



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN YÜKSELTİCİ TİP DA-DA
DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN BENZETİMİ**

Elmin AHMADOV

DANIŞMAN

Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ

II. DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Tarık VELİ MUMCU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 09.09.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı
Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Fakülte

Dr.Öğr.Üyesi Rana ORTAÇ KABAOĞLU
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakülte

Dr.Öğr.Üyesi Burak AKIN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik - Elektronik Fakülte



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır. |

ÖNSÖZ

[Elektrik-Elektronik mühendisliğinin aşamalarından biri olan yüksek lisansın sonuna gelmeğinin mutluluğunu yaşıyorum.Öğrenmenin hayatın her bir sürecinde olduğunu unutmadan, mesleğimde daha da ileri gitmeyi insanlık ve şahsım adına borç bilirim.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde,bilgilerini benimle paylaşan,ne zaman yanına gitsem kıymetli zamanını bana ayırıp sabırla ve ilgiyle elinden gelenin fazlasını sunan ve gelecekteki mesleki hayatımda bana verdiği tavsiyelerinden dolayı değerli tez danışman hocam sayın Doç.Dr.Aysel ERSOY YILMAZ'a araştırma süreci ve ders çalışmalarında rehberlik ve ilhamlarından dolayı teşekkür ediyorum. Ayrıca diğer üniversite hocalarıma bana yüksek lisans döneminde verdikleri eğitimden dolayı hepsine teker teker teşekkürlerimi sunuyorum.

Kıymetli üniversite ve diğer arkadaşlarıma tez çalışmama olan katkılarından dolayı hepsine teşekkür ederim.

Doğduğum günden beri benim için fedakarlık yapan sevgi dolu aileme her şeyi borçluyum. Binlerce kilometre uzakta olsa bile, cesaretlendirmeyi, motive etmeyi ve bana daha büyük hayal kurmayı söylemeyi hiç bırakmadılar. Beni devam ettirdiği için diğer aile üyelerime de minnettarım.]

Eylül, 2019

[Elmin AHMADOV]

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	4
2.1. DA-DA KONVERTÖRLER.....	9
2.1.1. Anahtarlama Kavramı	10
2.1.1.1. Sert Anahtarlama.....	12
2.1.1.2. Yumuşak Anahtarlama.....	14
2.1.2. DA-DA Yükseltici Konvertörler	17
2.1.2.1. Sert Anahtarlmalı (İzolasyonsuz) DA-DA Yükseltici Konvertörler	17
2.1.2.2. Yumuşak Anahtarlmalı (İzolasyonlu) DA-DA Yükseltici Konvertörler	20
2.2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER VE PID KONTROLÖR	23
2.2.1. Fotovoltaik Sistemler.....	24
2.2.1.1. Fotovoltaik Hücreler	24
2.2.1.2. Fotovoltaik Hücreler ve Modüller	26
2.2.1.3. Fotovoltaik Sistem Türleri	27
2.2.2. PID Kontrolör	29
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	32
3.1. FOTOVOLTAİK SİSTEM BENZETİMİ	32
3.1.1. Güneş Işıma Değişimi	32
3.1.2. PV Sistem Parametreleri.....	33
3.1.3. PV Sistem Çıkışı.....	34
3.2. PID BENZETİMİ	34
3.3. DA-DA YÜKSELTİCİ KONVERTÖR BENZETİMLERİ.....	36
3.3.1. Sert Anahtarlmalı (İzolasyonsuz) DA-DA Konvertör Benzetimi	36

3.3.2. Yumuşak Anahtarlama (İzolasyonlu) DA-DA Konvertör Benzetimleri.....	37
4. BULGULAR.....	39
4.1. SERT ANAHTARLAMALI DA-DA KONVERTÖR BULGULARI	39
4.1.1. Konvertör Çıkışı 18 V ve Yük Sabit	39
4.1.2. Konvertör Çıkışı 24 V ve Yük Sabit	40
4.1.3. Konvertör Çıkış Gerilimi Değişken ve Yük Sabit.....	40
4.1.4. Konvertör Çıkış Gerilimi Değişken ve Yük %100 Arttırılmış.....	42
4.1.5. Konvertör Çıkış Gerilimi Değişken ve Yük %50 Azaltılmış.....	42
4.2. YUMUŞAK ANAHTARLAMALI DA-DA KONVERTÖR BULGULARI.....	43
4.2.1. Konvertör Çıkışı 18 V ve Yük Sabit	43
4.2.2. Konvertör Çıkışı 24 V ve Yük Sabit	44
4.2.3. Konvertör Çıkış Gerilimi Değişken ve Yük Sabit.....	45
4.2.4. Konvertör Çıkış Gerilimi Değişken ve Yük %100 Arttırılmış.....	47
4.2.5. Konvertör Çıkış Gerilimi Değişken ve Yük %50 Azaltılmış.....	47
4.3. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ BULGULARI.....	48
4.3.1. 18 V için Karşılaştırmalı Analiz Bulguları.....	49
4.3.2. 24 V için Karşılaştırmalı Analiz Bulguları.....	49
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	51
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1: PV enerji sistemi [1].	1
Şekil 2.1: Anahtarlama ve gerilim bölücülü DA-DA konvertör [36].	10
Şekil 2.2: Temel anahtarlama yapabilen konvertörün çıkış dalgası [37].	11
Şekil 2.3: SA yükseltici DA-DA konvertörün devre şeması [38].	12
Şekil 2.4: SA yükseltici DA-DA konvertörün dalga şekilleri [38].	13
Şekil 2.5: (a) Anahtarlama elemanı kontrol sinyali (b) SA (c) ZCS ve ZVS (d) ZCT ve ZVT [13].	15
Şekil 2.6: SA'lı DA-DA yükseltici konvertör devre şeması [39].	17
Şekil 2.7: SA'lı DA-DA yükseltici konvertörün temel dalga şekilleri [39].	18
Şekil 2.8: Konvertörün iletme geçme durumu [39].	18
Şekil 2.9: Konvertörün kesime geçme durumu [41].	19
Şekil 2.10: İleri yönlü konvertör devre şeması [36].	21
Şekil 2.11: İleri yönlü konvertörün temel dalga grafikleri [36].	22
Şekil 2.12: Geri dönüşlü konvertör devre şeması [36].	22
Şekil 2.13: Geri dönüşlü konvertörün temel dalga grafikleri [36].	23
Şekil 2.14: PV hücre yapısı [44].	24
Şekil 2.15: PV hücrelerini oluşturan bileşenler [45].	25
Şekil 2.16: PV panel düzeni [42].	26
Şekil 2.17: Seri bağlı 72 hücreye sahip bir PV panel [46].	27
Şekil 2.18: Şebekeden ayrı PV sistem [48].	28
Şekil 2.19: Şebekeye bağlı PV sistem [48].	28
Şekil 2.20: Hibrit PV sistem [48].	29
Şekil 2.21: PID kontrolörün yapısı [49].	30
Şekil 3.1: Güneş ışınım (Irradiance) değişimi	32
Şekil 3.2: PV sistem benzetim şeması	33
Şekil 3.3: PV sistem çıkışından elde edilen gerilim grafiği	34
Şekil 3.4: PID kontrol benzetim şeması	35
Şekil 3.5: Sert anahtarlama DA-DA yükseltici konvertör şeması	36

Şekil 3.6: Sert anahtarlama sistemi blok modeli.....	37
Şekil 3.7: Yumuşak anahtarlama DA-DA konvertör benzetimi.....	37
Şekil 3.8: Yumuşak anahtarlama sistemi blok modeli.....	38
Şekil 4.1: Çıkış geriliminin 18 V olması istendiğinde elde edilen grafik	39
Şekil 4.2: Çıkış gerilimi 24 V olması istendiğinde elde edilen grafik	40
Şekil 4.3: Çıkış gerilimi 18 V'tan 24 V'a yükseldiğinde elde edilen grafik	41
Şekil 4.4: Çıkış gerilimi 24 V'tan 18 V'a düştüğünde elde edilen grafik	41
Şekil 4.5: Yük %100 arttırıldığında elde edilen sonuçlar	42
Şekil 4.6: Yük %50 azaltıldığında elde edilen sonuçlar	43
Şekil 4.7: Çıkış geriliminin 18 V olması istendiğinde elde edilen sonuçlar	44
Şekil 4.8: Çıkış geriliminin 24 V olması istendiğinde elde edilen sonuçlar	45
Şekil 4.9: Çıkış gerilimi 18 V'tan 24 V'a yükseldiğinde elde edilen grafik	46
Şekil 4.10: Çıkış gerilimi 24 V'tan 18 V'a düştüğünde elde edilen grafik	46
Şekil 4.11: Yük %100 arttırıldığında elde edilen sonuçlar	47
Şekil 4.12: Yük %50 azaltıldığında elde edilen sonuçlar	48
Şekil 4.13: 18 V için karşılaştırmalı analiz bulguları.....	49
Şekil 4.14: 24 V için karşılaştırmalı analiz bulguları.....	50

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1: Diyot parametreleri	33
Tablo 3.2: Sinyal generatörünün parametreleri	35
Tablo 3.3: MOSFET parametreleri.....	36
Tablo 3.4: Transformatör parametreleri	38



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
D	: Konvertörün dönüştürme ya da görev oranı
I_d	: Diyot akımı
$K_{p, i, d}$: Oransal, İntegral, Türevsel kazanç
R_y	: Yardımcı direnç
$R_{yük}$: Yük direnci
T	: Periyot
t_{off}	: Anahtarların kesimde olma süresi
t_{on}	: Anahtarların iletimde olma süresi
V_0	: Çıkış gerilimi
V_d	: Diyot gerilimi
V_i	: Giriş gerilimi
Kısaltmalar	Açıklama
AA	: Alternatif Akım
DA/DC	: Doğru Akım/Direct Current
EMI	: Elektromanyetik Girişim (Electro Magnetic Interference)
PV	: Fotovoltaik
MGNİ	: Maksimum Güç Noktası İzleyicisi
PID	: Oransal İntegral Türevsel (Proportional Integral Derivative)
SA	: Sert Anahtarlama
YA	: Yumuşak Anahtarlama
ZCS	: Sıfır Akımda Anahtarlama (Zero Current Switching)
ZCT	: Sıfır Akımda Geçiş (Zero Current Transition)
ZVS	: Sıfır Gerilimde Anahtarlama (Zero Voltage Switching)
ZVT	: Sıfır Gerilimde Geçiş (Zero Voltage Transition)

ÖZET

[FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN YÜKSELTİCİ TİP DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN BENZETİMİ]

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[Elmin AHMADOV]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

[Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı]

Danışman : Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ

II. Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Tarık Veli MUMCU

[Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmaktadır. Fotovoltaik sistemler de yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunmaktadır. Bu sistemler bir doğru akım kaynağı olup güneş ışığının olmadığı zamanlarda enerji üretememektedir. Bu nedenle gün içerisinde ihtiyaç fazlası olan enerji depolanıp kullanılmaktadır. Bu sistemlerden maksimum düzeyde güç aktarımı yapılabilmesi için kontrol edilebilir ve verimi yüksek konvertörlere ihtiyaç duyulmaktadır.]

Bu çalışmada literatürde yer alan Sert Anahtarlama (İzolasyonsuz) DA-DA yükseltici konvertör ile Yumuşak Anahtarlama (İzolasyonlu) DA-DA yükseltici konvertörün fotovoltaik sistem üzerinde PID kontrolörle performans analizi yapılmıştır. Matlab/Simulink yazılımında benzetimi gerçekleştirilen konvertörlerin 12-13 V giriş gerilimine karşılık 18 ve 24 V çıkış gerilimindeki performansları izlenmiştir.]

[Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre PID kontrolörlü fotovoltaik bir sistem için en başarılı sonuçları Sert Anahtarlama (İzolasyonsuz) DA-DA yükseltici konvertör üretmiştir.]

Eylül 2019, [69.] sayfa.

Anahtar kelimeler: [Sert anahtarlama, Yumuşak anahtarlama, Fotovoltaik, PID, DA-DA konvertör, Yükseltici konvertör]

SUMMARY

SIMULATION OF AMPLIFIER TYPE DC-DC CONVERTER FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

M.Sc. THESIS

Elmin AHMADOV

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ

Co-Supervisor : Assist. Prof. Dr. Tarik Veli MUMCU

Today, the use of renewable energy sources is increasing. Photovoltaic systems are also among renewable energy sources. These systems are a direct current source and cannot generate energy in the absence of sunlight. For this reason, surplus energy is stored and used during the day. In order to achieve maximum power transfer from these systems, controllable and high efficiency converters are needed.

In this study, PID controller performance analysis of the Hard Switched (Nonisolated) DC-DC boost converter and Soft Switched (Isolated) DC-DC boost converter in the literature was performed on the photovoltaic system. In the Matlab / Simulink software, the performances of the simulated converters at 18 and 24 V output voltage versus 12-13 V input voltage were monitored.

According to the results obtained from the study, the most successful results for a photovoltaic system with PID controller are Hard Switched (Nonisolated) DC-DC boost converter. Summary text.

August 2019, 69 pages.

Keywords: Hard switching, Soft switching, Photovoltaic, PID, DC-DC converter, Boost converter

1. GİRİŞ

Fotovoltaik (PV) sistemlerde bulunan güneş pilleri bir doğru akım kaynağı olup bu pillerin seri ya da paralel bağlanmasıyla farklı akım-gerilim değerleri elde edilebilmektedir. Fotovoltaik sistemlerde güneş ışığının olmadığı zamanlarda enerji elde edilemediği için bu tür zamanlarda enerjinin devamlılığının sağlanması bakımından gün içerisinde elde edilen ihtiyaç fazlası enerji depolanmaktadır. Bu sistemlerden maksimum düzeyde güç aktarımı yapılabilmesi için kontrol edilebilir ve verimi yüksek konvertörlere ihtiyaç bulunmaktadır. Konvertörler, güç elektroniği kapsamında değerlendirildiğinde halen pek çok araştırmacının araştırma konuları arasında bulunduğu görülmektedir [1].



Şekil 1.1: PV enerji sistemi [1].

Günümüze ait ilk modern güç elektroniğinin adımları 1948 yılında Bell laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Buradaki çalışmalar arasında yarı iletken malzemelerle çalışmalar yapan Brattain, Bardeen ve Shockley transistör devre elemanının bulunması ve 1956 yılında Tanenbaum, Moll, Holonyak ve Goldey'in dört katmanlı PNP silikon transistörünün geliştirmesi bulunmaktadır. Ayrıca 1958'de General Elektrik şirketinin ticari bakımdan "silikon kontrollü doğrultucu" farklı bir ifadeyle tristör devre elemanını gerçekleştirilmesiyle güç elektroniğine yeni bir kapı aralamıştır. Böylece farklı karakteristik yapıya sahip güç elektroniği elemanlarının geliştirilmesiyle çeşitli dönüştürme ve şekil vermenin yanı sıra

farklı güç kontrol metotları geliştirilmiştir. Bu anlamda 1971'de geliştirilen ilk mikroişlemci ile güç elektroniğinde kullanılan devrelerin denetimi oldukça kolaylaşmıştır [2], [3].

Güç elektroniğiyle enerji kaynaklarından kullanıcıya veya diğer birimlere istenilen genlik, şekil ve frekans vb. gibi faktörler düzenlenerek sunulabilmektedir. Endüstriyel uygulamalar açısından ark ocakları, ayarlanabilir güç kaynakları, indüksiyon ocakları, kompanzasyon sistemleri, aydınlatma sistemleri, kaynak sistemleri ve endüstriyel lazer sistemleri vb. gibi uygulamaları bulunmaktadır. Diğer yandan günlük ve ticari alanlardaki uygulamalarda ise yenilenebilir enerji sistemleri, elektrikli otomobil, batarya şarj sistemleri, tramvay sistemleri, havalandırma, ısıtma, soğutma sistemleri, kesintisiz güç kaynakları ve asansörler vb. gibi pek çok alanda uygulama alanı bulunmaktadır. Bu alanlardaki ihtiyacı karşılayabilmek için AA-DA doğrultucuları, DA-AA eviricileri, AA-AA ve DA-DA kısıyıcıları gibi güç elektroniği devreleri kullanılmaktadır [3], [4], [5].

DA-DA konvertörler mevcut doğru gerilimi daha düşük ya da daha yüksek değerlere dönüştürmektedir. Yüksek anahtarlama frekanslarında kontrol kolaylığının olması, yüksek güç yoğunluğunun bulunması ve hızlı tepki süresiyle anahtarlama DA-DA konvertörler, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durum konvertör devresinde kullanılan kondansatör, bobin ve transformatör gibi devre elemanlarının boyutlarının küçük olarak tercih edilmesini sağlamaktadır. Diğer yandan, anahtarlama frekansının artması, anahtarlama kayıplarını ve elektromanyetik girişim (EMI) değerini de arttırmaktadır [6].

Konvertörde meydana gelen anahtarlama kayıpları, devrede bulunan yarı iletken elemanın iletme geçmesi sırasında yarı iletken elemanın uçlarında bulunan gerilimin düşmesi ve yarı iletken üzerinden geçen akımın yükselmesiyle meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra, yarı iletkenin kesime geçme sırasında uçlarındaki gerilim değerinin yükselmesi ve yarı iletken üzerinden geçen akım değerinin düşmesi durumunun aynı zaman aralığında oluşmasıyla meydana gelmektedir. İletme geçme sırasında, parazitik kondansatör deşarjında meydana gelen enerji kaybı ve diyotun ters polarma sürecinde meydana gelen enerji kaybı da anahtarlama kaybı olarak karşımıza çıkmaktadır [7]. Bu nedenle konvertör devrelerinde Sert Anahtarlama (SA) (Hard Switching - HS) yerine Yumuşak Anahtarlama (YA) (Soft Switching - SS) kullanılmaktadır. YA'da bastırma hücreleri olarak ifade edilen devreler yardımıyla anahtarlama sırasında oluşan kayıplar azaltılarak, anahtarlama frekansı

yükseltilebilmektedir [8]. Literatürde kutupsuz-kutuplu, rezonansız-rezonanslı, izolasyonlu-izolasyonsuz, pasif-aktif hücreler vb. gibi pek çok sayıda çalışmanın bulunduğu görülmektedir [9], [10], [11]. YA, temel bakımdan anahtarlama kayıplarının ve EMI değerinin özel düzeneklerle yok edilmesi ya da en az düzeye indirilmesi şeklinde ifade edilebilir. Araştırmalarda farklı YA metotlarının kullanıldığı görülmektedir [12].

DA-DA konvertör çeşitleri elektriksel bakımdan giriş ve çıkış birimlerinin birbirlerinden ayrı olanlar ve olmayanlar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Her iki birimin elektriksel bakımdan birbirlerinden ayrı olması durumuna izoleli, birbirlerinden ayrı olmaması durumuna ise izolesiz yapılar denilmektedir. İzoleli konvertörlerde kullanılan izolasyon elemanı opto izolatörler veya transformatörlerdir [3]. Literatürde DA-DA konvertör çeşitleri izolesiz ve izoleli olmak üzere sınıflandırılmıştır [13].

2. GENEL KISIMLAR

Literatür Özetleri

Literatürdeki anahtarlama DA-DA konvertörler incelendiğinde, gereksinim duyulan alanların neler olduğuyla ilgili olarak farklı çalışmalar yapıldığı anlaşılmaktadır.

Hua ve ark. (1994a) yaptığı çalışmada, literatürde bulunan yayınların temel alınan yumuşak anahtarlama teknikleri arasında bulunan sıfır akım geçişli (Zero Current Transmission – ZCT) tekniğini kapsayan aktif bastırma hücreli DA-DA yükseltici konvertör tasarlamışlardır. Araştırmacılar 1 kW güçte ve 100 kHz'lik frekansta çalışan konvertörü, aktif bastırma hücresiyle beraber tasarlanarak temel anahtar ile yumuşak anahtarlamanın birlikte kesime gitmesiyle yükseltici konvertörün performansı % 93 seviyesinden % 97'ye kadar çıkarmayı başarmışlardır [14].

Sıfır akımda anahtarlama (ZCS) veya sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS) ile komütasyonların gerçekleştirilmesiyle birlikte, rezonanslı konvertörlerin anahtarlama sırasında oluşan kayıpları oldukça azalmaktadır. Ancak bu türden konvertörlerde, aşırı akım ve gerilim stresleri oluşmakta ve normal PWM konvertörlere göre kontrol daha zor ve güç yoğunluğu daha düşük olmaktadır [7], [15].

Hua ve ark. (1994b) yaptıkları çalışmada, literatürde ZVT tekniği olarak bilinen temel yumuşak anahtarlama tekniği ile gerçekleştirdikleri aktif bastırma hücreli DA-DA yükseltici konvertör tasarımı gerçekleştirmişlerdir. 600 W güce ve 300 kHz'lik frekansta çalışabilen bu konvertörde temel anahtar yumuşak anahtarlama ile birlikte iletime geçirilmiş ve konvertörden % 98'e varan bir performans sağlanmıştır [16].

Bodur ve Bakan (2002)'in yaptıkları çalışmada, kaynak [16]'da oluşan bazı temel sorunların çözülebilmesi için ZVT tekniğinin içinde bulunduğu yeni ve farklı bir aktif bastırma hücreli konvertör modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmadaki bastırma hücresi 2 kW güç ve 50 kHz'lik frekansla DA-DA yükseltici konvertör modelinde kullanılmıştır. Tasarımı yapılan bu aktif

bastırma hücreli modeli kullanılarak kaynak [16]'daki sorunlar pek çoğu giderilmiş ve konvertörün performansı % 91 seviyesinden % 97'ye çıkarılmıştır [17].

Günümüzde, normal ve rezonanslı PWM tekniklerindeki istenen bazı özellikleri birleştirmek amacıyla normal PWM konvertörlere rezonanslı aktif bastırma hücreleri eklenerek, çok fazla örnekte ZCT ve ZVT PWM konvertör gerçekleştirilmiştir [18], [19]. Bu konvertörlerde, kesim ve iletme geçme işlemleri, rezonanslı bir devre tarafından gerçekleştirilen çok kısa süreli bir ZCT veya ZVT ile ZCS ve/veya ZVS altında gerçekleşmektedir. Burada rezonans çok kısa süreli aralıklarda gerçekleştiği için, konvertör zamanın pekçoğunda normal davranışlı bir PWM konvertör olarak çalışır. Fakat bastırma hücresindeki elemanların çalışma özellikleri nedeniyle, PWM çalışmasında kesim ve iletim durumları çok kısa bir sürede olmaktadır [19].

