarlama işleminde, kontrol yöntemi için histerezis bant değerleri 0,02 ve -0,02'dir. Bu işlemde her faz için üretilen referans sinyalleri histerezis bant değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Eğer referans sinyali +h bandından yüksek ise S_{1n}, S_{4n} sinyalleri üretilmektedir. Üretilen referans sinyali -h değerine azalıncaya kadar ise S_{1n}, S_{4n} anahtarları iletim durumunda kalacaktır. Referans sinyali -h değerinin altına düştüğünde ise S_{2n}, S_{3n} anahtarları iletim durumuna geçerken, iletim durumunda olan S_{1n}, S_{4n} anahtarları ise kesime girecektir. Referans sinyali +h değerine ulaşıncaya kadar ise S_{2n}, S_{3n} anahtarları iletimde kalmaya devam edecektir. Bu açıklamalarda n değeri a,b ve c fazlarını belirtmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, şebekeye bağlı PV/FC tabanlı hibrit enerji sistemin performans sonuçları analiz edilerek araştırma bulguları açıklanmaktadır. Şebekeye bağlı PV/FC tabanlı hibrit enerji sisteminde dengesiz yükler altında oluşan sıfır ve negatif sıfır bileşen akımlarını azaltmak amacıyla geliştirilen kontrol yöntemi test edilmiştir. Önerilen sistem ve kontrolcü yapısı Matlab/Simulink programı kullanılarak benzetim sonuçları alınmaktadır. Bu kısımda, öncelikle tasarlanan sistemde kullanılan PV panel ve yakıt hücresine ait elektriksel karakteristikler verilmektedir. Devamında dengesiz yükler altında test edilen hibrit enerji sisteminin farklı durumlar için örnekleme durumları verilmektedir. Son kısımda ise geliştirilen güç akışı kontrol yöntemi klasik yöntem ile karşılaştırılmaktadır. Tartışma kısmı ile birlikte bölüm sonlandırılmaktadır.

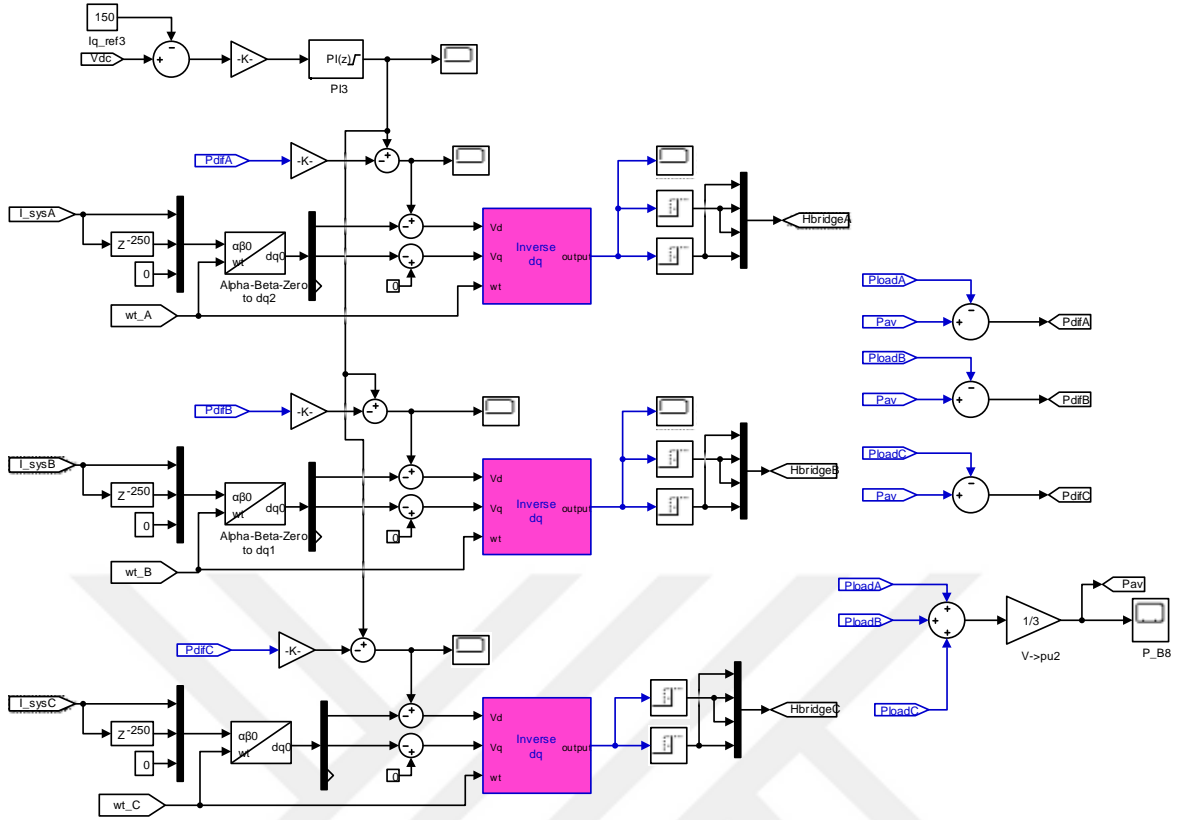
4.1.Sistem Modeli

Simulink modelleme programında tasarlanan şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi modeli Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere, sistemde çift girişli yükseltici tipi DA-DA dönüştürücü kullanılmaktadır. Ayrıca, üç adet tam-köprü evirici DA gerilimi AA gerilimi çevirmek ve güç akışı kontrolü için kullanılmaktadır.



Şekil 4.1. Simulink’te tasarlanan hibrit enerji sistemi modeli

Tasarlanan hibrit enerji sisteminde güç akışını kontrol etmek için uygulanan faz dengeleme yöntemine ait Simulink modeli Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi kontrolcü DA-bağ gerilimi kontrolü, üç adet abc/ $\alpha\beta$ dönüşümü ve farklılaşma güç değeri çıkarım bölümlerinden oluşmaktadır.



Şekil 4.2. Simulink'te tasarlanan faz dengeleme kontrol yöntemi

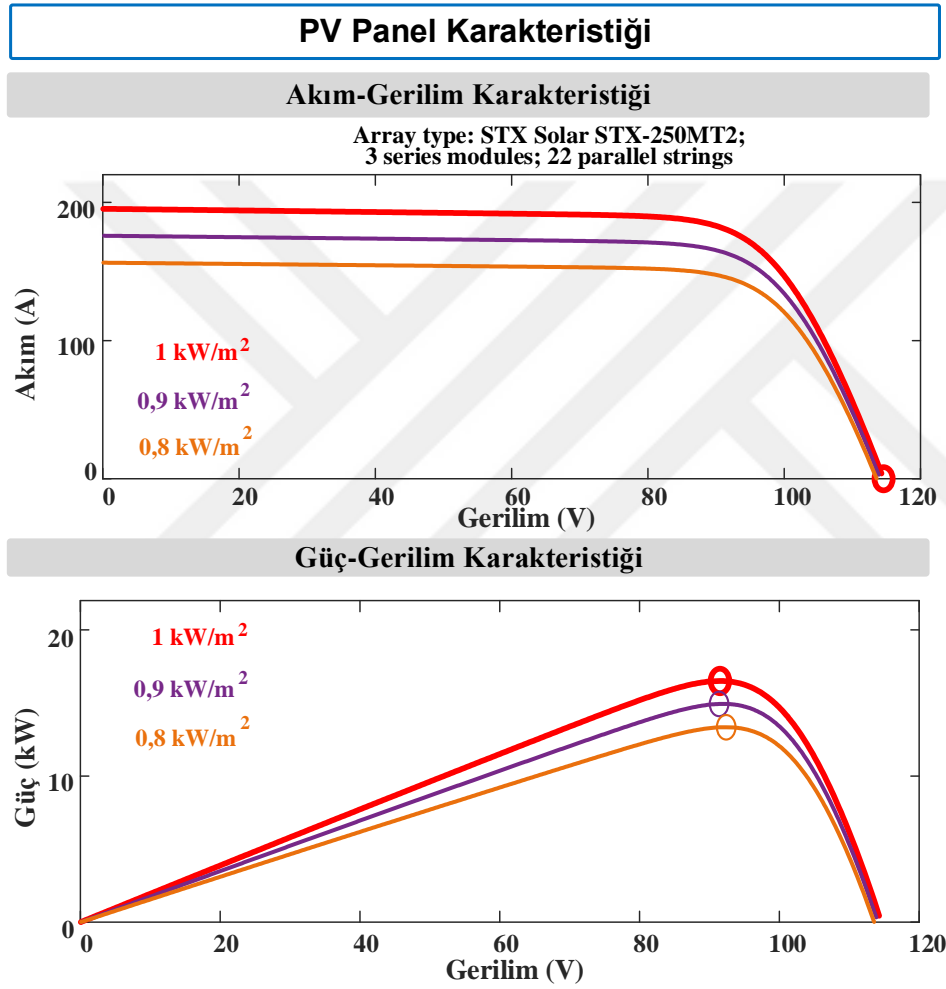
Modelleme programında tasarlanan şebekeye bağlı hibrit enerji sisteminin parametre değerleri Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Modellenen sistemin parametreleri ve değerleri

Parametre	Değer
PV panel	STX Solar STX-250MT2
Yakıt hücresi	Ballard PEMFC 9SSL 19,3 kW
DA-DA Dönüştürücü	Türü: Çift giriş tek çıkış yükseltici tipi dönüştürücü $L_1 \& L_2 = 1 \text{ mH}$, $C_{dc} = 10 \text{ mF}$ Anahtarlama frekansı: 5 kHz
Evirici	Türü: 3 tane tam-köprü evirici Filtre indüktansı: 3 tane 1 mH indüktör
Transformatör	Güç: 3 tane 15 kVA transformatör $[V_p(\text{rms}), R_p(\text{pu}), L_p(\text{pu})] = [100, 1e-4, 0,001]$ $[V_s(\text{rms}), R_s(\text{pu}), L_s(\text{pu})] = [220, 1e-4, 0,001]$
Şebeke	Gerilim: 380 V_{rms} – 3 faz Frekans: 50 Hz
Yükler	$R_a = 12 \Omega$, $R_b = 8 \Omega$, $R_c = 10 \Omega$

4.2.PV / FC Karakteristiği

Şekil 4.3, PV panelin ve yakıt hücresinin elektriksel karakteristik dalga formlarını göstermektedir. Nominal değer (1000W / m², 25 °C) için PV panelden 91,5 V/170 A'da 15,6 kW güç üretilmektedir. Ayrıca 25 °C'de 900 W/m² ve 800 W/m² PV panele ait elektriksel eğriler sunulmaktadır.



