

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**HİBRİD GÜÇ SİSTEMLERİ İÇİN DEĞİŞKEN
SEVİYELİ EVİRİCİ TASARIMI VE
PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ**

Tevfik GÜLERSOY

Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. Mustafa ENGİN

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 625.05.01

Sunuş Tarihi : 24.06.2015

Bornova-İZMİR

2015

Tevfik GÜLERSOY tarafından Doktora tezi olarak sunulan “Hibrid Güç Sistemleri İçin Değişken Seviyeli Evirici Tasarımı ve Performans Değerlendirmesi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 24/06/2015 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı

: Yard. Doç. Dr. Mustafa ENGİN



Raportör Üye

: Prof. Dr. Haldun KARACA



Üye

: Yard. Doç. Dr. Koray ÜLGEN



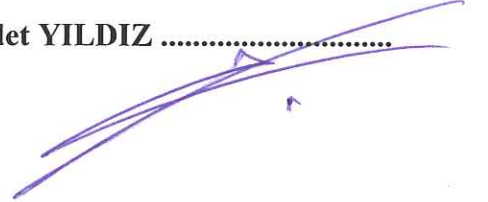
Üye

: Yard. Doç. Dr. Erginer UNGAN



Üye

: Yard. Doç. Dr. M. Necdet YILDIZ

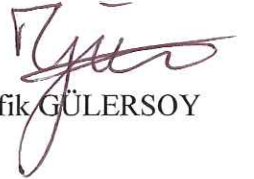


EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “Hibrid Güç Sistemleri İçin Değişken Seviyeli Evirici Tasarımı ve Performans Değerlendirmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

24/06/2015


Tevfik GÜLERSOY

ÖZET**HİBRİD GÜÇ SİSTEMLERİ İÇİN DEĞİŞKEN SEVİYELİ EVİRİCİ
TASARIMI VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ**

GÜLERSOY, Tevfik

Doktora Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Mustafa ENGİN

Haziran 2015, 73 sayfa

Bu tez çalışmasında, mikrodenetleyici tabanlı SPWM modüleli, şebeke bağlantılı tek fazlı bir evirici tasarımı anlatılmaktadır. Evirici çıkışında istenen genlik ve frekansta bir alternatif akım üretilmektedir. Günümüzde eviriciler, güç kaynaklarının en önemli mekanizması konumundadırlar. Bir hibrid yenilenebilir enerji sistemi, DC gerilim elde edilmesinde kullanılmaktadır. Hibrid enerji sisteminde güç, rüzgar türbini ve fotovoltaik panellerden sağlanmaktadır. Hibrid enerji sistemi Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi kampüs alanında kurulu bulunmaktadır. Sistem, bir rüzgar türbini, fotovoltaik panel, şarj regülatörü, bir sürücü ünite, tam köprü evirici devresi, ve çıkış filtresinden oluşmaktadır. Girişteki güç devresi, bataryalar için +48V dc gerilim sağlamaktadır. Bataryalar bu 48V DC gerilim ile evirici devresini sürmektedir. Evirici devre, bu dc gerilimi 220V ve 50Hz şebeke gerilimine çevirmektedir. Evirici devresi, SPWM modülasyon tekniği ile çalışmaktadır. Bu SPWM sinyalleri, bir optokuplör ve kapı sürücü devre yardımı ile, evirici devresine uygulanmaktadır. Evirici çıkışları filtre edilmiştir. Evirici tasarımında, Microchip firmasının, DSP tabanlı dsPIC32MX795F512L mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Tüm sistem, Matlab Simulink programı ile simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları ve deneysel sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar sözcükler: Yenilenebilir enerji, Hibrid Güç Sistemi, Rüzgar Türbini, Güneş pili, DC-AC Evirici, Gömülü sistem.

ABSTRACT**DESIGN AND TEST A VARIABLE LEVEL INVERTER FOR
HYBRID ENERGY SYSTEM**

GULERSOY, Tefvik

PhD Thesis in Department of Solar Energy

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Mustafa ENGIN

June 2015, 73 page

This thesis presents the design and implementation of a single-phase grid-connected Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) microcontroller based inverter. It produces an ac output voltage of desired magnitude and frequency. Nowadays, the inverters are important at the main power supply. A hybrid renewable energy system is used to provide the DC bus voltage. The electricity is provided by two production systems; a wind turbine and PV array. This system is called as hybrid energy system. The hybrid energy system has been established in Ege University Solar Energy Institute campus area. The system contains a wind turbine, photovoltaic array, a charge regulator, a driver unit, a full-bridge inverter unit, an output filter, a control unit and dsPIC based microcontroller unit. The input power stage provides +48 V DC bias voltage to the battery charger. Battery charger regulator continuously supplies 48 V DC bias voltage to the inverter circuit. The inverter circuit is continuously converted 48V DC voltage to 220V AC at a frequency of 50 Hz. The inverter system is operated with Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) technique. The SPWM signals are applied to the inverter circuit through opto coupler and gate driver unit. The inverter system has filtered output. The DSP based a microcontroller of Microchip dsPIC32MX795F512L is used for the implementation of inverter. The Matlab Simulink software is used to create all of the system simulation. In this thesis analysis, simulation and experimental results were also presented.

Keywords: Renewable Energy, Hybrid Energy System, Wind Turbine, Photovoltaic, Inverter, Embedded System.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince özellikle kıymetli görüşlerinden yararlandığım ve yakın ilgisini esirgemeyen danışmanım Sayın Yard. Doç. Dr. Mustafa ENGİN'e, laboratuvar olanaklarından yararlandığım ODEON ELEKTRONİK A.Ş. sahibi Sayın Erhan HIZLIKUL'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
TEŞEKKÜR.....	x1
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xx1
1.GİRİŞ.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. GEREÇ VE YÖNTEM	9
3.1 Hibrid Enerji Sistemleri	9
3.2 Güneş Enerjisi	11
3.2.1 Güneş pili hücre modeli.....	11
3.2.2 Maksimum güç noktası (MPP).....	12
3.2.3 Dürt ve gözlemle kontrol metodu (P&O).....	14
3.2.4 Rüzgar enerjisi.....	15
3.2.5 Rüzgar enerjisi Gücü.....	16
3.3 Evirici Sistemler	20

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3.1 DC-DC dönüşüm sistemleri.....	20
3.3.2 Gerilim düşürücü (buck) dönüştürücü.....	22
3.3.3 DC-AC dönüşüm sistemleri	27
3.3.4 Darbe genişlik modülasyonu (PWM).....	28
3.3.5 Eviricilerde PWM tekniği.....	29
3.4 Hibrid Enerji Sistemi ve Eviricinin Simulasyonu	29
3.4.1 Bir güneş pilinin matlab simulinkte modellenmesi.....	30
3.4.2 Bir rüzgar türbininin matlab simulinkte modellenmesi.....	30
3.4.3 Hibrid enerji sisteminin matlab simulinkte modellenmesi.....	32
3.4.4 DC-AC eviricinin matlab simulink modeli.....	33
3.5 Deneysel Uygulama	34
3.5.1 Bipolar gerilim anahtarlama.....	36
3.5.2 Sistemin tanıtımı.....	37
3.6 Güç Devresi	40
3.6.1 Mikrodenetleyici ve güç devrelerinin yalıtımı	40
3.6.2 MOSFET sürücü devresi.....	41
3.6.3 H-Köprü devresi.....	42

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.6.4 LC çıkış filtresinin tasarlanması.....	43
3.6.5 Sıcaklık ölçüm devresi.....	46
3.6.6 Devrede akım ve gerilimlerin ölçülmesi.....	47
3.6.7 Eviriciye LCD bağlanması.....	52
3.7 Yazılım	54
3.7.1 SPWM sinyallerinin üretilmesi.....	54
3.7.2 SPWM sinyalinin elde edilmesi için geliştirilen algoritma.....	55
3.7.3 Ölçme ve denetim algoritması	57
3.7.4 Gerilimin oransal integral (PI) denetimi.....	60
3.7.5 Toplam harmonik distorsiyonu (THD).....	60
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	62
4.1 Simulasyon Sonuçları	62
4.2 Deneysel Sonuçlar	65
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Türkiye Güneş Enerjisi Haritası	4
2.2 Türkiye Rüzgar Enerjisi Haritası.....	4
3.1 Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitü'sünde kurulu hibrid enerji sistemi.....	10
3.2 Bir p-n jonksiyonu.....	11
3.3 Bir güneş pili eşdeğer devresi.....	11
3.4 Bir güneş pilinin akım-gerilim grafiği.....	12
3.5 Bir güneş pilinde MPP Noktası.....	13
3.6 Dört ve gözlemle metodu.....	15
3.7 Rüzgar enerjisi dönüştürücüsünden geçen havanın enerji hareketi.....	17
3.8 Rüzgar türbini güç hız eğrisi.....	21
3.9 Gerilim düşürücü dönüştürücü.....	22
3.10 S anahtarı kapalı iken Buck dönüştürücü.....	23
3.11 S anahtarı açık iken Buck dönüştürücü.....	23
3.12 Sürekli iletim CCM modunda dalga şekilleri.....	24
3.13 Kesintili iletim DCM modunda dalga şekilleri.....	24
3.14 PWM işareti.....	28