Lee ve ark. (2003) tarafından yapılan araştırmada kaynak [2]'de oluşan bazı sorunlara çözüm getirmek için ZCT tekniğini barındıran farklı bir bastırma hücresi içeren DA-DA yükseltici konvertör devresi tasarlanmıştır. Bu çalışma 1 kW güçte ve 100 kHz'lik anahtarlama frekansı ile çalıştırılan konvertördeki ana anahtar yumuşak anahtarlama ile kesime zorlanmış ve yaklaşık olarak % 95 seviyesinde verime ulaşılmıştır. Diğer yandan kaynak [2]'deki ana anahtar üzerinde meydana gelen akım stresi sorunu da çözümlenmiştir [20].

Endüstriyel uygulamalarda İleri Yönlü konvertörler düşük ve orta güçler için kullanımı en verimli ve etkili bir konvertör çeşididir. Son yıllarda güç elektroniği alanındaki çalışmalar karşısında klasik anlamda ileri yönlü konvertörlerin temel problemlerinin çözülmesi için pek çok sayıda tasarım gerçekleştirilmiştir. İleri yönlü olduğu gibi B-H karakteristiğinde bulunan ve üst katmanını kullanan konvertörlerde transformatöre ait mıknatıslanma endüktansı resetlenmelidir. Bu nedenle de günümüzde pek çok pasif ve/veya aktif resetleme hücre devreleri geliştirilmiştir [21].

Konvertörlerin İleri yönlü çeşitleri içinde bulunan ileri yönlü iki anahtarlı konvertörler maksimum olarak %50 doluluk oranıyla çalıştırılmaktadır. Genel anlamda doluluk oranı düzeyinin artırılmasında kaynak [15] ile transformatörünün birinci sargısına paralel bir kondansatör ve bir anahtar bağlanarak çözümlenmiştir. Burada trafonun mıknatıslanma endüktansı ve kondansatörün değerine göre konvertördeki anahtarda gerilim stres düzeyi artmaktadır [22].

Bodur ve ark. (2003) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, ZCS ve ZVS tekniklerinin içerisinde bulunduğu pasif bastırma hücreli DA-DA düşürücü konvertör devresi tasarlanmıştır. 5 kW güçte ve 50 kHz'lik frekansta çalışabilen bu konvertörde maliyeti düşük olan pasif bastırma hücreli devre kullanılmış ve konvertörün performansı % 91 seviyesinden % 98 seviyesine çıkarılmıştır [23].

2007 yılında Das ve Moschopoulos'un yaptığı araştırmada, pek çok çalışmada bulunan ZCT tekniğinin de içerisinde yer aldığı DA-DA konvertör modelleri incelenmiştir. 1 kW güçte ve 50 kHz'lik frekansla çalışabilen farklı bir aktif bastırma hücreli ZCT devresi tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen devrede, çalışmanın incelenen tüm diğer aktif bastırma hücreli devrelere göre yüksek güç yoğunluklu uygulamalarda kullanılabilir en verimli devre olduğunu göstermişlerdir [24].

2008'de Panda ve ark. tarafından gerçekleştirilen araştırmada, düşük gerilimlerde çalışabilen ve yüksek verimin gerekli olduğu seyyar uygulamalarda 50W güçte ve 500 kHz'lik frekansla çalışabilen pasif bastırma hücreli ZVT DA-DA düşürücü konvertör devre modeli tasarlamışlardır. Ana anahtar ve devrede bulunan diğer tüm yarı iletkenlerin yumuşak anahtarlamayla çalıştırıldığı konvertörde verim % 87 düzeyinden % 96 düzeyine çıkarılmıştır [25].

Park ve ark. tarafından 2010 yılında yapılan araştırmada, 600 W güçte ve 30 kHz'lik frekansla çalışabilen aktif bastırma hücre devreli farklı bir DA-DA yükseltici konvertör modeli gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan bu konvertörde verim % 91 seviyesinden % 96 seviyesine yükseltilmiştir [26].

2014'de Altıntaş ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada ZCT ve ZVT tekniklerinin her ikisinin beraber kullanıldığı aktif bastırma hücreli DA-DA yükseltici konvertör devresi tasarlanmıştır. 1 kW güçte ve 100 kHz'lik frekansla çalışabilen konvertörde gerilim ve akım stres değerleri gibi pek çok sorun çözümlenmiş ve devrede bulunan bütün yarı iletkenlerde yumuşak anahtarlamayla çalıştırılmıştır. Gerçekleştirilen aktif bastırma hücreli devre kullanılarak konvertörün performansı % 98 seviyesine çıkarılmıştır [10].

Aksoy ve ark. Tarafından 2015 yılında yapılan araştırmada, farklı bir aktif bastırma hücreli ZVZCT tekniği tasarlanmıştır. 1 kW güçte ve 100 kHz'lik frekansla çalışabilen DA-DA yükseltici konvertör devresi gerçekteştirilmiş ve benzetim ortamında modellenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlarda ana diyot ve anahtar üzerinde ek bir gerilim stres değerine meydana getirmeyen konvertörde ana anahtarlar ise kabul edilebilir düzeyde akım stresi oluşmuştur. Diğer yandan konvertör geniş bir gerilim aralığı ve düşük yüklerde çalıştırılabilmektedir [27].

Ayrıca son yıllarda fotovoltaik (PV) sistemlere yönelik yapılan/önerilen konvertör çalışmaları da bulunmaktadır.

2017 yılında Tsai ve Su tarafından gerçekteştirilen araştırmada, çok çıkışlı SEPIC yumuşak anahtarlama konvertör tasarlanmıştır. Ana ve yardımcı anahtarların ZCS ve ZVS teknikleri kullanılarak anahtarlama yapılmasıyla EMI gürültüleri ve anahtarlama kayıpları azaltılarak konvertör performansı verim artırılmıştır. Çok çıkışlı olarak tasarlanması konvertörün yenilenebilir enerji uygulamaları için uygun bir tasarım olduğu gerçekteştirilen deneysel çalışmalarda görülmektedir [28].

Kofinas ve ark. tarafından 2015 yılında yapılan araştırmada, kısmen gölgede olan sistemlerde doğrudan yapay sinir ağları algoritması temeline dayanan uzman bir Maksimum Güç Noktası İzleyici (MGNI) modeli geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada, FV kaynağına paralel olacak şekilde bağlanmış bir düşüren konvertör ve bir yükten meydana gelmektedir. Tasarlanan sistemin algoritmasına ait performansın, geleneksel algoritmalarla değiştir-gözle algoritmasına göre daha iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür [29], [30].

Fathi (2015) tarafından yapılan doktora araştırmasında, bir düşürücü konvertör kullanılmış ve PV sistemle su pompalama uygulaması için MGNI gerçekteştirilmiştir. Su pompasının gerilim besleyicisi olan 240 W'lık PV sistemin tasarımı/benzetimi Matlab yazılımında gerçekteştirilmiştir. Gerçekteştirilen MGNI algoritmalarının birbirleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmaların sonuçlarında ise geliştirilen gözle-değiştir algoritmasının yapay sinir ağı ve bulanık mantık algoritmalarına göre daha verimli olduğu vurgulanmıştır [31].

Yapılan farklı bir çalışmada düşürücü konvertör ve Arduino seti kullanılmıştır. Bu çalışmada PV şarj kontrolörünün tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. 2017’de yapılan araştırmaya göre, araştırmalarda ortaya koyulan diğer DA-DA konvertörlerle karşılaştırıldığında, düşürücü konvertörün daha verimli olduğu görülmüştür [32].

Yükseltici DA-DA konvertör denetimi için literatürde pek çok kontrolör türünün kullanıldığı görülmektedir. Gerçekleştirilen kontrolör, gerçek çıkış gerilimi ve dönüştürücü referans arasındaki hata payını sürekli denetleyerek beklenen sistem cevabının parametrelerini oluşturacak şekilde konvertörün çalışma hatasını düzeltmektedir. Geleneksel PID ve PI kontrolör çeşitlerinin kullanıldığı kapalı çevrim kontrolör yapısı yükseltici konvertörlerin denetiminde sıklıkla kullanılmaktadır [33], [34], [35].

Bu çalışmada, literatürde kullanılan DA-DA yükseltici konvertörlerin bir PV sistem için PID kontrolör performansının araştırması yapılacaktır. Çalışmada SA (izolasyonsuz) ve YA’lı (izolasyonlu) DA-DA yükseltici konvertör yapıları incelenecektir. Burada en temel amaç en verimli DA-DA yükseltici konvertörün belirlenmesidir. Bu çalışma, uygulama bakımından PV sistemlerde enerji depolama ve sabit enerji ihtiyacının gerekli olduğu yerlerde kullanılabilir. Bu bağlamda, kullanılan enerjinin verimi ve kalitesi, enerji kaynaklarının etkili kullanılması endüstriyel alanlarda ve akademik çalışmalarda önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu bakımdan yapılan çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Enerjinin verimliliği, hacimsel ya da ağırlık bakımından kullanılan malzemelere ve devreden sağlanan güce bağlıdır. Bu durum kullanıcıya devrenin kalitesi bakımından bir fikir vermektedir. PV sistemlerde elde edilen akım-gerilim sabit değildir. Bu durum hem enerji kaynağı hem de yük açısından önem arz etmektedir. Enerjinin sabit olması kullanılan anahtarlamalı DA-DA konvertör ve kontrolör yapısına bağlıdır.

Genel itibariyle PV sistemlerde kullanılan konvertörlerin veriminin artırılması için aşağıdaki yöntemler sunulmaktadır:

- Devrenin frekansının artırılması ile devre hacminin küçültülmesi: Bu durum yumuşak anahtarlama ile sağlanabilir,

- Devrede bulunan elektronik malzemelerin teknolojik açıdan küçük boyutlarda üretilmesiyle sağlanabilir,
- Devrede pasif enerjiyi depolayan elemanların değerlerinin küçültülmesiyle sağlanabilir.

Burada bahse konu olan verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar hem malzemenin teknolojik bakımdan küçültülmesi hem de tasarlanan dönüştürücüyle yakından ilgilidir.

Bu tez için öncelikle literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş ve yapılması planlanan çalışmanın bölümleri aşağıda sunulmuştur.

- Birinci Bölüm: Bu bölümde çalışmanın genel anlamda ne ifade ettiği, endüstriyel açıdan ve literatürde belirtilen DA-DA konvertörlerin neler olduğu incelenmiştir. Ayrıca çalışmanın amacı, kapsamı ve bölümleri sunulmuştur.
- İkinci Bölüm: Bu bölümde DA-DA konvertörler hakkında bilgiler verilmiştir. Anahtarlama kavramı ve metotları açıklanmış, izolasyonsuz ve izolasyonlu DA-DA Yükseltici konvertörler hakkında bilgi verilmiştir. Fotovoltaik sistemler, modüller, hücreler, türler ve matematiksel ifadelerine yer verilmiştir. Ayrıca PID kontrolör yapısı ve matematiksel ifadelerine değinilmiştir.
- Üçüncü Bölüm: Bu bölümde yapılan ikinci ve üçüncü bölümde bahse konu olan birimlerin benzetim çalışmalarına yer verilmiştir. Benzetim çalışmalarında Matlab/Simulink programı kullanılmıştır.
- Dördüncü Bölüm: Bu bölümde benzetimlerden elde edilen bulgulara tablolar ve grafikler halinde yer verilmiş ve açıklanmıştır.
- Beşinci Bölüm: Bu bölüm çalışmanın sonuç ve öneriler bölümüdür. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

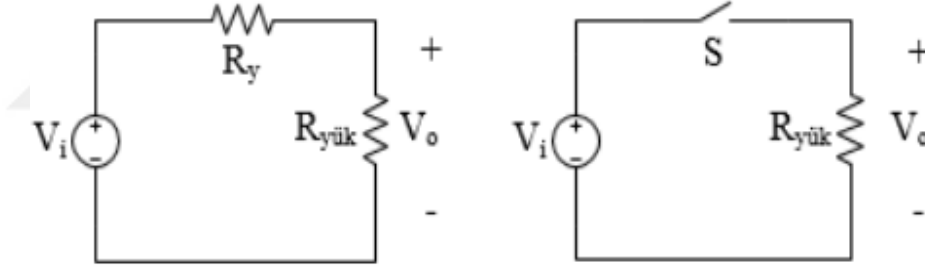
2.1. DA-DA KONVERTÖRLER

Son yıllarda sıklıkla kullanım alanı bulan DA-DA konvertörler, akademik ve endüstriyel uygulamalarda oldukça detaylı bir şekilde araştırılmaktadır. Araştırmalarda rezonanslı ve anahtarlama olmak üzere iki türde incelen DA-DA konvertörlerin, uygulamada

anahtarlama türde olanlar çok yaygındır. Temel anahtarlama DA-DA konvertörler, bir yarı-iletken güç diyotu, bir kontrol edilebilen yarı-iletken güç elemanı ve bir bobin elemanından oluşan üç farklı elektronik devre elemanının farklı düzenlerde bağlanması ile elde edilmektedir. Bu devrelerde ya tam kesimde ya da tam iletimde olacak şekilde çalışan kontrol güç elemanına aktif eleman veya güç anahtarı adı verilmektedir. Yarı iletken diyot ise pasif güç devre elemanıdır. Anahtarlama DA-DA konvertörlerin çalışma prensibi, anahtarlama yapılan bobin elemanının enerji aktarmasına bağlıdır [36].

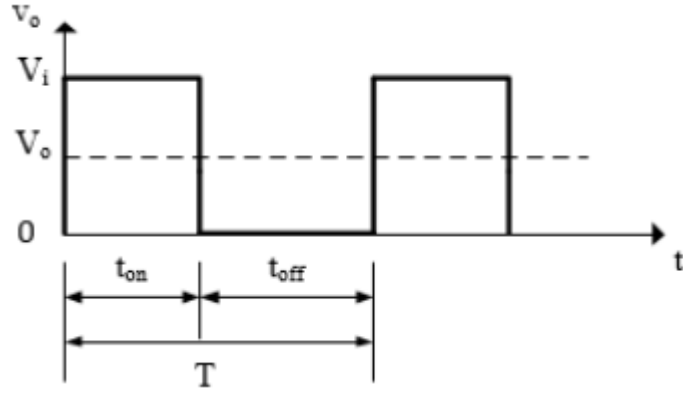
2.1.1. Anahtarlama Kavramı

Şekil 2.1’de kullanılan devrelerde yük için gereken gerilim elde edilirken, doğrusal olarak çalışan anahtar veya gerilim bölücü direnç üzerinde oluşan artık güç ısı olarak kendini göstermektedir. Ayrıca yük değişimlerine de duyarsız olarak çalışan bu metodun dönüştürme uygulamalarında kullanılması oldukça verimsiz sonuçlar ortaya çıkarmaktadır [36], [37].



Şekil 2.1: Anahtarlama ve gerilim bölücülü DA-DA konvertör [36].

Geleneksel gerilim bölücülü devrelerde yük direnci ($R_{yük}$) ve yardımcı bir direnç (R_y) üzerinde, dirençlerin değerlerine bağlı olarak doğru orantılı bir gerilim paylaşımı sağlanmaktadır. Gerilim bölücülü DA-DA dönüştürücü yönteminde kullanılan R_y ya da doğrusal olarak çalışan bir anahtarın (S) yerine anahtarlama teknikleriyle devrede meydana gelen güç kaybı önlenmektedir. Belirli zaman aralıklarına bağlı olarak tam kesim ya da tam iletime geçebilen bu yarı-iletken anahtarlar sebebiyle $R_{yük}$ üzerinde oluşan ortalama gerilim değeri minimum kayıplar ile daha rahat ayarlanabilmektedir. Bu bağlamda temel anahtarlama yapabilen konvertörlerin çıkış gerilimine ait dalga biçimi Şekil 2.2’de görülmektedir [3].



Şekil 2.2: Temel anahtarlama yapabilen konvertörün çıkış dalgası [37].

Temel anahtarlama yapabilen konvertörlerde, anahtarların iletimde olma süresi (t_{on}) anahtarların kesim (t_{off}) ve iletim (t_{on}) sürelerinin toplamına oranı ya da toplam süreye ait periyoda (T) oranına konvertörün görev oranını veya konvertörün dönüştürme oranı (D) adı verilmektedir.

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T}$$

(1)

Ayrıca konvertör dönüştürme oranı çıkış geriliminin (V_o) giriş gerilimine (V_i) oranı olarak da ifade edilebilir. Buradan çıkış gerilimi aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$V_o = DV_i$$

(2)

Bu denklemden anlaşılacağı üzere V_o , dönüştürme oranına bağlıdır. Bu durumda ya V_i 'ye eşit ya da V_i 'den daha düşük olacaktır.

$$0 \leq D \leq 1$$

(3)

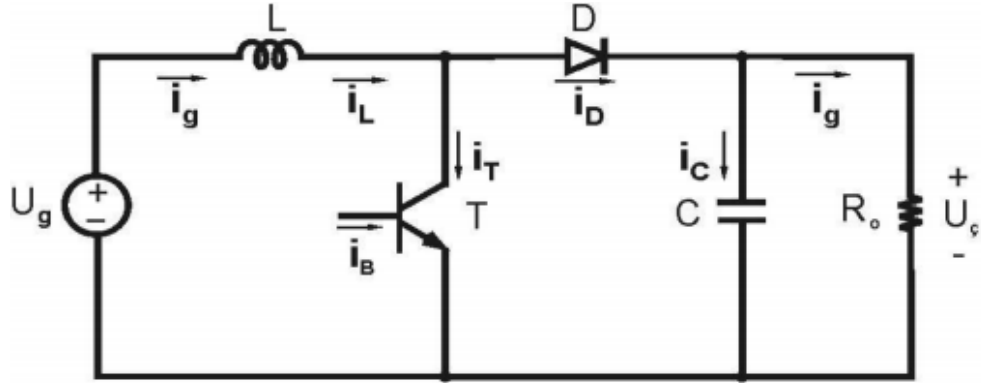
Dönüştürme oranının değeri istenilen çıkış gerilim değerine göre 0 ve 1 aralığında değişebilmektedir [3], [36]. Dönüştürme oranı değerinin çıkış gerilimine bağlı olarak

düzenlenmesine, Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) da denilmektedir [13]. Devrenin çıkışında temiz bir DA elde edebilmek için, çıkış geriliminde bulunan AA bileşenlerini kondansatör ve bobin ile oluşturulan alçak geçiren bir filtre düzenlenir. Bu bağlamda çıkışta daha saf bir gerilim ve sadece DA bileşeniyle sabit bir değer elde edilebilir [37].

2.1.1.1.Sert Anahtarlama

Bir yarı-iletken güç elemanının iletme ve kesime girme işlemi anahtarlama olarak ifade edilir. Anahtarlama sırasında güç elemanının gerilim ve akımının üst üste çakışmasıyla oluşan kayıpların yanında, güç diyotunun da ters polarma kaybı ve güç anahtarına ait parazitik kondansatörün deşarj kaybı meydana gelmektedir. Oluşan tüm bu anahtarlama kayıplarıyla anahtarlama frekansı arasında doğru orantı bulunmaktadır. Devreye ek bir düzenleme yapılmadan, doğal biçimde gerçekleştirilen anahtarlama işlemi ‘‘Sert Anahtarlama’’ (SA) olarak ifade edilmektedir [13].

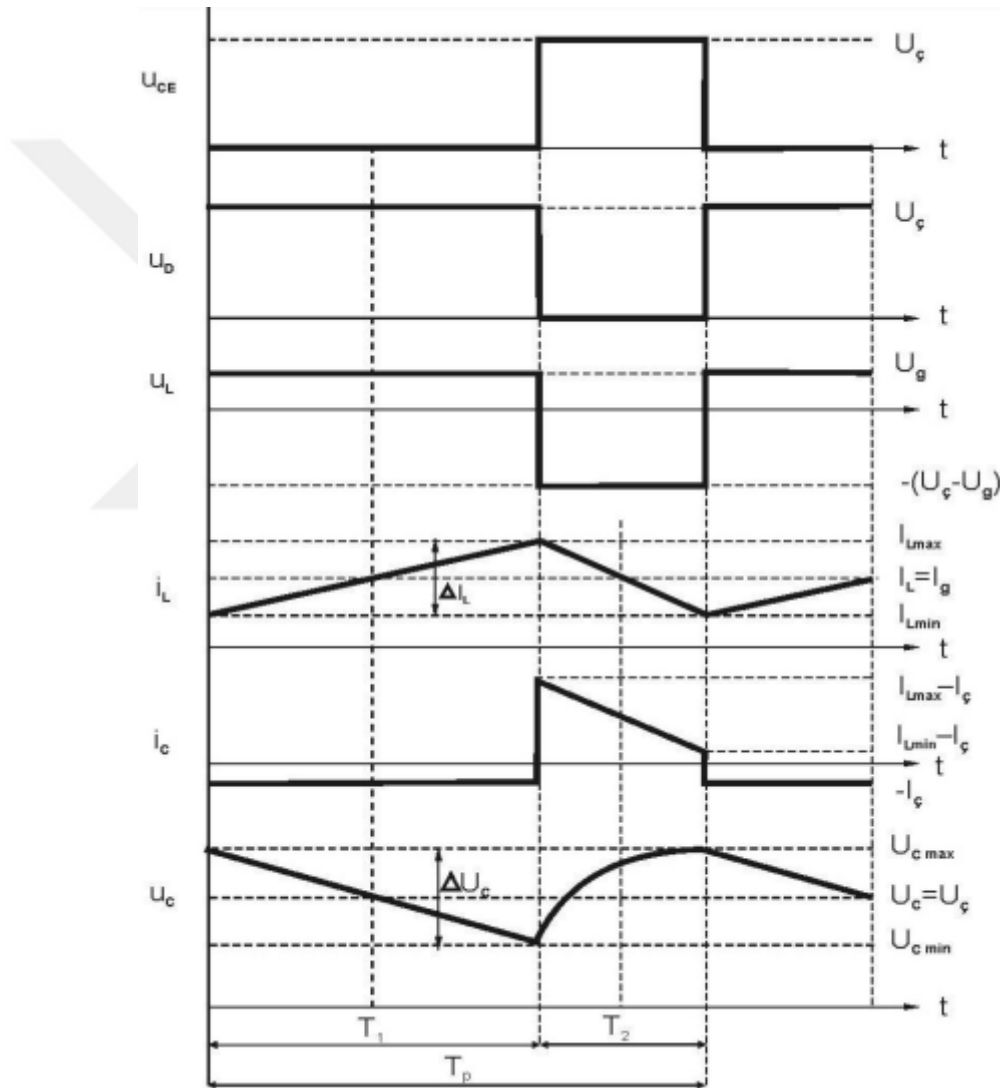
Aşağıdaki bölümde, geleneksel bakımdan yükseltici olarak kullanılan DA-DA konvertörün devre şeması (Şekil 2.3) [38], çalışma şekli ve temel dalga biçimleri (Şekil 2.4) detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 2.3: SA yükseltici DA-DA konvertörün devre şeması [38].

