

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK (FV) SİSTEMLER İÇİN MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI
İZLEME (MGNI) YÖNTEMİ GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULANMASI**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN: Hasan ÜZMUŞ
DANIŞMAN: Prof. Dr. Naci GENÇ

VAN-2022

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK (FV) SİSTEMLER İÇİN MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI
İZLEME (MGNI) YÖNTEMİ GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULANMASI**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN: Hasan ÜZMUŞ

VAN-2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Naci GENÇ danışmanlığında, Hasan ÜZMUŞ tarafından sunulan “**Fotovoltaik (FV) Sistemler İçin Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNI) Yöntemi Geliştirilmesi ve Uygulanması**” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 04/11/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile başarılı bulunmuş ve **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Nihat İNANÇ

İmza:

Danışman: Prof. Dr. Naci GENÇ

İmza:

Üye: Prof. Dr. Remzi TUNTAŞ

İmza:

Üye: Doç. Dr. Özkan ATAN

İmza:

Üye: Doç. Dr. Süleyman Sungur TEZCAN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Harun AKKUŞ
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İmza
Hasan ÜZMÜŞ

ÖZET

FOTOVOLTAİK (FV) SİSTEMLER İÇİN MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME (MGNİ) YÖNTEMİ GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULANMASI

ÜZMUŞ, Hasan

Doktora Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Naci GENÇ

Kasım 2022, 179 sayfa

Bu tez çalışmasında, fotovoltaik (FV) sistemlerde kullanılmak üzere yeni bir maksimum güç noktası izleme (MGNİ) kontrol yöntemi önerilmiştir. MGNİ kontrol yöntemi, verimi düşük olan FV panellerin üzerine düşen güneş ışınımından maksimum elektrik enerjisi üretmek için kullanılmaktadır. Klasik değiştir ve gözle (D&G) MGNİ kontrol yönteminde hem giriş akımı hem de giriş gerilimi örneklenmektedir. Bu tez çalışmasında, MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan yeni blok ile örneklenen giriş akımı kullanılarak giriş gerilimi hesaplanmıştır. Böylece, FV sistemlerde örnekleme giriş gerilimi ile yeni bir D&G MGNİ kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Ayrıca bu yöntem belirli aralıktaki giriş gerilimi ve çıkış gücü değişiminden bağımsız olarak istenilen DA bara gerilimini sağlamıştır.

Geliştirilen yeni D&G MGNİ kontrol yöntemi şebekeden bağımsız bir FV sisteme uygulanmıştır. Bu sistem, klasik yükselten DA/DA dönüştürücü ve sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SDGM) ile kontrol edilen LCL pasif filtreli tam köprü DA/AA eviriciden oluşmaktadır. Benzetim çalışmaları MATLAB/Simulink ortamında 2.5 kW'lık yük ve 48 V'luk batarya grubu için yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, TMS320F28379D DSP kartı ile 400 W'lık bir yük için yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda örneklenen ve hesaplanan giriş gerilimlerinin karşılaştırılabilmesi için Code Composer programı kullanılmıştır. Önerilen yöntem ile FV sistemler için daha küçük ebatlı ve toplam maliyeti daha az olan güç devreleri tasarlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Dönüştürücü, DSP, Evirici, Fotovoltaik, MGNİ.

ABSTRACT

IMPROVING AND APPLICATION OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) FOR PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEMS

ÜZMUŞ, Hasan

PhD. Thesis, Electrical-Electronics Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. Naci GENÇ

November 2022, 179 pages

In this thesis, a new maximum power point tracking (MPPT) control method has been proposed for photovoltaic (PV) systems. The MPPT control method is used to generate maximum electrical energy from solar irradiation falling on PV panels that have low efficiency. Both the input current and voltage are sampled for the conventional perturb and observation (P&O) MPPT control method. In this study, the input voltage was calculated by using the sampled input current via the new block designed in the MATLAB/Simulink environment. Thus, a new P&O MPPT control method has been developed with non-sampling input voltage for PV systems. In addition, this method provided the desired DC bus voltage regardless of the input voltage and output power variation in a particular range.

The proposed control method was applied to an off-grid PV system. This system consists of a conventional DC/DC boost converter and a full bridge DC/AC inverter with LCL passive filter controlled by sinusoidal pulse width modulation (SPWM). The system was simulated in MATLAB/Simulink environment for 2.5 kW load and 48 V battery group. The system was operated with TMS320F28379D DSP card on experimental setup for a load of 400 W. The Code Composer program was used to compare the sampled and calculated input voltages in the experimental studies. With the proposed method, power circuits with smaller dimensions and lower cost are designed for PV systems.

Keywords: Converter, DSP, Inverter, MPPT, Photovoltaic.

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, danışmanım sayın Prof. Dr. Naci GENÇ ile tez izleme komisyonun üyeleri sayın Doç. Dr. Özkan ATAN ve sayın Dr. Öğr. Üyesi Baran HEKİMOĞLU' na teşekkür ederim. Doktora eğitimim süresince bana desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Ali MAMİZADE' ye, Ramin RAJABİOUN' a, Öğr. Gör. M. Ali Çelik'e, Öğr. Gör. İbrahim Halil DİLBER' e, Öğr. Gör. Mehmet Can TANERİ' ye ve Öğr. Gör. Muhammed KARACA' ya teşekkür ederim. Değerli arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Doğan ÇELİK' e, Araş. Gör. Hasan HATAŞ' a, Araş. Gör. Dr. İshak PARLAR' a, Araş. Gör. Onur SİLAHTAR' a, Araş. Gör. Dr. Tahir YÜCEL' e ve Araş. Gör. Dr. Şehriban OĞUZ' a en içten dileklerimi sunup teşekkür ederim. Ayrıca değerli hocalarım Prof. Dr. M. Emin MERAL' e, Doç. Dr. M. Nuri ALMALI' ya, Doç. Dr. Muzaffer ATEŞ' e ve Doç. Dr. Bilal TÜTÜNCÜ' ye teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte her türlü kahrımı çeken ve desteğini esirgemeyen değerli eşime, anneme, babama, ablalarım ve çocuklarıma teşekkür ederim. Herkesten ve her şeyden önce bana bu günleri gösteren yüce ALLAH' a hamdüsenaıyla şükrederim.

2022

Hasan ÜZMUŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxi
EKLER DİZİNİ	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji Kaynakları	1
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	3
1.3. Güneş Enerjisi	5
1.4. Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNI) Yöntemi	6
1.5. Yükselten DA/DA Dönüştürücü	8
1.6. Tam Köprü DA/AA Evirici	9
1.7. Batarya ve Çift Yönlü DA/DA Dönüştürücü	10
1.8. Şebekeden Bağımsız (Off-Grid), Şebekeye Bağlı (On-Grid) ve Hibrit FV Sistemler	10
1.9. Dijital Sinyal İşleme	11
1.10. Tezin Amacı ve Hedefi	12
1.11. Tezin Organizasyonu	13
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27

3.1. Klasik Yükselten DA/DA Dönüştürücü Tasarımı ve Analizleri	27
3.1.1. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücü CCM analizi	28
3.1.2. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücü DCM analizi	35
3.2. Fotovoltaik (FV) Panelin Matematiksel Yapısı ve Analizi	38
3.3. İzole Tam Köprü Çift Yönlü (Bidirectional) DA/DA Dönüştürücü.....	44
3.3.1. İzole tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücü tasarımı	45
3.3.2. İzole tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücü için transformatör tasarımı	48
3.4. Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNİ).....	50
3.4.1. Örneklenmeden giriş geriliminin hesaplanması	52
3.4.2. Önerilen MGNİ kontrol yöntemi.....	56
3.5. Tam Köprü DA/AA Evirici Tasarımı.....	59
3.6. Tam Köprü DA/AA Evirici için Uygun Filtre Tasarımı	67
3.7. Kullanılan Kontrol Yöntemleri.....	74
3.7.1 MGNİ kontrol	74
3.7.2 PI kontrol	76
3.8. Batarya Grubu	78
3.9. TMS320F28379D DSP Kontrol Kartı.....	81
3.10. Önerilen Tüm Sistem.....	83
4. BULGULAR	87
4.1. Benzetim Çalışmaları ve Sonuçları	87
4.1.1. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresinde giriş geriliminin örneklenmeden hesaplanması için benzetim çalışması ve sonuçları.....	87
4.1.2. Önerilen MGNİ kontrol yönteminin şebekeden bağımsız bir FV sistem için benzetim çalışması ve sonuçları.....	92

4.1.3. Tam köprü DA/AA evirici için benzetim çalışması ve sonuçları.....	97
4.1.4. İzole tam köprü çift yönlü (Bidirectional) DA/DA dönüştürücü için benzetim çalışması ve sonuçları.....	108
4.1.5. Önerilen tüm sistem için benzetim çalışmaları ve sonuçları	117
4.1.5.1. Durum I için benzetim sonuçları	117
4.1.5.2. Durum II için benzetim sonuçları.....	121
4.1.5.3. Durum III için benzetim sonuçları.....	124
4.1.5.4. Durum IV için benzetim sonuçları	127
4.1.5.5. Durum V için benzetim sonuçları.....	131
4.1.5.6. Durum VI.....	134
4.1.5.7. Önerilen tüm sistemin güç kontrolü (power management) için benzetim çalışması ve sonuçları	135
4.2. Deneysel Çalışmalar ve Sonuçlar	139
4.2.1. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresinde giriş geriliminin örneklenmeden hesaplanması için deneysel çalışma ve sonuçları	140
4.2.2. Tam köprü DA/AA evirici için deneysel çalışma ve sonuçları	146
4.2.3. Önerilen tüm sistem için deneysel çalışma ve sonuçları	151
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	157
KAYNAKLAR.....	161
EKLER	173
ÖZ GEÇMİŞ.....	179

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. 2021 yılı lisanslı elektrik kurulu gücünün kaynak bazında dağılımı ve 2020 yılı ile karşılaştırılması (MW-%).....	3
Çizelge 1.2. Yenilenebilir enerji kaynakları ve elektrik enerjisine dönüşümleri.	4
Çizelge 1.3. Literatürde çalışılan MGNİ yöntemleri (Motahhir ve ark., 2020).	7
Çizelge 1.4. MGNİ yöntemleri ve özellikleri.	8
Çizelge 3.1. Önerilen DA/DA dönüştürücünün parametreleri ve değerleri.	35
Çizelge 3.2. Önerilen transformatörün parametreleri.	50
Çizelge 3.3. Tek fazlı tam köprü DA/AA evirici anahtarlama durumları.	62
Çizelge 3.4. LCL pasif filtre parametreleri ve değerleri.....	74
Çizelge 4.1. PI kontrolcü için Ziegler ve Nichols yöntemi ile elde edilen değerler.....	97
Çizelge 4.2. Önerilen PI kontrolcü için Kp ve Ki değerleri	97
Çizelge 4.3. Yüksletici durum için Kp ve Ki değerleri.	108
Çizelge 4.4. Düşürücü durum için Kp ve Ki değerleri	113
Çizelge 4.5. Deney düzeneğindeki önerilen dönüştürücünün parametreleri	142

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. 1990-2020 yılların arasında elektrik enerjisi kurulu gücünün değişimi (M Watt).....	1
Şekil 1.2. Enerji kaynaklarının genel sınıflandırması.	2
Şekil 1.3. Dijital sinyal işleme süreci.	11
Şekil 2.1. DA/DA dönüştürücüler.	18
Şekil 3.1. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresi.	27
Şekil 3.2. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücüde anahtarın a) iletimde b) kesimde olma durumu.	28
Şekil 3.3. (a) v/d and (b) v/v_G transfer fonksiyonlarının Bode diyagramları.	35
Şekil 3.4. DCM için V_L ve i_L değişimi..	36
Şekil 3.5. DCM için klasik yükselten DA/DA dönüştürücünün tüm durumları: a) L şarj olurken, b) L deşarj olurken ve c) L üzerinde akım yokken.....	36
Şekil 3.6. (a) FV panel ve (b) Güneş hücresi.....	39
Şekil 3.7. Tek diyotlu FV hücresi.....	40
Şekil 3.8. Sabit sıcaklıkta değişken ışınlımlar için FV panel karakteristiği.	42
Şekil 3.9. Sabit ışınlımda değişken sıcaklıklar için FV panel karakteristiği.	43
Şekil 3.10. Çift diyotlu FV hücresi.....	44
Şekil 3.11. İzole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücünün eşdeğer devresi.	46
Şekil 3.12. İzole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücünün düşürücü olarak çalıştığı devre şeması.	47
Şekil 3.13. İzole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücünün yükseltici olarak çalıştığı devre şeması.	47
Şekil 3.14. Örneklenmeden giriş geriliminin hesaplanabilmesi için kullanılan eşdeğer devre	53
Şekil 3.15. Q anahtarı iletimdeyken önerilen sistemin eşdeğer devresi.	53

Şekil	Sayfa
Şekil 3.16. Önerilen sistem için teorik dalga şekilleri.....	54
Şekil 3.17. Q anahtarı kesimdeyken önerilen sistemin eşdeğer devresi.....	54
Şekil 3.18. Giriş geriliminin hesaplandığı yeni bloğun iç yapısı.....	56
Şekil 3.19. Klasik D&G MGNİ kontrol algoritması.	57
Şekil 3.20. Yeni D&G MGNİ kontrol algoritması.	58
Şekil 3.21. Yeni MGNİ kontrol yönteminin uygulandığı sistemin eşdeğer devresi.	59
Şekil 3.22. DA/AA evirici blok diyagramı.....	60
Şekil 3.23. DA/AA eviricinin (a) giriş akımı, (b) çıkış gerilimi.	60
Şekil 3.24. Tek fazlı tam köprü DA/AA evirici devre şeması.....	61
Şekil 3.25. SDGM.	64
Şekil 3.26. L tipi pasif filtre.....	68
Şekil 3.27. LC tipi pasif filtre.	68
Şekil 3.28. LCL tipi pasif filtre.....	69
Şekil 3.29. LLCL tipi pasif filtre.	70
Şekil 3.30. P-V eğrisinin MGN.	75
Şekil 3.31. Yeni D&G MGNİ yönteminin çalışma prensibi.	76
Şekil 3.32. Oransal kontrol blok şeması.....	77
Şekil 3.33. İntegral kontrol blok şeması.....	77
Şekil 3.34. PI kontrol blok şeması.....	78
Şekil 3. 35. Tek yönlü batarya şarj ünitesi.	80
Şekil 3. 36. Tek yönlü batarya deşarj ünitesi.....	80
Şekil 3. 37. Çift yönlü batarya şarj/deşarj ünitesi.....	81
Şekil 3.38. TMS320F28379D DSP kontrol kartı.	82

Şekil	Sayfa
Şekil 3. 39. Önerilen tüm sistemin blok şeması.	83
Şekil 3.40. Önerilen tüm sistemin devre şeması.....	85
Şekil 4.1 Giriş geriliminin hesaplandığı yeni blok.	87
Şekil 4.2. Gerilimin hesaplanabilmesi için eşdeğer test devresi.....	88
Şekil 4.3. Test devresi için V_G , I_L ve d	89
Şekil 4.4. d görev çarpanının yükselen ve alçalan kenarları.....	89
Şekil 4.5. a) Yükselen ve alçalan kenarın zaman aralıkları (b) Anahtarın iletimde olduğu süre.	90
Şekil 4.6. Endüktans akımı (I_L).	90
Şekil 4.7. I_2 , I_1 ve ΔI akımları.....	91
Şekil 4.8. Giriş gerilimi (V_G), hesaplanan giriş gerilimi ($V_{\text{hesaplanan}}$).....	92
Şekil 4.9. Önerilen sistemin benzetim devresi.	93
Şekil 4.10. a) I_R , I_{FV} , V_{FV} ve P_{FV} , b) I_C , V_C ve P_C	94
Şekil 4.11. Ölçülen (V_{FV}) ve hesaplanan ($V_{\text{hesaplanan}}$) gerilimleri.....	94
Şekil 4. 12. (a) $V_C - V_{\text{hesaplanan}}$ (b) $I_{FV} - I_L - I_C$ and (c) $P_{FV} - P_C$	95
Şekil 4.13. FV sistem için giriş geriliminin hesaplanma süreci için benzetim sonucu. ..	96
Şekil 4.14. Tam köprü DA/AA eviricinin benzetimi için önerilen PI bloğu.....	98
Şekil 4. 15. Evirici için SDGM (SPWM) benzetim bloğu.	98
Şekil 4.16. Önerilen eviricinin devre şeması.....	99
Şekil 4.17. Farklı yükler için önerilen evirici ve kontrol yöntemi benzetim modeli.....	99
Şekil 4.18. Önerilen eviricinin giriş gerilimi (V_G).	100
Şekil 4.19. Önerilen evirici için farklı çıkış yükleri.	100
Şekil 4.20. Önerilen eviricinin farklı yükler için giriş akımı (I_G).....	101
Şekil 4.21. Önerilen eviricinin farklı yükler için filtrelenmemiş çıkış gerilimi.	101

Şekil	Sayfa
Şekil 4.22. Önerilen eviricinin farklı yükler için filtrelenmiş çıkış gerilimi (V_C).....	102
Şekil 4. 23. Önerilen eviricinin farklı yükler için filtrelenmiş çıkış akımı (I_C).....	102
Şekil 4.24. Önerilen eviricinin farklı yükler için çıkış geriliminin etkin değeri.	103
Şekil 4.25. Önerilen eviricinin farklı yükler için çıkış geriliminin THB.	103
Şekil 4.26. Farklı giriş gerilim için önerilen evirici ve kontrol yöntemi benzetim modeli.	104
Şekil 4.27. Önerilen evirici için farklı giriş gerilim (V_G) değerleri.....	104
Şekil 4.28. Önerilen evirici için farklı giriş akım (I_G) değerleri.....	105
Şekil 4.29. Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için filtrelenmemiş çıkış gerilimi.....	105
Şekil 4.30. Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için çıkış akımı (I_C).....	106
Şekil 4.31. Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için filtrelenmiş çıkış gerilimi (V_C).	106
Şekil 4.32. Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için çıkış gücü (P_C).	107
Şekil 4.33. Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için çıkış geriliminin etkin değeri.	107
Şekil 4.34. Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için çıkış geriliminin THB' si.	108
Şekil 4.35. Yükseltici durum için PI bloğu.	109
Şekil 4.36. Önerilen dönüştürücünün yükseltici durumu için PI kontrollü benzetimi. .	110
Şekil 4.37. Yükseltici durumunda 2 kW, 1kW ve 2.5kW'lık farklı yükler.....	110
Şekil 4.38. Yükseltici durumunda farklı yükler için çekilen akımlar.....	111
Şekil 4.39. Yükseltici durumunda farklı yükler için bara gerilimi.....	111
Şekil 4.40. Yükseltici durumunda farklı yükler için batarya grubundan çekilen güç. ...	112
Şekil 4.41. Yükseltici durumunda farklı yükler için batarya grubundan çekilen akım. ...	112
Şekil 4.42. Yükseltici durumunda farklı yükler için batarya grubunun genel durumu. ...	113

Şekil	Sayfa
Şekil 4.43. Düşürücü durum için PI bloğu.	114
Şekil 4.44. Önerilen dönüştürücünün düşürücü durumu için PI kontrollü benzetimi. ..	115
Şekil 4.45. Önerilen dönüştürücünün düşürücü durumu için sabit giriş gerilimi.	115
Şekil 4.46. Önerilen dönüştürücünün düşürücü durumunda farklı SOC yüzdeliklerindeki bataryanın gerilim değerleri.	116
Şekil 4.47. Önerilen dönüştürücünün düşürücü durumunda farklı SOC yüzdeliklerindeki bataryanın çektiği akım.	116
Şekil 4.48. Önerilen dönüştürücünün düşürücü durumunda farklı SOC yüzdeliklerindeki bataryanın çektiği güç.	117
Şekil 4.49. Durum I için devre şeması.	118
Şekil 4.50. Durum I için (a) FV, (b) batarya ve (c) eviricinin sahip olduğu değerler. ..	119
Şekil 4.51. Durum I için (a) $V_{Boost}-I_{Boost}$, (b) $I_{Boost}-I_{evirici}-I_{bd}$, (c) $V_{bd}-I_{bd}$ ve (d) $V_{evirici}-I_{evirici}$	120
Şekil 4.52. Durum I için (a) V_C-I_C , (b) THB, (c) V_C-V_C rms ve (d) I_C-I_C rms değerleri. ..	121
Şekil 4.53. Durum II için devre şeması.	122
Şekil 4.54. Durum II için (a) FV ve (b) bataryanın sahip olduğu değerler.	123
Şekil 4.55. Durum II için (a) $V_{Boost}-I_{Boost}$ ve (b) $V_{bd}-I_{bd}$	123
Şekil 4.56. Durum II için P_{FV} ve P_{bd}	124
Şekil 4. 57. Durum II için devre şeması.	125
Şekil 4.58. Durum III için (a) FV, (b) eviricinin çıkış ve (c). $P_{FV}-P_C$ etkin (rms) değerleri.	126
Şekil 4. 59. Durum III için V_{Boost} ve I_{Boost} değerleri.	126
Şekil 4. 60. Durum III için (a) V_C-I_C , (b) THB, (c) V_C-V_C rms ve (d) I_C-I_C rms değerleri.	127
Şekil 4.61. Durum IV için devre şeması.	128
Şekil 4.62. Durum IV için (a) FV, (b) batarya grubu ve (c) eviricinin çıkış değerleri, (d) $P_{FV}-P_o-P_{Boost}-P_{bd}$ değerleri.	129

Sekil	Sayfa
Şekil 4. 63. Durum IV için (a) $V_{\text{evirici}}-I_{\text{evirici}}$, (b) $I_{\text{Boost}}-I_{\text{evirici}}-I_{\text{bd}}$, (c) $V_{\text{bd}}-I_{\text{bd}}$ ve (d) $V_{\text{Boost}}-I_{\text{Boost}}$	130
Şekil 4.64. Durum IV için (a) $V_{\text{Ç}}-I_{\text{Ç}}$, (b) THB, (c) $V_{\text{Ç}}-V_{\text{Ç}} \text{ rms}$ ve (d) $I_{\text{Ç}}-I_{\text{Ç}} \text{ rms}$ değerleri.	131
Şekil 4.65. Durum V için devre şeması.	132
Şekil 4.66. Durum V için V_{bd} , I_{bd} ve P_{bd} değerleri.	133
Şekil 4.67. Durum V için (a) batarya grubu ve (b) eviricinin çıkış (c) güç değerleri. ..	133
Şekil 4.68. Durum V için (a) $V_{\text{Ç}}-I_{\text{Ç}}$, (b) THB, (c) $V_{\text{Ç}}-V_{\text{Ç}} \text{ rms}$ ve (d) $I_{\text{Ç}}-I_{\text{Ç}} \text{ rms}$ değerleri.	134
Şekil 4.69. Önerilen tüm sistem için (a) FV, (b) yükseltici, (c) evirici, (d) çift yönlü dönüştürücü, © batarya grubu ve (f) eviricinin benzetim sonuçları.	136
Şekil 4.70. Önerilen tüm sistem için (a) $V_{\text{Ç}}-I_{\text{Ç}}$, (b) THB, (c) $V_{\text{Ç}}-V_{\text{Ç}} \text{ rms}$ ve (d) $I_{\text{Ç}}-I_{\text{Ç}} \text{ rms}$	137
Şekil 4.71. Önerilen tüm sistem için (a) $P_{\text{FV}}-P_{\text{Ç}}-P_{\text{B}}$, (b) $V_{\text{FV}}-V_{\text{Ç}} \text{ rms}-V_{\text{B}}$ ve (c) $I_{\text{FV}}-I_{\text{Ç}} \text{ rms}-I_{\text{B}}$	138
Şekil 4.72. Önerilen tüm sistem için (a) $I_{\text{FV}}-I_{\text{Orms}}-I_{\text{B}}-I_{\text{Boost}}-I_{\text{bd}}-I_{\text{evirici}}$ ve (b) $V_{\text{FV}}-V_{\text{Ç}} \text{ rms}-V_{\text{B}}-V_{\text{Boost}}-V_{\text{bd}}-V_{\text{evirici}}$ benzetim sonuçları.	139
Şekil 4.73. Önerilen yöntem ve dönüştürücü için deney düzeneğinin blok şeması.	140
Şekil 4. 74. Önerilen yöntem ve dönüştürücü için deney düzeneğinin çalışma şekli....	141
Şekil 4.75. Önerilen yöntem ve dönüştürücü için deney düzeneği.	142
Şekil 4.76. Önerilen yöntem ve dönüştürücü için V_{FV} ve $V_{\text{hesaplanan}}$	144
Şekil 4.77. Önerilen yöntem ve dönüştürücü için (a) görev çarpanı (d) ve I_{L} , (b) I_{L} ve I_{FV}	145
Şekil 4.78. Önerilen yöntem ve dönüştürücü için (a) V_{FV} ve I_{FV} , (b) $V_{\text{Ç}}$ ve $I_{\text{Ç}}$	145
Şekil 4.79. Önerilen yöntem ve dönüştürücü için (a) I_{FV} ve I_{O} , (b) V_{FV} ve $V_{\text{Ç}}$	146
Şekil 4.80. Önerilen evirici için deney düzeneğinin blok şeması.....	147
Şekil 4.81. V_{bara} ve V_{Kaynak}	147

Şekil	Sayfa
Şekil 4.82. Önerilen evirici için tetik sinyalleri.....	148
Şekil 4.83. Önerilen evirici için 180° faz farkına sahip tetikleme sinyalleri.	148
Şekil 4.84. Önerilen evirici için V_{Bara} ve $V_{Ç}$	149
Şekil 4.85. Önerilen evirici için (a) filtrelenmemiş ve (b) filtrelenmiş $V_{Ç}$	150
Şekil 4. 86. Önerilen eviricinin çıkış gerilimi ($V_{Ç}$) ve akımı ($I_{Ç}$).	150
Şekil 4. 87. Önerilen tüm sistem için deney düzeneğinin blok şeması.	151
Şekil 4. 88. Önerilen tüm sistemin deney düzeneği.	152
Şekil 4. 89. Önerilen tüm sistem için a) V_{FV} - V_{bara} (b) I_{FV} - V_{FV} ve c) I_{bara} - V_{bara}	153
Şekil 4. 90. Önerilen tüm sistem için a) V_{bara} - $V_{Ç}$, b) V_{bara} - I_{bara} ve c) $I_{Ç}$ ve $V_{Ç}$	154
Şekil 4. 91. Önerilen tüm sistemin sonuçları.....	155

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

A	Amper
Hz	Herzt
M	Mega (10^6)
m²	Metrekare
MW	Mega Watt
V	Volt
W	Watt

Kısaltmalar

Açıklama

AA	Alternatif Akım
AB	Ateş Böceği
ADG	Açık Devre Gerilim
Aİ	Arttırımsal İletkenlik
BMD	Bulanık Mantık Denetleyicileri
CCM	Continuous Conduction Mode
CO₂	Karbondioksit
ÇT	Çiçek Tozlaşması
D&G	Değiştir ve Gözle
DA	Doğru Akım
DCM	Discontinuous Conduction Mode
DEÜ	Dağıtılmış Enerji Üretimi
DSP	Digital signal Processor
FPGA	Alan Programlanabilir Mantık Dizisi
FV	Fotovoltaik
GA	Genetik Algoritma
GES	Güneş Enerji Santrali

Kısaltmalar**Açıklama**

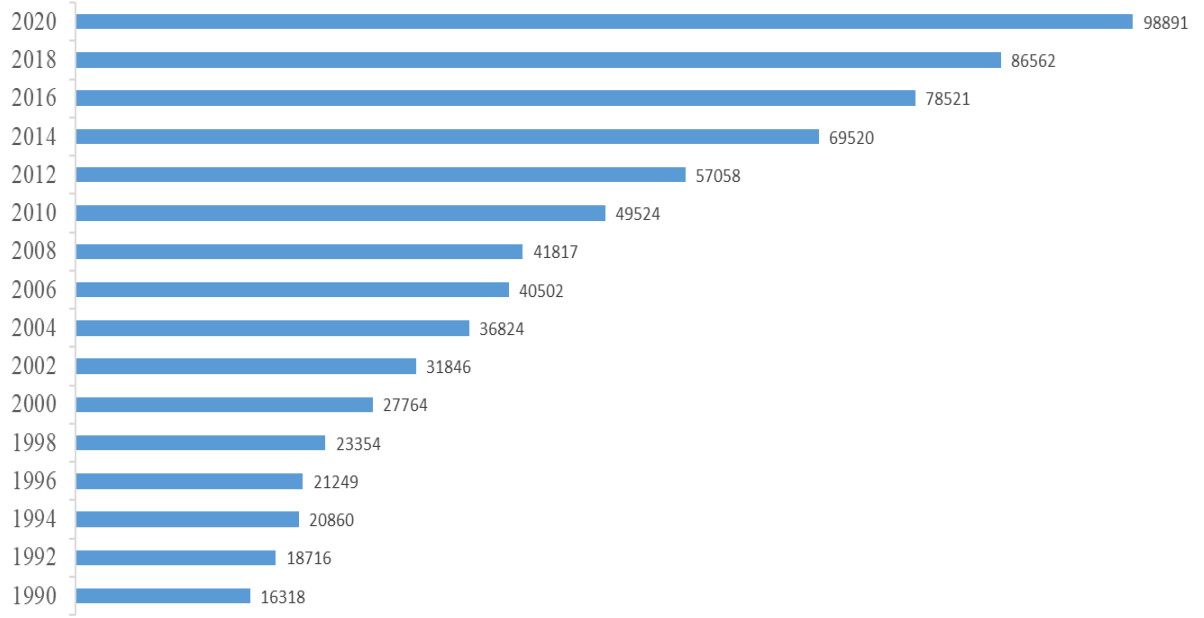
GK	Gri Kurt
GKO	Guguk Kuşu Optimizasyon
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
KDA	Kısa Devre Akım
KGK	Kesintisiz Güç Kaynağı
MGN	Maksimum Güç Noktası
MGNİ	Maksimum Güç Noktası İzleme
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NHA	Normal Harmoni Arama
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyon
PWM	Pulse Witdh Modulation
SPWM	Sinusoidal Pulse Witdh Modulation
STK	Standart Test Koşulları
THB	Toplam harmonik bozulmaları
VAWT	Dikey eksenli rüzgâr türbünü
YA	Yerçekimsel Arama
YSA	Yapay Sinir Ağları

EKLER DİZİNİ

	Sayfa
Ek. 1. LV 25-P gerilim örnekleyici veri sayfası.	173
Ek. 2. LA 55-P akım örnekleyici veri sayfası.	174
Ek. 3. Klasik DA/DA yükselten dönüştürücü devresi için PCB.	175
Ek. 4. Örnekleyici ve sürücü devresi için PCB	176
Ek. 5. SK125*125-M-72-195W model FV panelin özellikleri.	176

1. GİRİŞ

Günümüzde artan dünya nüfusu, sınırlı olan kaynakların geleceği için tüm insanlığı endişelendirmektedir. Ayrıca gelişen teknoloji ile beraber insanlar için elektrikli cihazların erişimi ve kullanımı oldukça kolay ve yaygın bir durumdadır. Teknolojinin gelişimi ve rahat erişimi, elektrik enerjisinin tüketimini oldukça arttırmıştır. Bu durum ülkemizde olduğu kadar diğer ülkelerde de söz konusudur. Ülkemizde elektrik enerjisinin kurulu gücünün son 30 yıla ait değişimi Şekil 1.1’de verilmiştir.

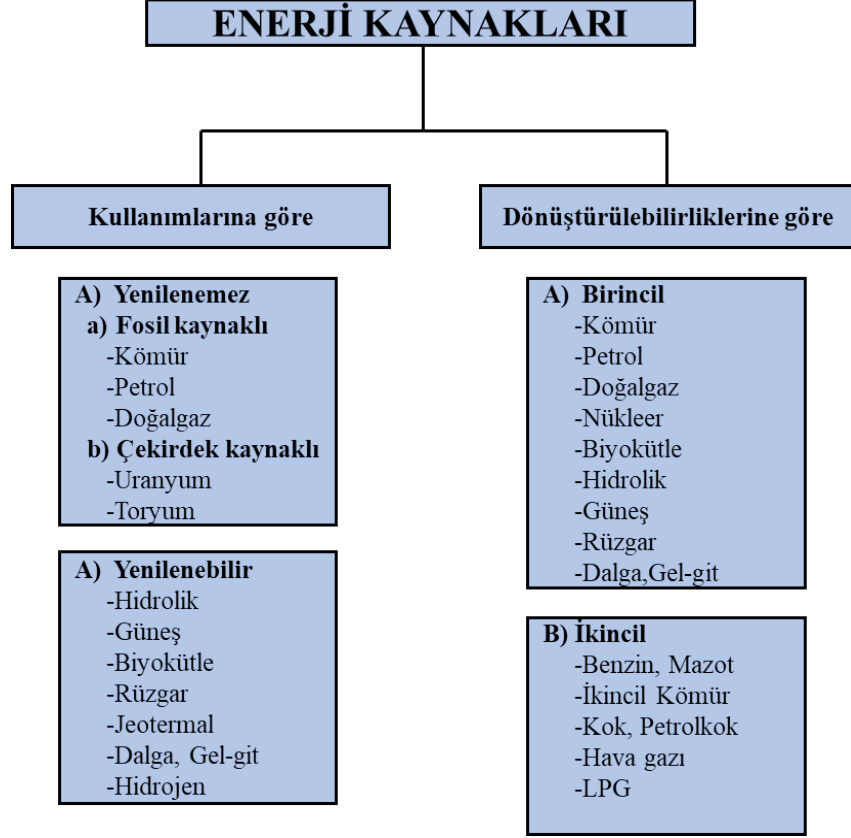


Şekil 1.1. 1990-2020 yılların arasında elektrik enerjisi kurulu gücünün değişimi (M Watt). (Anonim, 2021).

1.1. Enerji Kaynakları

Artan elektrik enerjisinin karşılanabilmesi için bir çok kaynak kullanılmaktadır. Kullanılan kaynakların sınıflandırılması şöyle olmaktadır; herhangi bir değişime uğratılmadan oldukları gibi kullanılabilen kaynaklar birincil kaynak, birincil kaynakların dönüştürülmesiyle elde edilen kaynak ise ikincil kaynak olarak tanımlanır. Diğer bir sınıflandırma yöntemi ise kaynakların tükenebilirliği veya yenilenebilirliği

dikkate alınarak yapılmaktadır. Özet halinde sunulan bilgiler Şekil 1.2’de detaylı olarak verilmiştir (Şenel, 2012; Koç ve Şenel, 2013)



Şekil 1.2. Enerji kaynaklarının genel sınıflandırması.

Artan elektrik enerjisi talebini karşılayabilmek için yenilenemez olan fosil yakıtların artan kullanımı kendisiyle beraber bir çok çevresel falezetler de getirmiştir ve getirmektedir (Yılmaz ve ark., 2018). Fosil yakıtlarının kullanılması ormanlık alanlarının azalmasına ve bu bağılı olarak sera gazlarının (karbon dioksit, azot oksit ve metan) atmoferdeki oranlarının artışına neden olmaktadır (Sher ve ark., 2021). Bu sera gazları dünya çapında iklim değışikliğinde önemli bir rol oynamaktadırlar (Shurpali ve ark., 2018). Küresel ısınmanın yaklaşık üçte ikisini su buharı neden olurken, karbon dioksit (CO₂) küresel ısınmada başı çekmektedir (Al-Ghussain, 2019). Ayrıca fosil yakıtlar her ne kadar bu talebi karşılamak için sıklıkla kullanılsalar bile yenilenemez oldukları, yani tamamen bitebilecekleri gerçeğı söz konusudur. Mevcut elektrik enerjisi talebinin yanında sonraki yıllar için oluşacak ekstra taleplerin karşılanmasında, fosil

kaynaklar (kömür, doğalgaz, petrol ve petrol türevleri gibi) yetersiz kalmaktadır ve dünyamızı kirletmektedir. Ülkemiz de bu durumdan muzdariptir çünkü Çizelge 1.1’de görüleceği üzere elektrik enerjisinin %50’den fazlası fosil yakıtlardan karşılanmaktadır.

Çizelge 1.1. 2021 yılı lisanslı elektrik kurulu gücünün kaynak bazında dağılımı ve 2020 yılı ile karşılaştırılması (MW-%). (Anonim, 2021)

KAYNAK TÜRÜ	2020		2021	
	KURULU	ORAN	KURULU	ORAN
	GÜÇ (MW)	(%)	GÜÇ (MW)	(%)
Doğal Gaz	26828.67	31.56	25654.26	28.71
Barajlı Hidrolik	20645.69	24.29	22933.89	25.67
Linyit	9935.03	11.69	10119.92	11.33
İthal Kömür	8821.85	10.38	8986.85	10.06
Rüzgâr	7538.51	8.87	8936.54	10.00
Akarsu	7853.72	9.24	8051.26	9.01
Jeotermal	1514.69	1.78	1623.94	1.82
Biyokütle	729.42	0.86	1061.57	1.19
Taş Kömürü	377.50	0.44	810.77	0.91
Asfaltit	405.00	0.48	405.00	0.45
Güneş	174.72	0.21	445.85	0.50
Fuel Oil	165.49	0.19	305.93	0.34
Nafta	4.74	0.01	4.74	0.01
Lng	1.95	0.00	1.95	0.00
Motorin	1.04	0.00	1.04	0.00
Toplam	84998.02	100.00	89343.50	100.00

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Dünyadaki çevresel krizlerin ve her geçen gün artmakta olan elektrik enerjisi talebinin, çözülebilmesi için bilim insanları alternatif çözümler ile ilgili araştırmalar yapmaktadırlar (Milbrandt ve ark., 2014; Guo ve ark., 2018; Sahu ve ark., 2021). Sınırlı ve çevresel bir çok olumsuzluğa neden olan fosil yakıtlara alternatif olabilecek çevre

dostu ve fosil yakıtlara kıyasla sınırsız olan, yani yenilenebilen enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. Yenilenebilir enerji kaynakları sahip oldukları potansiyel bakımından yenilenemeyen fosil kaynaklı yakıtlara alternatif olabilecek durumdadır (Yang ve ark., 2018). Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla atmosferdeki sera gazlarının oranı azaltılarak küresel ısınma kısmen engellenebilir (Razmjoo ve ark., 2017).

Dünyamızın içinde bulunduğu küresel çaptaki çevresel ve enerji krizlerinin, insanlığa olabildiğince az zarar vererek çözümlenebilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları göz ardı edilemeyecek kadar önemli ve eşsiz bir noktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları doğrudan kullanabilmenin yanında gelişen teknolojiyle beraber yardımcı dönüştürme elemanlarıyla başka formdaki enerjilere de dönüştürülebilmektedirler. Elektrik enerji üretimde kullanılan başlıca yenilenebilir enerji kaynakları Çizelge 1.2' de sunulmuştur.

Çizelge 1.2. Yenilenebilir enerji kaynakları ve elektrik enerjisine dönüşümleri (Owusu ve Asumadu-Sarkodie, 2016).

Yenilenebilir enerji kaynakları	Enerji dönüşümü ve kullanım seçenekleri
Hidrolik	Elektrik enerjisi (Baraj)
Biyokütle	Elektrik enerjisi (Biyogaz)
Jeotermal	Elektrik enerjisi (Termal)
Güneş	Elektrik enerjisi (FV)
Rüzgar	Elektrik enerjisi (Rüzgar türbünü)
Dalga	Elektrik enerjisi (Kinetik Enerji)
Hidrojen	Elektrik enerjisi (Yakıt hücresi)

Hidrolik enerji, jeneratör türbinleri döndürüp elektrik üretmek için daha yüksek seviyelerden daha düşük seviyelere hareket ettirilen sudan yararlanılan temel bir enerji kaynağıdır. Hidrolik enerji barajlar yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Akarsular üzerine kurulan uygulamaları da mevcuttur (Asumadu-Sarkodie ve ark., 2015). Biyokütle enerji, biyolojik kaynaklardan elde edilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütle enerji, biyodizel olarak ulaşım, elektrik üretimi, pişirme ve ısıtma alanında kullanılabilen önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Orman yan ürünleri, tarımsal kalıntılar ve hayvansal atıklar elektrik enerji üretimi için kullanılırlar. Biyokütle

enerjisine dayalı elektriğin bir avantajı, yakıtın bir yan ürün, kalıntı veya atık ürün olmasıdır. Bu yüzden yakıt için herhangi bir rekabet söz konusu değildir (Urban ve Mitchell, 2011). Yeraltında doğal olarak bulunan sıcak su kaynakları yüzeye çıkarılarak hem ısıma hem de geliştirilen bazı yöntemlerle elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadırlar. Güneşten gelen ışık hüzmeleri, yarı iletkenlerden oluşan fotovoltaiik (FV) paneller üzeri düşürölerek kimyasal yöntemlerle elektrik enerjisine dönüştürölür. Güneş enerjisi ve FV panel sonraki kısımlarda daha detaylı anlatıldığı için şimdilik özet şeklinde sunulmuştur. Rüzgar enerjisi dünyanın her yerinde mevcuttur, bazı yerlerde kayda değör düzeyde enerji yoğunluğuna sahiptir. Rüzgar enerjisi, hava hareketinin kinetik enerjisi uygun dönüştürme elemanlarının (rüzgar türbünleri) kullanılmasıyla elektrik enerjisine dönüştürölür. Okyanus dalgalarındaki kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürölür. Hidrojen enerjisinde ise güneş enerjisinde olduğı gibi elektrik üretme kimyasal bir süreç sonunda gerçekleşmektedir. Bunun için farklı yapıdaki yakıt hücreleri kullanılmaktadır. Çizelge 1.2’de verilen yenilenebilir enerji kaynakları kısaca açıklandıktan sonra üzerinden çalışılan güneş enerjisi ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir.

1.3. Güneş Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında oldukça yaygın bir şekilde tercih edilen güneş enerjisi, bu çalışma için temel teşkil etmektedir. Güneş enerjisine, nerdeyse dünyanın her yerinde ulaşmak mümkündür. Güneş enerjisi, kaynak bakımından sınırsız sayılabilecek bir pozisyondadır ve doğal iklimsel şartlar dışında erişimi nerdeyse her yere ve herkese açıktır. Hem de erişim için herhangi bir maliyete gerek yoktur (Vergura, 2016; Ramli ve ark., 2017). Güneş Enerjisi direkt olarak aydınlanma ve ısınma kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın esas konusu olan elektrik üretimi için ise yardımcı dönüştürme elemanlarına ihtiyaç vardır. Bu dönüştürme elemanı, yarı iletken teknolojisinin gelişmesi ve kullanımının yaygın hale gelmesiyle diyotların farklı amaçlar için kullanılmasının bir örneğı olan fotovoltaiik (FV) dönüştürme hücreleridir. Bu hücreler üzerine düşen ışınımı kimyasal yöntemlerle doğru akım (DA) formundaki elektrik enerjisine dönüştürmektedir (Boukenoui ve ark., 2016). Her ne kadar FV hücrelerin tasarımı ve geliştirilmesi kimya ve malzeme biliminin alanı olsa bile FV hücrelerin bir araya gelerek oluşturdukları FV panellerin ürettiğı DA elektrik enerjisi doğrudan elektrik

elektronik mühendislerini de ilgilendirmektedir. FV panellerin herhangi hareketli bir parçası yoktur ve bakım maliyetleri oldukça düşüktür (Krishnan ve ark., 2020). Güneşten gelen ışınımın FV paneller üzerine düşürülmesi sonucu elde edilen DA formundaki elektrik enerjisi hem düşük gerilim değerine sahiptir hem de liner değildir. Elektrik enerjisinin doğrusallaştırılabilmesi için filtre görevi gören ve aynı zamanda FV panellerden elde edilen elektrik enerjisinin istenilen seviyeye getirilebilmesi için tasarlanan DA/DA dönüştürücü devreleri kullanılması kaçınılmazdır. FV panellerin verimi oldukça düşüktür. Güneşten gelen ışınımın yaklaşık %16 veya %17 'sini elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Bazı kaynaklarda beyan edildiğine göre ise geliştirilen FV paneller sayesinde bu oran %21 kadar çıkarılabilmektedir (Kavya ve Jayalalitha, 2021). Ortam sıcaklığı ve iklimsel şartlar da bu verimi etkilemektedir (Ko ve ark., 2020). Malzeme ve kimya bilimi yeni FV teknolojileriyle bu verimi arttırabilir ama mevcut FV paneller verimi için ise elektrik elektronik mühendislerinin geliştirdiği devre ve kontrol yöntemleriyle düşük seviyedeki DA elektrik enerjisi daha verimli kullanılabilir.

1.4. Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNI) Yöntemi

Dünyanın kendi etrafında ve güneşin etrafında dönmesinden dolayı, belli bir bölgeye düşen ışınım ve ortam sıcaklığı sürekli değişmektedir. Meydana gelen bu değişimler üretilebilecek elektrik enerjisinin de sürekli değişmesine neden olmaktadır (Lashab ve ark., 2019). FV panelde üretilen elektriğin akım değeri, güneşten gelen ışınımın şiddeti ve yoğunluğuna göre değişirken gerilim değeri ortamın sıcaklığıyla değişir (Shaw ve ark., 2020). FV panelin hangi şartlarda çalıştığına bakılmaksızın sahip olduğu mevcut durumunda, güneş ışınımından maksimum düzeyde faydalanarak elektrik enerjisi üretebilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların sonucunda, güneş ışınımını takip edip maksimum güç verdiği noktayı belirleyip orada çalışmasını sağlayan bir yöntem geliştirildi. Bu yöntemin adı Maksimum Güç Noktası İzleme yöntemidir (MGNI). Bu yöntemle herhangi bir andaki maksimum güç noktası belirlenir ve bu nokta sürekli değiştiği için bu yöntemin sürekli bir karşılaştırma yaparak değişen güç noktaları belirleyebilmesi gerekmektedir (Chermitti ve ark., 2014). Literatürde

çalışılan bir çok MGNİ yöntemi mevcuttur. Bu yöntemleri bazıları Çizelge 1.3’de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Literatürde çalışılan MGNİ yöntemleri (Motahhir ve ark., 2020).

MGNİ Yöntemleri	
Geleneksel	Değiştir ve Gözle
	Tepe Tırmanma
	Artımlı İletkenlik
	Açık Devre Gerilimi
	Sabit Gerilim
	Kısa Devre Akımı
Yapay Zeka	Bulanık Mantık
	Yapay Sinir Ağları
Evrin Algoritmaları	Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)
	Geliştirilmiş PSO
	Deterministik PSO
	Değiştirilmiş PSO
Doğadan Esinlenmiş	Guguk Kuşu Araması
	Ateşböceği Algoritması
	Rastlantisal Arama
	Kaotik Kontrol
	Doğrusal Olmayan Kontrol Metotları

Literatürde çalışılan bazı MGNİ yöntemleri Çizelge 1.3’de verilmiştir. Bu MGNİ yöntemlerinin birkaçı periyodik ayarlama, uygulama karmaşıklığı, kontrol parametreleri, yakınsam hızı, verim ve maliyet bakımından Çizelge 1.4’de verildiği gibi karşılaştırılmıştır (Hussiani, 2018; Pawar ve ark., 2022). D&G MGNİ kontrol yöntemi, özellikle sahip olduğu düşük maliyet ve kullanım kolaylığından dolayı piyasada oldukça yaygın kullanılmaktadır. D&G MGNİ kontrol yöntemi küçük kapasiteli FV sistemler için tercih edilmektedir ve kalıcı hava durumlarında iyi sonuçlar vermektedir (Awan, 2022). Bu tez çalışmasında belirtilen nedenlerden dolayı D&G MGNİ kontrol yöntemi tercih edilmiştir.

Çizelge 1.4. MGNİ yöntemleri ve özellikleri.

MGNİ Yöntemleri	Periyodik Ayarlama	Uygulama Karmaşıklığı	Kontrol Parametreleri	Yakınsama Hızı	Verim	Maliyet
D&G	Hayır	Az	Akım, Gerilim	Değişken	Orta	Az
Artan İletkenlik	Hayır	Orta	Akım, Gerilim	Değişken	Orta, Yüksek	Orta
Sabit Gerilim	Evet	Az	Gerilim	Orta	Az	Az
Sabit Akım	Evet	Az	Akım	Orta	Az	Az
Bulanık Mantık	Evet	Yüksek	Işınım Düzeyi, Sıcaklık	Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek
Yapay Sinir Ağları	Evet	Yüksek	Işınım Düzeyi, Sıcaklık	Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek
PSO	Evet	Orta	Akım, Gerilim	Değişken	Orta	Orta
Bulanık Mantık+PSO	Evet	Yüksek	Işınım Düzeyi, Sıcaklık, Akım, Gerilim	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Guguk Kuşu Araması	Evet	Orta	Akım, Gerilim	Değişken	Orta	Orta, Az

1.5. Yükselten DA/DA Dönüştürücü

FV panellere doğrudan herhangi bir dönüştürücü devre kullanılmadan yüke bağlanması her ne kadar mümkünse de kontrol edilmesi ve veriminin artırılması neredeyse imkansızdır. Bu sebepten dolayı yukarıda verilen kontrol yöntemlerinin uygulanabilmesi için kesinlikle dönüştürücü bir ara devreye ihtiyaç vardır. Bu dönüştürücü devreler, yüke bağlı veya bağımsız bir şekilde çıkışta istenilen değerlerin elde edilebilmesi ve aynı zamanda FV panelden elde edilen doğrusal olmayan formdaki elektrik enerjisinin filtrelenebilmesi için kullanılmaktadır. Bu ara devre elemanları DA/DA dönüştürücü devreleridir. Kullanım alanı, gelişen teknolojiyle her geçen gün genişleyen DA/DA dönüştürücüler birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak elektrik enerjisi üretebilen sistemler için çok önemli olan DA/DA dönüştürücüler; elektrikli araçlar, sağlık cihazları, uzay sanayisi,

haberleşme ve taşınabilir elektrikli cihazlar gibi alanlarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Goudarzian ve ark. 2021). DA/DA dönüştürücüler izole ve izole olmayan olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. İzole DA/DA dönüştürücüler tam köprü, yarım köprü, push-pull ve flyback vb. gibi devrelerde oluşurken izole olmayan DA/DA dönüştürücüler yükselten (boost), düşüren (buck), CUK, SEPIC ve düşüren-yükselten (buck- boost) vb. gibi devrelerden meydana gelir (Shahir ve Babaei, 2017; Jou ve ark., 2019). İzole dönüştürücüler transformatör kullanılarak elde edilir ve bu tür dönüştürücülerin ebatları transformatörden dolayı büyük olmaktadır. Yüksek frekanslı transformatör kullanılarak bu dönüştürücülerin ebatlar küçültülebilmektedir. Kontrollerinin zor olması, transformatörün doyumuna gitmesi ve kaçak endüktanstan dolayı izole DA/DA dönüştürücülerin kullanımını çok tercih edilmemektedir (Samuel ve ark., 2020). Güneş enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üretebilen FV panellerin çıkışındaki düşük gerilim değerlerinin yüksek gerilimli ve güçlü sistemlerde kullanılabilmesi için yükselten izole olmayan DA/DA dönüştürücelere ihtiyaç vardır. İzole olmayan DA/DA dönüştürücülerin girişine uygulanan gerilim seviyesini yükün istediği seviyeye yükselten devrelere yükselten DA/DA dönüştürücüler denir. Bu tür yükselten DA/DA dönüştürücülerde çıkış gerilimi, giriş gerilimi değişken olsa bile, istenilen değerde olmalıdır (Lopa ve ark. 2016). İzole olmayan dönüştürücülerden olan geleneksel DA/DA yükselten dönüştürücü bu tez çalışma kapsamında kullanılmıştır.

1.6. Tam Köprü DA/AA Evirici

Tam köprü DA/AA eviriciler yenilenebilir enerji uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Batarseh ve Harb, 2018). FV paneller tarafından üretilen DA formundaki elektrik enerjisi DA/DA dönüştürücü sayesinde istenilen değere çıkarılarak DA uygulamalar için kullanılacağı gibi alternatif akım (AA) gerektiren uygulamalarda da kullanılabilir (de Souza Riberio ve ark., 2021). AA uygulamalarda kullanılabilmesi için DA/AA eviricilere ihtiyaç vardır (Bouzguenda ve Selmi, 2021). DA/AA eviriciler, FV sistemlerin kullanıldığı uygulamalarda hayati önem taşımaktadır. Çünkü her ne kadar DA formundaki elektrik enerjisi ile çalışan cihazlar her geçen gün yaygın hale gelse bile hala gündelik yaşamımızdaki elektrikli cihazların çoğu AA formundaki elektrik enerjisini kullanmaktadır.

1.7. Batarya ve Çift Yönlü DA/DA Dönüştürücü

Gelişen DA teknoloji sayesinde elektriğin depo edilebilme imkânı ortaya çıkmıştır. Böylece uygun depolama elemanları kullanılarak depolanan DA formundaki elektriğin, elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde bile kullanım imkânı ortaya çıkmıştır. Bu depolama elemanları birçok çeşidi mevcut olan bataryalardır. Bataryaların tek kullanımlık ve şarj edilerek birçok kere kullanılabilen türleri vardır. Bu çalışma kapsamında şarj edilebilir batarya kullanılmıştır. Özellikle batarya tabanlı enerji depolama sistemleri kullanan elektrikli araçlar ve mobile cihazlar gibi teknolojik uygulamalarda batarya sisteminin hem şarj edilebilmesi hem de deşarj edilebilmesi gerekir. Bunun gerçekleştirilebilmesi için çift yönlü DA/DA dönüştürücülere ihtiyaç vardır (Peng ve ark., 2004). Batarya sisteminin şarj-deşarj şartı, iki yönlü güç akışı, geniş gerilim aralığı ve galvanik yalıtımla sağlanabilmektedir. İzole olmayan düşüren-yükselten DA/DA dönüştürücünün çift yönlü kullanılmasının maliyeti ve kontrolü her ne kadar kolay olsa da izolasyon problemi olduğu için uygun değildir (Fan ve ark., 2018).

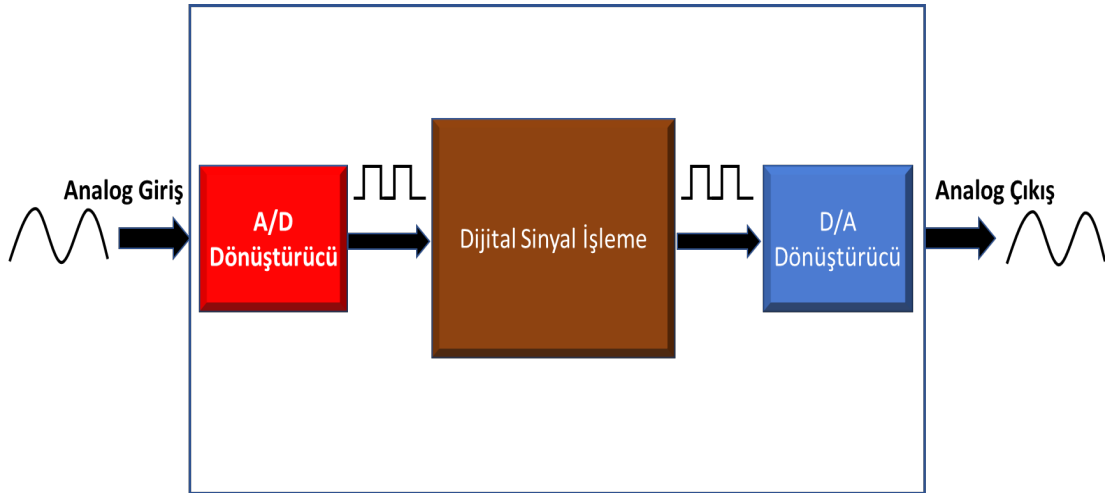
1.8. Şebekeden Bağımsız (Off-Grid), Şebekeye Bağlı (On-Grid) ve Hibrit FV Sistemler

FV sistemler, elektrik şebekesine bağlı olup olmasına göre sınıflandırılmaktadır. Elektrik dağıtım şebekesinin henüz ulaşmadığı, elektrik şebekesine ulaşımın çok zor ve yüksek maliyetli olduğu bölgelerde şebekeden bağımsız (off-grid) olan FV sistemlerden elektrik enerjisi temin edilmektedir (Ali ve ark., 2012). Bu sistemlerde genelde batarya grubu ile desteklenmektedir ve böylece güneşin olmadığı akşam saatlerinde elektrik enerjisinin kullanılmasına imkân sağlanmaktadır. Elektrik şebekesine bağlı (on-grid) olan FV sistemler de mevcuttur (Karami ve ark., 2017). Bu sistemlerde ev tipi uygulamalar için batarya grubu gerekse bile yüksek güç uygulamaları için bataryanın kullanılması maliyet açısından tercih edilmemektedir. Ayrıca hem şebekeden bağımsız hem de şebekeye bağlı FV sistemler başka yenilenebilir enerji kaynakları ile beraber kullanılarak elektrik enerjisi karşılayabilmek için kullanılmaktadır. Bu tür sistemlere hibrit denilmektedir (Liu ve ark., 2009). Kısaca anlatılan her üç durum için de güç akış kontrolü gerekmektedir (Power management). Güç akış kontrolünün

belirlenebilmesi için yükün, FV panelin gücünün, güneşli saatlerin ve bataryaların doluluk durumunun bilinmesi gerekmektedir. Güç akış kontrolü tezin ilerleyen kısımlarında daha detaylı anlatılmıştır.

1.9. Dijital Sinyal İşleme

Deneyisel olarak kontrol yöntemlerinin daha hızlı uygulanabilmesi için dijital kontrol yöntemlerinin gömüldüğü kartlarına ihtiyaç vardır. Dijital sinyal işleme (Digital signal processing (DSP)), bir sinyalin verimliliği ile birlikte performansının da artırılması için analizinin yapılarak değiştirilmesi sürecini ifade eder. Teorik bir yöntem olarak uzun yıllar önce ortaya çıkan DSP en genel anlamda, sayısal sinyalin sayı dizileri şeklinde ifade edilmesi ve bu sayı dizilerinin, sayısal hesaplama yöntemleri ile dönüştürülmesi veya işlenmesidir. Genel manada bir DSP sisteminin, dış dünya ile iletişime geçip veri alması veya aktarması için analog/dijital (A/D) ve dijital/analog (D/A) dönüştürücülere ihtiyaç vardır (Cambazoğlu, 2022) (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Dijital sinyal işleme süreci.

Dijital sinyal işleme süreci temelde dört bileşenden oluşur:

1. Hesaplama Kısmı: Bu kısımda hazırlanan programın hafızasına veya göreve erişmek için kullanılacak matematiksel işlemlerin tümü, yapılacak hesaplamalar ve veri belleğinde kayıtlı bilgiler yer almaktadır.

2. Veri Belleği: Gerektiğinde kullanılması gereken bilgileri işlenmek üzere saklayan ve program belleği ile entegre şekilde çalışan bileşendir.
3. Program Belleği: DSP’de verilerin işlenmesi, sıkıştırılması için kullanılan programların ve görevlerin saklandığı bileşendir.
4. Giriş / Çıkış: DSP'nin kullanıldığı sistemlerde verilerin işlenmek için alınması ve işlenen verilerin dış ortama verilmesi için kullanılan seri portların ve zamanlayıcıların bulunduğu bileşendir (Anonim, 2022).

Mühendislik alanında dijital sinyal işleme için kullanılmak üzere tasarlanan birçok devre kartı mevcuttur. Temel basit uygulamalar için Arduino tercih edilirken daha karmaşık sistemler için Texas Instruments firması tarafından geliştirilen TMS320F283XX ve FPGA gibi devre kartları kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında Texas Instruments firması tarafından geliştirilen LAUNCHXL-F28379D, TI MCU LaunchPad™ geliştirme kiti ekosistemindeki TMS320F28379D DSP kiti kullanılmıştır. Kullanılan DSP için detaylı bilgi materyal ve yöntem kısmında verilmiştir.

1.10. Tezin Amacı ve Hedefi

Günümüzde artan elektrik enerji ihtiyacını karşılayabilmek için kullanılan fosil kaynakların hem çevreye zarar vermesi hem de sınırlı olması bilim insanlarını alternatif kaynaklara yönlendirmiştir. Bu alternatif kaynaklar çevre dostu olmanın yanında fosil yakıtlara kıyasla sınırsız sayılabilen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır (rüzgâr, güneş, hidrojen, su vb.). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisinin kullanımı son yıllarda oldukça artmıştır. Güneş enerjisi kullanılan FV paneller vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. FV panel, birçok FV hücrenin seri ve paralel formda birleştirilmesiyle elde edilmektedir. FV panellerde üretilen elektrik enerjisi DA formunda oldukça düşük gerilim değerine ve doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahiptir. Üretilen DA elektrik enerjisi yükselten dönüştürücüler sayesinde DA sistemlerde veya alternatif akım (AA) formunu kullanan sistemlerde kullanılabilecek değere yükseltimenin yanında doğrusal hale getirilir. FV sistemler şebekeye bağlı (on-grid) ve şebeken bağımsız (off-grid) olmak üzere iki şekilde kullanılabilir. Bu çalışmada, şebekeden bağımsız FV sistemden elde edilen DA formundaki elektrik enerjisi önerilen kontrol yöntemi ile klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresi kullanılarak istenilen gerilim değerine getirilerek

DA bara gerilimi elde edilmiştir. Elde edilen DA bara geriliminin AA formundaki elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi için tek fazlı DA/AA evirici kullanılmıştır. Elde edilen tek fazlı eviriciden maksimum seviyede faydalanabilmek için hem DA/DA yükselten dönüştürücünün hem de DA/AA eviricinin uygun kontrol yöntemleri ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca FV sistem şebekeden bağımsız olduğu için güneş enerjisinin yetersiz olduğu veya akşam saatlerinde yükün istediği enerjiyi sağlayabilmek için eviriciden önce paralel bir batarya grubu bağlanmıştır. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücünün çıkışından elde edilen DA formundaki elektrik enerjisinin bataryalarda depolanabilmesi için gerilim seviyesinin düşürülmesi gerekmektedir. Diğer durumda da bataryalardan alınan düşük seviyedeki DA gerilimin yükseltilerek eviriciye verilmesi gerekmektedir. Bunun için izole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücü kullanılmıştır.

Bu tezin hedefleri:

- Yukarıda özet halinde sunulan tüm sistemde FV panellerden maksimum düzeyde faydalanabilmek için gerilim örneklenmesine ihtiyaç duymayan yeni bir MGNİ kontrol yönteminin geliştirilmesi ve uygulanması.
- MGNİ kontrol yöntemi uygulanmasıyla elde edilen sabit DA bara gerilimi, sinüzoidal darbe genlik modülasyonu (SPWM) yöntemi ile kontrol edilen DA/AA evirici sayesinde AA yükler için kullanılmalıdır.
- Batarya grubunun şarj-deşarj edilebilmesi için PI kontrolcü ile denetlenen izole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücünün benzetim ortamında kontrol edilmesidir.
- Tüm sistemde meydana gelebilecek değişiklikler göz önünde bulundurularak benzetim ortamında güç akış kontrolünün gerçekleştirilmesidir.
- Batarya grubu olmadan önerilen tüm sistemin deneysel ortamda önerilen kontrol yöntemi ile kontrol edilmesidir.

Bu tezin amacı: Geliştirilen yeni bir D&G MGNİ kontrol yönteminin, şebekeden bağımsız bir FV sisteme DSP vasıtasıyla DA ve AA yükler için uygulanmasıdır.

1.11. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışması, önerilen sistemin genel olarak tanıtıldığı **GİRİŞ**, konu ile ilgili yapılmış akademik çalışmaların incelendiği **KAYNAK BİLDİRİŞLERİ**, tezin tüm

bişenlerinin detaylı bir şekilde anlatıldığı önerilen sistem ve kontrol yöntemleri için kullanılacak materyal ve bu materyallerin kullanılacağı yöntemlerin tanıtıldığı **MATERYAL VE YÖNTEM**, önerilen sistem ve kontrol yöntemleri için yapılan benzetim ve deneysel sonuçların sunulduğu **BULGULAR** ve önerilen sistem ve kontrol yöntemlerinin literatüre katkısı ve benzer çalışmalarla karşılaştırılıp değeriendirildiği **TARTIşMA VE SONUÇ** olmak üzere beş ana başlık altında hazırlanmıştır.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

İklimsel değişiklikler, atmosferden denize ve karaya, tropik kutup altı bölgelerden tropikal bölgelere kadar yeryüzündeki canlıları direkt veya dolaylı bir şekilde olumsuz olarak etkilemektedir. İklimsel değişiklerin temel nedeni fosil kaynaklı yakıtların kullanılmasıdır. Sera gazları arasında özellikle CO₂ emisyonu küresel ısınmaya neden olmaktadır. Baek (2016), Sharif ve ark. (2020) yaptıkları çalışmalarında belirttiklerine göre CO₂ emisyonunun günden güne artmasının temel nedenleri ekonomik büyüme ve artan enerji talebidir. Bose (2016) yaptığı çalışmada son yıllarda sürekli bir şekilde artan elektrik enerjisi talebi ve neden olduğu çevre sorunun günümüz dünyasının çözüm bekleyen en önemli problemleri olduğunu beyan etmiştir. Enerji talebinin karşılanması ve CO₂ emisyonuna bağlı çevresel sorunların çözülebilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları oldukça iddialıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları stratejik bir argüman olarak kabul edilir ve ekonomik büyüme ile sürdürülebilir kalkınmanın temel göstergelerinden biridir (Kahia ve ark., 2017).

Wilberforce ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada yaptığı tespit şöyle aktarılmıştır; güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji ve geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla oldukça ucuzdur. Neredeyse sınırsız sayılabilecek miktarlarda olması ve çeşitli uygulamalar için kullanılabilir olması güneş enerjisini cazip ve kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir. Özellikle elektrik enerjisi üretilebilmesi için kurulan FV sistemlerin bakım maliyeti düşüktür. FV sistemlerde elektrik üretmenin temel problemi kaynak olarak güneşin hava şartlarına bağlı olmasıdır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için kurulan depolama sistemi toplam maliyeti arttırmaktadır.

Dünya yüzeyindeki 1 m² alana doğrudan düşen radyasyondan üretilebilecek maksimum güç 1366 W (1366W/m²), bu da deniz seviyesinde havanın açık olduğu bir günde 1000W/m² maksimum normal yüzey ışıınma denk gelir (Dupont ve ark., 2020).

Spellman (2014), yenilenebilir enerji alakalı yaptığı çalışmada, FV sistemler düşük karbon emisyonları ve fosil yakıtlara ihtiyaç duymamaları ile bilindiği halde bazı üretim süreçlerinde hala fosil yakıtlara biraz bağımlı olduğu ve diğer geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla daha az geri ödeme süresiyle bilindiği belirtmiştir. Birçok kişinin, FV sistemlerinin bakım gereksinimi olmadığını düşünmesine

rağmen, performansları üzerinde önemli bir etkisi olduğu için kumlu veya tozlu hava koşullarına sahip sitelere kurulduğunda zaman zaman uygun temizlik gerektirirler.

Üretim aşamasından çıktıktan ve tam olarak kurulduktan sonra, FV sistemler çevre için tamamen güvenlidir; herhangi bir gürültü üretmezler, toksik veya sera gazı salmazlar. Ancak herhangi bir endüstriyel ürün gibi, güneş pilleri ve panellerinin imalatının da bazı sağlık ve çevresel etkileri vardır (Pernick ve Wilder, 2007).

Güneş enerjisi, geleneksel kaynaklara göre büyük bir çevresel avantaja ve ilgi alanına bağlı olarak diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre bazı teknik avantajlara sahip devasa, güvenilir bir enerji üretim kaynağıdır. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren FV sistem: FV panel, DA/DA dönüştürücü, şarj regülatörü, bir DA/AA evirici, güç ölçer, kesici ve boyutuna bağlı olarak batarya grubundan meydana gelmektedir. FV sistemler şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak kullanılmaktadır. Özellikle şebekeden bağımsız FV uygulamalarda, şebekeden uzak olan bölgeler için umut verici sonuçlar göstermiştir. FV panel tarafından üretilen elektrik enerjisi kullanılan DA/DA dönüştürücü sayesinde istenilen değere getirildikten sonra doğrudan bir DA yük için kullanılabileceği gibi DA/AA evirici ile AA forma getirilerek AA yükler için uygun hala getirilir. Kullanılan çift yönlü DA/DA ile batarya şarj edileceği gibi ihtiyaç duyulduğunda DA veya AA yükleri besleyebilmek için deşarj da edilebilir. Yükü besleyen elektrik akışını kaydetmek ve ölçmek için güç ölçer kullanılır (Rezk ve ark., 2019).

İtalyan bilim adamı Volta ve Yunanca ışık anlamına gelen ‘phos’ kelimelerinin bir araya gelmesiyle ‘Fotovoltaik’ kelimesi türetilmiştir (Yasko, 2018). FV teknolojisi, güneş ışığının FV etki ile yarı iletken malzemeler kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesidir (Shahidul, 2011).

Güneş enerjisinin çevre dostu olması rağmen elektrik enerjisi kaynağı olarak kullanılabilmesi için gerekli FV panellerin üretimi sırasında kullanılan yarı iletkenlerin üretim süreci için zararlı kimyasallar kullanılmaktadır. Hâlihazırda birkaç tür FV panel teknolojisi mevcuttur. Bunlar malzeme, üretim süreçleri ve elektriksel özellikler bakımından farklılık gösterir. En yaygın ve ticari türler (Ratner ve Lychev, 2019)’da verilmiştir.