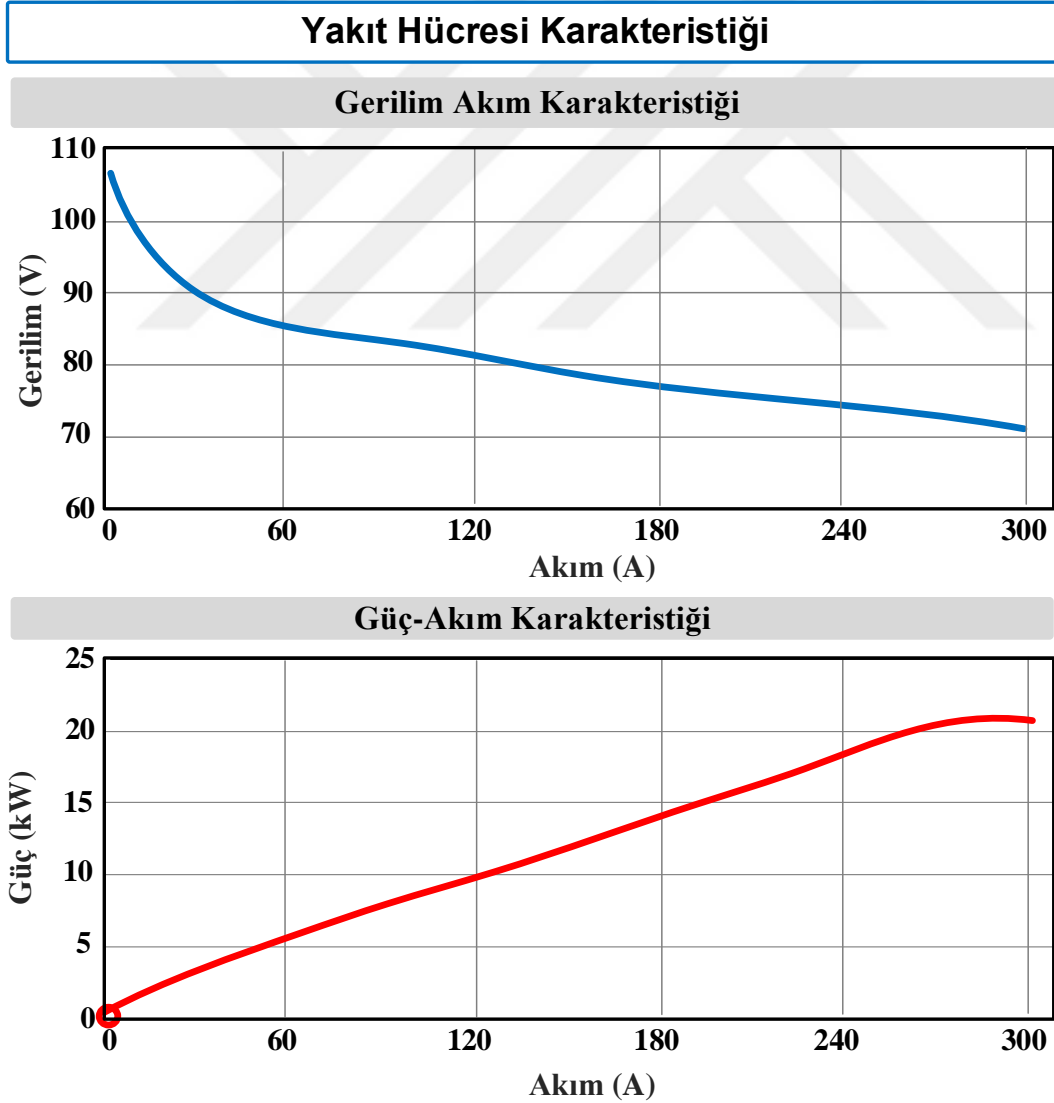
Şekil 4.3. PV panelin elektriksel karakteristiği

Bu çalışmada, STX Solar STX-250MT2 güneş panelleri, PV panel çıkışında yaklaşık 16,5 kW elektriksel güç üretmek için kullanılmıştır. Bu panelde paralel dizgi sayısı 22 olup, seri dizgi sayısı ise 3 olarak tasarlanmıştır. Güneş panelinin maksimum güç noktasındaki gerilim ve akım değerleri, hücre başına 24,5 V ve 8,16 A olarak tanımlanmaktadır. PV panele ait parametre değerleri Çizelge 4.2'de verilmektedir.

Çizelge 4.2. PV panelin parametre değerleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Paralel dizgi sayısı	22	Dizgi başına seri hücre sayısı	3
Maksimum güç (W)	250,1	Modül başına hücre sayısı	60
Açık devre gerilimi (V_{oc})	38,19	Kısa devre akımı (I_{sc})	8,8
Maksimum güçteki gerilim (V)	30.5	Maksimum güçteki akım (A)	8,2
V_{oc} sıcaklık katsayısı (%/deg.C)	-0,32	I_{sc} sıcaklık katsayısı (%/deg.C)	0,038

Yakıt hücresi ise 110 tane hücreye sahip olup, nominal çalışma değerlerinde (260 A: 73,4 V) 19,3 kW elektriksel enerji üretmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Yakıt hücresinin elektriksel karakteristiği

Ballard FCvelocity 9SSL PEMFC, hibrit sistemin ikincil enerji üretimi girişi olarak kullanılmaktadır. Bunun için Ballard PEMFC parametreleri Çizelge 4.3'te verilmektedir.

Çizelge 4.3. Yakıt hücresine ait parametre değerleri

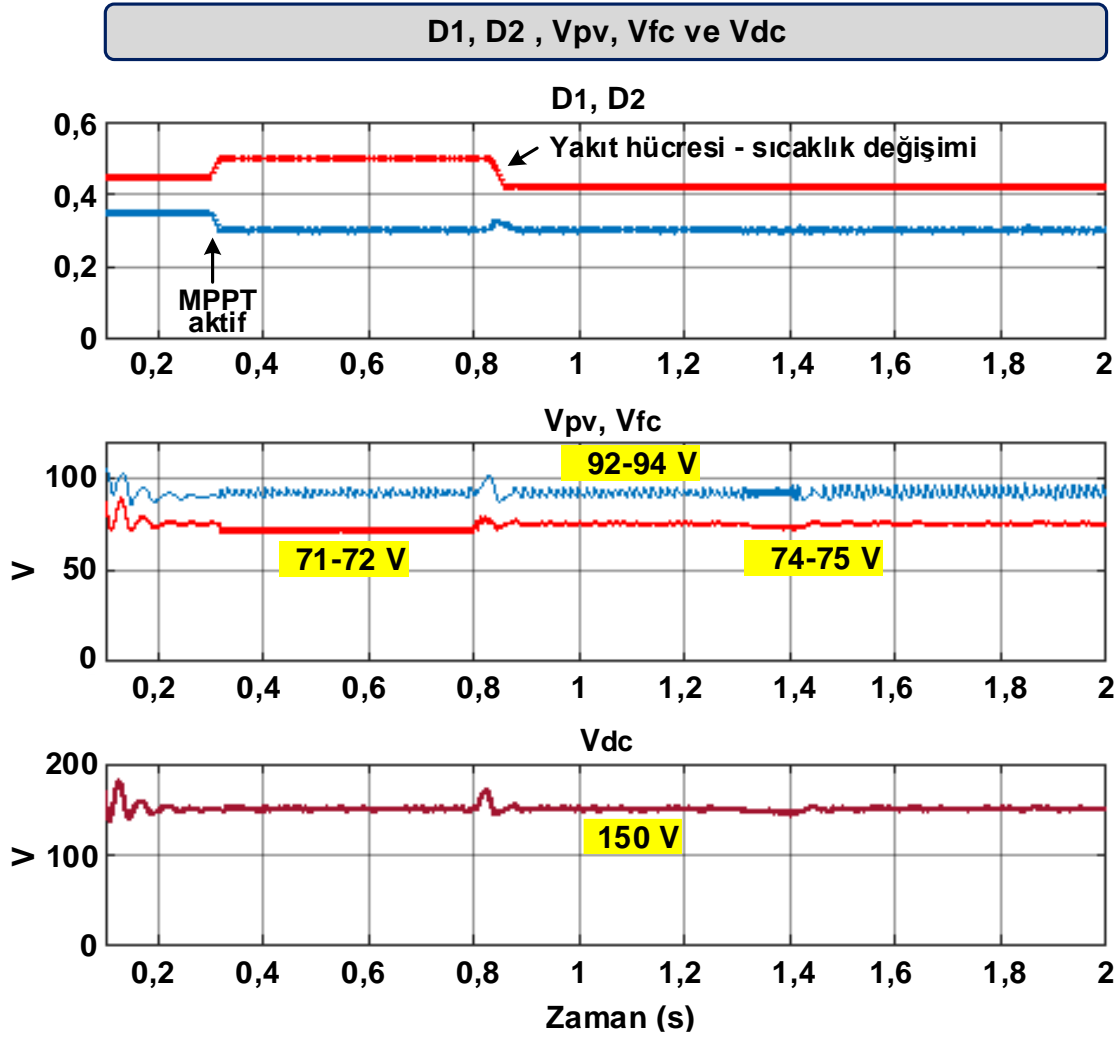
Parametre	Değer	Birim
Hücre sayısı	110	[-]
Gerilim (0 A ve 1 A)	[106,15:104.61]	[V:V]
Nominal çalışma değerleri	[260:73,4]	[A:V]
Maksimum çalışma değerleri	[320:64]	[A:V]

4.3. Benzetim Sonuçları – Yüksüz Çalışma Durumu

Bu kısımda, yüksüz çalışma durumu farklı örnekleme şartları altında test edilen önerilen sistemin performans ve optimizasyon sonuçları sunulmaktadır. Bunun için üç durum aşağıdaki şekilde belirtilmekte ve ifade edilmektedir.

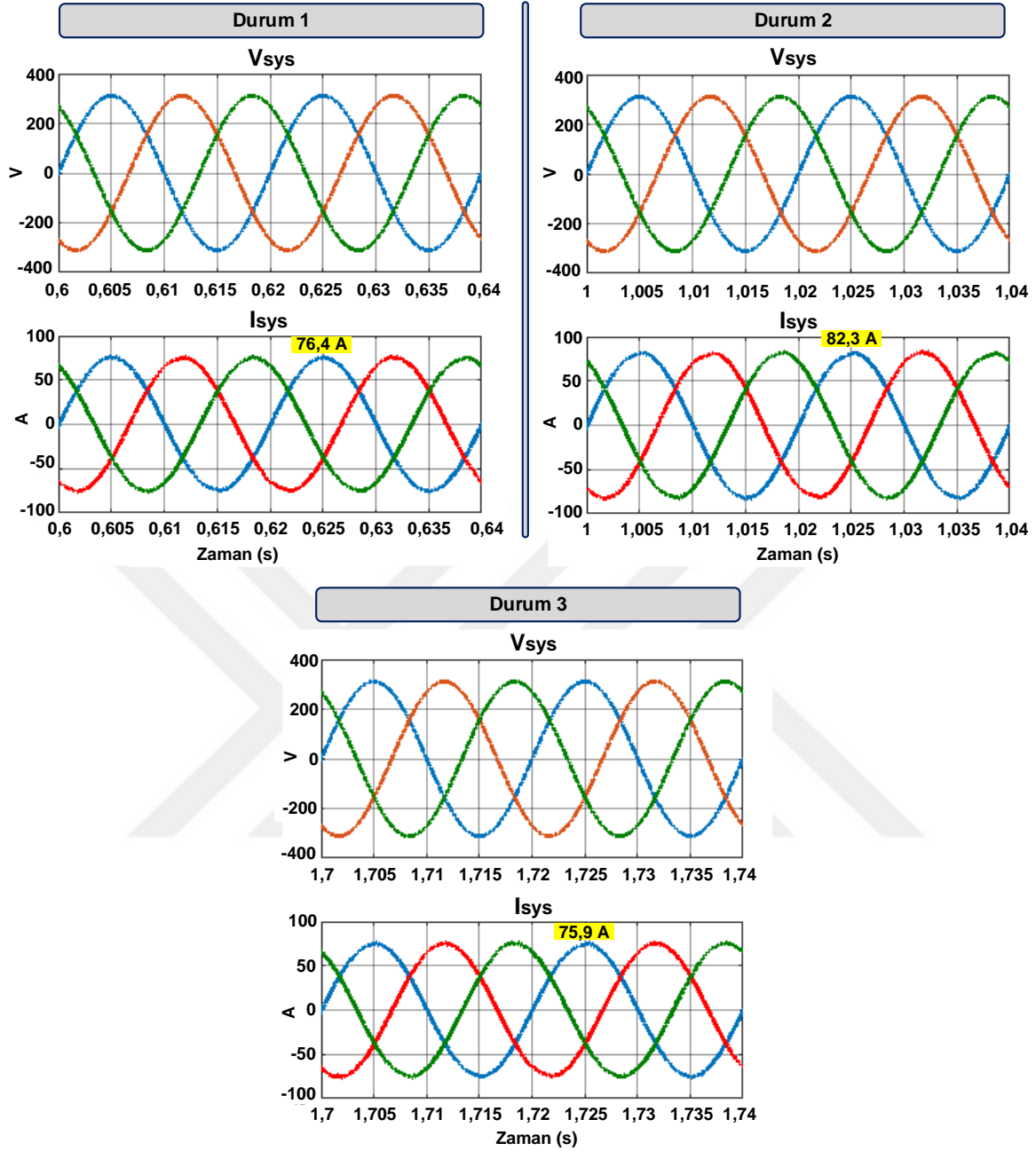
- Durum 1: 1000 W / m² ışınlamada PV panelin ve 328 K'de yakıt hücresinin nominal şartlar altında çalışması
- Durum 2: PV panelin 1000 W / m² ışınlamada ve yakıt hücresinin 340 K'de çalışması
- Durum 3: PV panelin 800 W / m² ışınlamasında ve yakıt hücresinin 340 K'de çalışması