Bu dönüştürücülerin temel yapısında güç anahtarının iletimde olması durumunda giriş gerilimi sadece bobine ek bir enerji sağlamaktadır ve aynı sırada yükü Kapasitör beslemektedir. Güç diyotu iletim durumunda iken, hem bobindeki ek enerji çıkışa iletilir hem de giriş gerilimi çıkışı beslemektedir [38].

Şekil 2.3’de SA yükseltici DA-DA konvertörün devre şeması gösterilmektedir. Kararlı durumda çalışmakta olan bu konvertörde, DA’nın çıkış gerilim değeri, giriş gerilimine bağlı ve istenen bir maksimum gerilim değeri arasında kontrol edilmektedir. Çıkış gerilimi güç devre elemanlarını etkilemektedir. Bobin devre girişine seri olarak bağlandığından, bobin akımı ile giriş akımı birbirine eşit olmakta ve giriş akımı üzerindeki dalgalanmalar çok düşük olmaktadır. Ancak çıkış akımında meydana gelen dalgalanma ve kullanılan kondansatör kapasitesi yüksektir. Diğer yandan bu konvertör devresi boşa çalıştırılmamalıdır [38].



Şekil 2.4: SA yükseltici DA-DA konvertörün dalga şekilleri [38].

Şekil 2.4’de $\Delta=2/3$ geleneksel SA yükseltici DA-DA konvertörün temel dalga grafikleri gösterilmektedir [38].

Sert anahtarlama tekniğiyle çalışan devrede, anahtarlama işlemi sırasında kayıplar arttıka, devrede kullanılan yarı-iletken gc elemanlarına ait nominal değerler ile soğutma ve soğutucu sistemlerin ebatları; yani devrelerin hacimleri artmaktadır. Bu bağlamda, konvertör devresinin maliyetleri artmakta ve gc yoğunluğu düşmektedir. SA'daki bu vb. problemlerin giderilmesi amacıyla ‘‘Yumuşak Anahtarlama’’ (YA) kavramı/teknikleri kullanılmaya başlamıştır.

2.1.1.2. Yumuşak Anahtarlama

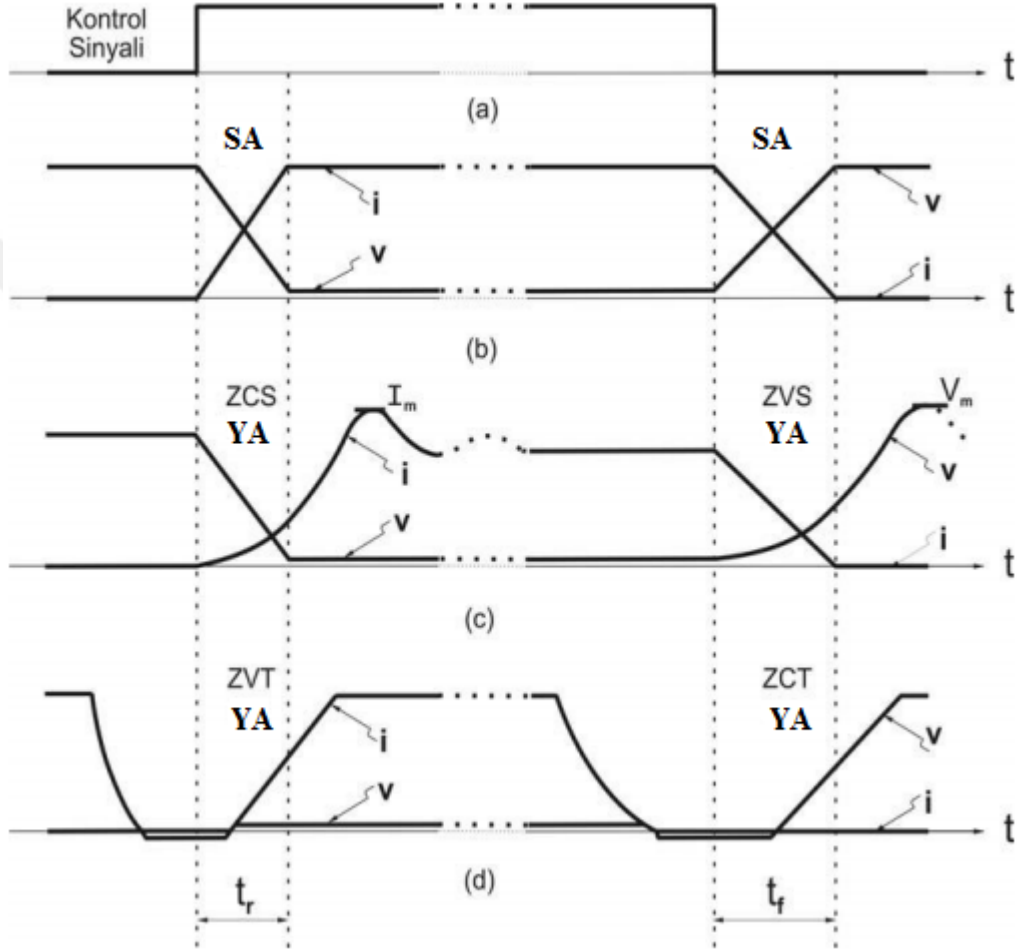
YA, temel açıdan, EMI gürültüsü ile anahtarlama kayıplarının özel düzeneklerle giderilmesi ya da minimuma indirilmesi olarak ifade edilebilir. Yumuşak anahtarlama araştırmalarda bastırma, stres azaltma, yk hattı şekillendirmesi vb. kavramlarla da ifade edilmektedir. YA; anahtarlama sırasında devre elemanının etkilendiği gerilim ve akım değerleriyle gerilim ve akım değerlerinin yükselme hızının bastırılması, gerilim ve akım değer değişimlerinin biçimlendirilmesi, EMI gürültüsü ve anahtarlama esnasındaki kayıpların azaltılması ve anahtarlama sırasındaki enerjinin kaynağa ya da yüke gönderilmesi işlemlerini ifade etmektedir.

YA'dan beklenen gereksinimler genel itibariyle aşağıdaki gibi sıralanabilir. Bu gereksinimlerin pek çoğu birbirlerine bağlı ya da birbirlerini tamamlayan niteliktedir.

1. Anahtarlama geçişleri esnasında akım ve gerilimin st üste binmesini azaltmak.
2. Gerilim ve Akım değerlerinin yükseliş hızlarını sınırlandırmak.
3. Yük hattına ait gerilim ve akım değerliklerini düzenlemek.
4. Anahtarlama sırasındaki enerji kaybını bastırmak.
5. RFI ve EMI gürültüsünü bastırmak.
6. Anahtarlama sırasındaki enerjilerin geri kazanımını sağlamak.
7. Yüksek alışma frekansı sağlamak.
8. Periyodun genelinde PWM alışma durumunu sağlamak.
9. Düşük yüklerde de YA'yı devam ettirmek.
10. Devre maliyetlerini ve boyutlarını düşürmek.
11. Devrenin gc yoğunluğu ve verimini arttırmak [13].

Yumuşak Anahtarlama Metotları

Şekil 2.5'de, bir anahtarlama elemanına ait kontrol sinyaliyle SA ve YA teknikleriyle oluşan temel dalga grafikleri gösterilmektedir. **Sıfır Akımda Anahtarlama (ZCS)** ile **Sıfır Gerilimde Anahtarlama (ZVS)** temel anahtarlama, **Sıfır Akımda Geçiş (ZCT)** ile **Sıfır Gerilimde Geçiş (ZVT)** ileri YA teknikleri olarak bilinmektedir. Bu anahtarlama teknikleri aşağıda temel olarak açıklanmıştır [13].



Şekil 2.5: (a) Anahtarlama elemanı kontrol sinyali (b) SA (c) ZCS ve ZVS (d) ZCT ve ZVT [13].

Sıfır Akımda Anahtarlama (Zero Current Switching - ZCS): İletime geçme işlemi sırasında yapılan bir YA tekniğidir. Bu teknik içerisinde temel bakımdan güç anahtarlarına küçük değerlikli bir bobin seri bağlanır. Böylece iletme geçme durumunda devre elemanından geçen akımın artış hızı sınırlandırılır. Bu bağlamda gerilim ve akımın üst üste çakışması ve anahtarlama sırasında oluşan enerji kayıpları azaltılmaktadır. Gerçekte iletme geçme işleminde anahtarlama sırasında oluşan enerji bobine aktarılmaktadır. Bobindeki bu enerji

miktarı devre içerisinde bulunan klasik hücrelerdeki bir dirençte harcanmaktadır. Ancak modern hücrelerde meydana gelen kısa süreli kısmi bir rezonans ile yüke ya da gerilim kaynağına aktarılarak geri kazanım sağlanmaktadır.

Sıfır Gerilimde Anahtarlama (Zero Voltage Switching - ZVS): Kesime geçme sırasında yapılan bir YA tekniğidir. Bu teknikte, temel anlamda güç anahtarlarına küçük değerlikli bir Kapasitör paralel biçimde bağlanmaktadır. İletimden çıkma sırasında devre elemanlarının uçlarında meydana gelen gerilimin artış hızı sınırlandırılır. Bu bakımdan iletimden çıkma sırasında, anahtarlama enerjisinin kayıpları azaltılmakta ve anahtarlama enerjisi kapasitöre aktarılmaktadır. Kapasitörlerdeki bu enerjinin değeri modern hücreler sayesinde geri kazanılmaktadır.

Sıfır Akımda Geçiş (Zero Current Transition - ZCT): Kesime geçme işlemi sırasında gerçekleştirilen ileri düzeyli bir YA tekniğidir. Bu teknikte, güç anahtarı üzerinden geçen akım değeri kısa zamanlı kısmi bir rezonansla sifıra düşürülmekte ve akım sıfır bandında tutulurken kontrol sinyalleri kesilmektedir. Bu bağlamda gerilim ve akımın üst üste çakışması ve anahtarlama esnasında oluşan enerji kayıpları tamamen sıfırlanır. Çok başarılı bir kesime geçme durumu oluşmaktadır. Burada ZVS ve ZCS'nin sağlandığı ifade edilebilir. Bu açıdan akım değerinin sifıra inmesi ileri alınarak sağlanan bir YA tekniğidir. Anahtarlama enerji miktarının geri kazanımının sağlandığı bu teknik sadece modern hücrelerle sağlanabilmekte ve ek bir yarı-iletken ya da bir yardımcı yarı-iletken anahtar gerektirmektedir.

Sıfır Gerilimde Geçiş (Zero Voltage Transition - ZVT): İletime geçme işlemi sırasında uygulanan ileri düzey bir YA tekniğidir. Bu teknikte, güç anahtarının uçlarında bulunan gerilim kısa süreli kısmi bir rezonansla sifıra düşürülmekte ve bu gerilim değeri sifırda tutulmakta iken kontrol sinyali uygulanmaktadır. Bu bağlamda anahtarlama enerji kayıpları tamamen sıfırlanmakta ve çok başarılı bir iletme geçme işlemi sağlanmaktadır. Gerilim değerinin sifıra düşürülmesi ileri alınarak yapılan bu teknikte de hem ZCS hem de ZVS'nin sağlandığı ifade edilebilir. Anahtarlama enerji miktarının geri kazanımının sağlandığı bu teknik sadece modern hücrelerle sağlanabilmekte ve ek bir anahtar gerektirmektedir.

Bu anlamda belirtilmesi gereken konu, sadece bu teknikte güç anahtarlarının parazitik kapasitörünün deşarz enerji kayıpları sifıra indirilmekte ve bu enerji kaybı geri

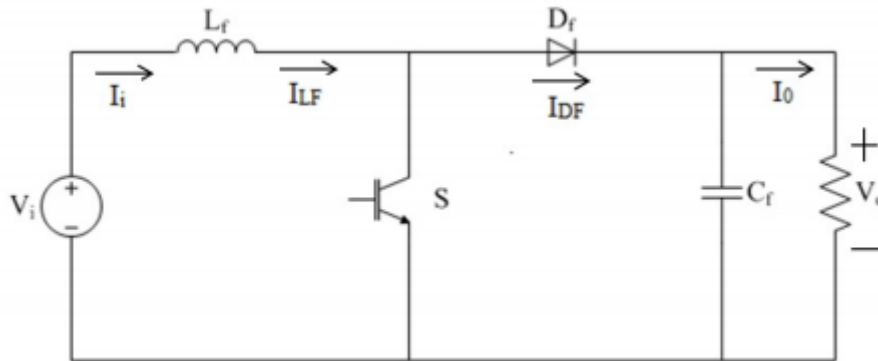
kazanılmaktadır. Yüksek değerlikli parazitik kapasitörlere sahip olan MOSFET yarı-iletken güç elemanlarıyla bu YA tekniğinin önemi büyüktür.

2.1.2. DA-DA Yükseltici Konvertörler

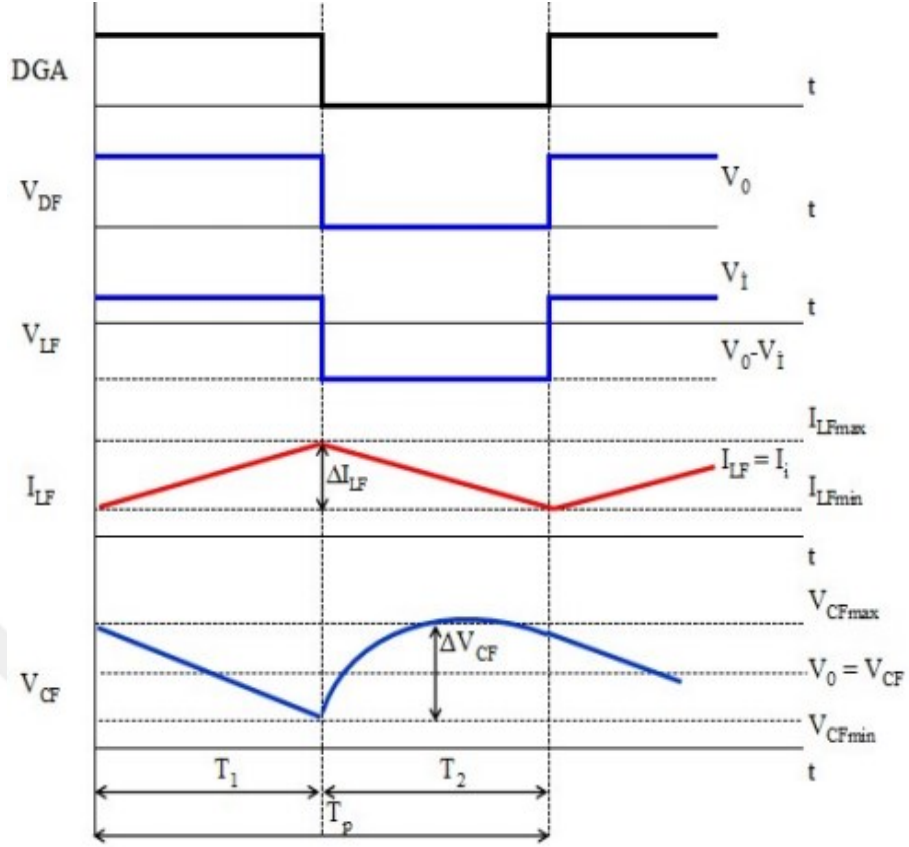
Anahtarlama DA-DA yükseltici konvertörler, izolasyonlu (transformatörlü) ve izolasyonsuz (bobinli) konvertörler olmak üzere iki türde incelenmektedir [39], [40].

2.1.2.1. Sert Anahtarlama (İzolasyonsuz) DA-DA Yükseltici Konvertörler

SA'lı DA-DA yükseltici konvertörlerde enerjinin aktarımı anahtarlama işlemine tabi tutulan bobinler sayesinde gerçekleştirilmektedir. Bu konvertörlerde temel açıdan yarı-iletken güç anahtarı iletim durumundayken girişte bulunan gerilim kaynağı sadece indüktansa ek bir enerji vermekte ve aynı sırada yükü kapasitör beslemektedir. Devredeki güç diyodu iletim durumundayken, hem indüktanstaki ek enerji yüke aktarılmakta ve hem de girişteki gerilim kaynağı çıkışı beslemektedir. Sürekli hal ile çalışmakta olan bu konvertörlerde, DA olan çıkış gerilim değeri, belirlenen maksimum bir gerilim ve giriş gerilimi arasında kontrol edilmektedir. Güç elemanları çıkış geriliminin etkisinde kalmaktadır. İndüktans giriş kısmına seri bağlı olması nedeniyle indüktansın akımı giriş devre akımına eşittir. Bu giriş akımında dalgalanma azdır. Ancak kullanılan kapasitör değeri ve çıkış akımında meydana gelen dalgalanma yüksektir. Konvertöre ait devre şeması Şekil 2.6 ve konvertörün sürekli hal çalışmasıyla ilgili olan temel dalga grafikleri de Şekil 2.7'de görülmektedir [39].



Şekil 2.6: SA'lı DA-DA yükseltici konvertör devre şeması [39].

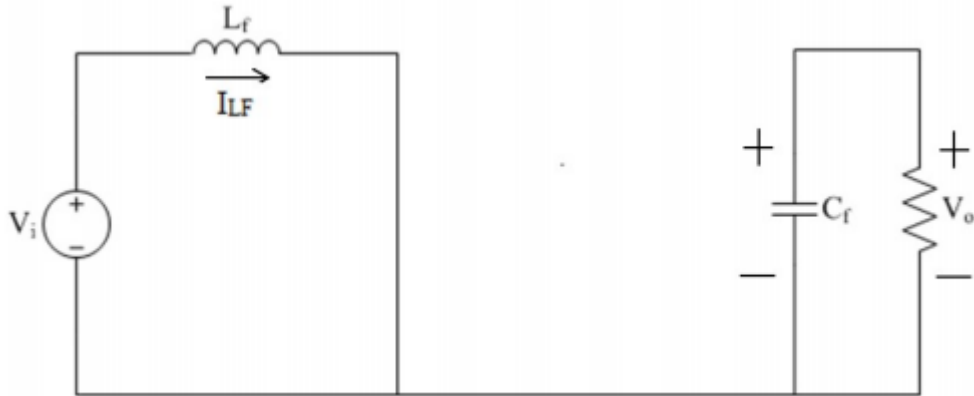


Şekil 2.7: SA'lı DA-DA yükseltici konvertörün temel dalga şekilleri [39].

SA'lı yükseltici konvertör T_1 zaman aralığındaki çalışma şekli Şekil 2.8'deki gibidir. Bu aralıkta aşağıdaki eşitlik yazılabilir [39];

$$\frac{d_{ILF}}{d_i} = \frac{V_{LF}}{L_F}$$

(4)



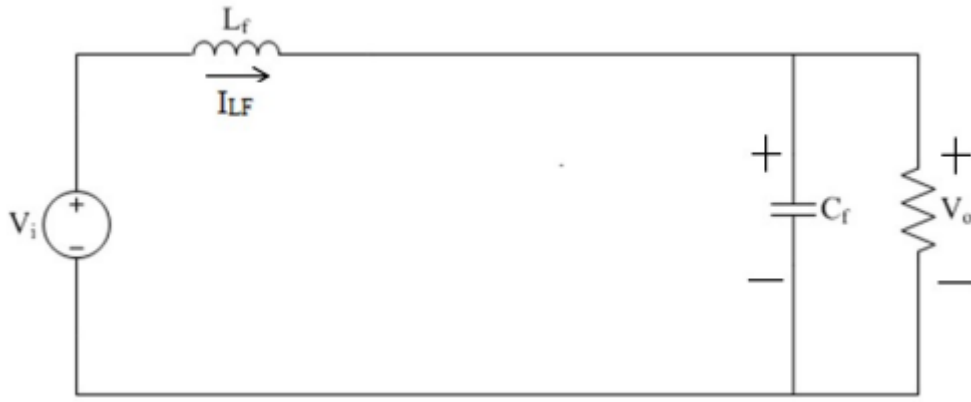
Şekil 2.8: Konvertörün iletme geçme durumu [39].

SA'lı yükseltici konvertör T_2 zaman aralığındaki çalışma şekli Şekil 2.9'daki gibidir. Bu zaman aralığında;

$$\frac{d_{ILF}}{d_t} = -\frac{V_0 - V_i}{L_F}$$

(5)

eşitliği yazılabilmektedir.



Şekil 2.9: Konvertörün kesime geçme durumu [41].

T_1 zaman aralığındaki indüktans akımının artış miktarı;

$$\Delta I_{LF}(T_1) = \frac{V_i}{L_F} T_1$$

(6)

T_2 zaman aralığındaki indüktans akımının azalma miktarı;

$$\Delta I_{LF}(T_2) = \frac{V_i - V_0}{L_F} T_2$$

(7)

eşitlikleri yazılabılır [41].

Bir periyotta meydana gelen indüktans akımının değişim değerinin mutlak değer ifadesi sıfır olduğundan Denklem (1.15) ve (1.16)'nın toplam değerinin sıfıra eşitlenmesi ve Denklem (1.7) ve (1.8)'in kullanılması sayesinde;

$$V_0 = \frac{V_i}{1-D}$$

(8)

şeklinde bir çıkış gerilim eşitliği elde edilmektedir [41]. Devredeki kayıplar ihmal edildiğinde çıkış ve giriş gücünün birbirlerine eşitliğinden yola çıkılarak;

$$I_i = \frac{1}{1-D} I_0$$

(9)

şeklinde konvertörün giriş-çıkış akım denklemi elde edilmektedir.