Singh’in (2013) yaptığı çalışmadan anlaşılabileceği üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğu DA gerilim üretmektedir. Üretilen gücün kaynaktan yüke

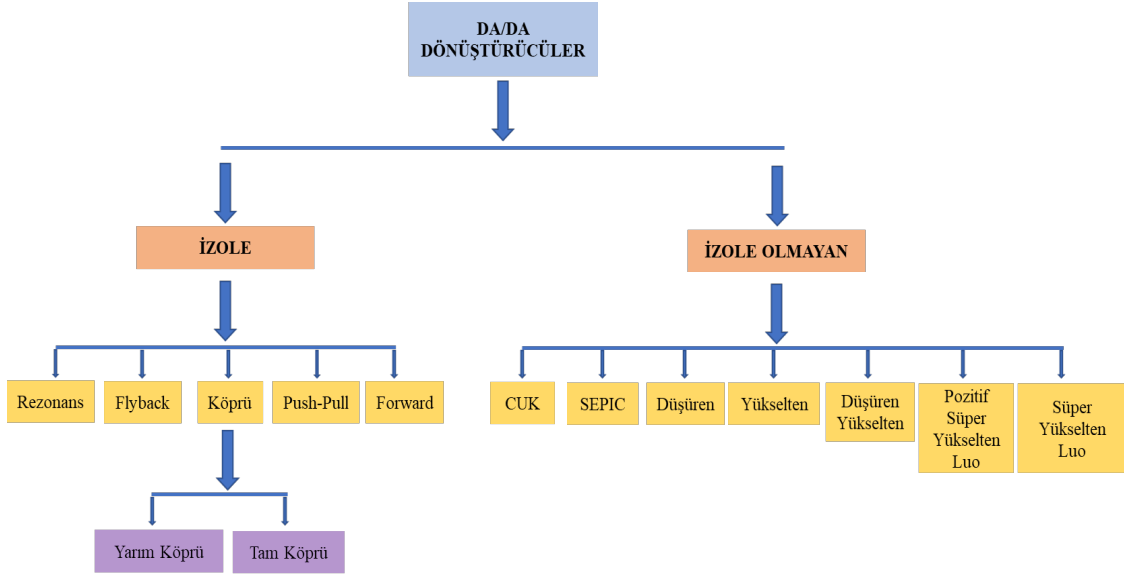
aktarılabilmesi için bir DA/DA dönüştürücü ihtiyaç vardır. Doğası gereği değişken olan güneş ve rüzgâr enerjisinin takibi için empedans eşleştirme birimi olarak DA/DA dönüştürücüler kullanılır. DA/DA dönüştürücüler, FV paneli ve yük arasında bir empedans eşleştirme birimi görevi görür. Dönüştürücünün görev oranı kontrol edilerek dönüştürücünün giriş empedansı FV panelin çıkış empedansına eşitlenir ve yük uyumu sağlanır.

Güneş enerjisinden maksimum düzeyde faydalanabilmek için FV panelin maksimum güç noktasında çalıştırılması gerekir. FV panelin maksimum güç noktasında çalıştırılabilmesi için gerekli olan MGNİ yönteminin uygulanabilmesi için FV panel ve yük arasına uygun DA/DA dönüştürücünün yerleştirilmesinin gerekliliği Chowdhury ve Saha (2010) tarafından belirtilmiştir.

Çıkışından DA formundaki elektrik enerjisi temin edilen kaynaklar, kullanılan DA/DA dönüştürücüler sayesinde istenilen değerdeki DA gerilim sahip uygulamalarda kullanılabilmektedirler. Kaynaktan çekilen gerilim ve DA/DA çıkışından elde edilmek istenilen gerilim değerinin büyüklüğü nasıl bir DA/DA dönüştürücüye ihtiyaç olduğunu belirlemektedir. Örneğin DA/DA çıkış gerilim değerinin kaynağından büyük olması isteniliyorsa DA/DA yükselten dönüştürücüye ihtiyaç vardır, aksi durumda ise DA/DA düşüren dönüştürücü kullanılır (Demirbaş ve ark., 2011).

FV tarafından üretilen DA formundaki doğrusal olmayan düşük gerilim değerine sahip elektrik enerjisinin farklı alanlarda kullanılabilmesi için DA/DA dönüştürücülere ihtiyaç vardır. Ayrıca FV paneller tarafından üretilen düşük DA çıkış gerilimi güneş ışınlamına, gölgeleme etkileri nedeniyle ani değişime, ortam sıcaklığına, FV modül yüzeyinin temizlik derecesine, FV modüllerinin uyumsuzluğuna göre değişebilmektedir. Bu nedenle, FV panellerin düşük ve tutarsız DA çıkış gerilimini düzenlemek için bir DA/DA yükseltici dönüştürücü tasarlamak kritik bir ihtiyaçtır (Baharudin ve ark., 2017).

Raghavendra ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklı uygulamalarda kullanılan ve Şekil 2.2’de verilen izole ve izole olmayan DA/DA dönüştürücülerin bazıları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.



Şekil 2.1. DA/DA dönüştürücüler.

Walker ve Sernia (2004) tarafından yapılan çalışmada, FV panellerin ürettiği elektrik enerjisinin yüksek güç ve gerilim uygulamalarında kullanılabilmeleri için yükselten dönüştürücülerin uygun adaylar olduğu ifade edilmiştir.

Lakshmi ve Hemamalini (2017) yaptıkları çalışmada yüksek kazanç katsayısına sahip yeni bir izole DA/DA yükselten dönüştürücü önermişler. Bu dönüştürücünün tasarım kriterleri, çalışma modları belirlendikten sonra benzetim ve deneysel çalışmaları yapılmıştır.

Revathi ve Prabhakar (2016) yaptıkları çalışmada FV sistemler için kullanılması uygun olan DA/DA dönüştürücüyü belirlerken aşağıdaki gerekçeleri göz önünde bulundurmuşlardır. FV panellerin çıkış gerilimi 20-60 V mertebesinde olduğundan, yüksek kademeli DA/DA dönüştürücüler, FV panelleri ve evirici-yük kombinasyonu arasında bir arayüz olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek fazlı 240 V AA şebekeye bağlı güç sistemlerinde tam köprü evirici girişine uyması için düşük FV gerilimin yüksek gerilime, yaklaşık 380 V'a yükseltmek için yüksek verimliliğe sahip yüksek kademeli DA/DA dönüştürücüler gerekir. İzole DA/DA dönüştürücüler, dönüş oranı gerekli kazanca göre tasarlanabilen bir transformatör kullanır. Bu, genel sistemi hantal hale getirir. Ayrıca, bu dönüştürücülerin ana anahtarları, yüksek gerilim dalgalanmalarından ve dolayısıyla transformatörün kaçak endüktansı nedeniyle daha yüksek anahtarlama güç kaybından muzdariptir. İzole olmayan DA/DA dönüştürücüler, transformatör gerektirmez ve pasif bileşenlerin kullanılmasıyla yüksek kazanç elde etme yeteneğine

sahiptir. Bu nedenle, izole edilmemiş yüksek kademeli DA/DA dönüştürücüler kompakt ve daha verimlidir. Şebekeye bağlı tüm FV sisteminin verimliliği büyük ölçüde DA/DA dönüştürücü aşamasına bağlı olduğundan, yalıtılmış olmayan DA/DA dönüştürücüler FV bağlantılı uygulamalar için en iyi adaylardır. Şebekeden bağımsız bir FV sistemin kurulabilmesi için gerekli olan üç bileşen (güneş enerjisi, FV panel ve DA/DA dönüştürücü) tanıtıldıktan sonra maksimum gücün elde edilebilmesi için gerekli olan MGNİ hakkında yapılan akademik çalışmalar ile ilgili bildirişler yapılmıştır.

DA/DA dönüştürücünün, FV panelden meteorolojik terimlerin herhangi bir değerinde (ışınım, sıcaklık) maksimum kalıcı gücü çekebilmesi için MGNİ kontrol yöntemi ile kontrol edilmesi gerekmektedir. MGNİ yöntemi ilk defa 1968 yılında National Aeronautics and Space Administration (NASA) tarafından uzay sistemleri için kullanılmıştır. MGNİ kontrol yöntemi için zamanla birçok farklı algoritma geliştirildi ve MGNİ'yi bulmak için yaygın bir şekilde kullanıldı (Yazdani, 2009). Yaygın olarak kullanılan MGNİ kontrol yöntemi, herhangi bir anda veya hava koşullarında meydana gelebilecek yük değerindeki değişikliklerden bağımsız olarak, FV sistemin en iyi ve optimum çıkış değerinde çalışabilmesi için bir dönüştürücünün görev çarpanına bağlı olarak çalışır (Paul ve Mathew, 2014).

Podder ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada FV panellerin V-I ve V-P karakteristikleri doğrusal olmadığını ve çıkış güçleri; ısıma, sıcaklık ve bağlanan yüke göre farklılık gösterdiğini anlatmışlardır. Aynı zamanda Faranda ve ark. (2008) çalışmalarında; FV panellerin çıkış güçleri sürekli değişiyor olsa bile, panellerden içinde bulunduğu ortam koşullarında (sıcaklık ve ısıma) alınabilecek maksimum gücün bulunduğu bir çalışma noktası olduğunu belirtmiştir. Bu noktaya FV panelin MGNİ'si denildiğini ve FV panellerden içerisinde bulunduğu ortam şartlarında maksimum gücü üretmesini sağlayan çalışmalara (devreler, algoritmalar vs.) MGNİ adı verildiğini detaylı bir şekilde anlatmıştır. MGNİ yöntemi ile FV panelin maksimum güç noktasında çalıştırılması, genel sistemin verimini ve üretilen gücünü artırır (Mosa ve ark., 2017). MGNİ yönteminin FV panel uygulamalarında verimin %45'lere kadar arttırılabileceğini Santos ve ark. (2006) tarafından yapılan bilimsel çalışmada gösterilmiştir.

Gümüş (2021) yaptığı yüksek lisans tezinde MGNİ yöntemlerini geleneksel, zeki ve hibrit olmak üç farklı grupta toplamıştır. Geleneksel yöntemler; açık devre gerilim (ADG), kısa devre akım (KDA), değiştir ve gözle (D&G) ve arttırımsal iletkenlik (Aİ)

olarak sınıflandırılmıştır. Zeki yöntemler ise bulanık mantık denetleyicileri (BMD), yapay sinir ağları (YSA), genetik algoritma (GA), yerçekimsel arama (YA) algoritması, normal harmoni arama (NHA) algoritması, parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritması, ateş böceği (AB), çiçek tozlaşması (ÇT), guguk kuşu optimizasyon (GKO) algoritması ve gri kurt (GK) algoritmasından oluşmaktadır. Hibrit yöntemlerde ise geleneksel ve zeki yöntemler beraber kullanılarak kısmi gölgelenmede bile MGN'sını etmek için aktif şekilde kullanılmaktadır. Hibrit yöntemler tekil algoritmalara kıyasla daha iyi izleme performansı sağlamıştır (Baba ve ark., 2020). FV panellerden istenilen şartlarda elektrik üretimi için eviriciler çok önemli rol üstlenmektedir. Endüstride yüksek güç verimine sahip olması nedeniyle daha çok gerilim kaynaklı eviriciler tercih edilir (Cholewa ve ark., 2018).

Riberio ve ark. (2010) yaptıkları makalede, bir DA/AA eviriciyi sunmuştur. DA/DA dönüştürücü ve DA/AA evirici tek kademeli bir topolojide bir FV sistem ve AA şebekesi arasında arayüz dönüştürücü olarak kullanılabilir. Önerilen topolojide üç seviyeli çıkış gerilimine sahip tam köprü eviriciye eklenen iki diyot ve bir endüktansla yükselten dönüştürücü elde edilmiştir. Önerilen sistem şebekeye enjekte edilen ve FV panel akımları için gerekli olan histeristik kontrolcüye dayalıdır.

Sunita ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, güneş enerjisini kullanıldığı FV sistemlerin temiz, ucuz ve çevre dostu olması nedeniyle oldukça ilgi gördüğü vurgulanmıştır. DA/AA eviriciler, FV panellerden elde edilen DA formundaki elektrik enerjisinin AA gerektiren elektrikli ev aletleri veya elektrik şebekesi tarafından kullanılabilmesi için AA formuna dönüştürülmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Yapılan çalışmada FV sistem için kullanılan evirici sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM) tekniği ile kontrol edilmiştir.

Abad (2017) yaptığı çalışmada tam köprü DA/AA eviriciler, FV sistemleri, dikey eksenli rüzgâr türbini (VAWT) sistemleri ve hibrit elektrikli araçlar gibi mekatronik enerji sistemlerinde yaygın olarak kullanıldığını ve küresel refah ve sürdürülebilirliği sağlamak için bu sistemlerin güvenilir ve verimli çalışması ve geleceğin elektrik şebekesi ile ara bağlantıları için kritik öneme sahip olduğunu vurgulamıştır.

Ramos ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada DA/AA eviriciler için aranan kriterler şöyle sıralanmıştır; I) çıkış gerilimi için düşük toplam harmonik bozulmaları, II) ani yük değişimi durumunda hızlı geçiş tepkisi ve III) küçük kararlı durum hataları. FV

sistemlerde, tam köprü DA/AA eviricinin temel görevi FV panel tarafından üretilen DA güç girişini kontrol edilebilir büyüklük ve frekansa sahip sinüzoidal bir AA güç çıkışına dönüştürmesidir. Tek kademeli bir DA/AA evirici, bir ara aşamaya ihtiyaç duymadan DA'yı AA'ya dönüştürür. İki aşamalı bir DA/AA evirici, bir DA/DA dönüştürücü ve bir DA/AA eviriciden oluşmaktadır. Birinci aşamalı DA/DA dönüştürücü, MGNİ kontrol yöntemi ile maksimum gücü sağlamaktadır ve bu maksimum güç ikinci aşamada ise DA/AA evirici devreye girerek istenilen düzeydeki sinüzoidal gerilim elde edilir. Önerilen her iki DA/AA evirici yaklaşımlarının doğrusal olmayan yükler için de doğru bir şekilde çalıştırılabilmesi için kapalı çevrim kontrolünün yapılması gerekmektedir.

Chang ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, öngörülemeyen kesintilerin varlığında bile yüksek kaliteli sinüzoidal çıkış dalga şekli sağlamak için sağlam bir optimal izleme kontrol stratejisi kullanan tam köprü bir DA/AA evirici geliştirmektedir. Önerdiği sistemin benzetim çalışmalarını MATLAB/Simulink programında yapmıştır. Deneysel çalışmalarını dijital sinyal işlemcisi (DSP) sayesinde gerçekleştirmiştir.

DA/AA eviricilerin temel görevi, girişe uygulanan DA gerilimin kullanılan uygun kontrol yöntemi sayesinde çıkışta istenilen genlik ve frekansta bir sinüzoidal AA gerilime dönüştürmektir. DA/AA Evirici devreleri uygun modülasyon yöntemlerinin kullanıldığı köprü yapısına sahiptirler. Eviricilerin ebatlarının küçük olması tercih edilmektedir. Özellikle köprü tipi eviricilerde girişe uygulanan gerilimin küçük olması maliyetin ve ebatların artmasına neden olmaktadır. DA/AA eviricinin tek ve üç faz uygulamaları mevcuttur. Düşük güç uygulamaları için tek fazlı tercih edilirken orta ve yüksek güç uygulamaları için ise üç fazlı DA/AA eviriciler tercih edilmektedir. DA/AA eviriciler AA bileşenine sahip gerilim ve akım sinyali sağlarlar AA yükler veya sistemler için. Eviricinin çıkışında elde edilen sinyal sinüzoidal olmayabilir, küçük ve orta güç uygulamalarında ama yüksek güç uygulamalarında sinüzoidal olması gerekmektedir. Eviricinin gücüne bakılmaksızın çıkışında mevcut PWM teknikleriyle elde edilen kare dalganın temel frekansı ve genliği ayarlanmaktadır. Gerilim, akım ve empedans kaynaklı olmak üzere piyasada üç çeşit evirici mevcuttur.

Gerilim veya akım kaynaklı tek fazlı DA/AA eviriciler genellikle yarım köprü veya tam köprü olarak tasarlanırlar (Liao ve ark., 2018). Köprü yapısına sahip eviricilerde birden çok anahtarlama elemanı mevcuttur ve bu anahtarlama elemanlarının kontrolünün yapılabilmesi için önerilen birçok darbe genişlik yöntemi kullanılmaktadır. SPWM

yöntemi ile şebeke gerilimine benzer çıkış gerilimleri elde edilmektedir (Azim ve ark., 2014).

Fidan (2020) yaptığı yüksek lisans tezinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla elde edilen DA formundaki elektrik enerjisinin AA formunda kullanılabilmesi için gerekli olan DA/AA eviricileri incelemiştir. Eviricinin çıkışında elde edilen sinyalin istenilen özelliklere sahip AA enerjiye dönüştürülebilmesi için filtre araştırmalar yapmış ve tasarladığı devreye uygun olan LCL filtresini kullanmıştır. THB ise IEEE-519 standartlarına uygun olacak şekilde ayarlamıştır.

Güneş enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üreten FV panellerin kaynak olarak kullanıldığı şebekeye bağlı sistemleri için kullanılan eviricilerden elde edilen AA formundaki elektrik enerjisinin akım harmonikleri tüm dünyada kabul gören IEC61000 veya IEEE519 standartlarına uygun olması beklenir (Kim ve Kim, 2019). Belirtilen standartlarda çıkışın sağlanabilmesi için farklı özellikte filtrelerin kullanılması çok önemlidir. Eviriciler için kullanılan filtre L, LC ve LCL şeklinde olabilir. Kullanılan filtre basit tasarımından dolayı L olarak seçilebilir ama belirlenen uluslararası THB seviyesinin altına düşebilmek için yüksek ekdüktans değerlerine ihtiyaç vardır. Bu durum istenilen THB'yi vermesine rağmen sistemin toplam verimini düşürmektedir. Bu soruna çözüm olabilmesi için LC ve LCL filtreleri geliştirilmiştir (Rasekh ve Hosseinpour, 2020). Lo Calzo ve ark. (2015) yaptıkları yayında LCL ve LC filtrelerini şebekeye bağlı olarak denemiş ve başarılı, kayda değer sonuçlar edinmişlerdir.

Demir (2020) yaptığı yüksek lisans çalışmasında FV sistemlerde kullanılan tek fazlı eviricinin çıkış akım THB'sini IEEE-519 standartlarının sınırları içinde tutabilmek için LCL filtresi tasarlayıp kullanmıştır. Aynı zamanda verimin yüksek olması için uygun kontrol yöntemini kullanmıştır.

Karaca ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada farklı ışınlam değerleri için çalıştırılan FV panellerden elde edilen farklı güç seviyelerde kullanılan eviriciler için pasif filtreleri incelemiştir. Ayrıca bu çalışmada, FV sistemlerde kullanılan DA/AA eviricilerin çıkışında istenilen özelliklere sahip sinüzoidal AA sinyalin edinilebilmesi için kullanılan L, LC ve LCL tipi pasif filtreler tasarlanmıştır.

Geleneksel SPWM tekniğinde, her bir anahtar, kHz aralığında bir üçgen taşıyıcı sinyal ile temel bir frekans sinüzoidal referans dalga biçimini karşılaştırarak kontrol edilir. Çıkış gerilimi dalga biçiminin temel frekansı, referans dalga biçimiyle aynıdır ve

gerilim genliği, referans sinyalinin ve taşıyıcı sinyalin bağıl genliği ile bulunur. SPWM, genlik modülasyon oranı birden küçük olduğu için doğrusal çıkış gerilim kontrollü DA/AA eviricilerin kullanımı yaklaşık %80 attırmıştır ve düşük THB avantajlarına sahiptir. Bununla birlikte, SPWM kullanan eviriciler için dezavantajlar ise, yüksek sayıda anahtarlama elemanın varlığı ve düşük temel frekanslı çıkış gerilimi genliğidir (AL-Jafeary ve Tan, 2020). SPWM tekniğinde, yüksek frekanslı taşıyıcı sinyal istenilen referans sinüzoidal sinyalin frekansı ile karşılaştırılır.

Afarulrazi ve ark. (2010), DA/AA eviricilerin DA formundaki kaynakların çıkışını AA yükler veya şebeke için istenilen özelliklere sahip sinüzoidal AA sinyale çevirmek için kullanılan en önemli ara devreler olduğunu, yaptıkları çalışmada vurgulamışlardır. Bu çalışmada, Alan Programlanabilir Mantık Dizisi (FPGA) kullanılarak tek fazlı tam köprü evirici için geliştirilen SPWM yöntemi sunulmuştur. SPWM yöntemi ile eviricinin çıkışında gerilim büyüklüğü kontrol edilmiştir. SPWM, eviricinin çıkış gerilim büyüklüğünü kontrol etmek için kullanılmıştır. Hataş ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, 5 seviyeli tam köprü eviricinin kontrolü için FPGA kartı sayesinde SPWM yöntemini kullanmıştır.

Rensburg ve ark. (2008) her geçen gün gelişen teknoloji ile beraber kullanımı artan ve haberleşme, otomotiv, sanayi gibi sektörlerde kullanımı kaçınılmaz olan yükselten dönüştürücülerin uyumluluğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında 3 farklı yükselten dönüştürücüyü PI kontrolcü ile kontrol edip karşılaştırmıştır.

DA/DA dönüştürücüler için kullanılan kontrol yönteminin uygun olabilmesi için dönüştürücülerdeki değişken giriş gerilimi, değişken yük ve doğrusal olmayan özelliklerin üstesinden gelinebilmeli, hızlı bir şekilde tepki verirken aynı zamanda kontrol şartlarındaki kararlılık sağlanmalıdır. Kullanılan kontrolcülerin bazıları: Fuzzy kontrol, yapay sinir ağları, PI, PID ve kayan kipli olarak sınıflandırılabilir. Yapılan bu çalışmada kullanılan yöntem ile istenilen sonuçlar elde edilmiştir (Dhali ve ark., 2012).

Çorapsızın (2009) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, PI kontrolde, orantı (P) ve integral (I) etkisinin bir arada kullanıldığında sadece orantı etkisinin kullanıldığı için ortaya çıkan kalıcı durum hatasının ortadan kaldırıldığını göstermiştir. Orantı etkisinin neden olduğu kalıcı durum hatası integral etkisiyle giderilmiş olur ama aynı zamanda integral etkisinden dolayı bağıl kararlılıkta sistemin cevap hızı düşürülmüş olur.

Hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız FV sistemler için batarya grubuna ihtiyaç vardır. Yeterli güneş ışınımı varken üretilen DA elektrik enerjisinin bataryalarda depolanması ve ihtiyaç durumunda kullanılabilmesi için iki yönlü çalışabilecek DA/DA dönüştürücülere kullanımı kaçınılmaz bir hale gelmiştir. Bu dönüştürücüler bataryalar şarj edilirken düşüren dönüştürücü gibi çalışırken, aksi durumda ise yükselten dönüştürücü gibi çalışmaktadır (Liao ve Ruan, 2008).

Çift yönlü DA/DA dönüştürücüler izolesiz ve izoleli olmak üzere iki ana başlık altında gruplanabilir. Ravi ve ark. (2018) yaptığı çalışmada bu iki grup örnekleriyle detaylı olarak incelendikten sonra yüksek güçlü uygulamalar için izole çift yönlü dönüştürücünün daha uygun olduğu belirtilmiştir ve kullanılacak uygun yumuşak anahtarlama yöntemi ile kayıpların azaltılabileceği ifade edilmiştir. Temelde izole çift yönlü DA/DA dönüştürücüler DA/AA dönüştürücü ve AA/DA eviricinin bir arada kullanılmasıyla elde edilir. DA kaynaktan beslenen DA/AA dönüştürücü kullanılan uygun kontrol yöntemi sayesinde AA forma dönüştürülür ve bu dönüştürülen değer kullanılan transformatör sayesinde izoleli olarak AA/DA eviriciye aktarılır ve kısımda kullanılan uygun kontrol yöntem ile istenilen değerdeki DA gerilime dönüştürülür.

Özer (2021) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında genelde kullanılan yükselten ve düşüren dönüştürücülerin tek taraflı olduğunun ve çift yönlü güç akışının mümkün olmadığını beyan etmiştir. Ve bunun başlıca nedeni ters akım akışını engelleyen diyotlar olduğunu gözlemlemiştir. Çift yönlü DA/DA Dönüştürücüler, giriş ve çıkış arasında transformatör kullanılıp kullanılmamasına göre izoleli ve izole olmayan olarak adlandırılır. İzole olmayan ve izole çift yönlü DA/DA dönüştürücüler MATLAB/Simulink ortamında tasarlanıp benzetim çalışmaları yapılmıştır. İzole çift yönlü DA/DA dönüştürücü 48/28 V, 2 kW değerleri için MATLAB/Simulink ortamında her iki yönde güç akışı için benzetim çalışmaları yapıldı ve her iki yöndeki güç akışını kontrolü için PID kullanılmıştır.

Dünyanın birçok uzak bölgesinde, bölgedeki dağıtılmış tüm yükleri karşılamak için elektrik şebekesinin kullanılabilirliğini genişletmek çok maliyetlidir. Bu nedenle, dizel jeneratörler, FV güneş paneller ve bataryalardan oluşan şebekeden bağımsız sistemler, yedek olarak uzak bölgelerine yerleştirilir.

Şebekeden bağımsız bir FV sistemi, bir FV modülünden, bir depolama cihazı olarak bataryadan, bir şarj kontrol cihazından ve AA yükler için bir DA/AA

dönüştürücüden oluşur. Şebekeden bağımsız sistemlerin kullanımı hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde yaygınlaşmıştır (Coc ve ark., 2012)

Şebekeden bağımsız FV uygulamaları için en önemli gereksinimler, bir depolama sistemi, düşük maliyet, yüksek enerji verimliliği, daha uzun ömür, düşük bakım maliyeti, kendi kendine deşarj olma ve basit kullanımdır. Batarya depolama sistemleri, şebekeden bağımsız FV sistemlerinin en iyi bilinen depolama elemanları olmasına rağmen, yüksek başlangıç yatırımları gerektirirler. Sonuç olarak, çalışma koşulları ve şarj-deşarj korumasının batarya ömrü ve maliyeti üzerinde güçlü etkileri olduğundan batarya kullanımını yönetmek önemlidir (Jenkins ve ark., 2008)

Şebekeye bağlı FV sistem tarafından üretilen güç uygun DA/AA evirici kullanılarak doğrudan iletim hattına verilir ve dağıtılır. Bu uygulamalarda batarya ve depolama için gerekli cihazların kullanılması gerek duyulmaz. Şebekeden bağımsız FV sistemlere kıyasla daha düşük yatırım ve bakım maliyeti gerektirir (Yang ve ark., 2009). Tüm bölgelere elektrik enerjisinin ulaştırılması için şebeke yayılımı veya kurulumu için gereken büyük yatırımlardan dolayı düşük enerji talebi olan bölgeler için şebekeye bağlı FV sistemlerin kurulumu ekonomik değildir (Diaz ve ark., 2010).

Güneş enerjisi pazarı dünya çapında hızla genişlemektedir ve güneş enerjisi pazarında en hızlı büyüyen sektör, 1 MW'ın üzerinde çıktılara sahip büyük ölçekli FV sistemlerdir. Bu şebekeye bağlı MW'lık FV sistemlerde, genellikle hava koşulları nedeniyle önemli ölçüde güç değişimi meydana gelmektedir. Güneş çiftliklerinin kesintili güç üretimi, tüm güç sisteminin arz ve talep dengesini bozabilir ve ayrıca gerilim dalgalanması ve frekans değişimleri gibi kararlılık sorunlarına neden olabilir. Ayrıca, FV sistemleri geceleri güç üretmezler, bu nedenle konut uygulamalarında pik yükleri destekleyemezler. Son araştırmalar, esnek gerçek güç kontrolü nedeniyle batarya depolamanın FV sistemlerinde yukarıdaki sorunları çözmek için kullanılabileceğini göstermiştir. Ne yazık ki, bataryaların yüksek maliyeti nedeniyle bu teknik kapsamlı bir şekilde uygulanamamıştır (Yang ve ark., 2017). FV sistemlerinin boyutlandırılmasına yönelik araştırmaların durumu, şebekeye bağlı FV sistemleri, hibrit FV/rüzgâr sistemleri, hibrit FV/dizel jeneratör sistemleri, hibrit FV/rüzgâr/dizel jeneratör sistemleri ve şebekeye bağlı sistemler dikkate alınarak gözden geçirilmektedir. Dağıtılmış enerji üretimi (DEÜ) sistemleri, son yirmi yılda dünyada giderek daha popüler hale geldi. DEÜ

sistemleri, tüketicinin bulunduğu yerin yakınında kurulan hem geleneksel fosil hem de yenilenebilir kaynakların tek başına veya birlikte (hibrit) kullanılmasıyla meydana gelir.

FV sistemler şebekeden bağımsız, hibrit ve şebekeye bağlı FV sistemler olmak üzere üç farklı biçimde kullanılabilmektedir. FV sistemler, çok fazla bakım ve işletme maliyeti olmadan güç sağlayabilen uygun güç üretim sistemleri olarak, genellikle şebekeden bağımsız FV ve hibrit FV sistemler olarak kırsal ve uzak alanlar için uygulanmıştır. Şu anda, şebekeye bağlı FV sistemleri, güç sistemlerinde dağıtılmış üretim birimleri olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. (Khatib ve ark., 2013).

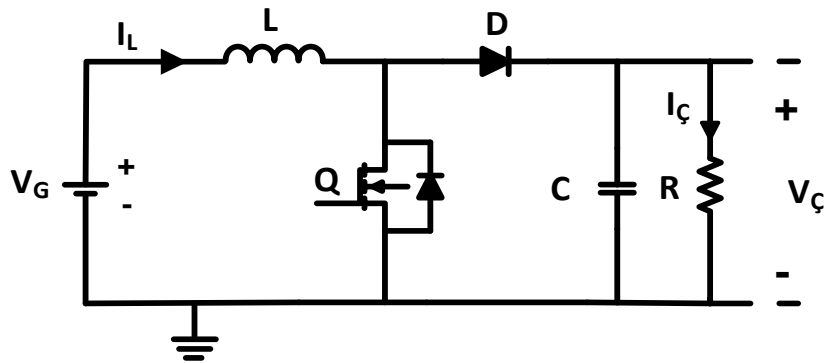
Özellikle şebekeden bağımsız FV sistemlerde enerji akışının kesintiye uğramaması için depolama birimi olan bataryalara ihtiyaç vardır. FV paneller tarafından üretilen güç gerekli yük talebini aştığında artan enerji depolama birimi olan bataryalarda DA formunda depolanır ve FV panellerin üretimi yetersiz kaldığında bataryalarda depolanan enerji sisteme aktarılır. Şebekeden bağımsız bir FV sistemi için yük talebi DA ve/veya AA yük olmak üzere birçok tipte olabilir (Khatib ve ark., 2016).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tezde kullanılan devreler ve kontrol yöntemleri detaylı bir şekilde aktarılmıştır. Kullanılan devrelerin tasarımı ve matematiksel analizleri, her bir devre için uygulanan kontrol yöntemleri, izole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücü için kullanılan transformatörün tasarımı, FV panellerin matematiksel analizleri, batarya grubu ve güç yöntemi bu bölümde verilmiştir.

3.1. Klasik Yükselten DA/DA Dönüştürücü Tasarımı ve Analizleri

Bu bölümde Klasik yükselten (boost) DA/DA dönüştürücü devresi temel hatlarıyla aktarıldıktan sonra bu dönüştürücünün sürekli iletim modu (Continuous Conduction Mode (CCM)) ve sürekli olmayan iletim modu (Discontinuous Conduction Mode (DCM)) için analizleri yapılmıştır. Klasik yükselten (boost) DA/DA dönüştürücü devresinde dönüştürücünün çıkışındaki gerilim değeri girişindeki gerilim değerinden daha büyüktür. Özellikle güneş enerjisinin kullanıldığı enerji sistemlerinde kullanımı kaçınılmaz olan klasik yükselten DA/DA dönüştürücü temelde, Şekil 3.1’ de gösterildiği üzere, girişinde bir endüktans; IGBT, MOSFET, GTO v.b. gibi bir yarı iletken anahtarlama elemanı, diyot, kapasitör ve DA gerilim sağlayan herhangi bir kaynaktan oluşur (Akman, 2009).

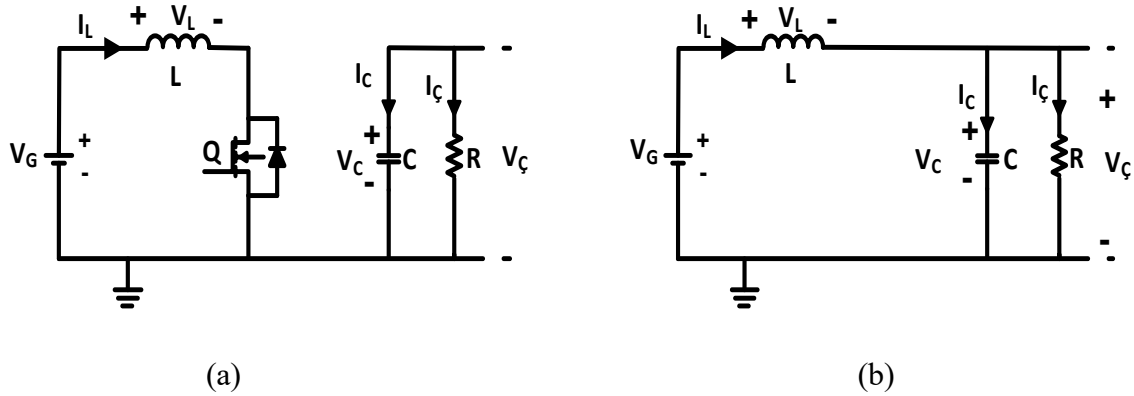


Şekil 3.1. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresi.

3.1.1. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücü CCM analizi

Klasik yükselten DA/DA dönüştürücü CCM için çalıştırıldığında, devre analizi anahtarın iletimde ve kesimde olma durumlarında yapılmaktadır. Bu modda L tam şarj ve deşarj olmaktadır. Yani L endüktansı üzerindeki akım sürekli dir.

Şekil 3.2a’da görüleceği üzere Q anahtarı iletimdedir (ON). Bu durumda D diyot doğal yapısının gereği olarak ters kutuplanmadan dolayı kesimdedir ve devrenin giriş ve çıkışını birbirinden ayırmıştır. Aynı zamanda kaynak tarafından endüktansta endüklenen gerilim (V_L) artmaktadır ve yük tarafında ise gerilim depolanan C kapasitöründen dolayı ters I_C akımı oluşmaktadır. Şekil 3.2b’de verildiği gibi Q anahtarı kesime (OFF) geçtiğinde anahtar iletimde iken V_L ve kaynak gerilimi, D diyotunun iletime geçmesiyle R yüküne doğru akmaya başlar. Böylece çıkış gerilimi (V_C) giriş gerilimi ve V_L toplamı kadar olur ve bu durum her döngü için tekrarlanır (Gürdal, 2000).



Şekil 3.2. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücüde anahtarın a) iletimde b) kesimde olma durumu.

Q anahtarı iletimde iken giriş akımı L endüktansı ve Q anahtarı üzerinden artarak akar. Anahtar kesime girince ise kaynaktan gelen akım ve L üzerinde depolanan akım L , C, yük ve D üzerinden akmaya başlar. Bir sonraki anahtarlama periyoduna kadar L üzerindeki akım azalır ve depolanan enerji yüke doğru akar (Rashid, 2015).

C kapasitörü, devrenin çıkışında istenilen gürültüsüz yani kayıpsız gerilimin elde edilmesi ve istenilen değerde sabit tutulması için kullanılmaktadır. Bu durumun sağlanabilmesi için uygun özelliklere sahip kapasitörün kullanılması gerekmektedir (Çorapsız, 2009).

Q anahtarının iletimde olma oranını ifade eden görev çarpanı d olarak tanımlanmıştır. DA/DA yükselten dönüştürücünün dönüştürme oranı Eş. 3.1’de verilmiştir.

$$0 = dV_G + (1 - d)(V_G - V_C), \quad \frac{V_C}{V_G} = \frac{1}{1 - d} \quad (3.1)$$

Q anahtarı iletimde (Şekil 3.2a) ve kesimde (Şekil 3.2b) iken verilen devreler analiz edildiğinde elde edilen dinamik denklemler sırasıyla Eş. 3.2-3.3 ve Eş. 3.4-3.5’de verilmiştir

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{1}{L}V_G, \quad V_L = dV_G \quad (3.2)$$

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{1}{C} \left(-\frac{V_C}{R} \right) \quad (3.3)$$

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{1}{L}(V_G - V_C), \quad V_L = (1 - d)(V_G - V_C) \quad (3.4)$$

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{1}{C} \left(I_L - \frac{V_C}{R} \right) \quad (3.5)$$

Yukarıda verilen eşitlikler için $x_1 = I_L$, $\dot{x}_1 = \frac{dI_L}{dt}$, $x_2 = V_C$ ve $\dot{x}_2 = \frac{dV_C}{dt}$ olarak tanımladıktan sonra verilen Eş.3.6 ve 3.7’de verilen genel ifadeler elde edilmiştir.

$$\dot{x}_1 = -\frac{(1 - d)}{L}x_2 + \frac{1}{L}V_G \quad (3.6)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{(1 - d)}{C}x_1 - \frac{1}{RC}x_2 \quad (3.7)$$

Q anahtarının iletimde ve kesimde olma durumları için Eş. 3.6 ve 3.7’de verilen denklemler bir arada kullanılarak Eş. 3.8’deki gibi matris formu elde edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{(1-d)}{L} \\ \frac{(1-d)}{C} & \frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} V_G \quad (3.8)$$

Klasik yükselten DA/DA yükselten dönüştürücü için anahtarın iletimde ve kesimde olma durumlarına göre yapılan temel devre analizleri incelendikten sonra küçük sinyal analizi için aşağıda verilen işlemler yapılmıştır. Eş.3.6 ve 3.7’de verilen denklemler Eş. 3.9 ve 3.10’daki aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. İşlemlerin daha kolay yapılabilmesi için diyotun iç direnci, Q anahtarının iletimde olduğunda sahip olduğu direnç değeri ihmal edilmiştir. Yapılan analizlerde, giriş akımı (I_G) ve I_L , $I_L = I_G = \frac{V_G}{R(1-d_{nom})}$ olacak şekilde birbirlerine eşittirler aynı zamanda V_G ve kapasitör gerilimi de birbirine eşittir.

$$L \frac{d\bar{i}_L}{dt} = -(1 - \bar{d}) \bar{V}_G + \bar{V}_G \quad (3.9)$$

$$C \frac{d\bar{V}_G}{dt} = (1 - \bar{d}) \bar{i}_L - \frac{1}{R} \bar{V}_G \quad (3.10)$$

Verilen akım, gerilim ve görev çarpanı değerleri AA ve DA bileşenlerine $\bar{i}_L = I_L + \widetilde{i}_L$, $\bar{V}_G = V_G + \widetilde{v}_G$, $\bar{V}_G = V_G + \widetilde{v}_G$ ve $\bar{d} = d_{nom} + \widetilde{d}$ şeklinde ayrıldıktan sonra Eş. 3.9 ve 3.10’da yerine yerleştirildiğinde denklemlerin yeni halleri sırasıyla Eş. 3.11 ve 3.12’deki gibi olmuştur.

$$L \frac{d(I_L + \widetilde{i}_L)}{dt} = -[1 - (d_{nom} + \widetilde{d})] (V_G + \widetilde{v}_G) + (V_G + \widetilde{v}_G) \quad (3.11)$$

$$C \frac{d(V_G + \widetilde{v}_G)}{dt} = [1 - (d_{nom} + \widetilde{d})] (I_L + \widetilde{i}_L) - \frac{1}{R} (V_G + \widetilde{v}_G) \quad (3.12)$$

Gerekli işlemler yapıldıktan sonra DA ve ikinci dereceden ifadeler ihmal edilerek Eş. 3.13 ve 3.14 verilen denklemler elde edilmiştir.

$$L \frac{d\widetilde{i}_L}{dt} = \widetilde{v}_G + \widetilde{d} V_{\zeta} - (1 - d_{nom})\widetilde{v}_{\zeta} \quad (3.13)$$

$$C \frac{d\widetilde{v}_{\zeta}}{dt} = \widetilde{i}_L - \widetilde{d} I_L - \widetilde{i}_L d_{nom} - \frac{\widetilde{v}_{\zeta}}{R} \quad (3.14)$$

Klasik yükselten DA/DA yükselten dönüştürücü için anahtarın iletimde ve kesimde olma durumuna göre yapılan devre ve küçük sinyal analizlerinden sonra kararlılık durumunun incelenebilmesi için transfer fonksiyonlarının belirlenmesi gerekmektedir. Transfer fonksiyonlarının belirlenebilmesi için Eş. 3.13 ve 3.14 verilen denklemlerde bazı değişiklikler yapıldıktan sonra Laplace dönüşümü uygulanmıştır ve böylece transfer fonksiyonları elde edilmiştir. Yapılan değişiklikler işlemlerin daha kolay hale getirilebilmesi için $\widetilde{i}_L$, $\widetilde{v}_{\zeta}$, $\widetilde{d}$ ve $\widetilde{v}_G$ ifadelerinin yerine sırasıyla i , v , d ve v_G ifadeleri kullanılmıştır. Bu durumda Laplace dönüşümü uygulanan denklemler Eş. 3.15 ve 3.16'daki gibi olmuştur.

$$SLi = v_G + dV_{\zeta} - v + vd_{nom} \quad (3.15)$$

$$SCv = i - dI_L - id_{nom} - \frac{v}{R} \quad (3.16)$$

Eş.3.15'de i ifadesi elde edildikten sonra Eş.3.16'da yerine yazıldıktan sonra Eş.3.17' de verilen transfer fonksiyonu elde edilmiştir.

$$v = \frac{R[v_G(1 - d_{nom}) + d(V_{\zeta} - V_{\zeta}d_{nom} - SLI_L)]}{S^2RLC + SL + R(1 + d_{nom}^2 - 2d_{nom})} \quad (3.17)$$

Elde edilen transfer fonksiyonu giriş gerilimi sıfır kabul edilerek d ve çıkış gerilimi arasındaki transfer fonksiyonu Eş.3.18'de verildiği gibi yeniden yazılabilir. Aynı

şekilde görev d sıfır kabul edilip giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki transfer fonksiyonu Eş.3.19'daki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{v}{d} \Big|_{v_G=0} = \frac{R(V_{\zeta} - V_{\zeta}d_{nom} - SLI_L)}{S^2RLC + SL + R(1 + d_{nom}^2 - 2d_{nom})} \quad (3.18)$$

$$\frac{v}{v_G} \Big|_{d=0} = \frac{R(1 - d_{nom})}{S^2RLC + SL + R(1 + d_{nom}^2 - 2d_{nom})} \quad (3.19)$$

Klasik yükselten DA/DA yükselten dönüştürücü için anahtarın iletimde ve kesimde olma durumuna göre yapılan temel analizler ve kararlılık durumu incelendikten sonra devrenin istenilen güç koşullarında çalışabilmesi için gerekli olan devre elemanlarının belirlenebilmesi için bazı matematiksel hesaplamaların yapıp sınır koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Klasik yükselten DA/DA kullanılan endüktans değerinin sınır aralıkları belirlenebilmesi için Eş.3.20 kullanılmıştır. Verilen denklemde f_Q anahtarlama frekansını ifade ederken, ΔI_L ise giriş akımının dalgalanmasını ifade etmektedir.

$$L = \frac{V_G}{(f_Q \Delta I_L)} d \quad (3.20)$$

Endüktans değerinin daha sağlıklı bir şekilde hesaplanıp belirlenebilmesi için dalgalanma faktörünün %10 civarında olması tercih edilmiştir (Gandhi ve ark., 2017). Akım dalgalanma faktörü ise giriş akım dalgalanması (ΔI_L) ve çıkış akımının birbirine oranlanmasıyla elde edilmiştir (Eş. 3.21).

$$\frac{\Delta I_L}{I_o} = 0.1 \quad (3.21)$$

Kapasitör değerinin belirlenebilmesi için Eş.3.22'de verilen denklem kullanılmıştır. ΔV_{ζ} çıkış gerilimin dalgalanmasıdır (0.2 V) ve bu değer çıkış gerilimiyle oranlanmasıyla gerilim dalgalanma faktörü elde edilmiştir (Eş.3.23). Bu değer 0.0005 olarak kabul edilerek işlemler yapılmıştır (Gandhi ve ark., 2017).

$$C = \frac{I_{\zeta}}{(f_Q \Delta V_{\zeta})} d \quad (3.22)$$

$$\frac{\Delta V_{\zeta}}{V_{\zeta}} = 0.0005 \quad (3.23)$$

Q anahtarı iletimde iken endüktans üzerindeki gerilim giriş gerilimine eşittir ve V_L olarak ifade edilir. Q anahtarı iletimde olduğu süre boyunca I_L akımında değişiklikler meydana gelir, bu ilişki Eş.3.24’de verilen denklemde gösterilmiştir. Bu durumda d sıfırken Q anahtarı kesimde, sıfırdan büyük ve birden küçük olduğunda ise Q anahtarı iletimdedir. Q anahtarı iletimde olduğundaki endüktans akımı ($\Delta I_{L_{ON}}$) Eş. 3.25’de verilmiştir

$$\frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{V_L}{L} \quad (3.24)$$

$$\Delta I_{L_{ON}} = \frac{1}{L} \int_0^{dT} V_L dt = \frac{dT}{L} V_L \quad (3.25)$$

Q anahtarı kesimde olduğu süre boyunca giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişki Eş. 3.26 verilmiştir. Q anahtarı kesimde olduğundaki endüktans akımı ($\Delta I_{L_{OFF}}$) Eş. 3.27’de verilmiştir.

$$V_L - V_{\zeta} = L \frac{dI_L}{dt} \quad (3.26)$$

$$\Delta I_{L_{OFF}} = \int_{dT}^T \frac{(V_L - V_{\zeta}) dt}{L} = \frac{(V_L - V_{\zeta})(1 - d)T}{L} \quad (3.27)$$

Endüktans kararlı halde iken başlangıçta ve bitişte depolanan enerji sabit olmalıdır. Depolanan enerji Eş.3.28’de verilmiştir.

$$E = \frac{1}{2} L I_L^2 \quad (3.28)$$

Böylece, Q anahtarı iletimde ve kesimde olma durumundaki giriş akımları arasındaki ilişki Eş.3.29'daki gibi elde edilmiştir.

$$\Delta I_{LON} + \Delta I_{LOFF} = \frac{V_G dT}{L} + \frac{(V_G - V_{\zeta})(1-d)T}{L} = 0 \quad (3.29)$$

Kullanılacak endüktansın ve kapasitörün kritik değerleri sırasıyla Eş.3.30 ve Eş. 3.31 verilen denklemlerle belirlenmiştir.

$$L_c = L = \frac{d(1-d)^2 R}{2f_Q} \quad (3.30)$$

$$C_c = C = \frac{d}{2f_Q R} \quad (3.31)$$

Burada görev çarpanı (d) ve aktif olduğu süre aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$d = \frac{t_1}{T} = t_1 * f_Q \quad (3.32)$$

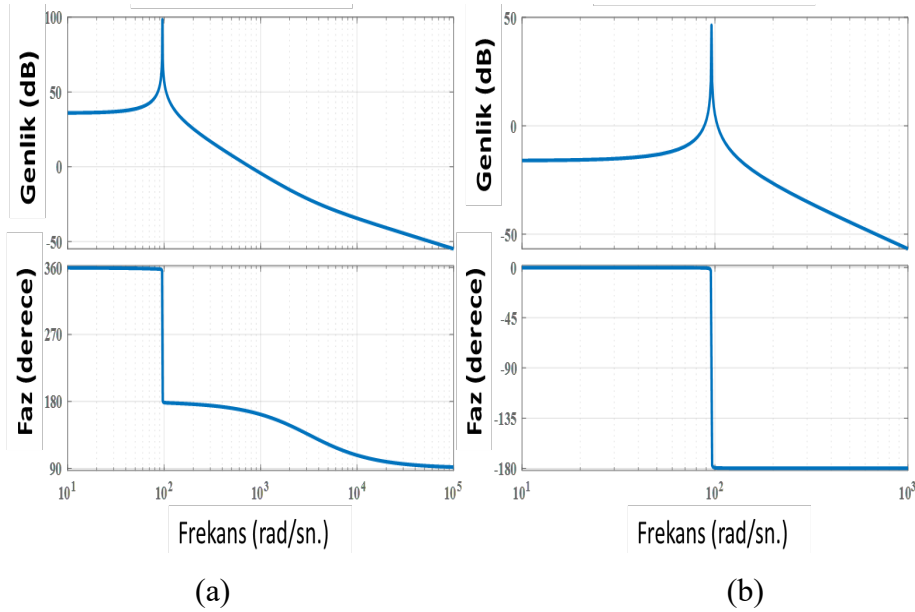
$$t_1 = \frac{V_{\zeta} - V_G}{V_{\zeta} * f_Q} \quad (3.33)$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda kullanılan klasik yükselten DA/DA dönüştürücünün devre parametreleri ve değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Önerilen DA/DA dönüştürücünün parametreleri ve değerleri.

Parametreler	Değer
Çıkış Gücü (P_C)	2.5 kW
Giriş Gerilimi (V_G)	65-100 V
Çıkış Gerilimi (V_C)	400 V
Anahtarlama frekansı (f_Q)	50 kHz
Endüktans (L)	500 μ H
Kapasitör (C)	470 μ F
Anahtarlama elemanı (Q)	IRFP460
Diyot (D)	DSEI30-06A

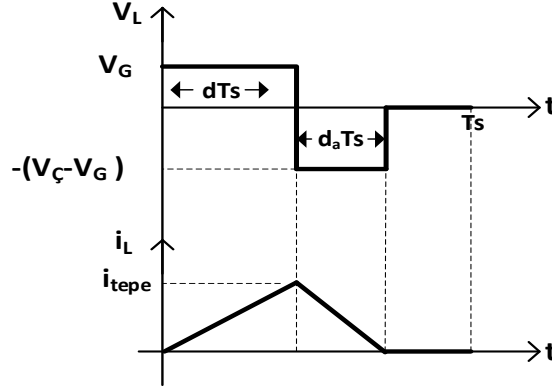
Çizelge 3.1’de özet halinde verilen bilgiler Eş. 3.18 ve 3.19’da yerine yazılarak DA/DA dönüştürücünün kararlılığının belirlenebilmesi için kullanılan Bode diyagramları MATLAB programı sayesinde çizdirilmiştir (Şekil 3.3). Elde edilen sonuçlar incelendiğinde önerilen devrenin kararlı olduğu görülmüştür.

Şekil 3.3. (a) v/d and (b) v/v_G transfer fonksiyonlarının Bode diyagramları.

3.1.2. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücü DCM analizi

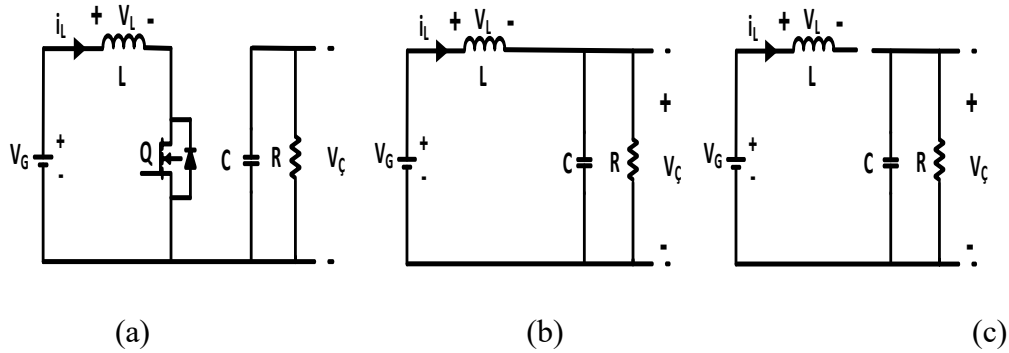
Bu bölümde klasik yükselten DA/DA dönüştürücü DCM için çalıştırıldığı durumların analizleri yapılmıştır. Bu modda L üzerindeki akım sürekli değildir. L tamamen şarj olmadığı halde deşarj olmuştur. Bu durum yükün çok küçük olduğu veya kaynağın yetersiz kaldığı durumlarda gerçekleşmektedir. DCM için L endüktansın

üzerindeki gerilim ve akım değişimi Şekil 3.4’de verilmiştir (Chen ve Chen,2015; Wei ve ark., 2019).



Şekil 3.4. DCM için V_L ve i_L değişimi (Zeng ve ark., 2015).

Klasik yükselten DA/DA dönüştürücünün Şekil 3.4’de verilen durumlarda sahip olduğu devre şekilleri Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. DCM için klasik yükselten DA/DA dönüştürücünün tüm durumları: a) L şarj olurken, b) L deşarj olurken ve c) L üzerinde akım yokken.

Önerilen dönüştürücünün kayıpsız olduğu kabul edilerek işlemler yapılmıştır. Yani giriş gücü (P_G) ve çıkış gücü ($P_Ç$) birbirine eşittir (Eş. 3.34).

$$P_G = P_Ç \quad (3.34)$$

Eş. 3.34 daha açık şekilde Eş.3.35’deki gibi yazılabilir

$$V_G i_L = \frac{V_G^2}{R} \quad (3.35)$$

L endüktansı üzerindeki akım (i_L) Şekil 3.5’de verilen grafikten Eş. 3.36’da verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$i_L = \frac{\frac{1}{2}(d + d_a)T_s i_{tepe}}{T_s} \quad (3.36)$$

Gerekli sadeleştirmeler yapıldıktan sonra i_L Eş. 3.37’de verildiği gibi elde edilmiştir.

$$i_L = \frac{1}{2}(d + d_a)i_{tepe} \quad (3.37)$$

Burada d_a ve i_{tepe} bilinmeyenlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bir önceki bölümde verilen Eş. 3.2 kullanılarak i_{tepe} akımı Eş. 3.38’de verildiği gibi belirlenmiştir.

$$i_{tepe} = \frac{V_G d T_s}{L} \quad (3.38)$$

Bir önceki bölümde verilen Eş. 3.4 kullanılarak d_a Eş. 3.39’daki gibi hesaplanmıştır.

$$d_a = \frac{-L i_{tepe}}{T_s (V_G - V_G)} \quad (3.39)$$

Eş. 3.38, Eş. 3.39’da yerine yazılarak d_a Eş. 3.40’daki gibi elde edilmiştir.

$$d_a = \frac{-V_G}{(V_G - V_G)} d \quad (3.40)$$

Belirlenen I_{tepe} ve d_a denklemleri Eş.3.37’de yerine yazılırsa ve Eş. 3.35’de verilen şart göz önünde bulundurularak giriş gerilimi (V_G) ve çıkış gerilimi (V_C) arasındaki ilişki Eş. 3.41’deki gibi ifade edilmiştir.

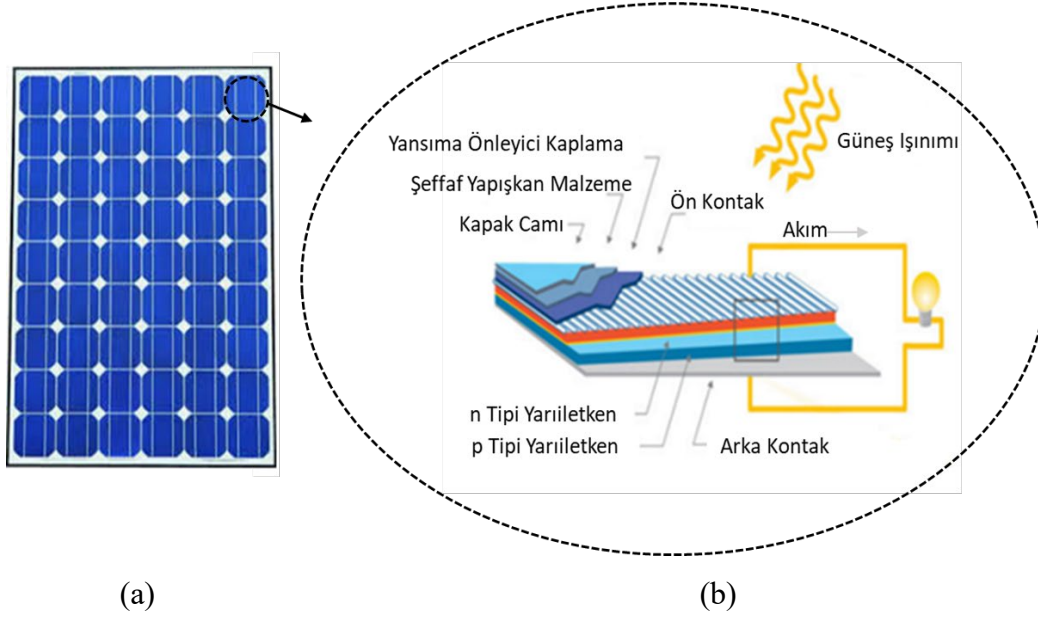
$$V_o = \frac{V_G}{2} + \frac{V_G}{2} \sqrt{1 + \frac{2d^2 T_s R}{L}} \quad (3.41)$$

Böylece önerilen devrenin DCM için çalıştırılması durumunda devre analizi yapılmıştır.

3.2. Fotovoltaik (FV) Panelin Matematiksel Yapısı ve Analizi

Dünyadaki enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmakta ve bu ihtiyacın kısmen karşılanabilmesi için alternatif enerji kaynaklarının geliştirilebilmesi için birçok çalışma yürütülmektedir. Güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir kaynakları yanında yakıt hücresi gibi sistemler muazzam bir ivme yakalamış durumdadır (Li ve ark., 2011; Kesraoui ve ark., 2011; Sabzali ve ark., 2015). Bilindiği üzere elektrik enerjisi ihtiyacının büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Günümüzde fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar ve sınırlı oluşları, elektrik enerjisinin üretimi için farklı enerji kaynaklarının arayışına gidilmesine neden olmuştur. Alternatif enerji kaynaklarının mevcut fosil yakıtlarla kıyaslandığında sınırsız ve çevre dostu olması istenmektedir. Bu kaynaklar, günümüze kadar yeterli düzeyde kullanılmamış son zamanlarda kıymeti yeni yeni anlaşılabilen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Özellikle, FV paneller sayesinde kullanılan güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarının başını çekmektedir. FV paneller, sahip olduğu hem fiziksel hem de kimyasal yapısı sayesinde, sınırsız enerji kaynağı sayılabilecek Güneş’ten Dünya yüzeyine gelen ışınlardan, doğrusal akım (DA) formunda elektrik enerjisi üretmektedir. FV panel birçok güneş hücresinin seri ve paralel olarak bağlanmasıyla elde edilmiştir. Şekil 3.6’da FV panel ve paneli oluşturan güneş hücresi ve çalışma mantığı ile alakalı görseller verilmiştir. FV panellerin verimi düşüktür ve güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren tek adımlı bir dönüştürme işlemine sahiptirler (Genc ve Shareef, 2016).

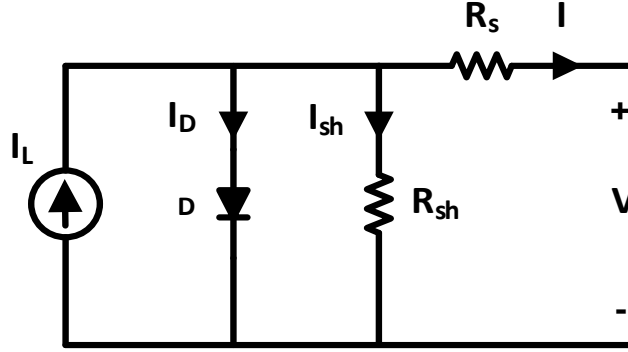


Şekil 3.6. (a) FV panel ve (b) güneş hücresi.

FV panellerin verimi ve onlardan elde edilen DA gerilimin seviyesi düşüktür. Elde edilen düşük gerilim seviyesine sahip DA elektrik enerjisinin istenilen gerilim seviyedeki DA elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi için uygun DA/DA dönüştürücü devrelerinin kullanılması gerekmektedir. FV panellerin kullanıldığı sistemler üç farklı şekilde kategorize edilebilir; şebekeye bağlı (Karami ve ark., 2017), şebekeden bağımsız (Dunlop; Ali ve ark., 2012) ve FV panelin entegre edildiği başka kaynakları da kullanan hibrit sistemlerdir (Nazih ve ark., 2009; Chunhua ve ark., 2010).

FV hücreler elektriksel olarak akım kaynağı gibidir. FV hücreler üzerine düşen ışıınımdan elektrik akımı üretir. FV hücrenin akımı üzerine düşen ışıınıım miktarı ile değişirken gerilimi ortam sıcaklığına göre değişmektedir. FV panel, seri ve paralel bağlanan birçok FV hücrelerden meydana gelmektedir. FV panellerin çıkış akımı ve gerilimi bu FV hücrelerin sayısına ve bağlanma şekline göre değişiklik göstermektedir. Temel FV hücreler ise foto diyotlardan oluşmaktadır. Gelişen yarıiletken teknolojiyle her geçen gün diyotların özellikleri geliştirilmekte ve böylece FV panelin verimi arttırılmaktadır. FV hücrelerin matematiksel olarak analiz edilebilmeleri için farklı modeller ortaya konulmuştur. Tek ve çift diyotlu olmak üzere iki çeşit FV hücre modeli mevcuttur. Bu çalışmada iki diyotluya göre daha basit bir yapıya sahip olan bir diyotlu FV hücre kullanılmıştır (Kulaksız, 2013). Tek diyotlu FV hücre modeli Şekil 3.7’de verilmiştir. Bu modele ait bileşenlerin aşağıda verilmiştir.

$I_L = I_{FV}$: Foto akım, R_s : Seri direnç,
 V : Çıkış gerilimi, R_{sh} : Paralel direnç,
 I : Çıkış akımı, I_{sh} : Paralel akım,
 I_D : Paralel diyot akımı,



Şekil 3.7. Tek diyotlu FV hücresi.

Kirchhoff akım yasası kullanılarak çıkış akımı Eş. 3.42’de verildiği gibi hesaplanmıştır

$$I = I_{FV} - I_D - I_{sh} \quad (3.42)$$

I_{FV} 'nin belirlenebilmesi için, Eş. 3.43 'de gösterildiği üzere standart test koşullarında (STK) çıkış akımından (I) diyot akımı (I_D) çıkarılmıştır (Haji, 2016).

$$I = I_{FV} - I_D \quad (3.43)$$

Diyot akımı (I_D) Eş. 3.44’ de verilmiştir.

$$I_D = I_S \left[e^{\frac{V+IR_s}{A.N_s.V_T}} - 1 \right] \rightarrow I = I_{FV} - I_S \left[e^{\frac{V+IR_s}{A.N_s.V_T}} - 1 \right] \quad (3.44)$$

Referans I_{FV} ’ın hesaplanabilmesi için FV hücre kısa devre durumunda iken Eş. 3.45’ de verilen denklemin kullanılması gerekmektedir. Verilen bu eşitlik sadece ideal durumlarda geçerli olduğu için doğru değildir (Bellia ve ark., 2014).

$$I_{sc_ref} = I_{FV_ref} - I_{S_ref} \left[e^{\frac{V+IR_s}{A \cdot N_s \cdot V_T}} - 1 \right] \rightarrow I_{sc_ref} = I_{FV_ref} \quad (3.45)$$

Foto akım (I_{FV}) ışıyım ve sıcaklığa bağlı olarak değişiklik göstermiştir (Eş. 3.46).

$$I_{FV} = G(I_{sc} + \alpha_{I_{sc}} \cdot \Delta T) \quad (3.46)$$

G: Işınımın $\frac{G}{G_{ref}}$ 'e eşit olan per unit (p.u) değeri, $G_{ref} = 1000$ (W/m²)

$\Delta T = T_c - T_{c,ref}$ (Kelvin), sıcaklık değişimi

$T_{c,ref}$: standart test koşullarında hücres sıcaklığı (298 K)

I_{sc} : STK'da kısa devre akımı (A)

$\alpha_{I_{sc}}$: I_{sc} 'in sıcaklık sabiti (0.05% A/K).

Paralel koldaki direnç üzerindeki kaçak akım Kirchhoff kuralına göre Eş. 3.47'de verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$I_{sh} = \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (3.47)$$

Daha önceki kısımlarda bahsedildiği gibi diyot akımı (I_D) Eş. 3.48'de verildiği gibi hesaplanabilir. V_T termal gerilimdir ve Eş. 3.49'de gibi hesaplanmıştır.

$$I_D = I_s \left[e^{\frac{V+IR_s}{A \cdot N_s \cdot V_T}} - 1 \right] \quad (3.48)$$

$$V_T = \frac{kT_c}{q} \quad (3.49)$$

I_s : Diyodun ters doyum akımı (A).

N_s : Seri bağlı FV hücre sayısı.

T_c : Hücresnin çalışma sıcaklığı (K).

k: Boltzmann sabiti 1.38×10^{-23} J/K.

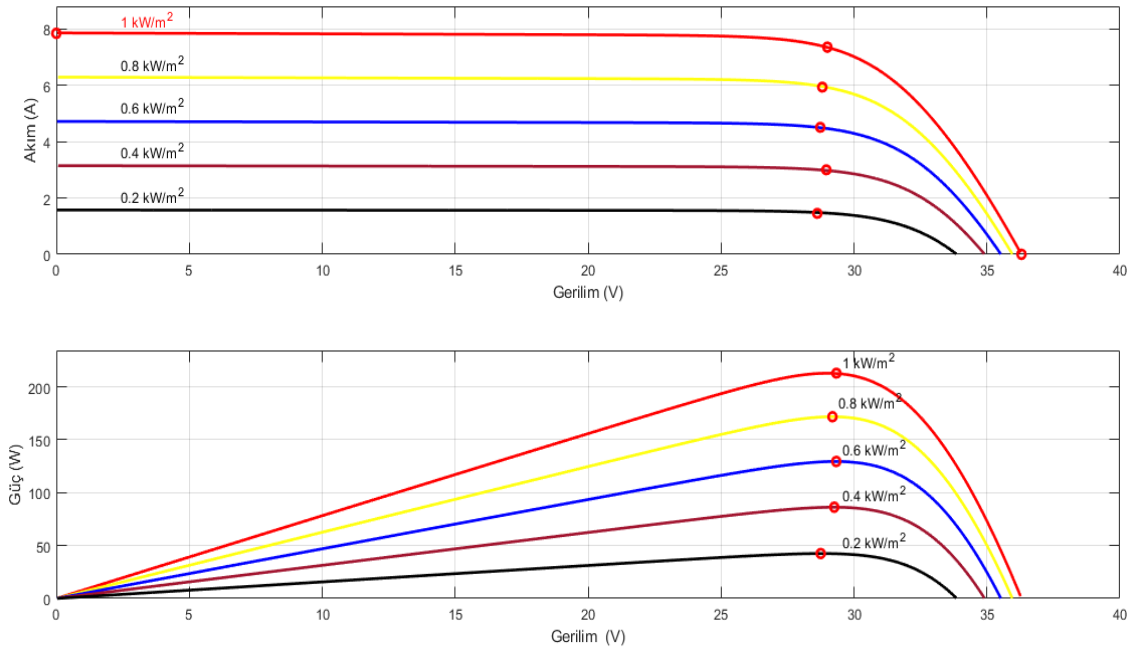
q: Elektron yükü $1.602 \times 10^{-19} \text{C}$.

A: İdeal faktör.

Tek diyotlu FV hücre modelinin çıkış akımı Eş. 3.50'de gibidir.

$$I = I_{FV} - I_S \left[e^{\frac{V + IR_s}{A \cdot N_s \cdot V_T}} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (3.50)$$

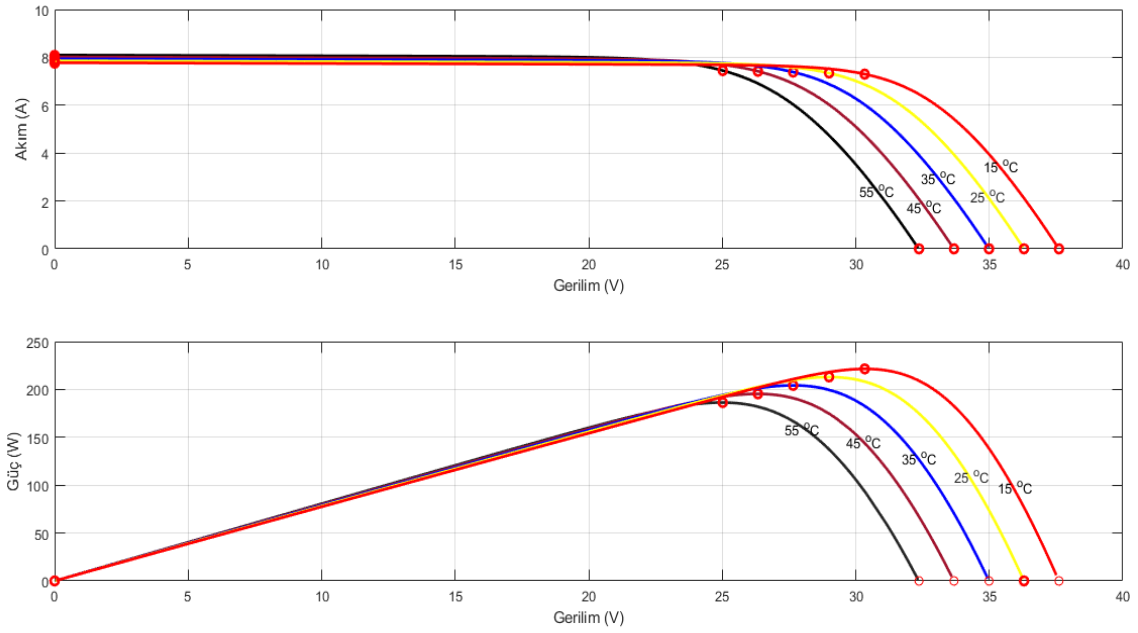
Yukarıdaki yapılan hesaplar ışığında 60 FV hücreden oluşan ve 195 W güce sahip FV panel tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında SKYBASESOLAR markasına ait SK125*125-M-72 model panel tasarlanmıştır. Hem benzetim hem de deneysel çalışmalarda tasarlanan bu FV panel kullanılmıştır. Bu panelin 200 W güce sahip modeli değişken ışıınım ve sıcaklıklar için test edilerek I-V ve P-V eğrileri çizdirilmiş ve maksimum güç noktaları belirlenmiştir.