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.15 Bir güneş pilinin Matlab Simulink modeli.....	30
3.16 Bir rüzgar türbininin Matlab Simulink modeli.....	32
3.17 Hibrid enerji sistemin Matlab Simulink modeli.....	33
3.18 Tam köprü evirici devresinin Matlab Simulink modeli.....	34
3.19 Çıkışına LC filtre bağlanmış bir evirici devresinin Matlab Simulink modeli.....	34
3.20 Donanım akış şeması.....	35
3.21 Bipolar PWM gerilim anahtarlama.....	36
3.22 Evirici sistem blok şeması.....	37
3.23 PIC32 MCU Modülü.....	39
3.24 dsPIC795F512L mikrodnetleyicisinin blok diyagramı.....	40
3.25 Optik iletici devresi.....	41
3.26 Kapı sürücü devre	42
3.27 Tam köprü evirici topolojisi	43
3.28 DC-AC Evirici çıkış süzgeci.....	44
3.29 Doğrusal olmayan yük için eşdeğer devre.....	45
3.30 Sıcaklık ölçüm devresi	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.31 Bakır yolun birkaç turla kuvvetlendirilerek akım transdüserinin altından geçirilmesi.....	47
3.32 DC akım ölçme devresi	48
3.33 AC akım ölçme devresi	49
3.34 DC gerilim okuma devresi.....	49
3.35 LCD devresi	53
3.36 SPWM modüleli dalga şekillerinin elde edilmesi	55
3.37 Kapı sürme işaretlerinin elde edilmesi mantığı ve eviricinin çıkış işareti....	56
3.38 Algoritma ile elde edilen katsayılar yardımıyla çizilen eğri.....	57
3.39 Evirici denetim programı akış diyagramı	58
4.1 PV sistemin simulasyon sonuçları. a) güneş ışığı şiddeti b) pv panel çıkış gücü c) pv panel çıkış akımı d) pv çıkış gerilimi e) batarya şarj olma yüzdesi f) batarya akımı g) batarya şarj gerilimi.....	63
4.2 Rüzgar türbini simulasyon sonuçları a) batarya şarj olma yüzdesi b) batarya akımı c) batarya şarj gerilimi.....	63
4.3 Matlab Simulink modeli ile elde edilen SPWM modüleli anahtarlama darbeleri.....	64
4.4 LC filtre bağlı evirici çıkışındaki akım ve gerilim dalga şekilleri.....	64

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.5 DSP tabanlı mikrodnetleyicinin çıkışlarında elde edilen SPWM	
Sinyalleri CH1 RD0 [2V/div], [2,5ms T/div] CH2 RD1 [2V/div],	
[2,5ms T/div]	65
4.6 Optik iletici çıkışındaki PWM işaretleri CH1 RD0 [2V/div], [2,5ms T/div]	
CH2 RD1 [2V/div], [2,5ms T/div]	66
4.7 Kapı sürücü çıkışlarında elde edilen PWM0 ve PWM1 işaretleri CH1 PWM0	
[10V/div], [5ms T/div] CH2 PWM1 [10V/div], [5ms T/div]	67
4.8 DSP Tabanlı mikrodnetleyiciye uygulanan interrupt darbeleri CH1	
[2V/div],[10ms T/div]	67
4.9 LC filtre devresi çıkışında elde edilen işaretler CH1 Vout [50V/div],	
[10ms T/div]	68
4.10 Şebeke gerilimi ile inverter geriliminin karşılaştırılması CH1 Vgrid	
[50V/div],[10ms T/div], CH2 Vout [50V/div],[10ms T/div]	69
4.11 Evirici verimi.....	70
4.12 Evirici çıkış akımı.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 OST-80 Güneş panelinin parametreleri.....	15
3.2 Maksimum Harmonik Akım Distorsiyonu (IEEE 1547).....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	İdeal faktörü
A_1	Pervane önündeki havanın kesit alanı
A_2	Pervane arkasındaki havanın kesit alanı
B	Manyetik akı yoğunluğu
C	Kondansatör değeri
c_p	Güç faktörü
C_p	Güç faktörü
D	Diyot
E	Havanın kinetik enerjisi
f	Anahtarlama frekansı
f_1	Temel frekans
f_s	Üçgen dalganın frekansı
F	İtme kuvveti
G	Işınım
G_{ref}	Referans ışınımı
H_n	Transfer fonksiyonu
i_c	Kondansatör akımı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
i_L	Bobin akımı
i_O	Çıkış akımı
I_D	Diyot akımı
I_L	Işık akımı
$I_{L,ref}$	Referans akımı
I_{MP}	Maksimum güç noktasındaki akım
I_P	Ölçülen akım
I_{PV}	PV eleman akımı
I_{Rp}	Parelel direnç akımı
I_S	Seri direnç akımı
$I_{S,ref}$	Referans akımı
I_{SC}	PV kısa devre akımı
k	Şekil parametresi
L	Endüktans değeri
m	Kütle
m	Modülasyon indeksi
$\dot{m}$	Kütleli debi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
m_a	Genlik modülasyon oranı
m_f	Frekans modülasyon oranı
μ	Manyetik geçirgenlik
μ_o	Hava boşluğundaki geçirgenlik
n	Diyot faktörü
ρ	Havanın yoğunluğu
P	Mekanik güç çıkışı
P_{MP}	Maksimum güç noktasındaki güç
P_o	Serbest hava akışı gücü
P_r	Işık gücü
q	Elektron yükü
r	Pervane göbeğinden olan uzaklık
R	Pervane yarıçapı
R_p	Parelel direnç
R_s	Seri direnç
t_{on}	Anahtarlama periyodunun “1” anı
T_c	Hücre sıcaklığı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
T_{ref}	Referans sıcaklığı
$\hat{U}_c$	Taşıyıcı üçgen dalga tepe genliği
$\hat{U}_m$	Modüle eden işaretin tepe genliği
X_c	Kondansatörün reaktansı
X_l	Bobinin reaktansı
v	Rüzgar hızı
v_1	Pervane önündeki rüzgar hızı
v_2	Pervane arkasındaki rüzgar hızı
v_L	Endüktans gerilimi
$\dot{V}$	Hacimsel debi
V_d	Diyot gerilimi
V_{MP}	Maksimum güç noktasındaki gerilim
V_o	Dönüştürücü çıkış gerilimi
V_{OC}	PV açık devre gerilimi
V_{PV}	PV gerilimi
Z_L	Çıkış empedansı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif Akım
ADC	Analog Sayısal Dönüştürücü
ASCII	Amerikan Standart Kodlama Sistemi
BJT	Bipolar Junction Transistor
C	C Programlama dili
CCI	Akım Kontrollü Evirici
CCM	Sürekli İletim Modu
CPU	Merkezi işlem birimi
CSI	Akım Kaynaklı Evirici
DC	Doğru Akım
DCM	Kesintili İletim Modu
DMA	Doğrudan belleğe erişim
DSP	Sayısal Sinyal İşleme
dsPIC	Sayısal Sinyal İşleyici
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
EÜGEE	Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü
FPGA	Alan Programlanabilir Kapı Dizileri
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
IEEE	Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistör
INT	İnterrupt
I/O	Parelel giriş çıkış birimi
JTAG	Joint Test Action Group
LC	Bobin kondansatör
LCD	Likid kristal ekran
MOSFET	Metal Oksit Yarıiletken Fet
MPP	Maksimum Güç Noktası
MPPT	Maksimum Güç Noktası İzleme
PCB	Baskılı devre
PI	Oransal İntegral
PMP	Parelel Master Port
PN	PN jonksiyonu

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
P&O	Dürt ve Gözlemle
PV	Fotovoltaik
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
RAM	Rastgele erişimli bellek
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
SCR	Tristör
SPICE	Devre Simulasyon Programı
SPWM	Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonu
THD	Toplam Harmonik Distorsiyonu
TTL	Transistor transistor logic
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UPS	Kesintisiz Güç Kaynağı
VCI	Gerilim Kontrollü Evirici
VSI	Gerilim Kaynaklı Evirici

1 GİRİŞ

Bu tez çalışmasında, istenen genlik ve frekansta bir AC gerilim çıkışı üreten, tek fazlı evirici tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Devre girişindeki enerji, hibrid enerji sistemi tarafından sağlanmaktadır. Çıkış geriliminin genliğini ve frekansını kontrol etmek için, bipolar PWM tekniği kullanılmıştır. Eviricinin tasarımında DSP tabanlı dsPIC32MX795F512L mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.

Hibrid güç sistemi ve DC-DC dönüştürücüler, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde kurulu bulunduğundan, bu sistemlerin Matlab Simulink'te simule edilmesi tercih edilmiştir. Bundan dolayı, şarj regülatörleri ve akü sistemi tasarımı yapılmamıştır. Ayrıca, fotovoltaiik sistemin MPPT algoritma kontrolü simule edilmiştir.