Dengesiz yük durumları için sisteme ait anahtarlama doluluk/boşluk oranları ve DA-gerilim dalga formları Şekil 4.5'de görülmektedir. Durum 1, durum 2 ve durum 3 için doluluk-boşluk oranında meydana gelen değişimler açıkça sistem tepkisi olarak verilmektedir. Bununla birlikte, hibrit enerji sisteminde DA-bağ geriliminin referans değer olan 150 V'da tutulduğu gözlenmektedir.



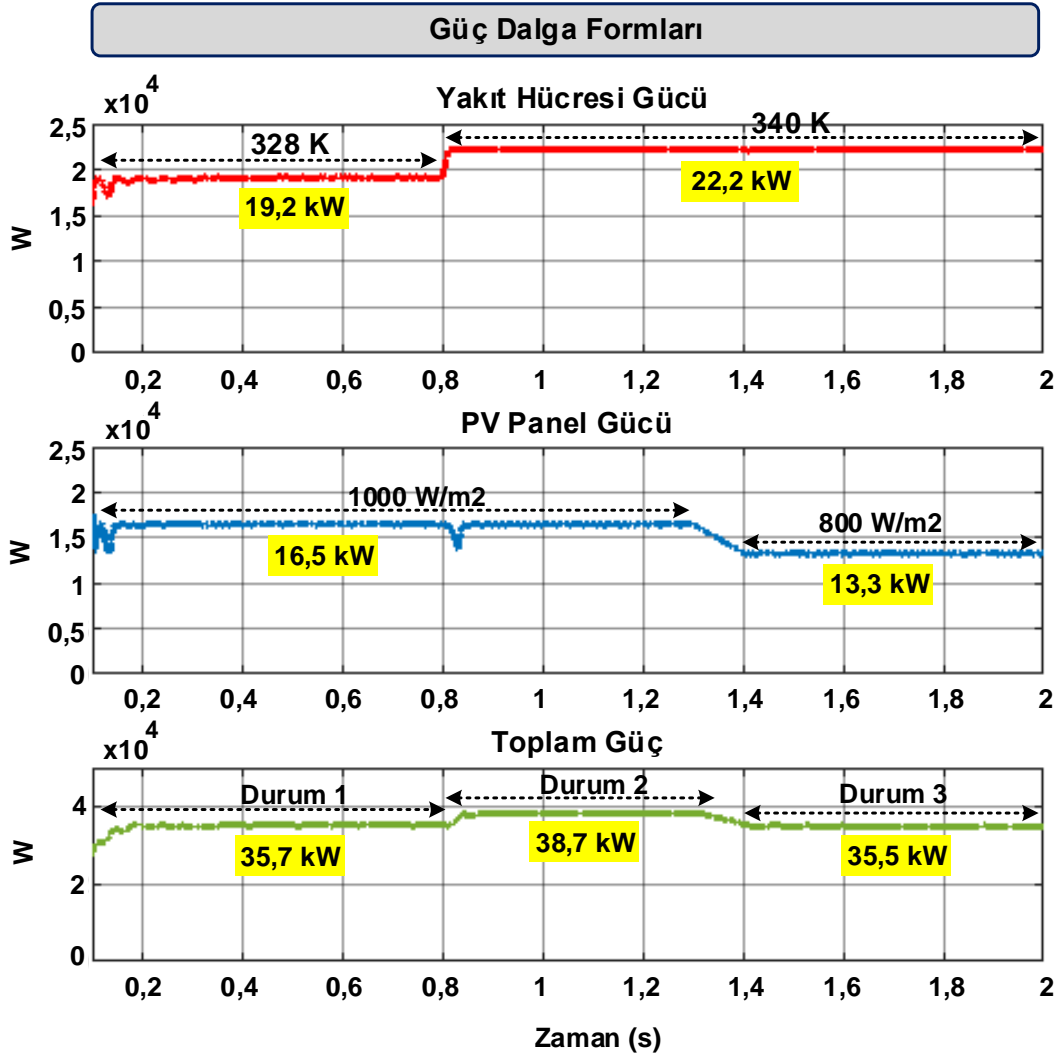
Şekil 4.5. Yüksüz çalışma durumu anahtarlama doluluk/boşluk oranları, PV-FC gerilimleri ve DA-bağ gerilimi dalga formları

Yüksüz çalışma durumunda test edilen şebekeye bağlı PV/FC tabanlı hibrit enerji sistemine ait farklı durumlar için sistem gerilimleri / akımları dalga formları Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Sistem yüksüz çalışma durumunda test edildiği için sistemde sıfır ve negatif bileşen akım kompanzasyonu yapılmamaktadır. Bu nedenle, sistemin ürettiği akımlar çıkışta dengeli olarak görülecektir. Dalga formları incelendiğinde sistem akımlarının incelenen durum için aynı genlikte olduğu görülmektedir. İlk durumda sistem akımlarının genliği 76,4 A, ikinci durumda ise 82,3 A olarak görülmektedir. Üçüncü durumda ise sistem akımlarının genliği 75,9 A olarak verilmektedir.



Şekil 4.6. Yüksüz çalışma durumu sistem gerilimleri ve akımları

Yüksüz çalışma durumunda şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi tarafından üretilen güç dalga formları Şekil 4.7’de verilmektedir. Sistem çalışmaya başladığında yakıt hücresinin gücü 19,2 kW iken sıcaklık değişiminden sonra 22,2 kW’a yükseldiği gözlenmektedir. PV panel gücünün ise 16,5 kW iken, ortam faktörlerinin değişiminden sonra güç değerinin 13,3 kW’a azaldığı görülmektedir. Sistem tarafında üretilen toplam güç değerleri ise durum 1, durum 2 ve durum 3 için sırası ile 35,7 kW, 38,7 kW ve 35,5 kW olarak ölçülmektedir.



Şekil 4.7. Yüksüz çalışma durumu güç dalga formları

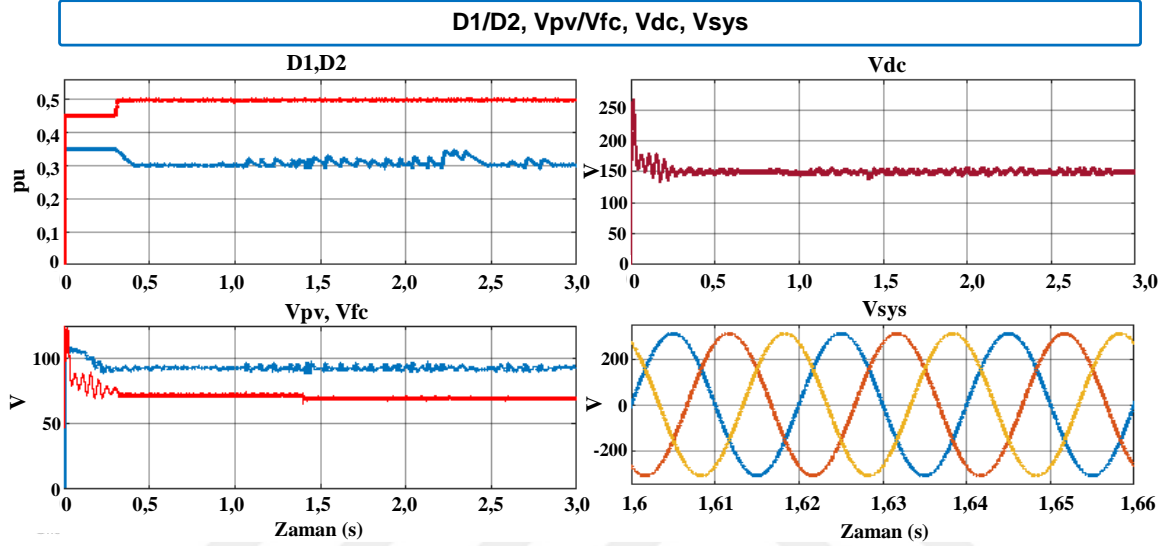
4.4. Benzetim Sonuçları – Yüklü Çalışma Durumu

Modellenen sistem, farklı örnekleme çalışmaları altında test edilmiştir. Benzetim çalışmaları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

- Durum 1: PV panelin 1000 W / m^2 ve yakıt hücresinin 328 K'de çalışması
- Durum 2: PV panelin 800 W / m^2 ve yakıt hücresinin 328 K'de çalışması
- Durum 3: PV panelin 800 W / m^2 ve yakıt hücresinin 320 K'de çalışması
- Durum 4: PV panelin 900 W / m^2 ve yakıt hücresinin 320 K'de çalışması

Anahtarlama doluluk/boşluk oranları (D1 ve D2), PV panel / yakıt hücresi gerilimleri (V_{pv} ve V_{fc}), dc-link gerilimi (V_{dc}) ve sistem gerilimlerinin dalga şekilleri Şekil 4.8'de