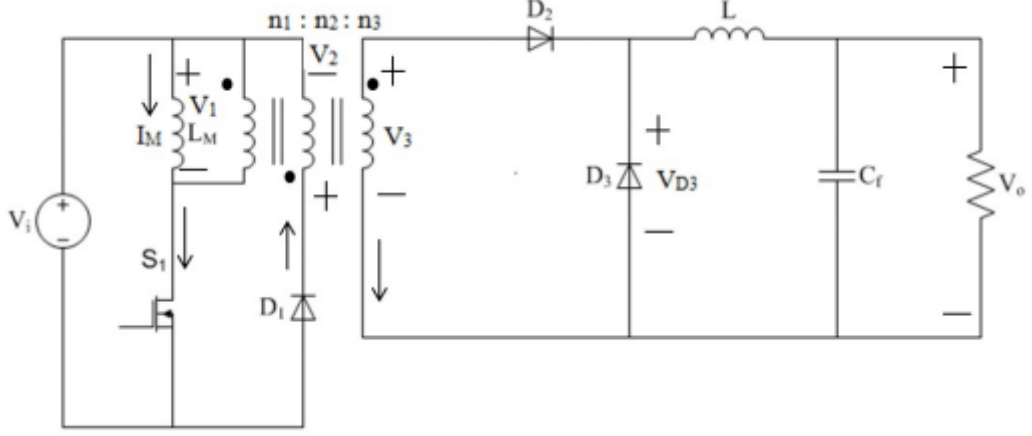
2.1.2.2. Yumuşak Anahtarlama (İzolasyonlu) DA-DA Yükseltici Konvertörler

YA'lı yükseltici DA-DA konvertörlerinin çalışma prensipleri SA'lı konvertörlerle benzerlik göstermektedir. İki konvertörün arasında bulunan temel farklılık konvertörün çıkış ve girişinin bir transformator yardımıyla birbirinden ayrılması/izole edilmesi şeklindedir. YA'lı (İzolasyonlu) DA-DA yükseltici konvertörler;

- Full bridge - Tam köprü
- Half bridge - Yarım köprü
- Forward - İleri yönlü
- Flyback - Geri dönüşlü
- Push-pull konvertörler olarak sınıflandırılır.

YA'lı (izolasyonlu) konvertörler de SA'lı (izolasyonsuz) konvertörler gibi düşürücü-yükseltici (buck-boost), düşürücü (buck), yükseltici (boost) konvertörlerden herhangi birinin özelliklerini bulundurmaktadır. Aşağıdaki bölümde ileri yönlü ve geri dönüşlü olan konvertörler izah edilmiştir [39].

İleri Yönlü: Bu düşürücü/yükseltici DA-DA konvertörlerin temel devre şeması Şekil 2.10'da görülmektedir. Bu konvertörlerin, tam ve yarım köprü konvertörlerin kullanılmadığı düşük güçlü uygulamalarda tercih edildiği görülmektedir [36].



Şekil 2.10: İleri yönlü konvertör devre şeması [36].

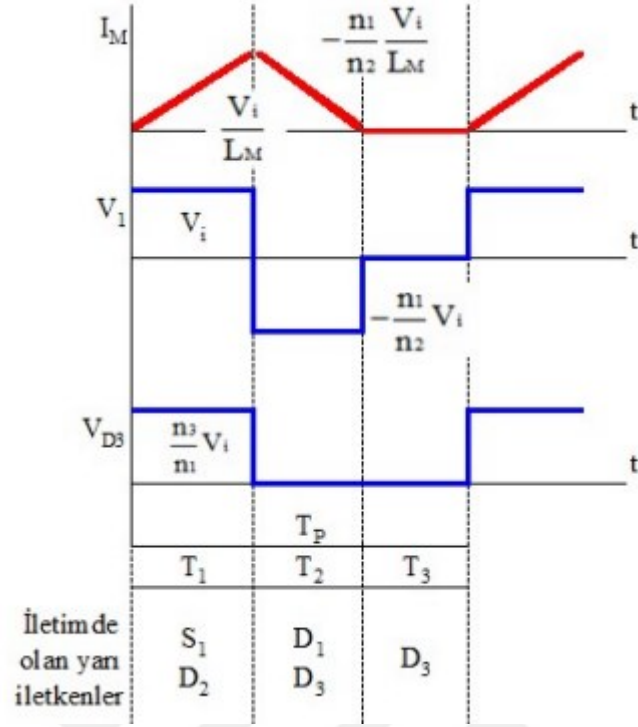
Bu konvertörün çalışma durumuna ait temel grafikleri Şekil 2.11'de gösterilmektedir [36].

Bu konvertöre ait çıkış gerilim denklemi aşağıdaki gibidir;

$$V_0 = \frac{n_3}{n_1} D V_i$$

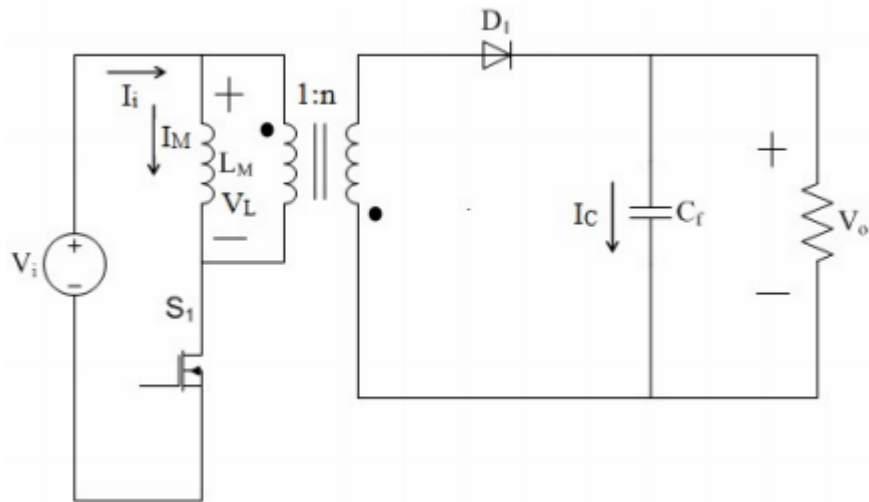
(10)

Bu konvertörlerin literatürde iki MOSFET'li olan modellerinin yer aldığı görülmektedir. İki MOSFET kullanılan tasarımlar yarım köprü konvertörlerle aynı güç uygulamalarında kullanılmaktadır [36].



Şekil 2.11: İleri yönlü konvertörün temel dalga grafikleri [36].

Geri Dönüşlü: Bu DA-DA konvertörleri temel bakımdan yükseltici-düşürücü konvertörlerle benzerlik göstermektedir. Şekil 2.12’de gösterilen bu konvertör devresinde ana anahtar iletim durumundayken indüktans (L_m) giriş gerilimiyle enerji alır. D_1 diyotunun iletime geçtiği anda L_m ’de biriken enerji miktarı yüke gönderilir [36].



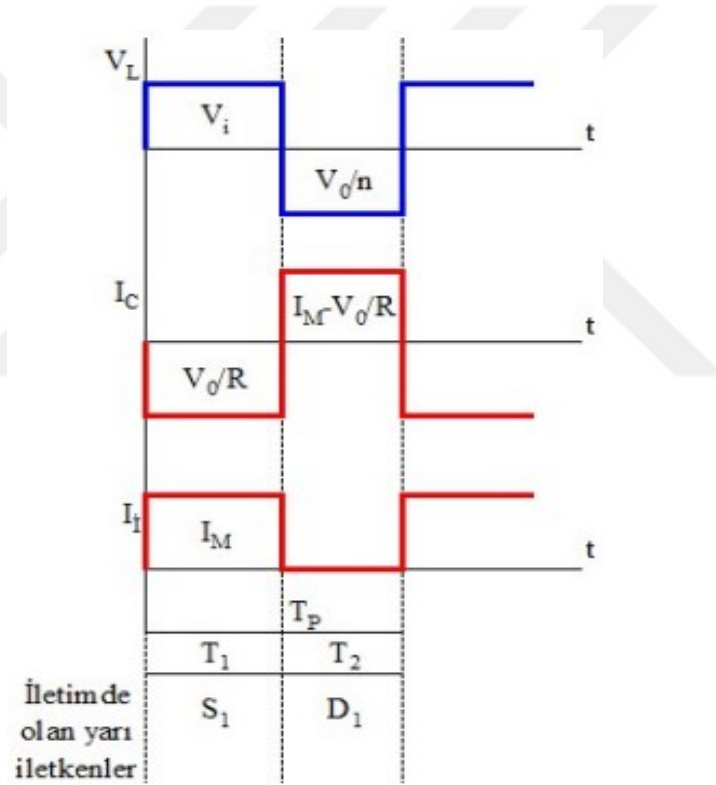
Şekil 2.12: Geri dönüşlü konvertör devre şeması [36].

Bu konvertörün çıkış gerilimine ait matematiksel ifadesi aşağıdaki gibi yazılmaktadır;

$$V_0 = n \frac{D}{1-D} V_i$$

(11)

Bu konvertörlerin çalışma şekillerine ait temel dalga grafikleri Şekil 2.13’de gösterilmektedir. Geri dönüşlü bu konvertörler genel itibariyle yüksek çıkış gerilimine ihtiyaç duyulan 50 - 100 W güç aralığındaki bilgisayar, televizyon vb. gibi cihazlarda tercih edilmektedir. Devrede az sayıda eleman gerektirmesi en önemli üstünlükleri arasındadır. Ancak devrede bulunan ana anahtarın üzerinde meydana gelen zayıf geçiş regülasyonu ve yüksek gerilim stresi bu konvertörlerin sakıncaları arasında yer almaktadır [36].



Şekil 2.13: Geri dönüşlü konvertörün temel dalga grafikleri [36].

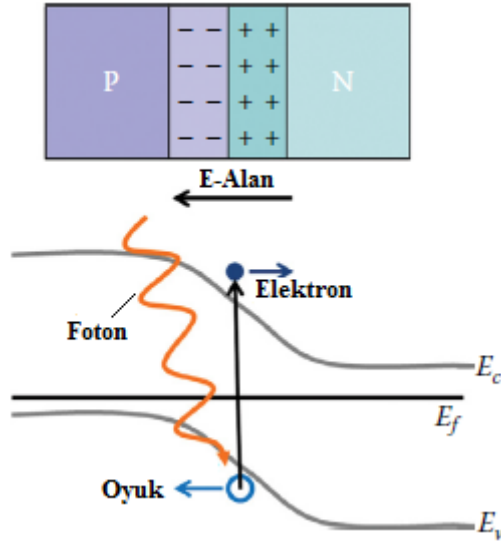
2.2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER VE PID KONTROLÖR

2.2.1. Fotovoltaik Sistemler

PV, gün ışığının fotovoltaik etkisinin yarı-iletken malzemelerle birlikte kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi olarak ifade edilebilir. PV enerjini tarihçesi altı zaman diliminde ifade edilmektedir. Bunlardan ilki keşif yıllarıdır ve 1800-1900'lü yılları göstermektedir. Ardından 1900-1950'li yıllarda bilimsel temellerin atıldığı yıllar olmuştur. İlk pratik güneş pilleri, yeni güneş pilleri dönemi ve geliştirme aşaması 2000'li yıllara rastlamaktadır. 2000'li yıllardan günümüze kadar bakan dönemde ise uluslararası desteklerle yeni bir döneme girilmiştir [42], [43].

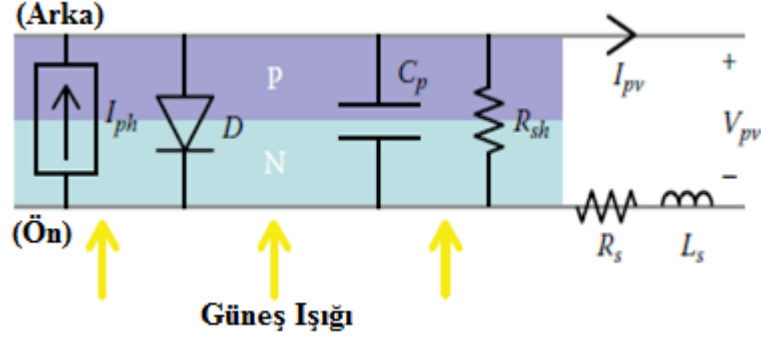
2.2.1.1. Fotovoltaik Hücreler

Bir PV hücresi esasen fotonlardan elektrik enerjisi elde etmek için enerjiyi toplayan geniş alanlı bir p-n yarı iletken birleşimidir. Şekil 2.14'de bir PV hücresinin genel yapısı görülmektedir. Yarı iletken birleşme tarafından üretilen akım ve voltaj, PV hücresinin DA gücü üretmesini sağlar [44].



Şekil 2.14: PV hücre yapısı [44].

Bir PV hücresinin temel yapısı, temel elektrik bileşenleri olarak modellenilebilir. Şekil 2.15, yarı iletken p-n birleşimini ve bir PV hücresini oluşturan çeşitli bileşenleri göstermektedir [45].



Şekil 2.15: PV hücrelerini oluşturan bileşenler [45].

Bir PV hücrelerinin çalışmasını ve güç üretimini etkileyen birçok çevresel faktör bulunmaktadır. Bunlardan G : W/m^2 , cinsinden güneş ışınımı ve T : $^{\circ}C$, derece cinsinden ölçülen sıcaklık iki en önemli faktördür. Bu faktörlere bağlı olarak diyotta oluşan photocurrent I_{ph} ;

$$I_{ph}(G, T) = \left[I_{scn} + K_i (T - T_n) \right] \frac{G}{G_n}$$

(12)

Ayrıca diyodun akımı (I_d) ve voltajı (V_d);

$$I_d(T, V_d) = I_s(T) \left[\exp\left(\frac{V_d}{aV_t(T)}\right) - 1 \right]$$

(13)

Diyodun doyma akımı sıcaklığa bağlıdır ve matematiksel ifadesi;

$$I_s(T) = \frac{I_{scn} + K_i(T - T_n)}{\exp\left(\frac{V_{ocn} + K_v(T - T_n)}{aV_t(T)}\right) - 1}$$

(14)

Burada unutulmamalıdır ki diyot voltajı V_d ile FV gerilimi V_{pv} ideal model için aynıdır. Ayrıca termal gerilim V_t , T sıcaklığına bağlıdır ve matematiksel ifadesi;

$$V_t(T) = \frac{kT}{q} N_s$$

(15)

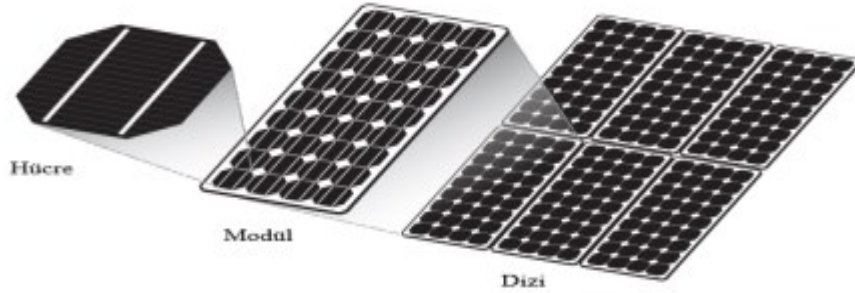
Kirşof kanunlarını kullanarak, ideal PV model için, PV akımı I_{pv} ve PV voltajı V_{pv} arasındaki bağıntı;

$$I_{pv} = I_{ph}(G, T) - I_d(T, V_{pv})$$

(16)

2.2.1.2. Fotovoltaik Hücreler ve Modüller

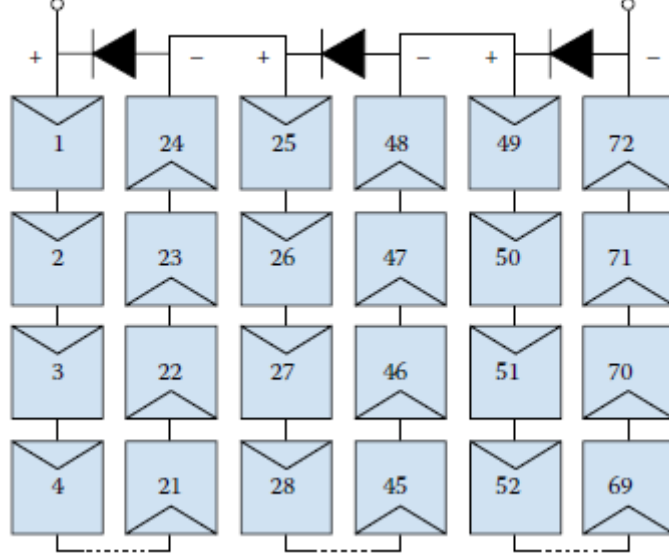
PV hücreler, PV sistemin en küçük elemanıdır. PV hücrelerden elde edilen çıkış gücü, pek çok elektriksel devrenin çalışma voltajından düşük değerde olan, 0.5 V gibi açık bir devre voltajında 2 W'dan daha küçüktür. PV sistemlerde hücreler istenen gerilimin elde edilebilmesi için seri olarak bağlanmaktadır. Diğer yandan istenen akım değerinin elde edilebilmesi için paralel olarak bağlanmaktadır. Bu bağlamda birkaç modül ve gruptan oluşan sistemler için gereken voltaj ve akım değerlerini elde etmek için paralel, seri veya her ikisinin birlikte kullanıldığı PV dizileri şeklinde bağlanmaktadır. Şekil 2.16'da PV sisteme ait hücre-modül-dizi sistemi gösterilmektedir [42].



Şekil 2.16: PV panel düzeni [42].

PV hücrelerini kullanan pek çok uygulamada, yüksek güç elde etmek için bir hücre değil bir çok hücre birleştirilir. PV hücreleri seri, paralel veya her iki kombinasyon bir arada bağlanabilir. Bir PV silikon hücresi, hücre yüzey alanına bağlı olarak yaklaşık 0,5 V'luk bir voltaj üretir. Standart bir PV paneli genellikle seri bağlı 72–96 hücreden oluşur ve voltaj

toplamı 30-60 V aralığındadır. Seri halde 72 hücreye sahip bir PV panelin bağlantı konfigürasyonu Şekil 2.17'de gösterilmektedir [46].



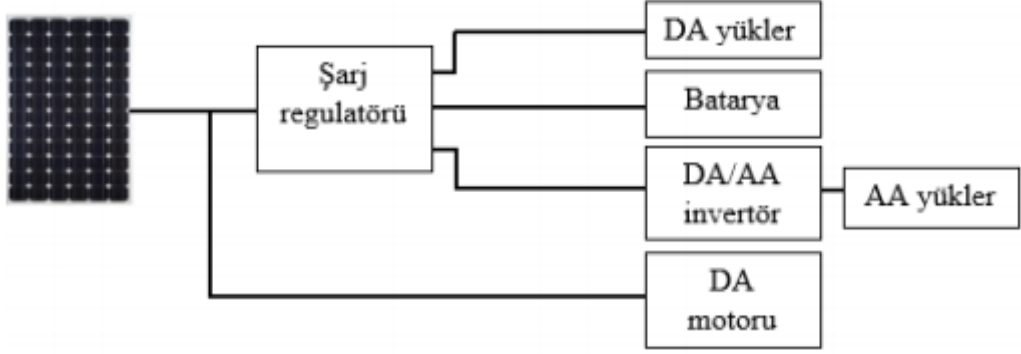
Şekil 2.17: Seri bağlı 72 hücreye sahip bir PV panel [46].

PV hücreler seri dizi/dize halinde bağlanır. Aşağı doğru inen ve yedeklenen her bir seri bağlantıya bir alt dize denir. Şekil 2.17, her bir alt dizinin uçlarına bağlanan bir diyot ile üç alt diziyi göstermektedir. Bu diyot; dizideki PV hücrelerinde kısmi gölgelenme, kalıcı bozulma veya alt dizideki bir bağlantı sorunu vb. gibi bir sorun oluşursa, alt dizinin etrafında ek bir akım yoluna izin veren bir bypass diyotu olarak çalışır. PV panellerin yaklaşık 25 yıl kullanım süresi bulunmaktadır. Çıkış gücü bu süreye oranla yılda yaklaşık %0.5-1 arasında bir kayıp göstermektedir [47].

2.2.1.3. Fotovoltaik Sistem Türleri

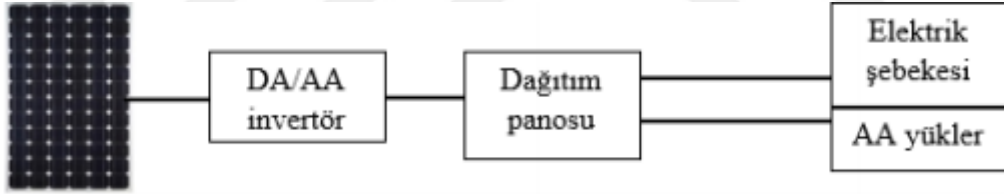
PV sistemler genel itibariyle şebekeden ayrı, şebekeye bağlı ve hibrit sistemler olarak üç grupta incelenmektedir.

Bu sistemlerden şebekeden ayrı (bağımsız) olarak çalışan PV sistemler ve yalnızca bir yükü besler ya da enerjinin depolanabilmesi için sistemde bir batarya barındırır. Batarya dizini tama dolu hale geldiğinde PV sistemini kapatmak ya da bataryaların belirlenen bir sınır değerinin altında deşarjını engellemek için şarj regülatörleri kullanılmalıdır. Şekil 2.18'de, şebekeden ayrı PV sistem modeli görülmektedir.



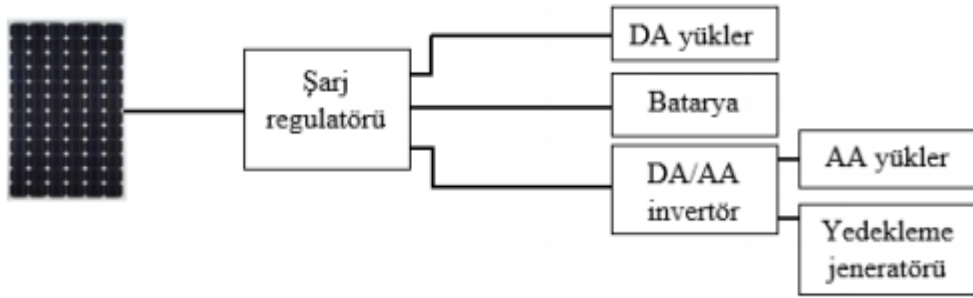
Şekil 2.18: Şebekeden ayrı PV sistem [48].

Şebekeye bağlı olan PV sistemler dönüştürücülerle elektrik dağıtım panolarına aktarılıp şebeke sistemine bağlanmaktadır. Ticari çatı sistemleri, küçük konut ve büyük enerji ölçekli PV enerjisi santralleri olarak çeşitlilik göstermektedir. Şebekeye bağlı olan bu PV sistemler, ihtiyaçtan fazla olan enerji miktarını enerji şebekesine aktarırlar. Şekil 2.19’da bu sisteme ait blok şema gösterilmektedir.



Şekil 2.19: Şebekeye bağlı PV sistem [48].

Bu sistemlerin dışında Rüzgâr, Dizel, Gaz generatörleri vb. gibi tamamlayıcı dağıtık enerji sistemleri PV sistemlerle birleştirildiğinde hibrit sistemleri oluşturmaktadır. PV modül ve Dizel generatörün birleşiminden meydana gelen ve çok yaygın bir şekilde kullanılan sistem PV-Dizel hibrit sistemleridir. Bu türdeki uygulamalar genel itibariyle adalarda ve madencilik sektörlerinde bulunmaktadır. Diğer türdeki hibrit PV sistemler daha kompleks bir denetim gerektirmektedirler. Bunun sebebi, bataryanın belirlenen bir deşarz seviyesine ulaşmasında ve bataryanın belirlenen bir şarz seviyesine ulaşmasında dizel jeneratörün çalışması gerekmektedir. Şekil 2.20’de hibrit PV sistemin blok şeması görülmektedir [48].