Günümüzde, düşük güç tüketimi ve gürültüye karşı başarımları nedeni ile pek çok ilginç sayısal kontrol metodları geliştirilmiştir. Bu sayısal kontrol sistemleri oldukça karmaşık kontrol şemaları içermesine rağmen, ara birim devreleri oldukça basittir. Sayısal kontrol sistemlerinin pek çok avantajları yanında, tasarım esnekliği sağlarlar, oldukça hassas çalışırlar. Bu yüzden, günümüzde, elektronik endüstrisi ve araştırmacılar, güç çevirim sistemlerinin sayısal kontrolü için yeni mikrodenetleyiciler tasarlamak için çalışmaktadırlar (Hassaine vd., 2007).

dsPIC tasarım yöntemi ile, farklı teknolojiler ve farklı uygulamalar için komut setleri kolaylıkla adapte edilebilmektedir. Bu da hızlı bir şekilde pazara çıkmağa olanak sağlamaktadır (Aphiratsakun vd., 2005).

Geniş ölçekli mikrodenetleyici teknolojisindeki son gelişmeler, güç elektroniği devrelerini tasarlamada son derece etkili olmuştur. Mikroişlemci, mikrodenetleyici ve sayısal veri işleme (DSP) tabanlı güç elektroniği kontrol sistemleri hızla artmıştır. Bu gelişmiş entegre devrelerin kullanımı, sistem performansını arttırmıştır. DSP tabanlı sistemlerin kullanımının en büyük avantajı, tüm sistemin tasarımında, esneklik sağlamalarıdır.

Hibrid enerji sistemleri veya bir başka deyişle, dağıtılmış güç sistemleri, evlerin güç ihtiyacının karşılanmasında, kırsal alandaki köylerin elektrifikasyonunda gerekli elektriksel gücü sağlayabilirler. Hibrid enerji

sistemleri ile elektrik gücü üretimi güvenilir, bakım ve işletmeleri kolay ve ucuzdur. Hibrid enerji sistemleri sessiz çalışırlar ve atmosferi kirletmezler. Bu sistemlerin ayrıca, dünyada diğer elektrik kaynaklarının kullanışlı olmadığı kırsal alanlarda önemli ekonomik ve sosyal faydaları vardır. Hibrid enerji sistemlerinin en önemli dezavantajı, ilk kurulum maliyetlerinin oldukça yüksek oluşudur (Khaled ve Abozaed, 2010).

Bu çalışmada, DSP tabanlı bir mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen, hem şebekeye bağlı, hem de şebekeden bağımsız çalışabilen, bir gerilim kaynaklı tek fazlı tam köprü evirici içeren bir hibrid enerji sistemi veya diğer bir deyişle dağıtılmış güç sistemi tanıtılmıştır.

2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

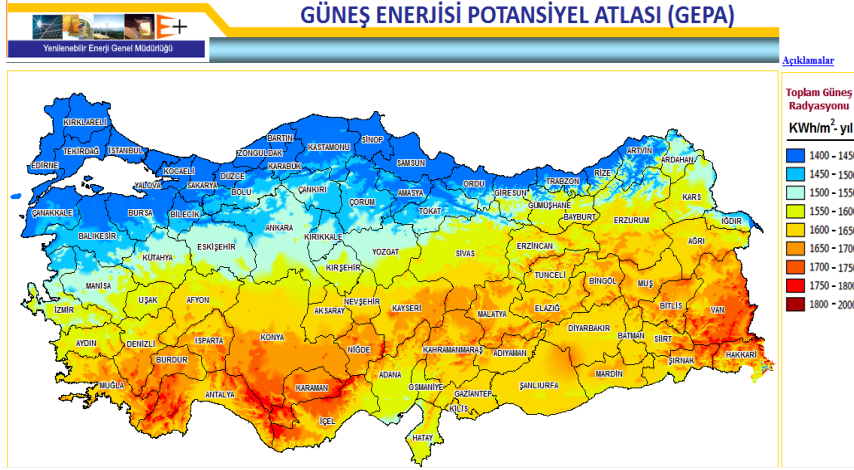
Birincil enerji kaynağı olan güneş; kömür, petrol, biyokütle ve rüzgar vb. gibi birçok enerji kaynağının temelini oluşturur. Yeryüzüne gelen güneş ışığı, güneş enerji teknolojileri sayesinde birçok şekilde kullanılmaktadır. Güneş enerjisi, en genel olarak ısı dönüşüm ve elektrik enerjisine dönüşüm şeklinde kullanılır. Tüm bunların yanında yakın gelecekte fosil kaynaklı enerjilerde arz sıkıntısının ortaya çıkacak olması, kaynak azalmasına bağlı olarak fiyat artışı da, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu kılmaktadır (Yağcıtekin vd., 2010).

Fotovoltaik elemanlar, şebekeden bağımsız olarak çalışabileceği gibi, şebekeye bağlı olarak da çalışabilmektedir. Çatıya kurulu güneş pili sistemleri, konutlarda enerji ihtiyacını karşılayabilmektedir. Kullanım fazlası artan enerji, şebekeye verilmektedir. Mevcut şebekeye bağlı güneş PV sistemleri, Japonya, Almanya ve ABD’de yaygındır. Bu ülkelerde 2004 yılı itibariyle 400,000 konut çatı üstü güneş PV sistemi ile mevcut kullanımı desteklemektedirler. (Chang vd., 2007; Kim ve Kim, 2008; Zong, 2011).

Bir başka çalışmada, PV paneller şebekeden bağımsız olarak çalıştırılmıştır. Sistemde, MPPT kontrol yapılmış ve sistem çıkışında DC ve AC yükler sürülmüştür (İlango vd., 2010). Benzer bir çalışmada ise, sadece AC yükler sürülmüştür (Yuvarajan vd., 2004). Pek çok çalışmada, fotovoltaik dizilerin ve güneş pillerinin, simulasyon çalışmaları yapılmış ve sonuçlar sunulmuştur (Longatt, 2005).

Türkiye Güneş Enerjisi Atlası incelendiğinde, ülkemizdeki en düşük güneş ışınımına sahip olan kuzey bölgelerde m^2 ’ye düşen yıllık ışınım miktarı 1450kW olarak görülmektedir. Bu yüzden ülkemiz, güneş enerjisi açısından oldukça iyi bir konumdadır. (Karaca, 2010). Aşağıda, Şekil 2.1’de Türkiye Güneş Enerjisi Atlası (GEPA) görülmektedir.

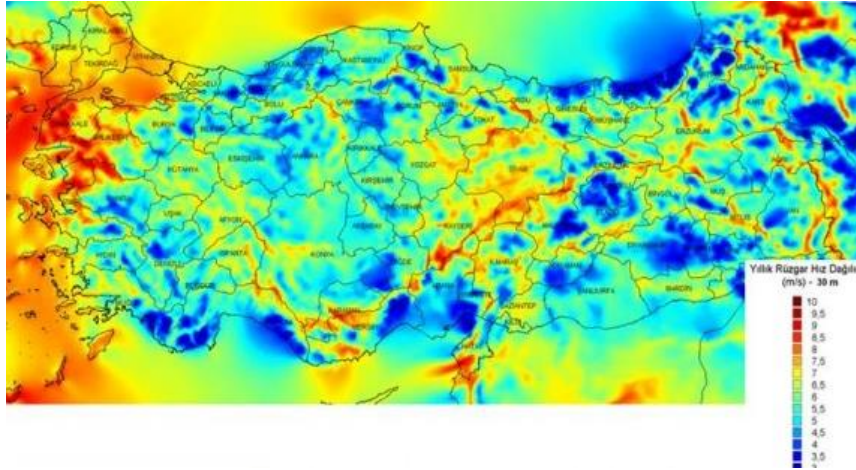
Türkiye’nin, bazı bölgelerinin rüzgar enerjisi potansiyeli, değişik araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Eskin vd. (2008), yaptıkları çalışmada, Kuzey Ege Deniz’inde bulunan Gökçeada’nın rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemişlerdir. Rüzgar verilerini, üç farklı meteoroloji istasyonundan elde etmişlerdir. Rüzgar hızlarını, 10m ve 30m yüksekliklerde ölçmüşlerdir.



Şekil 2.1 Türkiye Güneş Enerjisi Haritası

Ayrıca, iki parametrelili, Weibull dağılım fonksiyonunu kullanarak, aylık ve yıllık olarak, k ve c parametrelerini hesaplamışlardır. Bundan başka, Gökçeada'nın yıllık rüzgar hızı dağılımını, Weibull olasılık dağılım fonksiyonu kullanarak hesaplamışlardır.

Bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek için Weibull veya Rayleigh dağılımları kullanılabilir. Şekil 2.2'de, Türkiye'nin 30m yükseklikte yıllık ortalama Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) görülmektedir.



Şekil 2.2 Türkiye Rüzgar Enerjisi Haritası

İki farklı enerji kaynağının, birbirini tamamlamasıyla oluşan sistemler hibrid güç sistemleri veya dağıtılmış güç sistemleri olarak adlandırılır. Rüzgar ve Güneş enerjilerini birlikte kullanan sistemler, bu tür sistemlerin en güzel örneklerindendir. Rüzgar ve Güneş, gün içinde çeşitlilik gösteren ve bir

anlamda birbirini tamamlayan enerji kaynaklarıdır. Hibrid enerji sistemleri, birden fazla enerji kaynağı kullanılarak oluşturulan sistemlerdir. Özellikle, şebeke elektriğine uzak yerleşim yerlerinde kurulan bu sistemler, kritik uygulamalarda tek enerji kaynağına olan bağımlılığı ortadan kaldırmak için uygulanmaktadır.