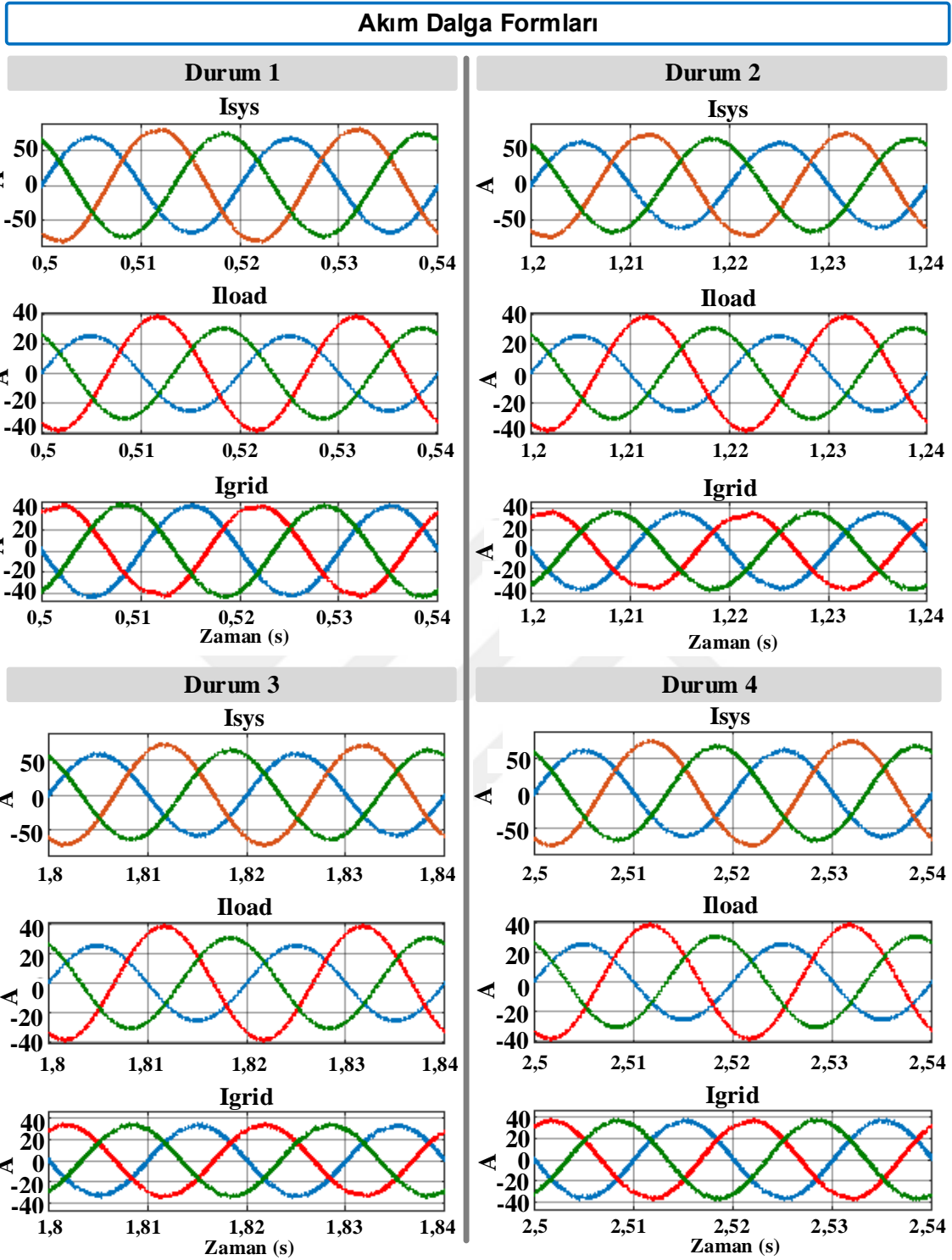
sunulmaktadır. Performans sonuçları MPPT'lerin PV panel / yakıt hücresi gerilimlerine göre DA-bağ gerilimi 150 V'da tutulmaktadır. PV panel çıkışında yaklaşık 93 V üretmektedir. Bununla birlikte, yakıt hücresi 328 K için 72 V ve 320 K için 68 V'de çalışmaktadır. Sistem gerilimi dengeli, kararlı ve şebeke gerilimi ile aynıdır. Sistem gerilimlerinin tepe değerleri ise 311 V olarak görülmektedir.



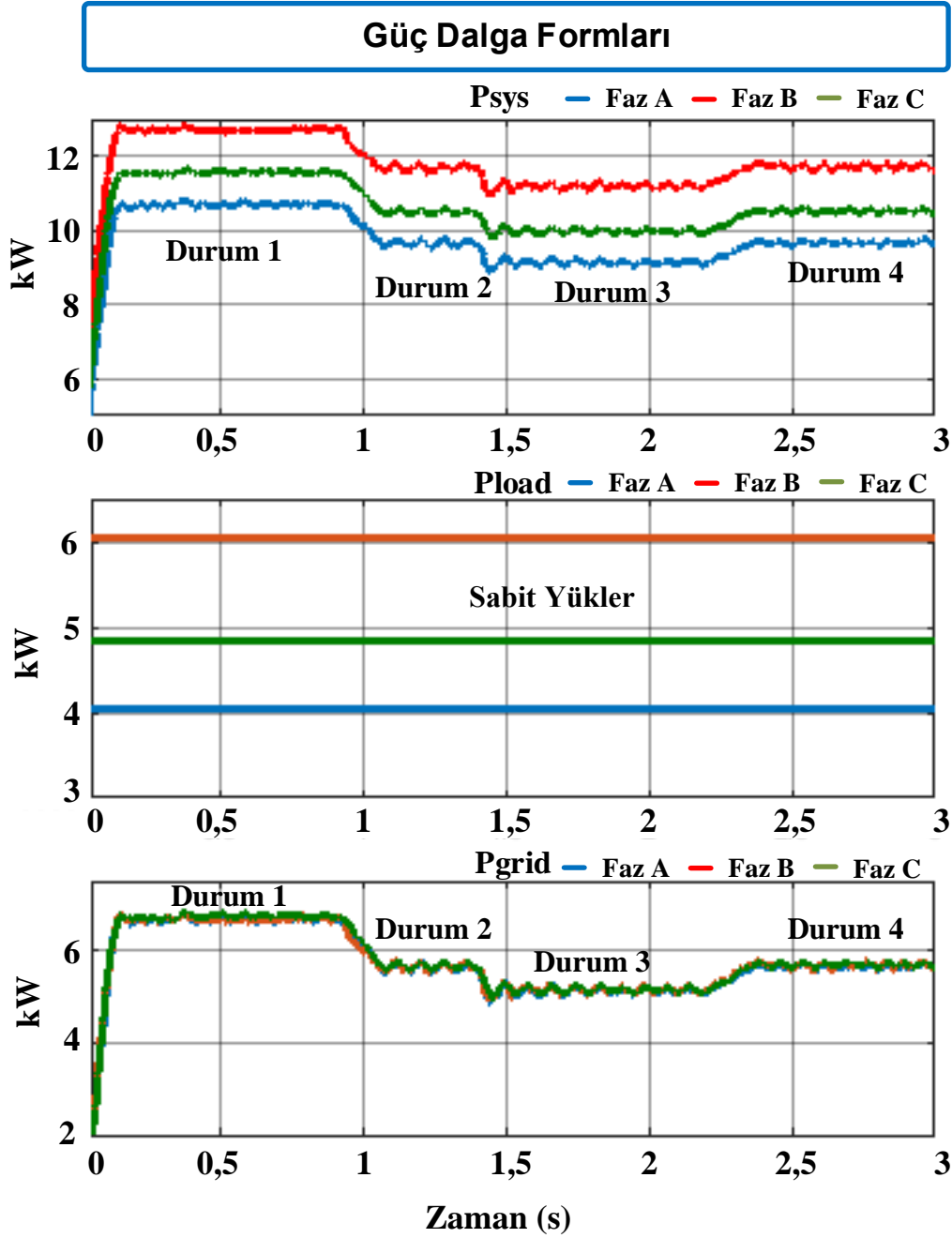
Şekil 4.8. Doluluk-boşluk oranı, PV panel / yakıt hücresi gerilimleri, DA-bağ gerilimi ve sistem gerilimine ait dalga formları

AA formdaki sistem akımları Şekil 4.9'da verilmektedir. Dört durum için sistem akımını, yük akımlarını ve şebeke akımlarını gösterilmektedir. Dalga formlarında gösterildiği gibi, yükler dirençli yük değerlerine göre dengesiz akımlar çekmektedir. Bu nedenle, sistem farklı değerlerde aktif güç sağlayarak akımların şebeke tarafında kontrollü bir şekilde eşitlenmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak, şebeke akımlarının büyüklükleri tüm fazlar için birbirine eşittir.

Şebekeye bağlı hibrit PV panel / yakıt hücresi sisteminin faz dengeleme yöntemi ile güç akışı dalga şekilleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Yüklere göre tüketilen güçler sabit olup, değerleri ise birbirinden farklıdır. Yük güçleri, faz a, faz b ve faz c için sırasıyla 4,03 kW, 6,04 kW ve 4,83 kW olarak ölçülmektedir. Sistem, farklı örnekleme durumlarında görüldüğü üzere aktif güç üreterek şebekeye / yüklere basmaktadır. Şebeke tarafındaki güç değerleri, dalga formlarında gösterildiği gibi neredeyse sabit bir değerde tutulur. Dört durum için güç değerleri için ayrıntılı olarak ayrıca Çizelge 4.4'de verilmektedir.



Şekil 4.9. Dengesiz yük durumu sistem, yük ve şebeke akımlarına ait dalga formları

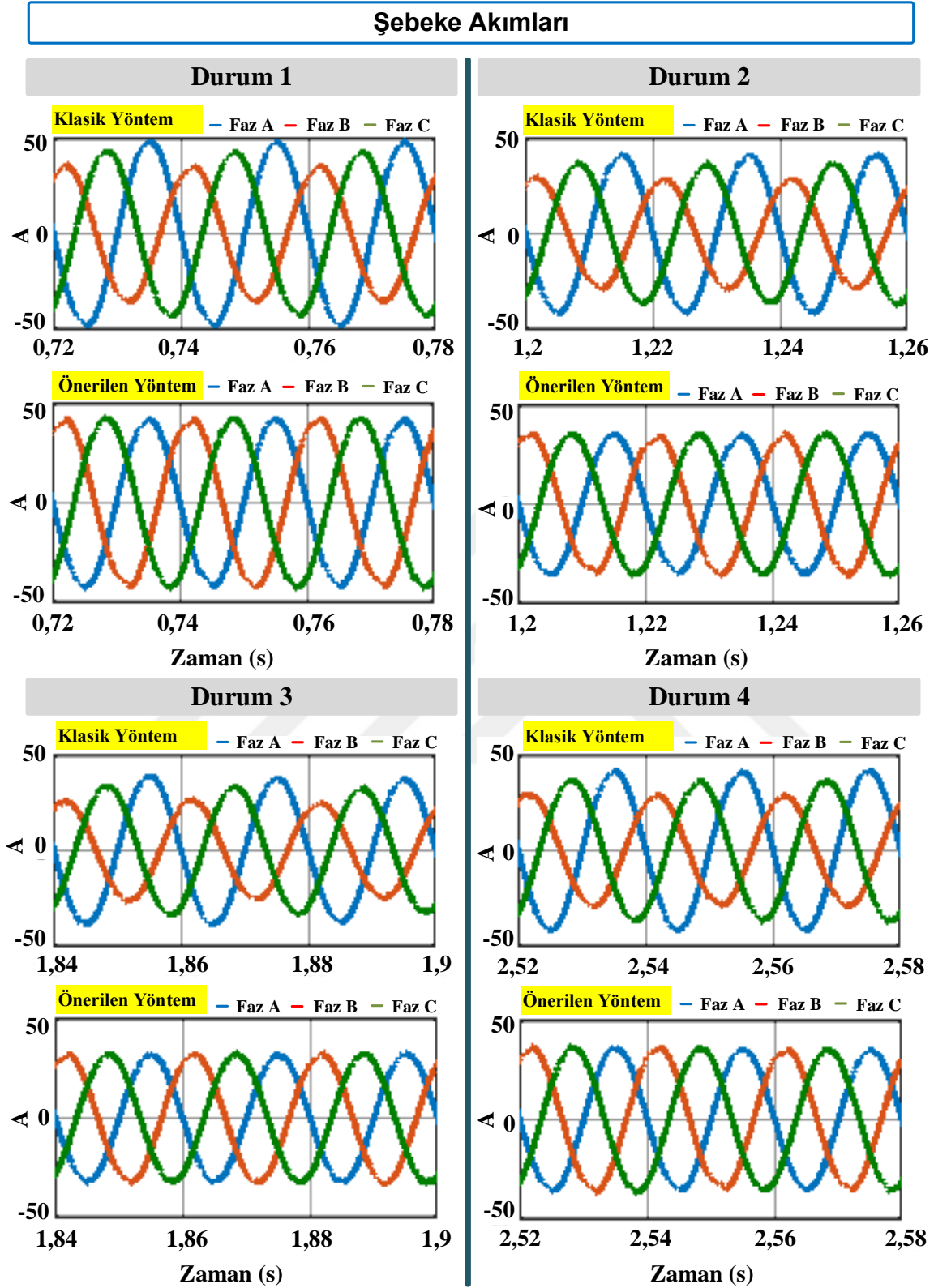


Şekil 4.10. Dengesiz yük durumu sistem, yük ve şebeke tarafı güç dalga formları

Önerilen yöntemin ana işlevi, güç dengelemesi yoluyla şebeke tarafında dengeli akımlar sağlamaktır. Bu şekilde, dengesiz rezistif yükler altında geleneksel ve önerilen yöntemlerin performans sonuçları Şekil 4.11’de sunulmaktadır. Şebeke akımları göz önüne alındığında, fazların büyüklük değerlerinin tüm durumlar için farklı olduğu açıktır. Bununla birlikte, önerilen yöntem şebeke tarafında dengeli akımlar sağlamaktadır.