Şekil 2.20: Hibrit PV sistem [48].

2.2.2. PID Kontrolör

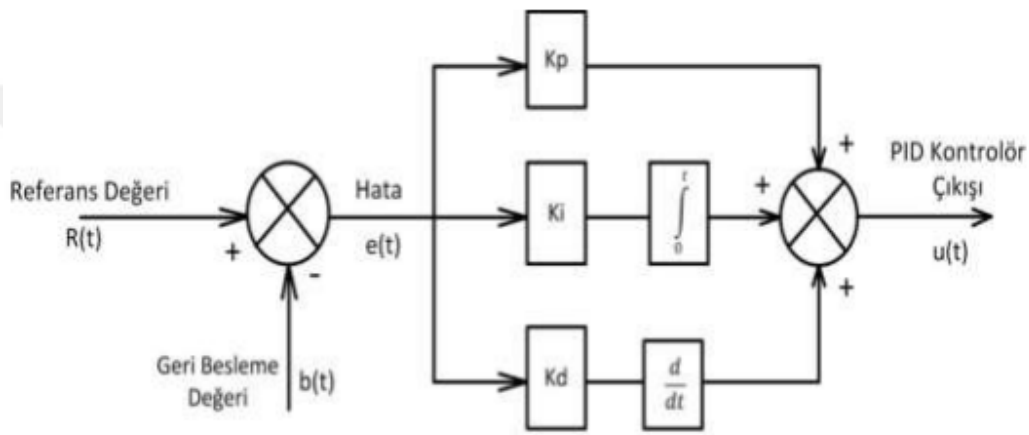
Denetim sistemlerin amacı, sistemleri beklenen duruma ulaştırmak amacıyla tanımlanmış denetim kriterlerini sistemin değişkenlerini ve belirli durumlarını izleyerek istenilen zaman içerisinde kontrol edebilmektir. Denetim sistemlerinde giriş ve çıkış denilen input ve output'lar bulunmaktadır. Input verileri denetleyicide işlenir ve denetlenen sistemlere gereken Output sağlanır. Bu çıkışlar, sistemleri kontrol etmek amacıyla kullanılan denetim sistemleridir [49].

Geleneksel denetim yöntemleri içerisinde yer alan Proportional-Integral-Derivative (PID) kontrol, Oransal, İntegral ve Türevsel denetimin avantajlarını tek bir sistem içinde birleştirebilen bir kontrol sistemidir. PID kontrol şimdilerde çok yaygın olarak kullanılan bir denetim yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Endüstride kullanılan uygulama alanlarının yaklaşık %75'inde kullanılmaktadır. Uygulama alanları çok geniş olmasına rağmen PID kontrol için genel bir tanımlama bulunmamaktadır [50].

Literatürde PID kontrol genel itibariyle yapısı en basit kontrolör olarak bilinmektedir. Bu anlamda birçok endüstriyel uygulamalarda güçlü, yeterli ve uygun bir kontrol sağlamaktadır. Diğer yandan basit yapısı ve çok kullanışlı olması yanı sıra bazı sakıncaları da bulunmaktadır. Bu bakımdan PID kontrolör günümüzdeki pek çok karmaşık endüstriyel yapıdaki her çeşit uygulamada kullanılamamaktadır. PID kontrol çoğunlukla basit ve doğrusal yapıda tek döngü gerektiren endüstriyel uygulamalara entegre edilebilmektedir. Diğer yandan özellikle lineer sistem zaman gecikmesi ölü zaman gecikmesi yanında çok düşük olan sistemlerde kullanılması oldukça güçtür. Bu bağlamda sürtünme nedeniyle oluşan doğrusallıkların

bulunmasıyla da PID kontrolör yetersiz kalmaktadır. Genellikle kararsız sistemlerin PID kontrolör yardımıyla kararlı duruma getirilmesi çok zordur [49].

Kontrol edilecek sistemlerin dinamik yapılarına bağlı olarak PID kontrolörde bulunan üç temel denetim yapısının gerekli ve en basit bileşikleri kullanılmaktadır. Bunlar PID, PD, PI ve P kontrolör şeklinde olabilmektedir. Şekil 2.21’de PID denetleyicinin içyapısını gösteren blok devre şeması görülmektedir. Bu blok devre şemasında görüldüğü üzere PID denetleyicinin yapısı oransal kazanç, integral ve türev alıcı devre sistemlerinin birleşimleri oluşturmaktadır [49].



Şekil 2.21: PID kontrolörün yapısı [49].

Bu duruma göre PID denetleyicinin genel matematiksel eşitliği;

$$U(t) = K_p * e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d * \frac{de(t)}{dt}$$

(17)

Burada

K_p = Oransal kazanç;

T_i = İntegral alıcı;

T_d = Türev alıcı

$e(t)$ = istenilen giriş ile çıkış değeri arasındaki hata olarak bilinmektedir.

PID kontrolörün transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$U(t) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

(18)

PID kontrol; üç temel yapısını tüm avantajlarını tek bir sistem içinde birleştiren bir kontrol etkisi olarak bilinir. İntegral alıcı sistem içerisinde ortaya çıkan kalıcı durum hatalarını sıfıra indirirken türev alıcı, sadece PI kontrol etkisinin kullanılması durumuna göre sistemlerin benzer bağıl kararlılığını sağlamak için cevaplama hızını arttırmaktadır. Bu bağlamda PID kontrolör sisteme sıfır kalıcı durum hatasıyla hızlı bir şekilde cevap vermektedir. PID kontrolörün parametreleri geri-beslemeli sistemin üzerinde etkisi birbirlerinden bağımsız değildir ve etkileşimli bir ayarlama gerektirir.

|

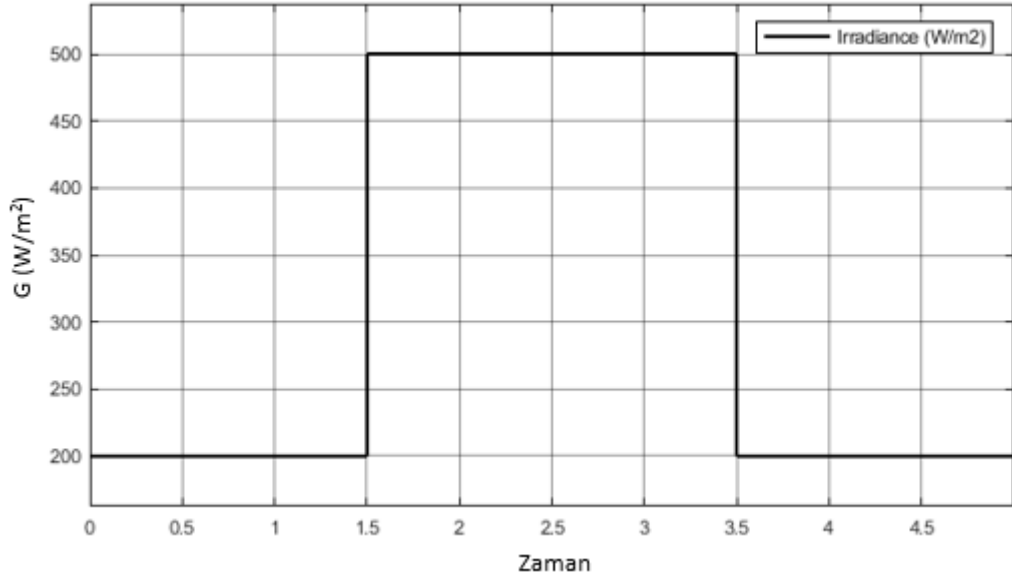
3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada iki farklı DA-DA yükseltici konvertör modeli bir PV sistem çıkış gerilimini yükseltmek için kullanılmıştır. Sistem tasarlanırken PV modelin çıkış gerilimi 12-13 V olarak belirlenmiştir. Bu değer konvertör girişine uygulanarak konvertör çıkışından iki farklı gerilim değeri (18 ve 24 V) elde edilmeye çalışılmıştır. Bu gerilim değerlerinin elde edilmesinde anahtarlama sinyalinin belirlenmesi PID kontrolör ile gerçekleştirilmiştir. Sistemde kullanılan malzeme ve yöntem aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

3.1. FOTOVOLTAİK SİSTEM BENZETİMİ

3.1.1. Güneş Işıma Değişimi

PV sistem modellenirken iki farklı referans güneş ışıma değeri alınmıştır. Işıma değerlerine ait değişimi gösteren grafik Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



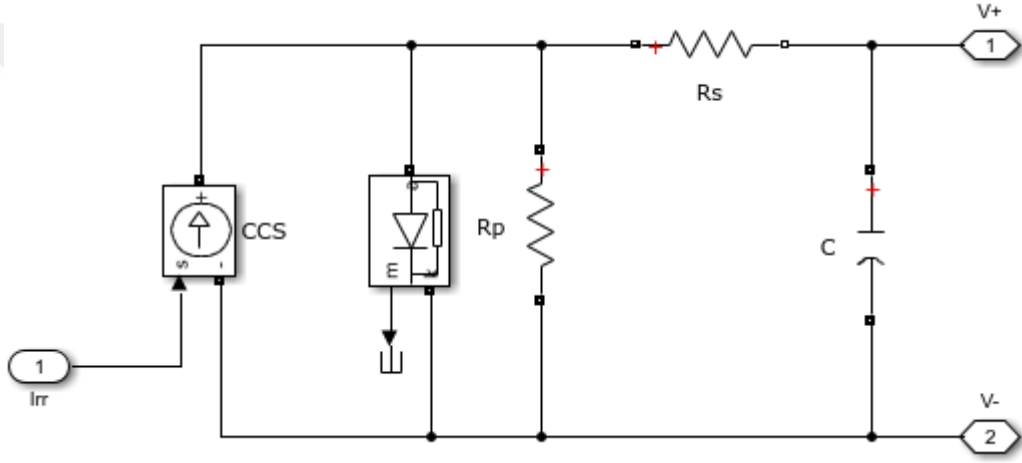
Şekil 3.1: Güneş ışıma (Irradiance) değişimi

Verilen şekilde 5 saniye içerisinde güneş ışığı değeri değişimi 1.5 ve 3.5 saniyelerinde gerçekleşmektedir. Bu aralıkta değer 500 W/m^2 değerine çıkarken diğer zaman aralıklarında

200 W/m² olarak gerçekleşmektedir. Bu ışınım değerine göre PV sistem çıkış gerilimi 12-13 V aralığında değişmektedir.

3.1.2. PV Sistem Parametreleri

PV sistem benzetimi teorik olarak istenen değer aralıklarında hesaplanarak oluşturulmuştur. Böylece endüstride kullanılan tüm sistemlere entegre edilebilecek şekilde modellenmiştir. Endüstride kullanılan modellere benzer şekilde oluşturulmuştur. Sistemin çıkışından 12 V elde edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Sisteme ait Matlab/Simulink şeması Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: PV sistem benzetim şeması

PV sistemde kullanılan diyot parametreleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Burada diyot gerilim değeri (V_f) değiştirilerek sistem çıkışında istenilen gerilim elde edilmektedir.

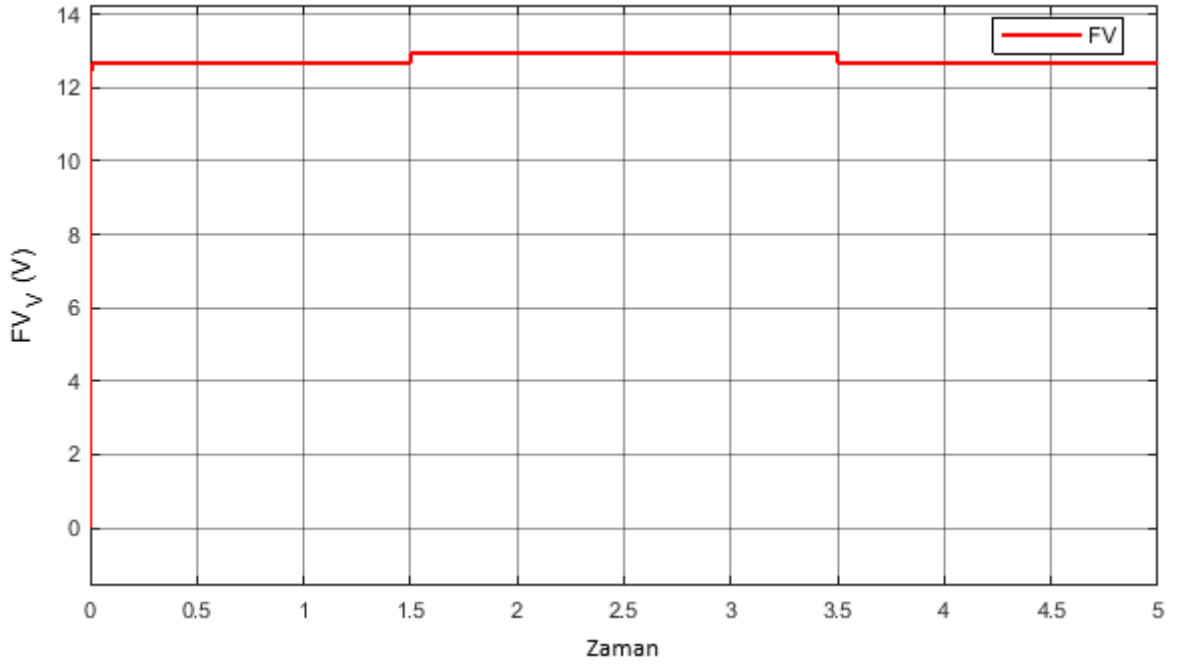
Tablo 3.1: Diyot parametreleri

Parametre	Değer	Birim
Direnç (R_{on})	0.001	Ω
İndüktans (L_{on})	0	H
Gerilim (V_f)	12.5	V
Snub. Direnç (R_s)	500	Ω
Snub. Kapasitans (C_s)	250×10^{-9}	F

Ayrıca PV sistem benzetiminde kullanılan R_p , R_s ve C değerleri sırasıyla 100 ohm, 0.1 ohm ve 10×10^{-3} Farad olarak belirlenmiştir.

3.1.3. PV Sistem Çıkışı

PV sistemin çıkışından referans ışığa değişimine göre elde edilen grafik Şekil 3.3'de verilmiştir. Burada ışınımdaki değişim miktarına göre sistemin çıkışından elde edilen gerilim değeri 12.65 – 12.97 V olarak gerçekleşmiştir.

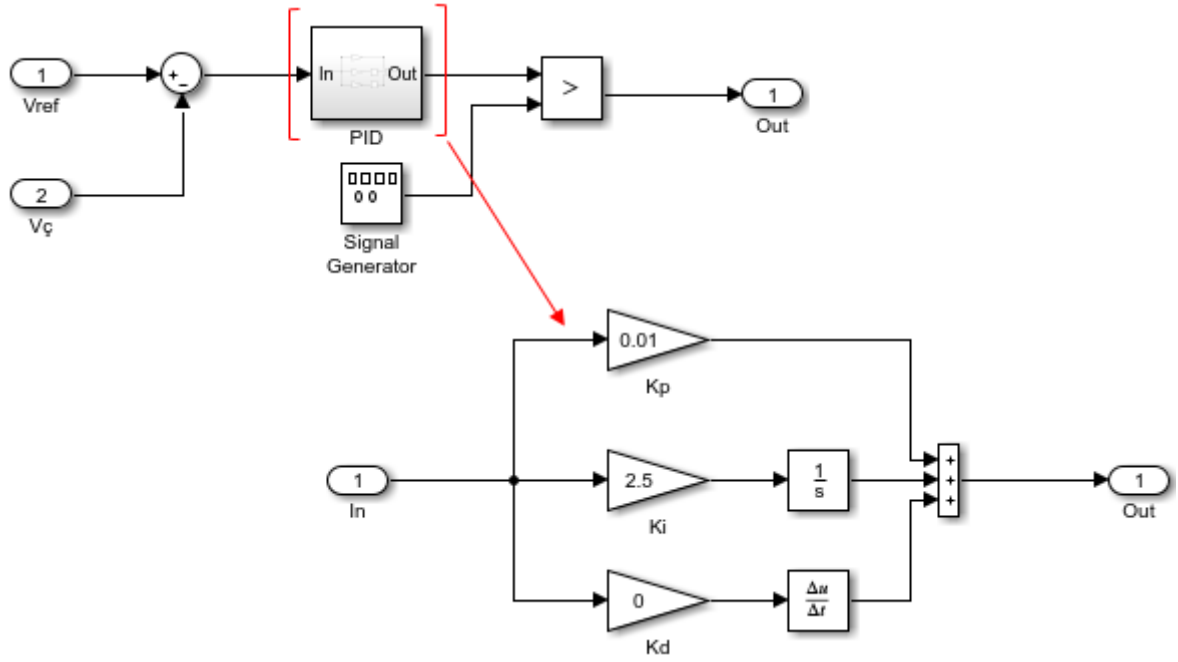


Şekil 3.3: PV sistem çıkışından elde edilen gerilim grafiği

3.2. PID BENZETİMİ

PID girişine V_{ref} ve $V_{ç}$ gerilimlerinin farkı (hata) uygulanarak konvertör çıkışından istenilen gerilimin elde edilebilmesi için anahtarlama sinyali belirlenir. V_{ref} değeri 18 ve 24 V olarak belirlenmiştir. Böylece konvertör girişine uygulanan gerilim (PV sistem çıkışı: 12-13 V) değeri konvertör çıkışında 18 ve 24 V olarak elde edilmektedir.

Konvertör çıkışından elde edilecek gerilim değeri için gereken anahtarlama sinyalinin sağlanması için PID kontrol devresi tasarlanmıştır. Devreye ait benzetim şeması Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4: PID kontrol benzetim şeması

Devrede PID çıkışı ve Sinyal generator çıkışı karşılaştırılarak anahtarlama sinyali elde edilmektedir. PID parametreleri benzetim şeması üzerinden Matlab yazılımında deneysel olarak elde edilmiştir. Zira Matlab yazılımında bulunan PID blok ile istenilen sonuçlar elde edilememiştir.

Devrede kullanılan sinyal generatörünün parametreleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Sinyal generatörünün parametreleri

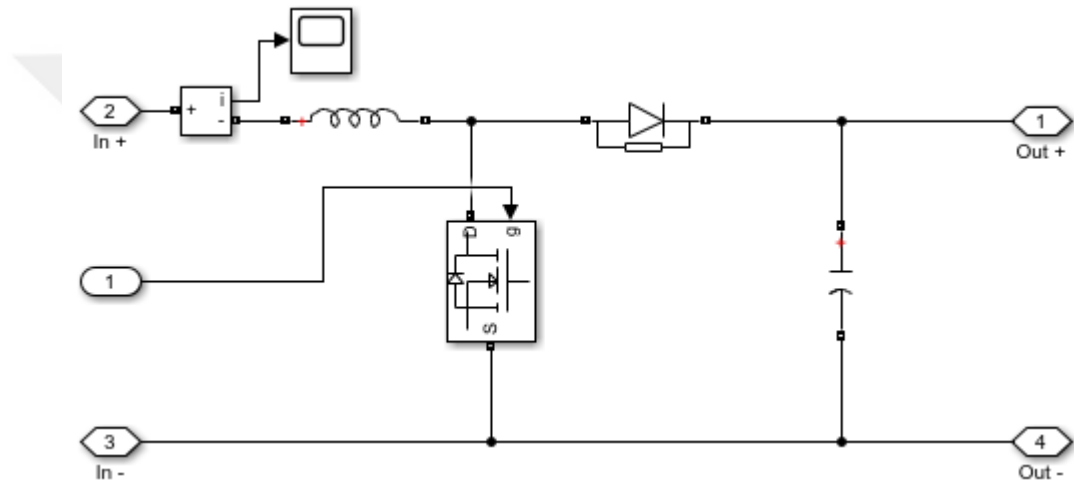
Parametreler	
Dalga Şekli	Testere dişi
Zaman (t)	Benzetim zamanı kullanıldı
Genlik	1
Frekans	15×10^3
Birim	Hertz

3.3. DA-DA YÜKSELTİCİ KONVERTÖR BENZETİMLERİ

PV sistem çıkışından elde edilen gerilim değeri sert ve yumuşak anahtarlama iki farklı konvertör modelinde yükseltilmiştir. Gerilim yükseltmede kullanılan konvertör modelleri aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

3.3.1. Sert Anahtarlama (İzolasyonsuz) DA-DA Konvertör Benzetimi

Bu konvertör endüstriyel uygulamalarda kullanılan geleneksel modeldir. Modele ait benzetim şeması Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



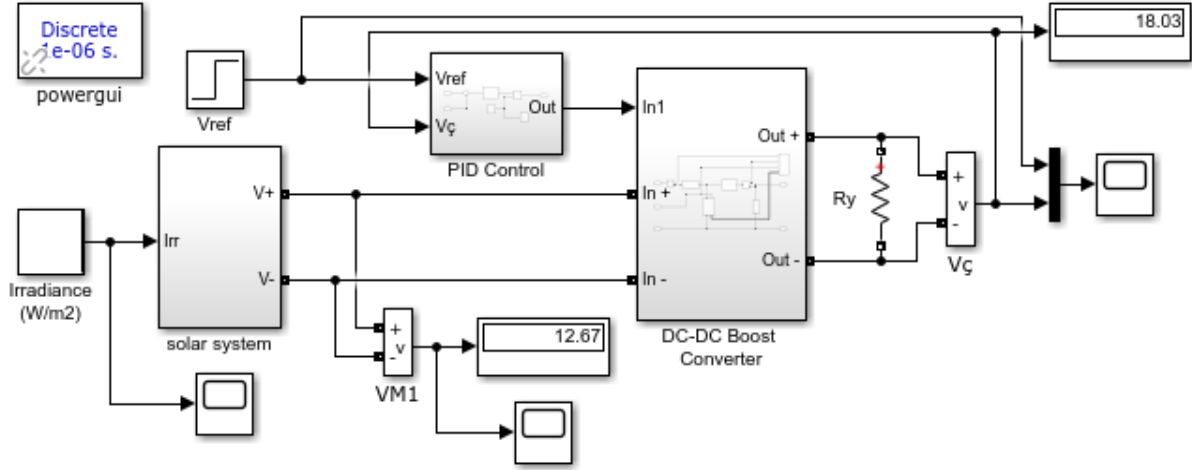
Şekil 3.5: Sert anahtarlama DA-DA yükseltici konvertör şeması

Geleneksel bu modelde anahtarlama işlemi için MOSFET kullanılmıştır. MOSFET’e ait parametreler Tablo 3.3’de gösterilmiştir. Bu modelde kullanılan İndüktans, Kapasitans ve Diyot değerleri de sırasıyla 3×10^{-4} Henry, 2.5×10^{-4} Farad ve 0.8 V olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.3: MOSFET parametreleri

Parametreler	
FET direnci (R_{on})	0.01 Ω
Dâhili diyot indüktansı (L_{on})	0.001 H
Dâhili diyot direnci (R_d)	0.01 Ω
Dâhili diyot gerilimi (V_f)	0.8 V

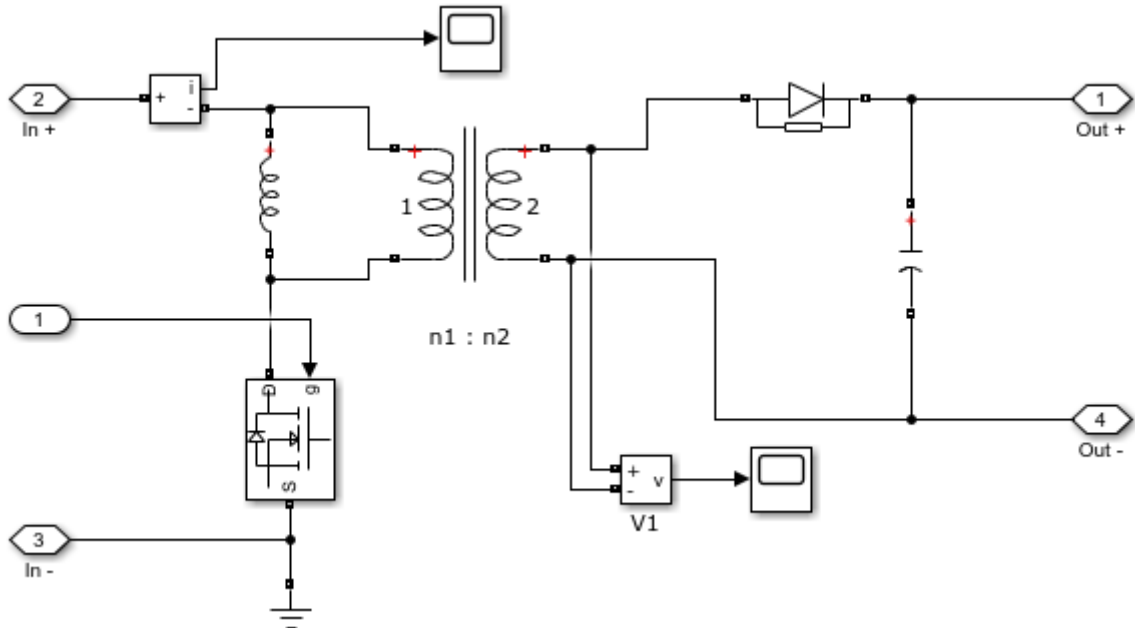
Bu modele ait blok devre şeması Şekil 3.6’da verilmiştir. Sistem çıkışında bulunan doğrusal bir yük (R_y : 100 ohm) ile sistemin performansı analiz edilmiştir.