Yapılan bir çalışmada, rüzgar türbini, yakıt hücresi ve güneş pilinden oluşan bir hibrid enerji sistemi için, bir DC-AC evirici tasarlanmıştır. Sistem bir gerilim yükseltici dönüştürücü içeren şarj regülatörü ve bir H-köprü evirici devresinden oluşmaktadır. Evirici çıkışında, 1 KVa güç elde edilmiştir. Sistem, şebekeden bağımsız olarak çalışmakta ve bir gerilim kaynaklı evirici içermektedir (Bascope vd., 2013). Bu tez çalışmasında olduğu gibi, rüzgar türbini ve fotovoltaik panellerden oluşan hibrid sistemler, uygulamalarda çok sık kullanılmaktadır. AD UC812 mikrodeneleyici kullanarak yapılan bir çalışmada, MPPT kontrolü yapılmıştır ve sistem şebekeden bağımsız olarak çalıştırılmıştır (Thiaux vd., 2010). Rüzgar türbini ve fotovoltaik panelden oluşan bir hibrid enerji sisteminde, rüzgar ve güneş pili için ayrı ayrı MPPT kontrol yapılabilir. Bir DC-DC dönüştürücü kullanılarak, akü grupları şarj edilebileceği gibi, doğrudan dc yükler de beslenebilir (Dali vd., 2009). Hibrid sistemler için, 10Kw gücünde, TMS320 2407A mikrodeneleyicisi kullanılarak, akım tahmini kontrol yöntemini kullanarak, şebeke bağlantılı bir evirici tasarlanmış ve bu çalışmada ayrıca, ölü zaman kontrolü de yapılmıştır (Yu, 2004). Bir diğer araştırma çalışmasında, 7kW gücünde, şebeke bağlantılı, tek fazlı evirici gerçekleştirilmiştir. Sistem, rüzgar türbini ve fotovoltaik panelden oluşan bir hibrid güç sistemidir (Dong, 2009).

Şebekeye bağlı hibrid güç sistemlerinde, hibrid sistem dc gerilimi, bir DC-DC dönüştürücü devresi yardımıyla, bir dc gerilime çevrilmektedir. Bu gerilim daha sonra, bir evirici yardımıyla, sinüsoidal dalga şekline çevrilerek, şebekeye verilmektedir. Dört adet MOSFET'ten oluşan köprü evirici devresi doğru akımı, şebeke frekansında (50Hz) gerilime çevirmektedir (Keyhani, 2010; Kang vd., 2005). Bazı araştırmacılar uygulamalarında, eviriciyi tasarlamak yerine, sadece Matlab Simulink'te simüle etme yöntemini tercih etmişlerdir. Bir çalışmada, 2 kVA çıkış gücünde bir evirici simüle edilmiştir (Trigg ve Nayar, 2009). Bir başka çalışmada, tek fazlı eviricinin kontrolü, ADMC 401 DSP tabanlı bir mikrodeneleyici kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Evirici tasarımında DSP kullanımının, evirici performansını arttırdığı tespit edilmiştir (Mihalache ve Chis, 2009). Fotovoltaik modüllerin çıkışına bir

evirici tasarlayarak, sistemin şebekeye paralel çalıştırılması günümüzde oldukça popülerdir. Kjaer vd. (2005), yaptıkları çalışmada farklı evirici topolojilerini de incelemişlerdir.

Günümüzde bazı evirici kontrol devreleri, FPGA kullanılarak da tasarlanmaktadır. Bir uygulamada, XC4005E tabanlı bir FPGA ve dsPIC30F2010 mikrodnetleyici ile bir evirici kontrol edilmiştir. Adalama olayı esnasında, FPGA'nin mikrodnetleyiciden daha hızlı cevap verdiği bulunmuştur. Buna karşın, FPGA ile tasarımın, mikrodnetleyiciye göre daha pahalı ve daha karmaşık olduğu gösterilmiştir (Tunlasakun vd., 2007). Birçok evirici çeşidi bulunmakla birlikte, bunlar farklı prensiplerle çalışmaktadırlar. Şebeke bağlantılı eviriciler, gerilim kaynaklı eviriciler (VSI) ve akım kaynaklı eviriciler (CSI) olarak ikiye ayrılmaktadır. Her iki evirici türü de iki alt gruba ayrılmaktadır; gerilim kontrollü evirici (VCI) ve akım kontrollü evirici (CCI). Gerilim kaynaklı eviricilerde; dc girişe paralel bir giriş kondansatörü bulunmaktadır. Buna karşın, akım kaynaklı eviricilerde dc girişte seri bir endüktans bulunmaktadır (Draghiciu ve Albu, 2004). Son yıllarda pek çok evirici uygulamasında DSP tabanlı mikrodnetleyiciler kullanılmaktadır. Değişik firmalar tarafından üretilen DSP tabanlı mikrodnetleyiciler, evirici sistemin beynini oluşturmaktadır. Prasad ve Nagaraj, (2008), çalışmalarında TMS320LF DSP 2407A mikrodnetleyicisi kullanarak, bir AC güç kontrol devresi tasarlamıştır. AC gücü kontrol etmek için, Sinüsoidal PWM tekniği kullanmışlardır. Ismail vd. (2009), çalışmalarında ATMEL tabanlı bir AT89C2051 mikrodnetleyici kullanarak, tek-fazlı evirici için, bir kontrol devresi geliştirmiştir. Geliştirilen konfigürasyon sayesinde, SPWM sinyalleri elde edilmiştir. Atmel tabanlı mikroişlemci, eviriciyi kontrol etmekte gerekli olan SPWM anahtarlama sinyallerini üretmek için gerekli, tüm komut setini içermektedir. Diğer bir çalışmada, istenen genlik ve frekansta bir ac-gerilim çıkışı üreten tek-fazlı evirici tasarımı ve uygulaması anlatılmıştır. Bir köprü diyot doğrultucu, ac-şebeke gerilimini doğrultmak için kullanılmıştır. Çıkış geriliminin genliği ve frekansını kontrol etmek için Unipolar PWM tekniği kullanılmıştır. Eviricinin tasarımında, DSP TMS320F241 mikrodnetleyicisi kullanılmıştır (Aphiratsakun vd., 2005). Çalışma sonucunda, laboratuvar tipi, DSP mikrodnetleyici tabanlı bir unipolar tek fazlı evirici, başarıyla tasarlanmış ve test edilmiştir. Deneysel bulgular, simulasyon sonuçları ile uyumaktadır. Bir başka çalışmada, DSP56800E mikrodnetleyicisi kullanılarak, istenen genlik ve frekansta, bir AC çıkış gerilimi üreten, bir tek fazlı evirici uygulamasından bahsedilmiştir. Çalışma sonucunda, tek fazlı

laboratuvar tipi bir evirici modeli tasarlanmış ve başarıyla test edilmiştir. Unipolar kontrol yapılan evirici, bazı ufak değişiklikler ile üç fazlı evirici modeline de uygulanabilmektedir (Hapal, 2010). Tumay vd., (2009), benzer bir tasarımı TMS320F2812DSP bordu kullanarak yapmışlardır. DSP tabanlı mikrodnetleyici tarafından dört tane değişken sürekli ölçülmektedir ve bu değişkenler; hibrid sistem gerilimi, hibrid sistem akımı, çıkış akımı ve şebeke gerilimidir. DSP tabanlı mikrodnetleyici, eviriciyi daima maksimum güç noktasında çalışacak şekilde hibrid enerji sistemini izler. Maksimum güç noktasında mikrodnetleyici, üretilecek maksimum akımı hesaplar ve bu akım değerini üretir. Sonuçta; evirici çıkış akımı şebeke akımı ile aynı frekansta ve fazda olup, hibrid güç sisteminin sağladığı maksimum çıkışı sağlayabilmektedir. Ayrıca mikrodnetleyici, şebeke gerilimi kesildiğinde veya çıkış akımı frekansı 50Hz'i aştığında çıkışlarını kesmektedir. Geleneksel analog yöntemlerle karşılaştırıldığında, 32-bit DSP işlemcilerle kontrol edilen dc-ac eviriciler, devrenin boyutlarını azaltmakta, evirici verimini arttırmakta ve evirici çıkışında toplam harmonik distorsiyonunu azaltmaktadır. dsPIC tabanlı mikrodnetleyici, eviriciyi kontrol etmek için kullanılan anahtarlama sinyallerini üretmek için gerekli komutları barındırmaktadır. SPWM modülasyon tekniği, evirici çıkışlarında on-off şeklinde gerilim sinyalleri elde etmek için, güç elektroniğinde geniş olarak kullanılan bir modülasyon tekniğidir. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) tekniğine göre çalışan eviriciler, devrelerinin basitliği yüzünden son yıllarda güç elektroniğinde çok fazla tercih edilmektedirler. SPWM anahtarlama tekniği, güç elektroniği uygulamalarında geniş bir biçimde kullanılmaktadır. SPWM tekniği, her periyotta sabit genlikteki işaretin, farklı işaret boşluk oranlarının elde edilmesi yöntemidir. İşaretin genişliği, çıkışta harmonik distorsiyonunu azaltmak için ve evirici çıkış genliğini kontrol etmek için modüle edilir. SPWM tekniği, evirici uygulamalarında ve motor kontrol devrelerinde geniş biçimde kullanılır (Salam ve Salim, 2001; Yinfu vd., 1999; Isa vd., 2007).