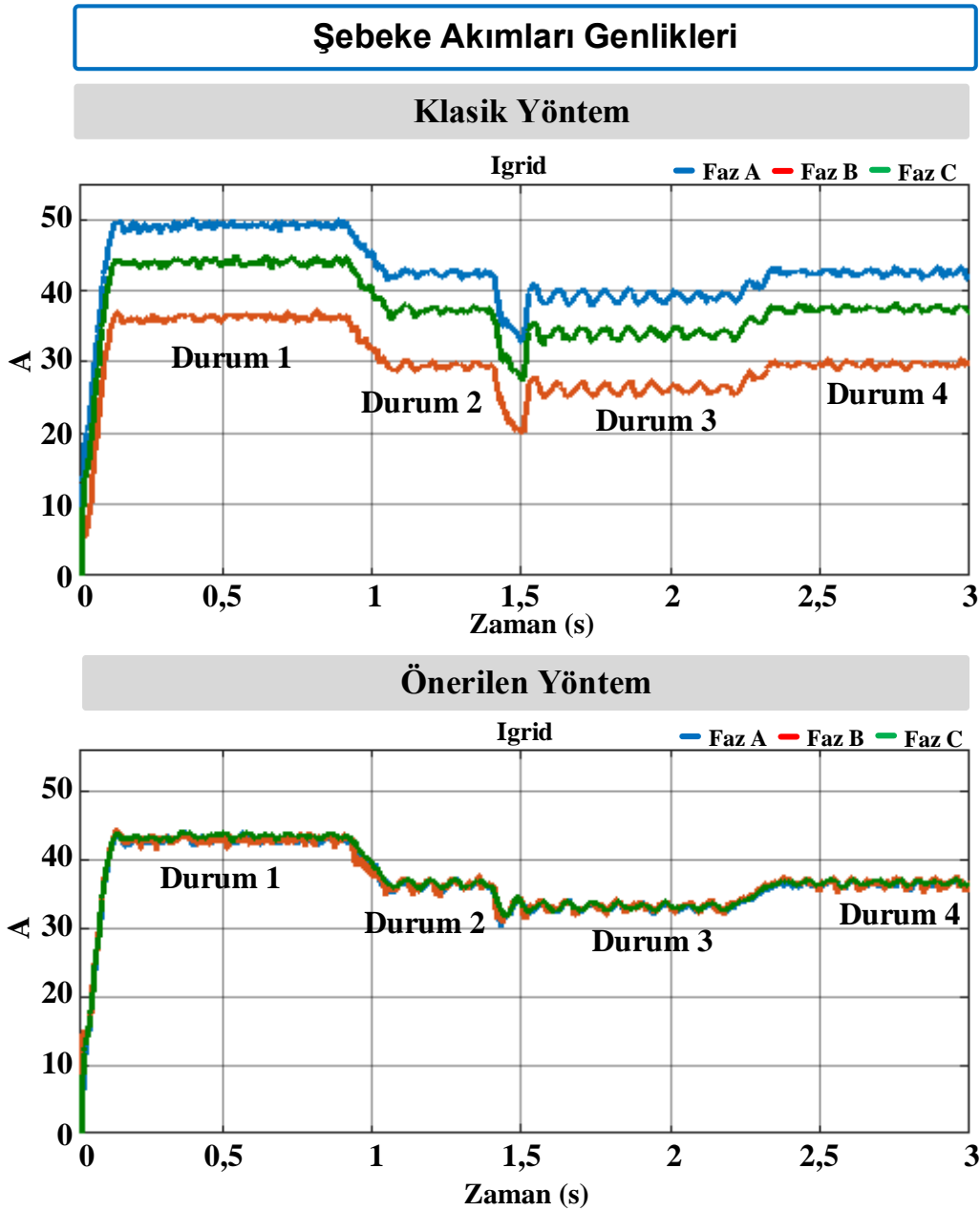
Çizelge 4.4. Örnekleme durumlarına ait güç akışı değerleri

	PV Panel / Yakıt		Güç Akışı Değerleri		
	Hücresi		Sistemden	Yüke	Şebekeye
	PV	FC			
Durum 1	1000 W/m ²	328 K	Faz A:	Faz A:	Faz A:
			10,75 kW	4,03 kW	6,72 kW
			Faz B:	Faz B:	Faz B:
			12,71 kW	6,04 kW	6,67 kW
			Faz C:	Faz C:	Faz C:
Durum 2	800 W/m ²	328 K	Faz A:	Faz A:	Faz A:
			9,54 kW	4,03 kW	5,51 kW
			Faz B:	Faz B:	Faz B:
			11,79 kW	6,04 kW	5,75 kW
			Faz C:	Faz C:	Faz C:
Durum 3	800 W/m ²	320 K	Faz A:	Faz A:	Faz A:
			9,12 kW	4,03 kW	5,09 kW
			Faz B:	Faz B:	Faz B:
			11,18 kW	6,04 kW	5,14 kW
			Faz C:	Faz C:	Faz C:
Durum 4	900 W/m ²	320 K	Faz A:	Faz A:	Faz A:
			9,654 kW	4,03 kW	5,62 kW
			Faz B:	Faz B:	Faz B:
			11,69 kW	6,04 kW	5,65 kW
			Faz C:	Faz C:	Faz C:
			10,57 kW	4,83 kW	5,74 kW



Şekil 4.11. Klasik ve önerilen yöntemin dengesiz yükler altında farklı örnekleme durumları için şebeke akımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.12 geleneksel / önerilen yöntem için şebeke akımlarının büyüklüklerini göstermekte ve güç akışı dengelemesini net bir şekilde açıklamaktadır. Geleneksel kontrollü bir hibrit enerji sisteminde, şebeke akımlarının büyüklüğü tüm durumlar için farklılık göstermektedir. Ancak, akımlar önerilen kontrollü sistem ile dengelenir ve büyüklükler yaklaşık olarak aynıdır. Geleneksel / önerilen şebeke akımlarının sayısal değerleri ayrıca Çizelge 4.5’de verilmiştir.



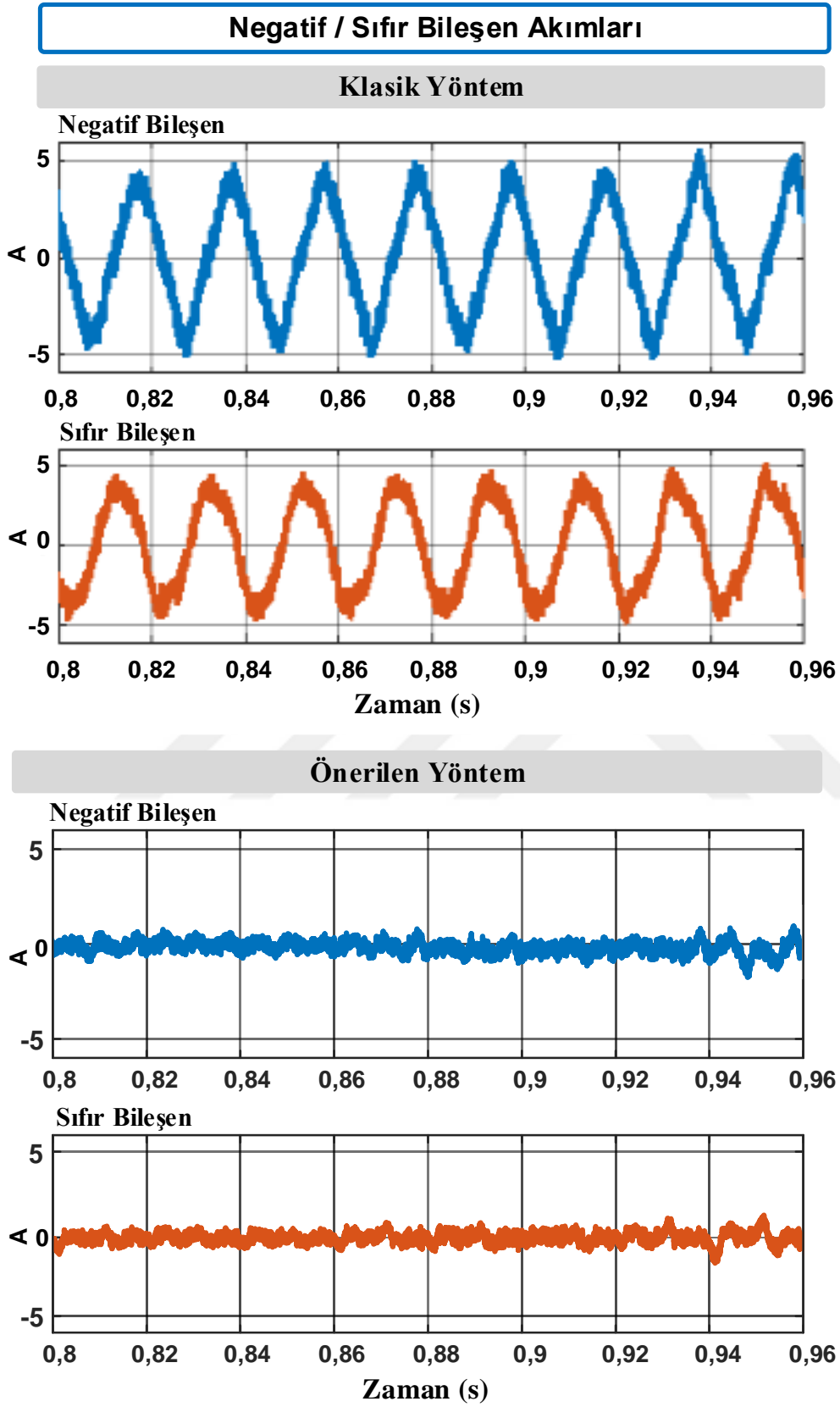
Şekil 4.12. Dengesiz yükler altında farklı benzetim durumları için klasik/önerilen yöntem kullanılarak elde edilen şebeke akımları genlikleri

Çizelge 4.5. Geleneksel / önerilen yöntem tabanlı sistemler için şebeke akımlarının büyüklükleri