Şekil 3.8. Sabit sıcaklıkta değişken ışıınımlar için FV panel karakteristiği.

Ortam sıcaklığı 25°C iken $200\text{-}1000 \text{ W/m}^2$ arasında değişen ışıınımlar altında FV panelin karakteristiği Şekil 3.8'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere artan ışıınım ile FV panelin ürettiği güç miktarı da artış göstermiştir. Her iki grafik incelendiğinde değişen

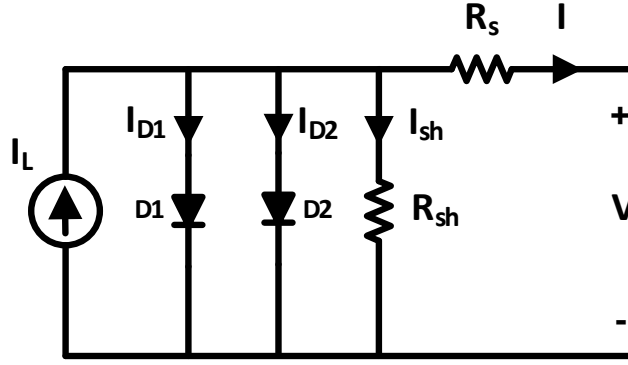
ışınımlarla FV panel gerilimi neredeyse değişmemiştir. Artan sadece FV akımı ve bu akıma bağlı olarak FV gücüdür. Buradan FV panellerin akım kaynağı olduğu gerçeği ortaya çıkmıştır. FV panelin ürettiği akım üzerine düşen güneş ışıınım miktarı ile doğrudan ilişkilidir.



Şekil 3.9. Sabit ışıınımda değişken sıcaklıklar için FV panel karakteristiği.

Ortamdaki ışıınım 1000 W/m^2 iken ortam sıcaklığı $15\text{--}55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişen sıcaklık değerleri için FV panelin karakteristiği Şekil 3.9'da gösterilmiştir. FV panelin çıkış akımı üzerine düşen güneş ışıınımıyla doğru orantılıdır. Sabit ışıınımda FV panelin çıkış akımı, neredeyse belirlenen sıcaklık değişiminde hep aynıdır. FV panelin çıkış gerilimi ise düşük sıcaklıklarda yüksek iken yüksek sıcaklıklarda ise düşüktür. Ortam sıcaklığı ve FV panelin çıkış gerilimi arasında ters orantılı bir ilişki mevcuttur. Nitekim FV panellerle kurulan güneş enerji santrallerinde (GES) ortam sıcaklığının düşük olması üretilen FV geriliminin daha yüksek olmasını sağlamaktadır.

Tek diyotlu FV hücresinin çift diyotlu modele göre daha basit bir yapıya sahip olduğu gösterebilme adına çift diyotlu kısaca aktarılmıştır. Adından da anlaşılacağı üzere çift diyotlu modelin tek diyotlu ile farkı ekstra bir paralel bir diyot daha içermesidir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Çift diyotlu FV hücresi.

Her bir diyotun akımı sırasıyla Eş. 3.51 ve 3.52 verilmiştir.

$$I_{D1} = I_{S1} \left[e^{\frac{V+IR_s}{A_1 N_s V_T}} - 1 \right] \quad (3.51)$$

$$I_{D2} = I_{S2} \left[e^{\frac{V+IR_s}{A_2 N_s V_T}} - 1 \right] \quad (3.52)$$

Diyotlar üzerinden geçen toplam akım ve FV hücrenin çıkışındaki akım sırasıyla Eş. 3.53 ve 3.54' de verilmiştir.

$$I_{DT} = I_{D1} + I_{D2} \quad (3.53)$$

$$I = I_{FV} - I_{DT} - I_{sh} \quad (3.54)$$

Tek diyotlu FV hücre için geçerli olan tüm parametreler çift diyotlu için de geçerlidir. Burada sadece ekstra bir diyot akımı daha vardır ve tüm işlemler ona göre yeniden yapılmıştır.

3.3. İzole Tam Köprü Çift Yönlü (Bidirectional) DA/DA Dönüştürücü

Son zamanlarda, sürekli artan enerji talebi ve bu talebin karşılanabilmesi için yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlar dünya çapında enerji ve çevre krizine neden

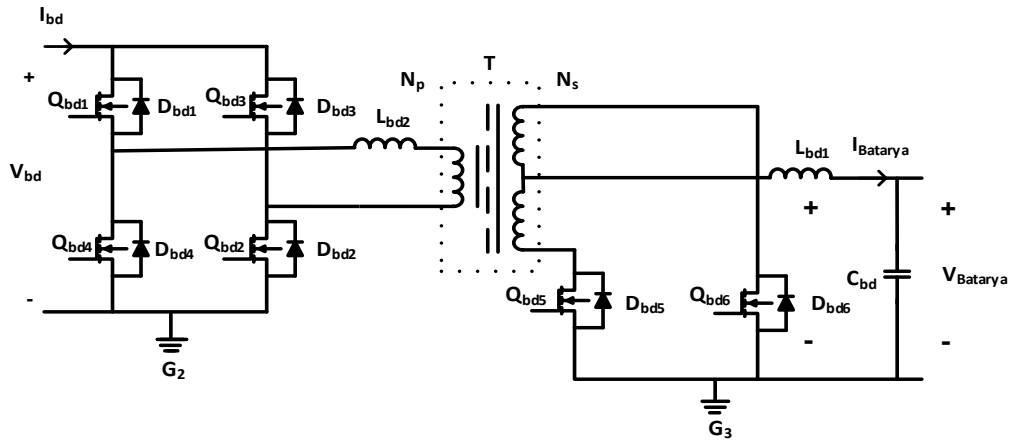
olmaktadır. Bu krizlerin çözülebilmesi için birçok ülke, yenilenebilir enerji kaynaklarını (güneş, rüzgâr) kullanmaya yönelmiştir (Castro ve ark.,2017). Yenilenebilir enerjinin kullanımının artması ve enerji depolama ihtiyacından dolayı bataryalar ve bataryaların kullanıldığı sistemler oldukça önem kazanmış bulunmaktadır. Bataryalar sadece DA formundaki elektrik enerjisini depolayabilmektedir. Özellikle elektrikli araçlarda ve enerji depolama alanında bu gereksinim daha da fazla önem arz etmektedir. Bataryalara elektrik enerjisinin depolanması (şarj) ve depolanan enerji kullanabilmesi (deşarj) için kullanılan çift yönlü dönüştürücülere ihtiyaç vardır ve bu alanda ciddi çalışmalar söz konusudur (Tytelmaier ve ark., 2016). Çift yönlü dönüştürücüler, izoleli ve izolesiz olmak üzere iki grupta altında incelenmiştir. İzolesiz çift yönlü dönüştürücüler genellikle düşük ve orta bara geriliminde tercih edilmiştir ve kullanılan bazı örnekleri Kolli ve ark. (2015) tarafından yazılan makalede verilmiştir. Daha yüksek bara gerilimi gerektiren uygulamalarda ise seri (cascade) izolesiz çift yönlü dönüştürücüler kullanılmıştır ama bu uygulamalar 60 V çıkış gerilimine ihtiyaç duyulan sistemler için uygun olmuştur, 380-400 V aralığındaki gerilimlerde çalışan sistemler için uygun değildir (Su ve Tang, 2008). Bara geriliminin yüksek olduğu uygulamalarda izoleli çift yönlü dönüştürücüler tercih edilmiştir ve bu dönüştürücünün topoloji örnekleri Fan ve ark. (2018) tarafından yayınlanan makalede verilmiştir. İzoleli çift- yönlü dönüştürücülerde yüksek frekanslı transformatör kullanılmaktadır. Kullanılan transformatör bataryaları ve ana devre elemanlarını birbirinden fiziksel olarak ayırdığı için hem malzemelerin hem de kullanıcının güvenliğini sağlamış olmaktadır. Çift yönlü dönüştürücüler iki çalışma durumuna sahiptirler. Bunların ilki bataryaların şarj edildiği düşürücü (buck mode) durumu ve bataryalarındeşarj edildiği yükseltici (boost mode) durumudur (Nene, 2013).

3.3.1. İzole tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücü tasarımı

Bu tez kapsamında Şekil 3.9’da verilen izole tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücü kullanılmıştır. Kullanılan bu çift yönlü dönüştürücü izolelidir, yani yapısında transformatör bulundurmaktadır. Düşük frekanslarda kullanılan transformatörlerin ebatları sahip oldukları güç ile doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Bu çalışmada yüksek frekanslarda anahtarlama yapıldığından, kullanılan transformatörün ebatları küçüktür. Tasarlanan çift yönlü dönüştürücünün çalışabileceği güç aralığı 600-

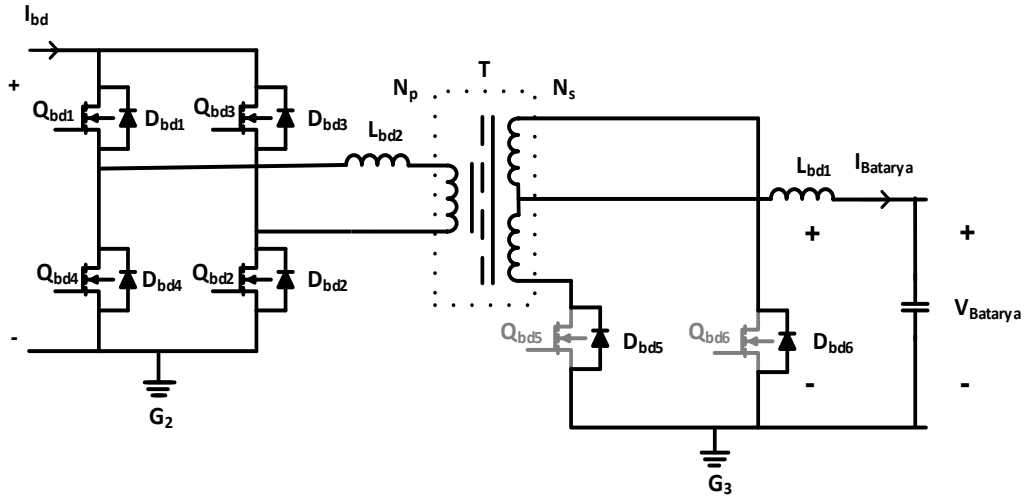
3000 Watt olacak şekilde belirlenmiştir. Tasarlanan çift yönlü dönüştürücünün yüksek gerilim tarafındaki değerler 200-400 V, düşük gerilim tarafında değerler 24-48 V aralığında değişen gerilimler verebilmektedir (Nene,2013).

İzole tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücüde anahtarlama elamanları transformatörün birincil (primer) sargısına alternatif akım (AA) kare dalga oluşturacak şekilde anahtarlansmıştır. Yarım köprü dönüştürücüsündeki gibi bu kare dalga alçaltılıp yükseltilir. Daha sonra çıkış diyotları tarafından doğrultulmuştur. Doğrultulmuş olan bu gerilim çıkıştaki endüktans (L_{bd1}) ve kapasitör (C_{bd}) tarafından filtrelenmiştir. Şekil 3.11’de eşdeğer devresi verilen izole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücünün ideal durumdaki çıkış ve giriş gerilimleri arasındaki ilişki Eş 3.55’de verilmiştir (Züngör, 2018). Birincil sargı (N_p), ikincil sargı (N_s) ve d görev çarpanıdır. Şekil 3.11’de eşdeğer devresi verilen izole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücü, düşürücü ve yükseltici olmak üzere iki farklı durumda çalışabilmektedir.



Şekil 3.11. İzole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücünün eşdeğer devresi.

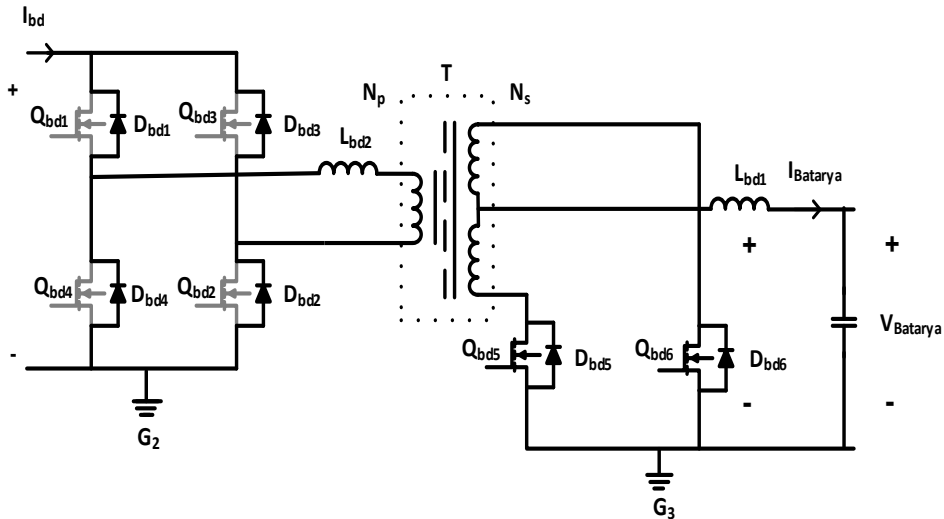
$$\frac{V_{Batarya}}{V_{bd}} = 2d \frac{N_s}{N_p} \quad (3.55)$$



Şekil 3.12. İzole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücünün düşürücü olarak çalıştığı devre şeması.

I-Düşürücü olarak çalışma;

Dönüştürücünün düşürücü olarak çalışabilmesi için Q_{bd1} - Q_{bd3} ve Q_{bd2} - Q_{bd4} anahtarlarının 180 derecelik faz farkıyla ve maksimum %50 doluluk oranıyla tetiklenmesi gerekmektedir. Aynı zamanda Q_{bd5} - Q_{bd6} anahtarları kesimde ve paralel bağlanan diyotlar transformatörden gelen gerilimin polaritesine göre iletimde veya kesimde olması gerekmektedir (Şekil 3.12). Bunlar gerçekleştirilerek 400 V'luk V_{bd} gerilimi 48 V'luk, $V_{Batarya}$ gerilimine düşürülmüştür. Böylece batarya grubu şarj edilmiştir.



Şekil 3.13. İzole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücünün yükseltici olarak çalıştığı devre şeması.

II- Yükseltici olarak çalışma;

Dönüştürücünün yükseltici olarak çalışabilmesi için Q_{bd5} - Q_{bd6} anahtarları 180 derecelik faz farkı ve %50'den büyük doluluk oranıyla tetiklenmesi gerekmektedir. Aynı zamanda Q_{bd1} - Q_{bd3} ve Q_{bd2} - Q_{bd4} anahtarları kesimde ve paralel bağlı diyotlar transformatörde gelen gerilimin polaritesine göre iletimde veya kesimde olması gerekmektedir (Şekil 3.13). Böylece batarya grubu deşarj olmaktadır. Şarj edilen bataryadaki DA elektrik enerjisi veya FV panellerden elde edilen DA elektrik enerjisi istenildiği takdirde DA uygulamalar için kullanılabilirken aynı zamanda istenildiğinden uygun DA/AA evirici kullanılarak AA uygulamalarında da kullanılabilir.

3.3.2. İzole tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücü için transformatör tasarımı

Bobinler (endüktanslar) ve transformatörler güç elektroniği devrelerinin vazgeçilemeyen devre elemanlarıdır. Devrelerdeki farklı modların çalıştırılabilmesi için dinamik enerji depolama elemanları olan endüktanslara ihtiyaç vardır. Aynı zamanda, endüktanslar filtre olarak da kullanılmaktadır. Transformatörler ise enerji aktarımı (transfer) ve akım ölçümü için kullanılırlar. Transformatörler hem yükseltici hem de düşürücü olarak çalıştırılabilirler. Hareketli mekanik parçalar bulundurmayan transformatörler sabit elektrik makinaları kategorisinde değerlendirilirler. Elektrik makinelerinde olduğu gibi sürtünmeden dolayı kayıpları olmadığı için oldukça verimlidirler. Transformatörlerin birincil (primer) sarımına zamanla değişen bir gerilim verildiğinde ikincil (seconder) sarımda gerilim indüklenir, birincil ve ikincil sarımlarının oranına bağlı olarak. Birincil sarıma uygulanan gerilimin değeri ne kadar büyük ve zamana göre değişimi ne kadar hızlı olursa ikincil sarımda indüklenen enerji o kadar büyük olur. Bu bilginin ışığında ve malzeme biliminin ulaştığı seviye göz önünde bulundurulduğunda, yüksek frekanslı transformatörlerin üretilmesi kaçınılmaz bir hal almıştır. Frekansı artırılan transformatörlerin enerji dönüştürme miktarının artmasının yanında ebatlarında küçülme meydana gelmiştir. Fakat frekansın arttırılması, transformatördeki kayıpları da arttırmıştır. Meydana gelen kayıplar fuko (eddy), histerisiz ve bakır kayıpları olmak üzere üç grupta toplanabilir.

Bu kayıplardan ilki olan fuko (eddy) kayıpları, transformatör çekirdeği (nüve) üzerine sarılmış izole kabloyla elde edilen endüktans üzerinden geçirilen zamana bağlı değişen akım geçirildiğinde transformatör nüvesi üzerinde gerilim oluşur. Oluşan bu gerilim kapalı çevrimli minik halka şeklinde birçok akım yolunun oluşmasına vesile olur ve bu akımlar fuko kayıplarına sebep olur. Kullanılan manyetik malzeme manyetik alana maruz kaldığında sahip olduğu özelliklerine bağlı olarak kalıcı veya geçici olarak manyetikleşir. Nüvenin manyetikleşebilmesi için meydana gelen kayıp histerisiz kaybı olarak tanımlanır. Sarımlarda kullanılan iletkenlerde meydana gelen kayıplara da bakır kayıpları denir (Alkul, 2019).

Günümüzde, galvanik transformatör gerilimi dönüştürme ve gürültüyü önlemek için sıklıkla kullanılmaktadırlar. Buna rağmen, güç uygulamalarında kullanılan düşük frekanslı transformatörler (50-60 Hz) sahip oldukları ağırlık ve yüksek maliyetten dolayı tercih edilmemektedirler (Evrar, 2018). Düşük frekanslarda orta-yüksek güç aktarımı yapılmak istendiğinde ebatları oldukça büyük olmaktadır ve bu uygulama devrelerinde hem maliyeti hem de kapladığı alanı artırmaktadır. Bu güç elektroniği uygulamaları için istenmeyen bir durumdur ve bunun üstesinden gelebilmek için yüksek frekanslarda çalışabilen transformatörler kullanılmaktadır (Zhao ve ark., 2013). Araştırmacılar, endüstri ve akademik alanda oldukça rağbet gören orta gerilimde çalışan yüksek güçlü anahtar modlu kaynaklar üzerinde çalışmaktadır (Mogorovic ve Dujic, 2018). Bu çalışmada da yukarıda belirtilen durumlardan dolayı yüksek frekanslı bir transformatör tercih edilmiştir.

Transformatörün çalışma frekansının arttırılması, filtre için kullanılacak devre elemanlarının daha küçük olmasına ve yüksek enerji transferi için daha küçük ebatlarda transformatörlerin kullanılmasına imkân sağlar. Yüksek frekanslı transformatörler; izolasyon (yalıtım), gerilimin düşürülmesi/yükseltilmesi ve hibrit sistemlerin oluşturması için kullanılmaktadır (Lee ve ark., 2011; Rivas ve ark., 2011; Kishore ve Ravikumar, 2015). Transformatör uygulamalarında, seri veya paralel olarak bağlanan transformatörlerle istenilen seviyedeki enerji dönüşümleri gerçekleştirilebilir (Koparan ve ark., 2012; Zhao ve ark., 2015). Tablo 3.1’de verilen parametreler göz önünde bulundurularak transformatör hesabı yapılmıştır. Bu çalışmada çıkış gücünden daha büyük güce sahip olan transformatör tasarlanmıştır. Çünkü yükün istediği gücün karşılanabilmesi gerekmektedir.

Çizelge 3.2. Önerilen transformatörün parametreleri.

Parametreler	Değerler
Transformatör Gücü (P_T)	3 kW
DC Bara Gerilimi (V_{bara})	380-400 V
Frekans (f)	50 kHz
Çıkış Akımı	20-30 A
Çıkış Gerilimi	43-48 V
Hedef Verim (η)	%90
Regülasyon	%0.5
Doluluk Oranı	%60

50 kHz’de ve 20 °C’de bakır iletkenlerin deri kalınlığı $\delta=66/\sqrt{(25000)}\cong 0.417$ mm’dir (Emanet, 2001). Transformatör tasarlanabilmesi için girişteki endüktansın değerinin doğru bir şekilde hesaplanması büyük önem arz etmektedir. Transformatörün nüvesi MnZn (Mangan-Çinko) alaşımlı ferrit olması öngörülmektedir. Transformatörün parametreleri Sclocchi’nin (2011) yaptığı çalışma esas alınarak belirlenmiştir.

3.4. Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNI)

Son yıllarda araştırmacılar, özellikle verimi düşük olan ve güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren tek aşamalı bir dönüştürme işlemine sahip olan FV panellerden maksimum enerjiyi alabilmek için birçok kontrol yöntemi üzerinde yeni stratejiler geliştirmeye çalışmışlardır. Güneş ışıınımları sayesinde FV paneller tarafından üretilen elektrik enerjisinin miktarı güneş hücrelerin sıcaklığı ve güneş ışıınıma göre sürekli değişiklik göstermesinden dolayı FV sistemler için MGNI kontrol yöntemleri zorunluluk haline gelmiştir (Zhao ve ark., 2015). Araştırmacılar tarafından hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız sistemlerde güneş enerjisinden maksimum düzeyde faydalanabilmek için iki yöntem üzerine çalışılmıştır (Wehbe ve Karami, 2015). Bunların ilki, güneşi takip eden ve herhangi bir andaki ışıınımasını, mekanik olarak yatayda ve düşeyde hareket ederek dik olarak almaya çalışan hareketli sistemlerden oluşmaktadır. Bu sistemlerin yatayda ve düşeyde hareket edebilmesi için iki adet elektrikli motora ihtiyaç vardır. Her ne kadar FV panelin verimi arttırılsa da kullanılan elektrikli

motorlardan ötürü tüm sistemin verimi düşmektedir. İkincisi ise elektriksel olarak maksimum güç noktası izleme yöntemidir. Bu yöntemde maksimum gücün elde edilebilmesi için sabit FV panelin akımının veya gerilimini değiştirilmesi ilkesine dayanmaktadır. Bu yöntemin kullanılabilmesi için anahtarlama güç devrelerine ihtiyaç vardır. Literatürde birçok MGNİ kontrol yöntemi ve algoritması mevcuttur ve Verma (2015) yaptığı çalışmada detaylı olarak gruplandırılarak anlatmıştır. Kullanılan bu MGNİ kontrol yöntemleri FV paneller dışındaki diğer yenilenebilir enerji kaynakları için de kullanılmaktadır (Karami ve ark., 2013).

Son zamanlarda özellikle yapay sinir ağları ve fuzzy temelli MGNİ kontrol yöntemleri geliştirilmiştir. Bilim insanları tabiattaki bazı canlıların yaşam döngülerini tamamlayabilmeleri için yaptıkları bazı eylemleri örneklemeye çalışmışlardır. Bu örneklemeler sayesinde yeni algoritmaları geliştirmişlerdir (ateş böceği, arı vb.). Bu geliştirilen yöntemler MGNİ kontrol metoduna uygulanarak bu alandaki yeniliklere yeni yaklaşımlar sağlanmıştır (Ram ve ark., 2017). FV panellerden maksimum gücün elde edilebilmesi için DA/DA dönüştürücülerde kullanılmak üzere birçok Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNİ) algoritması tasarlanmıştır (D'souza ve ark., 2010). Bu algoritmalar, karmaşıklıkları ve performansları ile farklılık gösterse de FV panelden elde edilen akımının ve gerilimin ölçülmesini gerektirmektedir. Başlıca algoritmalar; değiştir ve gözle (P&O), artan iletkenlik, sabit gerilim ve bulanık mantık algoritmalarıdır.

MGNİ kontrol yöntemi doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Dolaylı MGNİ kontrol yöntemi açık devre ve kısa devre yöntemlerinden oluşur, bu yöntemler FV panellerin önceden bilgisini gerektirir ve bütün meteorolojik koşulları karşılamayan matematiksel hesaplamalardan oluşmaktadır (Hart ve ark., 1984). Bu tür yöntemlerde ışıınımı ve sıcaklığı ölçen sensörlerin kullanılması pek tavsiye edilmez, çünkü ölçüm için kullanılan sensörler pahalı olması maliyeti oldukça arttırmaktadır (Bendib ve ark., 2015). Doğrudan MGNİ kontrol yöntemi ise herhangi bir meteorolojik durumda çalışmaktadır ve yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda bu yöntem kullanılmaktadır. Ayrıca, MGNİ kontrol yöntemi yukarıdaki yöntemi de kapsayan 5 ayrı ana başlık altında da incelenebilir. Bunlar;

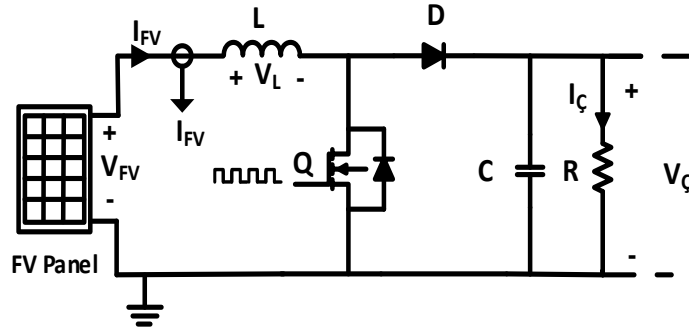
- 1) Sabit parametrelerle takip teknikleri: Bu yöntemler izleme tekniğine dayanarak, önceden belirlenen sabit değerleri kullanan MGN'yi karakterize eder.

- 2) Ölçme ve karşılaştırma ile izleme teknikleri: Bu teknik, harici parametrelerin (FV gerilim, akım, ısıtım veya sıcaklık) ve bunları önceden bilinen bir MGN ile karşılaştırarak algılanmasına dayanmaktadır.
- 3) Deneme ve hata ile izleme teknikleri: Bu yöntemler MGN'ye ulaşılabilmesi için bir sonraki girişimin yönünü belirleyen. Hesaplama ve sonuçları gözlemleme girişimidir.
- 4) Matematiksel hesaplama ile takip teknikleri: eşitliklere dayanan erişilebilir verilerin matematiksel hesaplamalarına dayanarak MGN'nin tanımlanması metodudur.
- 5) Akıllı tahmin ile takip teknikleri: MGN'nin tahmin edilebilmesi için akıllı öğrenme süreçlerinin kullanıldığı yöntemlerdir.

Geliştirilen yeni ve mevcut yöntemler, FV sistemlerde kullanılan dönüştürücülere uygulanmıştır

3.4.1. Örneklenmeden giriş geriliminin hesaplanması

Bu tez çalışmasının esas konusunu oluşturan gerilim örnekleme MGNİ kontrol yöntemi ile örnekleme için kullanılan devre elamanı ortadan kaldırılarak toplam maliyet düşürülmüştür. FV panelin geriliminin örneklenmeden belirlenebilmesi için Şekil 3.12'de verilen klasik DA/DA yükselten dönüştürücü eşdeğer devresi kullanılmıştır. Şekil 3.12'de de görüleceği üzere sadece FV panel akımı örneklenmiş, gerilim ise anahtarlama elemanın iletimde olduğu durumda endüktans üzerinde ölçülen akım ve iletimde olma süresi belirlenerek hesaplanmıştır Şekil 3.14' de verilen sistem belirlenen d görev çarpanına sahip olduğu durumda giriş-çıkış gerilimi ve akımı arasındaki dönüştürme oranları sırayla Eş. 3.56 ve Eş. 3.57'de verilmiştir.

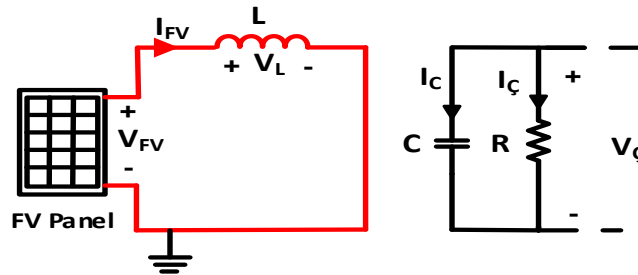


Şekil 3.14. Örneklemeden giriş geriliminin hesaplanabilmesi için kullanılan eşdeğer devre.

$$\frac{V_C}{V_{FV}} = \frac{1}{1-d} \quad (3.56)$$

$$\frac{I_{FV}}{I_C} = \frac{1}{1-d} \quad (3.57)$$

Önerilen sistemde Q anahtarı iletimde olduğu zaman devre Şekil 3.15' deki gibi olur. Bu durumda endüktans üzerindeki gerilimi (V_L) ve FV panelin gerilimi (V_{FV}) birbirine eşit olur (Eş. 3.58).



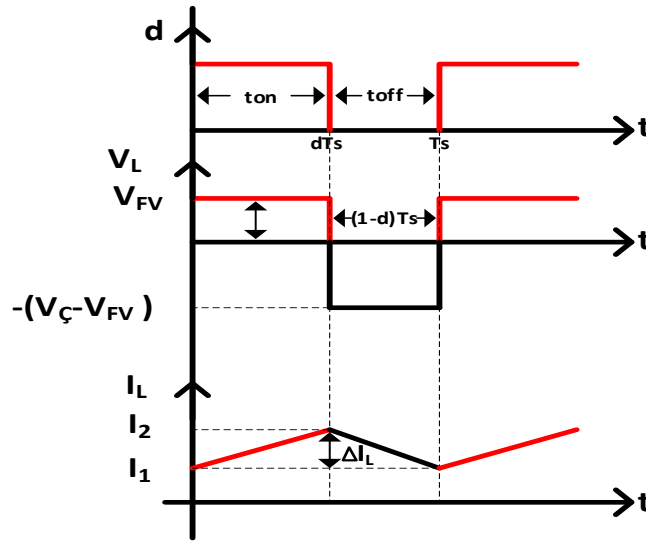
Şekil 3.15. Q anahtarı iletimdeyken önerilen sistemin eşdeğer devresi.

$$V_{FV} = V_L = L \frac{dI_L}{dt} \quad (3.58)$$

Q anahtarı iletimde ve kesimde olduğu süre boyunca endüktans üzerinden geçen akım Şekil 3.16' da verildiği gibi değişmektedir. Önerilen sistemde anahtarlama elemanın

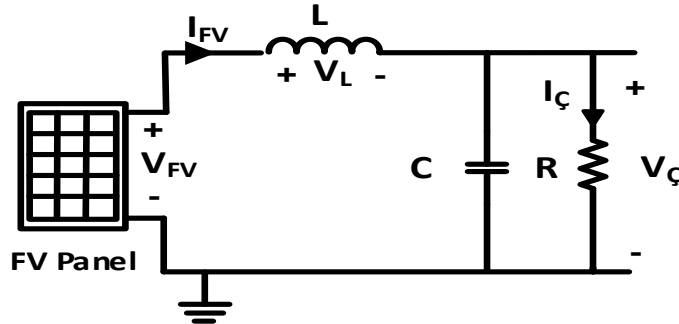
iletimde olduğu zaman aralığı ve endüktans üzerinde geçen akım değişimi Şekil 3.16’ da gösterildiği gibi kırmızı renkli çizgilerle belirtilmiştir Aynı zamanda, Q anahtarı iletimde olduğunda akımın değişimi ΔI_L ve değişim gösterdiği noktalar arasındaki zaman değişimi Δt (anahtarın iletimde olduğu zaman aralığı) kullanılarak V_{FV} yani V_L gerilimi Eş. 3.59’ da verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$V_{FV} = V_L = L \frac{\Delta I_L}{\Delta t} = L \frac{I_2 - I_1}{dT_s} \quad (3.59)$$



Şekil 3.16. Önerilen sistem için teorik dalga şekilleri.

Önerilen sistem Q anahtarı kesimde iken Şekil 3.17’deki gibi olur ve sistemin çıkış gerilimi Eş. 3.60’daki gibi olur.

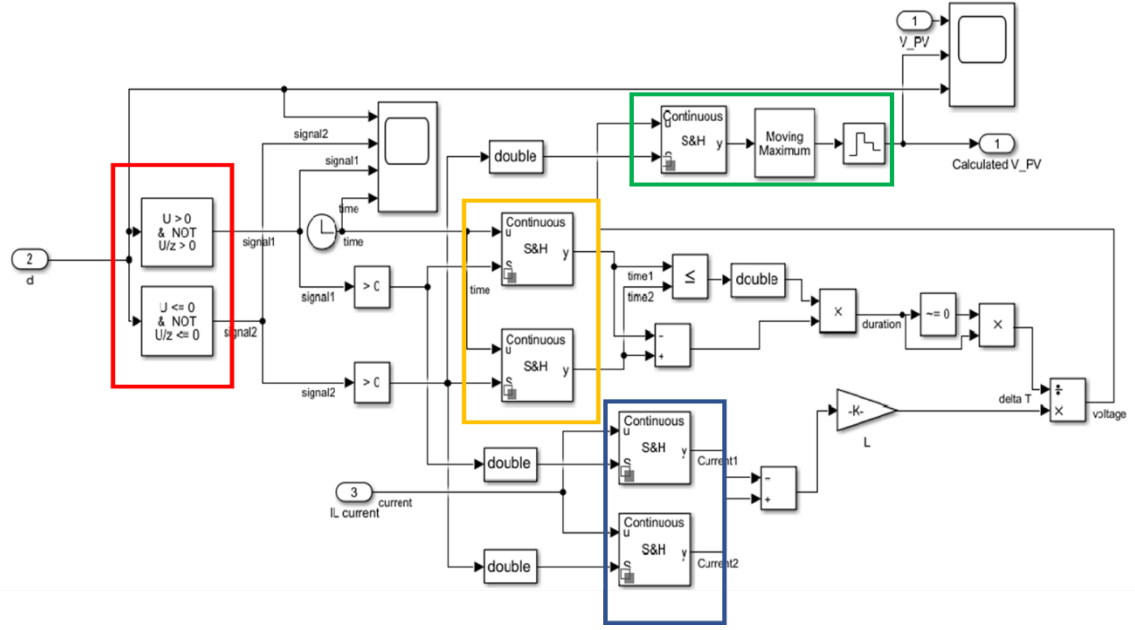


Şekil 3.17. Q anahtarı kesimdeyken önerilen sistemin eşdeğer devresi.

$$V_L = -(V_{\zeta} - V_{FV}) \quad (3.60)$$

Önerilen sistemde giriş gerilimi örneklenmeden sadece anahtar iletimde olduğu durumda endüktans üzerinden geçen akım ve anahtarın iletimde olduğu süre ölçüldükten sonra gerekli işlemler yapılarak teorik olarak hesaplanabilmektedir. Teorik olarak ortaya atılan bu yaklaşım, MATLAB/Simulink ortamında yapılan yeni bir blokla test edilmiştir. Sadece giriş akımının örneklenmesiyle giriş geriliminin hesaplanabildiği yeni MATLAB/Simulink bloğunun iç yapısı Şekil 3.18’de verilmiştir. Sonuçlar kısmında da görüleceği üzere MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan bu blok DSP kontrolcü kartı sayesinde deneysel olarak da uygulanmıştır. Burada sadece oluşturulan blok anlatılmıştır.

d görev çarpanının aktif olduğu sürede yükselen ve alçalan kenarlarının tespit edilebilmesi için kırmızı dikdörtgenin içindeki bloklar kullanılmıştır. Bu bloklar sayesinde d görev çarpanının yarıiletken anahtarlama elemanını (Q) iletime geçirdiği süre belirlenmiştir. Yükselen ve alçalan kenarlar belirlendikten sonra anahtarın ne kadar süre iletimde kaldığının belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlem için Şekil 3.18’deki sarı dikdörtgen içindeki bloklar kullanılmıştır. Şekil 3.18’deki mavi dikdörtgen içinde verilen bloklar kullanılarak I_L akımı hesaplanabilmektedir. Anahtar iletimde iken endüktans üzerindeki akım değişimini (ΔI_L) belirlenebilmesi için I_2 ve I_1 akımlarının farkının alınması gerekmektedir. Anahtarın iletimde olduğu süre ve bu süre boyunca endüktans üzerindeki akım değişimi hesaplandıktan sonra giriş gerilimin hesaplanabilmesi için Eş. 3.59 kullanılmıştır. Eldeki veriler kullanılarak hesaplanan giriş gerilimi sadece anahtar iletimde iken endüktans üzerinde ölçülen gerilim değeridir. Anahtar kesime geçtiği için giriş gerilimi değişmemektedir. Bu durumda anahtar kesimde olsa bile verilen bloğun çıkışında hesaplanan giriş gerilim değerinin gözlemlenebilmesi gerekmektedir. Şekil 3.18’deki yeşil dikdörtgen içindeki bloklar yardımı ile programın çıkışında anahtarın iletimde ya da kesimde olmasına bakılmaksızın hesaplanan giriş gerilim değeri gözlenmiştir.

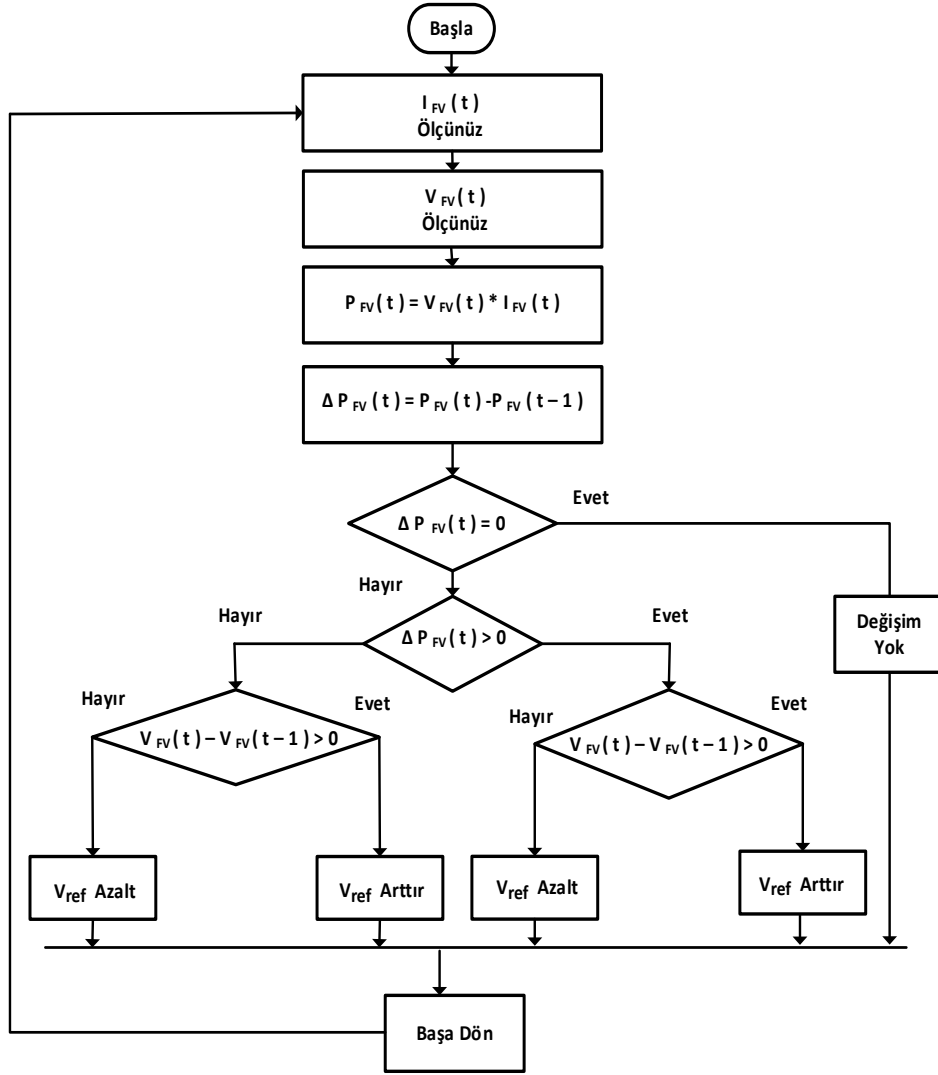


Şekil 3.18. Giriş geriliminin hesaplandığı yeni bloğun iç yapısı.

Giriş gerilimi hesaplandıktan sonra d görev çarpanı Q anahtarını tekrar iletme sokana kadar bir önceki gerilim değeri çıkışı aktarılır ve böylece Q anahtarının kesimde olması durumunda bile çıkışa hesaplanan giriş gerilim değeri aktarılmıştır. Bölüm 3.1’de klasik yükselten DA/DA dönüştürücü için yapılan CCM ve DCM analizleri göz önünde bulundurularak giriş gerilimin hesaplayan blok tasarlanmıştır. Bu blok sayesinde önerilen devre hem CCM hem de DCM için çalıştırıldığında giriş gerilimi hesaplanabilmektedir.

3.4.2. Önerilen MGNİ kontrol yöntemi

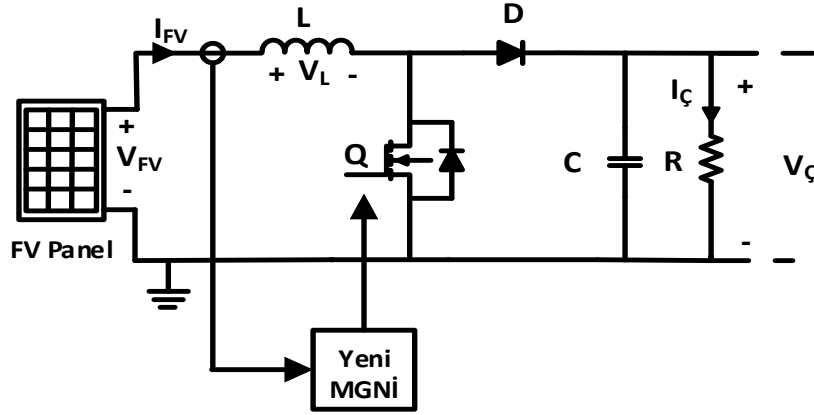
Özellikle D&G MGNİ kontrol yönteminde hem giriş gerilimine hem de giriş akımına ihtiyaç vardır. Bu kontrol yönteminin kullanıldığı uygulamalarda giriş akımı ve geriliminin örneklenip kullanılan kontrol kartına aktarılması gerekmektedir. Bu işlem için hem akım hem de gerilim örneklemek için devre elemanlarına ihtiyaç vardır. Bu elemanlar toplam maliyeti arttırmaktadır. Bu sebepten dolayı bir önceki başlık altında anlatılan örneklemenden hesaplanan giriş gerilimi yöntemiyle sadece giriş akımı örneklenmiştir.



Şekil 3.19. Klasik D&G MGNI kontrol algoritması.

Böylece mevcut klasik D&G MGNI kontrol yöntemi algoritması (Şekil 3.19) bu yeni yöntem ile geliştirilerek yeni bir D&G MGNI kontrol yöntemi algoritması elde edilmiştir (Şekil 3.20).

dönüştürücüye uygulanmıştır. Yeni D&G MGNI kontrol yönteminin uygulandığı eşdeğer devre Şekil 3.21’de verilmiştir.



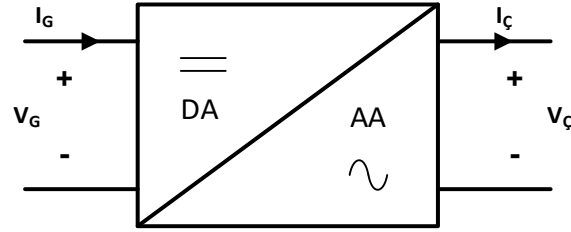
Şekil 3.21. Yeni MGNI kontrol yönteminin uygulandığı sistemin eşdeğer devresi.

3.5. Tam Köprü DA/AA Evirici Tasarımı

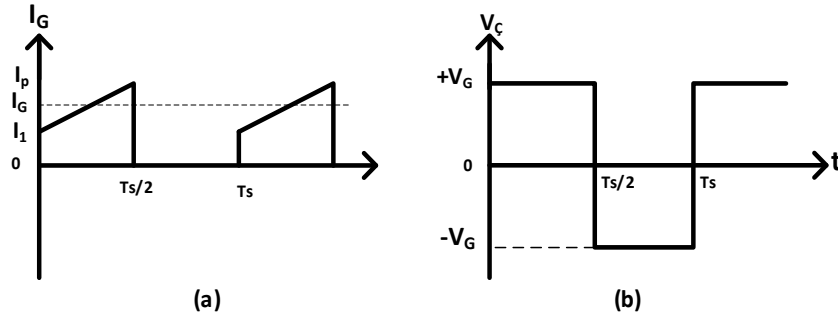
Günümüzde elektrik enerjisine olan talep, gelişmekte olan teknolojiye paralel olarak sürekli artış göstermektedir. Artan bu talep güç dağıtım sistemlerinde şebeke süreksizliği ve kesintileri gibi problemlere neden olmaktadır (Blaabjerg ve ark., 2016). Bu talepler karşılanmaya çalışılırken kullanılacak enerji kaynaklarının aynı zamanda çevre dostu olması yarınlar için yapılacak ciddi bir adımdır ve bu da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir (Jana ve ark., 2017). Hem artan enerjisini karşılamak hem de karbon salınımını azaltmak için FV, rüzgâr türbini ve yakıt hücreleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan, sistemler kullanılmaktadır (Athari ve ark., 2017).

Yenilenebilir enerji kaynağının kullanıldığı sistemlerin çoğunun çıkışı DA elektrik enerjisidir. Özellikle bu çalışmada diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre erişilebilmesi daha kolay olan ve sonsuz kaynak olarak kabul gören güneş enerjisi, kullanılan FV paneller sayesinde DA formundaki elektrik enerjisine dönüştürülür. FV paneller sayesinde güneş enerjisinden elde edilen DA elektrik enerjisi DA bir sistem için doğrudan kullanılabilmesi gibi farklı DA/DA dönüştürücüler kullanılarak istenilen seviyedeki DA değerine çekilerek de kullanılabilir. Eğer elde edilen DA enerji AA uygulamalarında kullanılacaksa hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız FV

sistemler için DA/AA eviricinin kullanılması kaçınılmaz hale gelir (Hassaine ve ark., 2014). DA/AA eviricinin blok diyagramı, giriş akımı ve çıkış gerilimi arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de verilmiştir.



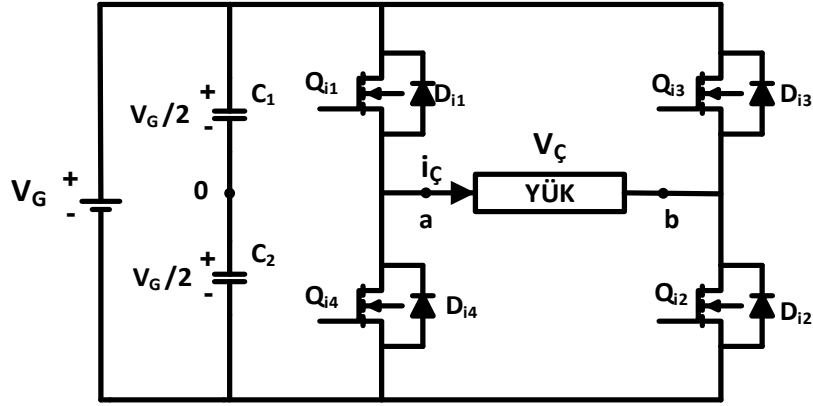
Şekil 3.22. DA/AA evirici blok diyagramı.



Şekil 3.23. DA/AA eviricinin (a) giriş akımı, (b) çıkış gerilimi.

Eviriciler, girişine uygulanan DA formundaki elektrik enerjisini kullanarak çıkışına genliğinin ve frekansının kontrol edilmesine imkân sağlanan AA formundaki elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır (Ajangnay ve ark., 2020). Eviriciler, gelişen teknoloji ile kullanımı oldukça artan yarıiletken anahtarlama elemanlarından oluşmaktadır. Eviriciler yenilenebilir enerji uygulamalarında, kesintisiz güç kaynaklarında (KGK) ve AA enerjisi gereksinimi duyan endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır (Çolak ve Kabalcı, 2008)

Tek fazlı tam köprü DA/AA evirici Şekil 3.24' de gösterilmektedir. Bu evirici için taşıyıcı bazlı darbe genişlik modülasyonu (DGM) tekniği uygulanır. Tek fazlı tam köprü DA/AA eviricide iki bacakta toplamda dört anahtarlama elemanı (Q_{i1} , Q_{i2} , Q_{i3} , Q_{i4}) bulunur ve bu anahtarlara DGM sinyali uygulanır. Çıkışta elde edilen etkin gerilimin değeri aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir



Şekil 3.24. Tek fazlı tam köprü DA/AA evirici devre şeması.

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{\frac{T_o}{2}} V_G^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.61)$$

$$V_{\check{c}} = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{2V_G}{n\pi} \sin(nwt) = 0 \quad (3.62)$$

n=2,4,...

Eş. 3.62' in, ani çıkış gerilimi bir Fourier serisi olarak Eş.3.63'deki gibi verilmiştir.

$$V_{\check{c}} = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{2V_G}{n\pi} \sin(nwt) \quad (3.63)$$

Çizelge 3.3. Tek fazlı tam köprü DA/AA evirici anahtarlama durumları.

Durum	Durum No	Anahtar Durumu	V_{ao}	V_{bo}	V_o	İletimdeki Elemanlar
Q_{i1} ve Q_{i2} iletimde Q_{i3} ve Q_{i4} kesimde	1	10	$-V_G/2$	$-V_G/2$	V_G	Eğer $i_o > 0$ ise Q_{i1} ve Q_{i2} Eğer $i_o < 0$ ise D_{i1} ve D_{i2}
Q_{i1} ve Q_{i2} kesimde Q_{i3} ve Q_{i4} iletimde	2	01	$-V_G/2$	$V_G/2$	$-V_G$	Eğer $i_o > 0$ ise D_{i3} ve D_{i4} Eğer $i_o < 0$ ise Q_{i3} ve Q_{i4}
Q_{i1} ve Q_{i3} iletimde Q_2 ve Q_4 kesimde	3	11	$V_G/2$	$V_G/2$	0	Eğer $i_o > 0$ ise Q_{i1} ve D_{i3} Eğer $i_o < 0$ ise D_{i1} ve Q_{i3}
Q_{i1} ve Q_{i3} kesimde Q_{i2} ve Q_{i4} iletimde	4	00	$-V_G/2$	$-V_G/2$	0	Eğer $i_o > 0$ ise D_{i4} ve Q_{i2} Eğer $i_o < 0$ ise Q_{i4} ve D_{i2}
Q_{i1} , Q_{i2} , Q_{i3} ve Q_{i4} kesimde	5	off	$-V_G/2$ $V_G/2$	$V_G/2$ $-V_G/2$	$-V_G$ V_G	Eğer $i_o > 0$ ise D_{i3} ve D_{i4} Eğer $i_o < 0$ ise D_{i1} ve D_{i2}

Q_{i1} ve Q_{i2} anahtarları aynı anda iletime sokulduğunda, giriş gerilimi (V_G) yük uçlarında ölçülür. Q_{i3} ve Q_{i4} anahtarları aynı anda iletime sokulduğunda terslenen giriş gerilimi ($-V_G$) ölçülür. Tek fazlı tam köprü DA/AA evirici anahtarlama durumları Çizelge 3.3’ de verilmiştir. Çıkış gerilimi $\mp V_G$ olacak şekilde biri üstte diğeri ise altta yer alan anahtarlama elemanları aynı zamanda iletime sokulursa, anahtar durumu “1” olurken bu anahtarlama elemanları aynı zamanda kesime sokulursa anahtar durumu bu kez “0” olur (Rashid, 2015).

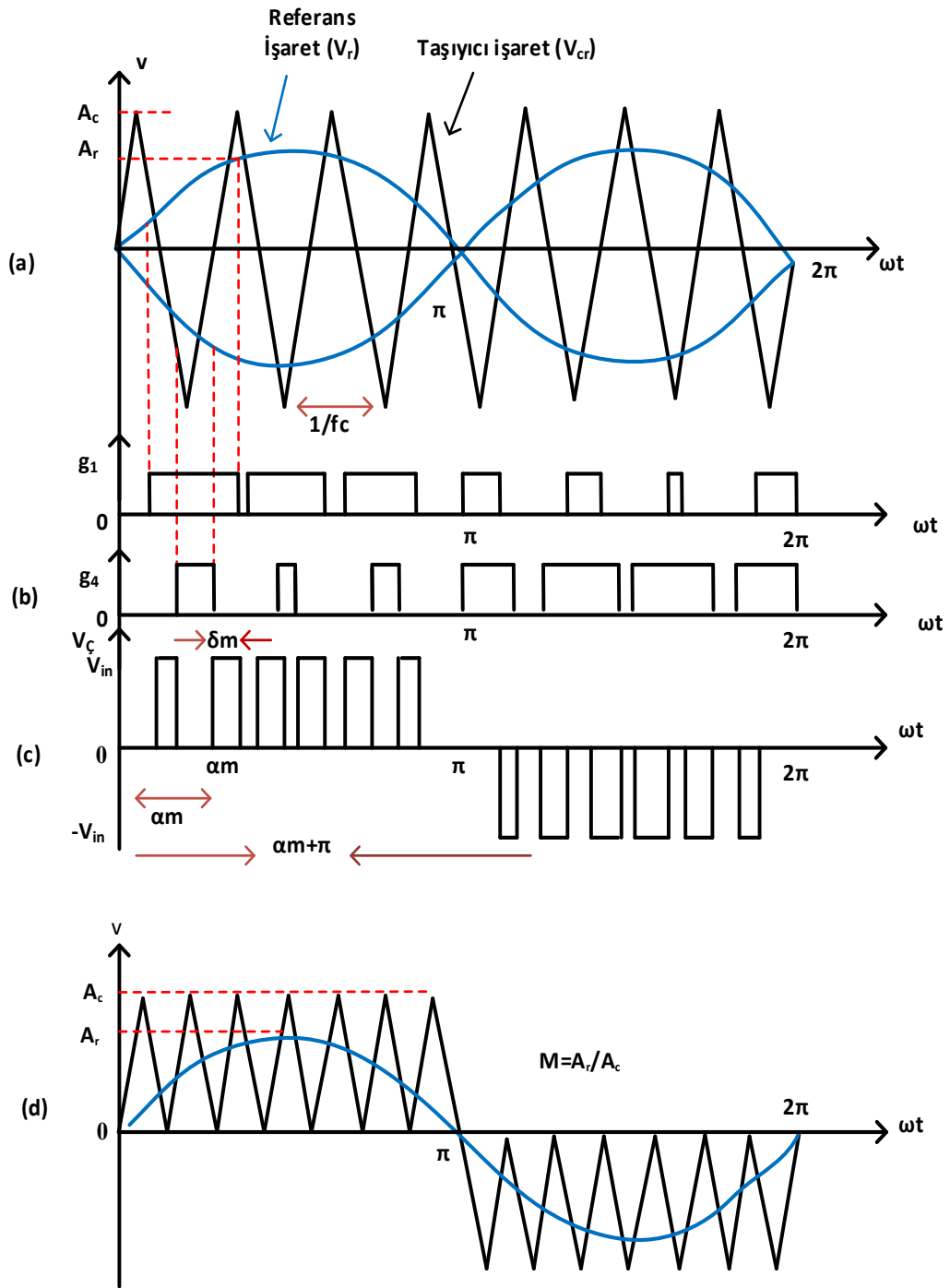
DA/AA eviricilere gelen DA gerilimin değişiminin çıkıştaki AA kısmına en az etki yapacak şekilde yansımaları, eviricini çıkış geriliminin ayarlanabilmesi, gerekli olan sabit frekansı ve gerilimi sağlanabilmesi ve istenilen kazancı elde edilebilmesi için kontrol yöntemlerine ihtiyaç vardır. İstenilen bu durumları gerçekleştirebilmesi için genelde darbe genişlik modülasyon (DGM) ve farklı çeşitleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler; tek darbe genişlik modülasyonu, çoklu darbe genişlik modülasyonu, sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu ve değiştirilmiş sinüzoidal darbe genişlik modülasyonudur. Bu çalışmada tercih edilen yöntem sinüzoidal darbe genişlik modülasyonudur.

Önerilen sistemde DA/AA evirici için kullanılan sinüzoidal DGM (SDGM) kontrol yönteminde sinyalin nasıl üretildiği Şekil 3.25’ de gösterilmiştir. Anahtarlama elemanlarının tetiklenmesi için gerekli kontrol sinyalleri, sinüzoidal bir referans (V_r) sinyalinin bir üçgen taşıyıcı sinyal (V_{cr}) ile karşılaştırılmasıyla üretilmiştir. Üretilen

sinyalin adım genişlikleri sinüzoidal sinyalin genliği ile orantılı olarak değişiklik göstermiştir. Eviricinin çıkışında elde edilen çıkış frekansı (f_o) kullanılan referans sinyalin frekansı (f_r) ile belirlenmiştir. Çıkış sinyalinin (V_c) etkin değerinin (Root Mean Square (RMS)) kontrolü modülasyon indeksi (M) ile yapılabilir. Modülasyon indeksi Eş. 3.64’da verilmiştir.

$$M = \frac{A_r}{A_c} \quad (3.64)$$

Q_{i1} ve Q_{i4} anahtarlama elemanlarını tetikleyecek g_1 ve g_4 sinyalleri Şekil 3.25(a)’da gösterilen çift yönlü taşıyıcı sinyalin iki sinüzoidal işaret V_r ve $-V_r$ ile karşılaştırılmasıyla üretilmektedir. Tetik sinyalleri g_1 ve g_4 aynı anda serbest bırakılamazlar yani aynı bacak üzerinde yer alan Q_{i1} ve Q_{i4} anahtarlama elemanları aynı anda iletme geçemezler. Ani çıkış gerilimi Şekil 3.25(c)’de gösterilmektedir. Tek yönlü üçgen taşıyıcı kullanılarak üretilen anahtarlama sinyali Şekil 3.25(d)’de gösterilmiştir.



Şekil 3.25. SDGM.

DA/AA eviricinin çıkışında elde edilen gerilimin (V_o) etkin (RMS) değeri Eş. 3.65’de verilen denklemle hesaplanabilir.

$$V_{\zeta} = V_G \left(\sum_{m=1}^{2p} \frac{\delta_m}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.65)$$

$$B_n = \sum_{m=1}^{2p} \frac{4V_G}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \left[\sin n \left(\alpha_m + \frac{\delta}{2} \right) \right] \quad (3.66)$$

$$B_n = \sum_{m=1}^{2p} \frac{4V_G}{n\pi} \sin \frac{n\delta_m}{2} \left[\sin n \left(\alpha_m + \frac{\delta_m}{2} \right) \right] \quad (3.67)$$

$$n=1,3,5,\dots$$

Eş. 3.64 ve Eş. 3.67 çıkış geriliminin Fourier katsayısını belirlemek için kullanılmıştır. Verilen denklemler Şekil 3.25’de verilen bilgilerle elde edilmiştir.

Önerilen evirici için kullanılan kontrol yöntemi sayesinde anahtarlama elemanlarından hangilerinin ne kadar süre iletimde veya kesimde olacağını belirlenip çıkışta yaklaşık sinüzoidal bir AA gerilim oluşturulmuştur. Elektrik güç sistemlerinde istenilen ise sinüzoidal bir AA çıkıştır. Elektrik güç sistemlerinde kullanılan doğrusal olmayan elemanlar ve istenilen sinüzoidal yapısında olmayan kaynaklar nedeniyle elektriğin iletim ve dağıtımında istenilmeyen ciddi problemler meydana gelmektedir ve bu durum tüketicinin talep ettiği enerjinin kalitesiz olmasına neden olmaktadır. İstenilmeyen bu durumların oluşmasına neden olan etki ise sistemde meydana gelen harmoniklerdir. Harmonik; gerilim veya akımın dalga şekillerinde oluşan periyodik sürekli hal bozulmaları veya tam sinüzoidal gerilimden sapmalardır. Harmonikler, doğrusal olmayan devre elemanları ve sinüzoidal olmayan (nonsinüzoidal) kaynaklardan herhangi birisi veya ikisinin aynı anda sistemde bulunmasından kaynaklanır (Akmaz, 2012). Bu istenmeyen harmoniklerin neden olan başlıca elemanlar; devre elemanları, anahtarlama kaynakları, indüksiyon fırınları, transformatörler, FV sistemler ve evirici gibi elemanlardır. Harmonikler bulunduğu sistemlerde hem maddi hem de teknik anlamda ciddi sorunlara neden olmaktadır. Bu yüzden gerekli düzeltmeler yapılarak

harmonikler belirlenen standartlara uydurulması gerekmektedir. THB standartlarının uluslar arasında belirleyen kuruluşlardan biri de IEEE'dir. IEEE'nin standartların hane ve sanayi kullanımına bağlı olarak belirlemektedir. Yapılan bu çalışmada hane standartları esas alınmıştır. IEEE'nin 519-1999 standardına göre her bir harmonik maksimum %3 ve toplam harmonik maksimum %5 olacak şekilde bozulabilir (Prabaharan ve Palanisamy,2017).

Akım ve gerilim için toplam harmonik bozunumu (THB) sırasıyla Eş.3.68 ve Eş. 3.69'da verilmiştir.

$$THB_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (3.68)$$

$$THB_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (3.69)$$

Toplam harmonik bozunum derecesi elde edilen çıkış sinyalinin sinüzoidal formdan uzaklaşılması ilgilidir. THB, temel frekanstan oluşan tam bir sinüzoidal dalga şekli için sıfırdır. Akım ve gerilim için THB sırasıyla Eş.3.70 ve Eş.3.71'deki gibi de ifade edilebilir.

$$THB_I = \frac{[I^2 - I_1^2]^{1/2}}{I_1} \quad (3.70)$$

$$THB_V = \frac{[V^2 - V_1^2]^{1/2}}{V_1} \quad (3.71)$$

Gerilimin sistem üzerinde oluşturduğu THB'ın çok az olduğu varsayılır ve güç sistemlerinde sorun teşkil edecek bir seviyeye ulaşmaz. Akımda ise bu durum söz konusu değildir. Akımda meydana gelen küçük bir değişiklik akım kaynaklı THB değerini oldukça artırır (Okuducu, 2010). Harmoniklerden dolayı sistemde oluşan olumsuz durumları en aza indirmek ve tamamen ortadan kaldıracı için uygun filtrenin belirlenmesi gerekmektedir.

3.6. Tam Köprü DA/AA Evirici için Uygun Filtre Tasarımı

Elektrik sistemlerinde meydana gelen THB istenilen seviyelere çekebilmek için harmonik içeriklerinin en aza indirilmesi gerekmektedir ve bu iş için uygun yöntem filtre kullanmaktır. Tasarlanacak filtrenin belirlenebilmesi için ana sinyalde %40 zayıflama olduğunda hesaplamalar yapılmalıdır. Kullanılan filtre çeşitleri pasif, aktif ve karma filtre olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılabilir (Greenwood, 1970).

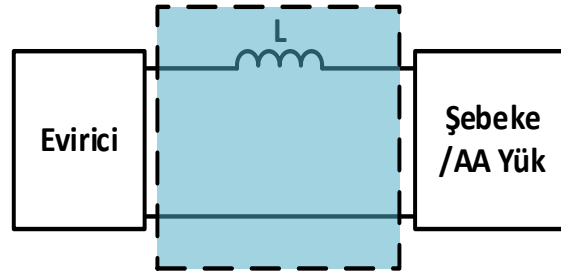
Güç uygulamalarında sıklıkla tercih edilen filtre pasif filtredir. Pasif filtre, endüktans (L), kapasitör (C) ve direnç (R) gibi pasif elemanlardan meydana gelmektedir. Meydana gelen harmonikler, bu pasif elemanların birbirine paralel bağlanmasıyla elde edilen rezonans sayesinde en aza indirilebilir. Aktif filtrelemede, yük üzerinde oluşan harmonikleri analiz edilir ve bu harmonikleri nötr duruma getirilir ve aynı harmonik akımı veya gerilimini uygun fazda tekrar eski durumuna getirilir. Adından anlaşılacağı üzere bu filtre yönteminde aktif devre elemanları kullanılmaktadır (diyot, MOSFET, IGBT vb.). Aktif filtre devrede bağlandığı noktadan akım ve gerilim değerlerini ölçerek mevcut olan harmoniği belirler ve bu harmoniği ortadan kaldırabilmek için ters işaretli bir sinyal üretir ve sisteme gönderir. Karma filtrelemede ise hem pasif hem de aktif filtre bir arada kullanılmaktadır. Bu çalışmada maliyet ve başarı göz önünde bulundurulduğu için pasif filtre kullanımı tercih edilmiştir.

Sistemin istenilen düzeyde çalışabilmesi için harmoniklerin neden olduğu olumsuz etkinin en aza indirilmesi veya tamamen ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bunun gerçekleştirilebilmesi için başvurulacak iki yöntem mevcuttur. Bunların ilki harmoniklere neden olan elemanların üretim aşamasında iken harmonikleri en az olacak şekilde tasarlanması veya şebekeye doğru bir şekilde bağlanmasıdır. İkincisi ise üretilen harmoniklerin ortadan kaldırılmasıdır ve bu filtrelemenin tanımıdır. Harmonikler sadece devre elemanlarının uygun özellikte seçilmesi tamamen ortadan kaldırılamazlar. Uygun eleman seçmenin yanında, akım kaynaklı harmonikleri yük tarafına aktarılmasına engel olunmalıdır. Bu da sisteme ek devre (pasif filtresi) bağlanmasıyla mümkündür.

Endüktans (L), kapasitör (C) ve bazı durumlarda direnç (R) eklenerek seri olarak bağlanan devre elemanlarından elde edilen pasif filtreler sistemin çıkışında yük ve evirici arasına bağlanır. Daha önce de anlatıldığı gibi harmonik bileşenini rezonans götürecek uygun L ve C değerleri belirlenerek filtreleme işlemi yapılır. Endüktif empedans değeri

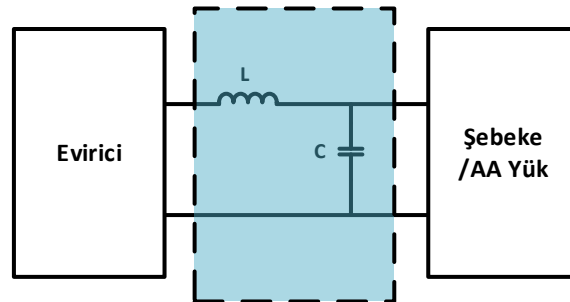
(X_L) ve kapasitif empedans değeri (X_C) birbirine eşit olduğu durumda rezonans frekansı hesaplanır.

Çıkış geriliminde meydana gelen harmonikler, yük ve evirici arasına konulmuş bir endüktans (L) sayesinde ortadan kaldırılabilir ve bu tip filtreye L tipi pasif filtre denilmektedir (Şekil 3.26). Bu filtrenin sahip olduğu büyük ebat ve geleneksel arayüzü, kullanımı sınırlı bir hale getirmiştir. L tipi pasif filtre ile harmoniklerin bastırabilmesi için çok yüksek frekanslarda anahtarlama yapılması gerekmektedir. Sahip olduğu büyük ebat hem maliyeti arttırmakta hem de neden olduğu yüksek gerilim düşüşlerinden dolayı sistemin dinamiklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Cha ve Vu, 2010).



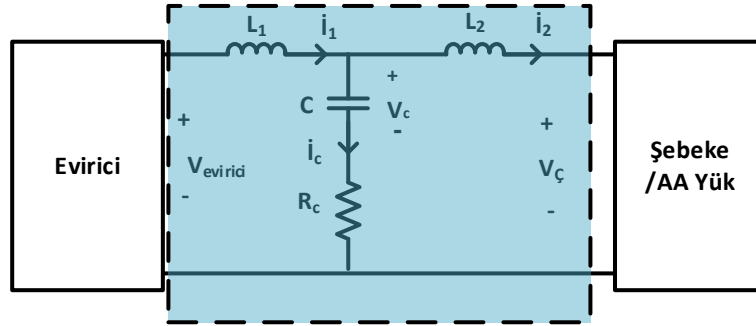
Şekil 3.26. L tipi pasif filtre.