Qazalbash vd., (2009) çalışmalarında, PIC18F877 mikrodnetleyici kullanarak, harmonikleri azaltılmış, bir sinüs dalgası üretim tekniğinden bahsetmişlerdir. Bu teknik ile, çıkışında sinüs üreten bir gerilim kaynaklı, verimli bir evirici tasarlamışlardır. Tasarlanan devrenin, matematiksel modeli, Matlab Simulink'te simule edilmiştir. SPWM kontrol tekniği DC-AC eviricileri tasarlamada çok sık kullanılmaktadır. Bu teknik ayrıca, evirici çıkışında THD'yi azaltmak için gerekli olan çıkış filtresini tasarlamada kolaylık sağlamaktadır (Chang ve Wu, 2010). Bazı çalışmalarda, eviriciyi

kontrol etmek için, SPWM tekniği kullanımı tercih edilmiştir. Tasarlanan sistemler, Matlab Simulink'te simule edildiği gibi, sonuçları elde etmek için bulanık mantık yönteminde kullanmışlardır (Sun, 2003). Tam sinüs eviriciler, UPS, indüksiyon ısıtma, elektrikli araçların beslenmesi gibi pek çok endüstriyel ve ticari uygulamalarda kullanılmaktadır. Tam sinüs evirici devresi, tam köprü doğrultucu devresi, trafo, çıkış filtresi ve gerilim regülasyonu için bir geri besleme devresinden oluşmaktadır. PWM işaretlerini üretmek için pek çok yöntem vardır. Bunlardan en çok kullanılanı ve analog bir yöntem olan, bir üçgen dalgayı, bir sinüs dalga ile karşılaştırmaktır. Literatürde, eviricileri kontrol etmek için, analog kontrol yöntemini kullanan çalışmalara da rastlanmaktadır. Bu kontrol metodunda, SPWM yöntemi tercih edilmektedir. Genelde, yüksek verimli, THD'si düşük, 200W civarında, laboratuvar tipi tek fazlı eviriciler tasarlanmaktadır(Koutroulis vd., 2001). Bu yazarlar ayrıca, eviricilerini SPICE'da simule etmişlerdir. Uygulamalarda genelde, SPWM tekniği kullanılarak, DC güç kaynaklarından AC güç elde edilmektedir. SPWM tekniği, yük üzerindeki toplam harmonik distorsiyonunu azaltmaktadır. Araştırmacılar, Altera DE2 bordu kullanarak, tek fazlı gerilim kaynaklı bir eviriciyi kontrol etmişlerdir. Uygulayıcılar, bu bordu kullanarak, SPWM işaretleri üretme ve bir eviriciyi kontrol etmenin oldukça esnek ve güvenilir olduğu sonucuna varmışlardır (Abubakar vd., 2009).

Şebekeye uzak olmayan yerlerde kurulu alternatif enerji üretim sistemlerinin güvenilirliği, şebekeye bağlanarak da arttırılabilmektedir. Güneş ve rüzgardan elde edilen enerjinin yeterli olmadığı zamanlarda, sistem enerji gereksinimini şebekeden karşılamakta, bazı uygulamalarda üretilen fazla enerji de şebekeye verilebilmektedir. (Ulu vd., 2009; Ferreira vd., 2003).

3 GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Hibrid Enerji Sistemleri

Son yıllarda petrol fiyatlarının yükselmesi neticesinde, hibrid yenilenebilir enerji sistemleri, özellikle enterkonnekte şebekenin gitmediği uzak kırsal kesimlerde kullanımı oldukça popüler hale gelmiştir. Bu teknolojilerdeki ekonomik gelişmeler özellikle gelişmekte olan ülkelerde artan enerji üretimi ihtiyacına cevap verebilecek durumdadır. Rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları teknolojilerindeki araştırma ve geliştirme faaliyetleri sayesinde, bu teknolojilerin konvansiyonel enerji kaynaklarına olan entegrasyonu hızla gelişmektedir. Günümüzdeki eğilim, fotovoltaik sistemler (PV) ile rüzgar türbini sistemlerinin birlikte kullanımı oldukça popülerdir (Deshmukh ve Deshmukh, 2008).

Güneş ve rüzgar enerjisi, tükenmeyen, coğrafi konuma bağlı, çevreyi kirlilemeyen potansiyel bir alternatif enerji kaynağıdır. Fakat güneş ve rüzgar enerjisinin önceden tahmin edilemeyen bir doğası vardır. Şebekeden bağımsız fotovoltaik (PV) ve rüzgar enerjisi sistemleri tüm yıl boyunca istenen düzeyde enerji üretememektedirler. Bu durum başlıca güneşlenme saatlerine, bunların değişken olmasına, ayrıca rüzgar türbinlerinin 3.5-4.5m/s, gibi yüksek devreye girme rüzgar hızlarına bağlıdır. Genel olarak, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisindeki değişimler zamandaki değişimlere uyum sağlamamaktadır. Her iki sistemin ayrı ayrı bağımsız olarak kullanılması sistem güvenilirliğini azaltmaktadır. Hibrid yenilenebilir enerji sistemi terimi, dizel jeneratörler gibi bir tek enerji sisteminden daha ziyade, fotovoltaik (PV), rüzgar veya fotovoltaik ve rüzgarın birlikte kullanıldığı enerji sistemlerini tanımlamaktadır. Yerleşim merkezlerinden uzaktaki kırsal alanlarda, hibrid yenilenebilir enerji sistemleri oldukça etkili, ucuz ve güvenilir bir enerji üretim yoludur. Güneş enerjisi ve rüzgar enerjisinin birlikte kullanıldığı hibrid yenilenebilir enerji sistemleri, üretilen enerjinin depolanması sorununu en aza indirmektedir.

Hibrid yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımı, aynı zamanda her bir yenilenebilir enerji sisteminin performansına bağlıdır. Bir başka deyişle, hibrid yenilenebilir enerji sisteminin performansını tahmin edebilmek için, her bir bileşenin modellenmesi ve bunların birlikte çalışan modelinin güvenilir olması gerekir. Eğer her bir bileşenin modellerindeki çıkış güçleri yeterince hassas ise, hibrid yenilenebilir enerji sisteminin de çıkış gücü güvenilir olacaktır. Bu tez

alışmasında fotovoltaiik ve rüzgar enerjisinden oluşan hibrid yenilenebilir enerji sisteminin modeli geliştirilmiş olup, hibrid enerji sistemi için geliştirilen modelin Matlab Simulink modeli oluşturulmuştur.

Güneş fotovoltaiik panelleri ve küçük rüzgar türbinleri, atmosferik şartlara bağılı olarak çalışırlar ve elektrik enerjisi üretirler. Bu sistemler tek başlarına çalıştıklarında oldukça verimsiz sistemlerdir. Ancak, birlikte kullanılmaları durumunda güneş ve rüzgar, oldukça etkili elektrik enerjisi üretim kaynaklarıdır. Güneş ve rüzgar enerjisinin birlikte kullanıldığı bu tip sistemlere, hibrid sistemler veya dağıtılmış güç sistemleri adı verilir. Şekil 3.1’de rüzgar türbini ve fotovoltaiik panellerin birlikte kullanıldığı bir hibrid sistem görölmektedir.



Şekil 3.1 Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitü’sünde kurulu hibrid enerji sistemi

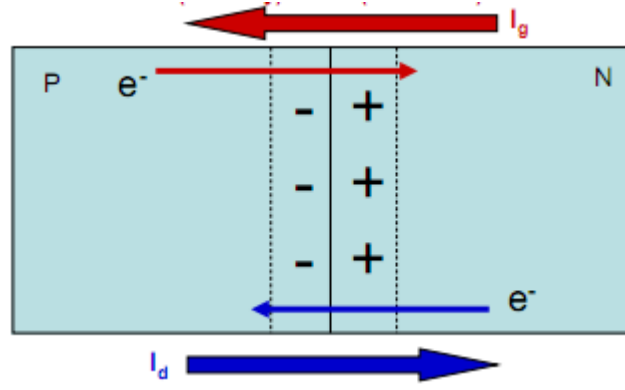
Bu tip hibrid enerji sistemleri, şebekeden bağımsız çalışabileceğı gibi, şebekeye paralel olarak da çalışabilir. Hibrid sistemler, bazı zamanlarda enerji üretemeyebilirler. EÜGEE’nde güneş panelleri ve rüzgar türbinlerinden oluşan bir hibrid sistem bulunmaktadır. Bu sistemin çıkışları, güç kontrolü ile optimize edilmektedir. Sistemde üretilen enerji bir akü grubunda depo edilmektedir.