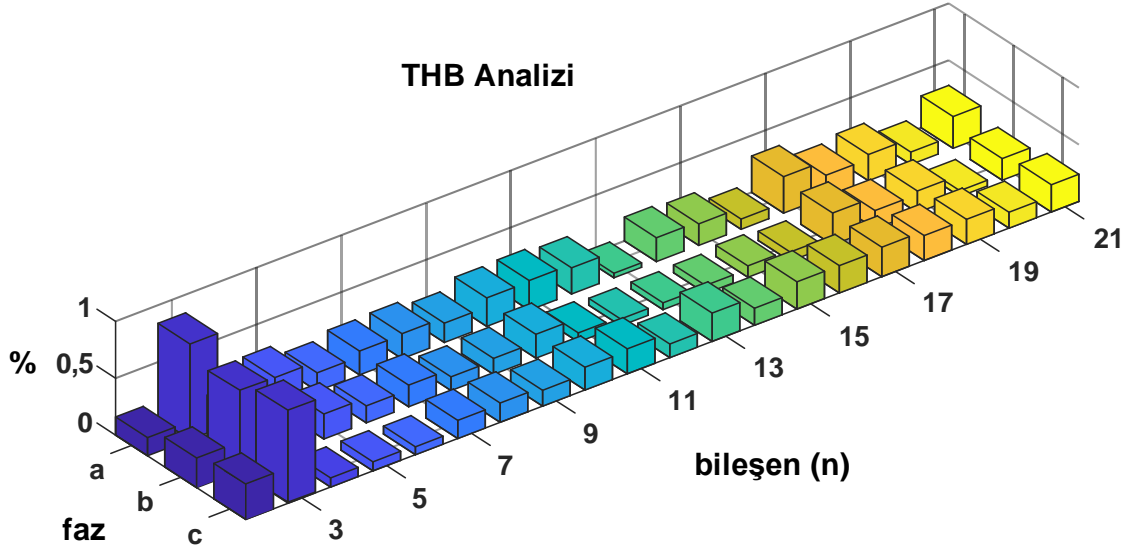
	Şebeke Akımları					
	Geleneksel Yöntem			Önerilen Yöntem		
	Faz A	Faz B	Faz C	Faz A	Faz B	Faz C
Durum 1	48,8 A	43,9 A	35,7 A	42,7 A	42,9 A	43,4 A
Durum 2	43,2 A	37,1 A	28,8 A	35,8 A	35,6 A	35,8 A
Durum 3	39,8 A	34,2 A	27,2 A	32,2 A	32,6 A	32,7 A
Durum 4	43,4 A	36,8 A	28,8 A	36,5 A	36,9 A	36,8 A

Dengesiz bir durumda elektriksel sinyaller, pozitif bileşene ek olarak negatif / sıfır sıra bileşenlerinden oluşmaktadır. Simetrik bileşenlerde, üç fazlı sinyaller için negatif sıra bileşenlerinin büyüklükleri aynıdır, ancak aralarında 120 derecelik faz farklılıkları bulunmaktadır. Bununla birlikte, sıfır bileşen değerleri tüm fazlar için aynıdır. Bu bölümde, geleneksel / önerilen yöntemle şebeke akımında görülen negatif bileşen (sadece faz a için) ve sıfır bileşen dalga-formları Şekil 4.13'de sunulmaktadır. Sonuçlarda gösterildiği gibi, şebeke akımları negatif ve sıfır bileşenlerine sahiptir. Negatif ve sıfır bileşenlerin değerleri klasik yöntem ile incelendiğinde sırasıyla 5 A ve 4 A olarak ölçülmektedir. Geleneksel yöntemin aksine, önerilen yöntem ise negatif / sıfır bileşen akımlarını 0,3 A'den düşük değerlere indirmektedir.

Negatif / sıfır bileşen akım bileşenlerinin azaltılmasının yanında üç faz şebeke akımları için THB analizi yapılmıştır. Analize göre şebeke akımlarının THB değerleri, faz a, faz b ve faz c için % 1,47, % 1,35 ve % 1,39 olarak görülmektedir. IEEE 519 standartlarında tanımlanan güç kalite standartlarından düşük olarak elde edilen bu değerler, harmonik analize göre geliştirilmiş yöntemin geçerliliğini göstermektedir. Her faz için yüzde cinsinden THB değerleri Şekil 4.14'de verilmektedir. Fazlara ait harmonik bileşen değerleri ayrıca Çizelge 4.6'da verilmektedir.



Şekil 4.13. Dengesiz yükler altında klasik/önerilen yöntem tabanlı hibrit sistemin şebeke tarafında görülen negatif / sıfır bileşen akım dalga formları



Şekil 4.14. Dengesiz yükler altında şebeke akımlarının 21. harmoniğe kadar THB analizi

Çizelge 4.6. Faz dengeleme yönteminde sistem akımlarının harmonik bileşen değerleri

Sıra	Fazlar			Sıra	Fazlar		
	Faz A	Faz B	Faz C		Faz A	Faz B	Faz C
2. bileşen	0,12	0,18	0,21	12. bileşen	0,28	0,09	0,22
3. bileşen	0,91	0,84	0,87	13. bileşen	0,05	0,11	0,37
4. bileşen	0,09	0,08	0,06	14. bileşen	0,29	0,12	0,24
5. bileşen	0,32	0,29	0,16	15. bileşen	0,26	0,15	0,41
6. bileşen	0,27	0,26	0,19	16. bileşen	0,18	0,21	0,44
7. bileşen	0,26	0,27	0,28	17. bileşen	0,45	0,44	0,44
8. bileşen	0,29	0,24	0,30	18. bileşen	0,28	0,31	0,32
9. bileşen	0,21	0,24	0,27	19. bileşen	0,29	0,29	0,32
10. bileşen	0,27	0,26	0,29	20. bileşen	0,14	0,12	0,19
11. bileşen	0,32	0,16	0,37	21. bileşen	0,33	0,28	0,34

4.5. Tartışma

Şebeke sistemlerine bağlı dengesiz yükler şebeke tarafındaki güç dengesini bozarak şebeke akımlarında negatif ve sıfır bileşen akım değerlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu tez çalışmasında, şebekeye bağlı PV/FC tabanlı hibrit enerji sistemi için geliştirilmiş bir faz dengeleme yöntemi sunulmuş ve benzetim sonuçları bu kısımda verilmiştir. Sunulan yöntem, dengesiz akım koşulları altında her faz için ayrı referanslar oluşturmak üzere kurgulanmıştır. Bunun için, mevcut çalışma abc / dq düzlem yerine katlı $\alpha\beta$ / dq düzlemine

dayalı olarak oluşturulmuştur. Ayrıca, önerilen yöntem, şebeke tarafında negatif ve sıfır sıra bileşenlerinin dengelenmesini sağlamak için üç fazlı üç telli evirici yerine tam köprü eviriciler üzerinde test edilmektedir. Sorunsuz bir çalışma için kontrol yapısı aktif / reaktif güç kontrolü, DA-bağ kontrolü ve faz dengeleme kontrolünden oluşmuştur. Sunulan yöntemin etkinliğini göstermek için tasarlanan sistem Simulink modelleme programında performans sonuçları alınmıştır. Tasarlanan şebekeye bağlı hibrit enerji sisteminde PV panel farklı ışımaya, yakıt hücresi ise farklı sıcaklık çalışma koşulları altında çalıştırılmıştır. Bu yolla, farklı güç değerlerine sahip dört örnekleme durumu sunulmaktadır. Performans sonuçları, sistemin şebeke tarafında güç eşitliliğini sağlamak için hibrit enerji sisteminden şebekelere / yüklere kontrollü güç sağlandığını göstermektedir. Ayrıca, sonuçlar dengesiz akımların şebeke tarafında dengelendiğini göstermektedir. Şebeke akımlarındaki negatif ve sıfır sıra bileşenleri önemli ölçüde azaltılmaktadır. Ek olarak, önerilen yöntemin geçerliliğini doğrulamak için enjekte edilen akımların harmonik analizi verilmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışması, şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemlerinde dengesiz yüklerin meydana getirdiği etkileri ve kompanze edilmiş performans sonuçlarını göstermektedir. Dengeli üç faz sistemlerde, simetrik bileşenler metodu uygulandığında sistemde sadece pozitif bileşen akımları görülmektedir. Bununla birlikte, dengesiz bir sistemde pozitif bileşene ek olarak negatif ve sıfır bileşenler de görülebilmektedir. Geleneksel bir şebekeye bağlı üç fazlı bir sistemde, eviricinin ürettiği akımlar dengeli olup negatif / sıfır bileşen değerleri oluşmamaktadır. Bununla birlikte, sistemde bulunan dengesiz yükler negatif ve sıfır bileşen akımları oluşturmaktadır. Bu durum şebeke tarafındaki akım bileşenleri dengesini bozarak istenmeyen bileşenlerin görülmesine sebep olacaktır. Negatif / sıfır sıra bileşen akımları makine sıcaklığının artmasına ve devre kesicilerin gereksiz açılması gibi problemlere neden olmaktadır.

Enerji üretim kaynaklarından elektrik şebekelerine / yüklere doğru güç akışı kontrolü, evirici yolu ile sağlanmaktadır. Enerji kaynaklarından elde edilen güç, evirici kısmı ile senkronize edilir ve güç akışı kontrolcüsü tarafından elektrik şebekelerine verimli bir şekilde alternatif güç olarak aktarılır. Düzgün çalışma için şebeke eviricisi (1) şebeke senkronizasyonu ile güç faktörü, (2) aktif / reaktif gücün kontrolü, (3) DA-bağ gerilim kontrolünün denetlenmesini ve (4) tüm fazlardaki güç akışının dengelenmesini sağlamalıdır.

Tasarlanmış hibrit enerji topolojisinde enerji üretim birimi PV panel ve yakıt hücresi enerji ünitelerinden oluşmaktadır. Önerilen sistem, dengeli şebeke gerilimleri altındaki dengesiz hassas (dirençli) yüklere bağlanmaktadır. Ayrıca tam köprülü evirici kullanılarak inşa edilerek, üç adet tek fazlı izolasyon transformatorü ile şebekeye bağlanmaktadır. Sistem, sunulan kontrol stratejisi ile her fazı ayrı ayrı kontrol etmeyi önermektedir. Önerilen sistemde, yük olarak kullanılan rezistansların empedans büyüklükleri birbirinden farklı değerlerdedir. Bu durum, dengeli bir güç üreten hibrit enerji sistemlerinde kaynak tarafındaki elektriksel akım değerlerinin dengesizleşmesine sebep olmaktadır. Şebeke sistemlerine bağlı dengesiz yükler, şebeke tarafındaki güç dengesini bozar ve şebeke akımlarında negatif / sıfır akım bileşenlerine neden olmaktadır. Bu amaçla, şebeke evirici arayüzlü hibrit enerji sistemi için geliştirilmiş faz dengeleme yöntemi bu çalışmada

sunulmuştur. Sunulan yöntem, dengesiz akım koşulları altında her faz için ayrı referanslar oluşturmak üzere oluşturulmaktadır. Bunun için, mevcut çalışma abc / dq referans düzlemi yerine birden çok $\alpha\beta$ / dq yöntemine dayalı olarak oluşturulmuştur. Ayrıca önerilen yöntem ile birlikte şebeke tarafında negatif ve sıfır akım bileşen değerlerinin dengelenmesini sağlamak için üç fazlı üç telli eviriciler yerine tam köprü eviriciler kullanılmaktadır. Sorunsuz bir çalışma için kontrol yöntemi aktif / reaktif güç kontrolü, DA-bağ gerilimi kontrolü ve faz dengeleme denetiminden oluşmaktadır.