Şekil 3.6: Sert anahtarlama sistemin blok modeli

3.3.2. Yumuşak Anahtarlama (İzolasyonlu) DA-DA Konvertör Benzetimleri

Her iki modelin karşılaştırmalı analizini yapabilmek için aynı parametre değerleri kullanılmıştır. Bu modelde yumuşak anahtarlama izolasyonlu bir devre olarak düşünülmüş ve konvertörün MOSFET'ten sonraki kısmında transformator kullanılmıştır. Bu modelin benzetim şeması Şekil 3.7’de verilmiştir.



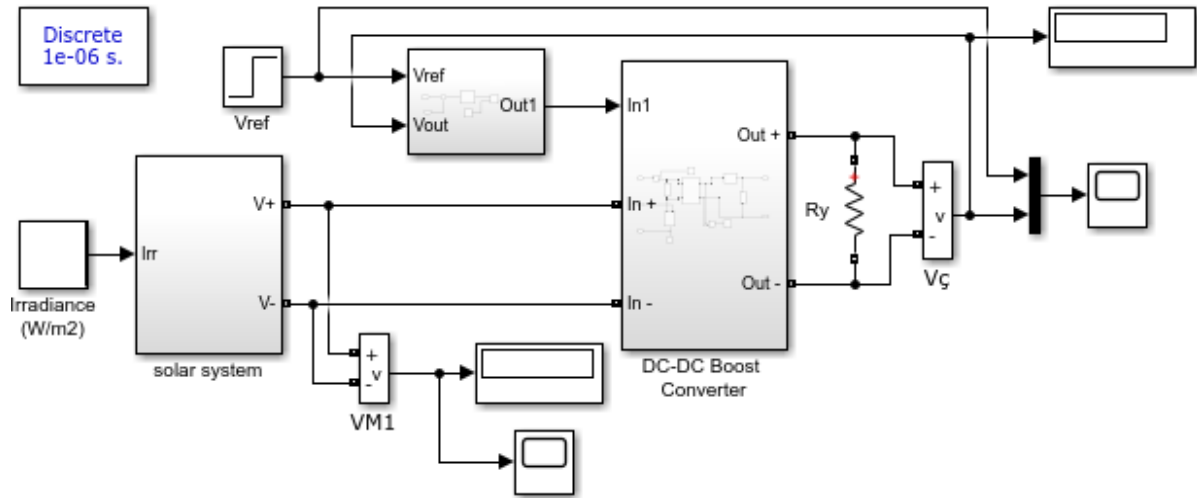
Şekil 3.7: Yumuşak anahtarlama DA-DA konvertör benzetimi

Modelde kullanılan transformatör parametreleri Tablo 3.4’de verilmiştir. Giriş gerilimi 12 V olan transformatörün çıkış gerilimi 24 V olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.4: Transformatör parametreleri

Parametreler	
Birim	pu
Normal Güç ve Frekans [$P_n(\text{VA}) f_n(\text{Hz})$]	750 - 1000
Birinci sargı parametreleri [$V_1(\text{V}_{\text{rms}}) R_1(\text{pu}) L_1(\text{pu})$]	12 - 0.002 - 0.08
İkinci sargı parametreleri [$V_2(\text{V}_{\text{rms}}) R_2(\text{pu}) L_2(\text{pu})$]	24 - 0.002 - 0.08
Manyetik Direnç ve İndüktans [$R_m(\text{pu}) L_m(\text{pu})$]	500 - 500

Benzetime ait blok devre şeması Şekil 3.8’de verilmiştir.



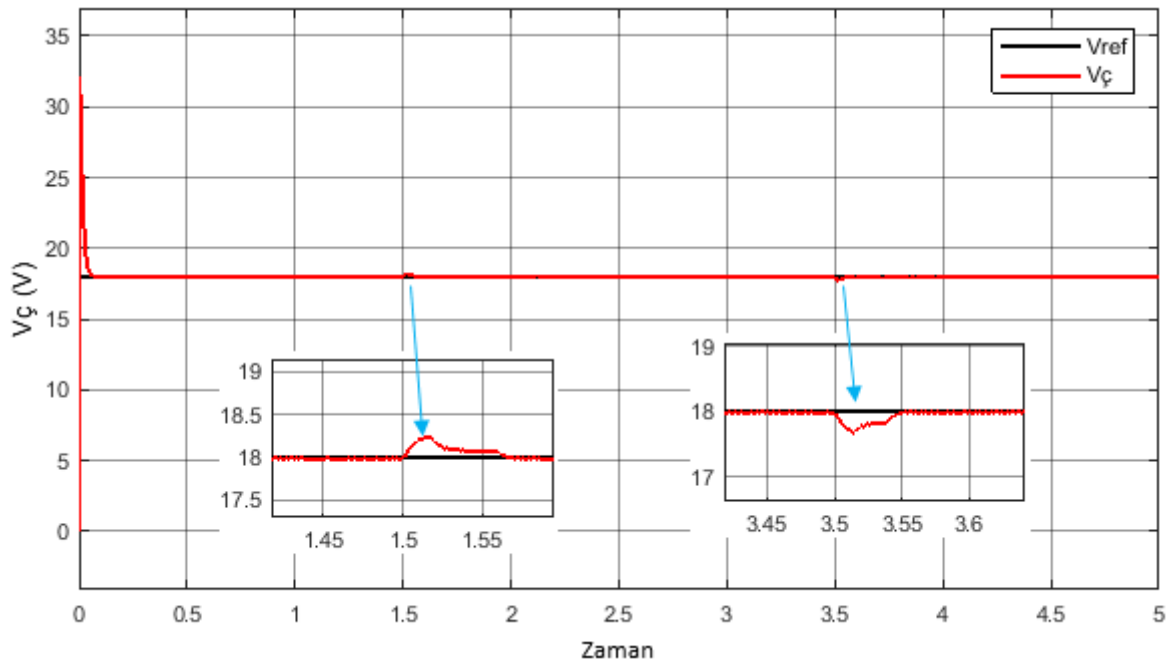
Şekil 3.8: Yumuşak anahtarlama sisteminin blok modeli

4. BULGULAR

4.1. SERT ANAHTARLAMALI DA-DA KONVERTÖR BULGULARI

4.1.1. Konvertör Çıkışı 18 V ve Yük Sabit

Konvertör çıkışında istenilen gerilimin 18 V olma durumunda elde edilen grafik Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



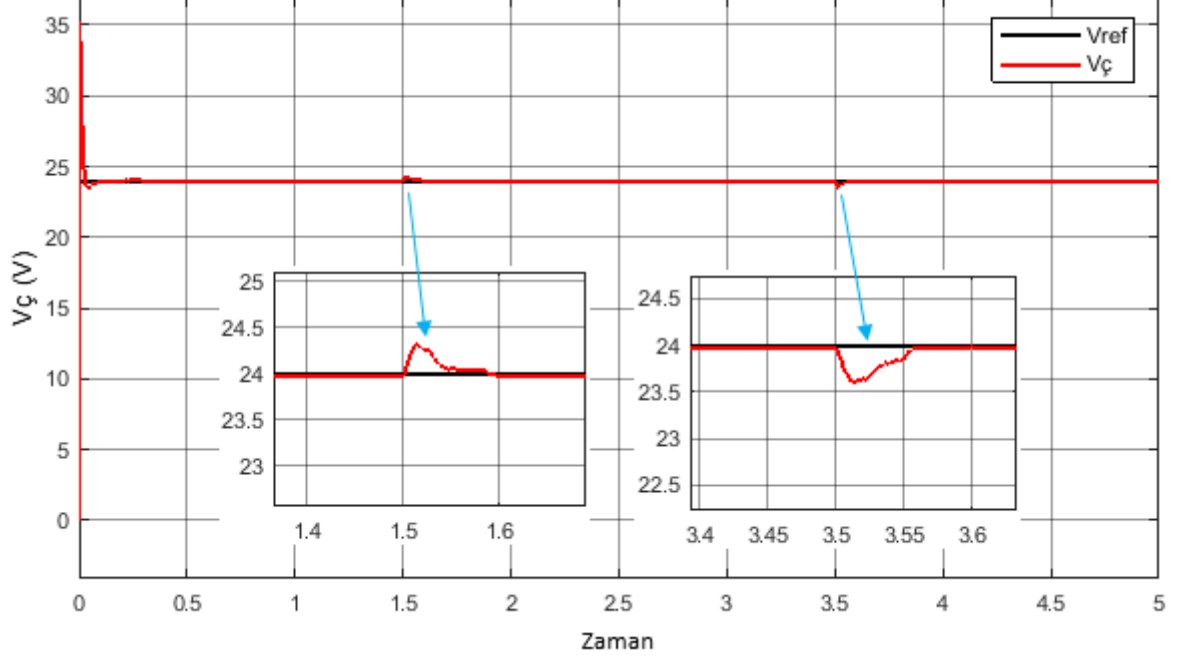
Şekil 4.1: Çıkış geriliminin 18 V olması istendiğinde elde edilen grafik

Bu grafik elde edilirken PV sistemin güneş ışınım değişimi Şekil 3.1'de verildiği gibi değişmektedir. Ayrıca yük değişimi sabit olarak belirlenmiştir. Konvertör çıkış gerilim değerleri 17.98 ila 18.01 V aralığında değişim göstermiştir.

Şekil 4.1 incelendiğinde 1.5 ve 3.5 saniyelerinde kısa süreli olarak çıkış gerilim değerinde kısa zamanlı olarak kararsızlık olduğu görülmektedir. PID denetleyici ile çok kısa bir süre içerisinde gereken anahtarlama sağlanarak çıkış gerilimi istenilen düzeyde tutulmaktadır. Kontrolör, çıkış gerilim değerinde yaklaşık $\pm 0.12\%$ hata yapmaktadır.

4.1.2. Konvertör Çıkışı 24 V ve Yük Sabit

Konvertör çıkışında istenilen gerilimin 24 V olma durumunda elde edilen grafik Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



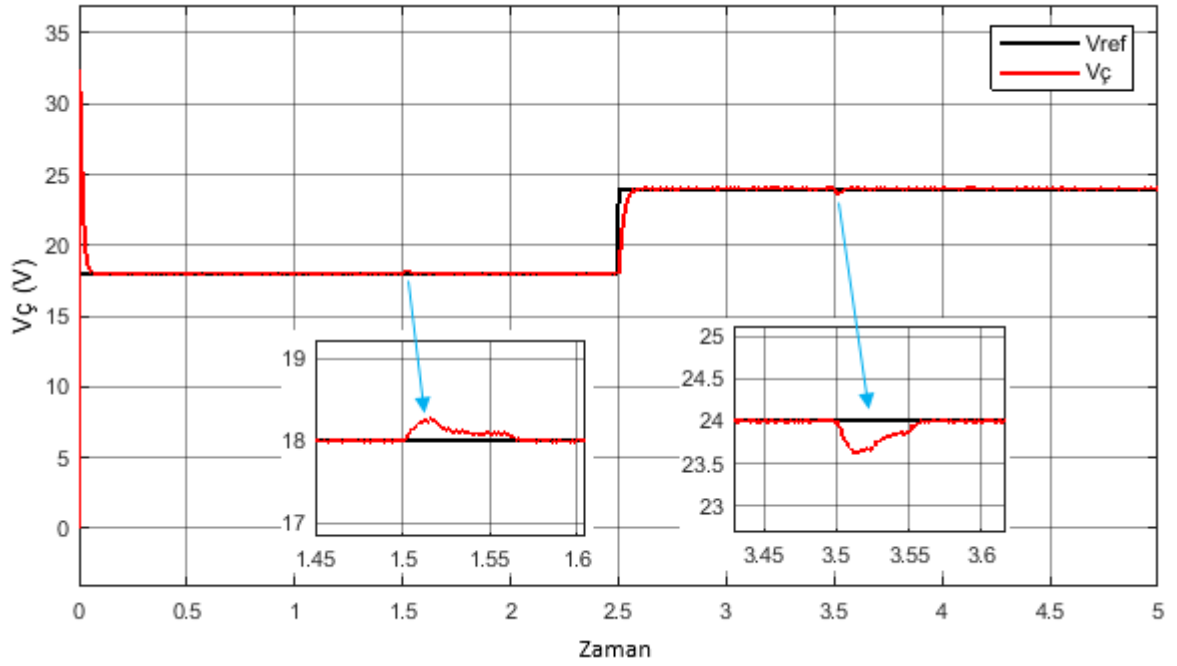
Şekil 4.2: Çıkış gerilimi 24 V olması istendiğinde elde edilen grafik

Bu grafik elde edilirken PV sistemin güneş ışınım değişimi Şekil 3.1’de verildiği gibi değişmektedir. Ayrıca yük değişimi sabit olarak belirlenmiştir. Konvertör çıkış gerilim değerleri $V_{\text{ç}}=23.99 - 24.02$ V aralığında değişim göstermiştir.

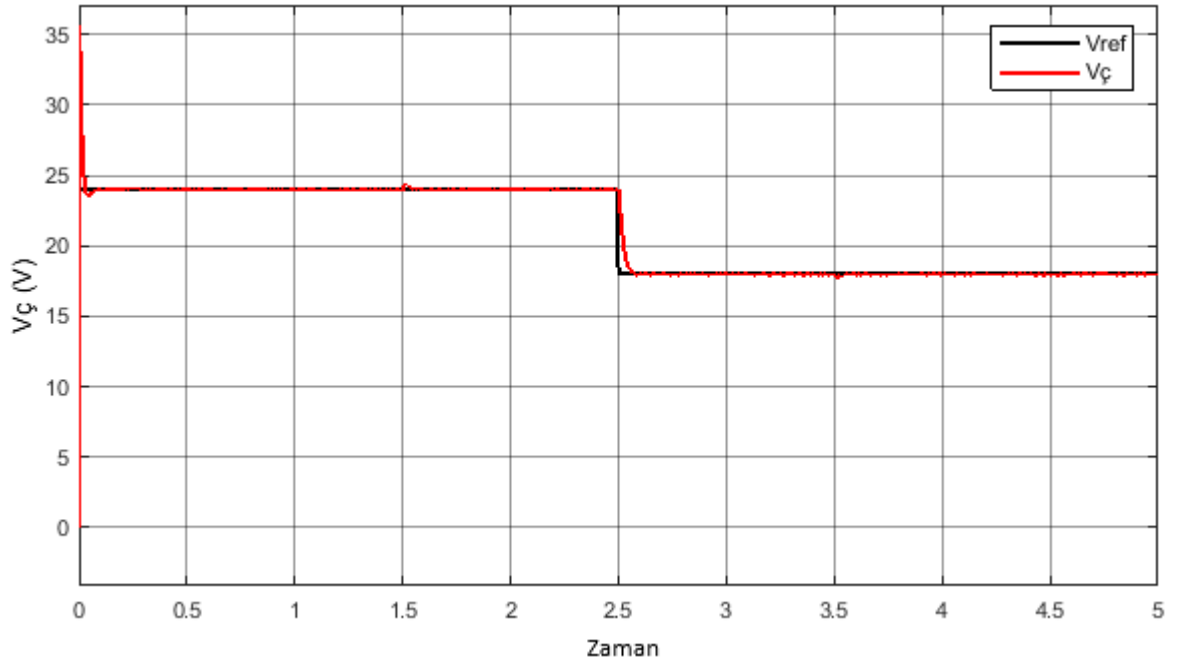
Şekil 4.2 incelendiğinde 1.5 ve 3.5 saniyelerinde kısa süreli olarak çıkış gerilim değerinde kısa zamanlı olarak kararsızlık olduğu görülmektedir. PID denetleyici ile çok kısa bir süre içerisinde gereken anahtarlama sağlanarak çıkış gerilimi istenilen düzeyde tutulmaktadır. Kontrolör, çıkış gerilim değerinde yaklaşık $\pm\%0.08$ hata yapmaktadır.

4.1.3. Konvertör Çıkış Gerilimi Değişken ve Yük Sabit

Bu çalışmada çıkış gerilim değeri 18 V’tan 24 V’a ve 24V’tan 18 V’a olacak şekilde değiştirilmiş ve elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 4.3 ve 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.3: Çıkış gerilimi 18 V'tan 24 V'a yükseldiğinde elde edilen grafik

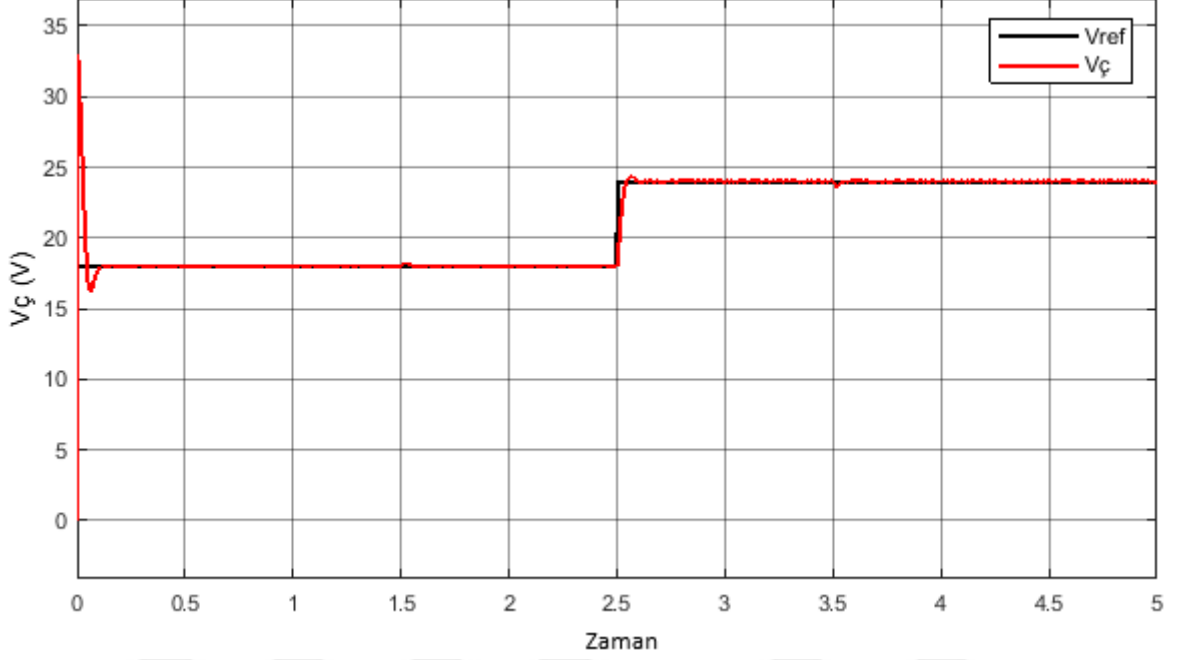


Şekil 4.4: Çıkış gerilimi 24 V'tan 18 V'a düştüğünde elde edilen grafik

Bu grafik elde edilirken PV sistemin güneş ışınım değişimi Şekil 3.1'de verildiği gibi değişmektedir. Ayrıca yük değişimi sabit olarak belirlenmiştir. 18 V çıkış gerilimi için konvertör 17.98 - 18.01 V, 24 V için 23.99 - 24.02 V aralığında gerilim üretmiştir.