3.2 Güneş Enerjisi

1980'li yılların ortalarından itibaren, fotovoltaik pazarında önemli gelişmeler olmuş ve pazarda birkaç kilowat gücünde, şebeke bağlantılı eviriciler yer almıştır. 1990 yılların başında, araştırma programlarının bir neticesi olarak Almanya'da 1000 Çatı Programı başlatılmıştır (Myrzik ve Calais, 2003).

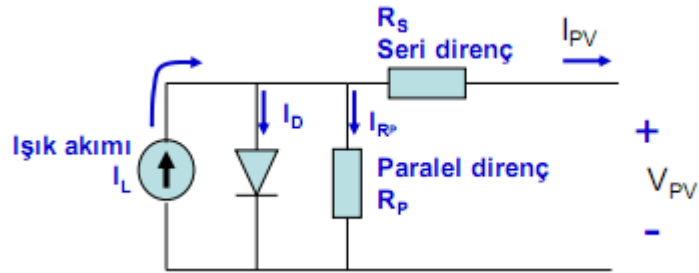
3.2.1 Güneş Pili Hücre Modeli

Şekil 3.2'de görülen bir p-n jonksiyonunda, ışık yoluyla oluşan serbest yük taşıyıcıları akımına, azınlık taşıyıcıları akımı, yük yoğunluğu değişimiyle ortaya çıkan akıma, çoğunluk taşıyıcıları akımı denir (Femia, 2013).



Şekil 3.2 Bir p-n jonksiyonu

Bir güneş pilinin eşdeğer devresi Şekil 3.3'de görülmektedir.



Şekil 3.3 Bir güneş pili eşdeğer devresi

Devrede terminal akımı aşağıdaki bağıntı ile verilebilir;

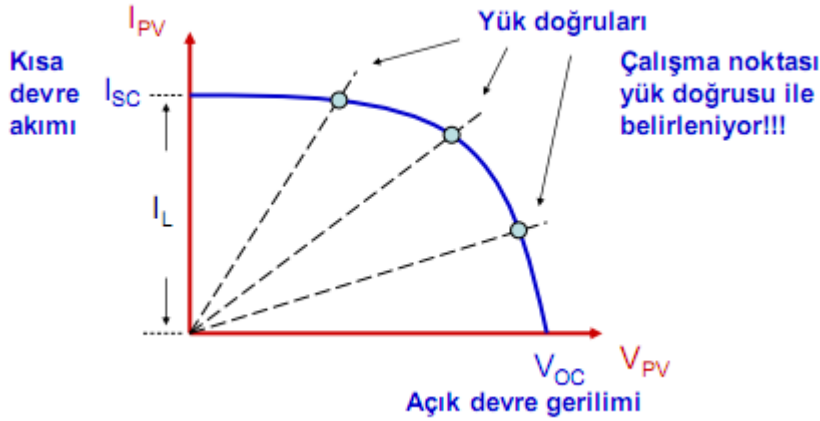
$$I_{PV} = I_L - I_D - I_{R_p} \quad (3.1)$$

Bu eşdeğer devrede güneş pilinin çıkış akımı aşağıdaki denklem ile bulunabilir:

$$I_{PV} = I_L - I_D - I_{RP} = I_L - I_S \left(e^{\frac{e(V_{PV} + I_{PV}R_S)}{kT}} - 1 \right) - \frac{V_{PV} + I_{PV}R_S}{R_p} \quad (3.2)$$

$$I_{PV} = I_L - I_D - I_{RP} = I_L - I_S \left(\exp\left(\frac{q(V_{PV} + I_{PV}R_S)}{nkT}\right) - 1 \right) - \frac{V_{PV} + I_{PV}R_S}{R_p} \quad (3.3)$$

Bir güneş pilinin akım-gerilim grafiği Şekil 3.4'deki gibi verilebilir. Bu akım-gerilim grafiğinden de görüleceği üzere, güneş pilinin çalışma noktası, yük doğrusu ile belirlenmektedir.

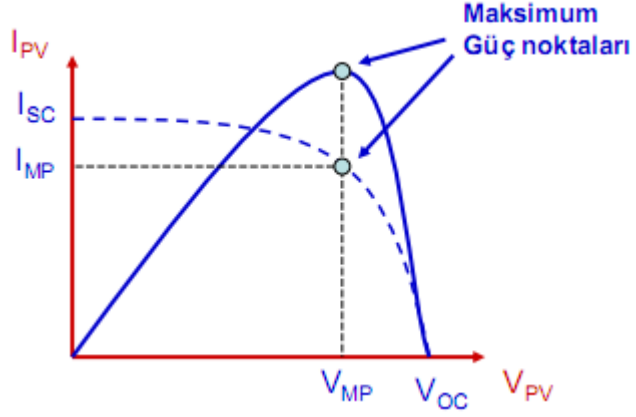


Şekil 3.4 Bir güneş pilinin akım-gerilim grafiği

3.2.2 Maksimum Güç Noktası (MPP)

Bir güneş pilinde en önemli parametrelerden biride MPP, maksimum güç noktasında güneş pilini çalıştırmaktır. Literatürde bir düzineden fazla MPP algoritması bulunmaktadır. Fakat, en çok kullanılan yöntem, P&O kontrol algoritması yöntemidir. Şekil 3.5'de modern bir güneş pili için MPP eğrisi ve noktası görülmektedir.

$$\left. \frac{dP}{dV} \right|_{V=V_m} = 0 \quad (3.4)$$



Şekil 3.5 Bir güneş pilinde MPP Noktası

Güç-gerilim grafiğinde maksimum güç:

$$P_{MP} = I_{PV}(V_{MP}).V_{MP} = I_{MP}V_{MP} \quad (3.5)$$

Şekil 3.3’de görülen güneş pili eşdeğer devresinde, ışık akımı (I_L), saturasyon akımı (I_S), diyot kalite faktörü (n), seri direnç (R_S), paralel direnç (R_P)’dir. Bu durumda güneş pilinin çıkış akımı aşağıdaki denklem ile verilebilir;

$$I_{PV} = I_L - I_D - I_{RP} = I_L - I_S \left(\exp\left(\frac{q(V_{PV} + I_{PV}R_S)}{nkT} - 1\right) - \frac{V_{PV} + I_{PV}R_S}{R_P} \right) \quad (3.6)$$

Şekil 3.3’de verilen bir güneş pilinin eşdeğer devresindeki paralel direnç, parazitik bir dirençtir. Paralel direncin değeri 300 ohm civarındadır. Yine eşdeğer devredeki seri direnç, kontak dirençleridir. Seri direnç 0.3 ohm civarındadır.

Hassas olmayan analizlerde, seri direnç ve paralel direncin etkisi ihmal edilebilir. Bu durumda yukarıdaki güneş pili çıkış akımı denklemi, aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$I_{PV} = I_L - I_S \left(\exp\left(\frac{qV_{PV}}{nkT}\right) - 1 \right) \quad (3.7)$$

Bir güneş pilinin verimine ve ürettiği çıkış gücüne pek çok parametre etki etmektedir. Bu etkiler, ışıının şiddetinin değişmesi ve pilin bulunduğu ortamın sıcaklığıdır.

Bir güneş pilinin akımı, ışıınma ve sıcaklığa çok bağımlıdır ve aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir:

$$I_L = \frac{G}{G_{ref}} [I_{L,ref} + \mu I_{SC} (T - T_{ref})] \quad (3.8)$$

Ayrıca güneş pilinin saturasyon akımında, ışıınma ve sıcaklığa çok bağımlıdır ve aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanabilir:

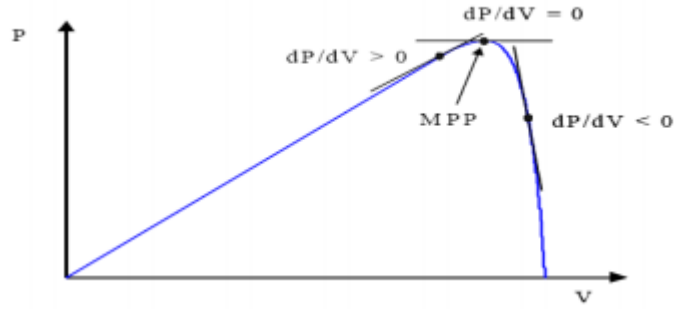
$$I_S = I_{S,ref} \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 \exp \left[\frac{eq}{AK} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (3.9)$$

Bir güneş pili hücresi, fotovoltaiik sistemlerin en temel elemanıdır. Bir güneş hücresinin verimi oldukça düşüktür. Verimi arttırmanın yolu, kaynak ile yükü birbirine uyumlu kılmaktır. Bu yöntemlerden biri, maksimum güç noktası izleme (MPPT) yöntemidir. Bu teknik, kaynaktan maksimum güç elde etmek için kullanılır. Fotovoltaiik sistemlerin V-I karakteristikleri doğrusal olmadığı için, yük üzerindeki gücü belirlemek zor olmaktadır. Bu da ancak, bir MPPT algoritması kullanarak, DC-DC dönüştürücünün işaret-boşluk oranını değiştirerek yapılabilir. Uygulamada pek çok MPPT algoritması mevcuttur. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen simülasyon devresinde, bir Buck tipi (gerilim düşürücü) DC-DC dönüştürücü kullanılmıştır. EÜGEE’nde şarj regülatörleri kurulu bulunmaktadır. Bundan dolayı, tasarım esnasında şarj regülatörlerini tekrar tasarlamaya gerek duyulmamıştır. Ancak fotovoltaiik sistemin Matlab Simulink’te simülasyon gerçekleştirilir iken, dürt ve gözlemle (P&O) algoritması kullanılmıştır. Maksimum güç noktası izleme devresi, bir fotovoltaiik modülden tüm faydalı gücü elde etmek amacıyla kullanılır. MPPT algoritmasının fonksiyonu, bir fotovoltaiik diziyi maksimum verimle çalıştırmaktır.