Sunulan yöntemin etkinliğini göstermek için, sistem bir Simulink modelleme programında tasarlanmış ve farklı örnekleme durumları için performans sonuçları alınmıştır. Şebekeye bağlı hibrit enerji sisteminde PV panel ve yakıt hücresi farklı ışınlama / sıcaklık çalışma koşullarına göre tasarlanarak sonuçlar alınmıştır. Bu yolla, farklı güç değerlerine sahip dört durum altında benzetim ve modelleme çalışmaları sunulmaktadır. Benzetim/modelleme çalışmaları, sistemin şebeke tarafında güç kararlılığını sağlamak için kontrollü güçleri şebekelere/yüklere aktardığını göstermektedir. Ayrıca, sonuçlar dengesiz akımların şebeke tarafında dengelendiğini göstermektedir. Şebeke akımlarındaki negatif ve sıfır akım bileşenleri önemli ölçüde azaltılmaktadır. Önerilen yöntemin geçerliliği ayrıca şebeke akımlarının harmonik analizi ile doğrulanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Redko, A., Redko, O., and DiPippo, R. (2020). Hybrid systems with renewable energy sources. *Low-Temperature Energy Systems with Applications of Renewable Energy*: Academic Press, 289-328.
2. Al-Shetwi, A. Q., Hannan, M. A., Jern, K. P., Mansur, M., and Mahlia, T. M. I. (2020). Grid-connected renewable energy sources: Review of the recent integration requirements and control methods. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119831.
3. Wang, J. and Yin, Y. (2018). Fermentative hydrogen production using various biomass-based materials as feedstock. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 284-306.
4. Cicia, G., Cembalo, L., Del Giudice, T., and Palladino, A. (2012). Fossil energy versus nuclear, wind, solar and agricultural biomass: Insights from an Italian national survey. *Energy Policy*, 42, 59-66.
5. Sanajaoba, S. (2019). Optimal sizing of off-grid hybrid energy system based on minimum cost of energy and reliability criteria using firefly algorithm. *Solar Energy*, 188, 655-666.
6. Lian, J., Zhang, Y., Ma, C., Yang, Y., and Chaima, E. (2019). A review on recent sizing methodologies of hybrid renewable energy systems. *Energy Conversion and Management*, 199, 112027.
7. Gharibi, M. and Askarzadeh, A. (2019). Size and power exchange optimization of a grid-connected diesel generator-photovoltaic-fuel cell hybrid energy system considering reliability, cost and renewability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(47), 25428-25441.
8. Lingamuthu, R. and Mariappan, R. (2019). Power flow control of grid connected hybrid renewable energy system using hybrid controller with pumped storage. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(7), 3790-3802.
9. Shayestegan, M., Shakeri, M., Abunima, H., Reza, S. M. S., Akhtaruzzaman, M., Bais, B., *et al.* (2018). An overview on prospects of new generation single-phase transformerless inverters for grid-connected photovoltaic (PV) systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 515-530.
10. Twaha, S. and Ramli, M. A. M. (2018). A review of optimization approaches for hybrid distributed energy generation systems: Off-grid and grid-connected systems. *Sustainable Cities and Society*, 41, 320-331.
11. Ghenai, C. and Bettayeb, M. (2019). Grid-Tied Solar PV/Fuel Cell Hybrid Power System for University Building. *Energy Procedia*, 159, 96-103.
12. García-Triviño, P., Fernández-Ramírez, L. M., Gil-Mena, A. J., Llorens-Iborra, F., García-Vázquez, C. A., and Jurado, F. (2016). Optimized operation combining costs, efficiency and lifetime of a hybrid renewable energy system with energy storage by

- battery and hydrogen in grid-connected applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(48), 23132-23144.
13. Ortiz, L., Orizondo, R., Águila, A., González, J. W., López, G. J., and Isaac, I. (2019). Hybrid AC/DC microgrid test system simulation: grid-connected mode. *Heliyon*, 5(12), e02862.
 14. Dong, X., Guan, E., Jing, L., Wang, H., and Mirsaiedi, S. (2020). Simulation and analysis of cascading faults in hybrid AC/DC power grids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 115, 105492.
 15. El-Zonkoly, A. (2014). Optimal placement and schedule of multiple grid connected hybrid energy systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 61, 239-247.
 16. Aygen, M. S. and Inci, M. (2019). Performance Results of Photovoltaic/Fuel Cell Based Hybrid Energy System under Variable Conditions. *2019 4th International Conference on Power Electronics and their Applications (ICPEA)*, pp. 1-6.
 17. İnci, M. and Türksöy, Ö. (2019). Review of fuel cells to grid interface: Configurations, technical challenges and trends. *Journal of Cleaner Production*, 213, 1353-1370.
 18. Inci, M. (2019). Design and Analysis of Dual Level Boost Converter Based Transformerless Grid Connected PV System for Residential Applications. *2019 4th International Conference on Power Electronics and their Applications (ICPEA)*, pp. 1-6.
 19. García, P., García, C. A., Fernández, L. M., Llorens, F., and Jurado, F. (2014). ANFIS-Based Control of a Grid-Connected Hybrid System Integrating Renewable Energies, Hydrogen and Batteries. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1107-1117.
 20. Bornapour, M., Hooshmand, R. A., Khodabakhshian, A., and Parastegari, M. (2016). Optimal coordinated scheduling of combined heat and power fuel cell, wind, and photovoltaic units in micro grids considering uncertainties. *Energy*, 117, 176-189.
 21. Sharma, R. and Suhag, S. (2018). Power Quality and Stability Improvement of Hybrid Energy System Under Weak Grid Environment. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(6), 3065-3081.
 22. Abdin, Z. and Khalilpour, K. R. (2019). Chapter 4 - Single and Polystorage Technologies for Renewable-Based Hybrid Energy Systems. in *Polygeneration with Polystorage for Chemical and Energy Hubs*, K. R. Khalilpour, Ed.: Academic Press, 77-131.
 23. Fathima, A. H. and Palanisamy, K. (2018). Renewable systems and energy storages for hybrid systems. in *Hybrid-Renewable Energy Systems in Microgrids*, A. H. Fathima, N. Prabakaran, K. Palanisamy, A. Kalam, S. Mekhilef, and J. J. Justo, Eds.: Woodhead Publishing, 147-164.

24. Athari, H., Niroomand, M., and Ataei, M. (2017). Review and Classification of Control Systems in Grid-tied Inverters. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 72, 1167-1176.
25. Pattnaik, M. and Kastha, D. (2013). Unbalance and harmonic voltage compensation for a stand-alone variable speed constant frequency double-output induction generator supplying non-linear and unbalanced loads. *IET Electric Power Applications*, 7(1), 27-38.
26. Zhou, Y. J. and Nian, H. (2015). Zero-Sequence Current Suppression Strategy of Open-Winding PMSG System With Common DC Bus Based on Zero Vector Redistribution. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(6), 3399-3408.
27. Çelik, D., Meral, M. E., and Inci, M. (2019). Virtual Park-based control strategy for grid-connected inverter interfaced renewable energy sources. *IET Renewable Power Generation*, 13(15), 2840-2852.
28. Vainshtein, R. A., Kolomiets, N. V., and Shestakova, V. V. (2016). The impact of load, comprising asynchronous motors, on the negative-sequence currents in the generator circuit in unbalanced conditions. *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, pp. 1-4.
29. Ren, H. B., Wu, Q., Gao, W. J., and Zhou, W. S. (2016). Optimal operation of a grid-connected hybrid PV/fuel cell/battery energy system for residential applications. *Energy*, 113, 702-712.
30. Belfedhal, S. A., Berkouk, E. L. M., and Messlem, Y. (2019). Analysis of grid connected hybrid renewable energy system. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 11(1)
31. Maleki, A., Hafeznia, H., Rosen, M. A., and Pourfayaz, F. (2017). Optimization of a grid-connected hybrid solar-wind-hydrogen CHP system for residential applications by efficient metaheuristic approaches. *Applied Thermal Engineering*, 123, 1263-1277.
32. Ramli, M. A. M., Bouchekara, H. R. E. H., and Alghamdi, A. S. (2018). Optimal sizing of PV/wind/diesel hybrid microgrid system using multi-objective self-adaptive differential evolution algorithm. *Renewable Energy*, 121, 400-411.
33. Kim, S. K., Jeon, J. H., Cho, C. H., Ahn, J. B., and Kwon, S. H. (2008). Dynamic modeling and control of a grid-connected hybrid generation system with versatile power transfer. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(4), 1677-1688.
34. Basaran, K., Cetin, N. S., and Borekci, S. (2017). Energy management for on-grid and off-grid wind/PV and battery hybrid systems. *IET Renewable Power Generation*, 11(5), 642-649.
35. Housseini, B., Okou, A. F., and Beguenane, R. (2018). Robust Nonlinear Controller Design for On-Grid/Off-Grid Wind Energy Battery-Storage System. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(6), 5588-5598.

36. Yi, Z. H., Dong, W. X., and Etemadi, A. H. (2018). A Unified Control and Power Management Scheme for PV-Battery-Based Hybrid Microgrids for Both Grid-Connected and Islanded Modes. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(6), 5975-5985.
37. Celik, D. and Meral, M. E. (2019). A flexible control strategy with overcurrent limitation in distributed generation systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 104, 456-471.
38. Patra, S., Ankur, Narayana, M., Mohanty, S. R., and Kishor, N. (2015). Power Quality Improvement in Grid-connected Photovoltaic–Fuel Cell Based Hybrid System Using Robust Maximum Power Point Tracking Controller. *Electric Power Components and Systems*, 43(20), 2235-2250.
39. Feng, W., Sun, K., Guan, Y., Guerrero, J. M., and Xiao, X. (2015). A harmonic current suppression control strategy for droop-controlled inverter connected to the distorted grid. *2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, pp. 525-532.
40. Fathabadi, H. (2018). Utilizing solar and wind energy in plug-in hybrid electric vehicles. *Energy Conversion and Management*, 156, 317-328.
41. Liao, Y. H. and Lai, C. M. (2011). Newly-Constructed Simplified Single-Phase Multistring Multilevel Inverter Topology for Distributed Energy Resources. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(9), 2386-2392.
42. Meral, M. E. and Celik, D. (2018). Comparison of SRF/PI- and STRF/PR-based power controllers for grid-tied distributed generation systems. *Electrical Engineering*, 100(2), 633-643.
43. Bayrak, G. and Cebeci, M. (2014). Grid connected fuel cell and PV hybrid power generating system design with Matlab Simulink. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(16), 8803-8812.
44. Anwar, S., Elrayyah, A., and Sozer, Y. (2015). Efficient Single-Phase Harmonics Elimination Method for Microgrid Operations. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(4), 3394-3403.
45. Micallef, A., Apap, M., Spiteri-Staines, C., and Guerrero, J. M. (2017). Mitigation of Harmonics in Grid-Connected and Islanded Microgrids via Virtual Admittances and Impedances. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(2), 651-661.
46. Singaravel, M. M. R. and Daniel, S. A. (2015). MPPT With Single DC–DC Converter and Inverter for Grid-Connected Hybrid Wind-Driven PMSG–PV System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(8), 4849-4857.
47. Celik, D. and Meral, M. E. (2019). A novel control strategy for grid connected distributed generation system to maximize power delivery capability. *Energy*, 186
48. Celik, D. and Meral, M. E. (2019). Current control based power management strategy for distributed power generation system. *Control Engineering Practice*, 82, 72-85.