Evirici ve yük arasına konulan LC alçak geçiren filtre çıkış sinyalini sinüzoidal hale getirip harmonikleri azaltmak için kullanılır ve LC tipi pasif filtre olarak adlandırılır (Şekil 3.27). L tipi pasif filtre eviricinin anahtarlama frekansından dolayı oluşan harmonikleri tek başına bastırmakta yeterli olamamaktadır. Bu sebepten dolayı L tipi pasif filtreye ek olarak paralel bir kapasitör (C) bağlanarak LC tipi pasif filtre oluşturulmuş olur. Bu filtre her ne kadar FV sistemlerinde yaygın olarak kullanılsa da orta ve düşük güç uygulamalarında ek bir maliyete neden olmaktadır.



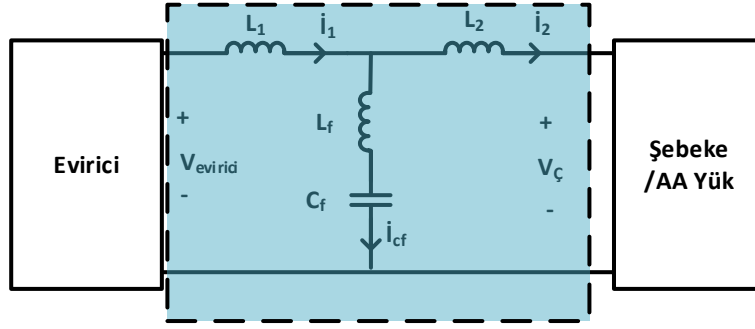
Şekil 3.27. LC tipi pasif filtre.

LCL tipi pasif filtre güç kalitesini artırmak, harmonikleri azaltmak ve yük tarafında daha iyi bir güç kalitesi sağlamak için kullanılmaktadır (Şekil 3.28). Önceki sayfalarda anlatılan diğer pasif filtreler göre şebeke empedansından daha iyi ayırmaktadır. Bu topoloji ile daha küçük L değerleri kullanılarak akım harmoniklerinin zayıflaması sağlanabilmektedir. LCL tip pasif filtrenin kullanıldığı sistem şebeke empedansından bağımsızdır ve diğer iki filtreye göre daha iyi bir çıktı tepkisine sahiptir. Bu özellikler LCL tipi pasif filtreyi, yüksek güçlü FV sistemlerden beslenen şebekede veya izole bir AA yükte gücün kalitesi artırmanın ekonomik ve yaygın olarak kullanıldığı verimli hale getirmektedir.



Şekil 3.28. LCL tipi pasif filtre.

LLCL tipi pasif filtre, LCL tip filtresindeki paralel kolda yer alan C ’ye değeri küçük seri bir L bağlanarak elde edilmektedir (Şekil 3.29). Pasif LCL ve LLCL filtreler bağlandığı sistemlerde oluşan harmonikleri söndürme yeteneği diğer tip pasif filtreler göre daha yüksektir. Ayrıca kullanılan küçük devre elemanlarından dolayı sahip olduğu küçük hacim ve düşük maliyet yanında veriminin yüksek olması bu filtreleri kullanım için cazip hale getirmektedir. LLCL tip pasif filtrenin tasarım ve modelleme süreci, diğer pasif filtreler nispeten daha karmaşıktır.



Şekil 3.29. LLCL tipi pasif filtre.

Bu çalışmada, önceki sayfalarda anlatılan LCL tipi pasif filtre kullanılmıştır. Kullanılan LCL pasif filtrenin tasarımı için gerekli olan hesaplamalar (Karaca, 2020) göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

$$Z_b = \frac{V_{ph}^2}{P_n} \quad (3.72)$$

$$\omega_s = 2\pi f_s \quad (3.73)$$

$$C_b = \frac{1}{\omega_s Z_b} \quad (3.74)$$

Temel baz empedans (Z_b), şebeke frekansına (f_s) bağlı olarak değişen şebeke açısal frekansı (ω_s) ve çekirdek taban kapasitansı (C_b) hesaplanması için gerekli denklemler sırasıyla Eş. 3.72-73-74' de verilmiştir. Filtre kapasitansı (C_f), hesaplanan C_b değerinin %5' den büyük olmaması gerekmektedir. Eviricinin çıkışında, eviricinin anahtarlama süresi (T_{sw}), modülasyon faktörü (m), L_1 değeri ve giriş gerilimi (V_G) bağlı olarak akımda meydana gelebilecek maksimum dalgalanmanın hesaplanması için gerekli denklem Eş.3.75' de verilmiştir.

$$\Delta I_{Lmax} = \frac{2V_G}{3L_1} (1 - m) m T_{sw} \quad (3.75)$$

Evirici tarafındaki endüktanstaki maksimum dalgalanma nominal akımın %10 olacak şekilde belirlenmektedir (Eş. 3.76). Endüktanstaki maksimum akım ve L_1 değerleri sırasıyla Eş 3.77-78' de verilen denklemlerle hesaplanmıştır.

$$\Delta I_{Lmax} = 0.1 I_{max} \quad (3.76)$$

$$I_{Lmax} = \frac{P_n \sqrt{2}}{3 V_{ph}} \quad (3.77)$$

$$L_1 = \frac{V_{DC}}{6 f_{sw} \Delta I_{Lmax}} \quad (3.78)$$

LCL tipi pasif filtre akım dalgalanmasını %20'ye çekilmeli, bu durum çıkış akımının %2'lik bir dalgalanma değeriyle sonuçlanmalıdır (Liserre ve ark., 2005). Evirici tarafından üretilen akım harmonikleri Eş.3.79 ve Eş.3.80 verilen denklemler belirlenmektedir. İstenilen zayıflatmaya (k_a) bağlı olarak belirlenen L_2 değeri, L_2 ve L_1 arasındaki oran (r) Eş.3.81 ve Eş.3.82' de verilmiştir.

$$\frac{i_2(h)}{i_1(h_{sw})} \approx \frac{Z_{LC}^2}{|\omega_r^2 - \omega_{sw}^2|} \quad (3.79)$$

$$k_a \frac{i_2(h)}{i_1(h)} = \frac{1}{|1 + r(1 - L_1 C_b \omega_{sw}^2)|} = k_a \quad (3.80)$$

$$L_2 = \frac{\sqrt{\frac{1}{k_a^2} + 1}}{C_f \omega_{sw}^2} \quad (3.81)$$

$$L_2 = r . L_1 \quad (3.82)$$

Tasarlanacak LCL tipi pasif filtrenin rezonans frekansı (f_{res}) Eş. 3.83'deki gibi hesaplanmaktadır. Bu rezonans frekansı Eş. 3.84'de gösterildiği üzere şebeke frekansının

(f_s) on katından büyük olmalı ve eviricinin anahtarlama frekansının yarısından küçük olmalıdır (f_{sw}).

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 L_2 C}} \quad (3.83)$$

$$10 f_s < f_{res} < 0.5 f_{sw} \quad (3.84)$$

LCL tipi pasif filtrede C'ye seri bağlanan sönümlleme direnci (R_c) ile istenmeyen rezonansı önlemek ve anahtarlama frekansında dalgalanmaların bir kısmı hafifletilir. Sönümlleme direncinin değeri (Eş.3.86), rezonans frekansındaki filtre kapasitörün empedansının üçte biri olmalıdır (Reznik ve ark., 2014).

$$\omega_{res} = \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 L_2 C}} \quad (3.85)$$

$$R_c = \frac{1}{3\omega_{res}C} \quad (3.86)$$

İlgili hesaplamalar üç fazlı sistemler için yapılmıştır. Tek fazlı sisteme uyarlayabilmek için üç fazlı sistemin tek fazı için hesaplamalar yapılmıştır. Bu durumda yeni denklemler Eş.3.87 ve Eş.3.88 gibi olmuştur.

$$Z_b = \frac{V_{ph}^2}{P_n} \quad (3.87)$$

$$I_{Lmax} = \frac{P_n \sqrt{2}}{3 V_{ph}} \quad (3.88)$$

V_{ph} : Evirici çıkışının faz gerilimi

P_n : Nominal koşullarda dönüştürücü tarafından emilen aktif güç

V_G : Evirici giriş gerilimi

ω_{res} : Açısal rezonans frekans

Bu durumda LCL tipi pasif filtresi için kullanılan devre elemanların tasarımı aşağıda verilen denklemlerle yapılmıştır.

$$Z_b = \frac{V_{ph}^2}{P_n} = \frac{230^2}{3000} = 17.63 \, \Omega \quad (3.89)$$

$$C_b = \frac{1}{\omega_s Z_b} = \frac{1}{2\pi 50 * 17.63} = 1.80 \times 10^{-4} \, F, \quad \omega_s = 2\pi 50 \quad (3.90)$$

$$I_{Lmax} = \frac{P_n \sqrt{2}}{V_{ph}} = \frac{3000 \sqrt{2}}{230} = 18.44 \, A \quad (3.91)$$

$$\Delta I_{Lmax} = 0.1 I_{max} = 0.1 * 18.44 = 1.844 \, A \quad (3.92)$$

$$L_1 = \frac{V_{in}}{6 f_{sw} \Delta I_{Lmax}} = \frac{400}{6 * 50000 * 1.844} = 7.24 * 10^{-4} \, H \quad (3.93)$$

$$C_f = 0.05 \cdot C_b = 0.05 * 1.80 \times 10^{-4} = 9 \mu F \quad (3.94)$$

$$L_2 = \frac{\sqrt{\frac{1}{k_a^2} + 1}}{C_f \omega_{sw}^2} = \frac{\sqrt{\frac{1}{0.2^2} + 1}}{3 * 10^{-6} (2 * \pi * 50000)^2} = 6.75 \, \mu H \quad (3.95)$$

$$\omega_{res} = \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 L_2 C_f}} = \sqrt{\frac{7.24 * 10^{-4} + 6.75 * 10^{-6}}{7.24 * 10^{-4} * 6.75 * 10^{-6} * 9 * 10^{-6}}} = 128896.7 \, \frac{rad}{sn}. \quad (3.96)$$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 L_2 C_f}} = 20514.5 \, Hz \quad (3.97)$$

$$R_c = \frac{1}{3 \omega_{res} C_f} = \frac{1}{3 * 128896.7 * 9 \mu} = 0.28 \, \Omega \quad (3.98)$$

$$10 f_s < f_{res} < 0.5 f_{sw}, 10 \times 50 \text{ Hz} < 20514.5 \text{ Hz} < 25000 \text{ Hz} \quad (3.99)$$

Eş. 3.99’da görüldüğü üzere rezonans frekansı (f_{res}), şebeke frekansı (f_s) ve evirici anahtarlama frekansı (f_{sw}) arasındaki koşullu ilişki sağlanmıştır. Kullanılan LCL tipi pasif filtresi için parametreler ve yaklaşık değerleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. LCL pasif filtre parametreleri ve değerleri

LCL pasif filtre parametreleri	Değerleri
Evirici tarafı endüktansı (L_1)	0.724 mH
Yük/ Şebeke tarafı endüktansı (L_2)	6.75 μ H
Sönümlleme direnci (R_c)	0.28 Ω
Filtre kapasitör (C_f)	9 μ F
Şebeke frekansı (f_s)	50 Hz
Eviricinin anahtarlama frekansı (f_{sw})	50 kHz
Açısal rezonans frekans (ω_{res})	128.8967 rad/sn.
Rezonans frekansı (f_{res})	20.5415 kHz

3.7. Kullanılan Kontrol Yöntemleri

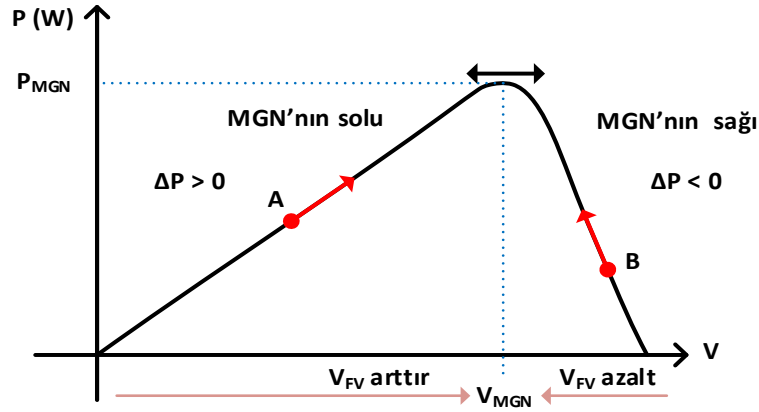
Bu tez çalışmasında birden fazla ara devre mevcuttur. Her bir devre için bağımsız kontrolcü kullanılmıştır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için kullanılan FV MGN’ de çalıştırılabilmesi için önerilen D&G MGNİ kontrol yöntemi kullanılmıştır. DA/DA yükselten dönüştürücünün çıkış geriliminin istenilen değere ulaşabilmesi ve o değerde tutulabilmesi için PI kontrolcü kullanılmıştır. İzole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücünün ve DA/AA eviricinin kontrol edilebilmesi için de PI kontrolcü kullanılmıştır. Bu bölümde, kullanılan kontrolcüler detaylı bir şekilde aktarılmıştır.

3.7.1 MGNİ kontrol

MGNİ kontrol algoritmaları, FV sistemlerde maksimum güç noktasını tespit etmek için kullanılır. FV panel MGNİ ile iklim değişikliklerinden bağımsız olarak mümkün olan en yüksek miktarda enerjiyi üretmeye çalışır. Bu çalışmada, klasik bir

D&G MGNİ algoritması geliştirilmiş ve şebekeye bağlı olmayan bir FV sistemin kontrolü için kullanılmıştır.

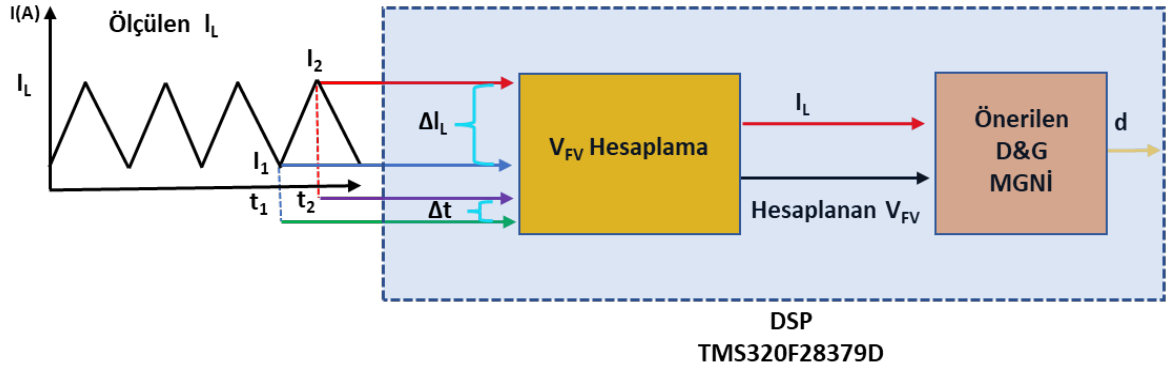
D&G MGNİ algoritmasının çalışma yönteminde FV panele ait P-V eğrisi sürekli olarak taranır ve MGN' a ulaşılabilsin diye çalışma noktası sürekli bir şekilde değiştirilir. Gerilim pertürbasyonunun yönü güç farkına (ΔP) göre değişmektedir. Eğer ΔP sıfırdan büyük ise gerilim pertürbasyonu A noktasında MGN' a doğru olur.



Şekil 3.30. P-V eğrisinin MGN.

B noktasından MGN' a gerilim pertürbasyonu ise ΔP sıfırdan küçük olduğunda gerçekleşir. ΔP değişimi sıfıra yakın ise FV MGN' nda çalışıyor demektir. Şekil 3.30'da anlatılan süreç özet olarak verilmiştir (Yahdou ve ark., 2017).

Klasik D&G MGNİ yönteminde FV panelin MGN' nın bulunabilmesi için FV hem akımı hem de geriliminin ölçülüp örneklenmesi gerekmektedir. Ama bu tez çalışmasının temelini teşkil eden ve Bölüm 3.4.2'de detaylı olarak anlatılıp yeni algoritması oluşturulan gerilim örneklemelessiz yeni D&G MGNİ yöntem sayesinde gerilim ölçme ve örnekleme ortadan kaldırılmış oldu. Geliştirilen yeni kontrol yönteminin çalışma prensibi Şekil 3.31'de verilmiştir.



Şekil 3.31. Yeni D&G MGNİ yönteminin çalışma prensibi.

3.7.2 PI kontrol

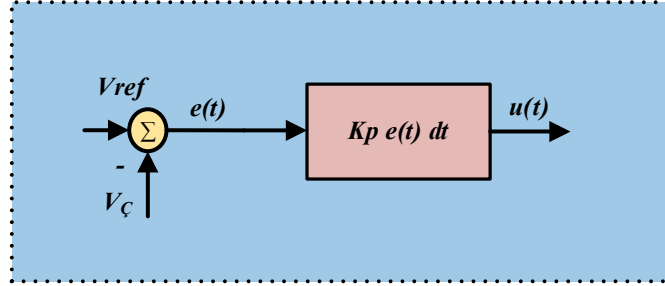
PI kontrol yöntemi kapalı çevrime sahip bir kontrol yöntemidir. Kapalı çevrim kontrol sistemlerinde alıcılar (sensörler) vasıtasıyla sistemin bulunduğu mevcut durumu ile ilgili bilgi getirilerek geri besleme yapılmaktadır. Sistemin çıkışından alınan değer istenilen referans ile karşılaştırılıp hata elde ($e(t)$) edilir, elde edilen bu hata kontrolcüde işlenir ve elde edilen kontrol sinyali ($u(t)$) ile çıkış istenilen değere getirilir (Yalduz, 2015).

Denetleyicide kullanılan kontrol etkileri; Oransal (P), integral (I) ve türev (D) olmak üzere üç farklı başlık altında toplanmıştır. İstenilen kontrol yöntemleri bu etkilerin tek başına veya bir arada kullanılmasıyla elde edilmiştir (oransal (P), oransal-integral (PI), oransal-türevsel (PD) ve oransal-integral-türevsel (PID)). Bu çalışmada geliştirilen D&G MGNİ kontrol yöntemiyle kontrol edilen DA/DA yükselten dönüştürücünün çıkışındaki gerilimin FV panel üzerine düşen değişken yoğunluktaki ışınlımından ve çıkış yükünün değişiminden bağımsız olarak istenilen değerde olabilmesi için PI kontrolcü kullanılmıştır. Aynı zamanda izole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücünün her iki çalışma modu ve DA/AA eviricinin kontrolü için de PI kontrolcü kullanılmıştır.

Oransal kontrole karşılık gelen oransal terim P (Proportional); herhangi bir zamanda belirlenen hata değeri, oransal kazanç katsayısı (K_p) ile orantılı olacak şekilde bir sinyali üretir. Artan K_p değeriyle sistemin kalıcı durum hatası azalmasına rağmen salınımı fazla olan bir yanıtın oluşmasına neden olur. İstenilmeyen bu durumun izole edilebilmesi için oransal-integral (PI) kontrol yöntemi kullanılır (Abalı, 2011). Şekil

3.32’da oransal kontrol blok şemasında verilmiştir. Kontrolcünün çıkış bağıntısı Eş. 3.100’de verilmiştir.

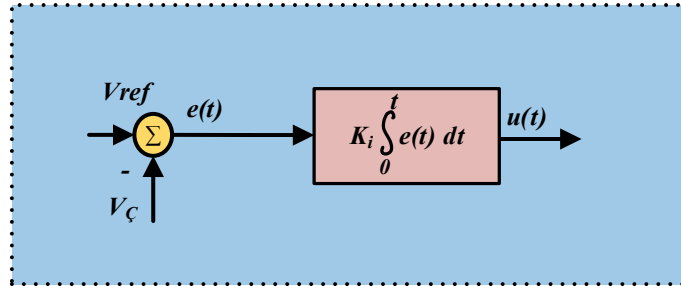
$$u(t) = K_p e(t) \quad (3.100)$$



Şekil 3.32. Oransal kontrol blok şeması.

Elde edilen hata sinyalinin integral alınır ve integral kazanç katsayısının (K_i) ile çarpılmasıyla elde edilen kontrolcüye I kontrolcü denir. İntegral kontrolcüsünün çıkış bağıntısı Eş. 3.101’de verilmiştir (Şekil 3.33).

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (3.101)$$

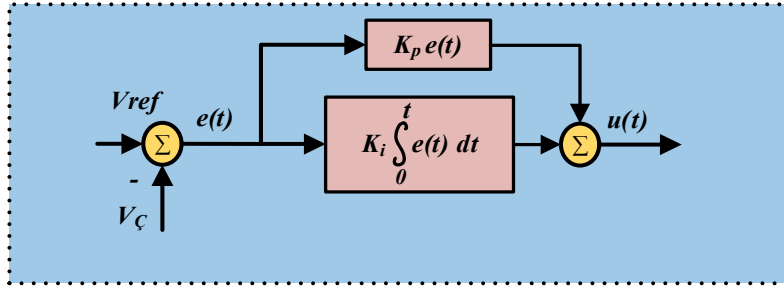


Şekil 3.33. İntegral kontrol blok şeması.

I etkisiyle, hata sinyalinin durumuna göre çıkış sinyali artırılır veya azaltılır, bu şekilde çıkış istenilen referans değerine yaklaştırılır. I kontrolcü, hata değeri sıfır olana kadar devam eder. İstenilen referans değerine ulaşmak ne kadar gecikirse I etkisi o kadar artar. İstenilen referans değerine ulaşıldıktan sonra I kontrolcünün uygulanması için sebepler ortadan kalkar ta ki çıkış sinyalinin referans değerkten tekrar sapana kadar (Yalduz, 2015). İntegral kontrol ve oransal kontrol genellikle birlikte uygulanır. Oransal

ve integral denetleyiciler birbirine paralel olarak bağlanmasıyla oransal (P)-integral (I) kontrolcü yani kısaca PI kontrolcüsü meydana gelir (Üzmuş, 2016). Şekil 3.34’de blok şeması verilen PI kontrolcüsünün çıkış denklemi Eş. 3.102’de verilmiştir.

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt \quad (3.102)$$



Şekil 3.34. PI kontrol blok şeması.

PI kontrolcü, çıkış sinyalinin referans değere ulaşması için gerekli süreyi (yükselme süresi) ve kalıcı durum hatasını azaltmaya yardımcı olur. D etkisi sisteme giren yüksek frekanslı gürültüleri yüksek oranda yükseltir. Ayrıca D etkisi, referans girişine ani bir değişiklik uygulandığında, türevsel kazanç katsayısı (K_d) ile çarpılan $e(t)$ sinyalinde ani bir değişikliğe neden olur ve sistemin bazı bileşenlerini doyuma götürerek doğrusal olmayan bir modda çalışmaya zorlar. Bu nedenle, literatürde bulunan birçok çalışmada PID kontrolcünün farklı versiyonları için D etkisinin bu dezavantajı hafifletilmeye çalışılmıştır. PID kontrolcünün türev kısmı yüksek frekanslı gürültüler olması halinde çeşitli problemlere neden olabilmektedir. D etkisinin kontrol için kullanılmasının en önemli sakıncası kontrol sinyalleri yanında sistemde ortaya çıkan gürültü sinyallerinin de kuvvetlendirmesidir (Yazıcı, 2006). Bu durumlarla karşılaşılması için bu tez çalışmasında, PI kontrolcünün kullanılması tercih edilmiştir.

3.8. Batarya Grubu

Gelişen teknolojiyle beraber enerjinin depolanması çok büyük önem kazanmıştır. Birçok enerji başka enerjiye dönüştürülmek üzere farklı enerji formlarında depolanmaktadır. Örneğin belli hacimdeki su barajlarda elektrik enerjisine

dönüştürülebilmektedir. Taşınabilir elektronik cihazlarının (cep telefonu, tabletler ve giyilebilir elektronik cihazlar vb.) keşfedilmesi ve kullanımının artmasından dolayı depolanan taşınabilir elektrik enerjisine olan ihtiyaç oldukça artmıştır. Bunların yanı sıra şebekeden bağımsız veya bağımlı elektrik sistemlerinde elektrik enerjisinin depolanması çok büyük önem taşımaktadır. Anlatılan bu iki durum için ise elektrik enerjisi DA formunda, farklı kimyasal depolama yöntemleri ile elde edilen elektrokimyasal bataryalarda depolanmaktadır.

Bataryalar farklı güçlerde tek kullanımlık veya tekrar şarj edilebilir olmak üzere iki farklı şekilde üretilmektedir. Bu bataryaların uzun ömürlü, güvenli ve büyük kapasiteli olması için birçok çalışma yapılmaktadır. Tekrar şarj edilebilen bataryalar; kuru, sulu ve jel içeri sahip kurşun-asit, nikel-kadmiyum (Ni-Cd), nikel-metal hidrit (Ni-MH), lityum-iyon (Li-ion) olmak üzere farklı şekillerde üretilmektedir (Liang ve ark., 2019).

Batarya grubu, depolanmış elektrik enerjisini kullanan şebekeden bağımsız ve bağımlı sistemler için çok önemlidir. Kullanılacak bataryaların uzun ömürlü ve doğru hesaplanmış kapasiteye sahip olması gerekir. Ayrıca bataryaların çalışma sıcaklığı aralığı oldukça geniş olmalı, herhangi bir sızıntının olmamalı ve yüksek çevrim verimliliğine sahip olmalıdır. Şebekeden bağımsız FV sistem ve bu sistem için kullanılacak batarya grubunda olması gereken batarya adedi ve kapasitesi doğru bir şekilde hesaplanması hem sistemin hem de batarya grubunun ömrünü uzatmaktadır. Batarya grubunun nasıl hesaplanacağı aşağıda verilmiştir.

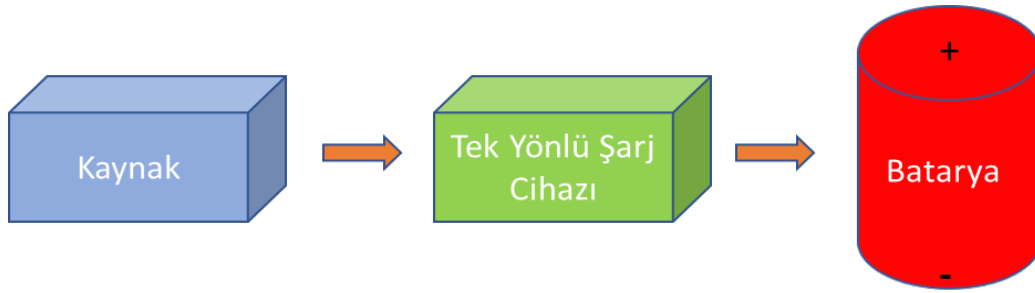
3 tane 250 Watt'lık panelin bir saatte ürettiği elektrik $250 \times 3 = 750 \text{ W}$ 'tır. Sistemin kurulduğu bölgede günde 6 saat güneş alınması durumunda $750 \times 6 = 4.5 \text{ kWh}$ enerji üretilmektedir. Batarya gerilimi 12 V iken batarya akımı istenilen güce göre değişmektedir. 1.2 kWh güç elde edilebilmesi için 100 Ah değerine sahip bir bataryaya ihtiyaç vardır. 4.5 kWh güce sahip bir sistem için 4 adet 1.2 kWh güce sahip batarya grubu gereklidir. Batarya grubu oluşturulurken bataryaların nasıl bağlanacağı kullanılan şart regülatörünün çıkış gerilim değeriyle ilişkilidir. Kullanılan şarj regülatörünün çıkış gerilimi 48 V olması durumunda belirlenen bataryalar seri olarak birbirine bağlanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında benzetim ortamında 3 kW anlık güce sahip şebekeden bağımsız FV sistem kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda ise önerilen sistem 400 W anlık güçte çalıştırılmıştır. Bu çalışmada birçok durum söz konusu olduğu için batarya grubunun yönetimi önem arz etmektedir. Batarya yönetim sistemleri batarya

grubunun korunmasını ve uygun değerlerde çalıştırılması suretiyle ömrünü ve verimini arttıran sistemlerdir (Vasiladiotis ve Rufer, 2015). Batarya yönetim sistemleri, batarya grubunun şarj/deşarj edilmesini kapsamaktadır. Batarya grubunun sahip olduğu özellikler göz önünde bulundurularak uygun şarj/deşarj yönteminin seçilmesi batarya grubunun hem verimini hem de ömrünü uzatır. Bunların yanında kullanıcının güvenliğini sağlar ve maliyeti düşürür.

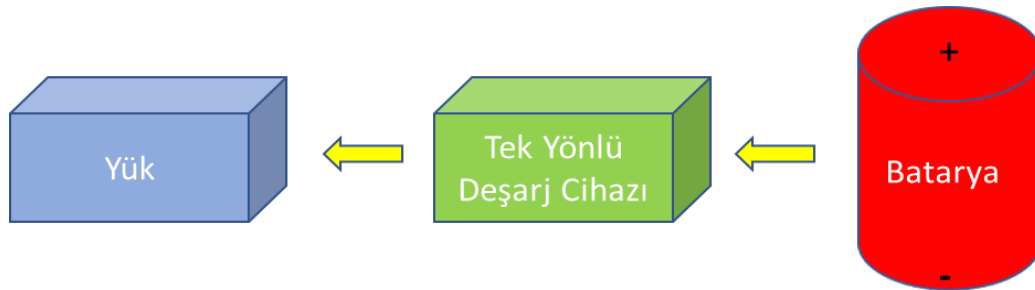
Batarya grubunda depolanan enerjinin kullanılması gerektiği durumlarda başka bir dönüştürücü veya şarj/deşarj işlemlerinin her ikisini de yapabilen çift yönlü (bidirectional) dönüştürücüler kullanılır (Sanchis ve ark.,2006).

Batarya grubunun sadece şarj edilmesi için kullanıla sistemlere batarya şarj yönetim sistemleri denir (Şekil 3.35). Batarya grubu şarj edilirkendeşarj olmaya imkân tanımaz, şarj işlemi bittikten sonra depolanan enerji ihtiyaca göre direkt kullanılabileceği gibi ek devreler de kullanılabilir.



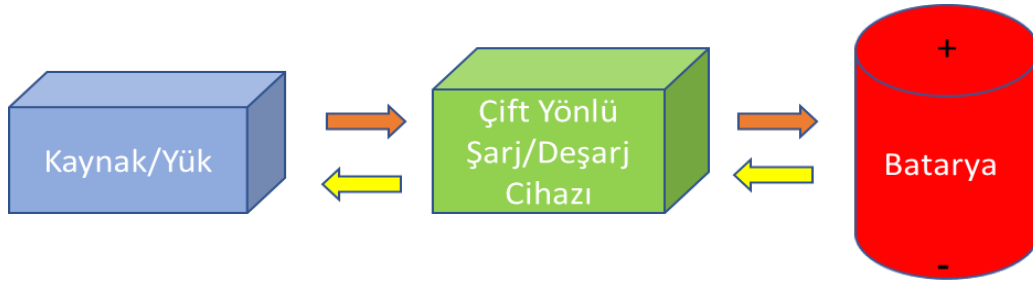
Şekil 3. 35. Tek yönlü batarya şarj ünitesi.

Batarya grubunun sadecedeşarj edilmesi için kullanıla sistemlere bataryadeşarj yönetim sistemleri denir (Şekil 3.36). Bataryada depolanan enerji yük tarafına doğru akmaktadır.



Şekil 3. 36. Tek yönlü bataryadeşarj ünitesi.

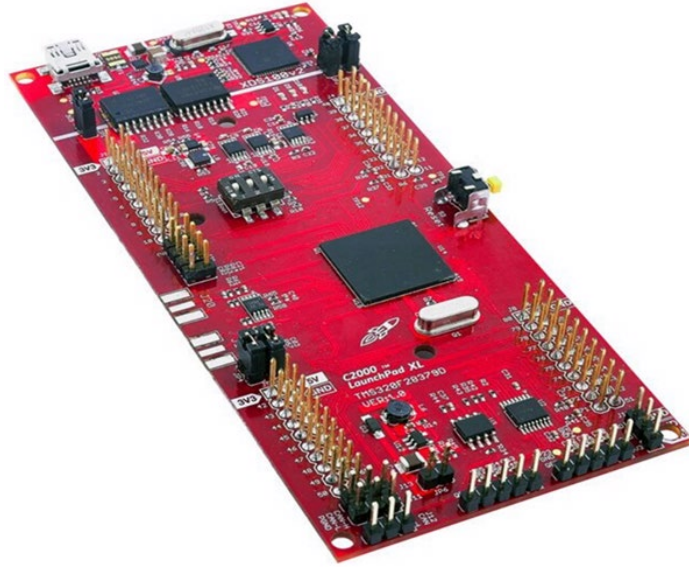
Farklı algoritmalarla sahip şarj uygulamaları gerçekleştirilebilmektedir. Cep telefonu ve aynı mantıkla çalışan bataryalı elektrikli cihazlarda bu algoritmalar kullanılmaktadır. Tek yönlü şarj cihazları enerji akışını kaynaktan bataryaya doğru olmasını sağlar, tersi durumda ise tek yönlü batarya deşarj cihazı enerji akışını yüke doğru olmasını sağlar. Çift yönlü şarj cihazında ise iki yönlü enerji akışına imkân sağlamaktadır. Yani bataryadan enerji çekilmesi gerektiğinde deşarj modunda, bataryaya enerji depolanması gerektiğinde şarj modunda çalışabilmektedir (Şekil 3.37).



Şekil 3. 37. Çift yönlü batarya şarj/deşarj ünitesi.

3.9. TMS320F28379D DSP Kontrol Kartı

Bu tez çalışmasında önerilen kontrol yönteminin deneysel olarak uygulanabilmesi için düşük maliyet ve yüksek performansa sahip bir DSP (Digital signal Processor) kartı kullanılmıştır. Bu DSP kartı Texas Instruments firması tarafından geliştirilen LAUNCHXL-F28379D, TI MCU LaunchPad™ geliştirme kiti ekosistemindeki TMS320F28379D kitidir (Şekil 3.38). Bu DSP kartı, tasarımcılar için düşük maliyetle yüksek performanslı dijital kontrol için imkân sağlamaktadır. Bu LaunchPad geliştirme kiti, çift 200MHz C28x CPU'lar ve çift 200MHz gerçek zamanlı kontrol yardımcı işlemcileri (CLA) arasında 800MIPS toplam sistem performansı sağlayan Delfino TMS320F28379D MCU'ya dayanmaktadır.



Şekil 3.38. TMS320F28379D DSP kontrol kartı.

Bu DSP kartının teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

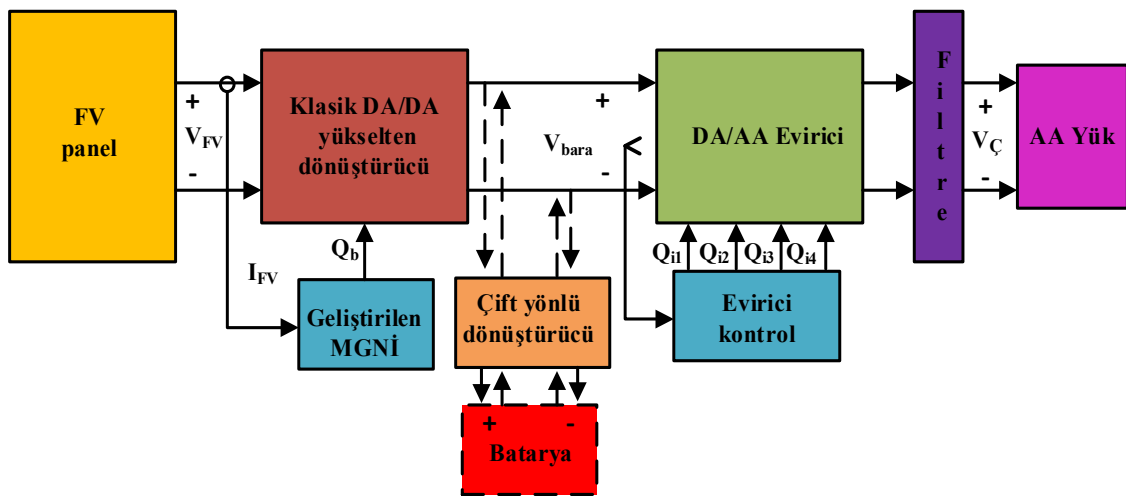
- Gerçek zamanlı hata ayıklama ve flash programlama için USB bağlantılı izole XDS100v2 JTAG hata ayıklama probu.
- Ekosistemdeki çeşitli BoosterPack eklenti modülleri ile uyumludur
- İki adede kadar BoosterPack eklenti modülünü aynı anda takmayı mümkün kılan çift 40 pinli header.
- Güç LED'leri, iki kullanıcı LED'i ve cihaz sıfırlama butonu
- Debug amacıyla veya genişletme kartları eklemek için soketler olarak kolayca erişilebilir cihaz pinleri
- Çift 5V dörtlü kodlayıcı arayüzleri
- Boot seçimi anahtarları
- 4x 20 pinli başlıklar/konektörler
- İki BoosterPack™ Eklenti Modülünü destekler
- İki kodlayıcı arabirim konektörü
- İzole CAN alıcı-verici konektörü
- Donanım dosyaları, boards\LaunchPads\LAUNCHXL_F28379D konumunda C2000Ware'dedir.
- C2000 Delfino™ MCU pozisyon yöneticisine hazır TMS320F28379D MCU, mutlak kodlayıcıların yanı sıra çözümleyiciler ve SINCOS dönüştürücülerle arabirim oluşturma özelliğine sahiptir.

➤ 200 MHz çift C28xCPU'lar ve çift CLA'lar, 1 MB Flash, 16-bit veya 12-bit ADC'ler, karşılaştırıcılar, 12-bit DAC'ler, delta-sigma sinc filtreleri, HRPWM'ler, eCAP'ler, eQEP'ler, CAN'ler ve daha fazlası.

Önerilen kontrol yöntemi önerilen şebekeden bağımsız FV sisteme bu kontrol kartı sayesinde uygulanmıştır.

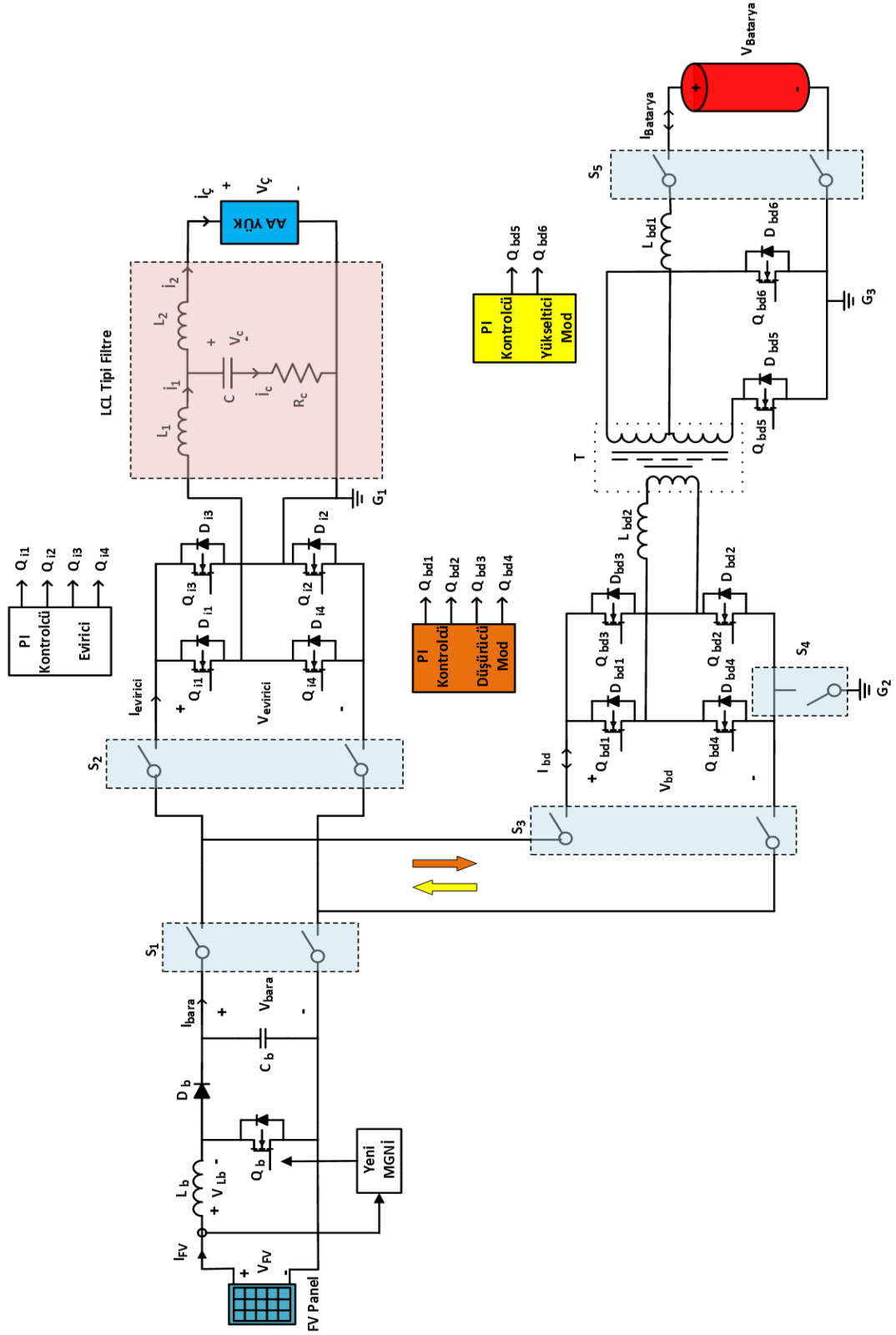
3.10. Önerilen Tüm Sistem

Önerilen sistem, FV paneller tarafından üretilen DA formundaki elektrik enerjisinin yeni geliştirilen MGNİ kontrol yöntemi ile kontrol edilen klasik DA/DA yükselten dönüştürücü vasıtasıyla, istenilen gerilim seviyesine yükseltilip DA/AA evirici sayesinde uygun filtreden geçirilip AA yükün talebini karşılayacak şekilde ayarlanmasına dayanmaktadır. Sistem şebekeden bağımsız olduğundan dolayı güneş enerjisinin yetersiz olduğu veya akşam saatlerinde yükün istediği enerjiyi sağlayabilmek için eviriciden önce paralel bir batarya grubu bağlanmıştır. Klasik yükselten dönüştürücünün çıkışından elde edilen DA formundaki elektrik enerjisinin bataryalarda depolanabilmesi için gerilim seviyesinin düşürülmesi gerekmektedir. Diğer durumda da bataryalardan alınan düşük seviyedeki DA gerilimin yükseltilecek eviriciye verilmesi gerekmektedir. Bunun için izole çift yönlü dönüştürücü kullanılmaktadır. Özet halinde sunulan tüm sistem Şekil 3.39'da bloklar halinde verilmiştir.



Şekil 3. 39. Önerilen tüm sistemin blok şeması.

Önerilen tüm sistemin benzetim ve deneysel çalışmalarında güç akışını sağlayabilmek için bazı şartların oluşturulması gerekmektedir. Bu şartların gerekliliklerinin yerine getirilebilmesi için tüm sistemde gerekli yerlere kontrol edilebilir basit anahtarların konulması gerekmektedir. Ayrıca her güç devresi için ayrı ayrı kontrolcülere ihtiyaç vardır. Önerilen MGNİ kontrol yöntemi klasik DA/DA yükselten devresine uygulanıp istenilen bara gerilimi elde edilmiştir. Çift yönlü dönüştürücünün hem yükseltici durumu hem de düşürücü durumu için iki farklı PI kontrolcü kullanılmıştır. Evirici için de farklı bir PI kontrolcü kullanılmıştır. Önerilen tüm sistemin yukarıda anlatıldığı gibi çalıştırabilmesi için Şekil 3.40'da verilen devre şeması oluşturulmuştur. Yapılan bu tez çalışmasında alınan tüm sonuçlar bu devre şeması esas alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.40. Önerilen tüm sistemin devre şeması.

Önerilen tüm sistemde güç kontrolü (power management) yapılarak güç akışının yönünün belirlenebilmesi için S_1 , S_2 , S_3 , S_4 ve S_5 anahtarları kullanılmıştır. Tüm sistem için belirlenen çalışma durumları aşağıda verildiği gibidir;

- | | |
|-----------|--|
| Durum I | FV panellerin hem AA yükü hem de batarya grubunu beslemesi |
| Durum II | FV panellerin sadece batarya grubunu beslemesi |
| Durum III | FV panellerin sadece AA yükü beslemesi |
| Durum IV | FV panellerin ve batarya grubunun AA yükü beslemesi |
| Durum V | Batarya grubunun AA yükü beslemesi |
| Durum VI | S_1 , S_2 , S_3 , S_4 ve S_5 anahtarlarının kesimde olması |

Önerilen tüm sistemde kullanılan FV paneller tüm çalışma durumlarında batarya grubunu ve yükü besleyebilecek şekilde tasarlanmıştır. Durum V, belirlenen diğer beş durumun dışında sistemin kendisini ve kullanıcıları koruyabilmesi için ortaya atılmıştır. Önerilen sistemde oluşabilecek olumsuz durumlarda hem kullanıcılar hem de sistem için meydana gelebilecek tehlikeler ortadan kaldırılmıştır. Böylece sistemin sürekliliği sağlanmıştır.

4. BULGULAR

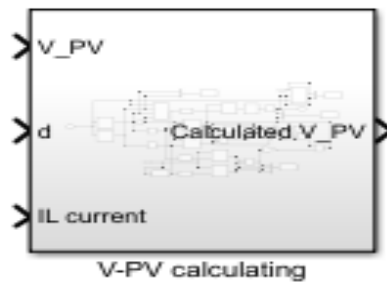
Önerilen tüm sistemin her bir kısmı bağımsız olarak çalıştırılıp istenilen sonuçlar alındıktan sonra tüm sistem için belirlenen çalışma durumlarının hepsi test edilmiştir. Yapılan testlerden alınan sonuçlar ışığında tüm sistem bütün durumlar için çalıştırılmıştır. Benzetim çalışmaları MATLAB/Simulink ortamında yapılmıştır.

4.1. Benzetim Çalışmaları ve Sonuçları

Bu bölümde önerilen kontrol yöntemi ve tüm sistem için benzetim çalışmaları MATLAB/Simulink ortamında yapılmıştır.

4.1.1. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresinde giriş geriliminin örneklenmeden hesaplanması için benzetim çalışması ve sonuçları

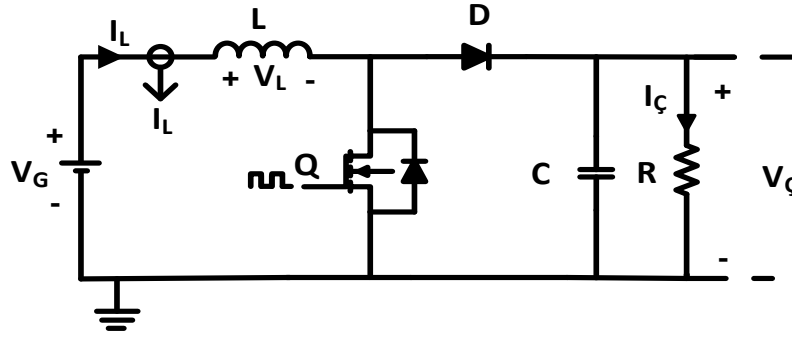
Bölüm 3.4.1’de teorik olarak anlatılan yöntem, sabit bir DA giriş gerilimine sahip klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresinde MATLAB/Simulink ortamında denenmiştir. Bölüm 3.4.1’de iç yapısı verilen giriş geriliminin hesaplandığı yeni blok Şekil 4.1’de verilmiştir. Bu blokta giriş gerilimini hesaplanabilmesi için d ve I_L akımı kullanılmıştır. Aynı zamanda hesaplanan ve ölçülen giriş gerilimlerinin karşılaştırılabilmesi için V_G de bloğun içine konulmuştur (Şekil 3.17).



Şekil 4.1 Giriş geriliminin hesaplandığı yeni blok.

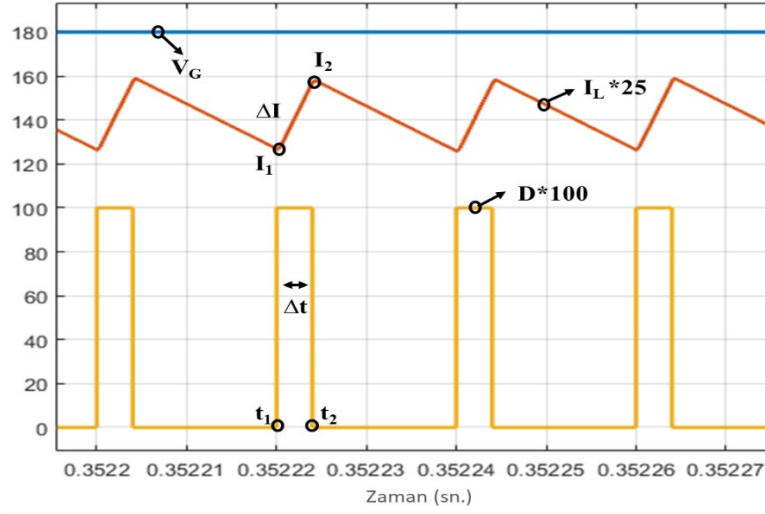
Bu blok sayesinde giriş gerilimi örneklenmeden sadece anahtar iletimde olduğu durumda endüktans üzerinden geçen akım ve anahtarın iletimde olduğu süre ölçüldükten

sonra gerekli işlemler yapılarak teorik olarak hesaplanabilmektedir. Hesaplamanın yapılabilmesi için 180 V DA giriş gerilimine sahip klasik DA/DA yükselten dönüştürücü devresinin Q anahtarı %25 doluluk oranına sahip bir tetik ile ilettime sokulmuştur (Şekil 4.2).



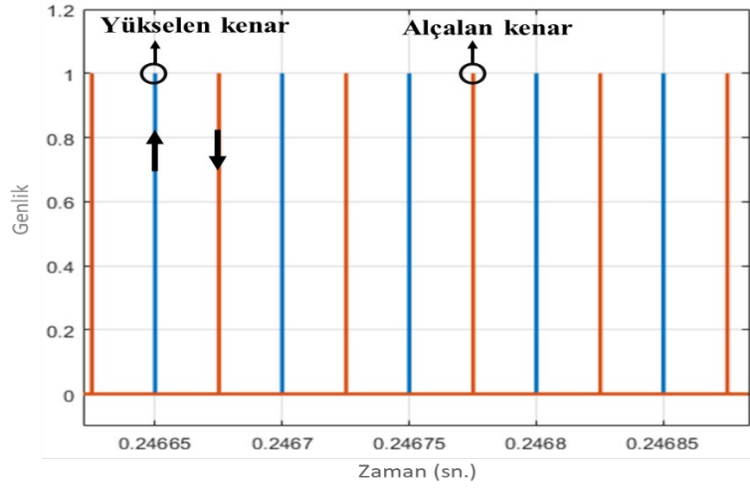
Şekil 4.2. Gerilimin hesaplanabilmesi için eşdeğer test devresi.

Şekil 4.2’de verilen test devresinin giriş gerilimini (V_G) hesaplamak için Eş. 3.50’de verilen denklemin kullanılmıştır. Hesaplamanın yapılabilmesi için benzetimi yapılan devrenin endüktans akımı (I_L) ve görev çarpanının (d) ne kadar süre iletimde olduğu bilinmelidir. Test devresi için V_G , I_L ve d Şekil 4.2’de verilmiştir. Grafikteki verilen iyi okunabilmesi için I_L 25 kat büyütülürken d 100 kat büyütülmüştür. I_L akımı testere dışlı bir sinyale benzemektedir ve akım sürekli olduğu için hiçbir zaman sıfır değerine düşmemektedir. Anahtarın ilettime geçtiği ve kesime geçtiği noktalar belirlenip anahtarın ne kadar süre iletimde kaldığı ve anahtar iletimde olduğu sürece L üzerindeki akım değişimi bu tez çalışmasında tasarlanan MATLAB/Simulink bloğu sayesinde belirlenmiştir. Yukarıda özet halinde anlatılan süreç sonraki sayfalarda detaylı bir şekilde aktarılmıştır.



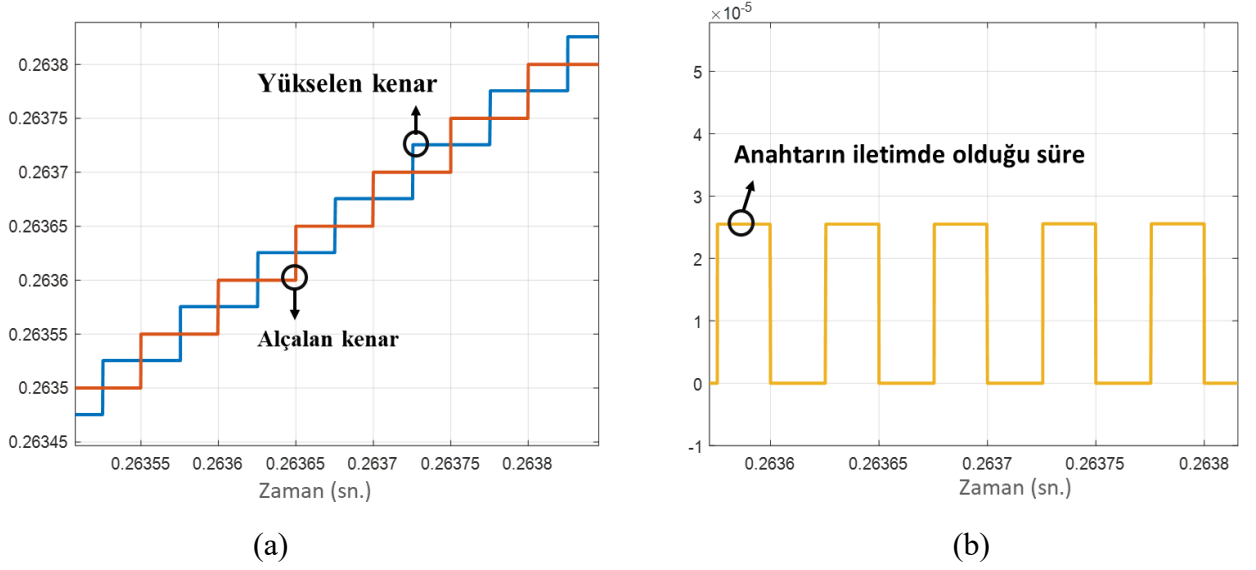
Şekil 4.3. Test devresi için V_G , I_L ve d .

Benzetim ortamında test devresinden alınan bu değerler Şekil 4.1’de verilen blokta işlenip giriş gerilim değeri hesaplanmıştır. d görev çarpanının iletme kesime girdiği noktalar için yükselen ve alçalan kenarları tespit edilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. d görev çarpanının yükselen ve alçalan kenarları.

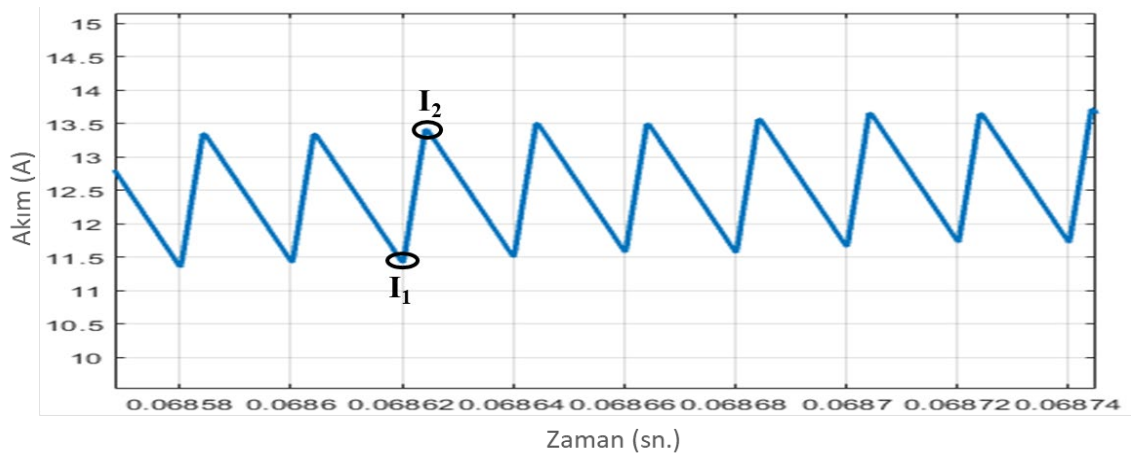
Böylece Şekil 4.5’de gösterildiği üzere d görev çarpanının yarıiletken anahtarlama elemanını iletme soktuğu süre belirlenmiştir.



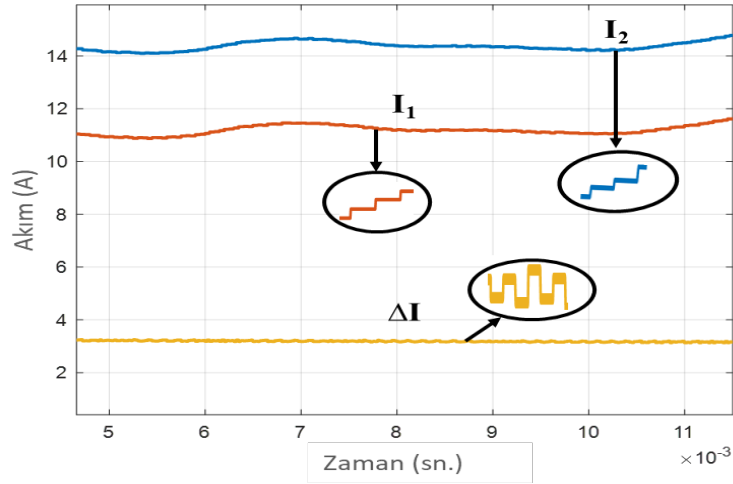
Şekil 4.5. a) Yükselen ve alçalan kenarın zaman aralıkları (b) Anahtarın iletimde olduğu süre.

Şekil 4.5(a)'da alçalan ve yükselen kenarların, örneklenen ve tutulan süreleri gösterilmiştir. Yalnız önerilen sistemde sadece anahtarın iletimde olduğu süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun gerçekleştirilebilmesi için $t_2 \geq t_1$ ($t_{\text{alçalan kenar}} \geq t_{\text{yükselen kenar}}$) olma şartı eklenerek Şekil 4.5(b)'de de gösterildiği gibi anahtarın iletimde olduğu süre hesaplanabilmektedir.

Giriş geriliminin hesaplanabilmesi için anahtar iletimde iken endüktansın üzerindeki akımın (I_L) da bilinmesi gerekmektedir. I_L Şekil 4.6'da verilmiştir.



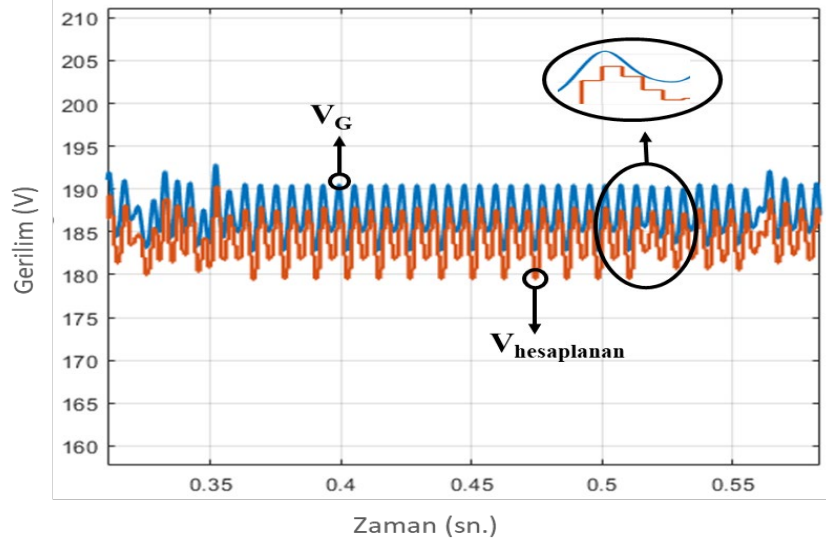
Şekil 4.6. Endüktans akımı (I_L).



Şekil 4.7. I_2 , I_1 ve ΔI akımları.

Alçalan kenara denk gelen akım değeri (I_2) ve yükselen kenara denk gelen akım değeri (I_1) farkı alınarak anahtar iletimde iken endüktans üzerindeki akım değişimini (ΔI) belirlenmiştir (Şekil 4.7).

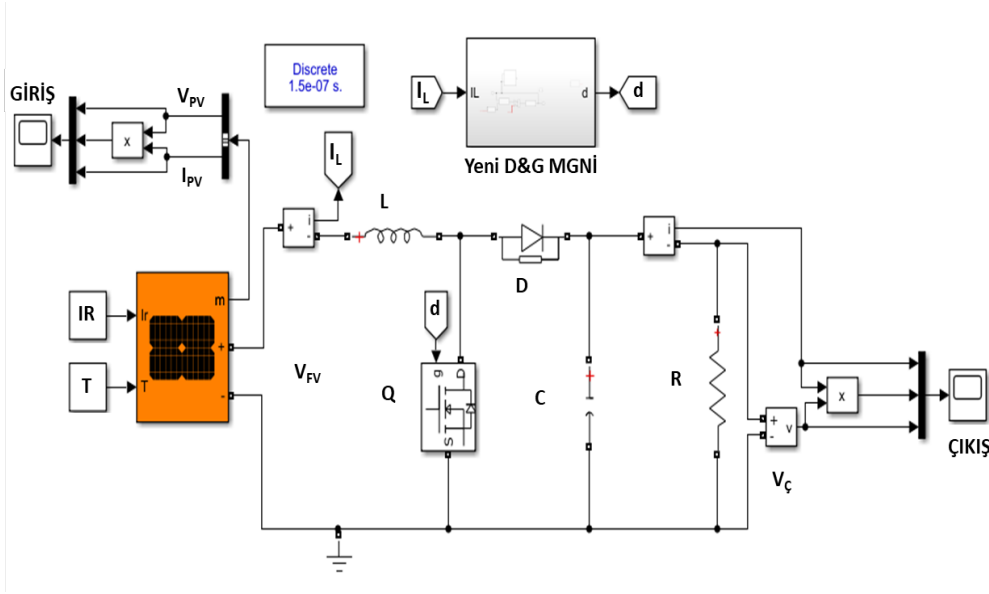
Anahtarın iletimde olduğu süre ve bu süre boyunca endüktans üzerindeki akım değişimi hesaplandıktan sonra giriş gerilimin hesaplanabilmesi için Eş. 3.50 kullanılmıştır. Eldeki veriler kullanılarak hesaplanan giriş gerilimi sadece anahtar iletimde iken endüktans üzerinde ölçülen gerilim değeridir. Anahtar kesime geçtiği için giriş gerilimi değişmemektedir. Bu durumda anahtar kesimde olsa bile hesaplanan giriş gerilim değerinin gözlemlenebilmesi gerekmektedir. Hazırlanan yeni MATLAB/Simulink bloğunun içinde yapılan ayarlama ile Q anahtarının iletimde ya da kesimde olmasına bakılmaksızın giriş gerilimi hesaplanabilmiştir. Bir döngü boyunca anahtarın iletimde olduğu sürede hesaplanan gerilim değeri çıkışa aktarılmıştır. Bu durum bir sonraki döngüde anahtar iletime girinceye kadar devam etmiştir.



Şekil 4.8. Giriş gerilimi (V_G), hesaplanan giriş gerilimi ($V_{hesaplanan}$).

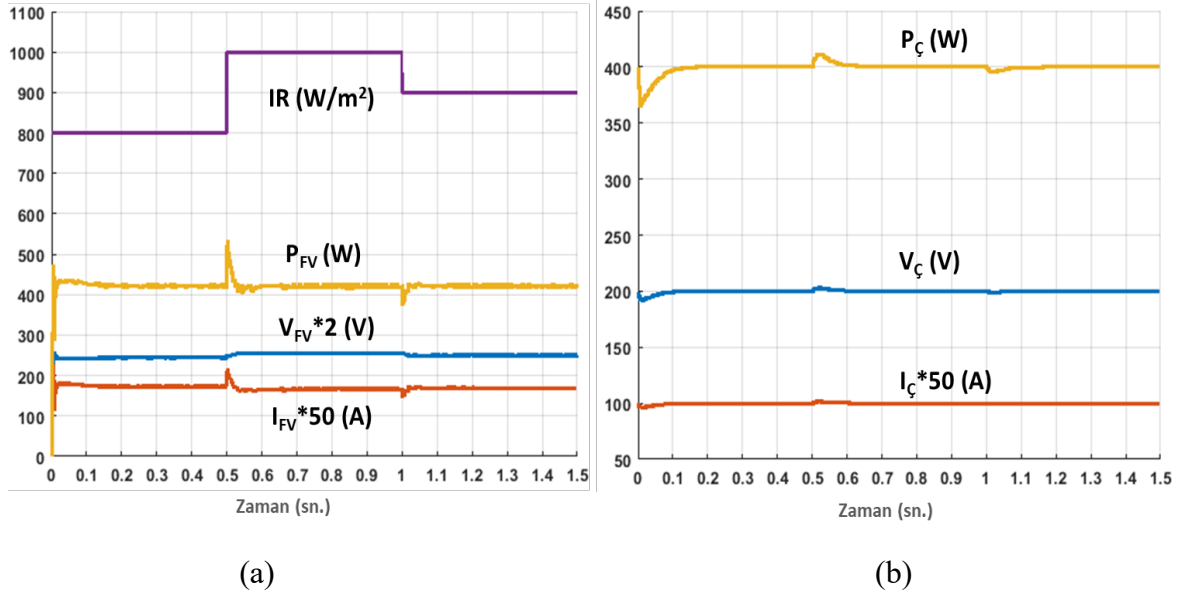
4.1.2. Önerilen MGNİ kontrol yönteminin şebekeden bağımsız bir FV sistem için benzetim çalışması ve sonuçları

Önerilen yöntemin uygulanabilirliği bir önceki bölümde yapılan benzetim çalışmasıyla gösterilmiştir. Örneklenmeden hesaplanan gerilimin kullanıldığı yeni MGNİ yönteminin olabilirliği bu bölümde incelenmiştir. Klasik DA/DA yükselten dönüştürücü devresinde, 25 °C ortam sıcaklığında ve 800, 1000, 900 W/m² (IR) ışınım altında 400 W'lık güce sahip çıkış yükünün, FV panel serisi tarafından beslendiği bir sistem tasarlanmıştır. Önerilen bu sistemin çıkışında istenilen değerin alınabilmesi ve FV panel serisinin MGN'nda çalıştırılabilmesi için Şekil 3.18'de verilen algoritmaya sahip yeni D&G MGNİ kontrol yöntemi kullanılmıştır. Önerilen sistemin benzetimi için kurulan devre Şekil 4.9'da verilmiştir.



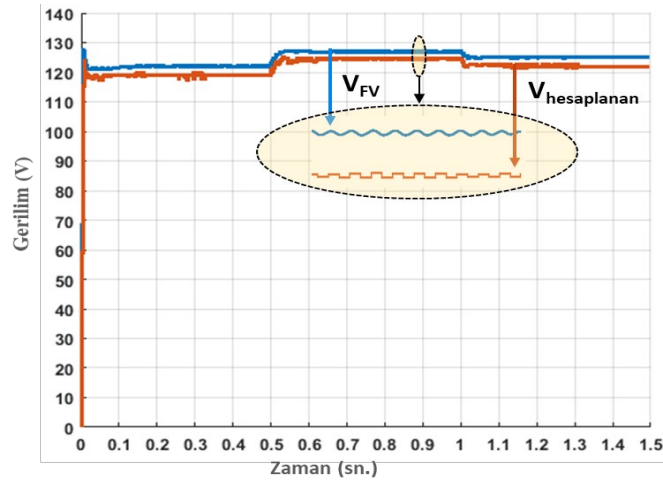
Şekil 4.9. Önerilen sistemin benzetim devresi.

Şekil 4.9’da gösterildiği gibi yeni D&G MGNİ kontrolcüsüne sadece endüktans akımı değeri girilmiştir. Bu akım değerinden gerilim değeri hesaplanmıştır. Ölçülen endüktans akımı ve hesaplanan giriş gerilimi ile sistem MGN’ nda çalıştırılmıştır. Yeni D&G MGNİ kontrol yöntemi, gerilim örneklemeden işlem yapabilen yeni D&G MGNİ ve bu MGNİ yöntem tarafından üretilen referans gerilimin işleyen PI kontrolcüden oluşmaktadır. Bu yöntem sayesinde önerilen şebeken bağımsız FV sistem belirlenen tüm durumlarda FV panelleri MGN’sında çalıştırırken çıkış gerilimini de istenilen değerde sabit tutulmuştur. Şekil 4.10’ da görüleceği üzere 400 W’lık yükün beslendiği sistemde tüm ışınımlarda maksimum güç noktaları belirlenip takip edilmiştir. Çıkış gerilimi, değişen ışınım değerleriyle değişmemiştir. Değişen ışınımlarla giriş akımı ve gerilimi değişmiştir. Çıkış gerilim ise kullanılan PI kontrolcü sayesinde istenilen değerde neredeyse sabit kalmıştır. MGNİ kontrol yöntemlerinin uygulandığı FV sistemlerde yükün talep ettiği oranda güç yüke aktarılmıştır.