3.2.3 Dürt ve Gözlemle Kontrol Metodu (P&O)

Uygulamada en çok kullanılan kontrol algoritması, dürt ve gözlemle (P&O) kontrol algoritmasıdır. Bu tez çalışmasında fotovoltaiik sistemin

simülasyonu esnasında dürt ve gözlemle (P&O) algoritması kullanılmıştır. Çünkü, bu kontrol algoritmasını gerçekleştirmek oldukça basittir. Şekil 3.6’da görüldüğü gibi, fotovoltaik dizinin çalışma gerilimi verilen yöndedir ve $dP/dV > 0$ ’dir. Buradan, fotovoltaik dizinin çalışma geriliminin MPP noktasına doğru hareket ettiği anlaşılır.



Şekil 3.6 Dürt ve gözlemle metodu

P&O algoritmasının avantajı, bu kontrol yöntemini gerçekleştirmenin kolay olmasıdır. Bununla birlikte, MPP noktası civarında osilasyonlar, düşük hız cevabı ve hızla değişen atmosferik koşullar gibi, bazı sınırlamalarda mevcuttur.

Bu tez çalışmasında, simülasyonda kullanılan OST-80 tipi güneş panellerinin elektriksel karakteristikleri, aşağıdaki Çizelge 3.1’de görülmektedir.

Çizelge 3.1 OST-80 Güneş panelinin parametreleri ($25^{\circ}C, 1.5AM, 1000W/m^2$)

Parametre	Değer
Açık devre gerilimi, V_{OC}	22 V
Kısa devre akımı, I_{SC}	4,9 A
MPPT akımı, I_{MPPT}	4,5 A
MPPT gerilimi, V_{MPPT}	18 V

3.2.4 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisinden, mekanik ve elektrik dönüşüm olarak yararlanılır. Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinin dönüştürme tekniğinin, başta işletim ve

bakımının kolay olması nedeniyle, diğer enerji kaynaklarından üstünlüğü vardır. (Demirtaş, 2008).

Rüzgar enerjisi, kinetik bir enerjidir. Rüzgar enerjisi, atmosferde bol ve serbest olarak bulunabilen, yoğunluğu az olan bir enerjidir (Burton, 2001). Doğada karaların denize yakın olduğu kıyı kesimleri ve tepeler, yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir. Rüzgar enerjisi, yeryüzü şekilleri gibi faktörlerden etkilendiği için güneş enerjisine nazaran konum itibariyle daha fazla değişmekte ve daha zor tahmin edilebilmektedir (Kurban vd., 2011).

Dünyanın rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek çok zor olmasına rağmen, yapılan bilimsel çalışmalar, doğal rüzgar potansiyelinin sadece %10'nun kullanılmasıyla dünya elektrik enerjisi ihtiyacının tamamının karşılanabileceğini göstermektedir. Atmosfere gelen güneş enerjisinin yaklaşık %1'i, 26000 TWh/yıl'lık bir rüzgar enerjisinin ortaya çıkmasında rol almaktadır. Ekonomik ve diğer nedenlerden dolayı, bu enerjinin 9000 TWh/yıl'lık bölümünün kullanılabilir durumdadır. Bu toplam alanın ancak %4'ünün rüzgar çiftliği olarak kullanılma imkanı olduğu tahmin edilmektedir.

Avrupa'da, Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği'nin 1991 yılında 2000 yılı için hedeflediği 4000MW rüzgar gücü, 2000 yılı sonu itibariyle 13630 MW'a ulaşmıştır. Belirlenen hedefe çok önceden ulaşıldığı için, 1991 yılında 2010 yılı için hedeflenen 25000 MW'lık rüzgar gücü 40000 MW'a çıkarılmış, 2020 yılında ise 100000 MW hedeflenmektedir. Ayrıca, rüzgardan daha fazla yararlanabilmek için, türbinlerin kanat çapları, 30-40m'den 80m'ye çıkarılmıştır. Ticari olarak 2,5MW gücündeki türbinler üretilmektedir. 7,5MW gücündeki prototip çalışmaları da yürütülmektedir. 2008 yılında, E126 devreye girmiştir. Bu rüzgar türbininin kanat çapı 126m olup, 7 MW Enerji üretebilmektedir.

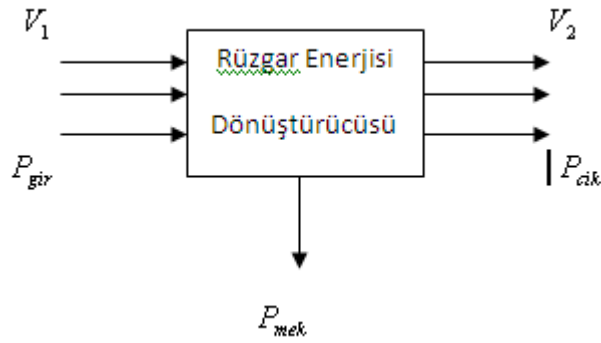
Rüzgar çiftliği kurulacak bir bölgenin, en az bir yıl süre ile rüzgar verilerinin ölçülmesi gerekir.

3.2.5 Rüzgar Enerjisi Gücü

Bir rüzgar türbininin en önemli bileşeni, hareketli havanın kinetik enerjisini mekanik enerjiye çeviren rüzgar enerjisi dönüştürücüsüdür. Hareketli hava akımından mekanik enerjinin çıkarılması, kendi basit kurallarına göre

hareket eden disk şeklindeki dönen rüzgar enerjisi dönüştürücüsü ile yapılır. Bilinen bu prensip, Albert Betz'e atfedilmiştir Bundan başka, optimum güç çekişinin, rüzgar enerji dönüştürücüsünün önündeki havanın akış hızı ve dönüştürücünün arkasındaki akış hızı arasında belirli bir oran ile gerçekleştirilebileceğini bulmuştur (Manwell vd., 2002).

Şekil 3.7'de, bir rüzgar türbini pervanesinden geçen havanın, enerji hareketi görülmektedir.



Şekil 3.7 Rüzgar enerjisi dönüştürücüsünden geçen havanın enerji hareketi

V hızına sahip m kütledeki havanın kinetik enerjisi;

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Akımın geçtiği kesit alanını A olarak kabul ettiğimizde birim zaman diliminde geçen V hacmi;

$$\dot{V} = v.A \quad (3.11)$$

Havanın yoğunluğu ρ , olduğunda kütleli debi;

$$\dot{m} = \rho.v.A \quad (3.12)$$

ile ifade edilmektedir. Hareketli havanın kinetik enerjisini gösteren denklemler ve kütleli debi, birim zamanda geçen enerji miktarıdır. Bu enerji güç olarak (P)'ye eşittir;

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A \quad (3.13)$$

Disk şekilli rüzgar enerjisi dönüştürücüsünün, hava akışından çektiği mekanik enerji, hava akışının dönüştürücüden önceki ve sonraki güç farkına denk gelmektedir ve şu denklem ile ifade edilmektedir;

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_1 \cdot v_1^3 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_2 \cdot v_2^3 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (A_1 \cdot v_1^3 - A_2 \cdot v_2^3) \quad (3.14)$$

Kütleli debinin korunumu (süreklilik denklemi) ise;

$$\rho \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho \cdot v_2 \cdot A_2 \quad (3.15)$$

olmasını gerektirir.