49. Vandoorn, T. L., Van de Vyver, J., Meersman, B., Zwaenepoel, B., and Vandeveld, L. (2015). Phase unbalance mitigation by three-phase damping voltage-based droop controllers in microgrids. *Electric Power Systems Research*, 127, 230-239.
50. Inci, M., Demirdelen, T., Bayindir, K. Ç., and Tümay, M. (2015). The Analysis and Performance Results of Bidirectional DC-DC Converter Based Dynamic Voltage Restorer under Voltage Sag/Swell Conditions. *2015 IEEE European Modelling Symposium (EMS)*, pp. 254-259.
51. Guilbert, D., Gaillard, A., N'Diaye, A., and Djerdir, A. (2016). Power switch failures tolerance and remedial strategies of a 4-leg floating interleaved DC/DC boost converter for photovoltaic/fuel cell applications. *Renewable Energy*, 90, 14-27.
52. G, D. and Singh, S. N. (2017). Selection of non-isolated DC-DC converters for solar photovoltaic system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1230-1247.
53. Sikkabut, S., Mungporn, P., Ekkaravarodome, C., Bizon, N., Tricoli, P., Nahid-Mobarakeh, B., *et al.* (2016). Control of High-Energy High-Power Densities Storage Devices by Li-ion Battery and Supercapacitor for Fuel Cell/Photovoltaic Hybrid Power Plant for Autonomous System Applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 52(5), 4395-4407.
54. Wu, J.-C., Wu, K.-D., Jou, H.-L., Wu, Z.-H., and Chang, S.-K. (2013). Novel power electronic interface for grid-connected fuel cell power generation system. *Energy Conversion and Management*, 71, 227-234.
55. Wang, B., Ma, G., Xu, D., Zhang, L., and Zhou, J. (2018). Switching sliding-mode control strategy based on multi-type restrictive condition for voltage control of buck converter in auxiliary energy source. *Applied Energy*, 228, 1373-1384.
56. Wang, Z., Li, S., Yang, J., and Li, Q. (2018). Current sensorless finite-time control for buck converters with time-varying disturbances. *Control Engineering Practice*, 77, 127-137.
57. Amir, A., Amir, A., Che, H. S., Elkhateb, A., and Rahim, N. A. (2019). Comparative analysis of high voltage gain DC-DC converter topologies for photovoltaic systems. *Renewable Energy*, 136, 1147-1163.
58. Ahmed, O. A. and Bleijs, J. A. M. (2015). An overview of DC-DC converter topologies for fuel cell-ultracapacitor hybrid distribution system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 609-626.
59. Sivakumar, S., Sathik, M. J., Manoj, P. S., and Sundararajan, G. (2016). An assessment on performance of DC-DC converters for renewable energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1475-1485.
60. Zimmermann, T., Keil, P., Hofmann, M., Horsche, M. F., Pichlmaier, S., and Jossen, A. (2016). Review of system topologies for hybrid electrical energy storage systems. *Journal of Energy Storage*, 8, 78-90.
61. İnci, M., Büyük, M., Tan, A., Bayındır, K. Ç., and Tümay, M. (2017). Survey of inverter topologies implemented in dynamic voltage restorers. *2017 4th International*

- Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, pp. 1141-1146.
62. Faraji, F., Mousavi G, S. M., Hajirayat, A., Birjandi, A. A. M., and Al-Haddad, K. (2017). Single-stage single-phase three-level neutral-point-clamped transformerless grid-connected photovoltaic inverters: Topology review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 197-214.
 63. Jana, J., Saha, H., and Das Bhattacharya, K. (2017). A review of inverter topologies for single-phase grid-connected photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1256-1270.
 64. Mohd.Ali, J. S. and Krishnaswamy, V. (2018). An assessment of recent multilevel inverter topologies with reduced power electronics components for renewable applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3379-3399.
 65. Kala, P. and Arora, S. (2017). A comprehensive study of classical and hybrid multilevel inverter topologies for renewable energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 905-931.
 66. Prabakaran, N. and Palanisamy, K. (2017). A comprehensive review on reduced switch multilevel inverter topologies, modulation techniques and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1248-1282.
 67. Buyuk, M., Inci, M., and Tumay, M. (2016). Performance evaluation of LLCL filter for active power filter. *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, pp. 1-4.
 68. Büyük, M., Tan, A., İnci, M., and Tümay, M. (2017). A notch filter based active damping of llcl filter in shunt active power filter. *2017 International Symposium on Power Electronics (Ee)*, pp. 1-6.
 69. Büyük, M., Tan, A., Tümay, M., and Bayındır, K. Ç. (2016). Topologies, generalized designs, passive and active damping methods of switching ripple filters for voltage source inverter: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 46-69.
 70. Abdelshafy, A. M., Jurasz, J., Hassan, H., and Mohamed, A. M. (2020). Optimized energy management strategy for grid connected double storage (pumped storage-battery) system powered by renewable energy resources. *Energy*, 192, 116615.
 71. Sharma, B., Dahiya, R., and Nakka, J. (2019). Effective grid connected power injection scheme using multilevel inverter based hybrid wind solar energy conversion system. *Electric Power Systems Research*, 171, 1-14.
 72. García-Triviño, P., Gil-Mena, A. J., Llorens-Iborra, F., García-Vázquez, C. A., Fernández-Ramírez, L. M., and Jurado, F. (2015). Power control based on particle swarm optimization of grid-connected inverter for hybrid renewable energy system. *Energy Conversion and Management*, 91, 83-92.

73. Lakshmi, M. and Hemamalini, S. (2018). Decoupled control of grid connected photovoltaic system using fractional order controller. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 927-937.
74. Yang, B., Yu, T., Shu, H. C., Zhu, D. N., An, N., Sang, Y. Y., *et al.* (2018). Perturbation observer based fractional-order sliding-mode controller for MPPT of grid-connected PV inverters: Design and real-time implementation. *Control Engineering Practice*, 79, 105-125.
75. İnci, M. (2020). Interline fuel cell (I-FC) system with dual-functional control capability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(1), 891-903.
76. Chen, W. R., Han, Y., Li, Q., Liu, Z. X., and Peng, F. (2014). Design of proton exchange membrane fuel cell grid-connected system based on resonant current controller. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(26), 14402-14410.
77. Hajizadeh, A., Golkar, M. A., and Feliachi, A. (2010). Voltage Control and Active Power Management of Hybrid Fuel-Cell/Energy-Storage Power Conversion System Under Unbalanced Voltage Sag Conditions. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 25(4), 1195-1208.
78. Lakshmi, M. and Hemamalini, S. (2019). Coordinated control of MPPT and voltage regulation using single-stage high gain DC–DC converter in a grid-connected PV system. *Electric Power Systems Research*, 169, 65-73.
79. Zhang, Y., Roes, M. G. L., Hendrix, M. A. M., and Duarte, J. L. (2020). Symmetric-component decoupled control of grid-connected inverters for voltage unbalance correction and harmonic compensation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 115, 105490.
80. Büyük, M., İnci, M., Tan, A., and Tümay, M. (2019). Improved instantaneous power theory based current harmonic extraction for unbalanced electrical grid conditions. *Electric Power Systems Research*, 177, 106014.
81. Zeb, K., Uddin, W., Khan, Muhammad A., Ali, Z., Ali, M. U., Christofides, N., *et al.* (2018). A comprehensive review on inverter topologies and control strategies for grid connected photovoltaic system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94
82. İnci, M., Bayındır, K. Ç., and Tümay, M. (2016). Improved Synchronous Reference Frame based controller method for multifunctional compensation. *Electric Power Systems Research*, 141, 500-509.
83. Ankit, Sahoo, S. K., Sukchai, S., and Yanine, F. F. (2018). Review and comparative study of single-stage inverters for a PV system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 962-986.
84. Kang, F.-s., Park, S.-J., Cho, S. E., and Kim, J.-M. (2005). Photovoltaic power interface circuit incorporated with a buck-boost converter and a full-bridge inverter. *Applied Energy*, 82(3), 266-283.

85. Turksoy, A., Hames, Y., Teke, A., and Latran, M. B. (2018). A novel adaptive switching method to reduce DC-Link capacitor ripple in PV based grid-connected inverter. *Solar Energy*, 173, 702-714.
86. Zakzouk, N. E., Abdelsalam, A. K., Helal, A. A., and Williams, B. W. (2017). PV Single-Phase Grid-Connected Converter: DC-Link Voltage Sensorless Prospective. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 5(1), 526-546.
87. Dang, C., Tong, X., and Song, W. (2020). Sliding-Mode Control in dq-Frame for a Three-Phase Grid-Connected Inverter with LCL-Filter. *Journal of the Franklin Institute*,
88. Inci, M. (2019). Design and Modeling of Single Phase Grid Connected Fuel Cell System. *2019 4th International Conference on Power Electronics and their Applications (ICPEA)*, pp. 1-6.
89. Al-Shetwi, A. Q., Sujod, M. Z., and Blaabjerg, F. (2018). Low voltage ride-through capability control for single-stage inverter-based grid-connected photovoltaic power plant. *Solar Energy*, 159, 665-681.
90. Pires, V. F., Cordeiro, A., Foito, D., and Silva, J. F. (2019). Three-phase multilevel inverter for grid-connected distributed photovoltaic systems based in three three-phase two-level inverters. *Solar Energy*, 185, 525-525.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYGEN, Mehmet Selim
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 19.11.1989, Elazığ
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (506) 551 23 23
 Faks : -
 e-mail : msaaygen@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Devam Ediyor.
Lisans	Çukurova Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2012
Lise	Adana Sunar Nuri Çomu Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	EMNİYET GENEL MÜDÜRLÜĞÜ	Memur
2013-2016	SUMITOMO RUBBER AKO	Mühendis
2012-2013	TÜRK SİLAHLI KUVVETLERİ	Yedek Subay

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Aygen, M.S., İnci, M., "Performance Results of Photovoltaic/Fuel Cell Based Hybrid Energy System under Variable Conditions", *4th International Conference on Power Electronics and their Applications (IEEE - ICPEA 2019)*, Elazığ, Türkiye, pp. 1-6 , 25-27 Eylül, 2019.

DİZİN

A

Akış diyagramı · 26,27,33
 Alternatif enerji · 1
 Araştırma · 40

B

Batarya · 8
 Benzetim · 44,47,53,57,59

Ç

Çizelge · 8,9,30,31,41,42,43,44,
 48,54,56
 Çıkış filtresi · 16,22

D

Dengesiz yük · 4, 5,6,7, 30,40,
 49,50,53,56,57
 Dönüştürücü · 4,8,10,12,13,14,
 22,25,26,28,35,40
 Dizin · 69
 Denetim şeması · 15

E

Enerji · 1,2,3,7,10,22,23,29,40
 Entegrasyon · 3,6,7,10,12,28
 Evirici · 28,29,30

F

Filtre · 8,16

G

Güç akışı · 18

H

Harmonik · 5,9,17,56
 Hibrit sistem · 9,14,43,55

İ

İzolasyon · 14,23,58

K

Kontrol · 4,5,8,10,12,18,19,20,
 21,26,29,31,33,34,35,37,38
 Kaynaklar · 60,61,62,63,64,65,
 66, 67

L

Literatür · 1,7,16

M

Materyal ve yöntem · 22

N

Negatif bileşen akımı · 32,45,54,
 55

O

Optimizasyon · 4,6,8,9,26,44

Ö

Özgeçmiş · 68

P

Panel · 1,4,5,6,7, 10,12,23,26,34,
 40,41,42,44,46,47,48,51,57
 Program · 5,40,41,57,59

R

Rezistif yük · 30,50

S

Senkron referans düzlem · 18
 Sıfır bileşen akımı · 6,9,10,32,40,
 54,55,56,57,58,59
 Sonuçlar · 58

Ş

Şebeke · 2,3,4,5,21,22,30,31,32,
 34,40,46,48,49,50,53,54,55,
 56,57,58

T

Tam köprü evirici · 6,28,29,33,57
 Toplam harmonik bozulma · 5,56
 Transformatör · 10,13,18,22,23

Ü

Üretim · 1,2,3,4,7,18,22,23,24,
 30,31,34,43,58

Y

Yakıt hücresi · 8,10,13,15,17,22,
 23,24,25,34,40,42,43,47,57
 Yük grubu · 30



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