Şekil 4.10. a) IR , I_{FV} , V_{FV} ve P_{FV} , b) $I_{\check{C}}$, $V_{\check{C}}$ ve $P_{\check{C}}$.

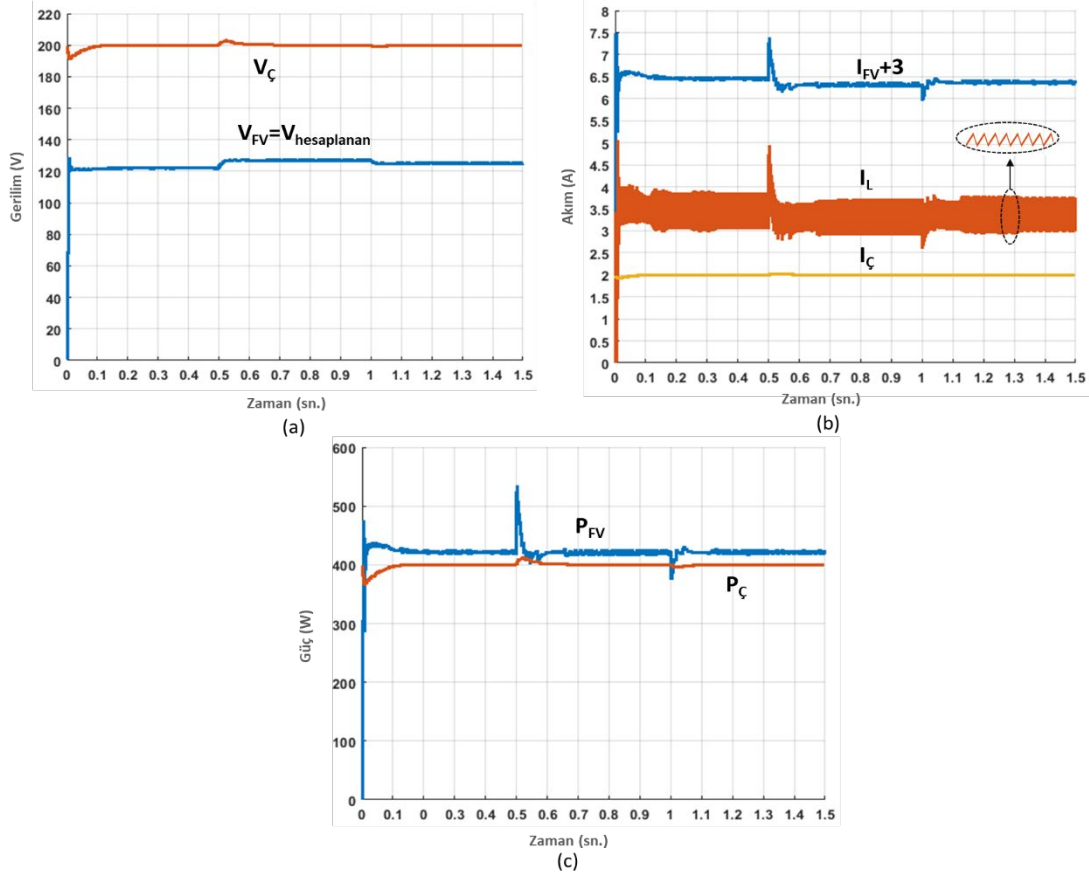
Önerilen FV sistemin ölçülen ve hesaplanan giriş gerilimi değerleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Ölçülen giriş gerilimi doğası gereği analog bir karakteristiğe sahiptir. Hesaplanan giriş gerilimi ise yapılan dijital ve matematiksel hesaplamalardan dolayı dijital karakteristiğe sahiptir. Ölçülen giriş geriliminden dolayı oluşan akımdan hesaplandığı için orijinal giriş gerilimiyle senkron değildir ve değeri yaklaşık olarak giriş gerilime %1-%3 oranında farkla eşittir.



Şekil 4.11. Ölçülen (V_{FV}) ve hesaplanan ($V_{hesaplanan}$) gerilimleri.

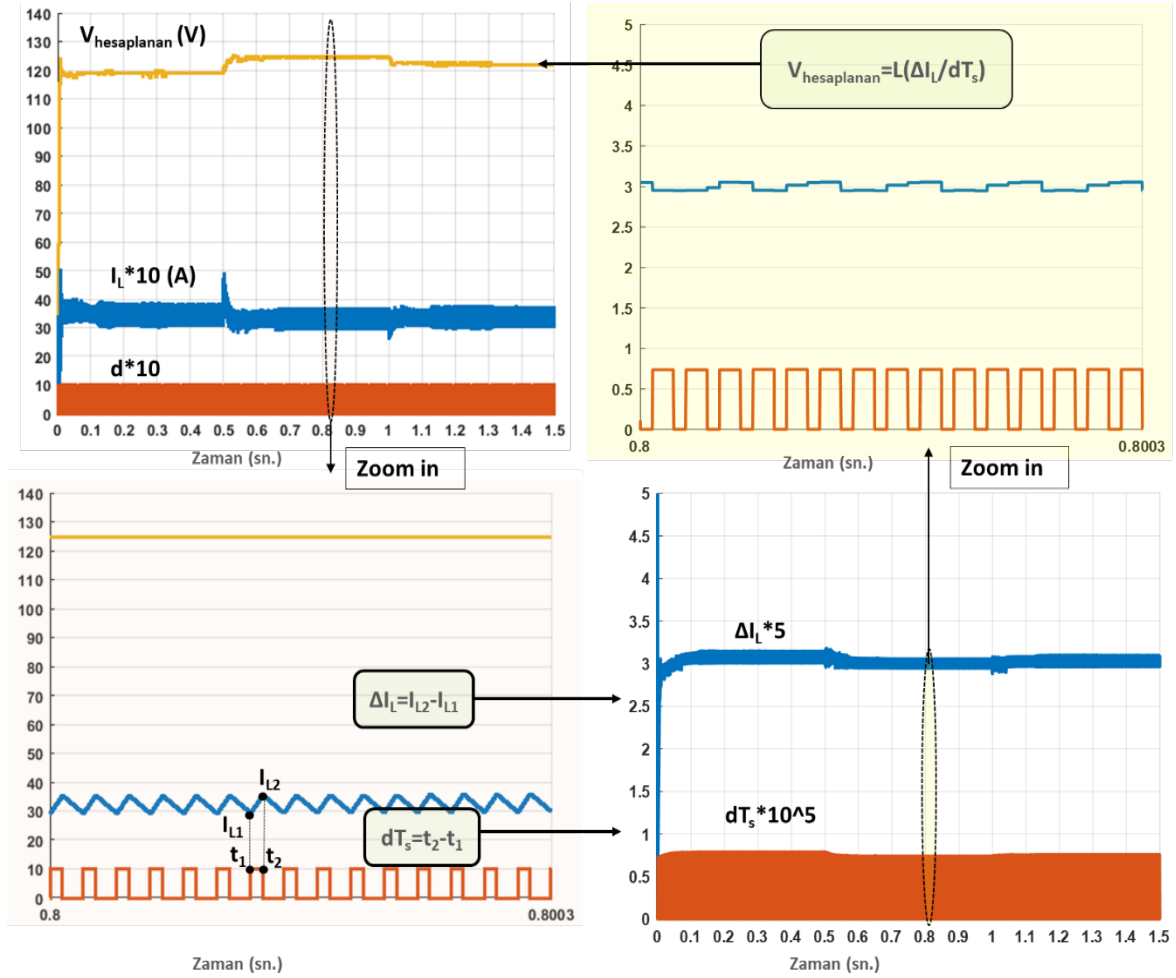
Önerilen sistemin giriş ($V_{hesaplanan}$) ve çıkış (V_o) gerilimleri; FV panel (I_{FV}), endüktans (I_L) ve çıkış (I_o) akımları; FV panelin (P_{FV}) ve çıkış (P_o) güçleri Şekil 4.12’de

verilmiştir. Bu şekillerden anlaşılacağı üzere doğası gereği doğrusal olmayan V_{FV} ve I_{FV} hem önerilen yöntem hem de önerilen DA/DA yükselten dönüştürücü sayesinde çıkışta doğrusal hale getirilmiştir. Düşük değere sahip V_{FV} önerilen DA/DA yükselten dönüştürücü sayesinde istenilen çıkış değerine yükseltilmiştir. Önerilen dönüştürücü %92'nin üzerinde bir verimle çalışmıştır.



Şekil 4. 12. (a) V_c - $V_{hesaplanan}$ (b) I_{FV} - I_L - I_c and (c) P_{FV} - P_c

Önerilen bu yöntem klasik D&G MGNİ kontrol yöntemine uygulanarak yeni bir D&G MGNİ yöntemi geliştirilmiştir. Önerilen bu yöntem Bölüm 3.4.1' de teorik ve görsel olarak detaylı bir şekilde aktarılmıştır. Bu yöntem kullanılarak geliştirilen D&G MGNİ yöntemi de Bölüm 3.4.2'de aktarılmıştır. Daha sonra bu yöntem sabit DA giriş gerilimine sahip bir klasik yükselten DA/DA dönüştürücü için benzetim ortamında test edilmiştir. Bu bölümde ise bu tez çalışmasının temeli olan yaklaşım, şebekeden bağımsız bir FV sistem için test edilmiştir. Bu test sonucunda elde edilen hesaplama sürecinin benzetim sonucu Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.13. FV sistem için giriş geriliminin hesaplanma süreci için benzetim sonucu.

Önerilen yöntem sürekli iletim modunda çalıştırıldığı durumlarda ışıınım değişiminden etkilenmeden doğru bir şekilde sonuç vermiştir. FV panel üzerine ışıınım düştüğü ve yük bağlı olduğu her durumda akım üretebilmektedir. Bundan dolayı önerilen hesaplama yöntemi akımın sürekli olduğu ve sürekli olmadığı her iki durumu için de doğru sonuç vermiştir. Ayrıca Bölüm 3.1’de yapılan analizlerden de anlaşıldığı üzere giriş geriliminin hesaplanabilmesi için tasarlanan MATLAB/Simulink bloğu ile klasik yükselten DA/DA dönüştürücünün hem CCM hem de DCM için çalıştırıldığı durumlarda giriş gerilimi hesaplanabilmektedir.

4.1.3. Tam köprü DA/AA evirici için benzetim çalışması ve sonuçları

Sabit bir DA gerilim kaynağına sahip klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresinin giriş gerilim değeri önerilen yöntem ile hesaplanmıştır. Daha sonra bu yöntem girişinde FV panel olan aynı sistemin kontrolü için kullanılmıştır. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresinin çıkış gerilimi DA/AA evirici kullanılarak istenilen AA formundaki elektrik enerjisine dönüştürülmüştür. Ancak bu dönüştürme işlemi gerçekleştirilmeden önce önerilen eviricinin uygun kontrol yöntemi ile MATLAB/Simulink ortamında değişken giriş ve çıkış değerleri için benzetimi yapılmıştır.

Tam köprü DA/AA evirici ve filtre tasarımı sırasıyla Bölüm 3.5 ve Bölüm 3.6'da yapılmıştır. Önerilen evirici ile ilgili benzetim çalışmaları bu bölümde detaylı bir şekilde yapılmıştır. PI kontrolcüyle hakkında Bölüm 3.7.2'de detaylı bilgiler verilmiş olduğu için bu bölümde irdelenmemiştir. PI kontrolcünün uygun şekilde ayarlanabilmesi için (Ziegler ve Nichols, 1942) verilen yöntem kullanılmıştır. PI kontrolcünün oransal (K_p) ve integral (K_i) katsayıları, Ziegler ve Nichols yöntemi kullanılarak elde edilen Çizelge 4.1 sayesinde hesaplanmıştır (Hauge ve Lie, 2013). K_u ve T_u sırasıyla ana (ultimate) kazancı ve periyodu ifade etmektedir. Çizelge 4.1 kullanılarak PI kontrolcünün parametreleri belirlenmiştir. Önerilen PI kontrolcü için belirlenen değerler Çizelge 4.2' de verilmiştir. Benzetim için önerilen PI bloğu Şekil 4.14'da verilmiştir.

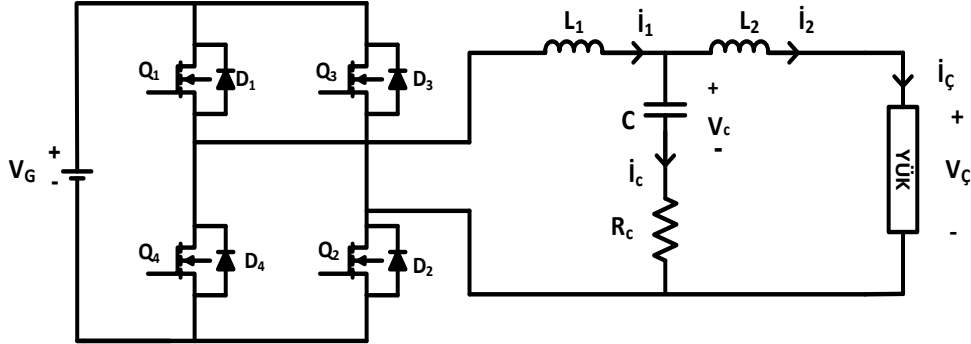
Çizelge 4.1. PI kontrolcü için Ziegler ve Nichols yöntemi ile elde edilen değerler

Tipi	K_p	K_i	K_d
P	$0.5K_u$		
PI	$0.45K_u$	$0.54K_u/T_u$	
PID	$0.6K_u$	$1.2K_u/T_u$	$0.6K_uT_u/8$

Çizelge 4.2. Önerilen PI kontrolcü için K_p ve K_i değerleri

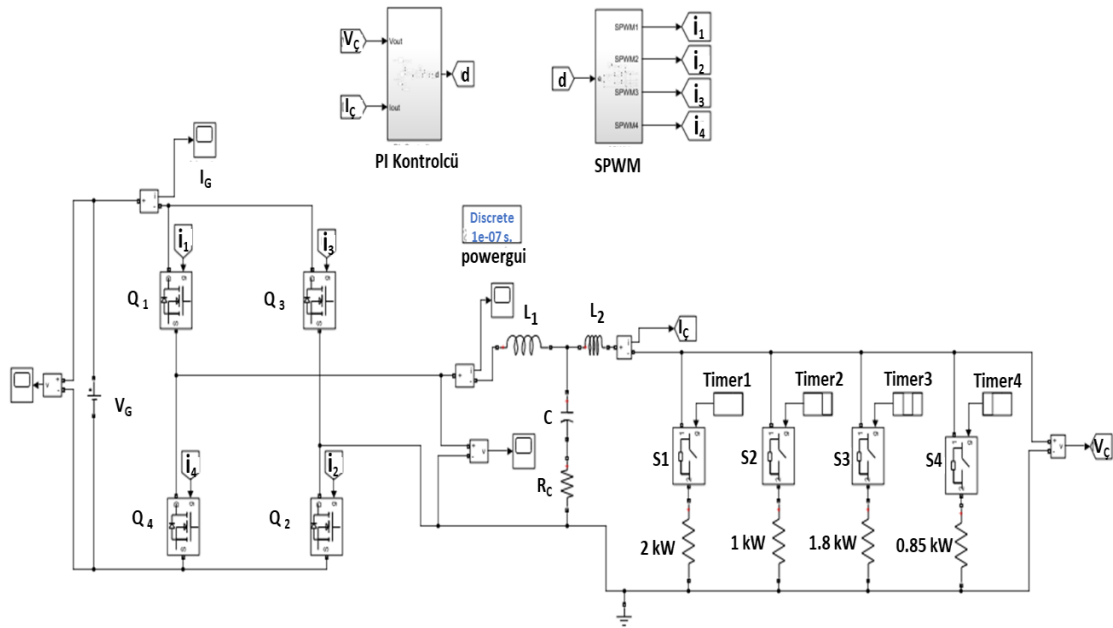
Katsayılar	Değerler
Oransal (K_p)	0.5
Integral (K_i)	100

gerilim ve istenilen AA gerilim değerlerinin birbirine olabildiğince eşit olması ve THB'lerinin de istenilen seviyede olması gerekmektedir.

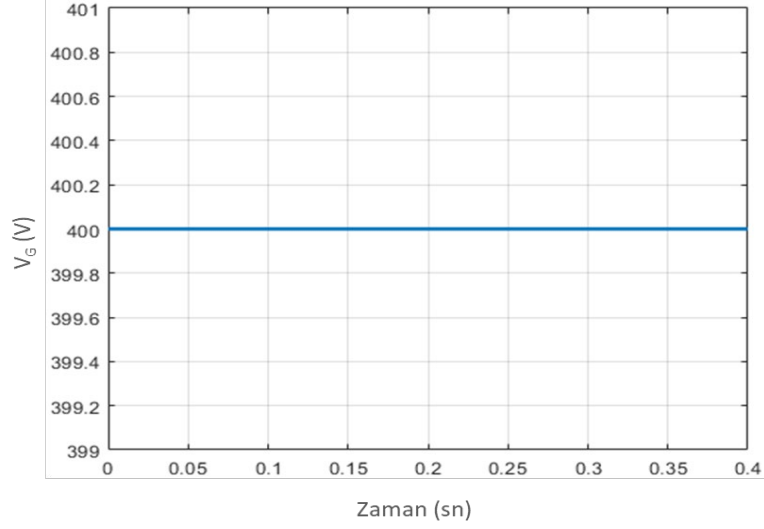


Şekil 4.16. Önerilen eviricinin devre şeması.

Bu durumun test edilebilmesi için önerilen evirici için kullanılan kontrolcü ve tasarlanan filtre, farklı yükler altındayken benzetim çalışmaları yapılmıştır (Şekil 4.17). Tasarlanan filtre için parametre değerleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

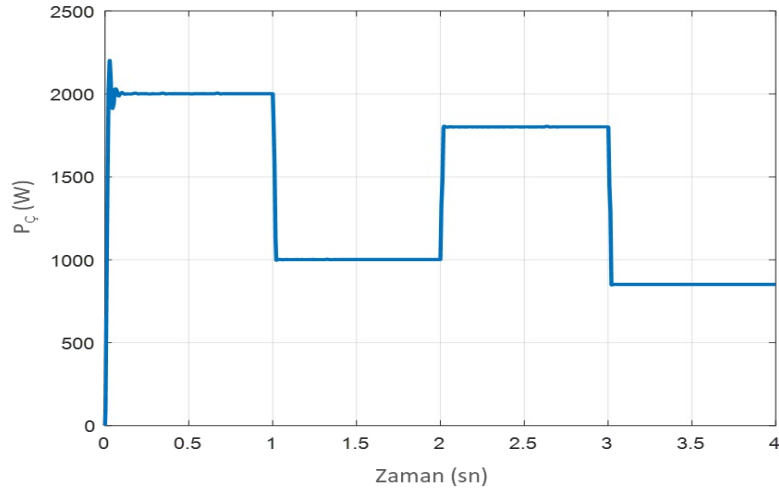


Şekil 4.17. Farklı yükler için önerilen evirici ve kontrol yöntemi benzetim modeli.



Şekil 4.18. Önerilen eviricinin giriş gerilimi (V_G).

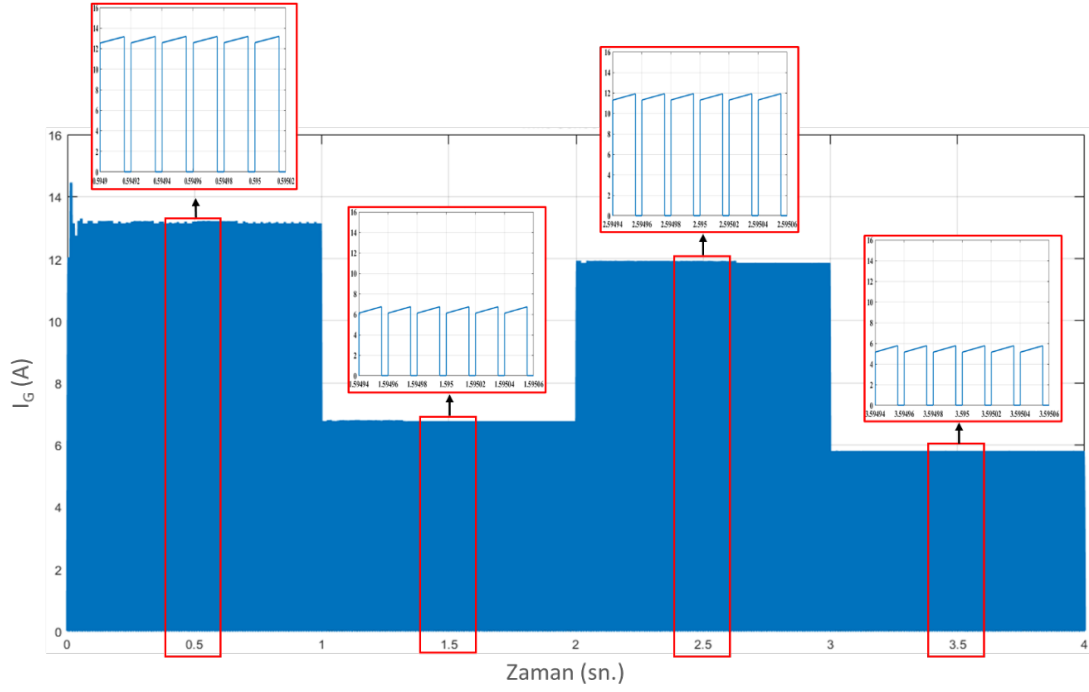
Giriş gerilimi sabit 400 V DA olduğu durumda (Şekil 4.18) çıkış yükleri Şekil 4.19’da verildiği gibi sırasıyla 2 kW, 1 kW; 1.8 kW ve 0.85 kW olacak değiştirilmiştir.



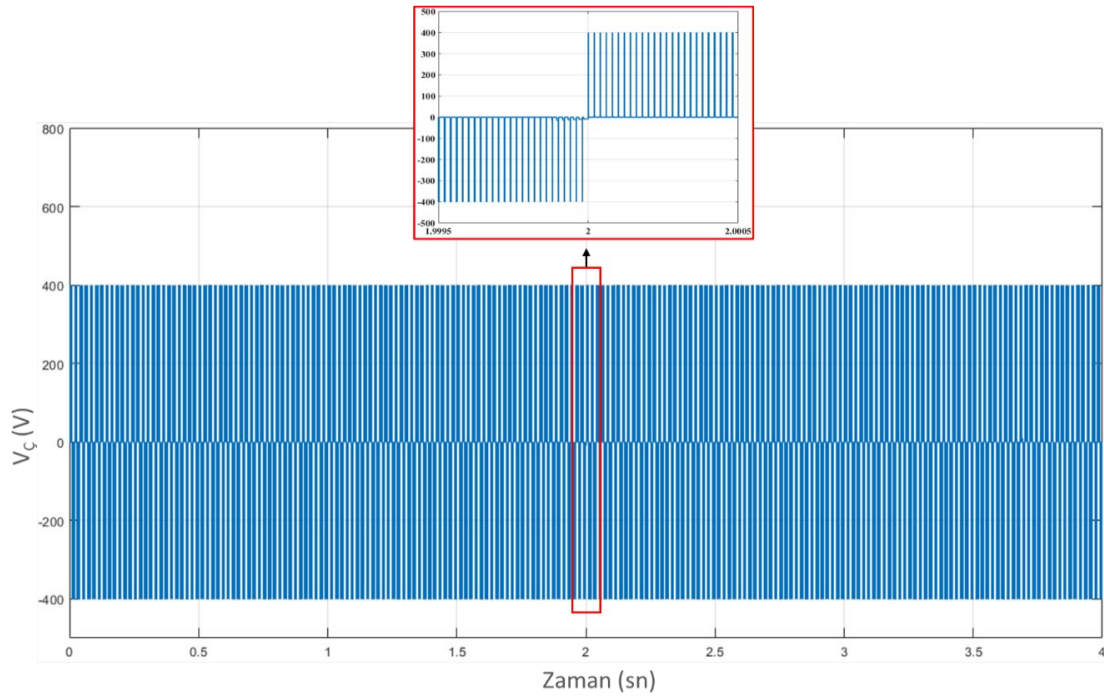
Şekil 4.19. Önerilen evirici için farklı çıkış yükleri.

Bu yükler için verilen giriş gerilimi sabit bir DA kaynak olduğundan dolayı yükler değişiminde giriş akımı (I_G) değişiklik göstermiştir (Şekil 4.20). Verilen sabit giriş için filtrelenmemiş çıkış gerilim Şekil 4.21’de verilmiştir. Şekil 4.21’de görüldüğü üzere eviricideki anahtarlama elemanlarının doğru şekilde anahtarlanması sayesinde filtrelenmemiş çıkış gerilimi kare dalga şeklinde elde edilmiştir. Şekil 4.21’de verilen

çıkış geriliminin yük için AA formundaki gerilime dönüştürülebilmesi için belirlenen uygun filtrenin kullanılması gerekmektedir.

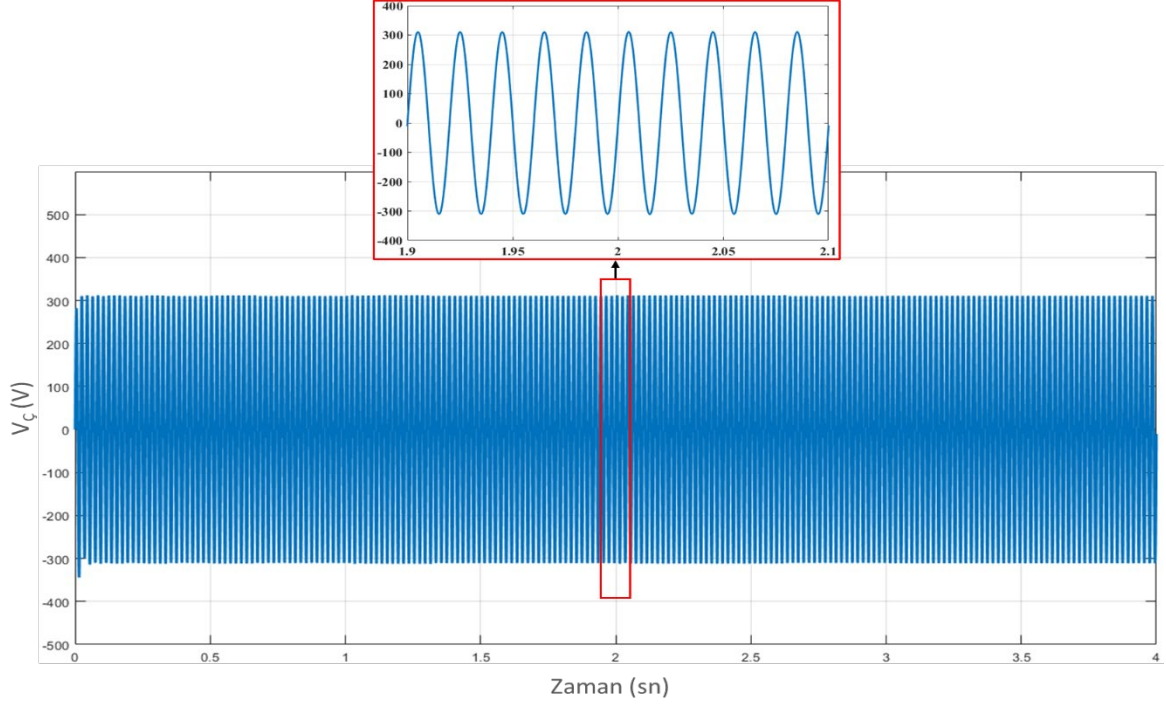


Şekil 4.20. Önerilen eviricinin farklı yükler için giriş akımı (I_G).

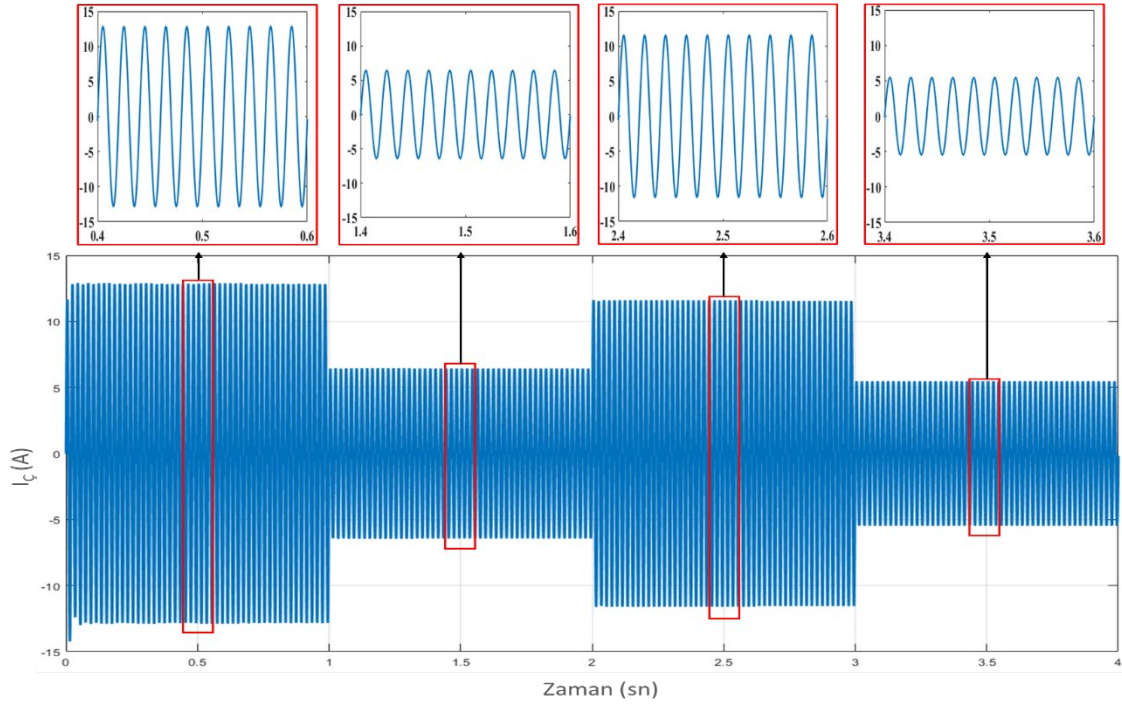


Şekil 4.21. Önerilen eviricinin farklı yükler için filtrelenmemiş çıkış gerilimi.

Bu çalışmada LCL tipi pasif filtre kullanılmıştır. Filtrelenmiş çıkış gerilimi ve akımı sırasıyla Şekil 4. 22 ve Şekil 4.23’de verilmiştir.

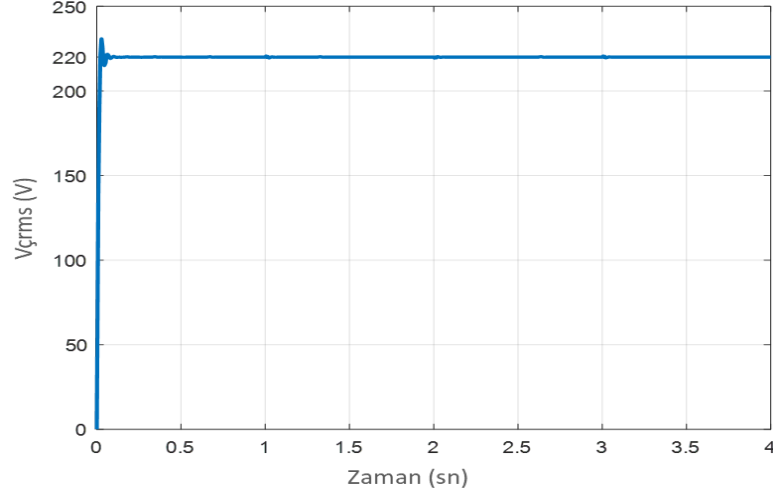


Şekil 4.22. Önerilen eviricinin farklı yükler için filtrelenmiş çıkış gerilimi (V_c).



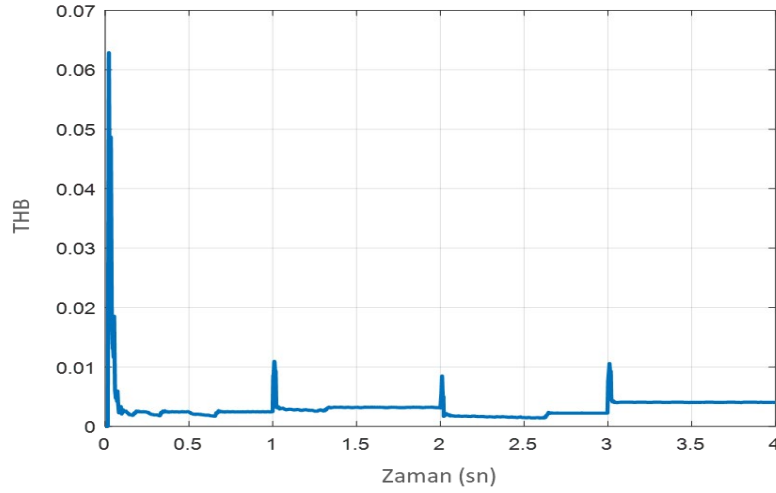
Şekil 4. 23. Önerilen eviricinin farklı yükler için filtrelenmiş çıkış akımı (I_c).

Şekil 4.24’de görüleceği üzere kontrolcü sayesinde çıkış geriliminin etkin değeri değişken yüklerle rağmen neredeyse sabit kalmıştır.



Şekil 4.24. Önerilen eviricinin farklı yükler için çıkış geriliminin etkin değeri.

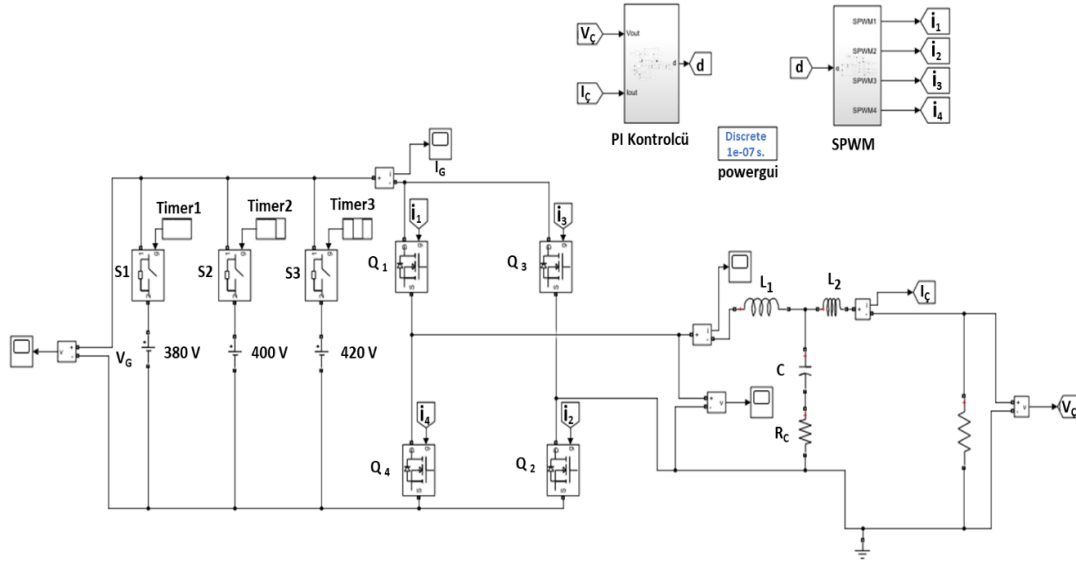
Önerilen eviricinin benzetim çalışmalarında değişken yükler için elde edilen THB değeri Şekil 4.25’de verilmiştir. Bu değer IEEE THB için belirlediği sınır değerlerden daha küçüktür.



Şekil 4.25. Önerilen eviricinin farklı yükler için çıkış geriliminin THB.

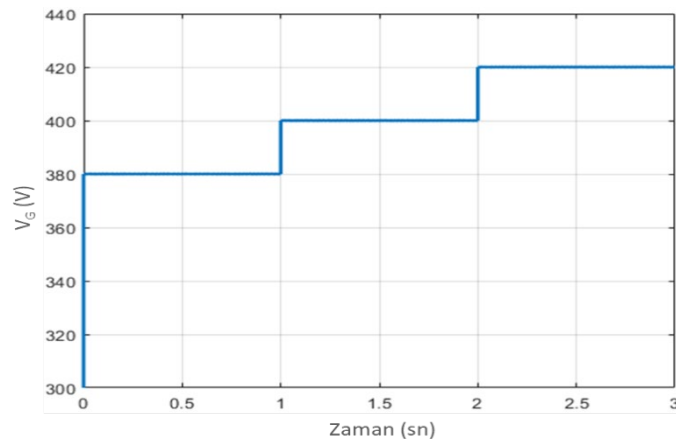
Evirici için önerilen kontrol yöntemi ve tasarlanan LCL tipi pasif filtre sabit giriş gerilimde değişken yükler altında çalıştığı durumun benzetim çalışmasında elde edilen sonuçlar yukarıda detaylı bir şekilde verilmiştir

Aynı sistem farklı girişleri uygulandığında sabit bir yük için istenilen değerleri verip verilmeyeceğinin test edilebilmesi için Şekil 4.26’da verilen benzetim modeli oluşturulmuş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

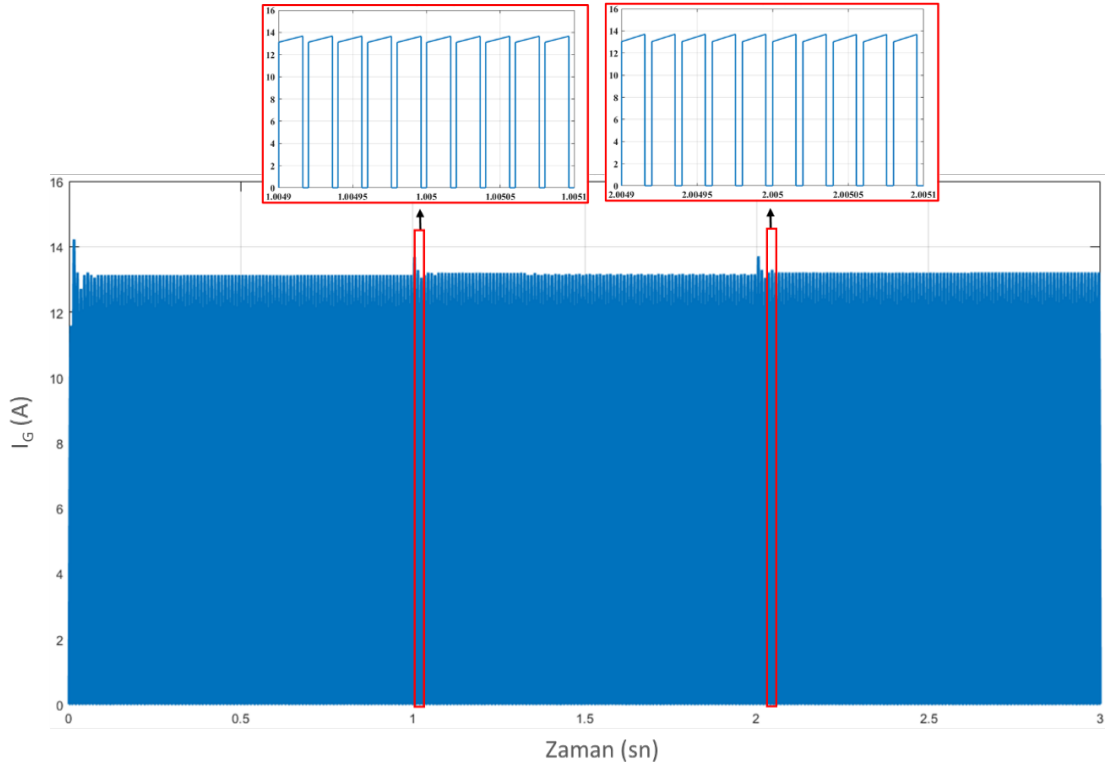


Şekil 4.26. Farklı giriş gerilim için önerilen evirici ve kontrol yöntemi benzetim modeli.

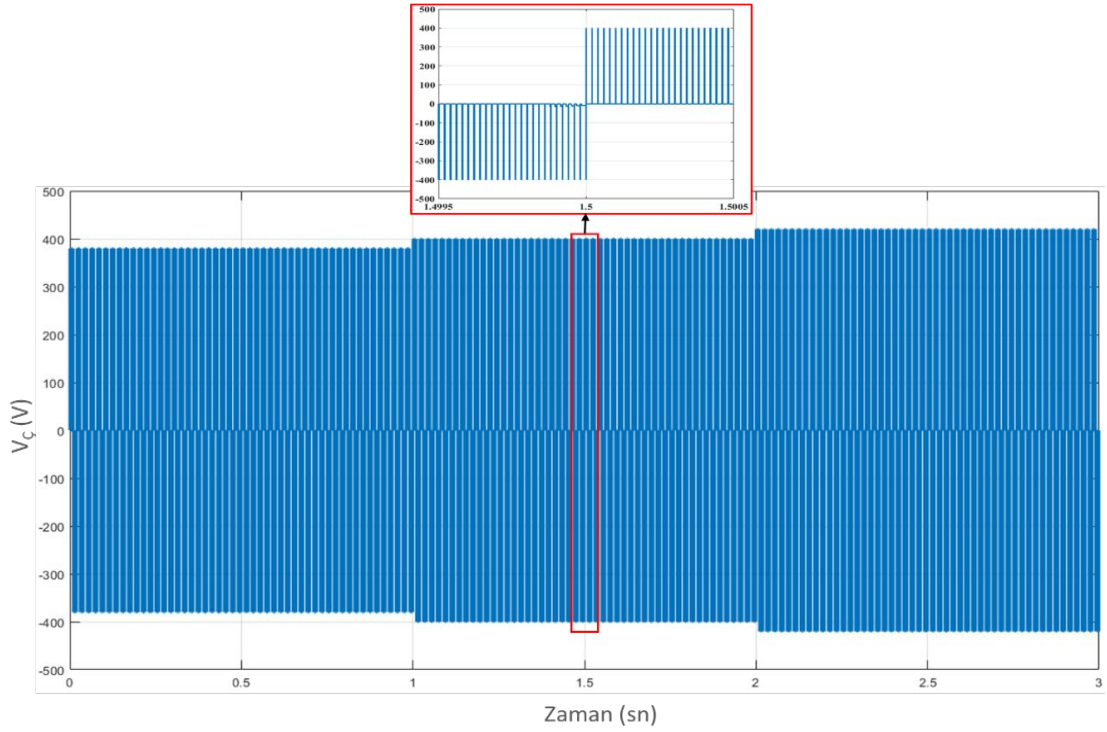
Önerilen eviricinin girişine sırasıyla 380 V, 400 V ve 420 V DA gerilim uygulanmıştır (Şekil 4.27). Bu gerilim değerleri için sabit yükü besleyen giriş akımı Şekil 4.28’ de verilmiştir. Şekil 4.28’de görüleceği üzere çıkış gücü sabit olduğu için değişen giriş gerilim değeri ile giriş gerilimi değişmiştir.



Şekil 4.27. Önerilen evirici için farklı giriş gerilim (V_G) değerleri.

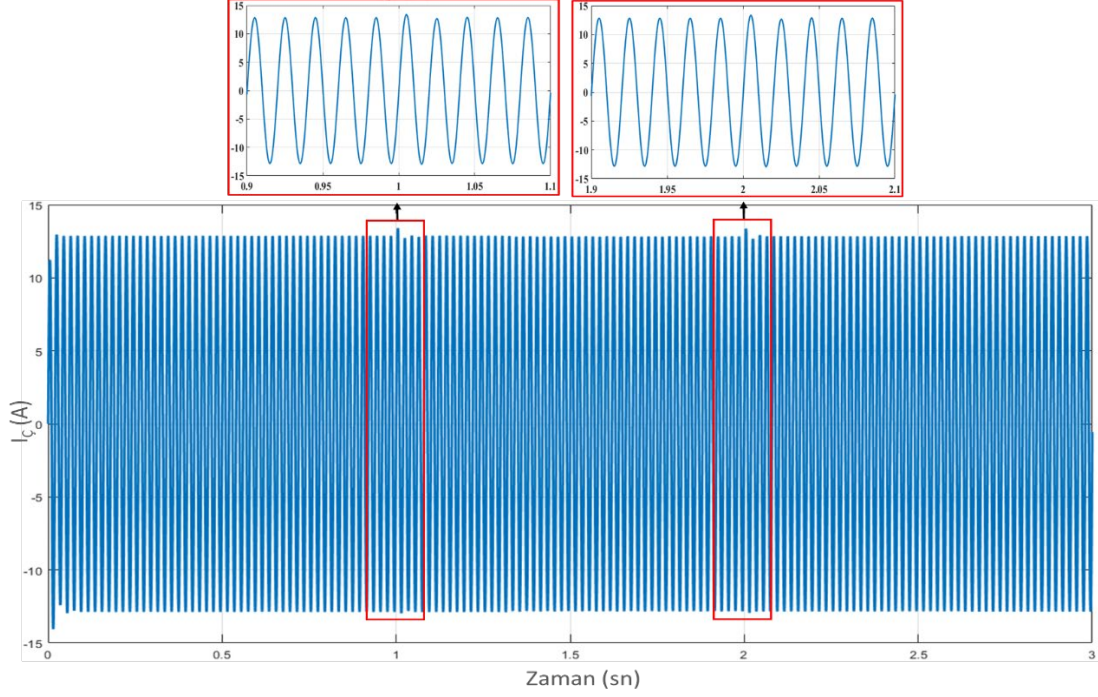


Şekil 4.28. Önerilen evirici için farklı giriş akım (I_G) değerleri.

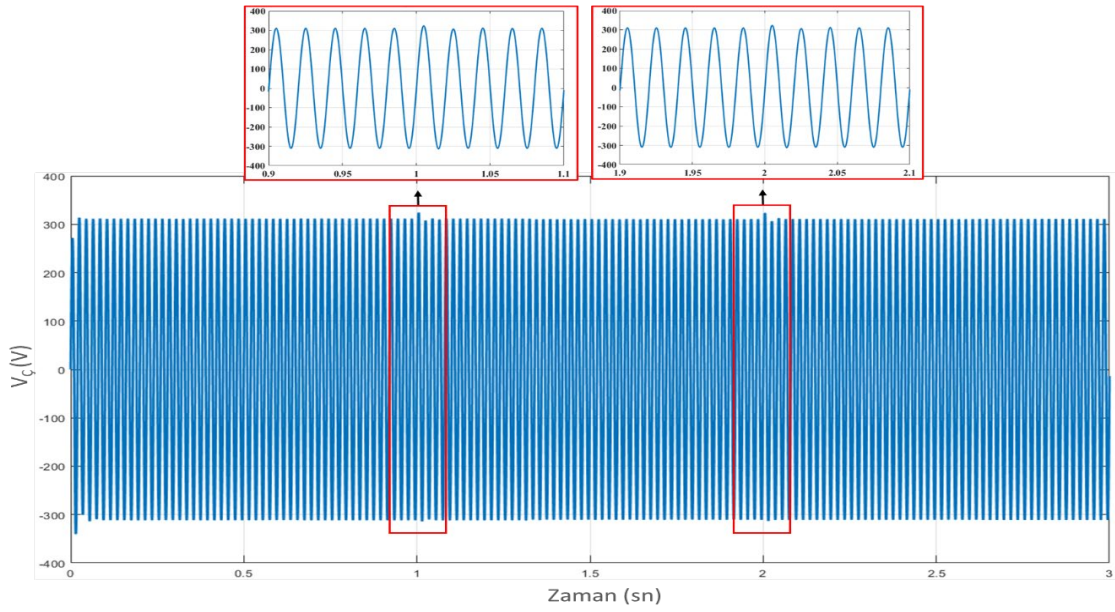


Şekil 4.29. Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için filtrelenmemiş çıkış gerilimi.

Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için filtrelenmemiş çıkış gerilimleri Şekil 4.29’ da verilmiştir. Tasarlanan LCL tipi pasif filtrenin uygulanmasıyla elde edilen çıkış akımı ve gerilimi sırasıyla Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’ de verilmiştir.

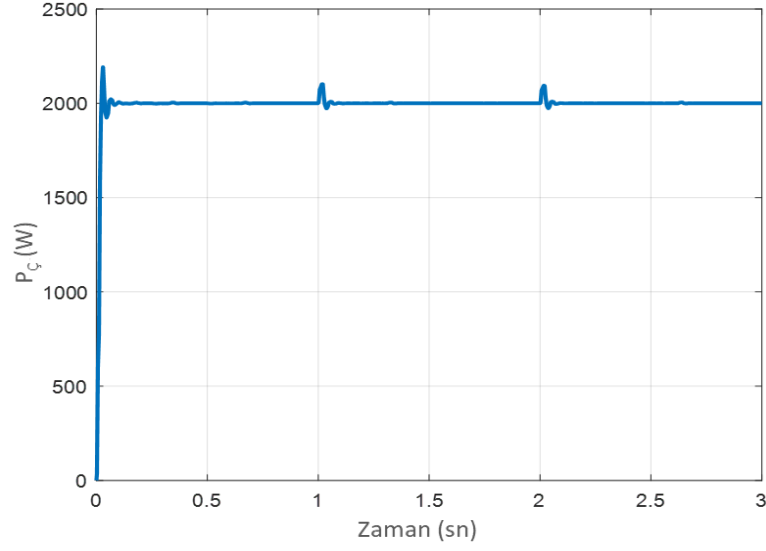


Şekil 4.30. Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için çıkış akımı (I_c).



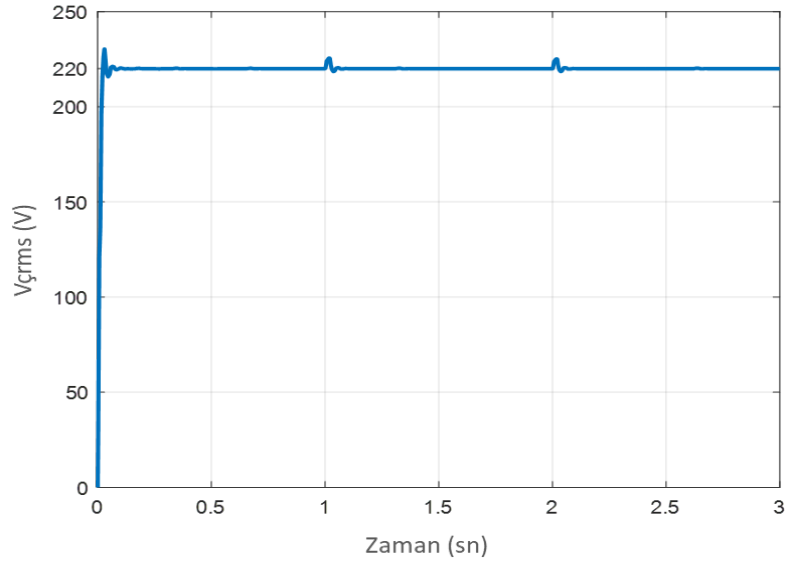
Şekil 4.31. Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için filtrelenmiş çıkış gerilimi (V_c).

Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için çıkış gücü (P_O) Şekil 4.32’de verilmiştir.

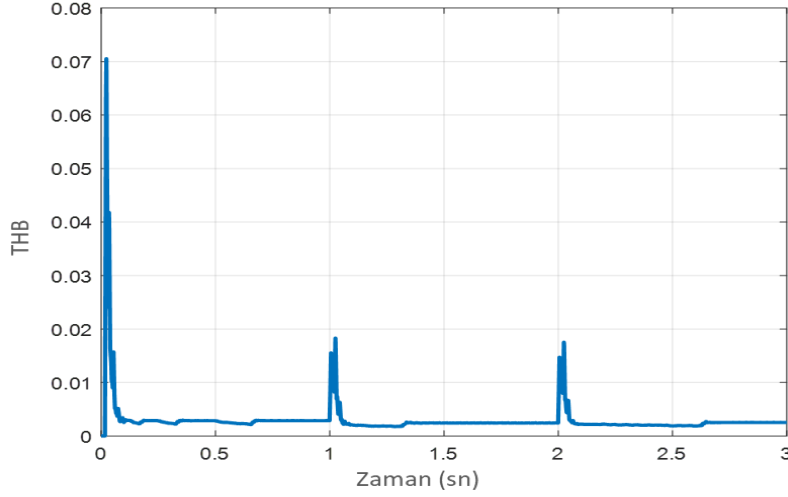


Şekil 4.32. Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için çıkış gücü (P_O).

Çıkış gerilimini etkin değeri ve THB sırasıyla Şekil 4.33 ve Şekil 4.34’de verilmiştir.



Şekil 4.33. Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için çıkış geriliminin etkin değeri.



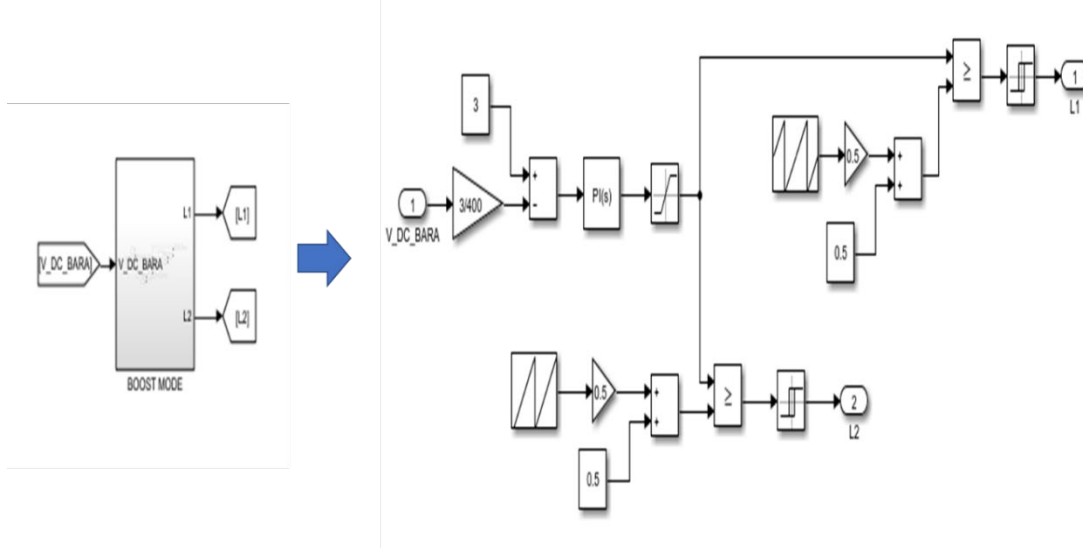
Şekil 4.34. Önerilen eviricinin farklı giriş gerilim değerleri için çıkış geriliminin THB’si.

4.1.4. İzole tam köprü çift yönlü (Bidirectional) DA/DA dönüştürücü için benzetim çalışması ve sonuçları

İzoleli tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücü hem yükseltici hem de düşürücü olarak çalıştırılmıştır. Her iki durumda da istenilen çıkış değerlerinin alınabilmesi için sistemin çıkış değeri ile belirlenen referans değeri birbiriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu ortaya çıkan hata değeri, Bölüm 3.7.2’de detaylı olarak anlatılan PI kontrolcüsünde işlenerek elde edilen sinyal DGM kullanılarak kontrol sinyaline dönüştürülmüştür. Önerilen dönüştürücü yükseltici durumunda çalıştırıldığında kullanılan PI kontrolcünün oransal (P) denetleyicinin katsayısı K_p ve integral alıcının katsayısı olan K_i değerleri Ziegler-Nichols yöntemi kullanılarak ayarlanmıştır. Bu değerler Çizelge 4.3’de gösterilmiştir. Çizelge 4.3’de verilen değerlere sahip yükseltici durum için kullanılan PI bloğu Şekil 4.35’ de verilmiştir.

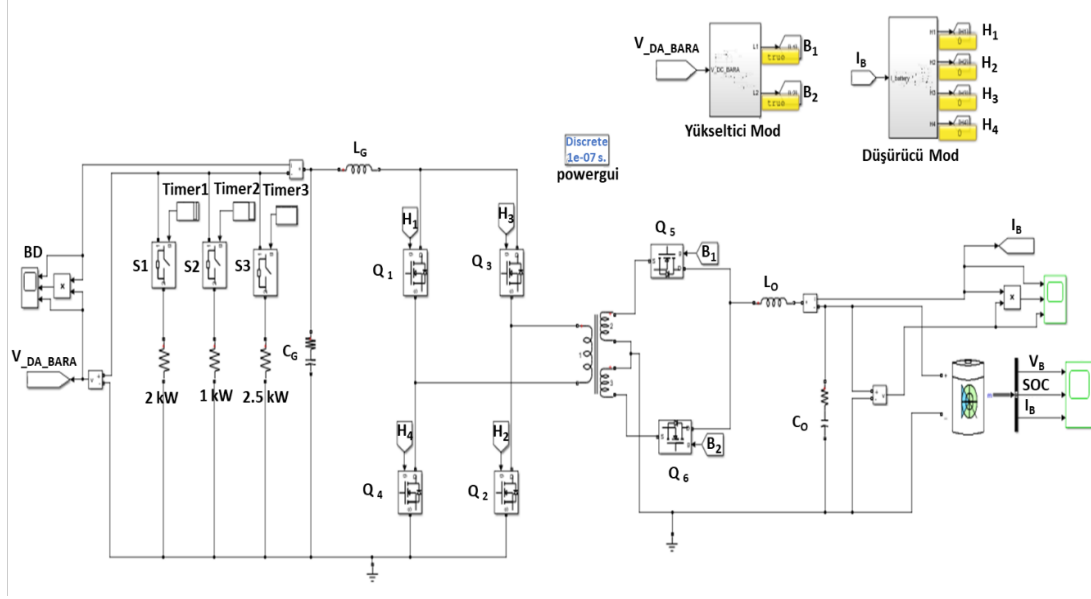
Çizelge 4.3. Yükseltici durum için K_p ve K_i değerleri.

Katsayılar	Değerler
Oransal (K_p)	0.001
Integral (K_i)	0.9

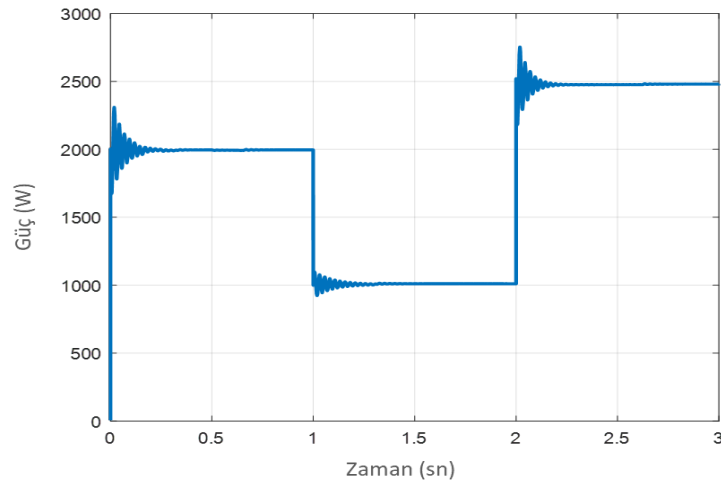


Şekil 4.35. Yükseltici durum için PI bloğu.

Önerilen dönüştürücü yükseltici durumunda çalıştırıldığında gerilimin düşük olduğu kısımdaki anahtarlama elemanları aktif durumda olmaktadır ve Şekil 4.36’de görüldüğü üzere iki anahtarlama elemanı mevcuttur. Bu anahtarlama elemanlarının birbirine göre 180° faz farkı ile tetiklenmesi gerekmektedir. DA formundaki elektrik enerjisinin depolandığı batarya grubundan alınan DA gerilim yapılan bu anahtarlama sayesinde AA formundaki elektrik enerjisine dönüştürülmüş ve transformatörün diğer tarafına aktarılmıştır. Aktarılan bu AA formundaki elektrik enerjisi, diyotlar ve filtre sayesinde DA formundaki daha yüksek gerilime dönüştürülmüştür. Böylece yükseltme işlemi izoleli olarak gerçekleştirilmiştir.

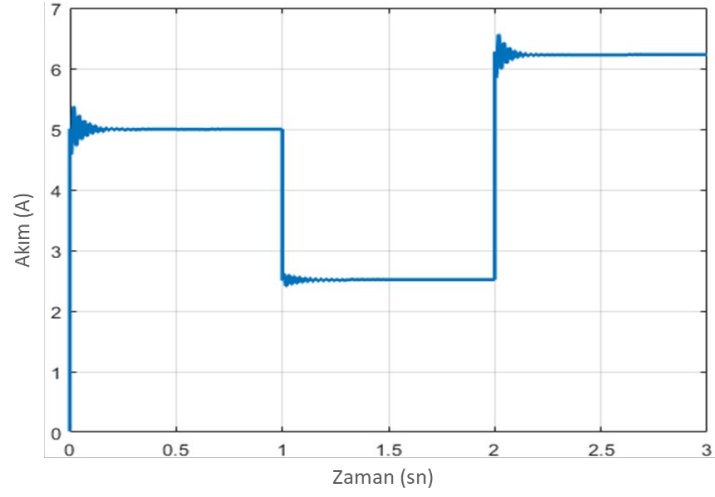


Şekil 4.36. Önerilen dönüştürücünün yükseltici durumu için PI kontrollü benzetimi.

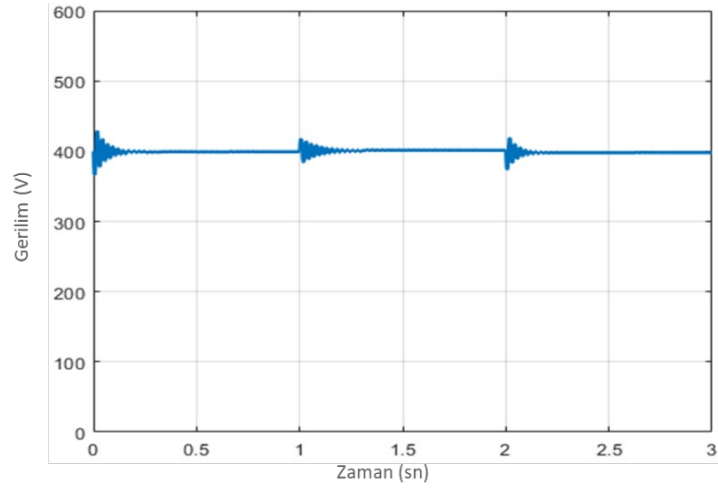


Şekil 4.37. Yükseltici durumunda 2 kW, 1kW ve 2.5kW'lık farklı yükler.

Önerilen dönüştürücü devresinin benzetim çalışmaları ve kontrolü, farklı yükler altında gerçekleştirildi (Şekil 4.36). Şekil 4.37'de verildiği gibi 2 kW, 1 kW ve 2.5 kW'lık farklı yüklerle için elde edilen benzetim sonuçları verilmiştir. Bu yüklerin çektiği akımlar Şekil 4.38'de verilmiştir. Şekil 4.39'da da bara gerilimleri verilmiştir.

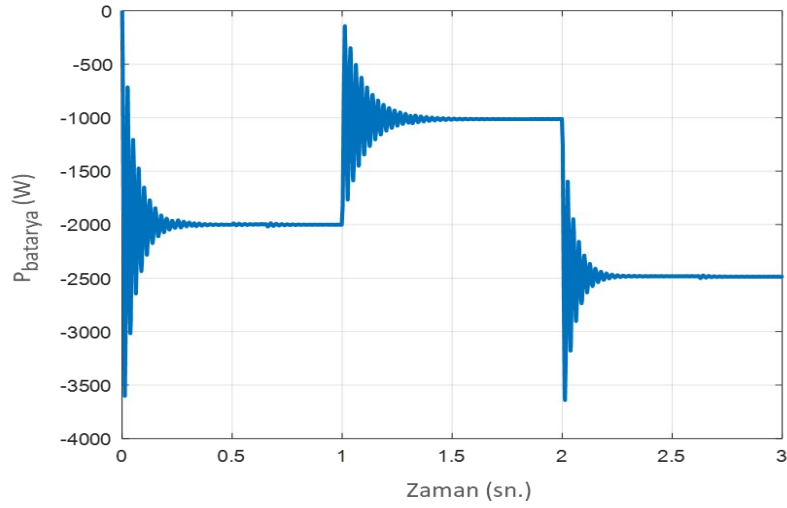


Şekil 4.38. Yükseltici durumunda farklı yükler için çekilen akımlar.

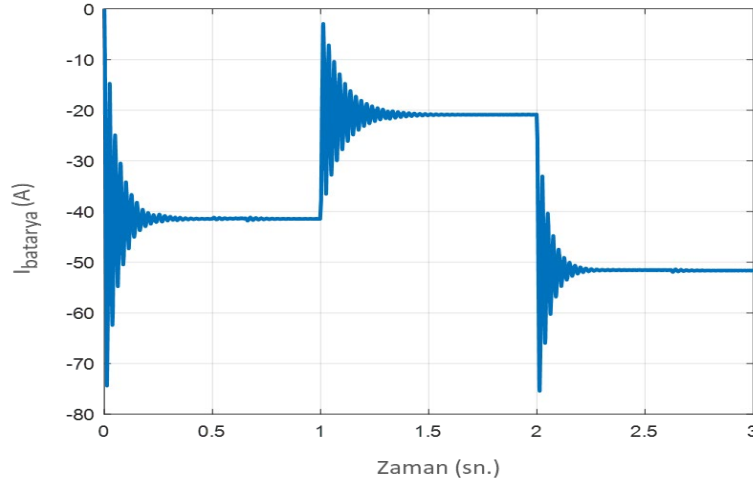


Şekil 4.39. Yükseltici durumunda farklı yükler için bara gerilimi.

Batarya grubunun farklı yükler altında sisteme verdiği akım, gerilim bilgileri sırasıyla sonraki iki şekilde verilmiştir.

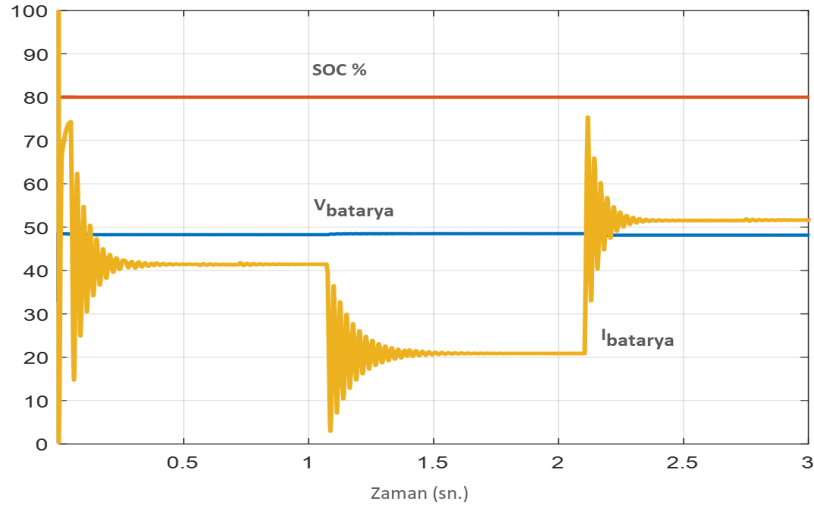


Şekil 4.40. Yükseltici durumunda farklı yükler için batarya grubundan çekilen güç.



Şekil 4.41. Yükseltici durumunda farklı yükler için batarya grubundan çekilen akım.

Batarya grubunun yüzdelik olarak ne kadar dolu olduğunu bataryanın durumundan (State of Charge (SOC)) öğrenilebilir. Bu benzetim çalışmalarında SOC %80 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bataryanın durumu Şekil 4.42’ de verilmiştir.



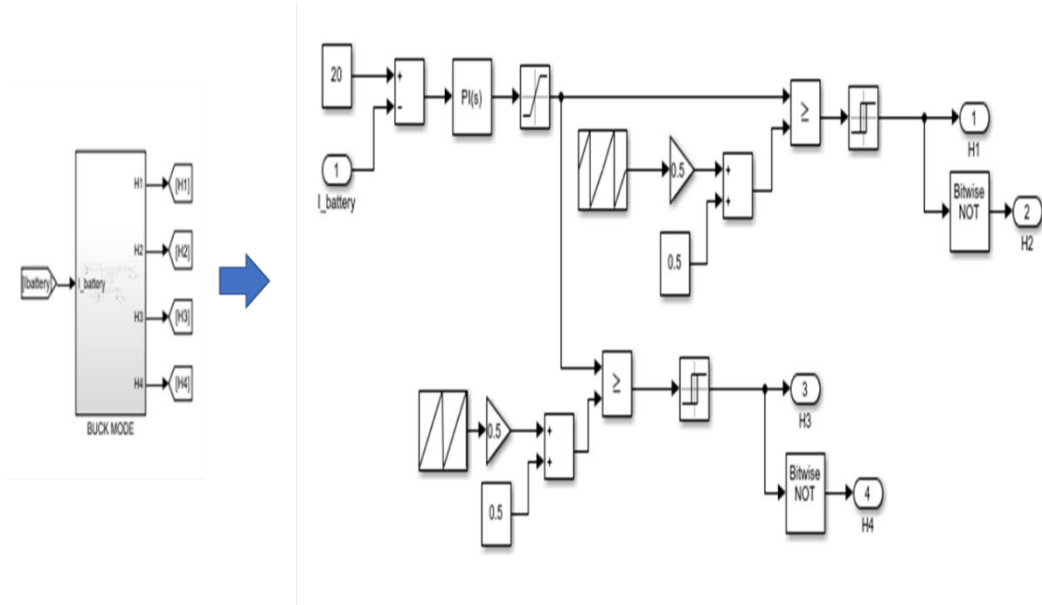
Şekil 4.42. Yükseltici durumunda farklı yükler için batarya grubunun genel durumu.