4.1.4. Konvertör Çıkış Gerilimi Değişken ve Yük %100 Arttırılmış

Burada konvertör çıkış gerilim değeri 18 V'tan 24 V'a yükseltilirken yük %100 arttırılmış ve sistem performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

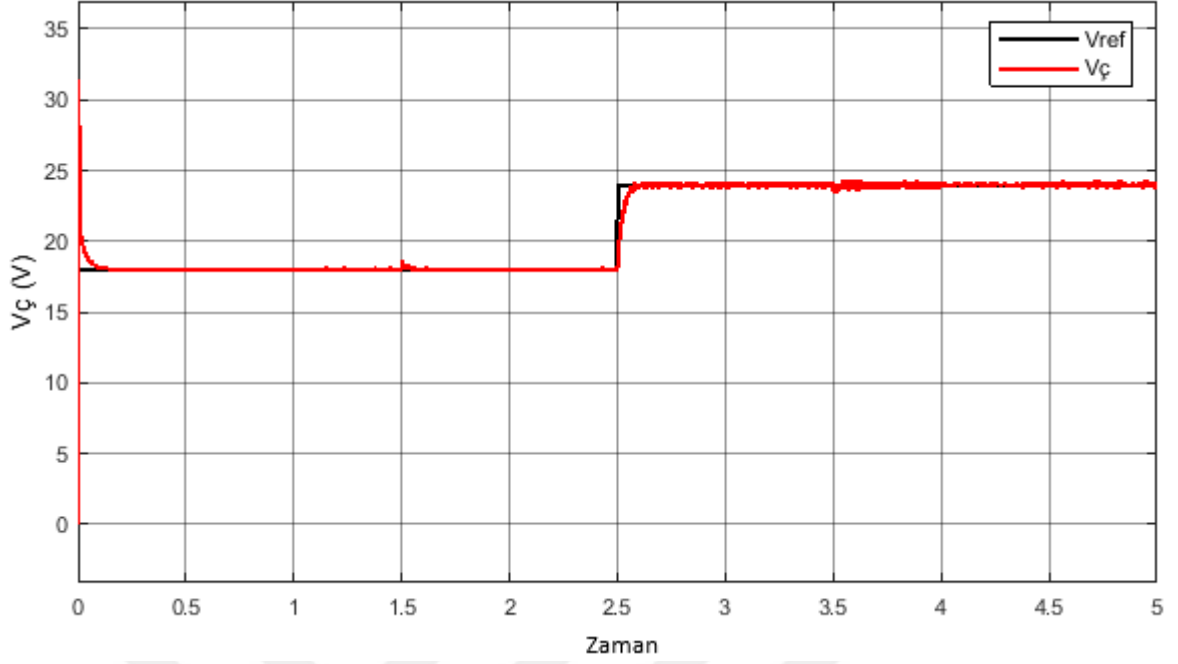


Şekil 4.5: Yük %100 arttırıldığında elde edilen sonuçlar

Yük %100 arttırıldığında konvertör çıkış değeri 18 V olduğunda kararlı bir çıkış elde edilirken, konvertör çıkışı 24 V olması istendiğinde ihmal edilebilecek düzeyde kararsızlık yaşandığı görülmektedir.

4.1.5. Konvertör Çıkış Gerilimi Değişken ve Yük %50 Azaltılmış

Burada konvertör çıkış gerilim değeri 18 V'tan 24 V'a yükseltilirken yük %50 oranında azaltılmış ve sistem performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Yük %50 azaltıldığında elde edilen sonuçlar

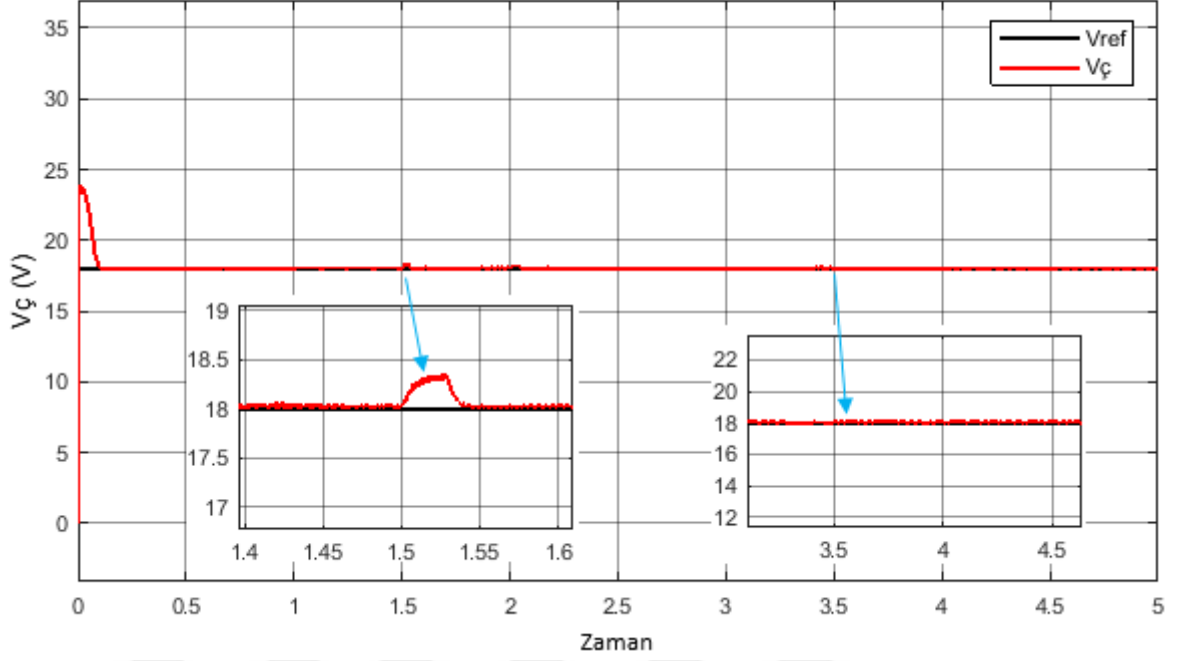
Şekil 4.6 incelendiğinde yükün %50 oranında azaltılması halinde konvertör çıkışının 18 V için beklenen gerilim değerini ürettiği görülmektedir. Ancak 24 V için çıkış gerilim değerinde kararsızlık durumunun arttığı hatta zaman 3.5'i gösterdiğinde güneş ışınım değerinin değişmesiyle kararsızlığın arttığı görülmektedir.

4.2. YUMUŞAK ANAHTARLAMALI DA-DA KONVERTÖR BULGULARI

4.2.1. Konvertör Çıkışı 18 V ve Yük Sabit

Konvertör çıkışında istenilen gerilimin 18 V olması durumunda elde edilen grafik Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Bu grafik elde edilirken PV sistemin güneş ışınım değişimi Şekil 3.1'de verildiği gibi değişmektedir. Ayrıca yük değişimi sabit olarak belirlenmiştir. Konvertör çıkış gerilim değerleri 17.95 ila 18.03 V aralığında değişim göstermiştir.



Şekil 4.7: Çıkış geriliminin 18 V olması istendiğinde elde edilen sonuçlar

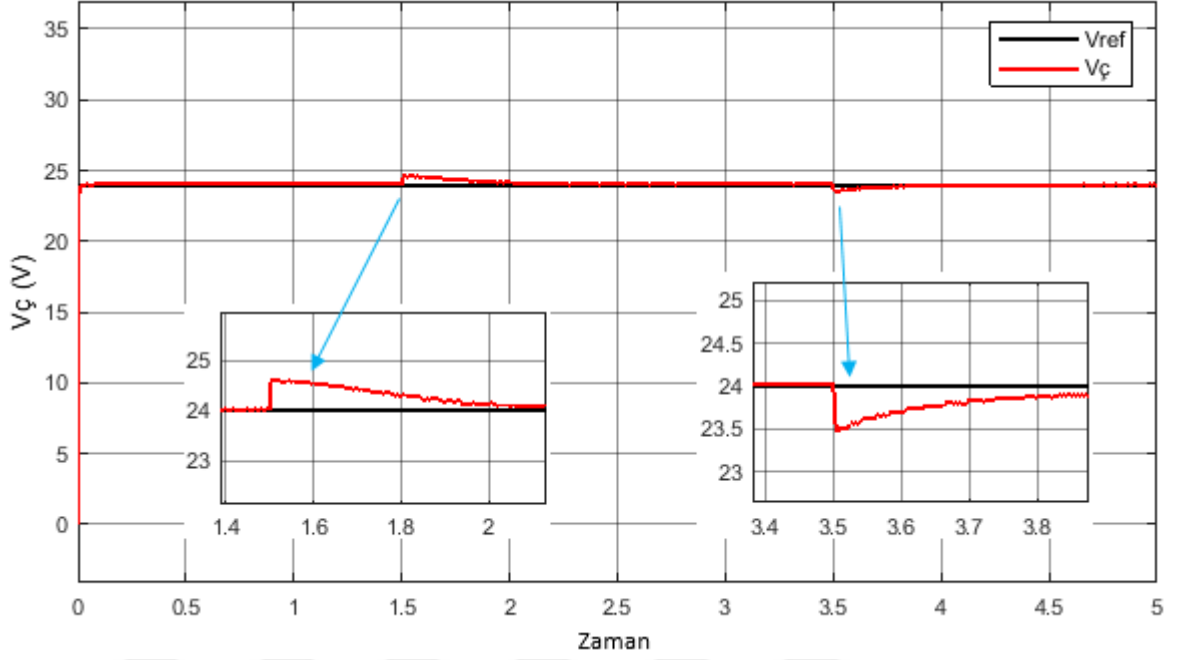
Şekil 4.7 incelendiğinde 1.5 ve 3.5 saniyelerde çıkış gerilim değerinde kısa süreli olarak kararsızlık olduğu görülmektedir. PID denetleyici ile çok kısa bir süre içerisinde gereken anahtarlama sağlanarak çıkış gerilimi istenilen düzeyde tutulmaktadır. Kontrolör, çıkış gerilim değerinde yaklaşık $\pm\%0.28$ hata yapmaktadır.

Burada konvertör çıkış gerilimi güneş ışınım değerine bağlı olarak 200 W/m^2 'den 500 W/m^2 'ye çıkarken kısa süreli kararsızlık yaşasa da 500 W/m^2 'den 200 W/m^2 'ye düşerken gerilim değerini istenilen düzeyde tuttuğu görülmektedir.

4.2.2. Konvertör Çıkışı 24 V ve Yük Sabit

Konvertör çıkışında istenilen gerilimin 24 V olması durumunda elde edilen grafik Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Bu grafik elde edilirken PV sistemin güneş ışınım değişimi Şekil 3.1'de verildiği gibi değişmektedir. Ayrıca yük değişimi sabit olarak belirlenmiştir. Konvertör çıkış gerilim değerleri 23.50 ila 24.50 V aralığında değişim göstermiştir.



Şekil 4.8: Çıkış geriliminin 24 V olması istendiğinde elde edilen sonuçlar

Konvertör çıkış gerilim değeri istenilen düzeyde olmasına rağmen güneş ışınım miktarının değişimi sırasında kararsızlık düzeyinin arttığı böylece konvertör çıkış geriliminde hatalı olduğu görülmektedir.

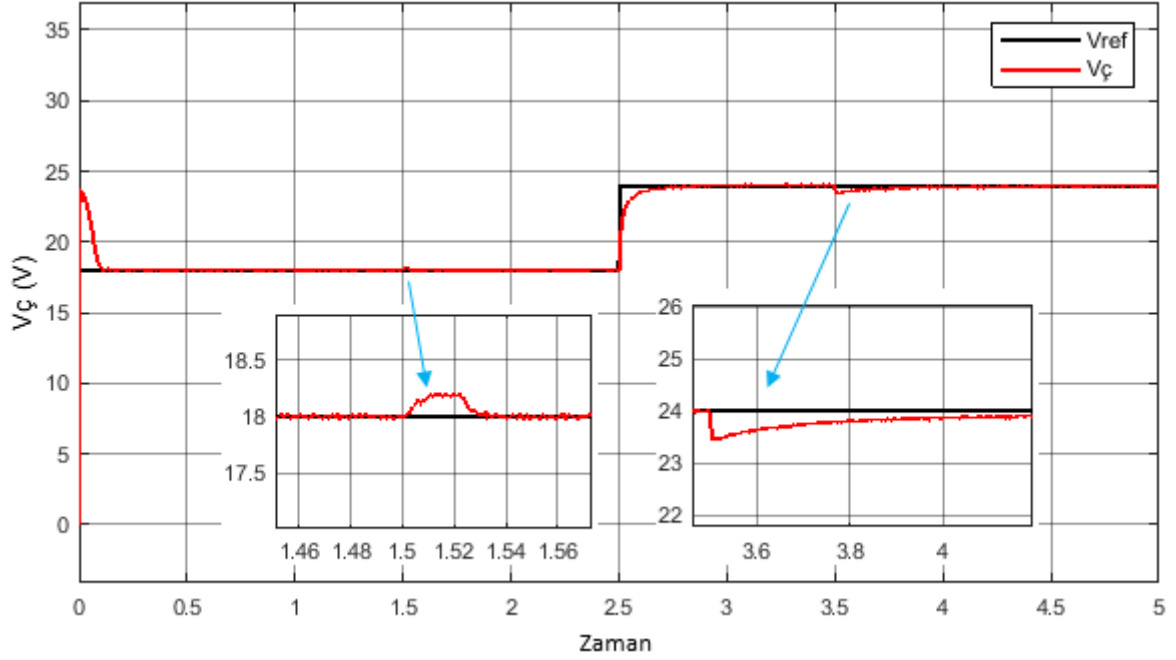
Şekil 4.8 incelendiğinde 1.5 ve 3.5 saniyelerde çıkış gerilim değerinde kısa süreli olarak kararsızlık olduğu görülmektedir. PID denetleyici ile çok kısa bir süre içerisinde gereken anahtarlama sağlanarak çıkış gerilimi istenilen düzeyde tutulmaktadır. Kontrolör, çıkış gerilim değerinde yaklaşık $\pm\%2.2$ hata yapmaktadır.

4.2.3. Konvertör Çıkış Gerilimi Değişken ve Yük Sabit

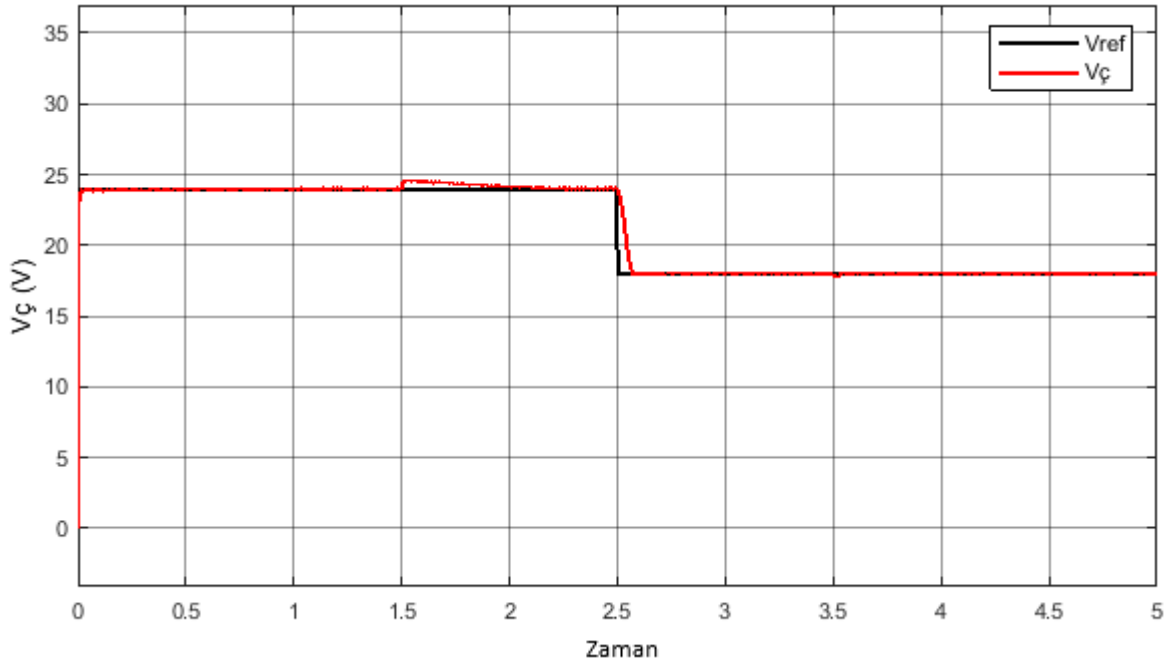
Bu çalışmada çıkış gerilim değeri 18 V'tan 24 V'a ve 24V'tan 18 V'a olacak şekilde değiştirilmiş ve elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 4.9 ve 4.10'da verilmiştir.

Burada güneş ışınım miktarına bağlı olarak konvertör çıkış gerilim değerleri görülmektedir. Şekil 4.9 incelendiğinde 18 V için güneş ışınım değerinin değişimi sırasında kısa süreli de olsa hatanın yapıldığı ancak PID kontrolör ile kısa sürede istenen gerilim değerinin elde edildiği görülmektedir. Diğer yandan 24 V için güneş ışınım değerinin düşmesi sırasında

sistem hatasının olduğu ve konvertörün çıkış gerilim değerini yaklaşık 1 saniyede yakaladığı görülmektedir. Benzer değişim Şekil 4.10'da da görülmektedir.



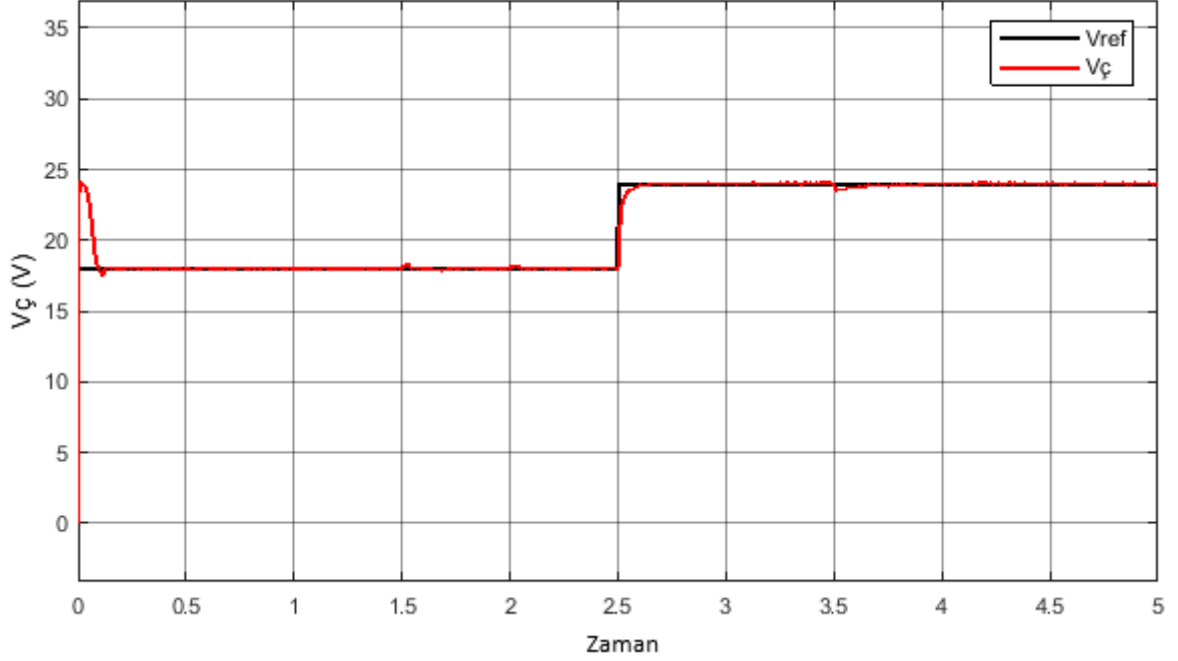
Şekil 4.9: Çıkış gerilimi 18 V'tan 24 V'a yükseldiğinde elde edilen grafik



Şekil 4.10: Çıkış gerilimi 24 V'tan 18 V'a düştüğünde elde edilen grafik

4.2.4. Konvertör Çıkış Gerilimi Değişken ve Yük %100 Arttırılmış

Bu çalışmada konvertör çıkış gerilim değeri 18 V'tan 24 V'a yükseltilirken yük %100 arttırılmış ve sistem performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

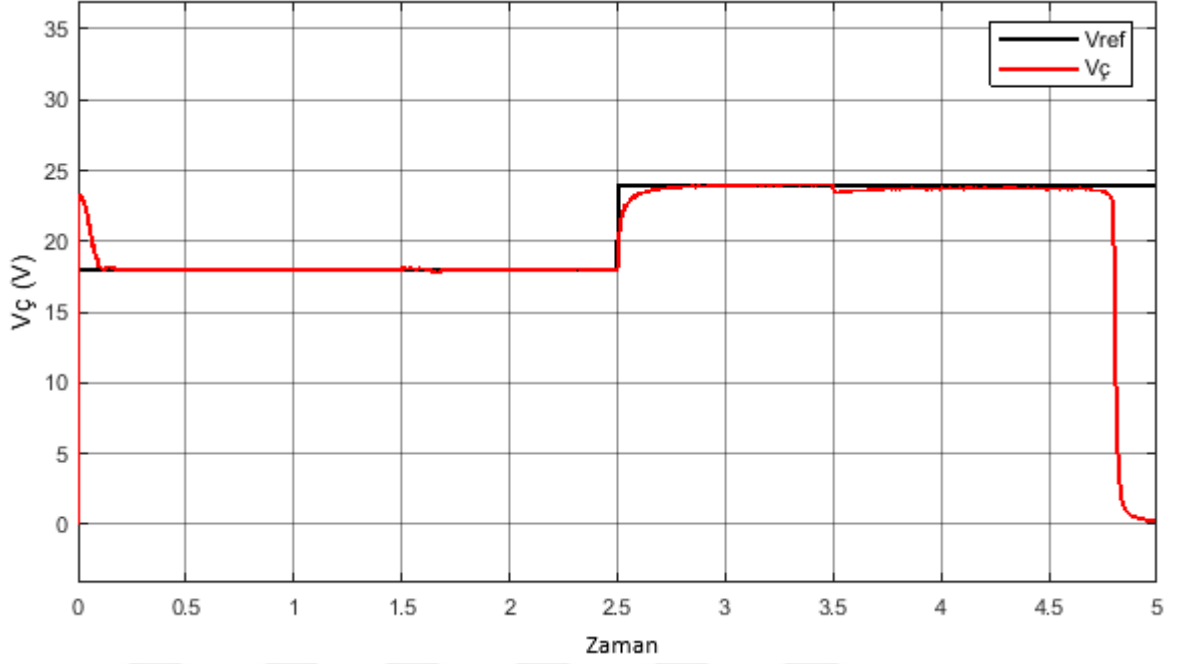


Şekil 4.11: Yük %100 arttırıldığında elde edilen sonuçlar

Sistem performansı yükün %100 arttırıldığı durumda incelendiğinde hem 18 V hem de 24 V için istenilen çıkış gerilim değerlerinin konvertör çıkışından elde edildiği görülmektedir. 24 V'luk çıkış geriliminde güneş ışınımının değişimi sırasında küçük de olsa hatanın olduğu ancak PID kontrolör yardımıyla istenilen gerilimin elde edildiği görülmektedir. 18 V çıkış gerilimi için konvertör 17.99 - 18.01 V, 24 V için 23.99 - 24.01 V aralığında gerilim üretmiştir.