Önerilen dönüştürücü düşürücü durumunda çalıştırıldığında kullanılan PI kontrolcünün oransal (P) denetleyicinin katsayısı K_p ve integral alıcının katsayısı olan K_i değerleri Ziegler-Nichols yöntemi kullanılarak ayarlanmıştır. Bu değerler Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Düşürücü durum için K_p ve K_i değerleri

Katsayılar	Değerler
Oransal (K_p)	0.0085
Integral (K_i)	0.1

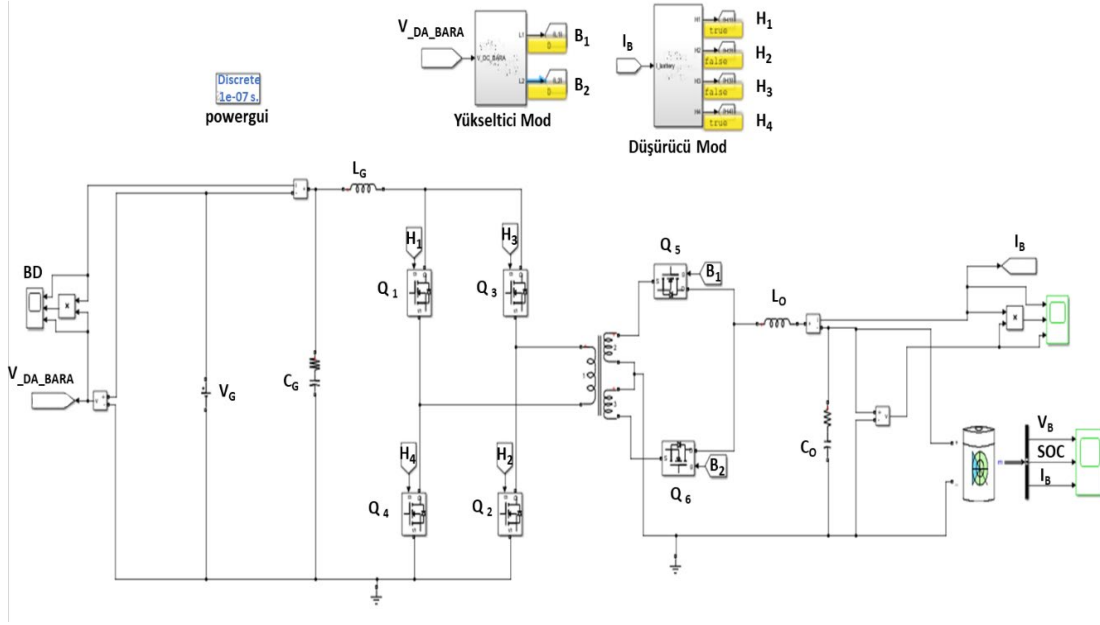
Çizelge 4.3’de verilen değerlere sahip düşürücü durum için kullanılan PI bloğu Şekil 4.43’ da verilmiştir.



Şekil 4.43. Düşürücü durum için PI bloğu.

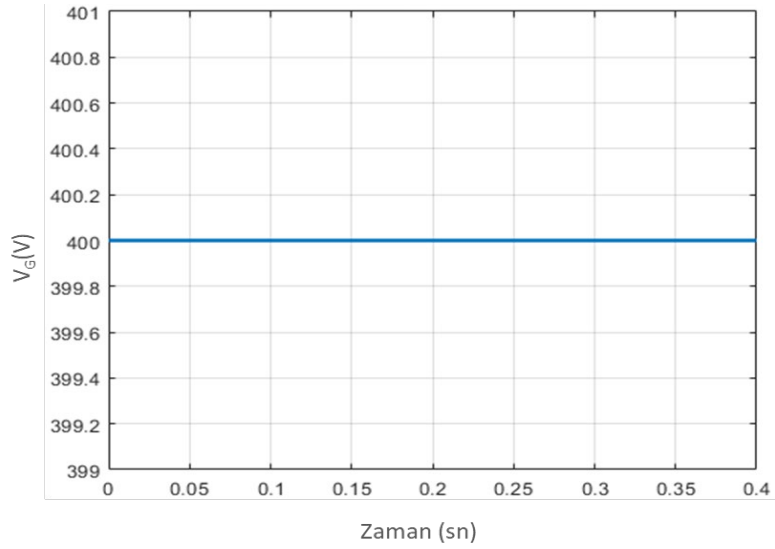
Önerilen dönüştürücü, düşürücü durumunda çalıştırıldığında gerilimin yüksek olduğu kısımdaki anahtarlama elemanları aktif durumda olmaktadır ve Şekil 4.43’de görüldüğü üzere dört anahtarlama elemanı mevcuttur. Bu anahtarlama elemanlarının ikili grupla halinde birbirine göre 180° faz farkı ile tetiklenmeleri gerekmektedir. DA baradan alınan enerjinin batarya grubunda depolanabilmesi için DA formundaki bara geriliminin anahtarlama elemanları vasıtasıyla AA formundaki elektrik enerjisine dönüştürülmüş ve transformatörün diğer tarafına aktarılmıştır. Aktarılan bu AA enerji, diyotlar ve filtre sayesinde DA gerilime dönüştürülmüştür. Böylece düşürme işlemi izoleli olarak gerçekleştirilmiştir.

Önerilen sistemin batarya grubuna enerji depolarken izlediği yol Şekil 4.43’de verildiği gibi 20 A’lık sabit bir referans akıma göre yapılmıştır, yani akım kontrolü yapılmıştır. Batarya grubunun gerilimi bataryanın doluluk oranına göre sürekli değişim göstermesi kontrolü oldukça zor hale getirmektedir. Bunun üstesinden gelinebilmesi için batarya grubunu sabit bir akım değeri ile şarj edilmesi öngörülmüş ve çalışmalar bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

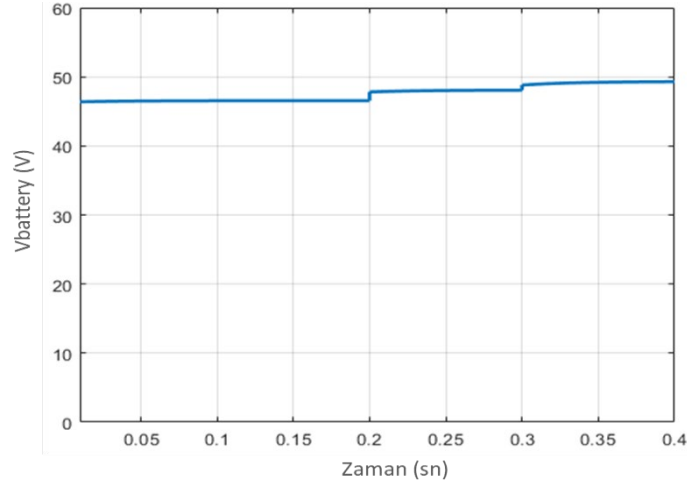


Şekil 4.44. Önerilen dönüştürücünün düşürücü durumu için PI kontrollü benzetimi.

Şekil 4.44’de verilen devrenin benzetim çalışmaları, farklı yüzdeliklere sahip SOC değerleri için yapılmıştır. Tüm durumlar için bara gerilimi sabit olacak şekilde olacak şekilde verilmiştir (Şekil 4.45). Farklı yüzdeliklere sahip (%30, %50 ve %80) SOC değerleri Şekil 4.46’de gösterilmiştir.

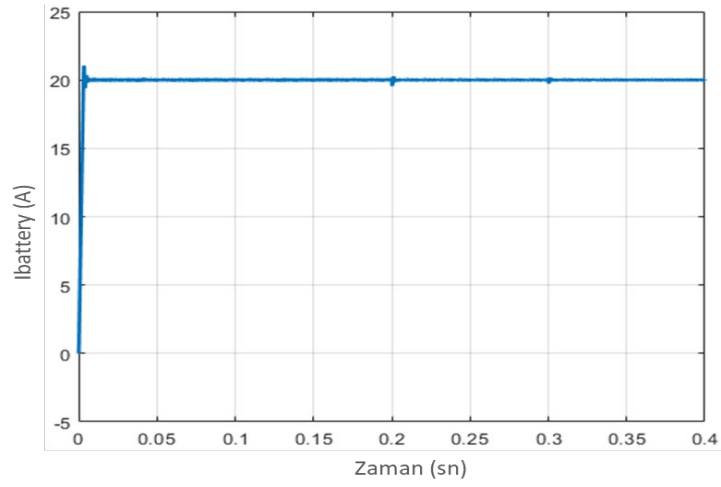


Şekil 4.45. Önerilen dönüştürücünün düşürücü durumu için sabit giriş gerilimi.

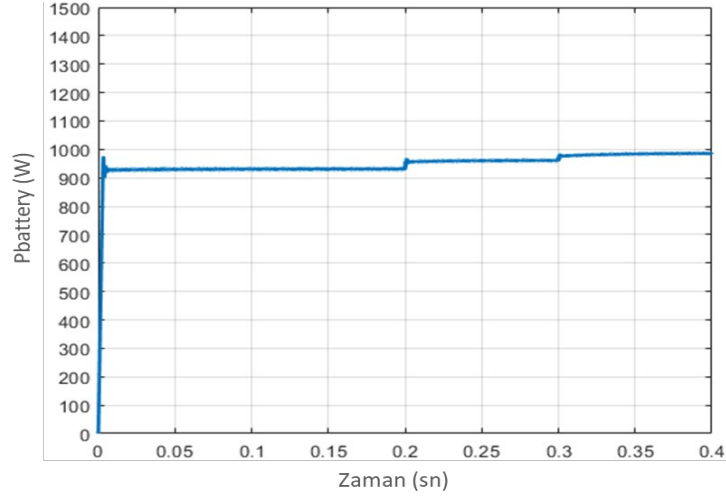


Şekil 4.46. Önerilen dönüştürücünün düşürücü durumumda farklı SOC yüzdelerindeki bataryanın gerilim değerleri.

Farklı SOC değerleri için bataryanın çektiği akım ve gücü sırasıyla Şekil 4.47 ve Şekil 4.48’de verilmiştir.



Şekil 4.47. Önerilen dönüştürücünün düşürücü durumumda farklı SOC yüzdelerindeki bataryanın çektiği akım.



Şekil 4.48. Önerilen dönüştürücünün düşürücü durumunda farklı SOC yüzdelerindeki bataryanın çektiği güç.

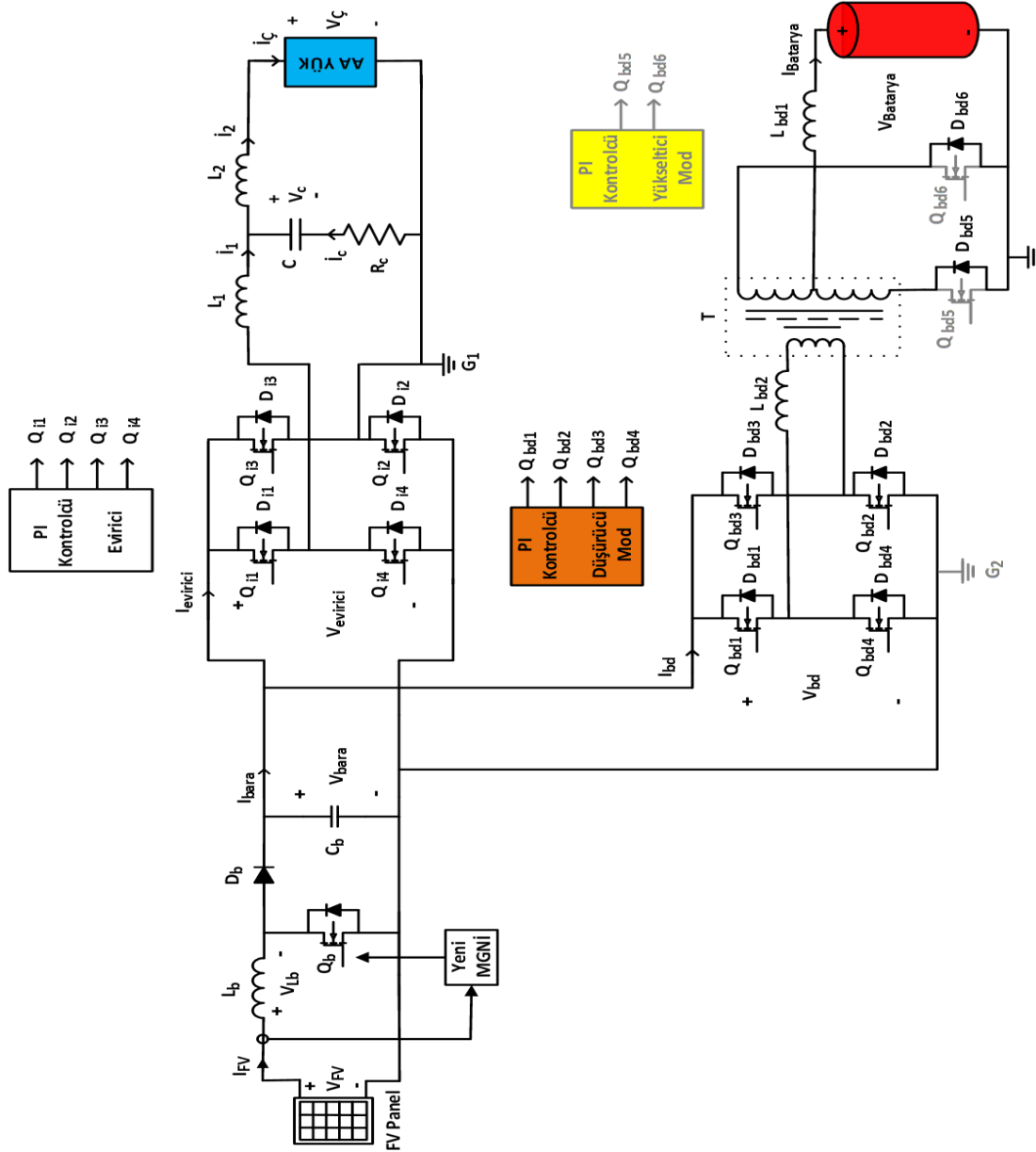
Bu bölümde benzetim çalışmaları yapılan izole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücüde izolasyonun sağlanabilmesi için kullanılan transformatörün gösterdiği endüktif etki, baraya bağlanan kapasitörün ve bataryanın sahip olduğu kapasitif etkiden dolayı batarya akımı satürasyona girip belli bir süre salınımlar yapmıştır. Kullanılan uygun kontrolcü ile bu süre azaltılmıştır.

4.1.5. Önerilen tüm sistem için benzetim çalışmaları ve sonuçları

Önerilen tüm sistemin çalışma durumlarına Bölüm 3.9’da verilmiştir. Bu bölümde, tasarlanan tüm sistem ve belirlenen her bir durum için ayrı ayrı benzetim çalışması yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalardan alınan olumlu sonuçlar göz önünde bulundurularak tüm sistem tüm durumlar için çalıştırılmıştır. Yapılan benzetim çalışmaları alt başlıklar altında detaylı olarak verilmiştir.

4.1.5.1. Durum I için benzetim sonuçları

Önerilen tüm sistemde FV panellerin ürettiği elektrik enerjisinin, AA yükü ve batarya grubunu besleyemeye yetecek kadar olması ve batarya grubunun da tam şarj durumunda olmaması durumunda benzetim çalışması yapılmıştır.

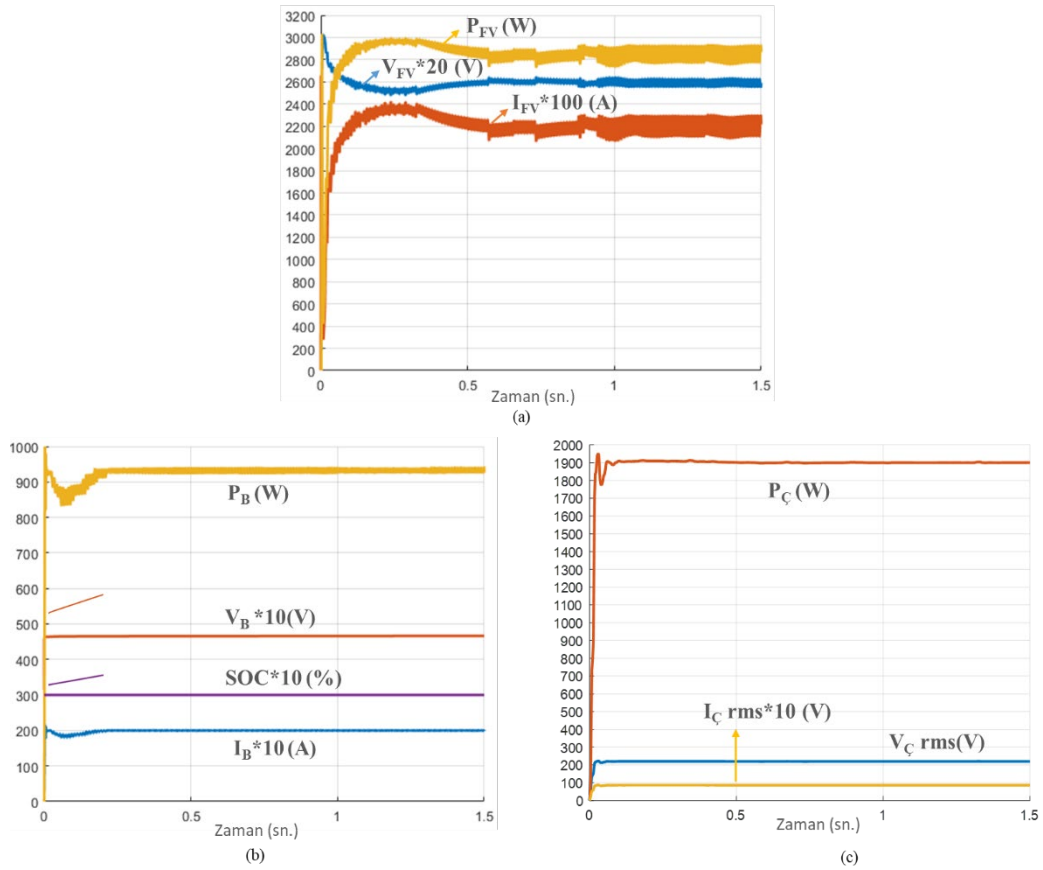


Şekil 4.49. Durum I için devre şeması.

Önerilen tüm sistem Durum I' de iken S_4 anahtarı kesimde diğer anahtarlar iletimdedir ve yükseltici durum için olan PI bloğu pasif durumdadır (Şekil 4.49). Bu çalışma durumunda; izoleli tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücünün Q_{bd5} ve Q_{bd6} anahtarlama elemanları pasif durumda olduğundan iletim D_{bd5} ve D_{bd6} diyotları üzerinde sağlanarak batarya grubu şarj edilmiştir ve sistemde, aynı yere bağlı iki toprak (G) olamayacağından, G_2 pasif yapılmıştır. Eviricinin tüm anahtarlama elemanları (Q_{i1} , Q_{i2} , Q_{i3} ve Q_{i4}) ve oluşabilecek ters akımlardan anahtarlama elemanlarının korunabilmesi için tüm diyotlar (D_{i1} , D_{i2} , D_{i3} ve D_{i4}) aktif durumdadır. I. durumun

benzetim çalışmaları başarılı bir şekilde yapılmıştır. Bunun yanında izoleli tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücünün düşürücü olarak çalışabilmesi için Q_{bd1} , Q_{bd2} , Q_{bd3} ve Q_{bd4} anahtarlama elemanlarının ve onları ters akımlardan koruyan D_{bd1} , D_{bd2} , D_{bd3} ve D_{bd4} diyotları aktif edilmiştir.

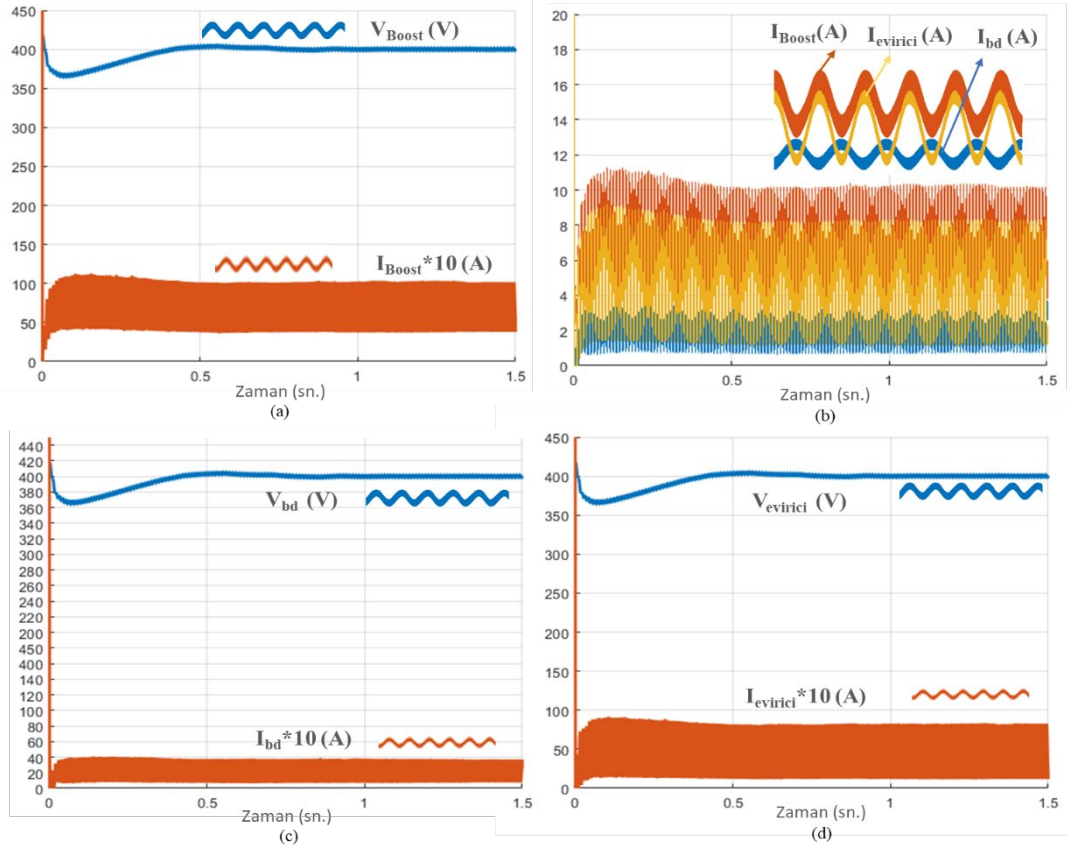
FV paneller, 25°C 'de 1000 W/m^2 (IR) ışınlım altındayken $220 \text{ V}_{\text{rms}}$ gerilime sahip 1900 W 'lık AA bir yük ve 20 A 'lık akım ile beslenen %30 oranında dolu olan batarya grubunu için gerekli elektrik enerjisini üretmiştir. Bu durum için FV panelim çıkışında yeni MGNİ kontrolcü sayesinde elde edilen güç, gerilim ve akım değerleri, batarya grubunun sahip olduğu değerler ve eviricinin çıkış değerleri Şekil 4.50'de verilmiştir.



Şekil 4.50. Durum I için (a) FV, (b) batarya ve (c) eviricinin sahip olduğu değerler.

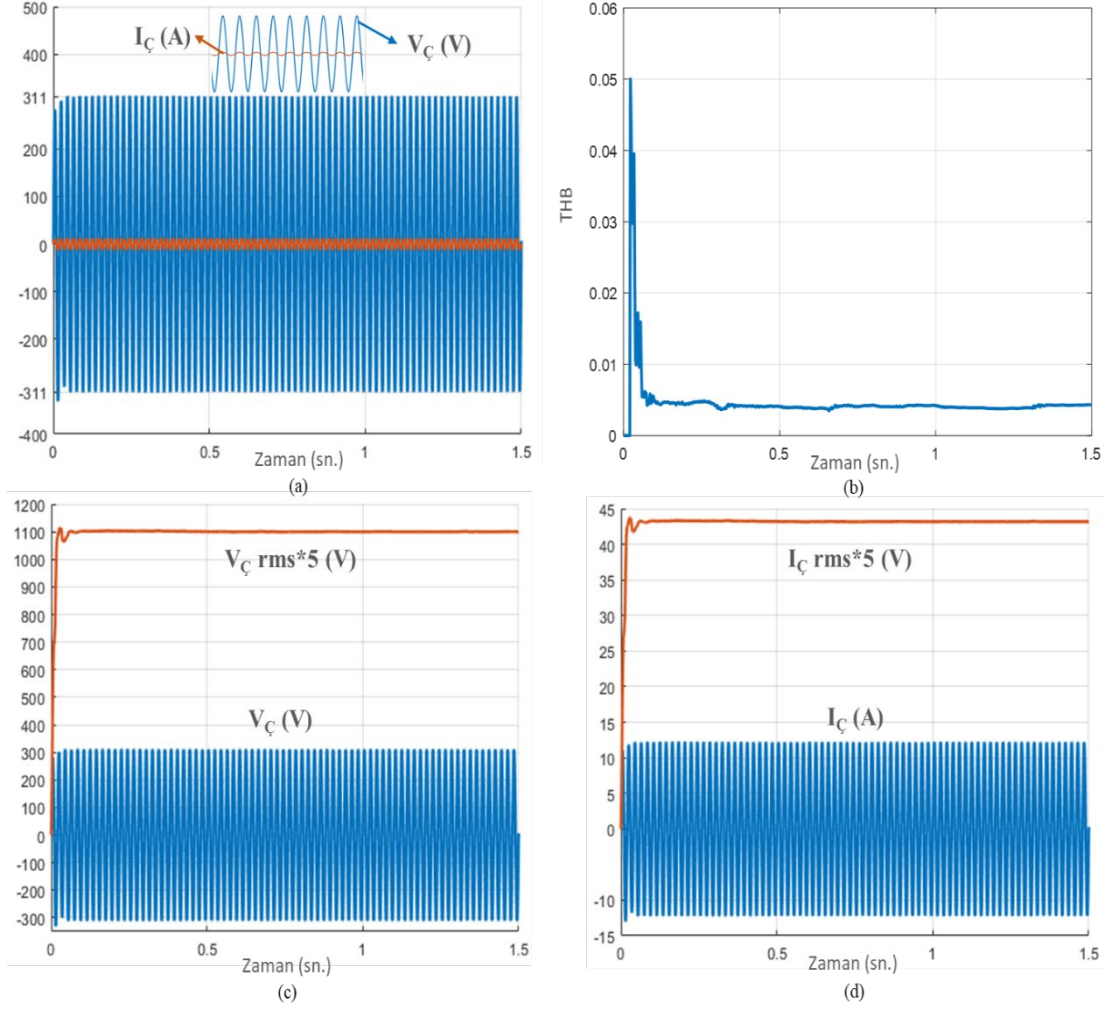
Önerilen sistemde bara geriliminin (V_{bara}), yükselten dönüştürücünün çıkış geriliminin (V_{Boost}), ve izoleli tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücünün giriş geriliminin (V_{bd}) ve eviricinin giriş gerilim (V_{evirici}) değerlerinin

birbirine eşit ve değerinin de 400 V DA olması gerekmektedir, uygulanan yeni MGNI kontrol yöntemi ile bu durum sağlanmıştır. Aynı zamanda eviricinin giriş akımı (I_{evirici}) ve izoleli tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücünün giriş akımının (I_{bd}) toplamı yükselticinin çıkış akımına (I_{Boost}) eşit olması gerekmektedir (Şekil 4.51).



Şekil 4.51. Durum I için (a) V_{Boost} - I_{Boost} , (b) I_{Boost} - I_{evirici} - I_{bd} , (c) V_{bd} - I_{bd} ve (d) V_{evirici} - I_{evirici} .

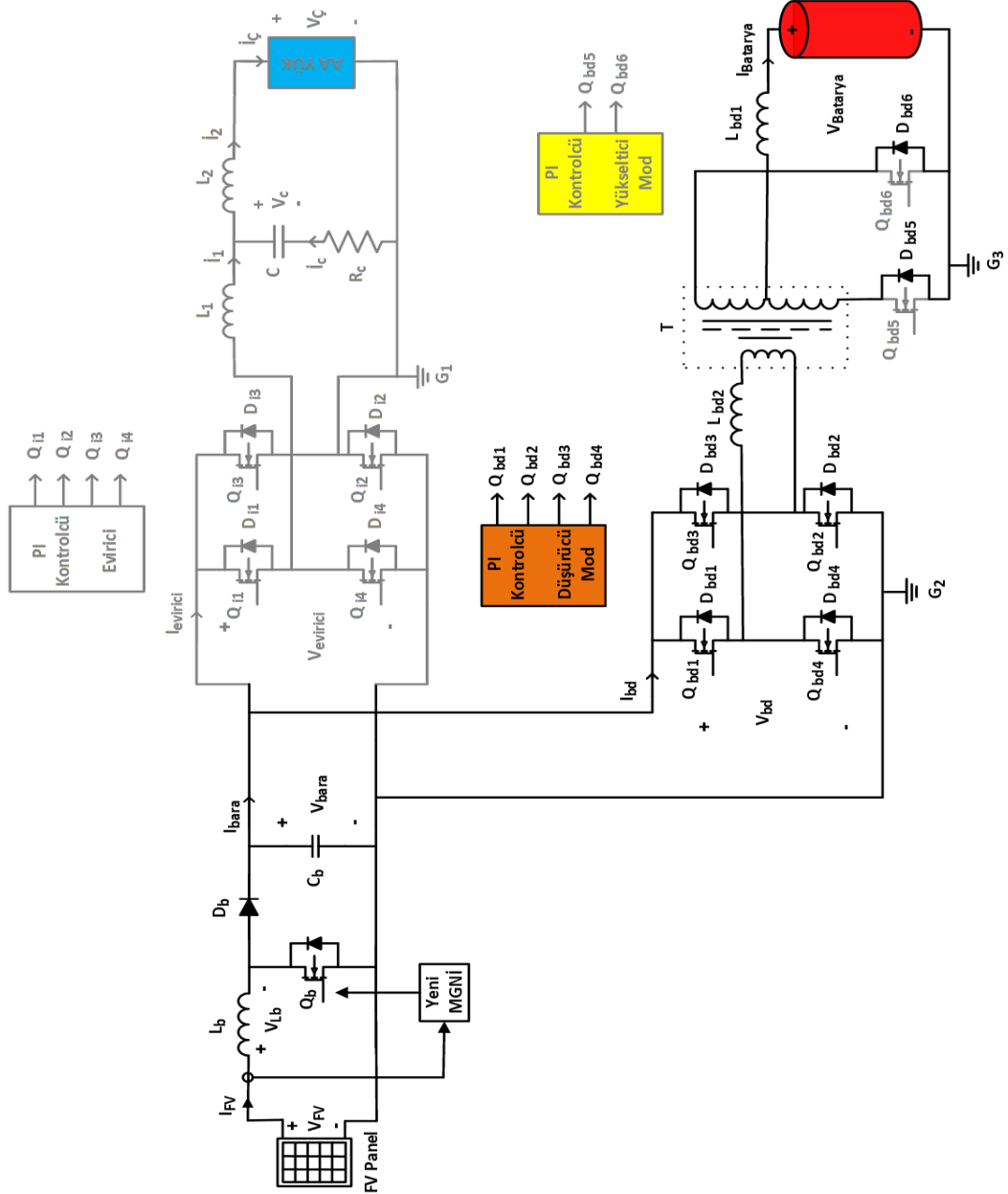
Eviricinin çıkışında elde edilen gerilim ($V_{\text{ç}}$) ve akımı ($I_{\text{ç}}$) değerleri, çıkış geriliminin THB, $V_{\text{ç}}$ - $V_{\text{ç}}$ 'ın etkin değeri ($V_{\text{ç rms}}$) ve $I_{\text{ç}}$ - $I_{\text{ç}}$ 'ın etkin değeri ($I_{\text{ç rms}}$) Şekil 3.52'de verilmiştir. Akımın ve gerilimin THB'si birbirine eşittir. Bu yüzden sadece gerilimin THB'si verilmiştir.



Şekil 4.52. Durum I için (a) V_C - I_C , (b) THB, (c) V_C - V_C rms ve (d) I_C - I_C rms değerleri.

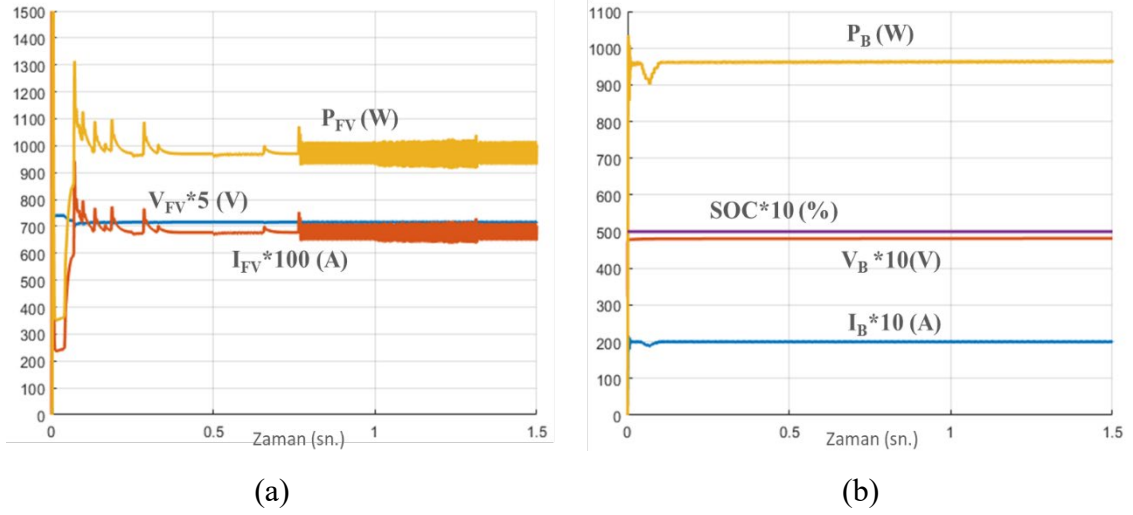
4.1.5.2. Durum II için benzetim sonuçları

Önerilen sistemde; FV panellerin ürettiği elektrik enerjisinin tam şarj durumunda olmayan batarya grubunu şarj etmek için kullanıldığı ve herhangi bir AA yükü sistemde aktif olmadığı yaklaşım Durum II olarak tanımlanmıştır. Önerilen sistem Durum II’de iken S_2 anahtarı kesimde diğer anahtarlar iletimdedir. Yükseltici mod için kullanılan PI, evirici ve evirici için kullanılan PI kontrolcüler pasiftir (Şekil 4.53). Q_{bd5} ve Q_{bd6} anahtarlama elemanları pasif durumda olduğundan iletim D_{bd5} ve D_{bd6} diyotları üzerinde sağlanarak batarya grubu şarj edilmiştir. İzoleli tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücünün düşürücü olarak çalışabilmesi için Q_{bd1} , Q_{bd2} , Q_{bd3} ve Q_{bd4} anahtarlama elemanları, onları ters akımlardan koruyan D_{bd1} , D_{bd2} , D_{bd3} ve D_{bd4} diyotları ve G_2 aktif hale getirilmiştir.



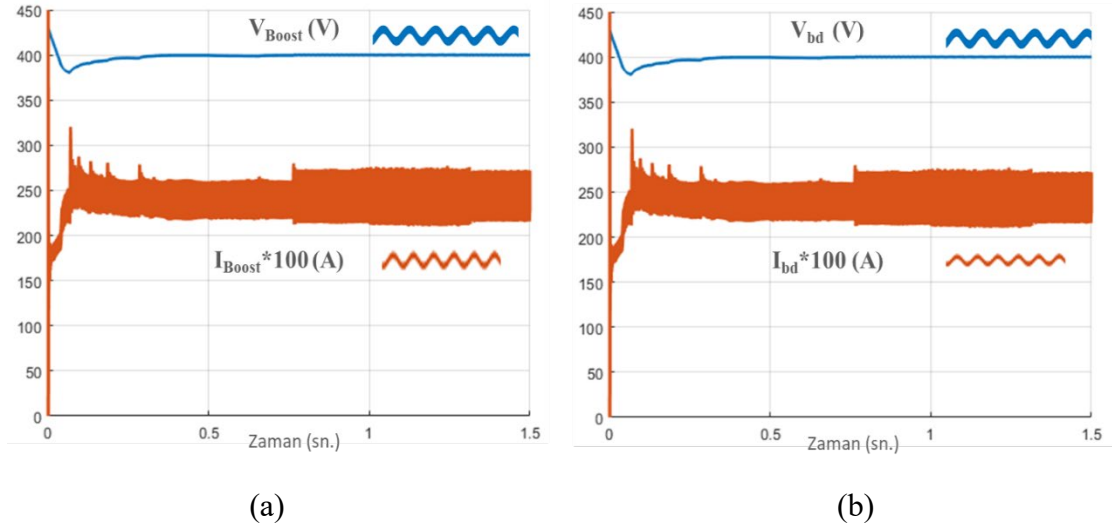
Şekil 4.53. Durum II için devre şeması.

FV paneller, 25°C 'de 400 W/m^2 ışıınım altındayken 20 A 'lık akım ile beslenen %50 oranında dolu olan batarya grubunu beslemiştir. Bu durumda FV panelin çıkış gücü, gerilimi, akımı ve batarya grubunun sahip olduğu değerler Şekil 4.54'de verilmiştir.



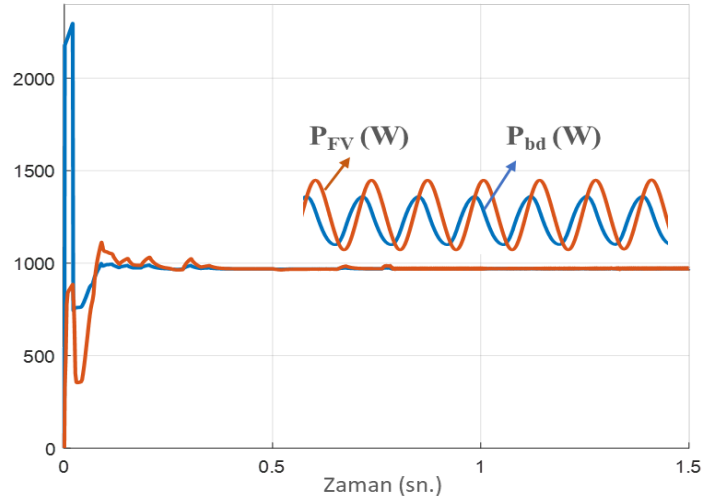
Şekil 4.54. Durum II için (a) FV ve (b) bataryanın sahip olduğu değerler.

Önerilen V_{bara} , V_{Boost} , ve V_{bd} değerlerinin birbirine eşit ve değerinde 400 Vdc olması gerekmektedir, bu durum uygulanan yeni MGNİ kontrol yöntemi ile sağlanmaktadır. I_{bd} ve I_{Boost} birbirine eşit olması gerekmektedir (Şekil 4.55).



Şekil 4.55. Durum II için (a) V_{Boost} - I_{Boost} ve (b) V_{bd} - I_{bd} .

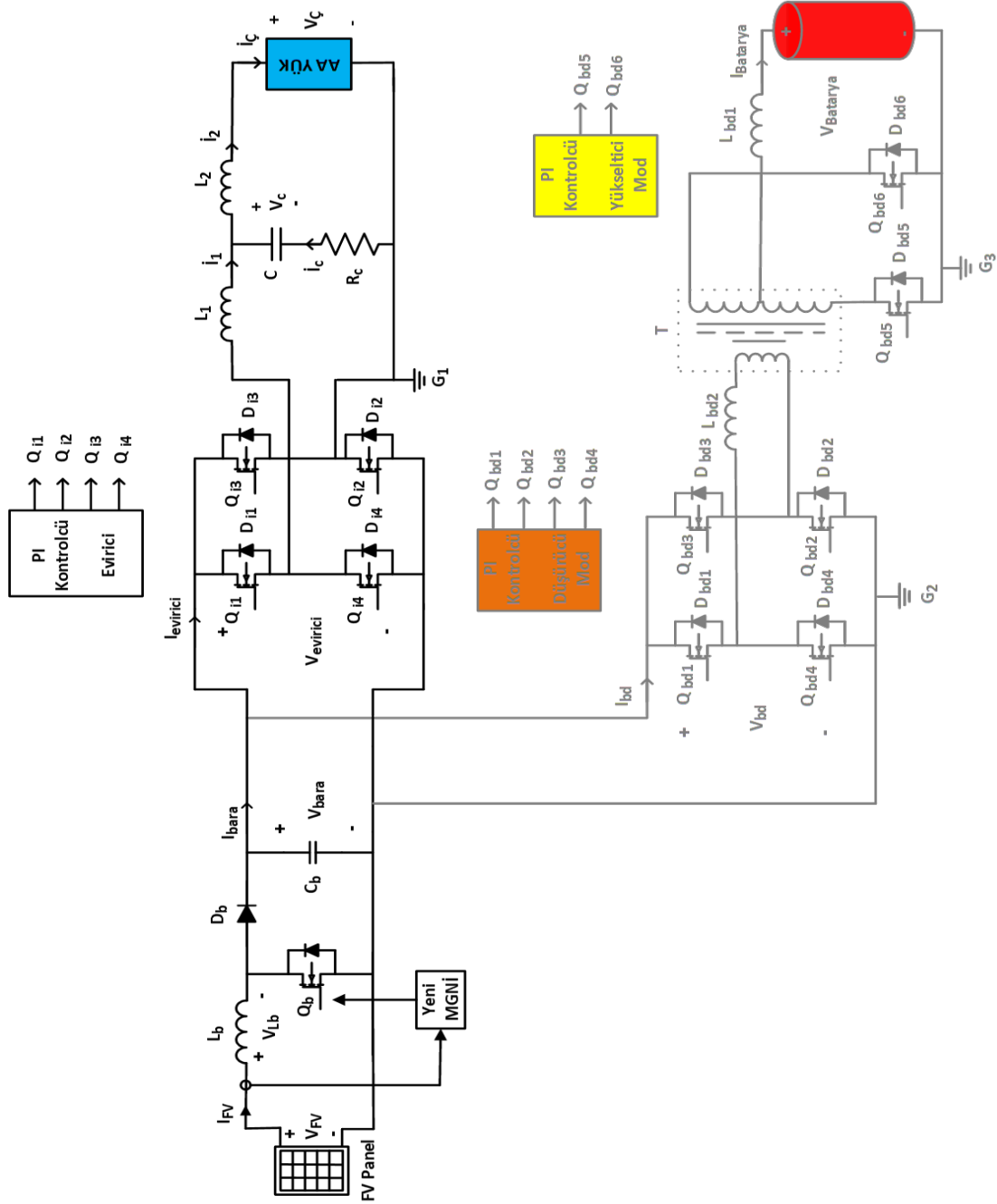
FV panellerin ürettiği güç (P_{FV}) ve izoleli tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücünün giriş (P_{bd}) güç Şekil 4.56 verilmiştir.



Şekil 4.56. Durum II için P_{FV} ve P_{bd} .

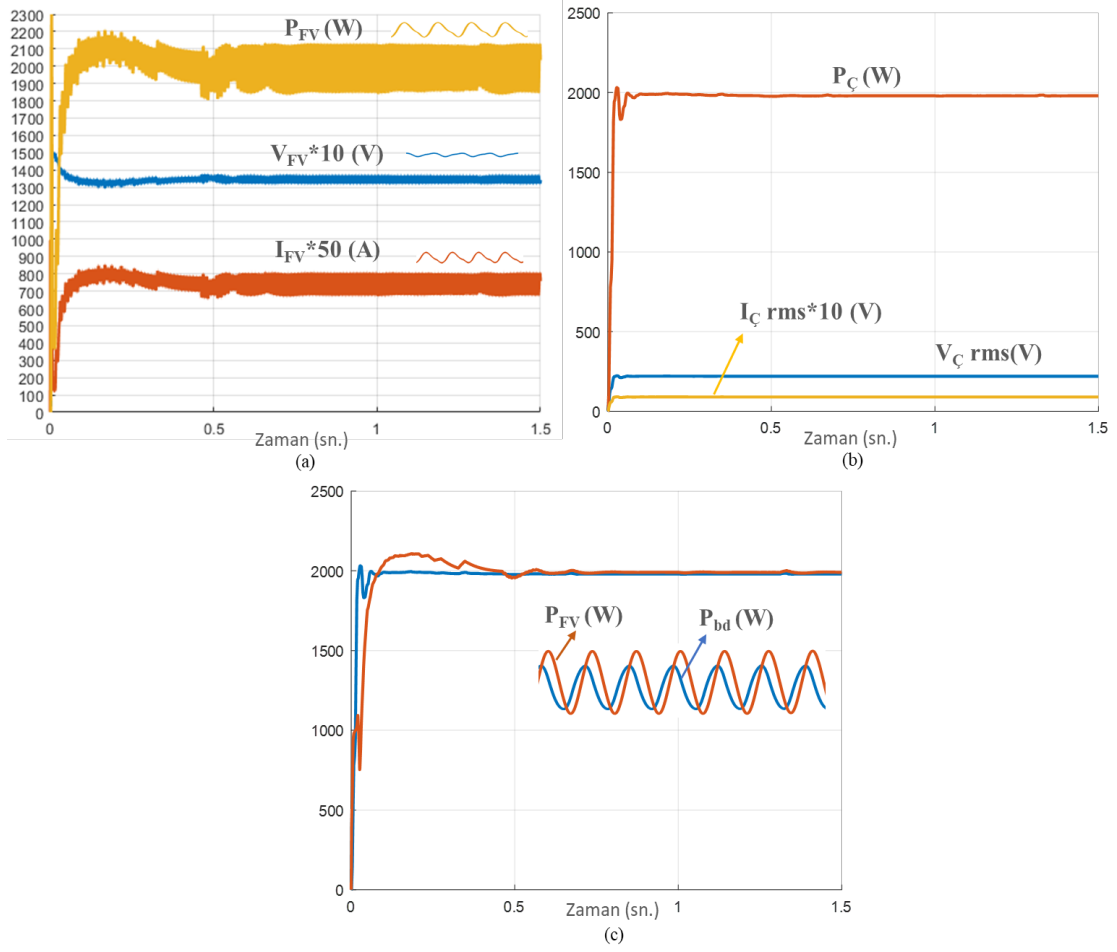
4.1.5.3. Durum III için benzetim sonuçları

FV paneller tarafından üretilen elektrik enerjisi sadece bir AA yükü beslemek için kullanılmıştır. Bu yaklaşım Durum III olarak tanımlanmıştır. Bu durumda; FV sistemin ürettiği elektrik enerjisi sadece AA yükü beslemeye yetmiştir veya batarya grubu tam şarj durumundadır. Önerilen sistem Durum III' de iken sadece S_1 ve S_2 iletimdedir diğer anahtarlar kesimdedir. İzoleli tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücü, PI kontrolcüler ve G_2 pasif durumdadır. (Şekil 4.57).

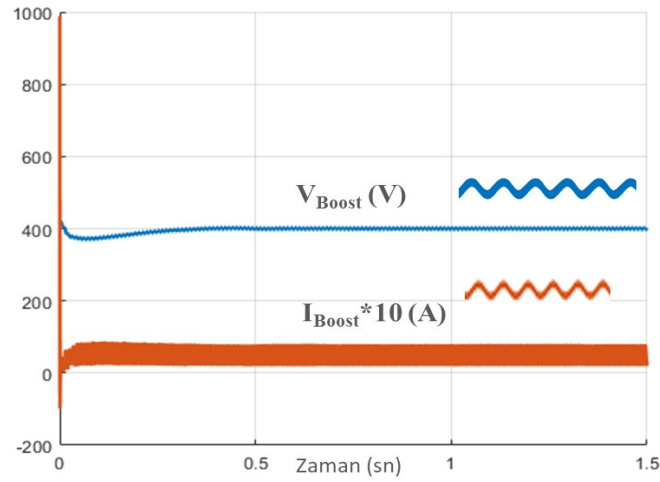


Şekil 4. 57. Durum II için devre şeması.

FV paneller, 25°C 'de 750 W/m^2 (IR) ışınlım altındayken 220 Vrms gerilime sahip 1900 W 'lık bir AA yükü beslemiştir. Bu durumda, FV panelim çıkış gücü, gerilimi, akımı, eviricinin çıkış değerleri ve $P_{FV}-P_o$ etkin (rms) değerleri Şekil 4.58'de verilmiştir.

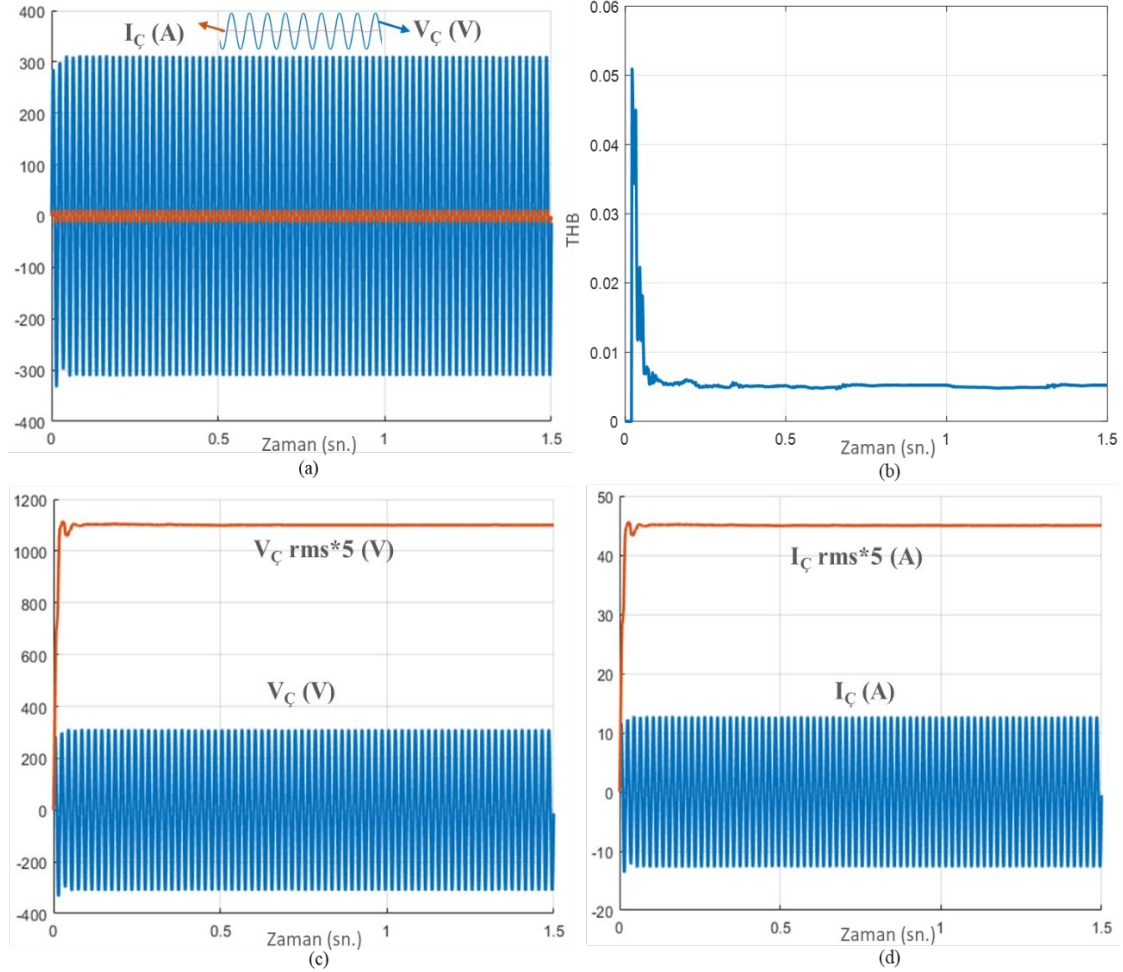


Şekil 4.58. Durum III için (a) FV, (b) eviricinin çıkış ve (c). P_{FV} - P_C etkin (rms) değerleri.



Şekil 4. 59. Durum III için V_{Boost} ve I_{Boost} değerleri.

Durum III için V_{Boost} , V_{bara} ve $V_{evirici}$ gerilim değerleri; I_{Boost} $I_{evirici}$ akım değerleri birbirine eşittir. Bu nedenden ötürü sadece yükselticinin çıkış değerleri Şekil 4.59'da verilmiştir.



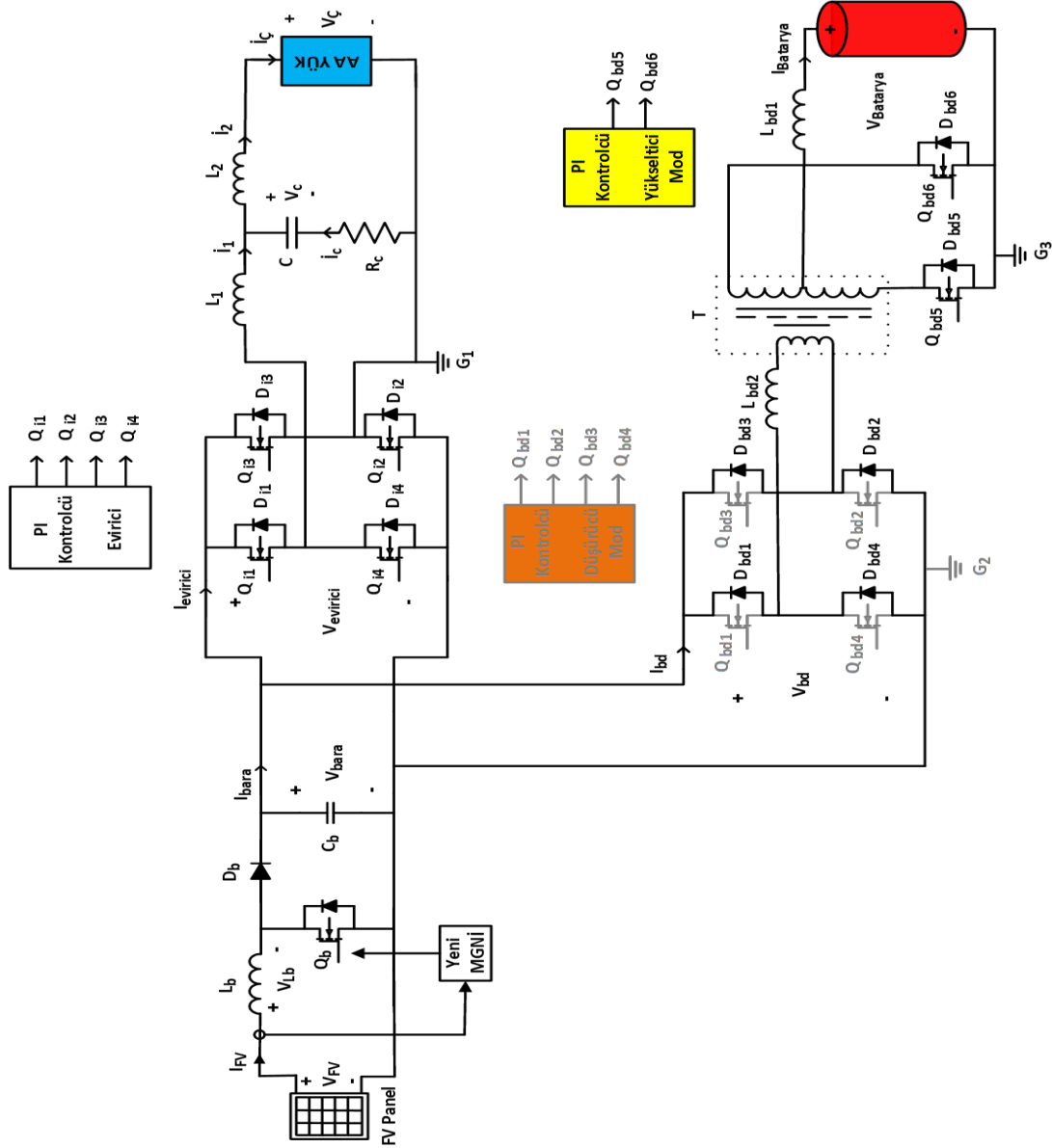
Şekil 4. 60. Durum III için (a) V_C - I_C , (b) THB, (c) V_C - V_C rms ve (d) I_C - I_C rms değerleri.

Durum III için eviricinin çıkış akım ve geriliminin değerleri ve gerilim THB'si Şekil 4.60' da verilmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında akımın THB'si ve gerilimin THB'si eşit olduğu görülmüştür bu yüzden sadece gerilimin THB'si verilmiştir.

4.1.5.4. Durum IV için benzetim sonuçları

Önerilen sistemde; FV panellerin ürettiği elektrik enerjisinin AA yükün talep ettiği değerin altında olmasından dolayı batarya grubunun eksik kalan kısmı

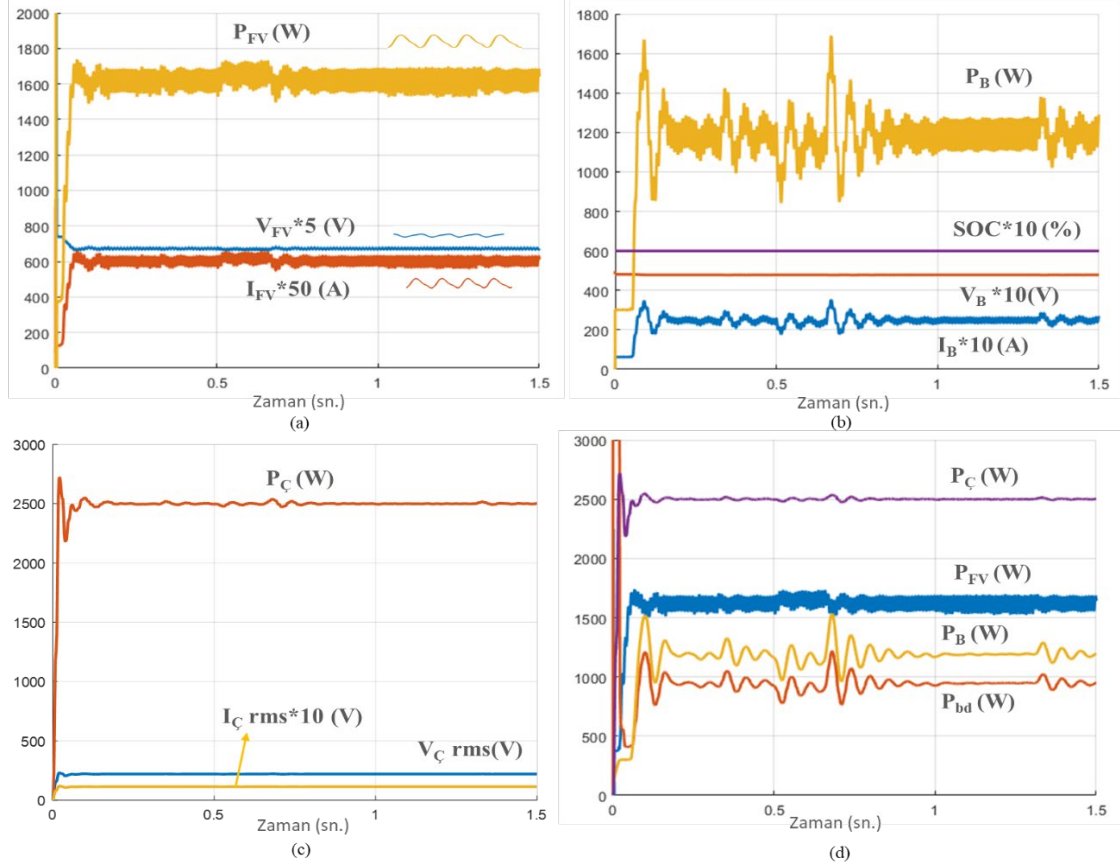
tamamlayabilmesi için deşarj edildiği ve izoleli tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücünün yükseltici modda çalıştırıldığı sistem Durum IV olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.61. Durum IV için devre şeması.

FV paneller üzerine düşen ışınım miktarının düşük olması veya AA yükün FV panellerin sağlayabileceği güç kapasitesinin üstünde olması durumunda şarjı %20 üstünde olan batarya grubu FV paneller ile birlikte yükü beslemiştir. Önerilen sistem

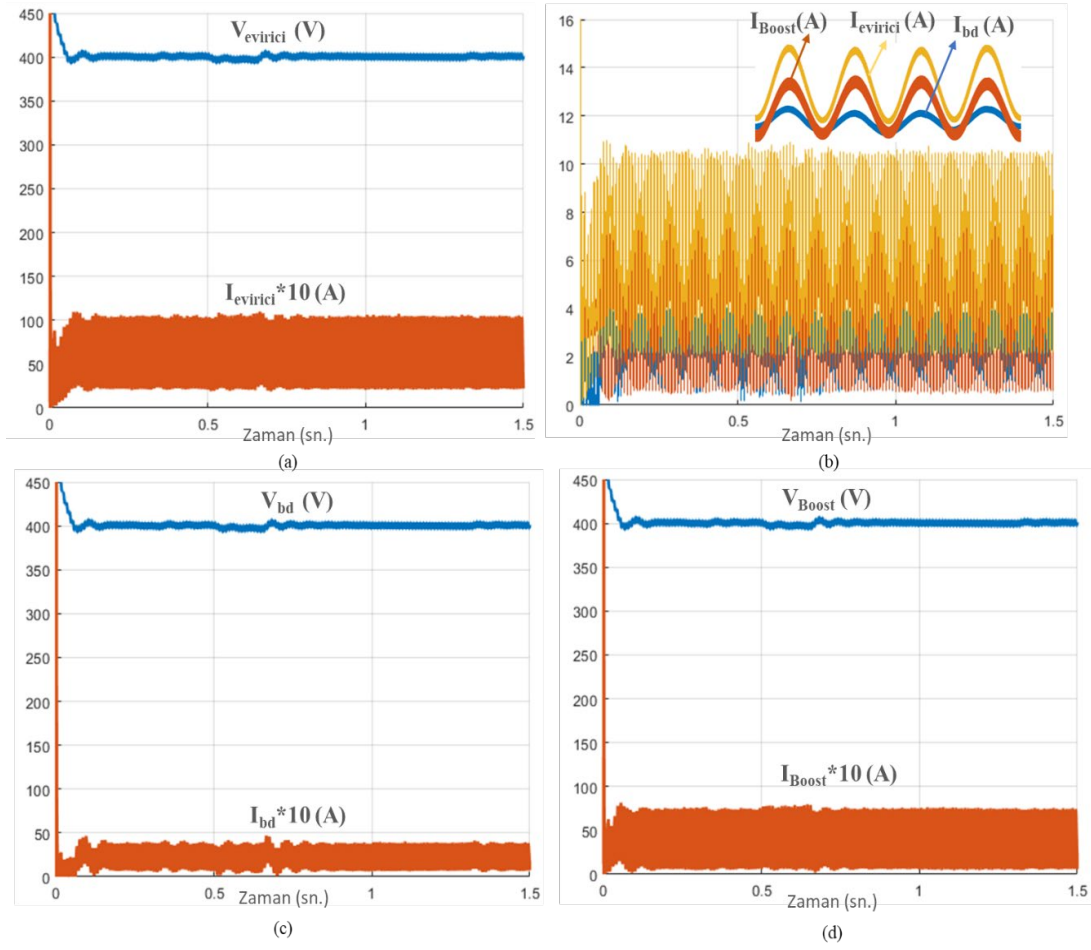
Durum IV’de iken S_4 anahtarı kesimde diğer anahtarlar iletimdedir. Düşürücü mod için kullanılan PI kontrolcü ve G_2 pasiftir (Şekil 4.61).



Şekil 4.62. Durum IV için (a) FV, (b) batarya grubu ve (c) eviricinin çıkış değerleri, (d) P_{FV} - P_C - P_{Boost} - P_{bd} değerleri.

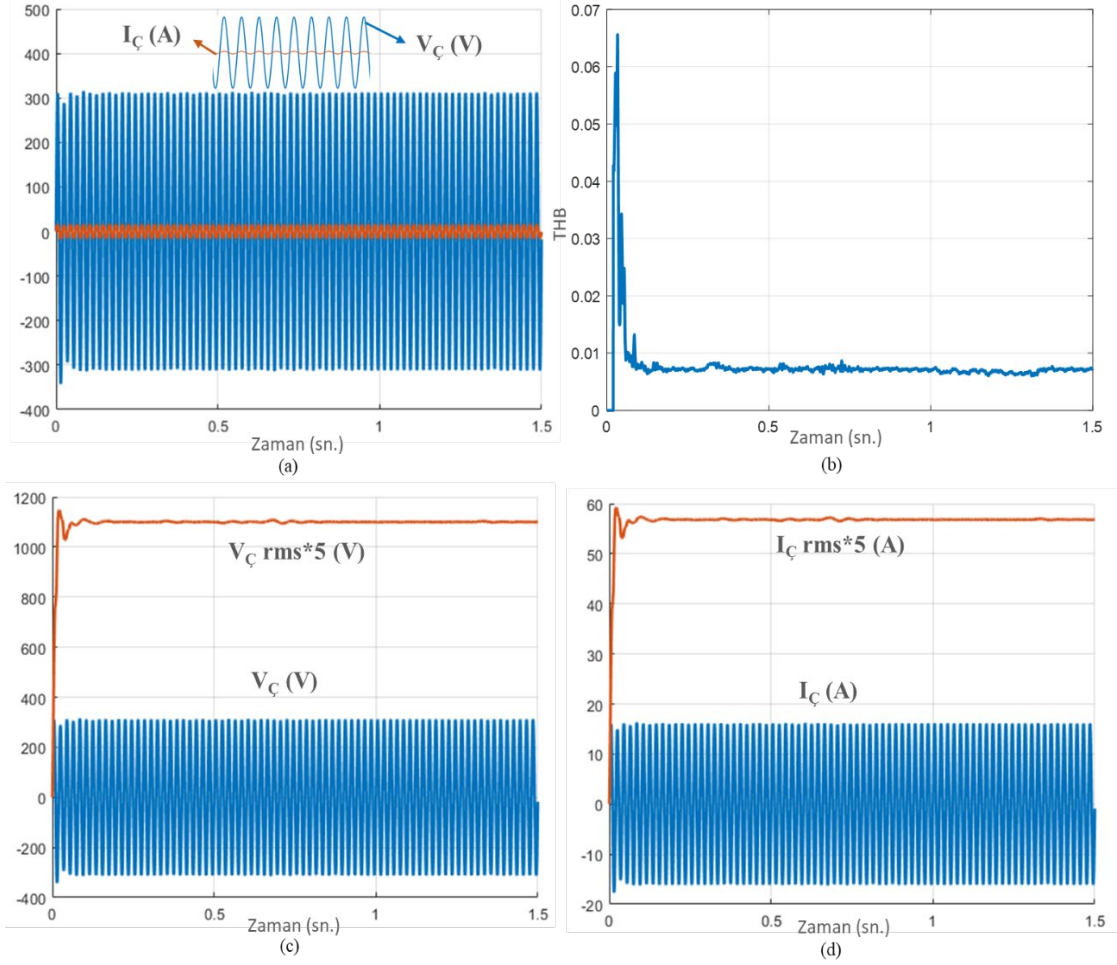
Q_{bd5} ve Q_{bd6} anahtarlama elemanları ve D_{bd5} ve D_{bd6} diyotları aktif durumdadır. İzoleli tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücünün yükseltici olarak çalışabilmesi için Q_{bd1} , Q_{bd2} , Q_{bd3} ve Q_{bd4} anahtarlama elemanlarının pasif ve devrenin kendini tamamlayabilmesi için D_{bd1} , D_{bd2} , D_{bd3} ve D_{bd4} diyotlarının aktif durumda olması gerekmektedir.

FV paneller, 25°C 'de 600 W/m^2 ışıyım altındayken %60 oranında dolu olan batarya grubu 220 Vrms gerilim değerine sahip 2500 W'lık bir AA yük beslemiştir. Bu durumda FV, batarya grubu ve eviricinin çıkış değerleri ile birlikte P_{FV} - P_o - P_{Boost} - P_{bd} Şekil 4.62'de verilmiştir. Şekil 4.63'de gösterildiği üzere, V_{bara} , V_{Boost} , V_{bd} ve V_{evirici} değerlerinin birbirine eşit ve 400 V DA olarak ölçülmüştür. Aynı zamanda I_{bd} ve I_{Boost} toplamı I_{evirici} eşittir.



Şekil 4. 63. Durum IV için (a) $V_{evirici}$ - $I_{evirici}$, (b) I_{Boost} - $I_{evirici}$ - I_{bd} , (c) V_{bd} - I_{bd} ve (d) V_{Boost} - I_{Boost} .

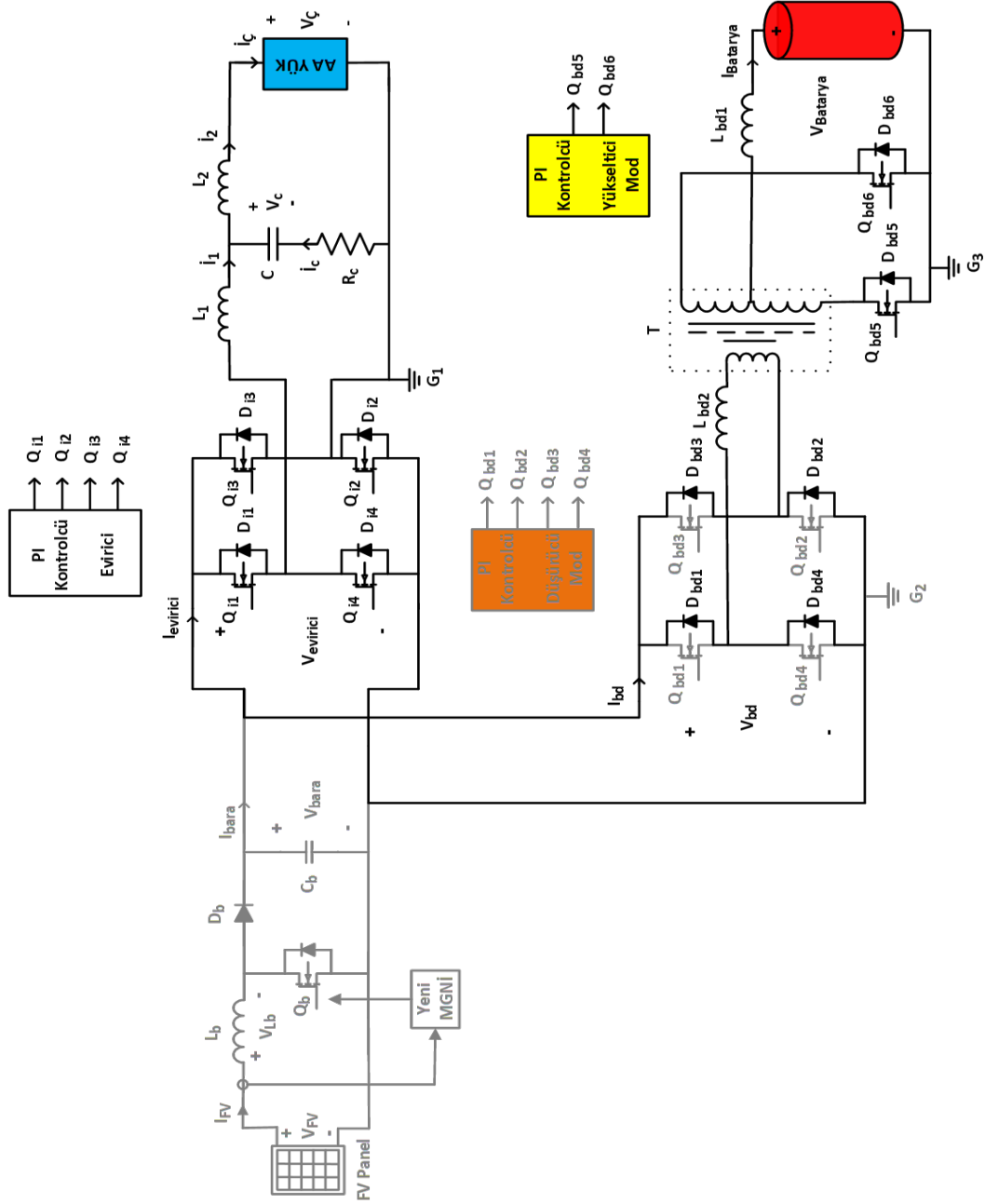
Durum IV için eviricinin çıkış akım ve gerilimini değerleri ve gerilim THB'si Şekil 4.64' de verilmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında akımın THB'si ve gerilimin THB'si birbirine eşit olduğu için sadece gerilimin THB'si verilmiştir.



Şekil 4.64. Durum IV için (a) V_C - I_C , (b) THB, (c) V_C - V_C rms ve (d) I_C - I_C rms değerleri.

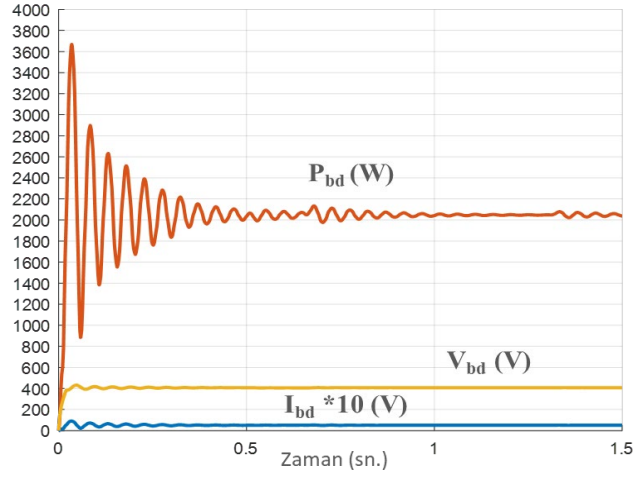
4.1.5.5. Durum V için benzetim sonuçları

Önerilen sistemde FV paneller üzerine düşen ışıınım miktarının çok düşük olmasından dolayı 2 kW'lık AA yükün sadece şarjı %20 üstünde olan batarya grubunu tarafından beslendiği süreç Durum V olarak belirlenmiştir. Durum V, havanın aşırı bulutlu olmasından veya güneşin batmış olması halinde batarya grubunun yeterince dolu olduğunda geçerli olur. Önerilen sistem Durum V'de iken S_1 ve S_4 anahtarı kesimde diğer anahtarlar iletimde olur. Düşürücü mod için kullanılan PI kontrolcü ve G_2 pasiftir (Şekil 4.65).

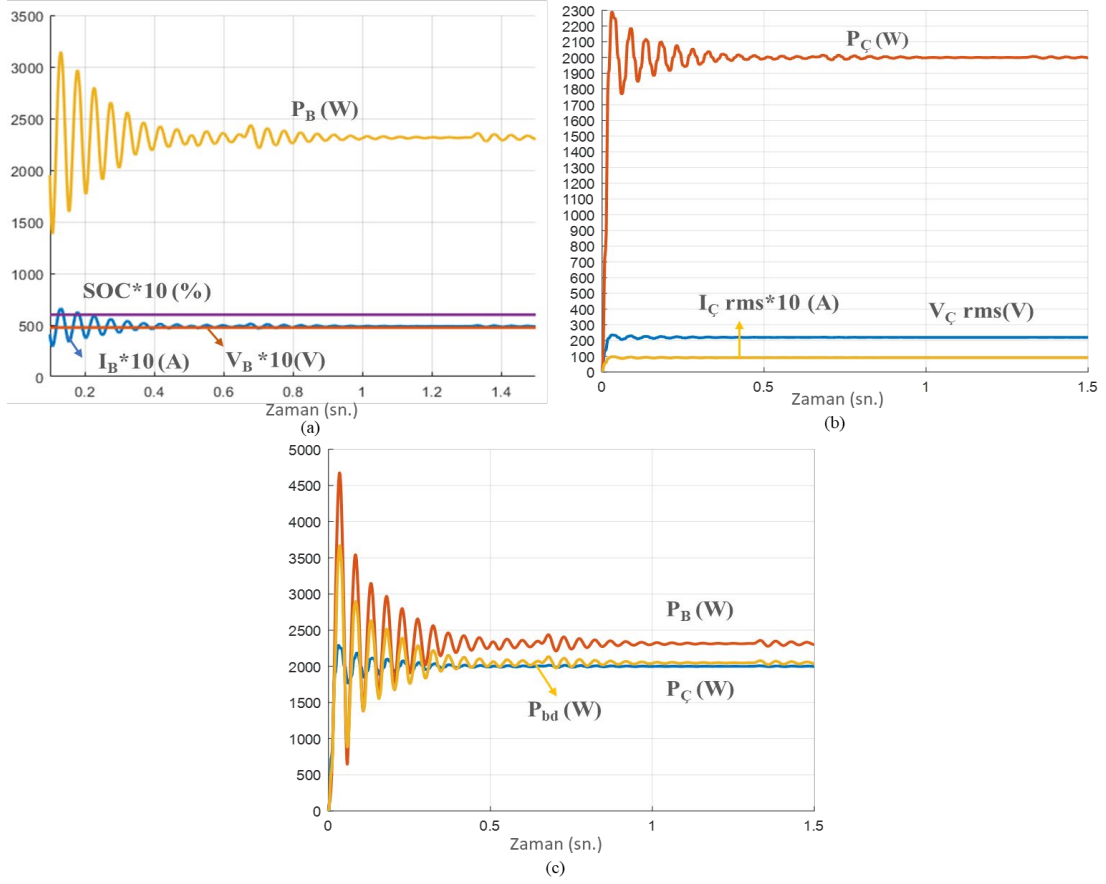


Şekil 4.65. Durum V için devre şeması.

Q_{bd5} ve Q_{bd6} anahtarlama elemanları ve D_{bd5} ve D_{bd6} diyotları aktif durumdadır. İzoleli tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücünün yükseltici olarak çalışabilmesi için Q_{bd1} , Q_{bd2} , Q_{bd3} ve Q_{bd4} anahtarlama elemanlarının pasif ve devrenin kendini tamamlayabilmesi için D_{bd1} , D_{bd2} , D_{bd3} ve D_{bd4} diyotları aktiftir.



Şekil 4.66. Durum V için V_{bd} , I_{bd} ve P_{bd} değerleri.

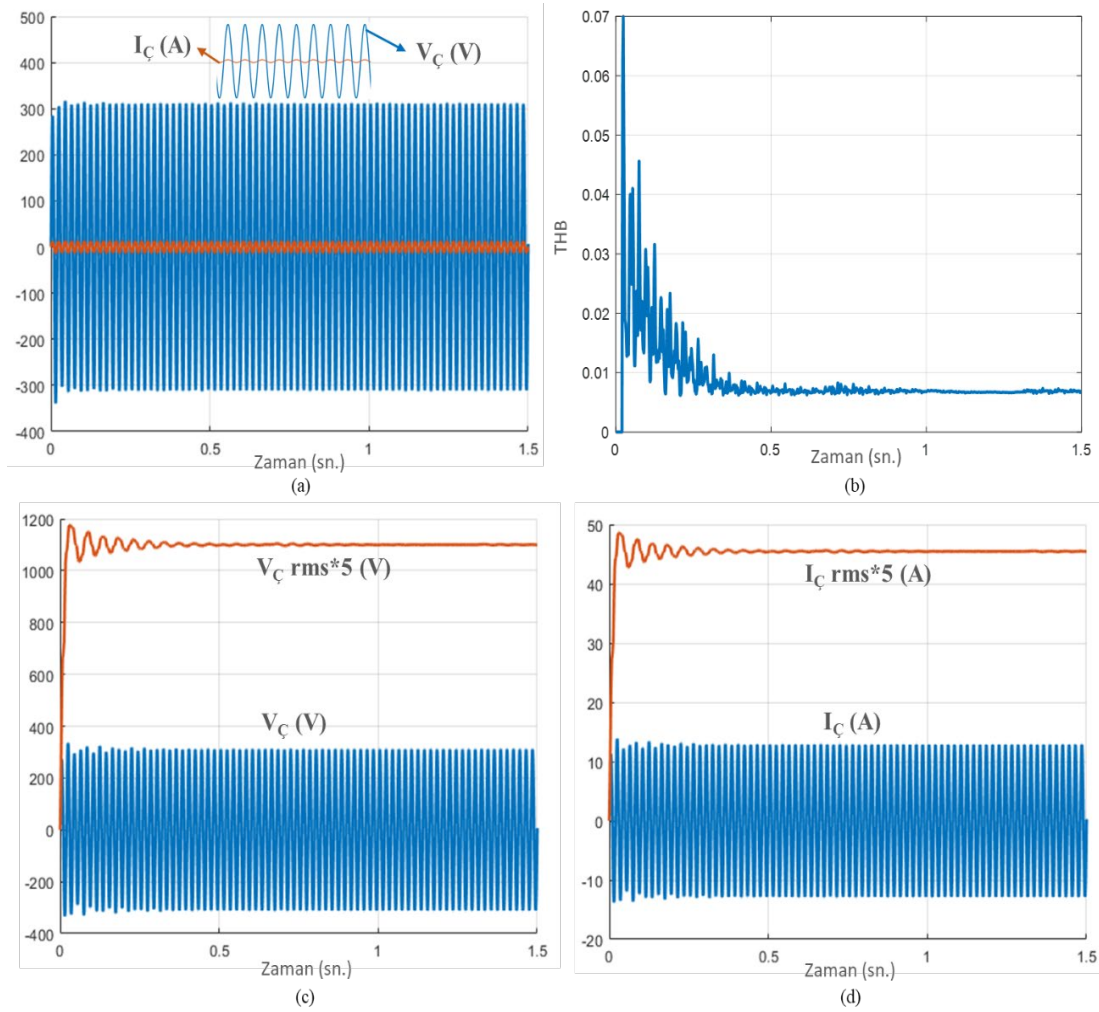


Şekil 4.67. Durum V için (a) batarya grubu ve (b) eviricinin çıkış değerleri.

Batarya grubu %60 oranında doluyken 220 V_{rms} gerilim değerine sahip 2000 W'lık bir AA yükü beslemiştir. Önerilen sistem Durum V'de çalıştırıldığında V_{bara} , $V_{evirici}$ ve V_{bd} ; I_{bd} ve $I_{evirici}$; P_{bd} ve eviricinin giriş güç ($P_{evirici}$) değerleri birbirine eşit olduğu için

sadece izoleli tam köprü çift yönlü (bidirectional) DA/DA dönüştürücünün çıkış değerleri verilmiştir (Şekil 4.66). Batarya grubunun sahip olduğu, eviricinin çıkışında elde edilen ve P_B - P_{bd} - P_o sahip olduğu değerler Şekil 4.67’de verilmiştir.

Durum V için eviricinin çıkış akım ve geriliminin değerleri ve gerilim THB’si Şekil 4.68’ de verilmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında akımın THB’si ve gerilimin THB’si birbirine eşit olduğu için sadece gerilimin THB’si verilmiştir.



Şekil 4.68. Durum V için (a) V_C - I_C , (b) THB, (c) V_C - V_C rms ve (d) I_C - I_C rms değerleri.

4.1.5.6. Durum VI

Detaylı bir şekilde analizleri yapılan beş durumun dışında kalan istenmeyen veya öngörülemeyen durumlar için tüm sistemde oluşabilecek zararı en aza indirmek için önerilen tüm sistemde S_1 , S_2 , S_3 , S_4 ve S_5 anahtarları kesimdedir ve bu süreç Durum VI

olarak tanımlanmıştır. Bu durumda önerilen tüm sistemdeki devreler pasif edildikten birbirinden bağımsız hale getirilmiştir.

4.1.5.7. Önerilen tüm sistemin güç kontrolü (power management) için benzetim çalışması ve sonuçları

Önceki bölümde altı durum için tüm sistemin benzetim çalışmaları bağımsız olarak yapılmıştır ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Alınan bu olumlu sonuçlar göz önünde bulundurularak önerilen tüm sistem için altı durumun bir arada çalıştırılabilmesi için güç kontrolüne (power management) ihtiyaç vardır. Şekil 3.37’de verilen sistemin güç kontrolü için aşağıda verilen senaryolar dikkate alınarak benzetim çalışmaları yapılmıştır.

I. 0-1 zaman aralığında; FV paneller, 25 °C’de 1000 W/m² ışıнімda iken 1 kW’lık batarya grubunu ve 1.9 kW AA yükünü beslemektedir.

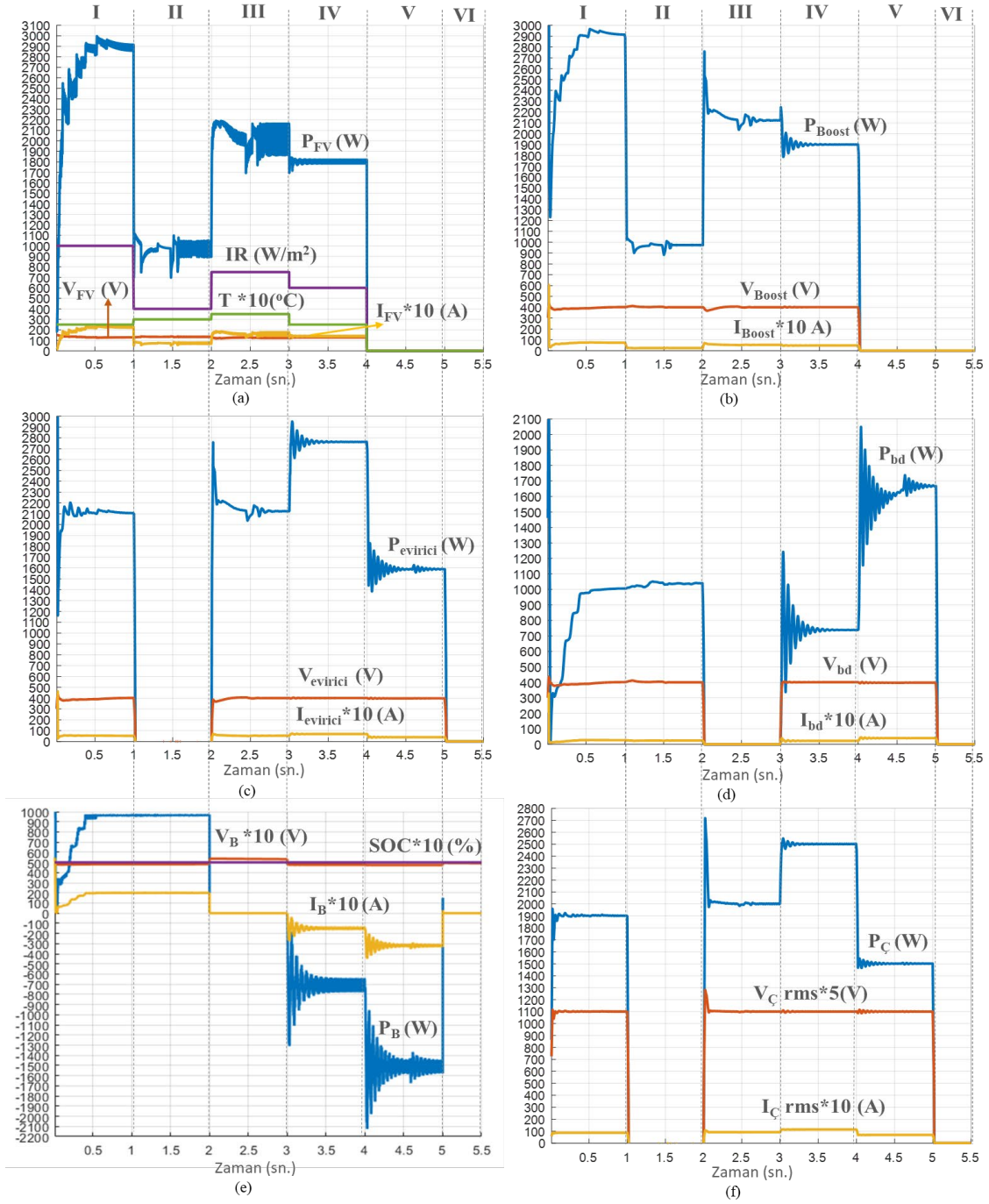
II. 1-2 zaman aralığında; FV paneller, 30 °C’de 400 W/m² ışınímda iken 1 kW’lık batarya grubunu beslemiştir.

III. 2-3 zaman aralığında; FV paneller, 35 °C’de 750 W/m² ışınímda iken 2 kW’lık AA yükü beslemiştir.

IV. 3-4 zaman aralığında; 25 °C’de 600 W/m² ışınímda olan FV paneller ve batarya grubu beraber 2.5 kW’lık AA yükü beslemiştir.

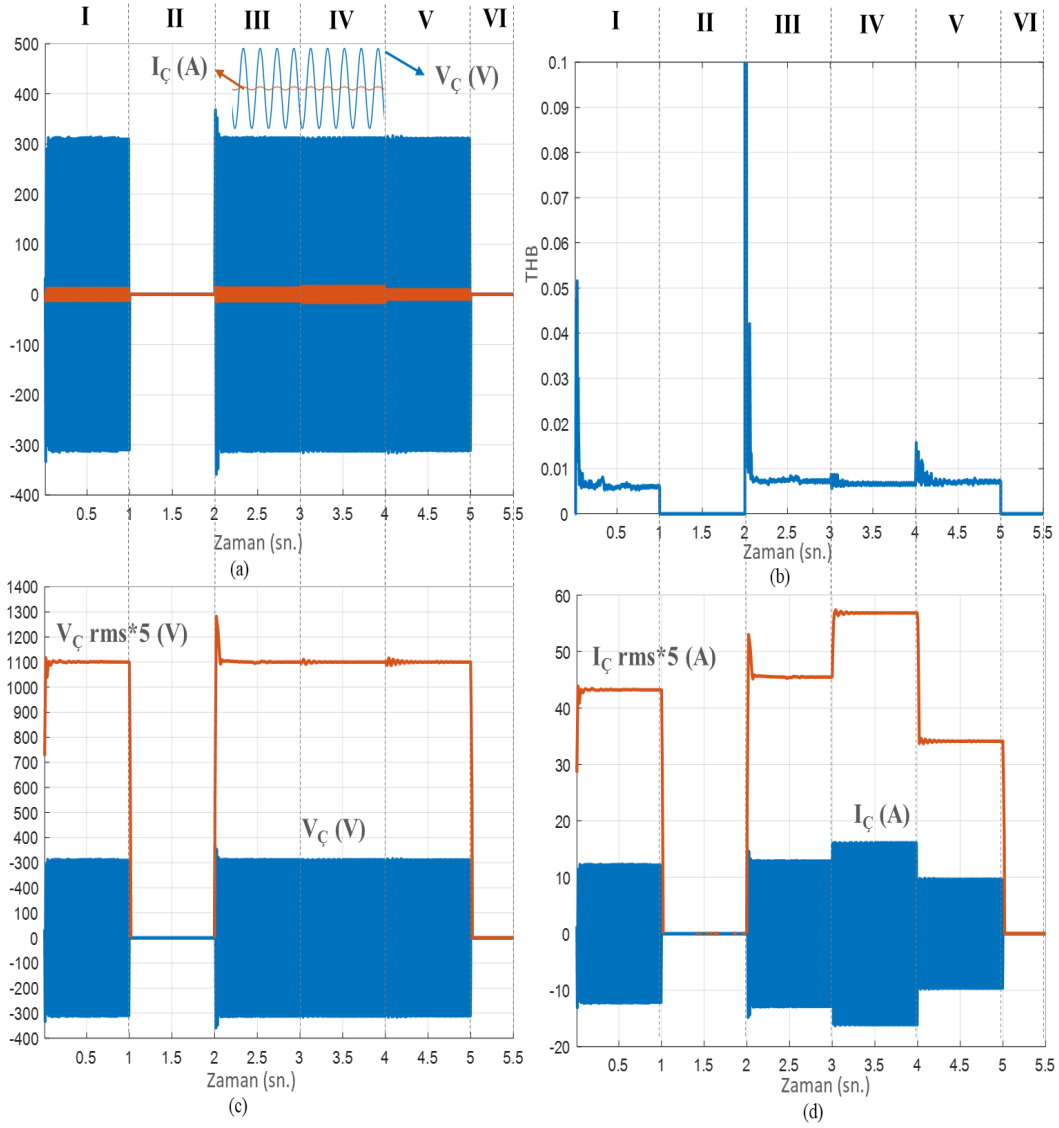
V. 4-5 zaman aralığında; Batarya grubu 1.5 kW’lık AA yükü beslemiştir.

VI. 5-5.5 zaman aralığında; Herhangi bir güç akışı olmamıştır.



Şekil 4.69. Önerilen tüm sistem için (a) FV, (b) yükseltici, (c) evirici, (d) çift yönlü dönüştürücü, (e) batarya grubu ve (f) eviricinin benzetim sonuçları.

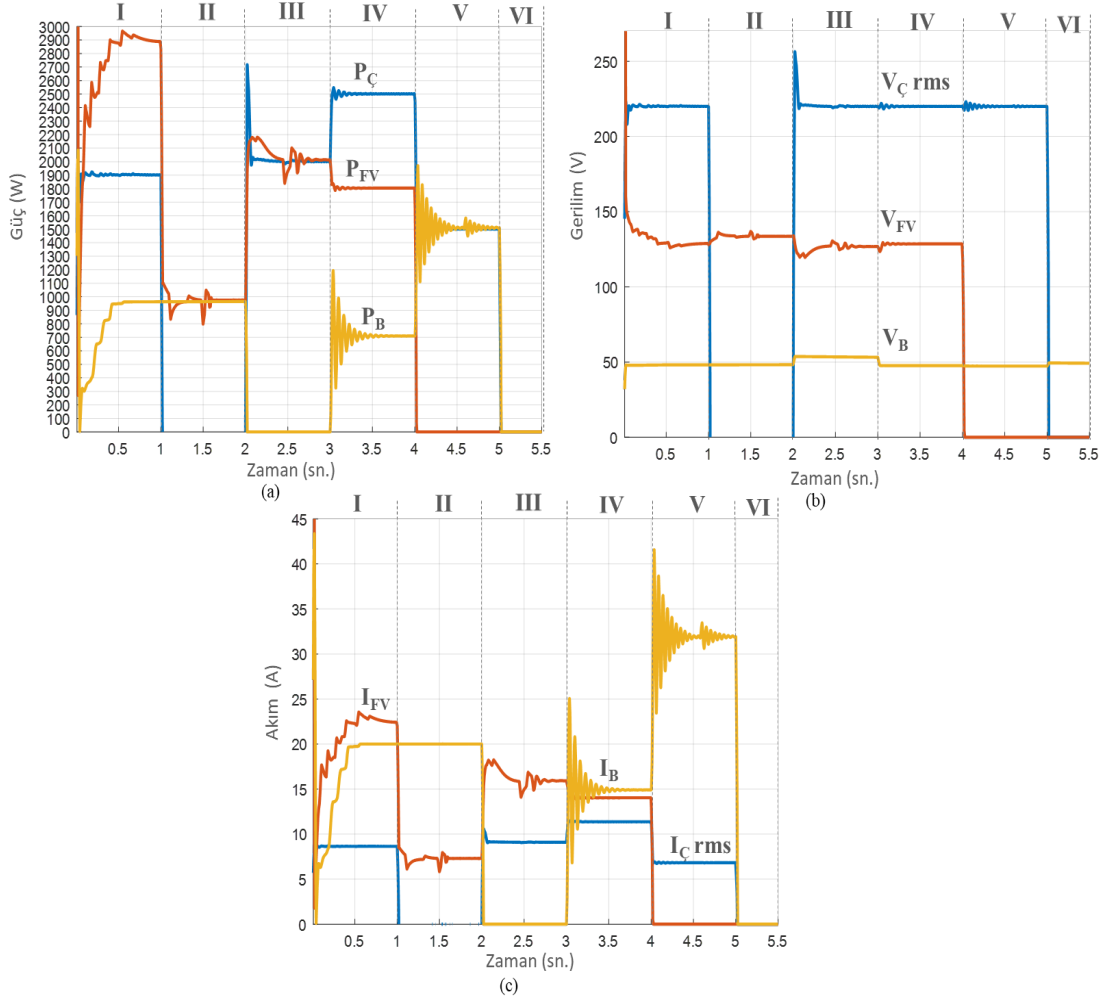
Belirlenen senaryoya göre hazırlanan benzetim çalışmasında güç yönetimi gerçekleştirilmiştir. Tüm sistem için yeni MGNİ kontrol yönteminin uygulandığı FV paneller, yükseltici, evirici, çift yönlü dönüştürücü, batarya grubu ve eviricinin benzetim sonuçları Şekil 4.69’da verilmiştir.



Şekil 4.70. Önerilen tüm sistem için (a) V_o - I_o , (b) THB, (c) V_o - V_o rms ve (d) I_o - I_o rms.

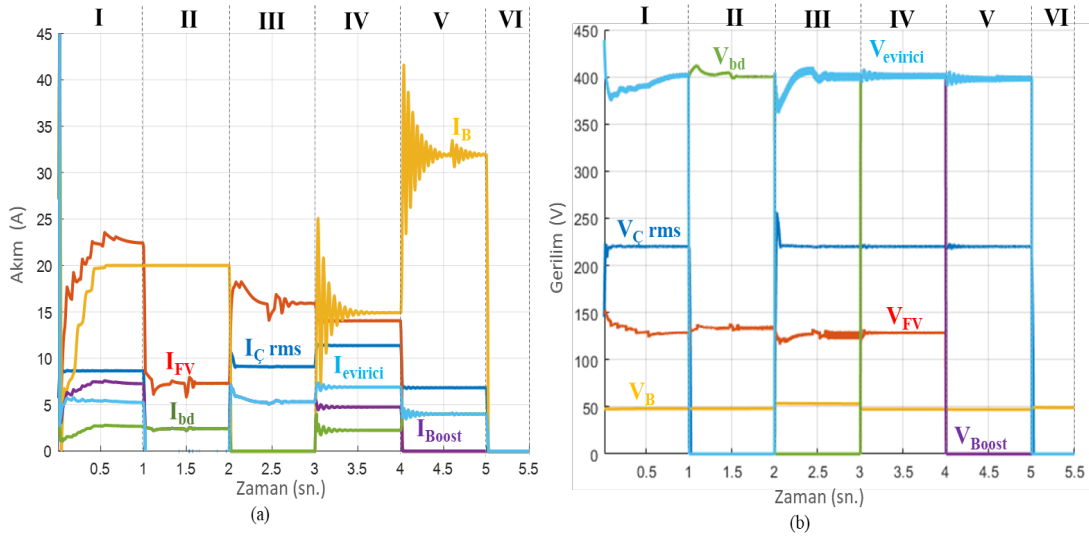
Önerilen tüm sistem belirlenen senaryoya göre çalıştırıldığında eviricinin çıkış akım ve gerilim değerleri ve gerilimin THB'si Şekil 4.70' de verilmiştir.

FV panelim çıkışında yeni MGNİ kontrolcü sayesinde elde edilen güç, gerilim, akım, batarya grubunun sahip olduğu, eviricinin çıkışında elde edilen değerler için benzetim sonuçları Şekil 4.71'de verilmiştir.



Şekil 4.71. Önerilen tüm sistem için (a) P_{FV} - P_C - P_B , (b) V_{FV} - V_C rms- V_B ve (c) I_{FV} - I_C rms- I_B .

Önerilen tüm sistem için I_{FV} - I_C rms- I_B - I_{Boost} - I_{bd} - $I_{evirici}$ ve V_{FV} - V_C rms- V_B - V_{Boost} - V_{bd} - $V_{evirici}$ benzetim sonuçları Şekil 4.72’de verilmiştir



Şekil 4.72. Önerilen tüm sistem için (a) I_{FV} - $I_C\ rms$ - I_B - I_{Boost} - I_{Bd} - $I_{evirici}$ ve (b) V_{FV} - $V_C\ rms$ - V_B - V_{Boost} - V_{Bd} - $V_{evirici}$ benzetim sonuçları.

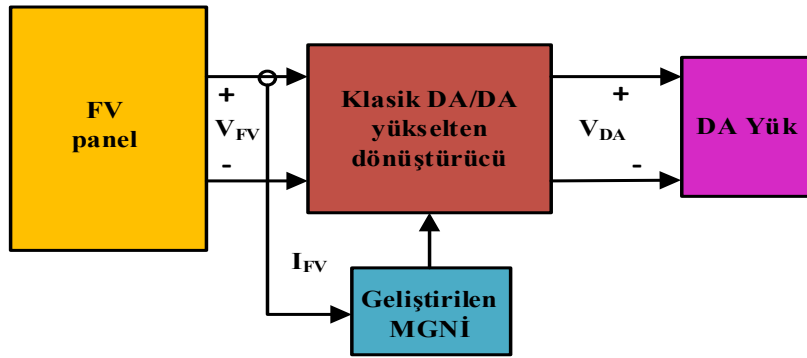
Bu bölümde benzetim çalışmaları yapılan tüm sistemde özellikle batarya grubunun yükü beslediği durumlarda batarya akımı (I_B) satürasyona girmiştir. Bunun başlıca nedeni izole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücüde izolasyonun sağlanabilmesi için kullanılan transformatörün gösterdiği endüktif etki ve batarya bağlama kapasitörünün kapasitif etkisinden dolayı batarya akımı satürasyona girip belli bir süre salınımlar yapmıştır. Kullanılan uygun kontrolcü ile bu süre azaltılmıştır.

4.2. DeneySEL Çalışmalar ve Sonuçlar

Geliştirilen gerilim örnekleme-siz yeni D&G MGNİ kontrol yöntemi, önerilen şebekeden bağımsız FV sisteme benzetim ortamında başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Bu bölümde; alınan olumlu benzetim sonuçları neticesinde deneysel çalışmaları için deney düzeneği kurulmuştur. Kurulan deney düzeneğinde öncelikle klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresinde giriş geriliminin örneklenmeden hesaplanabilmesi için deneysel çalışma yapılmıştır. Daha sonra tam köprü DA/AA evirici için deneysel çalışma yapılmıştır. Bu iki deneysel çalışmadan alınan olumlu sonuçların ışığında tüm sistem kurulan deneysel düzende çalıştırılmış ve sonuçları verilmiştir.

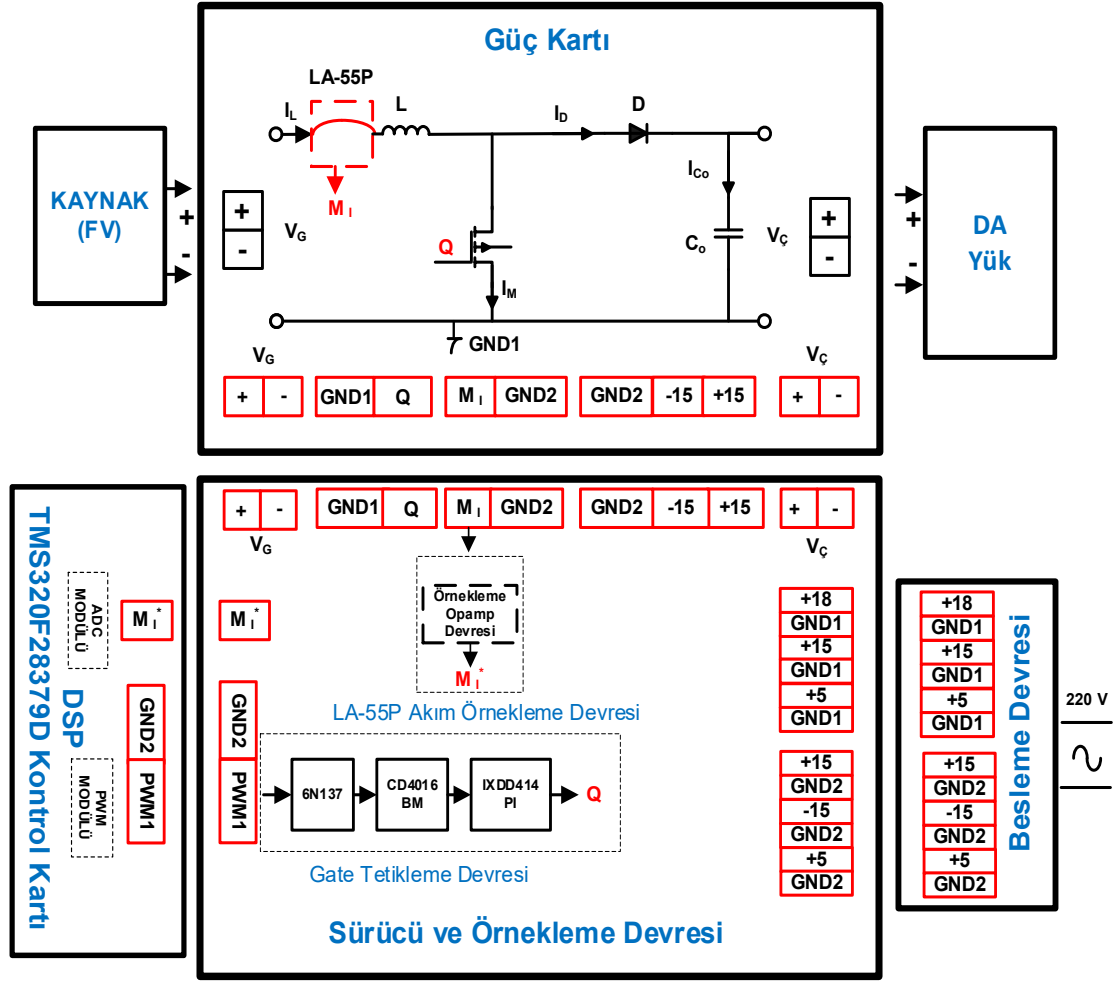
4.2.1. Klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresinde giriş geriliminin örneklenmeden hesaplanması için deneysel çalışma ve sonuçları

Öncelikle bu tez çalışmasının temeli teşkil eden gerilim örnekleme için yeni D&G MGNİ yöntemi istenilen DA bara (V_{DA}) geriliminin sağlanabilmesi için klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresine uygulanmıştır. Deney düzeneği Şekil 4.73’de verilen blok şeması göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur.



Şekil 4.73. Önerilen yöntem ve dönüştürücü için deney düzeneğinin blok şeması.

Deneysel çalışmada için kullanılan klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresinin güç kartı, DSP’ ye gerekli bilgileri ulaştıran ve DSP’den işlenmiş bilgilerle kontrolü sağlayan sürücü, örnekleme devresi, güç kartı ve örnekleme devresi üzerindeki elektronik malzemeler için gerekli olan enerjiyi sağlayan besleme devresi, yük ve kaynak arasındaki bilgi ve enerji akışının nasıl yapıldığı Şekil 4.74’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 74. Önerilen yöntem ve dönüştürücü için deney düzeneğinin çalışma şekli.

Bölüm 3.4.1’de klasik yükselten DA/DA dönüştürücünün giriş geriliminin nasıl hesaplandığı ile ilgili teorik olarak bilgiler verilmiştir. Daha sonra bu yöntem ile hesaplanan giriş gerilim değeri ile yeni bir D&G MGNİ algoritması geliştirilmiştir (Bkz. Bölüm 3.4.2). Örneklenmeden giriş geriliminin hesaplanabilmesi için tasarlanan MATLAB/Simulink bloğunun iç yapısı Şekil 3.16’da verilmiştir. Önerilen tüm sistem için benzetim sonuçları Bölüm 4.1’de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresinin deneysel olarak test edilebilmesi için öncelikle dönüştürücü devre kartı tasarlanmıştır ve uygun ebatlardaki bakır kartlara basımı yapılmıştır. DSP kartı dijital tabanlı olarak çalıştığı için önerilen dönüştürücüden alınan tüm analog değerlerin dijital hale getirilebilmesi ve aynı şekilde DSP kartından alınan dijital değerlerin önerilen devre için kullanılabilmesi için sürücü devresi tasarlanmıştır. Dönüştürücü, örnekleme ve sürücü devrelerinin üzerinde yer alan

bazı elektronik devre elemanlarının uygun gerilim değerleriyle beslenebilmeleri için farklı çıkış gerilim değerlerine sahip güç kaynağı da tasarlanmıştır.

Çizelge 4.5. Deney düzeneğindeki önerilen dönüştürücünün parametreleri

Parameterler	Değerleri
Çıkış gücü (P_C)	400 W
Giriş gerilimi (V_G)	65-120 V
Çıkış gerilimi (V_C)	200 V
Anahtarlama frekansı (f_s)	50 kHz
Endüktans (L)	500 mH
Kapasitör (C)	470 μ F
Anahtar elemanı (Q)	IRFP460
Diyot (D)	DSEI30-06A

Deney düzeneğinde kullanılan klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresinin parametreler Çizelge 4.5’de verilmiştir. Tasarlanan ve basılan devre kartlarıyla şekil 4.75’de verilen deney düzeneği kurulmuştur. Kurulan devre düzeneği için giriş kaynağı olarak SKYBASESOLAR markasına ait SK125*125-M-72-195W modelden üç adet FV panel kullanılmıştır.



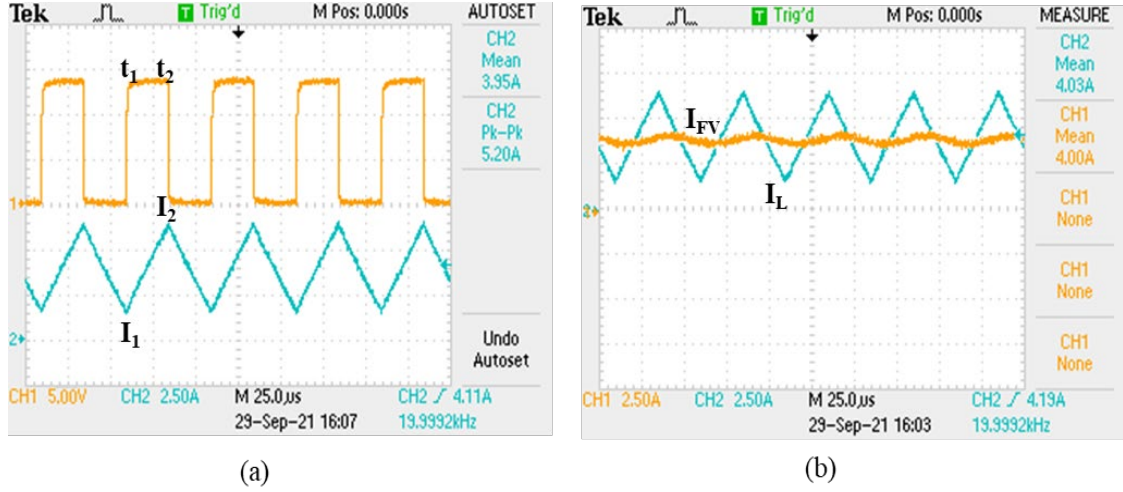
Şekil 4.75. Önerilen yöntem ve dönüştürücü için deney düzeneği.

Tasarlanan örnekleme bloğu ve geliştirilen yeni D&G MGNİ kontrol algoritması için MATLAB/Simulink benzetim ortamında yeni bir blok oluşturulmuştur. DSP kartı ve MATLAB programının iletişimi sağlanmıştır. İletişimi sağlandıktan sonra yeni blok derlenerek DSP kartının içine gömülmüştür. Böylece örneklenen devreden ölçülen endüktans akımı örnekleme devresinde dijital hale getirilip DSP kartına aktarılmıştır. DSP kartına gömülen yeni blok sayesinde giriş gerilimi hesaplanıp geliştirilen yeni D&G MGNİ bloğunda işlenerek DGM yöntemiyle uygun tetikleme sinyalleri üretilmiştir. Üretilen bu sinyaller dijital olarak işlem yapan DSP kartından alınarak analog olarak çalışan anahtarlama elemanlarına örnekleme devresinden geçerek tetikleme devresi üzerinden ulaştırılmıştır ve böylece bir kontrol çevrimi tamamlanmıştır. Bu kontrol çevriminin tekrarlanmasıyla önerilen yöntem kontrol ile önerilen devrenin kontrolü gerçekleştirilmiştir.

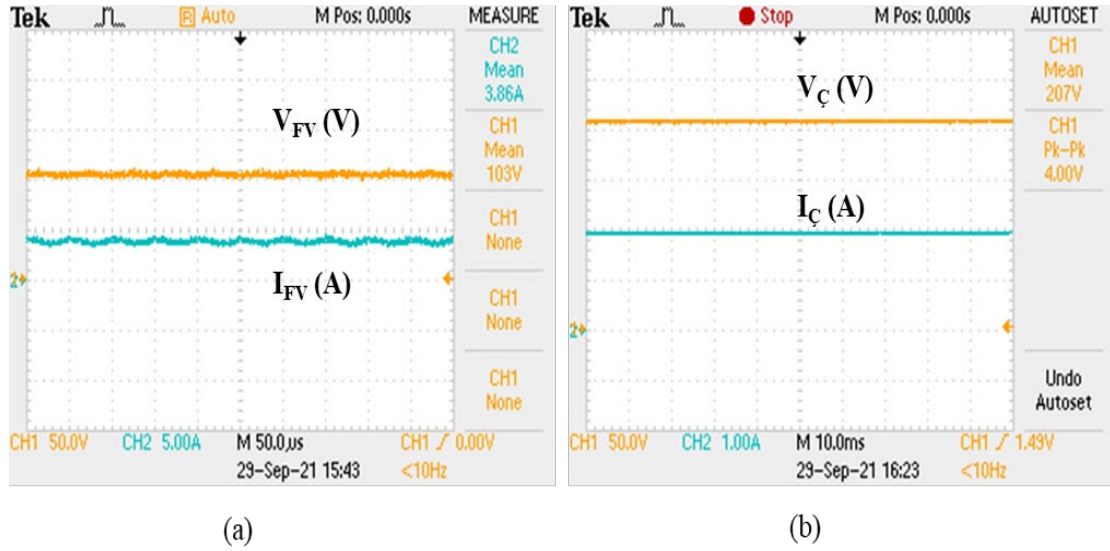
FV panellerin çıkışında ölçülen (V_{FV}) ve önerilen kontrol yöntemi için kullanılan örneklenmeden hesaplanan giriş gerilim ($V_{\text{hesaplanan}}$) değerleri osiloskop ekranında görüntülenememiştir. Çünkü, önerilen kontrol yönteminin uygulanabilmesi için çok fazla bilginin çok hızlı bir şekilde işlenebilmesi gerekmektedir ve bunların izlenebilmesi için çok yüksek hafızaya ya da veri derleyicilere ihtiyaç vardı. Ama önerilen kontrol yönteminin doğruluğunun kanıtlanabilmesi için her iki gerilimin karşılaştırılıp birbirleriyle olan uyumu gösterilmesi gerekmektedir. Bu durumun üstesinde gelinebilmesi için Code Composer Studio programı uygun ara bloklar sayesinde MATLAB/simulink programı ile iletişime sokulmuştur. Daha önce yeni blok için elde edilen uygun kodlar Code Composer'a aktarılmıştır. Code Composer programında kullanılan bazı arayüzler sayesinde V_{FV} ve $V_{\text{hesaplanan}}$ hem sayısal hem de görsel olarak gözlemlenebilmiştir (Şekil 4.76).

Önerilen kontrol yöntemi, Şekil 4.76’da kırmızı renkle gösterilen $V_{\text{hesaplanan}}$ gerilim değeri kullanılarak önerilen dönüştürücü devresine uygulanmıştır. Burada mavi renkle belirtilen V_{FV} gerilim değeri, giriş gerilim (V_{FV}) değerinin örneklenmeden sadece endüktans üzerindeki akım değerinden elde edildiği ve $V_{\text{hesaplanan}}$ gerilim değeriyle neredeyse eşit olduğunu göstermek için kullanılmıştır.

Gerilim örnekleme süreci için gerekli olan deneysel veriler Şekil 4.77(a)'da verilmiştir. Endüktans (I_L) ve FV (I_{FV}) akımları Şekil 4.77(b)'de gösterilmiştir.

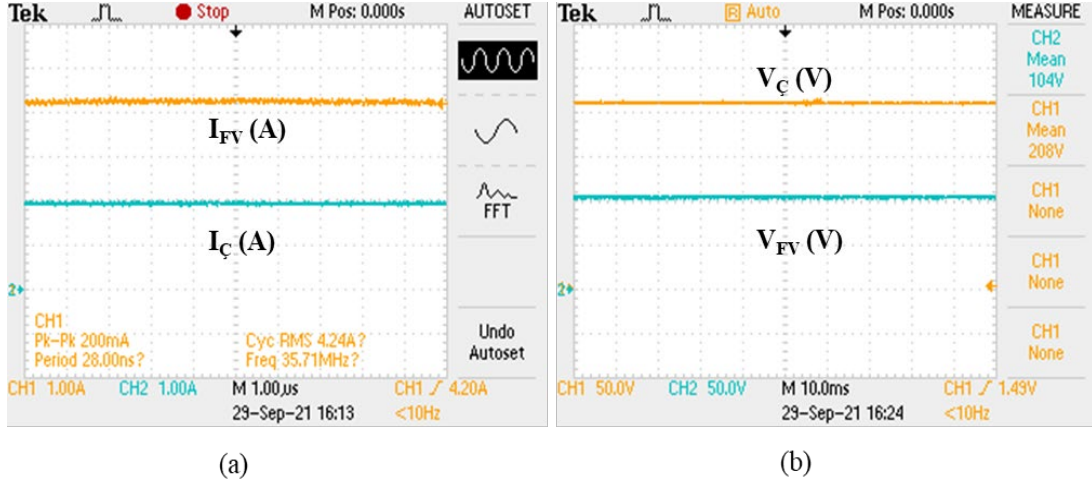


Şekil 4.77. Önerilen yöntem ve dönüştürücü için (a) görev çarpanı (d) ve I_L , (b) I_L ve I_{FV} .



Şekil 4.78. Önerilen yöntem ve dönüştürücü için (a) V_{FV} ve I_{FV} , (b) V_C ve I_C .

Deney düzeneğinde kullanılan dönüştürücü için giriş gerilimi (V_{FV}) ve akımı (I_{FV}) Şekil 4.78(a)'da gösterilmiştir. Şekil 4.78(b)'de ise dönüştürücünün çıkış gerilimi (V_C) ve akımı (I_C) verilmiştir. Giriş-çıkış akımları ve gerilimleri Şekil 4.79'da verilmiştir.

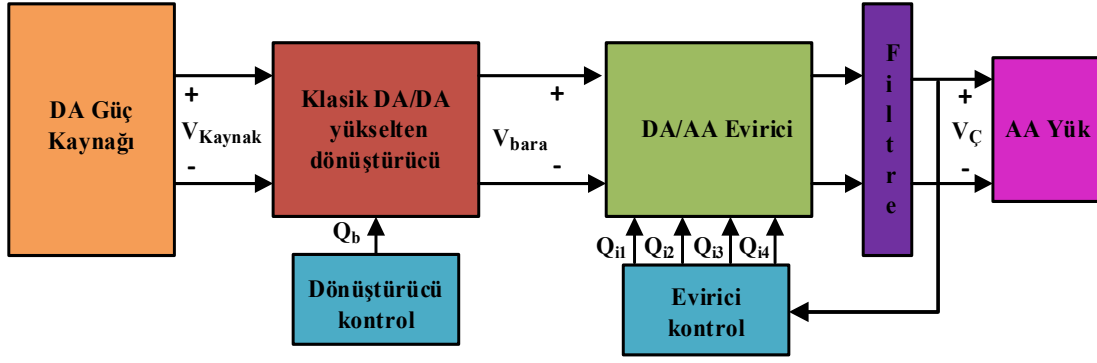


Şekil 4.79. Önerilen yöntem ve dönüştürücü için (a) I_{FV} ve I_C , (b) V_{FV} ve V_C .

Böylece tezin esas kısmını oluşturan gerilim örneklemesiz yeni D&G MGNİ yöntemi başarılı bir şekilde hem benzetim ortamında hem de deneysel olarak klasik yükselten DA/DA dönüştürücüye uygulanmıştır. Deneysel çalışmalarda FV paneli taklit edebilen bir kaynağımız olmadığı için güneşin doğal hareketine ve ışınımına bağlı kalarak değişken değerler sunan SK125*125-M-72-195W model FV paneller kaynak olarak kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan sinyallerin görüntülenebilmesi ve kaydedilebilmesi için laboratuvarında mevcut bulunan iki kanallı osiloskop kullanılmıştır. Bu sebeplerden ötürü alınan anlık değerler aynı olmayabilir ama hepsi birbiriyle uyumludur.

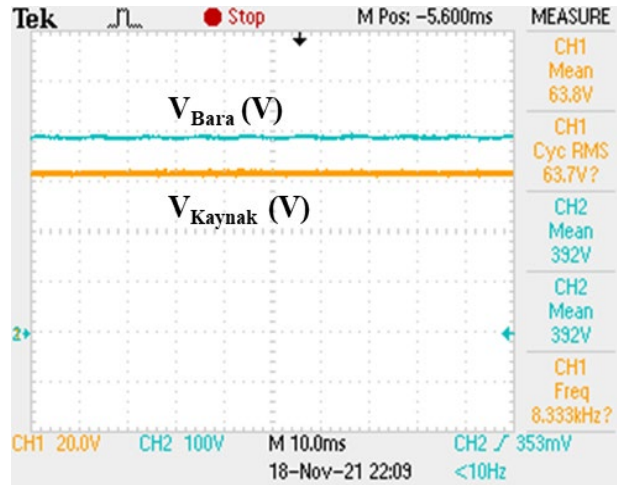
4.2.2. Tam köprü DA/AA evirici için deneysel çalışma ve sonuçları

Bölüm 3.5’de verilen tam köprü DA/AA evirici için uygun filtre tasarımı Bölüm 3.6’da yapılmıştır. Tasarlanan filtrenin parametreleri ve değerleri Çizelge 3.4’de verilmiştir. Tasarlanan tam köprü DA/AA evirici devresi ve filtre için farklı koşullarda benzetim çalışmaları Bölüm 4.1.3’de yapılmıştır. Alınan benzetim sonuçları istenilen düzeyde olması aynı devre ve filtrenin deneysel çalışmaları için motivasyon olmuştur. Bu bölümde tam köprü DA/AA evirici için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Önerilen evirici için 400 V DA giriş geriliminin sağlanabilmesi için bir DA güç kaynağının çıkışına klasik yükselten DA/DA dönüştürücü devresi bağlanmıştır. Önerilen devre düzeneği Şekil 4.80’de tasvir edilmiştir.



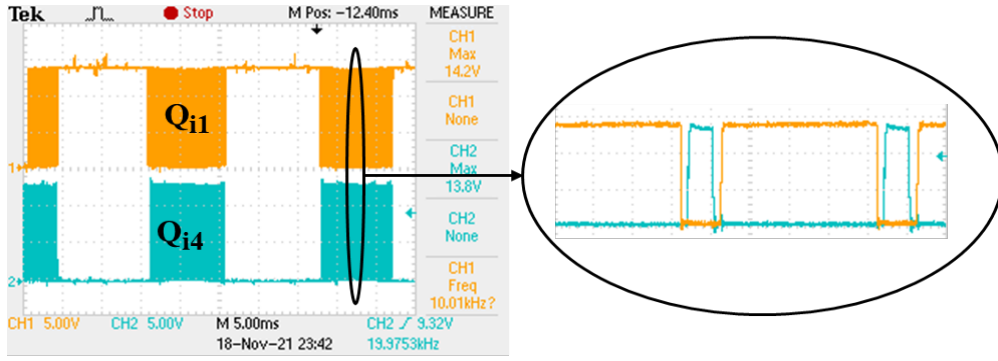
Şekil 4.80. Önerilen evirici için deney düzeneğinin blok şeması.

Şekil 4.80’de görüldüğü üzere laboratuvarında istenilen bara gerilimini verebilen DA güç kaynağı mevcut olmadığı için eldeki düşük gerilim ve akım değerlerine sahip DA güç kaynağı kullanılmıştır. Bu DA kaynağın çıkış gerilimi (V_{Kaynak}) istenilen DA bara gerilimine (V_{bara}) Şekil 4.81’de verildiği gibi yükseltilmiştir.

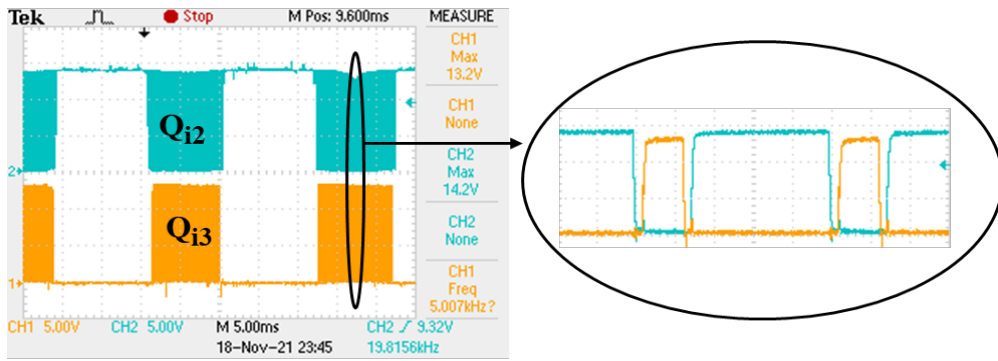


Şekil 4.81. V_{bara} ve V_{Kaynak} .

İstenilen gerilim değerine getirilen bara gerilimi önerilen evirici, uygun kontrol yöntemi filtre kullanılarak istenilen AA gerilim değeri olarak elde edilmiştir. Eviricinin anahtarlama elemanları kontrolcünden gelen uygun tetiklerle kontrol edilmiştir. Eviricinin kontrolü için Bölüm 4.1.3’de verilen kontrol yöntemi kullanılmıştır. Önerilen eviricinin tetik sinyalleri Şekil 4.82’de verilmiştir.



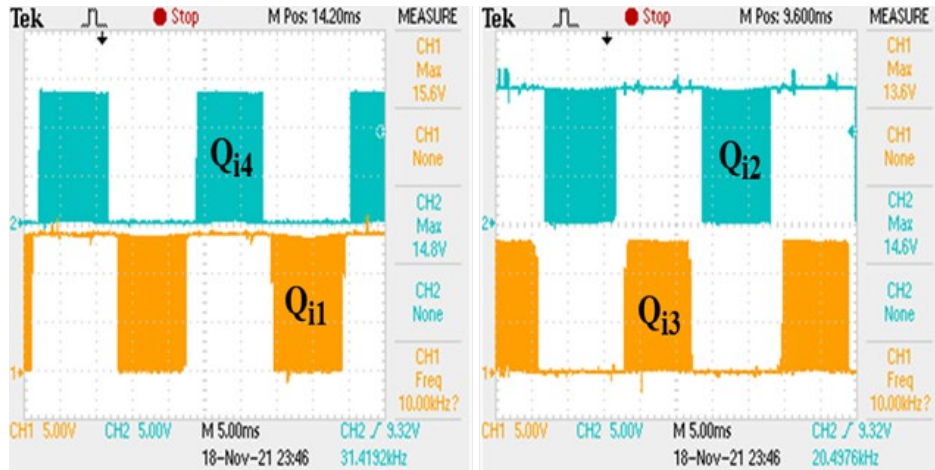
(a)



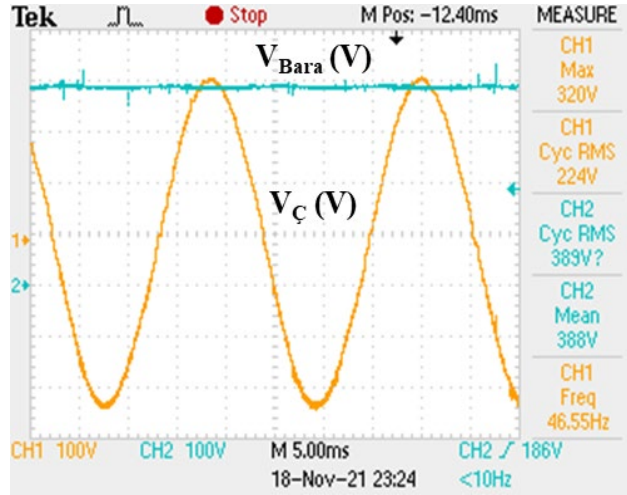
(b)

Şekil 4.82. Önerilen evirici için tetik sinyalleri.

Eviricinin doğru çalışabilmesi için aynı koldaki anahtarlama elemanlarının 180° faz farkı ile tetiklenmiştir (Şekil 4.83).

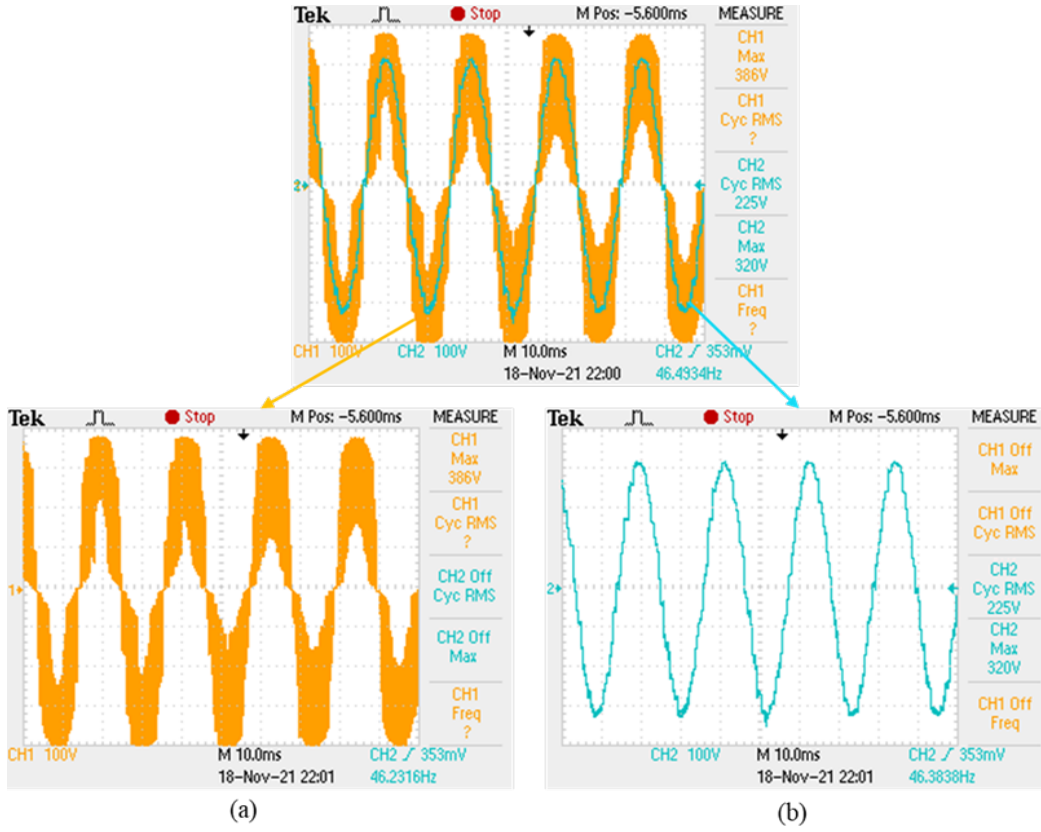
Şekil 4.83. Önerilen evirici için 180° faz farkına sahip tetikleme sinyalleri.

Şekil 4.81’de görüleceği üzere istenilen gerilim değerine getirilen bara gerilimi, uygun kontrol yöntemi ile üretilen ve Şekil 4.82’de verilen tetik sinyalleri ile önerilen evirici çalıştırılmıştır. Elde edilen çıkış gerilimi tasarımı yapılan LCL tip pasif filtre sayesinde istenilen AA gerilim değeri olarak elde edilmiştir. V_{bara} ve V_o Şekil 4.84’de verilmiştir.



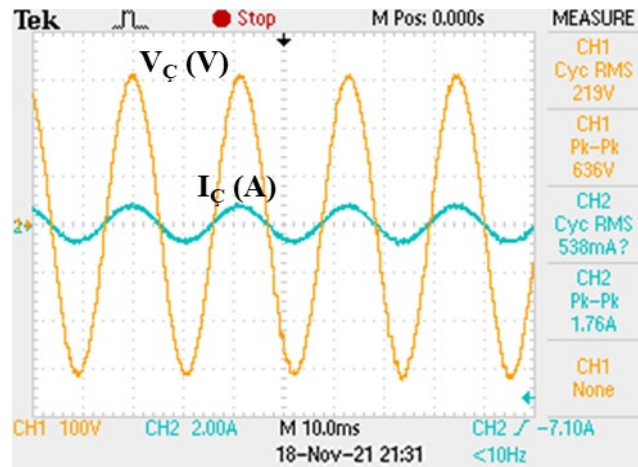
Şekil 4.84. Önerilen evirici için V_{Bara} ve V_C .

Önerilen eviricinin çıkışında elde edilen filtrelenmemiş ve LCL tip pasif filtre kullanılarak elde edilen filtrelenmiş çıkış gerilimleri Şekil 4.85’de verilmiştir.



Şekil 4.85. Önerilen evirici için (a) filtelenmemiş ve (b) filtelenmiş V_C .

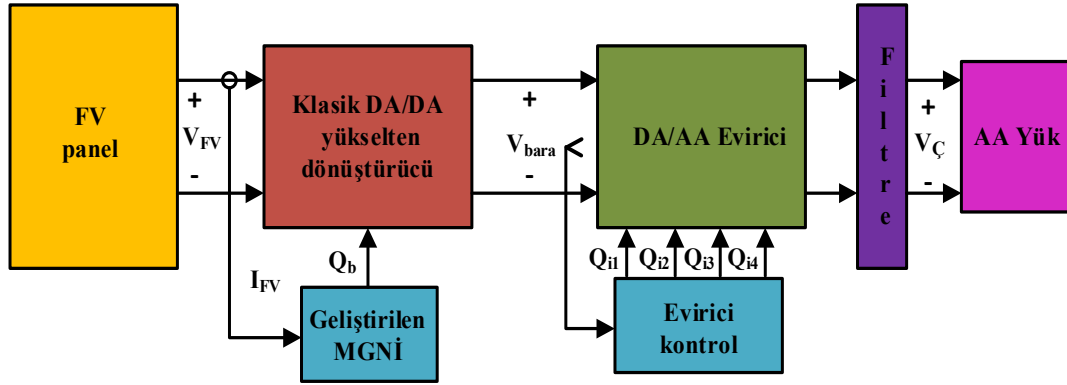
Yukarıda anlatılan süreç sonunda elde edilen çıkış gerilimi ve bu gerilime bağlı olarak yük üzerinden akan akım Şekil 4.86’da gösterilmiştir.



Şekil 4. 86. Önerilen eviricinin çıkış gerilimi (V_O) ve akımı (I_O).

4.2.3. Önerilen tüm sistem için deneysel çalışma ve sonuçları

Önerilen tüm sistem hem benzetim ortamında hem de deney setinde bağımsız olarak çalıştırılmıştır. Elde edilen olumlu veriler ışığında tüm sistem yaklaşık 400 W'lık bir yük için deneysel olarak çalıştırılmıştır. Önerilen tüm sistem için deney düzeneğinin blok şeması Şekil 4.87'de verilmiştir. Bu bölümde yapılan tüm çalışmalarda kullanılan SK125*125-M-72-195W model paneller gerçek çevre koşullarında tamamen güneş enerjisine bağlı olarak çalıştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen gerilim, akım ve güç değerleri anlık olarak değişiklik göstermiştir.



Şekil 4. 87. Önerilen tüm sistem için deney düzeneğinin blok şeması.

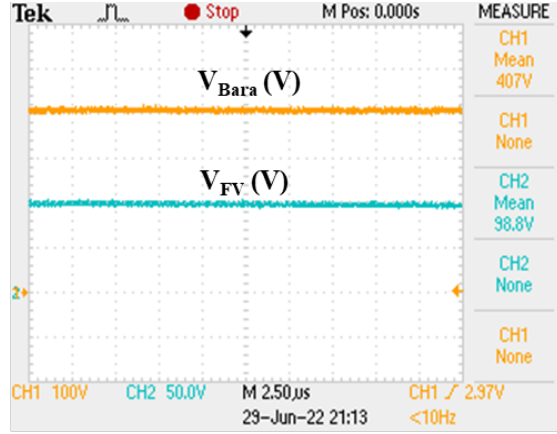
Önerilen tüm sistemde öncelikle FV panellerden anlık olarak alınan I_{FV} akımı ile V_{FV} gerilimi örneklenmeden önerilen yöntem ile hesaplanmıştır. Hesaplanan bu V_{FV} gerilimi sayesinde gerilim örnekleme için gerekli olan devre elemanının kullanımı ortadan kaldırılmıştır. Bu gerilim sayesinde klasik D&G MGNİ algoritması revize edilmiştir. Ayrıca değişen giriş ve çıkış güçlerinin değişiminden bağımsız olarak barada yaklaşık 400 V'luk bir gerilimin sağlanabilmesi için PI kontrolcü ve revize edilen klasik D&G MGNİ kontrol yöntemi birlikte kullanılmıştır. Böylece geliştirilen yeni D&G MGNİ kontrol yöntemi elde edilmiştir. Geliştirilen yeni D&G MGNİ kontrol algoritmasında işlenerek barada yaklaşık 400 V bir gerilim elde edilebilmesi için gerekli olan kontrol sinyali (Q_b) üretilmiştir. Yaklaşık 400 V'luk V_{bara} gerilimi Q_{i1} , Q_{i2} , Q_{i3} ve Q_{i4} kontrol sinyalleri ile kontrol edilen DA/AA evirici ve LCL tip pasif filtre sayesinde yaklaşık etkin 220 V'luk V_O gerilimi elde edilmiştir. Süreci özet olarak anlatılan tüm

sistemin üç adet SK125*125-M-72-195W model FV panel ile kurulan deneysel düzeneği Şekil 4.88’ de verilmiştir.

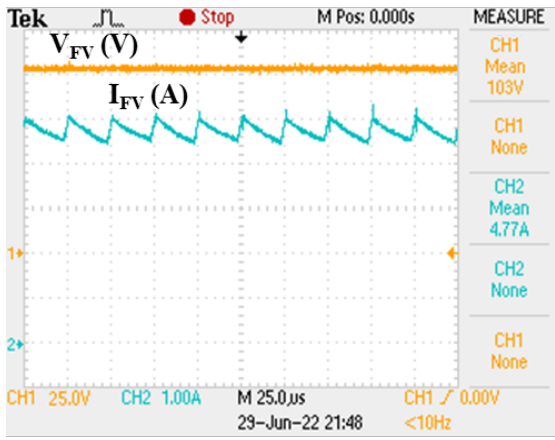


Şekil 4. 88. Önerilen tüm sistemin deney düzeneği.