4.2.5. Konvertör Çıkış Gerilimi Değişken ve Yük %50 Azaltılmış

Bu çalışmada konvertör çıkış gerilim değeri 18 V'tan 24 V'a yükseltilirken yük %50 oranında azaltılmış ve sistem performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12: Yük %50 azaltıldığında elde edilen sonuçlar

18 V çıkış gerilimi için konvertör 17.85 - 18.18 V, 24 V için 23.75 - 24.25 V aralığında gerilim üretmiştir. Aşağıdaki grafikte saniye 3.5'u gösterdiğinde güneş ışınımının 500 w/m² den 200 w/m² ye düştüğü anlaşılmaktadır. Bu andan itibaren PID konvertör çıkış gerilimini istenilen düzeyde tutmaya çalışmaktadır. Ancak bu durum 4.5-5 saniye aralığında bozulmaya uğramıştır.

4.3. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ BULGULARI

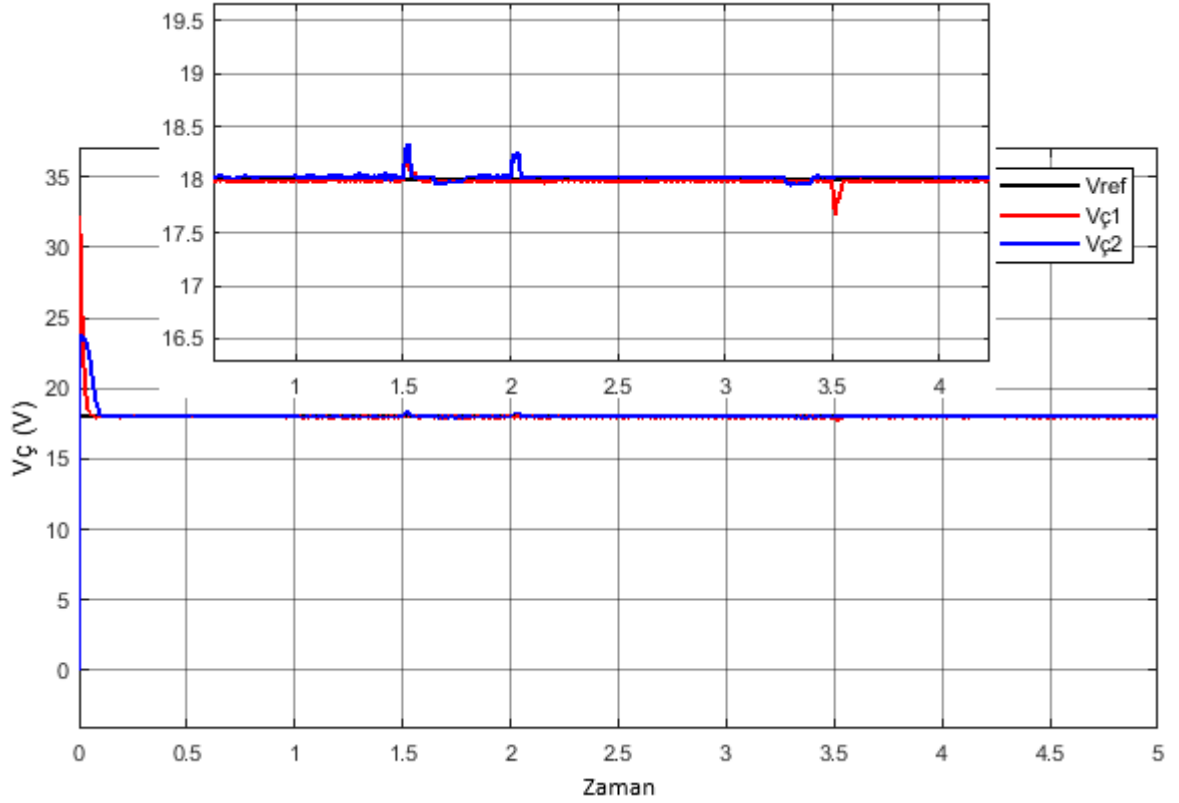
Konvertör çıkışının 18 ve 24 V olması durumunda her iki model için karşılaştırmalı bulguları bu bölümde verilmiştir. Grafiklerde:

- $V_{ç1}$: Sert anahtarlama (İzolasyonsuz) DA-DA yükseltici konvertör çıkışını
- $V_{ç2}$: Yumuşak anahtarlama (İzolasyonlu) DA-DA yükseltici konvertör çıkışını
- V_{ref} : Konvertör çıkışında istenilen gerilimi, göstermektedir.

Sistemde güneş ışınım değeri referans alınan değerlerde olduğu gibidir. Sistemde yük sabit olarak alınmıştır.

4.3.1. 18 V için Karşılaştırmalı Analiz Bulguları

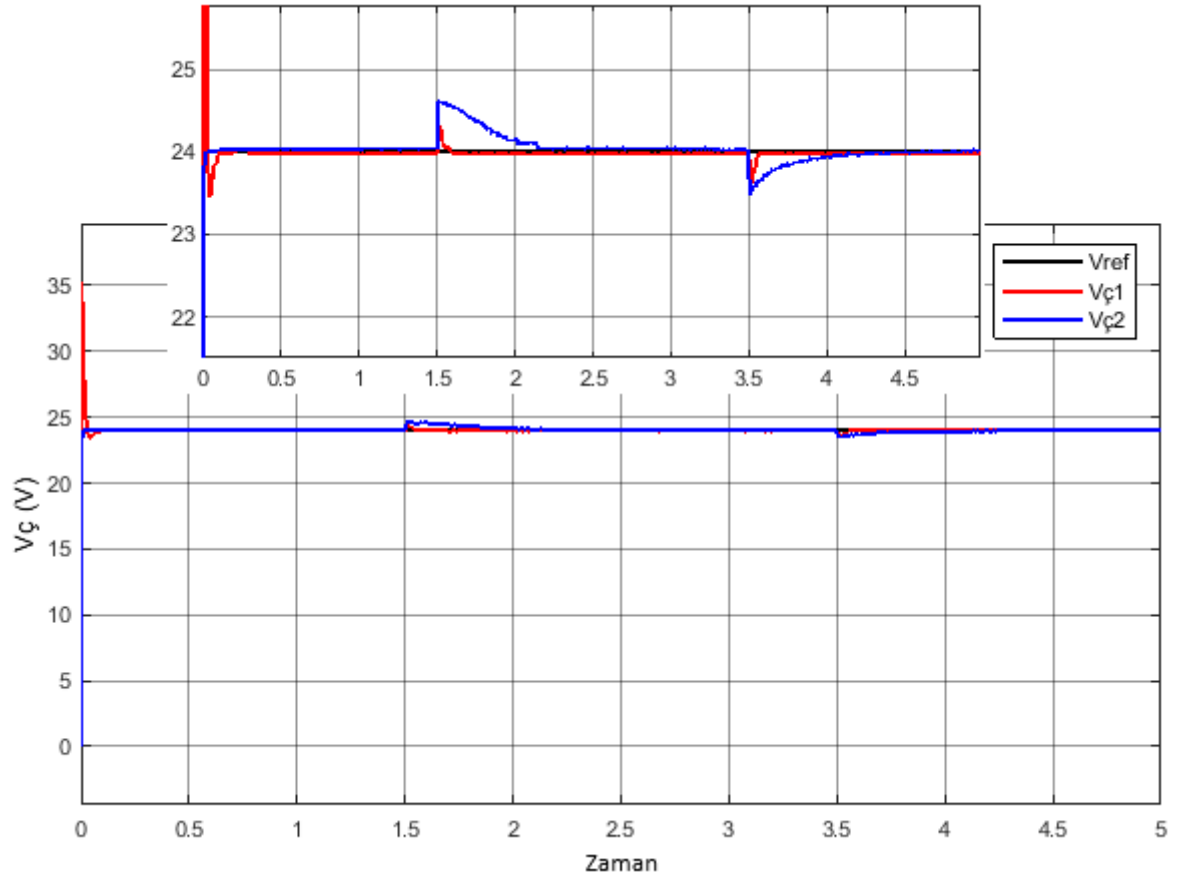
18 V için her iki modelin performansı Şekil 4.13’de görülmektedir. Şekil 4.13 incelendiğinde 18 V için sert anahtarlama konvertörünün bahse konu olan PV sistemde PID kontrolör ile güneş ışınım değerlerinin değişimine daha iyi cevaplar verdiği görülmektedir.



Şekil 4.13: 18 V için karşılaştırmalı analiz bulguları

4.3.2. 24 V için Karşılaştırmalı Analiz Bulguları

24 V için her iki modelin performansı Şekil 4.14’de görülmektedir. Şekil 4.14 incelendiğinde 24 V için sert anahtarlama konvertörünün bahse konu olan PV sistemde PID kontrolör ile güneş ışınım değerlerinin değişimine daha iyi cevaplar verdiği görülmektedir.



Şekil 4.14: 24 V için karşılaştırmalı analiz bulguları

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

“DA-DA Anahtarlama Yöntemlerinin Modellenmesi ve Karşılaştırılması” isimli bu çalışmada DA-DA yükseltici konvertörlerin performansı bir PV sistem üzerinde araştırılmış ve konvertör çıkışında istenen gerilimler PID kontrolörle denetlenerek sistemin performansı hakkındaki sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- PV sistem çıkışı 12-13 V gerilim üretmektedir ve DA-DA konvertör girişine bu gerilim uygulanmıştır. Güneş ışınım değerine göre PV sistemin çıkışı değişkenlik göstermektedir.
- PV sistemin çıkışından elde edilen gerilim değerine göre PID kontrolör anahtarlama işlevini ayarlayarak konvertör çıkışından istenen gerilimlerin elde edilmesini sağlamaktadır.
- SA’lı (izolasyonsuz) ve YA’lı (izolasyonlu) DA-DA yükseltici konvertör çıkışından 18 ve 24 V’luk gerilimler elde edilmiştir.
- SA ve YA’lı konvertörler 18 V için kararlılık düzeyleri yüksek sonuçlar üretmiştir. SA’lı yükseltici DA-DA konvertörde çıkış gerilim hatası $\pm\%0.12$, YA’lı yükseltici DA-DA konvertörde $\pm\%0.28$ olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda SA’lı konvertör daha iyi bir performans göstermiştir.
- SA ve YA’lı konvertörler 24 V için kararlılık düzeyleri yüksek sonuçlar üretmiştir. SA’lı yükseltici DA-DA konvertörde çıkış gerilim hatası $\pm\%0.08$, YA’lı yükseltici DA-DA konvertörde $\pm\%2.2$ olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda SA’lı konvertör daha iyi bir performans göstermiştir.
- SA ve YA’lı konvertörler değişken çıkış gerilimi (18 ve 24 V) için kararlılık düzeyleri yüksek sonuçlar üretmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.9 incelendiğinde SA’lı konvertör daha iyi bir performans göstermiştir.
- SA ve YA’lı konvertörler değişken çıkış gerilimi (24 ve 18 V) için kararlılık düzeyleri yüksek sonuçlar üretmiştir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.10 incelendiğinde SA’lı konvertör daha iyi bir performans göstermiştir.

- Yükün %100 artması durumunda Şekil 4.5 (SA) ve 4.11 (YA) incelendiğinde konvertörler kararlılık düzeyleri yüksek sonuçlar üretmiştir. Detaylı olarak bakıldığında SA'lı yükseltici DA-DA konvertör diğerine göre daha iyi sonuçlar üretmiştir.
- Yükün %50 azaltılması durumunda Şekil 4.6 (SA) ve 4.12 (YA) incelendiğinde konvertörler kararlılık düzeylerinin 18 V'ta daha iyi olduğu görülmüştür. 24 V'ta SA'lı konvertörün performansı YA'lı konvertöre göre daha iyidir. Ancak 24 V için 4-5. saniye arasında YA'lı konvertör çıkışı hata vermiştir. Bu durum yarı yükte güneş ışınımının düşmesi ve çıkış geriliminin yüksek olmasından kaynaklı olduğu söylenebilir.

Karşılaştırmalı analizde;

- Konvertörlerin çıkışından sadece 18 V istendiğinde çıkış geriliminde ihmal edilebilir kararsızlıklar olsa da en iyi performansı SA'lı yükseltici DA-DA konvertör göstermiştir (Şekil 4.13).
- Konvertörlerin çıkışından sadece 24 V istendiğinde çıkış geriliminde ihmal edilebilir kararsızlıklar olsa da en iyi performansı SA'lı yükseltici DA-DA konvertör göstermiştir (Şekil 4.14).

Genel olarak değerlendirildiğinde;

- Tam yük ve %100 arttırılmış yükte PID kontrollü SA'lı yükseltici konvertörün daha iyi sonuçlar ürettiği söylenebilir ve PV sistemler için önerilebilir.
- Yarı yükte en iyi sonuçlar 18 V'luk çıkış gerilim değerinde elde edilmiştir.
- PID kontrolörle yapılan anahtarlama en iyi sonuçları SA'lı konvertörün ürettiği anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1]. Lakshmi, M. and S. Hemamalini, *Coordinated control of MPPT and voltage regulation using single-stage high gain DC–DC converter in a grid-connected PV system*. Electric Power Systems Research, 2019. 169: p. 65-73.
- [2]. Brusso, B. and B. Bose, *Power electronics—Historical perspective and my experience [history]*. IEEE Industry Applications Magazine, 2014. 20(2): p. 7-81.
- [3]. Rashid, M.H., *Power electronics handbook*. 2017: Butterworth-Heinemann.
- [4]. Skvarenina, T.L., *The power electronics handbook*. 2018: CRC press.
- [5]. Wang, Y., et al., *A two-stage quasi-resonant dual-buck LED driver with digital control method*. IEEE Transactions on Industry Applications, 2017. 54(1): p. 787-795.
- [6]. Sheng, K., B.W. Williams, and S.J. Finney, *A review of IGBT models*. IEEE transactions on Power Electronics, 2000. 15(6): p. 1250-1266.
- [7]. Bodur, H., İ. Aksoy, and B. Akın, *DC-DC dönüştürücülerde yumuşak anahtarlama teknikleri*. Kaynak Elektrik, 2002. 158: p. 100-108.
- [8]. Kazimierczuk, M.K., *Pulse-width modulated DC-DC power converters*. Vol. 1. 2008: Wiley Online Library.
- [9]. Steigerwald, R.L., *High-frequency resonant transistor dc-dc converters*. IEEE transactions on industrial electronics, 1984(2): p. 181-191.
- [10]. Altıntaş, N., A.F. Bakan, and I. Aksoy, *A novel zvt-zct-pwm boost converter*. IEEE transactions on power electronics, 2013. 29(1): p. 256-265.
- [11]. SAHİN, Y. and N.S. TING, *A New Soft-Switched ZCZVT-PWM DC-DC Boost Converter*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2018. 22(2): p. 435-442.
- [12]. Luo, F.L. and H. Ye, *Advanced dc/dc converters*. 2016: crc Press.
- [13]. Bodur, H., *DC–DC Dönüştürücülerde Yumuşak Anahtarlama Teknikleri Ders Notları*. Yıldız Teknik Üniversitesi, 2004.
- [14]. Hua, G., et al. *Novel zero-current-transition PWM converters*. in *Proceedings of IEEE Power Electronics Specialist Conference-PESC'93*. 1993. IEEE.

- [15]. Menegaz, P.J., et al. *Improving the operation of ZVT DC-DC converters*. in *30th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference. Record.(Cat. No. 99CH36321)*. 1999. IEEE.
- [16]. Hua, G., C.-S. Leu, and F.C. Lee. *Novel zero-voltage-transition PWM converters*. in *PESC'92 Record. 23rd Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*. 1992. IEEE.
- [17]. Bodur, H. and A.F. Bakan, *A new zvt-zct-pwm dc-dc converter*. IEEE transactions on power electronics, 2004. 19(3): p. 676-684.
- [18]. Zhang, J., et al. *A novel zero-current-transition full bridge DC-DC converter*. in *Twentieth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2005. APEC 2005*. 2005. IEEE.
- [19]. Tsai, H.-Y., T.-H. Hsia, and D. Chen, *A family of zero-voltage-transition bridgeless power-factor-correction circuits with a zero-current-switching auxiliary switch*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010. 58(5): p. 1848-1855.
- [20]. Lee, D.-Y., et al., *New zero-current-transition PWM DC/DC converters without current stress*. IEEE Transactions on Power Electronics, 2003. 18(1): p. 95-104.
- [21]. Tan, F.D. *The forward converter: From the classic to the contemporary*. in *APEC. Seventeenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (Cat. No. 02CH37335)*. 2002. IEEE.
- [22]. Chen, Q., et al. *An improved two-transistor forward converter with integrated magnetics*. in *2008 International Conference on Electrical Machines and Systems*. 2008. IEEE.
- [23]. Bodur, H., A. Bakan, and M. Baysal, *A detailed analytical analysis of a passive resonant snubber cell perfectly constructed for a pulse width modulated dc-dc buck converter*. Electrical Engineering, 2003. 85(1): p. 45-52.
- [24]. Das, P. and G. Moschopoulos, *A comparative study of zero-current-transition PWM converters*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2007. 54(3): p. 1319-1328.
- [25]. Panda, A.K., S. Pattnaik, and K. Mohapatra, *A Novel Soft-Switching Synchronous Buck Converter for Portable Applications*. Advances in Power Electronics, 2008. 2008.
- [26]. Park, S.-H., et al., *Analysis and design of a soft-switching boost converter with an HI-bridge auxiliary resonant circuit*. IEEE Transactions on Power Electronics, 2010. 25(8): p. 2142-2149.

- [27]. Aksoy, Đ., H. Bodur, and N. Altıntaş, *ZVZCT PWM Boost DC-DC Converter*. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering, 2015. 9(8): p. 853-856.
- [28]. Tsai, C.-T. and J.-C. Su, *A soft-switching sepic with multi-output sources*. Electronics, 2017. 6(2): p. 35.
- [29]. Kondawar, S.S. and U. Vaidya, *A Comparison of two MPPT techniques for PV system in Matlab/Simulink*. International Journal of Engineering Research and Development, 2012. 2(7): p. 73-79.
- [30]. Moubayed, N., A. El-Ali, and R. Outbib, *A comparison of two MPPT techniques for PV system*. WSEAS Transactions on Environment and Development, 2009. 5(12): p. 770-779.
- [31]. Hohm, D. and M.E. Ropp, *Comparative study of maximum power point tracking algorithms*. Progress in photovoltaics: Research and Applications, 2003. 11(1): p. 47-62.
- [32]. David, S., *Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications*. 2010, Aalto University: Helsinki.
- [33]. Arulselvi, S., G. Uma, and M. Chidambaram. *Design of PID controller for boost converter with RHS zero*. in *The 4th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. IPEMC 2004*. 2004. IEEE.
- [34]. Dave, M.R. and K. Dave, *Analysis of boost converter using PI control algorithms*. International Journal of Engineering Trends and Technology, 2012. 3(2): p. 71-73.
- [35]. Amirahmadi, A., et al., *Optimum design of integer and fractional-order PID controllers for boost converter using SPEA look-up tables*. Journal of Power Electronics, 2015. 15(1): p. 160-176.
- [36]. Erickson, R.W. and D. Maksimovic, *Fundamentals of power electronics*. 2007: Springer Science & Business Media.
- [37]. Hart, D.W., *Power electronics*. 2011: Tata McGraw-Hill Education.
- [38]. Bodur, H., *Güç Elektroniği Endüstriyel Uygulamaları 1*. YTÜ Ders Notları, 2004.
- [39]. Bodur, H., *Güç elektroniği*. 2010: Birsen Yayınevi.
- [40]. Mohan, N., et al., *Güç elektroniği: çeviriciler, uygulamalar ve tasarım*. 2007: Literatür Yayıncılık.

- [41]. Çoruh, N., T. Erfidan, and S. Ürgün, *DA-DA Boost Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçeklenmesi Design and Implementation of DC-DC Boost Converter*.
- [42]. Yasko, M.A., *Fotovoltaik Sistemlerde Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücülü Maksimum Güç Noktası İzleyicisinin Analizi, Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi*, in *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*. 2018, Kocaeli Üniversitesi: Kocaeli.
- [43]. Fraas, L.M., *Low-cost solar electric power*. 2014: Springer.
- [44]. Kim, K.A., et al., *A dynamic photovoltaic model incorporating capacitive and reverse-bias characteristics*. IEEE Journal of photovoltaics, 2013. 3(4): p. 1334-1341.
- [45]. Di Piazza, M.C. and G. Vitale, *Photovoltaic sources: modeling and emulation*. 2012: Springer Science & Business Media.
- [46]. Kim, K.A. and P.T. Krein, *Reexamination of photovoltaic hot spotting to show inadequacy of the bypass diode*. IEEE Journal of Photovoltaics, 2015. 5(5): p. 1435-1441.
- [47]. Villalva, M.G., J.R. Gazoli, and E. Ruppert Filho, *Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays*. IEEE Transactions on power electronics, 2009. 24(5): p. 1198-1208.
- [48]. Jäger, K.-D., et al., *Solar Energy: Fundamentals, Technology and Systems*. 2016: UIT Cambridge.
- [49]. Yüksel, İ., *Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri, Matlab ile Genişletilmiş 6. Baskı*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2009.
- [50]. Kocaarslan, İ., E. Çam, and H. Tiryaki. *An Investigation of Cleanness in Boilers of Thermal Power Plants with Fuzzy Logic Controller*. in *2nd International Conference on TPE, Tabriz-Iran*. 2004.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Elmin AHMADOV
Doğum Yeri	Azerbaycan Şeki
Doğum Tarihi	16.10.1991
Uyruğu	<input type="checkbox"/> T.C. <input checked="" type="checkbox"/> Diğer: Azerbaycan
Telefon	+90 554 155 57 75
E-Posta Adresi	elminmedli91@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Azerbaycan Mimarlık ve İnşaat Üniversitesi
Fakülte	Mekanik ve Bilgi Teknolojileri
Bölümü	Elektrik Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı, (Örgün Öğretim)

Makale ve Bildiriler	