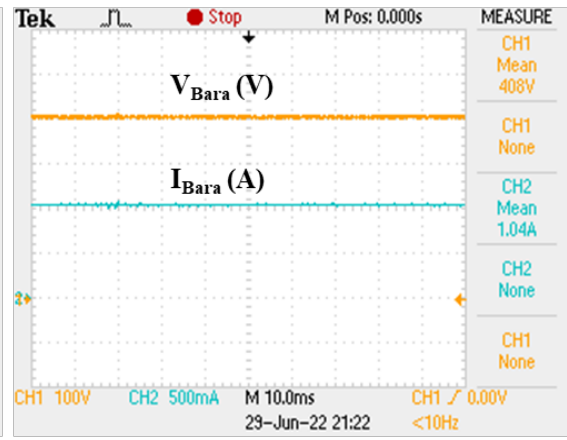
Önerilen kontrol yöntemi ile kontrol edilen klasik yükselten DA/DA dönüştürücünün girişine uygulanan I_{FV} - V_{FV} , çıkışındaki I_{bara} - V_{bara} ve V_{FV} - V_{bara} değerleri Şekil 4.89’da verilmiştir. Şekil 4.89’da verilen deneysel sonuçlardan da görüleceği üzere yaklaşık 490 W’lık güce sahip FV panellerden alınan yaklaşık 100 V’luk V_{FV} gerilim değeri önerilen kontrol yöntemi ile yaklaşık 400 V’luk V_{bara} gerilim değerine yükseltilmiştir.



(a)



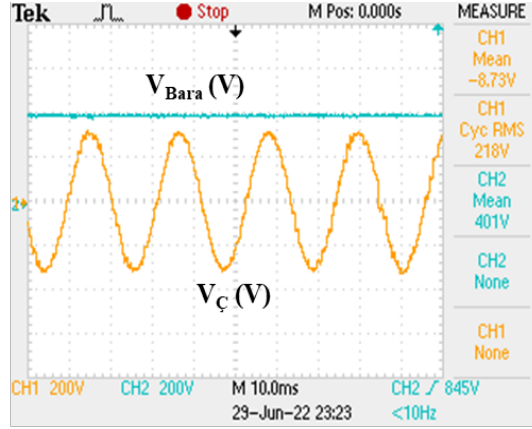
(b)



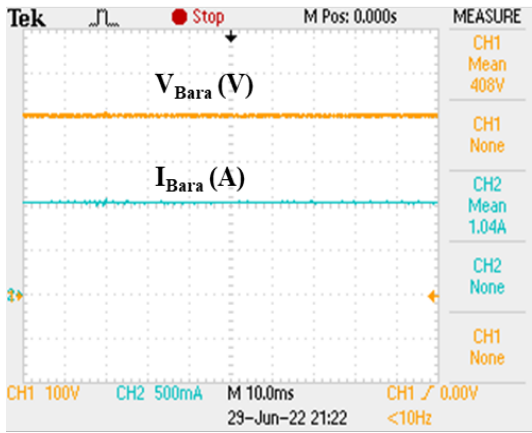
(c)

Şekil 4. 89. Önerilen tüm sistem için a) V_{FV} - V_{bara} (b) I_{FV} - V_{FV} ve c) I_{bara} - V_{bara} .

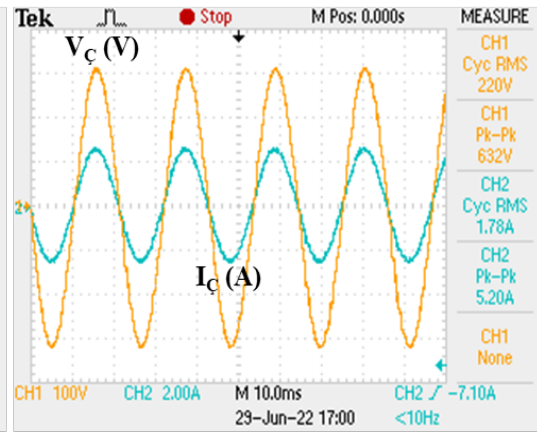
Önerilen kontrol yöntemi ile elde edilen yaklaşık 400 V'luk bara gerilimi kullanılan tam köprü DA/AA evirici, eviriciye uygulanan kontrol yöntemi ve filtre sayesinde çıkışta istenilen AA gerilim ve akım değerleri elde edilmiştir. Önerilen yaklaşık 400W'lık tüm sistem için klasik DA/DA yükselten dönüştürücüye uygulanan önerilen kontrol yöntemi ile elde edilen yaklaşık 400 V'luk V_{bara} DA gerilim değeri önerilen DA/AA evirici ile yaklaşık etkin 220 V'luk V_o AA gerilime dönüştürülmüştür (Şekil 4.90 (a)). Yük üzerindeki AA gerilim ve akım değerleri Şekil 4.90(c)'de gösterilmiştir.



(a)



(b)



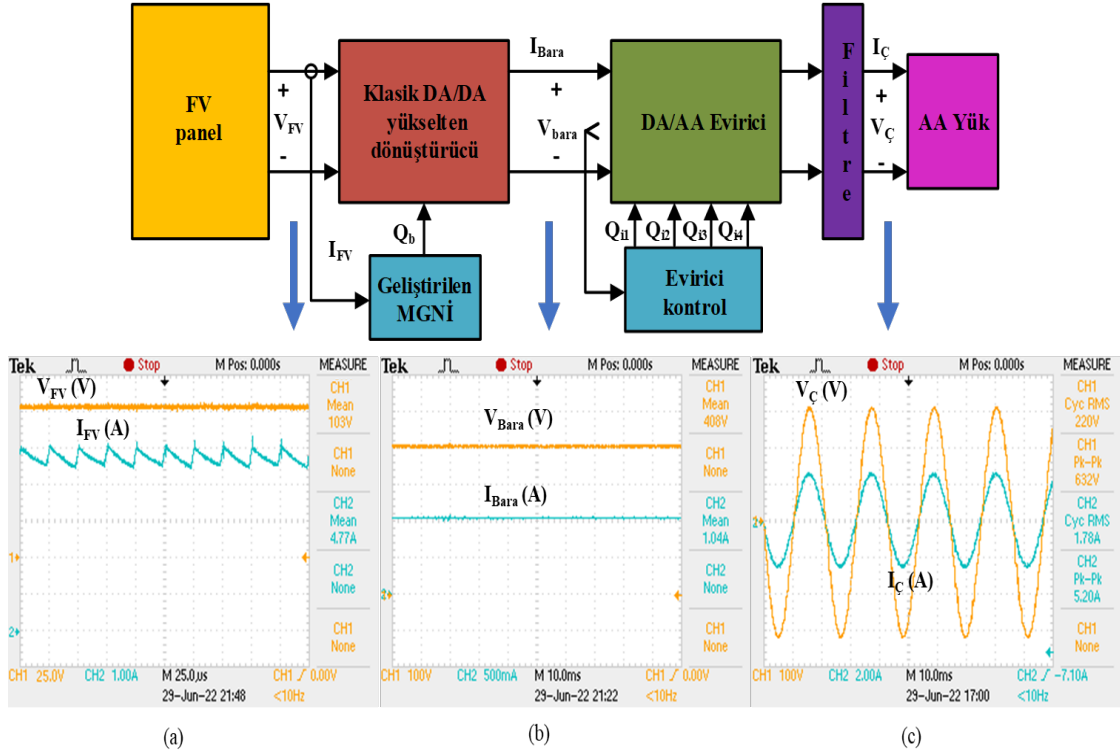
(c)

Şekil 4. 90. Önerilen tüm sistem için a) $V_{\text{bara}}-V_C$, b) $V_{\text{bara}}-I_{\text{bara}}$ ve c) I_C ve V_C .

Şekil 4.89 ve Şekil 4.90’da deneysel çalışmadan elde edilen osiloskop çıktıları anlık olarak karşılaştırılamamıştır. Çünkü deneysel çalışmalarda, mevcut olan iki kanallı osiloskop kullanıldığından dolayı elde edilen değerlerin anlık olarak karşılaştırılması, değişken olan güneş ışınımından dolayı, oldukça zor olmuştur. Şekil 4.89 (c) ve Şekil 4.90 (a)’da verilen V_{bara} gerilim değerleri aynı değildir ama uyumludur. Ayrıca Şekil 4.90 (a) ve Şekil 4.90 (b) verilen V_{bara} gerilimleri de birebir aynı değildir ama uyumludur.

Bu tez çalışmasında hedeflenen sonuçların elde edilebilmesi için öncelikle literatür detaylı bir şekilde tarandıktan sonra ortaya atılan kontrol yönteminin olabilirliği matematiksel olarak gösterilmiştir. Elde edilen bu matematiksel veriler sayesinde gerilim örneklenmeden hesaplanabilmiştir. Hesaplanan bu gerilim sayesinde yeni bir D&G MGNİ kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem sayesinde şebekeden bağımsız bir FV sistem kontrol edilmiştir. Bu kontrol yönteminin ve FV sistemin doğruluğunu

gösterebilmek için tüm sistem oluşturulmadan önce her aşama hem benzetim ortamında hem de deneysel ortamda oluşabilecek tüm durumlar için test edilmiştir. Tüm tez çalışmasının hedefini ve sonucunu gösteren özet niteliğindeki görsel Şekil 4.91’de verilmiştir.



Şekil 4. 91. Önerilen tüm sistemin sonuçları.

Önerilen kontrol yöntemi ile elde edilen olumlu sonuçlar, bu yöntemin doğruluğunu ispatlar niteliktedir. Ayrıca bu yaklaşım sayesinde FV sistemler için yeni bir kontrol yöntemi literatüre kazandırılmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Fosil yakıtlara, sahip olduğu enerji potansiyeli ile alternatif oluşturan çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ve kullanım alanları her geçen gün artış göstermektedir. Özellikle, yarı iletkenlerden oluşan FV paneller ile elektrik enerjisine dönüştürülebilen erişimi kolay ve maliyetsiz olan güneş enerjisi diğer yenilenebilir (rüzgâr, hidrojen, dalga vb.) enerji kaynaklarından daha çok rağbet görmektedir (de Paulo ve Porto, 2018). Düşük bir verime sahip olan FV paneller üzerine düşen ışınlımların %17-%21' ini %90' ın üstünde bir verimle elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir (Kavya ve Jayalalitha, 2021). Ayrıca FV panelleri ürettiği elektrik enerjisinin verimi güneşin doğal devinimi, iklimsel ve çevresel koşullara göre değişebilmektedir. Bundan dolayı FV panellerin bulunduğu şartlarda maksimum düzeyde çalıştırılması ve bu değişken olan güç noktasında sürekli bir şekilde izlenebilmesi için bir çok MGNİ kontrol yöntemi geliştirilmiştir (Motahhir ve ark., 2020). Bu tez çalışmasında D&G MGNİ gibi kaynak akımı ve geriliminin örneklediği MGNİ yöntemleri için gerilim örnekleme için kullanılan devre elemanının kullanımı ortadan kaldırılarak toplam maliyet azaltılmıştır. Bu bölümde tez kapsamında detaylı olarak verilen tüm çalışmadan alınan bütün sonuçlar literatürle karşılaştırılarak tartışılmıştır.

FV panellerin ürettiği elektrik enerjisi DA formundadır ve doğrusal değildir (Baharudin ve ark., 2017). Bu yüzden verimi düşük bir kaynak olan FV panellerden hem maksimum güç elde edebilmek hem de doğrusal olmayan çıkış gerilimini doğrusal hale getirebilmek için yük ve FV paneller arasına DA/DA güç devresi bağlanarak MGNİ kontrol yöntemleri uygulanır (Başoğlu, 2017). Bu çalışmada, tasarımı ve kontrolü kolay olan klasik DA/DA yükselten dönüştürücü devresi, FV panellerin çıkışındaki gerilimi önerilen yeni MGNİ kontrol yöntemi ile hem daha yüksek değerdeki bir gerilime yükseltmek hem de doğrusal hale getirmek için kullanılmıştır. Önerilen D&G MGNİ yönteminin klasik MGNİ yönteminden farkı FV gücünün hesaplanabilmesi için sadece FV akımının ölçülmesidir. Böylece sürekli giriş akımına sahip olan uygun DA/DA dönüştürücüler için giriş geriliminin örnekleme ortadan kaldıran yeni bir kontrol yaklaşımının literatüre kazandırılmasının yanında gerilim örnekleme için kullanılan devre elemanlarına olan ihtiyacın ortadan kaldırılmasıyla deneysel olarak kurulmak

istenilen devrelerin hem maliyeti hem de ebatları küçültülmüştür. Klasik MGNİ yöntemleri, yapılan çalışmalarda genelde belirlenmiş giriş ve çıkış değerleri için kullanılmıştır. Yani değişen giriş veya çıkış değerleri için çıkıştaki gerilim değişkenlik göstermiştir (Haji ve Genc, 2020). Ama bu çalışmada kullanılan yeni D&G MGNİ algoritmasıyla referans bir gerilim değeri üretilmiştir. Üretilen bu referans değeri kullanılarak, sistemin çalışabileceği değer aralığında, durum ne olursa olsun çıkışta istenilen gerilim değeri sağlanmıştır. Bu durum yeni D&G MGNİ kontrol bloğuna seri bir klasik PI kontrol bloğunun bağlanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Nitekim literatürde benzer çalışmalar mevcuttur (Yılmaz ve ark., 2018; Satif ve ark., 2018; Attia, 2019). Örneklemeden hesaplanabilen gerilim değerini kullanıp çıkışta istenilen değeri her koşulda sağlayabilen tüm kontrolcü bloğu geliştirilen yeni D&G MGNİ olarak sunulmuştur. Bu çalışmada klasik PI kontrolcüsünün tercih edilmesinin başlıca nedenleri, uygulanmasının kolay olması ve bu çalışma için iyi sonuçlar vermesidir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan güç dönüştürücüleri, PI denetleyicisi aracılığıyla hava ve yük koşullarından bağımsız olarak sabit bir çıkış gerilimi sağlamıştır (Fapi ve ark., 2018). Yukarıda özet halinde sunulan bilgilerle gerilim örneklemeden MGNİ yapılabilen klasik DA/DA yükselten dönüştürücüden oluşan şebekeden bağımsız FV sistem oluşturulmuştur. Oluşturulan şebekeden bağımsız bu sistem ile tam köprü DA/AA evirici için bara gerilimi sağlanmıştır. Önerilen eviricini kontrolü PI kontrol ile sağlanmıştır. Bu evirici için tetik sinyallerinin üretilmesi için SDGM yöntemi tercih edilmiştir (Bkz. Bölüm 3.5).

Önerilen tüm sistemin benzetim çalışmaları MATLAB/Simulink programı ile yapılmıştır. Önerilen tüm sistem için benzetim çalışmaları Bölüm 4.1’de detaylı bir şekilde verilmiştir. Öncelikle önerilen DA/DA yükselten dönüştürücünün sürekli ve sürekli olmayan iletim modundan elde edilen matematiksel denklemler ışığında giriş gerilimini, ölçülen akım değerinden hesaplayabilen MATLAB/Simulink bloğu oluşturulmuştur. Bu blok sayesinde hesaplanan giriş gerilimi ile yeni D&G MGNİ yöntemi sisteme uygulanmıştır. Sırasıyla tam köprü DA/AA evirici ve izole tam köprü çift yönlü DA/DA dönüştürücü test edilmiştir. Testlerden elde edilen olumlu sonuçlardan sonra bağımsız olarak çalıştırılan tüm sistem birbirine entegre edilmiştir. Oluşturan tüm sistem: I. FV paneller, ortam sıcaklığı ve güneş ışıınımı sırasıyla 25°C ve 1000 W/m² (IR) iken 1.9 kW’lık bir yükü ve %30 doluluğa sahip batarya grubunu beslemiştir, II. FV

paneller, ortam sıcaklığı ve güneş ışınlamı sırasıyla 25°C ve 400 W/m² (IR) iken %30 doluluğa sahip olan batarya grubunu beslemiştir, III. FV paneller, ortam sıcaklığı ve güneş ışınlamı sırasıyla 25°C ve 750 W/m² (IR) iken 1.9 kW'lık bir yükü beslemiştir, IV. FV paneller, ortam sıcaklığı ve güneş ışınlamı sırasıyla 25°C ve 600 W/m² (IR) iken %60 dolulukta olan batarya grubu ile 2.5 kW'lık bir yükü beslemiştir, V. Batarya grubu %20 doluluk oranının üstündeyken 2.5 kW'lık bir yükü beslemiştir, VI. Bu durumlar dışından beklenmeyen durumlar için tüm sistem birbirinden izole edilmiştir, durumları için ayrı ayrı MATLAB/Simulink benzetim ortamında çalıştırılmıştır (Bkz. Bölüm 4.1.5). Ayrıca önerilen tüm sistemin farklı durumlar için üretilen benzer senaryolara göre tek bir simülasyonda çalıştırılmıştır. Bu benzer senaryoların doğru çalışabilmesi için doğru güç akışının olması gerekmektedir bu neden dolayı tüm sistemin güç yönetimi (power management) de yapılmıştır (Bkz. Bölüm 4.1.5.7).

Deneysel çalışmalar için ise Texas Instruments firması tarafından geliştirilen LAUNCHXL-F28379D, TI MCU LaunchPad™ geliştirme kiti ekosistemindeki TMS320F28379D DSP kartı kullanılmıştır (Bkz. Bölüm 3.9). Önerilen yeni D&G MGNİ yöntemi DSP kartına gömülmüştür. Tüm sistem için analog olarak alınan veriler dijital verilere dönüştürülerek DSP kartında işlendikten sonra ilgili ara devrelere aktararak analog hale getirilip kontrol için kullanılmıştır (Şekil 4.74). Deneysel çalışmalarda Enerji kaynağı olarak SKYBASESOLAR markasına ait SK125*125-M-72-195W model FV panel kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda öncelikle bu tez çalışmasının temeli teşkil eden gerilim örnekleme yeni D&G MGNİ yöntemi ile Çizelge 4.5'de verilen değerlere sahip klasik yükselten DA/DA yükselten dönüştürücü devresi kontrol edilmiştir. Hesaplanan ve ölçülen giriş gerilim değerleri, Code Composer ve uygun MATLAB ara bloklar sayesinde elde edilmiştir ve sonuçlar Şekil 4.76'da gösterilmiştir. Tam köprü DA/AA evirici devresi ve uygun filtre için elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde Bölüm 4.2.2'de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda tasarlanan şebekeden bağımsız FV sistem batarya grubu olmadan test edilmiştir. Bölüm 4.2.3'de tüm sistem için deneysel sonuçlar verilmiştir.

Önerilen sistemdeki tüm bileşenler ayrı ayrı hem benzetim ortamında hem de deneysel olarak incelenirken her seferinde farklı koşullar göz önünde bulundurulmuştur. Böylece önerilen sistemin farklı giriş ve çıkış güçleri için verdiği tepki belirlenerek sistemin çalışma aralığı belirlenmiştir. Önerilen sistemin giriş gerilimi yaklaşık olarak

60-120V, evirici giriş gerilimi 280-400 V ve sistemin çıkış gücü 100-400 W (benzetimde 1.9-2.5 kW) aralığındadır. Deneysel çalışmalarda, mevcut olan iki kanallı osiloskop kullanıldığından dolayı elde edilen değerlerin anlık olarak karşılaştırılması değişken olan güneş ışınımından dolayı oldukça zor olmuştur. Önerilen sistemin verimi artan çıkış gücü ile orantılı olarak artış göstermiştir ve %90 civarındadır.

Önerilen sistemin benzetim ve deneysel sonuçları incelendiğinde önerilen kontrol yönteminin doğru bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar birbiriyle uyumlu ve destekler niteliktedir. Benzetim ve deneysel çalışmalar farklı güçlerde aynı durumlar için yapılmıştır. Yalnız benzetim sonuçları ve deneysel sonuçlar aynı eksen takımına sahip olmadıkları için aynı grafikler üzerinde gösterilememiştir.

Bu çalışmada önerilen gerilim örnekleme hızı geliştirilen yeni D&G MGNI kontrol yöntemi ile şebekeden bağımsız veya şebekeye bağlı FV sistemler için maliyeti düşük daha küçük, sürekli giriş akımına sahip DA/DA dönüştürücü devreleri tasarlanabilecektir. Bu tez çalışması ışığında gelecekte tüm sisteme deneysel ortamda batarya grubu eklenerek çalıştırılabilir. Ayrıca önerilen yöntem başka yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı sistemlere de uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Abad, G., 2017. *Power Electronics and Electric Drives for Traction Applications*; John Wiley & Sons: Chichester, UK.
- Abalı, A., 2011. *Hata ve normalize edilmiş ivme bilgisine dayalı pı kontrolör katsayı iyileştirme yöntemi* (Yüksek lisans tezi, basılmamış). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Afarulrazi, A. B., Zarafi, M., Utomo, W. M., Zar, A., 2010. FPGA implementation of Unipolar SPWM for single phase inverter. *2010 International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics*, 5-8 Aralık 2010, Malaysia. 671-676.
- Ajangnay, M. O., Alsokhry, F., Adam, G. P., Alabdulwahab, A., 2020. Back-stepping Control of Off-Grid PV Inverter. *9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)*: 27-30 Eylül 2020, Glasgow, UK. 384-389.
- Akman, C., 2009. *Doğru Akım Ayarlayıcıları ve Eviriciler ile Yük Denetimi* (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. Kocaeli.
- Akmaz, D., 2012. *Güç Sistemlerinde Harmoniklerin İncelenmesi ve Akım Harmoniklerinin Azaltılması İçin Aktif Güç Filtre Tasarımları* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tunceli.
- Al-Ghussain, L., 2019. Global warming: review on driving forces and mitigation. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, **38** (1): 13-21.
- Ali, A.N.A., Saied, M.H., Mostafa, M.Z., Abdel-Moneim, T.M., 2012. A survey of maximum PPT techniques of PV systems. *IEEE Energytech*, 29-31 May 2012, Cleveland, OH, USA. 1-17.
- Al-Jafeary, I.M.K., Tan, N.M., 2020. Design of a novel spwm based on bat-like reference signal technique for ev applications. *IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*, 7-8 Aralık 2020, Penang, Malaysia. 71-76.
- Alkul, O., 2019. *Yüksek Frekans Transformatörlü Çift Yönlü Da/Da Dönüştürücü Yardımı ile Batarya Şarj Sistemi Tasarımı* (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Anonim, 2021. Elektrik piyasası sektör raporu Ocak 2021. Enerji piyasası denetleme kurumu (EPDK). <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar>. Erişim tarihi: 11.11.2021.
- Anonim, 2021. Türkiye elektrik enerjisi istatistikleri Şubat 2021 https://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369. Elektrik Mühendisleri Odası (EMO). Erişim tarihi: 11.11.2021.
- Anonim, 2022. Dijital sinyal işleme 2021 <https://tr.fmuser.net/wap/content/?2284.html>. Erişim tarihi: 20.09.2022.
- Asumadu-Sarkodie, S., Owusu, P.A., Jayaweera, M., 2015. Flood risk management in Ghana: A case study in Accra. *Advances in Applied Science Research*, **6**: 196–201
- Athari, H., Niroomand, M., Ataei, M., 2017. Review and classification of control systems in grid-tied inverters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **72**:1167-1176.
- Attia, H., 2019. High performance PV system based on artificial neural network MPPT with PI controller for direct current water pump applications. *International Journal of Power Electronics Drive Systems*, **10** (3): 1329.

- Awan, M.M.A., 2022. A technical review of mppt algorithms for solar photovoltaic system: swot analysis of mppt. *Sir Syed University Research Journal of Engineering & Technology*, **12** (1): 98-106.
- Azim, M.I., Hossain, M.M., Rana, M.M., Rahman, M.R., 2014. Utilization of single phase inverters in Photovoltaic system. *International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology*, 10-12 Nisan 2014, Dhaka, Bangladesh. 1-5
- Baba, A.O., Liu, G. and Chen, X., 2020. Classification and evaluation review of maximum power point tracking methods. *Sustainable Future*, **2**: 1-28.
- Back, J., 2016. Do nuclear and renewable energy improve the environment? Empirical evidence from the United States. *Ecological Indicators*, **66**: 352-356.
- Baharudin, N.H., Mansur, T.M.N.T., Hamid, F.A., Ali, R., Misrun, M.I., 2017. Topologies of DC-DC converter in solar PV applications. Indonesian Journal of Electrical *Engineering and Computer Science*, **8** (2): 368-374.
- Başoğlu, M. E., 2017. *Fotovoltaik Sistemler için Yeni bir Maksimum Güç Noktası İzleme Yönteminin Geliştirilmesi ve Uygulanması* (Doktora tezi, basılmamış). Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli.
- Batareseh, I., Harb, A., 2018. Review of switching concepts and power semiconductor devices. In Power Electronics. **Springer, Cham**. 25-91.
- Bellia, H., R. Youcef and Fatima, M., 2014. A detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics* **3**: 53-61.
- Bendib, B., Belmili, H., Krim, F., 2015. A survey of the most used MPPT methods: Conventional and advanced algorithms applied for photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **45**: 637-648.
- Blaabjerg, F., Teodorescu, R., Liserre, M., Timbus, A. V., 2006. Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems. *IEEE Transactions on industrial electronics*, **53** (5): 1398-1409.
- Boukenoui, R., Salhi, H., Bradai, R., Mellit, A., 2016. A new intelligent MPPT method for stand-alone photovoltaic systems operating under fast transient variations of shading patterns. *Solar Energy*, **124**: 124-142.
- Bouzugenda, M., Selmi, T., 2021. Review of DC-AC converters for photovoltaic conversion chains. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, **12** (2): 886.
- Cambazoğlu, T, Sayısal işaret işleme (DSP), bir DSP mimarisinin incelenmesi ve uygulamaları. https://www.emo.org.tr/ekler/c3d69ed781b16bc_ek.pdf?dergi=201 Elektrik Mühendisleri Odası (EMO). Erişim tarihi: 20.09.2022.
- Castro, I., Martin, K., Vazquez, A., Arias, M., Lamar, D. G., Sebastian, J., 2017. An AC–DC PFC single-stage dual inductor current-fed push–pull for HB-LED lighting applications. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, **6** (1): 255-266.
- Cha, H., Vu, T., 2010. Comparative analysis of low-pass output filter for single-phase grid-connected Photovoltaic inverter. *2010 Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*. 21-25 February 2010, USA. 1659-1665.
- Chang, E.C., Cheng, C.A., Wu, R.C., 2021. Robust optimal tracking control of a full-bridge dc-ac converter. *Applied Sciences*, **11** (3): 1211.

- Chen, Y.L., Chen, Y.M., 2015. Line current distortion compensation for DCM/CRM boost PFC converters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **31** (3): 2026-2038.
- Chermitti, A., Boukli-Hacene, O., Meghebbar, A., Bibitriki, N., Kherous, A., 2014. Design of a library of components for autonomous photovoltaic system under Matlab/Simulink. *Physics Procedia*, **55**: 199-206.
- Cholewa, D., Mazgaj, W., Szular, Z., Woszczyna, B., 2018. Reduction of switching losses in three-phase three-level voltage source inverters. *14th Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics (WZEE)*, 19-21 Kasım 2018, Szczecin, Poland. 1-4.
- Chowdhury, S.R., Saha, H., 2010. Maximum power point tracking of partially shaded solar photovoltaic arrays. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **94** (9): 1441-1447.
- Chunhua, L., Chau, K., Xiaodong, Z., 2010. An efficient wind -photovoltaic hybrid generation system using doubly excited permanent-magnet brushless machine. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **57** (3): 831-839.
- Coc, O., Eo, D., Nf, O., 2012. Design and economic analysis of a photovoltaic system-a case study. *International Journal of Renewable Energy Development*, **1** (3): 65-73.
- Çolak, I., Kabalcı, E., 2008. Evirici topolojileri ve gelişimleri üzerine bir inceleme. *EMO Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO)*, 291-295.
- Çorapsız, M.F., 2009. *DC-DC Dönüştürülerin Gerçek Zamanlı Denetiminde Akıllı Sistem Uygulamaları* (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Atatürk Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. Erzurum.
- D'souza, N.S., Lopes, L.A.C., Liu, X., 2010. Comparative study of variable size perturbation and observation maximum power point trackers for PV systems. *Electric. Power System Research*, **80**: 296-305.
- de Paulo, A. F., Porto, G. S., 2018. Evolution of collaborative networks of solar energy applied technologies, *Journal of Cleaner Production*, **204**: 310-320.
- de Souza Ribeiro, L.A., de Matos, J.G., Saavedra, O.R., Caracas, J.V.M., de Carvalho Farias, G., Pinheiro, L.D.P.A., Pinheiro, N.M., 2021. DC-AC Bidirectional Converters for Application in Isolated Microgrids. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 1-12.
- Demir, E., (2020). *Matlab/Simulink Kullanılarak Darbe Genişlik Modülasyonu Tekniği İle Tek Fazlı Evirici Kontrolü* (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Karabük Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Karabük.
- Demirbaş, Ş., Bayhan, S., Garip, İ., 2011. Mikrodenetleyici tabanlı iki seviyeli DA/DA alçaltan dönüştürücü. *6. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*. Elazığ, Türkiye.
- Dhali, S., Rao, P.N., Mande, P., Rao, K.V., 2012. PWM-based sliding mode controller for DC-DC boost converter. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, **2** (1): 618-623.
- Díaz, P., Arias, C.A., Peña, R., Sandoval, D., 2010. FAR from the grid: A rural electrification field study. *Renewable Energy*, **35** (12): 2829-2834.
- Dunlop, J. *Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems Fundamentals and Application*. Sandia National Laboratories.

- Dupont, E., Koppelaar, R., Jeanmart, H., 2020. Global available solar energy under physical and energy return on investment constraints. *Applied Energy*, **257**: 113968.
- Emanet, H., 2001. *Yüksek Frekanslı Manyetik Malzemelerde Deri ve Yaklaşım Etkisi Sonucu Oluşan İletken Kayıplarının Hesaplanması* (Yüksek Lisans Tezi, basılmamış. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Evrar, F., 2018. Tek kademe dönüştürücülü güç elektroniği trafosu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **6** (4): 878-886.
- Fan, G., Zong, S., Liang, M., 2018. A bidirectional dc-dc phase-shift full bridge converter with novel modulation strategy. *IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC)*, 4-7 Kasım 2018, Shenzhen, China. 1-5.
- Fapi, C. B. N., Patrice, W. I. R. A., Kamta, M., 2018. A fuzzy logic MPPT algorithm with a PI controller for a standalone PV system under variable weather and load conditions. *In 2018 International Conference on Applied Smart Systems (ICASS)*, 24-25 Kasım 2018, Medea, Algeria.1-6.
- Faranda, R., Leva, S., Maugeri, V., 2008. MPPT techniques for PV systems: Energetic and cost comparison. *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting- Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 20-24 Temmuz 2008, Pittsburgh, PA, USA: 1-6.
- Fidan, İ., 2020. *Lcl Filtreli Üç Fazlı Eviricinin Tasarımı*, (Yüksek lisans tezi, basılmamış), Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Gandhi, V.I., Subramaniaswamy, V., Logesh, R., 2017. Topological review and analysis of DC-DC boost converters. *Journal of Engineering Science and Technology*, **12**: 1541-1567.
- Genc, N., Shareef, S.J.M., 2016. Desing of dual axis sun power tracking system using arduino. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)*, **29** (8): 34-38.
- Goudarzian, A., Khosravi, A., Raeisi, H.A., 2022. Modeling, design and control of a modified flyback converter with ability of right-half-plane zero alleviation in continuous conduction mode. *International Journal Engineering Science and Technology*. **26**: 101007.
- Greenwood, A., 1970. *Electrical Transients in Power Systems*. Wiley interscience, Pennsylvania
- Guo, S., Liu, Q., Sun, J., Jin, H., 2018. A review on the utilization of hybrid renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **91**: 1121-1147.
- Gümüş, Z., 2021. *Farklı Ortam Koşullarındaki Fotovoltaik Sistemler için Kısmi Gölgelemenin Mppt Üzerindeki Etkisinin Akıllı Algoritmalar ile Uygulanması*, (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Haji, D., Genc, N., 2020. Dynamic behaviour analysis of ANFIS based MPPT controller for standalone photovoltaic systems. *International Journal of Renewable Energy Research*, **10** (1): 101-108.
- Haji, D.M., 2016. *Design of neural fuzzy mppt controller for pv based boost converter* (master of science). Yüzüncü Yıl University Institute of Natural And Applied Science Electrical Electronics Engineering Department, Van.

- Hart, G. W., Branz, H. M., Cox Iii, C.H., 1984. Experimental tests of open-loop maximum-power-point tracking techniques for photovoltaic arrays. *Solar cells*, **13** (2): 185-195.
- Hassaine, L., OLias, E., Quintero, J., Salas, V., 2014. Overview of power inverter topologies and control structures for grid connected photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **30**: 796-807.
- Hatas, H., Genc, N., Mamizadeh, A., 2019. FPGA Implementation of SPWM for Cascaded Multilevel Inverter by Using XSG. *2019 4th International Conference on Power Electronics and their Applications (ICPEA)*, 25-27 Eylül 2019, Elazig, Turkey. 1-6.
- Hauge, F.; Lie, B., 2013. Relaxed Ziegler-Nichols closed loop tuning of PI controllers. Modeling. *Identification and Control*, **34** (2): 83-97.
- Hussain, M., 2018. *Fotovoltaik Sistemler İçin Maksimum Güç İzleme Algoritması Tasarımı*, (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- Jana, J., Saha, H., Bhattacharya, K. D., 2017. A review of inverter topologies for single-phase grid-connected photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **72**: 1256-1270.
- Jenkins, D.P., Fletcher, J., Kane, D., 2008. Model for evaluating impact of battery storage on microgeneration systems in dwellings. *Energy Conversion and Management*, **49** (8): 2413-2424.
- Jou, H.L., Wu, K.D., Wu, J.C., Lin, Y.Z., Su, L.W., 2019. Asymmetric isolated unidirectional multi-level DC-DC power converter. *International Journal Engineering Science and Technology*, **22** (3): 894-898.
- Kahia, M., Aïssa, M.S.B., Lanouar, C., 2017. Renewable and non-renewable energy use-economic growth nexus: The case of MENA Net Oil Importing Countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **71**: 127-140.
- Karaca, M., 2020. *Değişken Frekanslı Evirgeç Tasarımı Ve Uygulaması* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Van YYÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.
- Karaca, M., Mamizadeh, A., Genc, N., Sular, A., 2019. Analysis of Passive Filters for PV Inverters Under Variable Irradiances. *2019 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 3-6 Kasım 2019, Brasov, Romania. 680-685.
- Karami, N., Moubayed, N., Outbib, R., 2013. Maximum power point tracking with reactant flow optimization of proton exchange membrane fuel cell. *Journal of Fuel Cell Science Technology*, **10** (5): 14.
- Karami, N., Moubayed, N., Outbib, R., 2017. General review and classification of different MPPT Techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **68**: 1-18.
- Kavya, M., Jayalalitha, S., 2021. Developments in perturb and observe algorithm for maximum power point tracking in photovoltaic panel: A review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, **28** (4): 2447-2457.
- Kesraoui, M., Korichi, N., Belkadi A., 2011. Maximum power point tracker of wind energy conversion system. *Renewable Energy*, **36** (10): 2655-2662.
- Khatib, T., Ibrahim, I.A., Mohamed, A., 2016. A review on sizing methodologies of photovoltaic array and storage battery in a standalone photovoltaic system. *Energy Conversion and Management*, **120**: 430-448.

- Khatib, T., Mohamed, A., Sopian, K., 2013. A review of photovoltaic systems size optimization techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **22**:454-465.
- Kim, Y.J., Kim, H., 2019. Optimal design of LCL filter in grid-connected inverters. *IET Power Electronics*, **12** (7): 1774–1782.
- Kishore, P. M., Ravikumar, B., 2015. Refined hybrid microgrid architecture for the improvement of voltage profile. *Energy Procedia*, **90** (5): 645-654.
- Ko, J.S., Huh, J.H., Kim, J.C., 2020. Overview of maximum power point tracking methods for PV system in micro grid. *Electronics*, **9** (5): 816.
- Koç, E., Şenel, M.C., 2013. Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu–genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina Dergisi*, **54** (639): 32-44.
- Kolli, A., Gaillard, A., De Bernardinis, A., Bethoux, O., Hissel, D., Khatir, Z., 2015. A review on DC/DC converter architectures for power fuel cell applications. *Energy Conversion and Management*, **105**: 716-730.
- Krishnan G, S., Kinattingal, S., Simon, S.P., Nayak, P.S.R., 2020. MPPT in PV systems using ant colony optimisation with dwindling population. *IET Renewable Power Generation*, **14** (7): 1105-1112.
- Kulaksız, A.A., 2013. ANFIS-based estimation of PV module equivalent parameters: application to a stand-alone PV system with MPPT controller. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, **21**: 2127-2140.
- Küçük, N., 2007. *Eviricilerin Harmonik Eliminasyonunda Optimum Anahtarlama Açılarının Genetik Algoritmalar İle Elde Edilmesi* (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Lakshmi, M., Hemamalini, S., 2017. Nonisolated high gain DC–DC converter for DC microgrids. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **65** (2): 1205-1212.
- Lashab, A., Sera, D., Guerrero, J.M., 2019. Harmonics mitigation in cascaded multilevel PV inverters during power imbalance between cells. *In 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)*. 11-14 Haziran 2019, Genova, Italy. 1-6.
- Lee J.Y., Jeong Y.S., Han B.M., 2011. An isolated dc/dc converter using high-frequency unregulated llc resonant converter for fuel cell applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **58**(7): 2926-2934.
- Li, S., Haskew, T. A., Li, D., Hu, F., 2011. Integrating photovoltaic and power converter characteristics for energy extraction study of solar PV systems. *Renewable Energy*, **36** (12): 3238-3245.
- Liang, Y., Zhao, C. Z., Yuan, H., Chen, Y., Zhang, W., Huang, J. Q., Zhang, Q., 2019. A review of rechargeable batteries for portable electronic devices. *InfoMat*, **1** (1): 6-32.
- Liao, Z., Cao, C., ve Qiu, D., 2018. Analysis on topology derivation of single-phase transformerless photovoltaic grid-connect inverters. *Optik*, **182**: 50–57.
- Liao, Z., Ruan, X., 2008. Control strategy of bi-directional dc/dc converter for a novel stand-alone photovoltaic power system. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 03-05 Eylül 2008, Harbin, China. 1-6.
- Liserre, M., Blaabjerg, F., Hansen, S., 2005. Design and control of an LCL-filter-based three-phase active rectifier. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **41** (5): 1281-1291.

- Liu, C., Chau, K.T., Zhang, X., 2009. An efficient wind–photovoltaic hybrid generation system using doubly excited permanent-magnet brushless machine. *IEEE Transactions on industrial Electronics*, **57** (3): 831-839.
- Lo Calzo, G., Lidozzi, A., Solero, L., Crescimbeni, F., 2015. LC filter design for on-grid and off-grid distributed generating units”, *IEEE Transactions On Industry Applications*, **51** (2): 1639–1650.
- Lopa, S.A., Hossain, S., Hasan, M.K., Chakraborty, T.K., 2016. Design and simulation of DC-DC converters. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, **3** (1):63-70.
- Milbrandt, A.R., Heimiller, D.M., Perry, A.D., Field, C.B., 2014. Renewable energy potential on marginal lands in the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **29**: 473-481.
- Mogorovic, M., Dujic, D., 2018. 100 kW, 10 kHz medium-frequency transformer design optimization and experimental verification. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **34** (2): 1696-1708.
- Mosa, M., Shadmand, M.B., Balog, R.S., Rub, H.A., 2017. Efficient maximum power point tracking using model predictive control for photovoltaic systems under dynamic weather condition. *IET Renewable Power Generation*, **11** (11): 1401–1409
- Motahhir, S., El Hammoumi, A., El Ghzizal, A., 2020. The most used MPPT algorithms: Review and the suitable low-cost embedded board for each algorithm. *Journal of Cleaner Production*, **246**: 118983.
- Nazih, M., Ali, E., Rachid, O., 2009. Control of an hybrid solar-wind system with acid battery for storage. *In: Proceedings of the WSEAS transactions on power systems*, **4** (9): 307–318.
- Nene, H., 2013. Digital control of a bi-directional DC-DC converter for automotive applications. *Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 17-21 Mart 2013, Long Beach, CA, USA. 1360-1365.
- Okuducu, E., 2010. *Elektrik Güç Sistemlerinde Elektrik Kalitesinin Analizi ve Simülasyonu* (yüksek lisans tezi, basılmamış). YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.
- Owusu, P.A., Asumadu-Sarkodie, S., 2016. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, **3**(1): 1167990.
- Özer, O., 2021. *İki Yönlü İzoleli İki Köprü Dc-Dc Dönüştürücünün Tasarımı ve Analizi* (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. Konya.
- Paul, V., Mathew, M., 2014. Modelling and evaluation of MPPT techniques based on a Çuk converter. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, **3** (5): 431-436.
- Pawar, A.S., Kolte, M.T., Mehta, H. 2022. Review of pv mppt based battery charging techniques under partial shading conditions. *Second International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T)*, 1-3 Mart 2022, Raipur, India. 1-6.
- Peng, F.Z., Li, H., Su, G.J., Lawler, J.S., 2004. A new zvs bidirectional dc–dc converter for fuel cell and battery application. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **19** (1): 54-65.

- Pernick, R., Wilder, C., 2007. *The Clean Tech Revolution: The Next Big Growth and Investment Opportunity*. Harper Collins, New York.
- Podder, A.K., Roy, N.K., Pota, H.R., 2019. MPPT methods for solar PV systems: A critical review based on tracking nature. *IET Renewable Power Generation*, **13** (10): 1615–1632.
- Prabaharan, N., Palanisamy, K., 2017. A comprehensive review on reduced switch multilevel inverter topologies, modulation techniques and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **76**: 1248–1282.
- Raghavendra, K.V.G., Zeb, K., Muthusamy, A., Krishna, T.N.V., Kumar, S.V.S., Kim, D. H., Kim, H.J., 2020. A comprehensive review of DC–DC converter topologies and modulation strategies with recent advances in solar photovoltaic systems. *Electronics*, **9** (1): 31.
- Ram, J. P., Babu, T. S., Rajasekar, N. 2017. A comprehensive review on solar PV maximum power point tracking techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **67**: 826–847.
- Ramli, M.A., Twaha, S., Ishaque, K., Al-Turki, Y.A., 2017. A review on maximum power point tracking for photovoltaic systems with and without shading conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **67**: 144–159.
- Ramos, G.A., Ruget, R.I., Costa-Castelló, R., 2019. Robust repetitive control of power inverters for standalone operation in DG systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **35** (1): 237–247.
- Rasekh, N., Hosseinpour, M., 2020. LCL filter design and robust converter side current feedback control for grid-connected Proton Exchange Membrane Fuel Cell system. *International Journal Of Hydrogen Energy*, **45** (23): 13055–13067.
- Rashid, M. H., 2015. *Güç Elektroniği Yarıiletken Elemanlar, Devreler ve Uygulamaları*. 4.Basım. Florida, USA.
- Ratner, S.V., Lychev, A.V., 2019. Evaluating environmental impacts of photovoltaic technologies using Data Envelopment Analysis. *Advances in Systems Science and Applications*, **19** (1): 12–30.
- Ravi D., Reddy B.M., Shimi S.L., Samuel P., 2018. Bidirectional dc to dc converters: an overview of various topologies, switching schemes and control techniques. *International Journal of Engineering & Technology*, **7** (4.5): 360–365.
- Razmjoo, A., Qolipour, M., Shirmohammadi, R., Heibati, S.M., Faraji, I., 2017. Techno-economic evaluation of standalone hybrid solar-wind systems for small residential districts in the central desert of Iran. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, **36** (4): 1194–1207.
- Rensburg, J.V., Case, M.J., and Nicolae, D.V., 2008. Double-boost DC to DC converter. *Industrial Electronics. IECON. 34th Annual Conference of IEEE*. 10–13 Kasım 2008, Orlando, FL. 707–711.
- Revathi, B.S., Prabhakar, M., 2016. Non isolated high gain DC-DC converter topologies for PV applications—A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **66**: 920–933.
- Rezk, H., Abdelkareem, M.A., Ghenai, C., 2019. Performance evaluation and optimal design of stand-alone solar PV-battery system for irrigation in isolated regions: A case study in Al Minya (Egypt). *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, **36**: 100556.

- Reznik, A., Simões, M. G., Al-Durra, A., Muyeen, S. M., 2014. LCL Filter Design and Performance Analysis for Grid-Interconnected Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **50** (2): 1225-1232.
- Ribeiro, H., Pinto, A., Borges, B., 2010. Single-stage DC-AC converter for photovoltaic systems. *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, 12-16 Eylül 2010, Atlanta, GA, USA. 604-610.
- Rivas, J. M., Leitermann O., Han Y., Perreault D. J., 2011. A very high frequency dc-dc converter based on a class Φ_2 resonant inverter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **26** (10): 2980-2992.
- Sabzali, A. J., Ismail, E. H., Behbehani, H. M., 2015. High voltage step-up integrated double Boost-Sepic DC-DC converter for fuel-cell and photovoltaic applications. *Renewable. Energy*, **82**: 44-53.
- Sahu, P.K., Jena, S., Babu, B.C., 2022. Power management and bus voltage control of a battery backup-based stand-alone PV system. *Electrical Engineering*, **104** (1), 97-110.
- Samuel, V.J., Keerthi, G., Mahalingam, P., 2020. Interleaved quadratic boost DC-DC converter with high voltage gain capability. *Electrical Engineering*, **102** (2): 651-662.
- Sanchis, Kilders, E., Ferreres, A., Maset, E., Ejea, J. B., Esteve, V., Jordan, J., Garrigos, A., Calvente, J., 2006. Soft switching bidirectional converter for battery discharging-charging. *Twenty-First Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 19-23 Mart 2006, 19-23 March 2006. 1-7.
- Santos, J.L., Antunes, F., Chehab, A., Cruz, C., 2006. A maximum power point tracker for PV systems using a high performance boost converter. *Solar Energy*, **80** (7): 772-778.
- Satif, A., Hlou, L., Benbrahim, M., Erguig, H., Elgouri, R., 2018. Simulation and analysis of a pv system with p and o mppt algorithm using a pi controller for buck converter. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, **13**(9): 3014-3022.
- Shahidul, S., 2011. *A Generalized Model of Grid Connected Photovoltaic System with Maximum Power Point Tracking Control*, (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Yıldız Technical University Natural and Applied Science. İstanbul.
- Shahir, F.M., Babaei, E., 2017. A new structure for non-isolated boost dc-dc converter based on voltage-lift technique. *8th Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC)*, 14-16 Şubat 2017, Mashhad, İran. 25-30.
- Sharif, A., Baris-Tuzemen, O., Uzuner, G., Ozturk, I., Sinha, A., 2020. Revisiting the role of renewable and non-renewable energy consumption on Turkey's ecological footprint: Evidence from Quantile ARDL approach. *Sustainable Cities and Society*, **57**: 102138.
- Shaw, R. N., Walde, P., Ghosh, A., 2020, F. IOT based MPPT for performance improvement of solar PV arrays operating under partial shade dispersion. *IEEE 9th Power India International Conference (PIICON)*, 28 Şubat-1 Mart 2020, Sonapat, India. 1-4.
- Sher, F., Curnick, O., Azizan, M.T., 2021. Sustainable conversion of renewable energy sources. *Sustainability*, **3** (5): 2940.
- Shurpali, N., Agarwal, A.K., Srivastava, V.K., 2019. *Greenhouse Gas Emissions: Challenges, Technologies and Solutions*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany.
- Singh, G.K., 2013. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review. *Energy*, **53**:1-13.

- Spellman, F.R., 2015. *Environmental Impacts of Renewable Energy*. Taylor & Francis Group, CRC press, London.
- Su, G. J., Tang, L., 2008. A multiphase, modular, bidirectional, triple-voltage DC–DC converter for hybrid and fuel cell vehicle power systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **23** (6): 3035-3046.
- Sunita, Budhiraja, S., Singh, J., Bhat, D., 2016. FPGA based photovoltaic (PV) inverter with SPWM algorithm for photovoltaic system. *5th International Conference on Wireless Networks and Embedded Systems (WECON)*, 14-16 Ekim 2016, India. 1-5.
- Şenel, M.C. 2012. *Rüzgâr Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları–Dinamik Davranış*, (Yüksek lisans tezi, basılmamış), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun.
- Tytelmaier, K., Husev, O., Veligorskyi, O., Yershov, R., 2016. A review of non-isolated bidirectional dc-dc converters for energy storage systems. *II International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF)*, 10-14 Ekim 2016, Kharkiv, Ukraine. 22-28.
- Urban, F., Mitchell, T., 2011. Climate change, disasters and electricity generation. <https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/handle/20.500.12413/2504>. Erişim Tarihi:11.11.2021
- Üzmuş, H., 2016. *Çift-Katli Yükselten (Cascade Boost) Dönüştürücünün Kayan Kip (Sliding Mode) Yöntemiyle Kontrolü* (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.
- Vasiladiotis, M., Rufer, A., 2015. A modular multiport power electronic transformer with integrated split battery energy storage for versatile ultrafast ev charging stations. *IEEE Transactions Industrial Electronics*, **62** (5): 3213-3222.
- Vergura, S., 2016. A complete and simplified datasheet-based model of pv cells in variable environmental conditions for circuit simulation. *Energies*, **9** (5): 326.
- Verma, D., Nema, S., Shandilya, A. M., Dash, S.K., 2016. Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **54**: 1018-1034.
- Walker, G.R., Sernia, P.C., 2004. Cascaded DC-DC converter connection of photovoltaic modules. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **19** (4): 1130-1139.
- Wehbe, J., Karami, N., 2015. Battery equivalent circuits and brief summary of components value determination of lithium ion: A review. *Proceedings of the third international conference on technological advances in electrical, electronics and computer engineering (TAEECE)*, 29 Nisan-01 Eylül 2015, Beirut, Lebanon. 45-49.
- Wei, Y., Luo, Q., Wang, J., Pengju, S., 2019. Analysis and design of the DCM operation boost PFC converter with magnetic control. *IET Power Electronics*, **12** (14): 3697-3706.
- Wilberforce, T., Baroutaji, A., El Hassan, Z., Thompson, J., Soudan, B., Olabi, A.G., 2019. Prospects and challenges of concentrated solar photovoltaics and enhanced geothermal energy technologies. *Science of The Total Environment*, **659**: 851-861.
- Yahdou, A., Hemici, B., Djilali, A.B., 2017. Modified perturb and observe mppt control for avoid deviation in photovoltaic systems. *Journal of Electrical Engineering*, **17** (1): 10-20.
- Yalduz, H., 2015. *DA-DA Düşüren Dönüştürücü Tasarımı ve PI Kontrolü* (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.

- Yang, B., Li, W., Zhao, Y., He, X., 2009. Design and analysis of a grid-connected photovoltaic power system. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **25** (4): 992-1000.
- Yang, Y., Bremner, S., Menictas, C., Kay, M., 2018. Battery energy storage system size determination in renewable energy systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **91**, 109-125.
- Yang, Y., Ye, Q., Tung, L.J., Greenleaf, M., Li, H., 2017. Integrated size and energy management design of battery storage to enhance grid integration of large-scale PV power plants. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **65** (1): 394-402.
- Yasko, M.A., 2018. *Fotovoltaik Sistemlerde Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücülü Maksimum Güç Noktası İzleyicisinin Analizi, Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi*, (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Yazdani, A., 2009. A control methodology and characterization of dynamics for a photovoltaic (PV) system interfaced with a distribution network. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **24** (3): 845-854.
- Yazıcı, H., 2006. *Çok Serbestlik Dereceli Bir Yapının Titreşimlerinin Bulanık Mantıkla Kontrolü*, (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yilmaz, U., Kircay, A., Borekci, S., 2018. PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **81**: 994-1001.
- Zeng, W.L., Lam, C.S., Zheng, W.M., Sin, S.W., Dai, N.Y., Wong, M.C., Martins, R.P., 2015. DCM operation analysis of KY converter. *Electronics Letters*, **51** (24): 2037-2039.
- Zhao, B., Song, Q., Liu, W., 2015. A practical solution of high-frequency-link bidirectional solid-state transformer based on advanced components in hybrid microgrid. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **62** (7): 4587-4597.
- Zhao, B., Song, Q., Liu, W., Sun, Y., 2013. Overview of dual-active-bridge isolated bidirectional DC-DC converter for high-frequency-link power-conversion system. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **29** (8): 4091-4106.
- Zhao, J., Zhou, X., Ma, Y., Liu, W., 2015. A novel maximum power point tracking strategy based on optimal voltage control for photovoltaic systems under variable environmental conditions. *Solar Energy*, **122**: 640-649.
- Ziegler, J.G., Nichols, N.B., 1942. Optimum settings for automatic controllers. *trans. ASME*, **64** (11).

EKLER

Ek. 1. LV 25-P gerilim örnekleyici veri sayfası.

Voltage Transducer LV 25-P

For the electronic measurement of voltages: DC, AC, pulsed..., with galvanic separation between the primary circuit and the secondary circuit.



$$I_{PN} = 10 \text{ mA}$$

$$U_{PN} = 10 \dots 500 \text{ V}$$



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal RMS current	10	mA
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 ... ±14	mA
R_M	Measuring resistance	$R_{M \min}$ $R_{M \max}$	Ω
	with ±12 V @ ±10 mA _{max}	30 190	Ω
	@ ±14 mA _{max}	30 100	Ω
	with ±15 V @ ±10 mA _{max}	100 350	Ω
	@ ±14 mA _{max}	100 190	Ω
I_{SN}	Secondary nominal RMS current	25	mA
N_P/N_S	Turns ratio	2500 : 1000	
U_C	Supply voltage (±5 %)	±12 ... 15	V
I_C	Current consumption	10 (@ ±15 V) + I_S	mA

Accuracy - Dynamic performance data

e_{tot}	Total error @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$ @ ±12 ... 15 V @ ±15 V (±5 %)	±0.9 ±0.8	%
e_L	Linearity error	< 0.2	%
I_O	Offset current @ $I_P = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ Max	mA
I_{OT}	Temperature variation of I_O	0 °C ... +25 °C ±0.06 ±0.25	mA
	+25 °C ... +70 °C ±0.10 ±0.35	mA	
t_{D90}	Delay time ¹⁾ to 90 % of the final output value for U_{PN} step 40		µs

General data

T_A	Ambient operating temperature	0 ... +70	°C
$T_{A \text{ st}}$	Ambient storage temperature	-25 ... +85	°C
R_P	Resistance of primary (winding) @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	250	Ω
R_S	Resistance of secondary winding @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110	Ω
m	Mass	22	g
	Standards	EN 50178: 1997 UL 508: 2010	

Note: ¹⁾ $R_1 = 25 \text{ k}\Omega$ (L/R constant, produced by the resistance and inductance of the primary circuit).

Voltage Transducer LV 25-P

Insulation coordination

U_d	RMS voltage for AC insulation test, 50 Hz, 1 min	2.5 ¹⁾	kV
U_{Ni}	Impulse withstand voltage 1.2/50 µs	16	kV
		Min	
d_{cp}	Creepage distance	19.5	mm
d_{cl}	Clearance	19.5	mm
CTI	Comparative tracking index (group IIIa)	175	

Features

- Closed loop (compensated) voltage transducer using the Hall effect
- Insulating plastic case recognized according to UL 94-V0.

Principle of use

- For voltage measurements, a current proportional to the measured voltage must be passed through an external resistor R_1 which is selected by the user and installed in series with the primary circuit of the transducer.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Power supplies for welding applications.

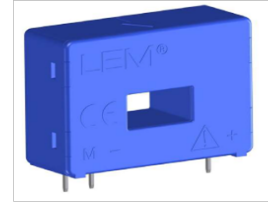
Application domain

- Industrial.

Ek. 2. LA 55-P akım örnekleyici veri sayfası.

Current Transducer LA 55-P

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic separation between the primary circuit and the secondary circuit.

 **$I_{PN} = 50 \text{ A}$** **Electrical data**

I_{PN}	Primary nominal RMS current	50	A
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 ... ± 70	A
R_M	Measuring resistance	$@ T_A = 70^\circ\text{C} \quad \quad T_A = 85^\circ\text{C}$	
	with $\pm 12 \text{ V}$	$R_{M \min}$ $R_{M \max}$ $R_{M \min}$ $R_{M \max}$	
	@ $\pm 50 \text{ A}_{\max}$	10 100 60 95	Ω
	@ $\pm 70 \text{ A}_{\max}$	10 50 60 ¹⁾ 60 ¹⁾	Ω
	with $\pm 15 \text{ V}$	50 160 135 155	Ω
	@ $\pm 50 \text{ A}_{\max}$	50 90 135 ²⁾ 135 ²⁾	Ω
	@ $\pm 70 \text{ A}_{\max}$		
I_{SN}	Secondary nominal RMS current	50	mA
N_p/N_s	Turns ratio	1 : 1000	
U_c	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V
I_c	Current consumption (± 2)	10 (@ $\pm 15 \text{ V}$) + I_S	mA

Accuracy - Dynamic performance data

ϵ	Error @ $I_{P\ N1\ A} = 25\ ^\circ\text{C}$	@ $\pm 15\ \text{V}\ (\pm 5\ \%)$	± 0.65	%
		@ $\pm 12\ \dots\ 15\ \text{V}\ (\pm 5\ \%)$	± 0.90	%
ϵ_L	Linearity error		< 0.15	%
I_O	Offset current @ $I_P = 0, T_A = 25\ ^\circ\text{C}$		Typ	Max
I_{OM}	Magnetic offset current ³⁾ @ $I_P = 0$ and specified R_M , after an overload of $3 \times I_{PN}$			± 0.2 mA
I_{OT}	Temperature variation of I_O	$-25\ ^\circ\text{C} \dots +85\ ^\circ\text{C}$	± 0.1	± 0.6 mA
		$-40\ ^\circ\text{C} \dots -25\ ^\circ\text{C}$	± 0.2	± 1.0 mA
t_{D10}	Delay time @ 10 % of I_{PN}		< 500	ns
t_{D10}	Delay time to 90 % of I_{PN} ⁴⁾		< 1	μs
BW	Frequency bandwidth ($-1\ \text{dB}$)		DC ... 200	kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	$-40 \dots +85$	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	$-40 \dots +90$	$^\circ\text{C}$
R_S	Resistance of secondary winding	@ $T_A = 70^\circ\text{C}$	80 Ω
		@ $T_A = 85^\circ\text{C}$	85 Ω
m	Mass	18	g
	Standards	EN 50178: 1997	
		UL 508: 2010	

Notes: ¹⁾ Measuring range limited to $\pm 60 \text{ A}_{\max}$
²⁾ Measuring range limited to $\pm 55 \text{ A}_{\max}$
³⁾ Result of the coercive field of the magnetic circuit
⁴⁾ For a $di/dt = 200 \text{ A}/\mu\text{s}$.

Current Transducer LA 55-P**Insulation coordination**

U_d	RMS voltage for AC insulation test, 50 Hz/1 min	2.5	kV
U_{Ni}	Impulse withstand voltage 1.2/50 μs	5.7	kV
		Min	
d_{cp}	Creepage distance	5	mm
d_{cl}	Clearance	5	mm
CTI	Comparative tracking index (group I)	600	

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Insulating plastic case recognized according to UL 94-V0.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

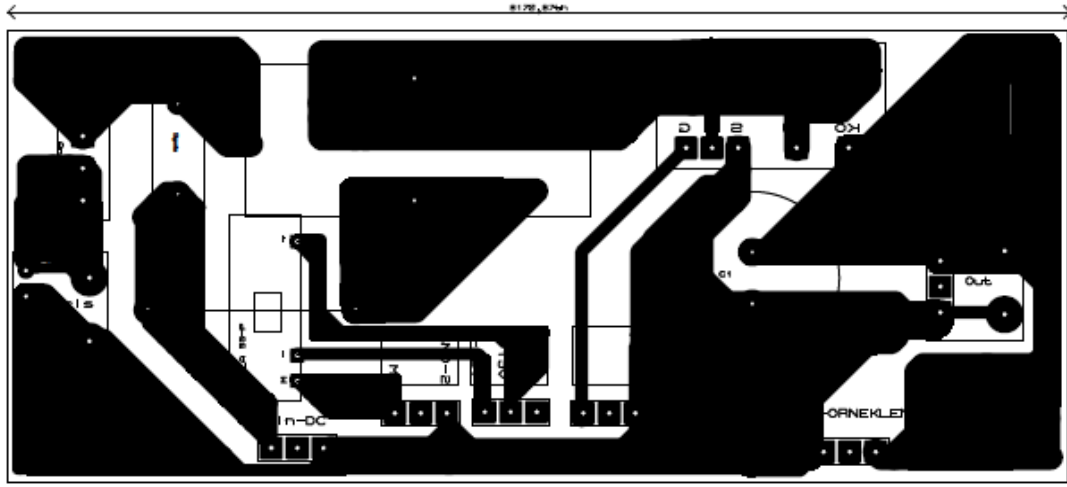
Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

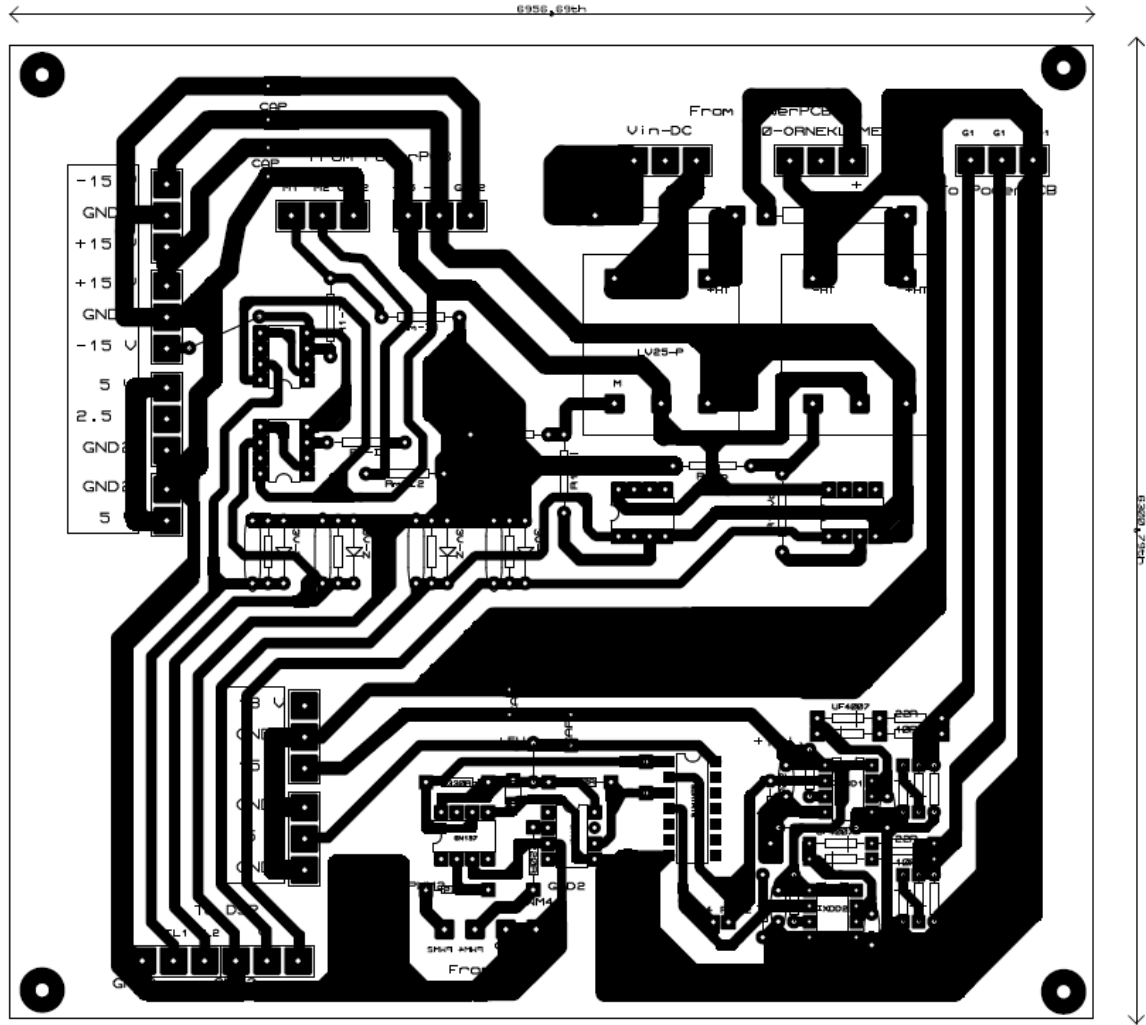
Application domain

- Industrial.

Ek. 3. Klasik DA/DA yükselten dönüştürücü devresi için PCB.



Ek. 4. Örnekleyici ve sürücü devresi için PCB

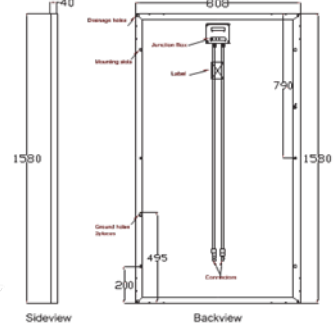


Ek. 5. SK125*125-M-72-195W model FV panelin özellikleri.



SK125*125-M-72

Elektrik ve mekanik özellikleri



Model	SK125*125-M-72-170~200						
Maksimum nominal güç	200W	195W	190W	185W	180W	175W	170W
Nominal boşta çalışma voltajı	45.2V	45.2V	45.1V	45.0V	44.8V	44.5V	44.2V
Nominal kısa devre akımı	5.76A	5.64A	5.54A	5.41A	5.36A	5.28A	5.21A
Maksimum nominal çıkış voltajı	37.4V	37.3V	37.1V	36.8V	36.5V	36.1V	35.7V
Maksimum nominal çıkış akımı	5.35A	5.23A	5.12A	5.03A	4.93A	4.85A	4.76A
Modül verimi	15.66%	15.27%	14.88%	14.49%	14.09%	13.70%	13.3%
Nominal ağırlık	15.5kg	Anschlusskasten		IP65/IP67 3Dioden			
Boyutlar	1580 × 808 × 40mm	Çerçeve		Anodize alüminyum alaşımı			
Hücreler	125× 125mm 72 adet polikristalin	Kablolar		4mm2 uzunluk ≥ 900mm			
Hücrelerin ölçüleri	3,2mm sertleştirilmiş	Bağlantılar		MC4 veya MC4 eşdeğeri			
Maksimum sistem voltajı	1000V	Kullanım sınıflandırması		A Sınıfı			
Sıcaklık katsayısı		Sınırlar					
NOCT (Nominal İşletim Hücre Sıcaklığı)		Güç toleransı		0 ~ + 3 %			
Isı sıcaklık katsayısı	+ 0.037 9 % /	Sıcaklık aralığı		- 0 - + 8 S			
Voc sıcaklık katsayısı	- 0.3 997 % /	Maksimum rüzgâr/karyükü		2400Pa/5400Pa			
Pm sıcaklık katsayısı	- 0.7 0 9 % /	Maksimum ters akım yüklemesi		10A			

■ 25 yıl kalite garantisi

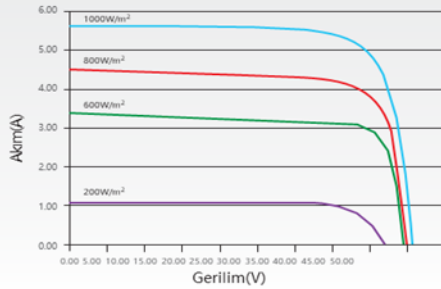
■ 10 yıl %100 ürün garantisi

■ 10 yıl %90 performans

■ 225 yıl %80 performans

PV modülünün IV eğrileri

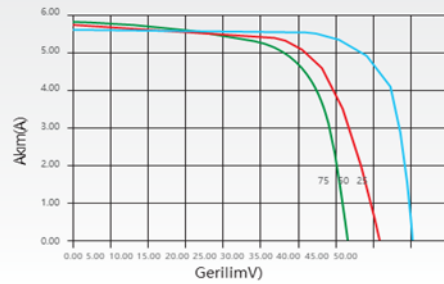
289.;<9.;=>=?:=9@;
Işıma gücü: 1,5'te 25°C



PV modülünün IV eğrileri

289.;<9.;=>=?:=9@;
Farklı sıcaklıklarda

Işıma gücü: 1,5'te, 1kw/m2



289.;<9.;=>=?:=9@;
Farklı sıcaklıklarda
Işıma gücü: 1,5'te, 1kw/m2

ÖZ GEÇMİŞ

Hasan ÜZMUŞ, ilk ve orta öğretimini Batman'da tamamladı. 2006 yılında, şimdiki ismi Bülent Ecevit Üniversitesi olan, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi'nde Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünü okumaya hak kazandı ve 2011 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2014 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi'ne Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı (ÖYP) kapsamında araştırma görevlisi olarak atandığı kurumda 2016 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. Halen aynı üniversitede araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 09/11 /2022

Tez Başlığı / Konusu: Fotovoltaik (FV) Sistemler İçin Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNİ) Yöntemi Geliştirilmesi ve Uygulanması

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 179 sayfalık kısmına ilişkin, 09/11/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %5 (yüzde 5) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Materyal ve yöntem hariç,
- Kaynaklar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Eşleme boyutunu 7 kelimeyle sınırlayın)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Hasan ÜZMUŞ

Öğrenci No: 169101012

Anabilim Dalı: Elektrik Elektronik Mühendisliği

Programı: Doktora

Statüsü: ☐ Yüksek Lisans ☒ Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Prof. Dr. Naci GENÇ

ENSTİTÜ ONAY
UYGUNDUR