Bu yüzden denklem;

$$P = \frac{1}{2} \rho v_1 A_1 (v_1^2 - v_2^2) \quad (3.16)$$

veya

$$P = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad (3.17)$$

haline gelir. Bu durumda Momentumun Korunumu Kanunu'nu kullanarak, rüzgar enerjisi dönüştürücüsünün üzerine etkiyen hava kuvveti;

$$F = \dot{m} \cdot (v_1 - v_2) \quad (3.18)$$

ile gösterilebilir. İtme kuvveti, v' hava hızında hava kütlesini dönüştürücünün akış düzleminde iter. Bunun için ise gerekli olan güç;

$$P = F \cdot v' = \dot{m} \cdot (v_1 - v_2) \cdot v' \quad (3.19)$$

denklemleri ile verilir. Bu iki ifade için denklik yazıldığında akış hızı v' ;

$$\frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot (v_1^2 - v_2^2) = \dot{m} \cdot (v_1 - v_2) v' \quad (3.20)$$

$$v' = \frac{1}{2} \cdot (v_1 + v_2) \quad (3.21)$$

olarak elde edilir. Bu yüzden dönüştürücüden geçen akış hızı, v_1 ve v_2 'nin aritmetik ortalamasına eşittir.

$$v' = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (3.22)$$

Bu sayede kütleli debi;

$$\dot{m} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1 + v_2) \quad (3.23)$$

Dönüştürücünün mekanik güç çıkışı ise;

$$P = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2) \quad (3.24)$$

olarak ifade edilebilir. Bu güç çıkışı için bir referans sağlanmasında mekanik güç çekilmeden aynı kesit alanından (A) geçen serbest hava akışının gücüyle kıyaslanmıştır. Bu güç;

$$P_O = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^3 \cdot A \quad (3.25)$$

Dönüştürücü tarafından çekilen mekanik güç ve bozucu girişin olmadığı hava akışı arasındaki oran güç katsayısı c_p olarak adlandırılmaktadır ve

$$c_p = \frac{P}{P_O} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2)}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3} \quad (3.26)$$

denklemini ile ifade edilmektedir. Yukarıdaki denklemlerde düzenleme yapıldıktan sonra güç katsayısı doğrudan v_2 / v_1 hız oranının bir fonksiyonu olarak;

$$c_p = \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] \left[1 + \frac{v_2}{v_1} \right] \quad (3.27)$$

şekline getirilebilir.

$v_2 / v_1 = 1/3$ tepe noktası ile ideal güç katsayısı;

$$c_p = \frac{16}{27} = 0,593 \quad (3.28)$$

halini alır. Bu önemli değeri ilk kez üreten Betz idi ve bu yüzden sıkça Betz faktörü olarak adlandırılmaktadır. $v_2 / v_1 = 1/3$ ifadesinde ideal güç katsayısının maksimum olduğunu bildiğimize göre v' akış hızı;

$$v' = \frac{2}{3} \cdot v_1 \quad (3.29)$$

ve dönüştürücünün arkasındaki gerekli düşürülmüş v_2 hızı;

$$v_2 = \frac{1}{3} \cdot v_1 \quad (3.30)$$

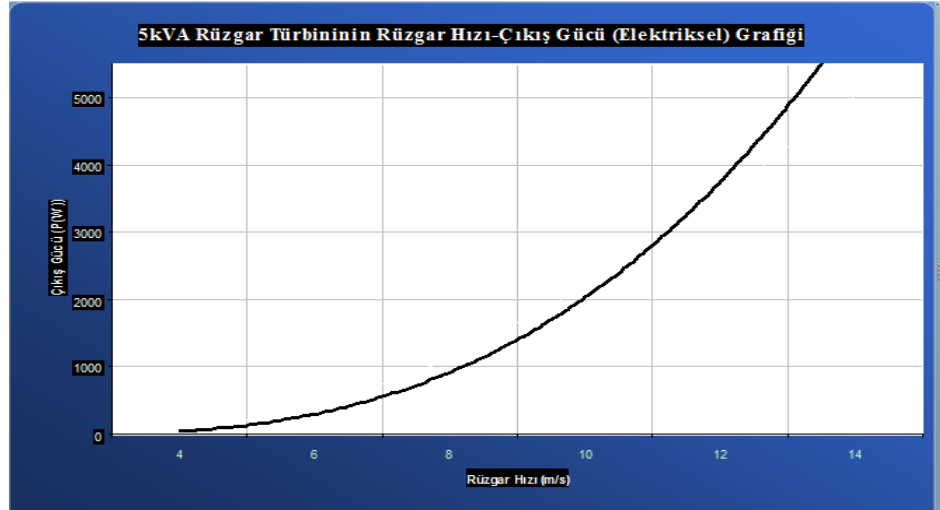
ile hesaplanabilir.

C_p 'yi maksimum yapan n değeri $1/3$ 'tür. Bunun anlamı, C_p 'nin maksimum olması için kanatların, rüzgarın türbin giriş hızı, türbinden çıkış hızının 3 katı olacak şekilde tasarlanması gerektiğini göstermektedir. Bu durumda türbinden elde edilecek maksimum verim, 0.5926 olacaktır. Hibrid sistemin simülasyonunda kullanılan rüzgar türbininin elektriksel karakteristiği Şekil 3.8'de görülmektedir.

3.3 Evirici Sistemler

3.3.1 DC – DC Dönüşüm Sistemleri

Fotovoltaik paneller, gün ışığında dalgalı DC gerilim elde eden elemanlardır. Çünkü panel çıkışındaki DC gerilimin değeri, ışığın şiddetine göre sürekli olarak değişmektedir. Rüzgar türbinlerinin çıkışı ise AC karakterdedir ve öncelikle bu AC gerilimin doğrultulması gerekmektedir.



Şekil 3.8 Rüzgar türbini güç hız eğrisi

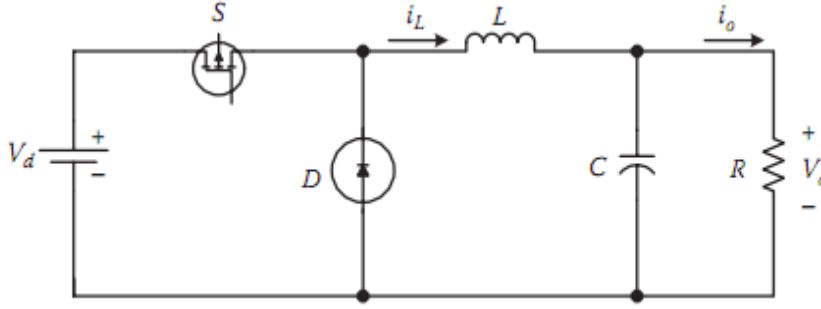
AC yük beslemelerinde bu dalgalı gerilimin öncelikle sabitlenmesi, daha sonra sabitlenen bu gerilimin DC-AC eviricinin girişine uygulanmak üzere DC-DC dönüştürücü tarafından belli bir DC değere dönüştürülmesi ve son olarak evirici tarafından AC yüklerin kullanabileceği gerilim ve frekans değerine dönüştürülmesi gerekmektedir (Rashid, 2001; Rashid, 2011).

Bu tez çalışmasında, EÜGEE’de kurulu bulunan fotovoltaik paneller ve rüzgar türbininden oluşan hibrid enerji sistemi için bir evirici tasarlanmıştır. Sistemde şarj regülatörleri mevcut olup, sistemdeki aküler bu regülatörler tarafından şarj edilmektedirler. Tasarlanan evirici sistem, mevcut bulunan bu dc baralardan beslenmektedir. Bundan dolayı, ayrıca bir dönüştürücü tasarımı yapılmamış olup, şarj regülatörlerinde mevcut olan dc-dc dönüştürücüler kullanılmıştır. Ancak tez çalışmasında, dc-dc dönüştürücülerin Matlab Simulink modelleri gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar sunulmuştur. Dönüştürücünün, Simulink modelinde gerilim düşürücü (Buck) bir dönüştürücü simule edilmiştir.

Çoğu endüstriyel uygulamalarda, bir DC gerilim değerinden başka bir DC gerilim değerinin elde edilmesi gerekebilir. Bunun için DC-DC dönüştürücüler kullanılır. Bir DC dönüştürücü, DC gerilimi doğrudan doğruya başka bir DC gerilim değerine dönüştürür ve daha çok DC-DC dönüştürücü şeklinde adlandırılır.

3.3.2 Gerilim Düşürücü (Buck) Dönüştürücü

Buck tipi dönüştürücü, oldukça basit bir anahtarlamalı güç kaynağı çeşididir. Gerilim düşürücü dönüştürücülerde, dönüştürücü çıkış gerilimi, giriş geriliminden daima küçüktür. Gerilim düşürücü prensibine göre çalışan bir dönüştürücü devresi Şekil 3.9'da görülmektedir.

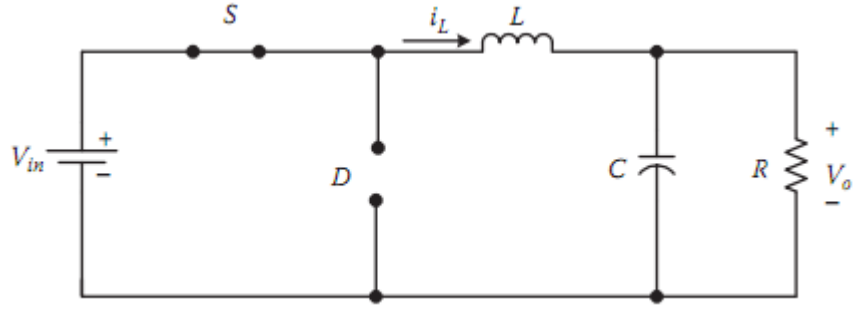


Şekil 3.9 Gerilim düşürücü dönüştürücü

Devrede L endüktansı üzerinden geçen akıma bağlı olarak, dönüştürücü iki basit operasyon modunda çalışır. Bunlardan birincisi, sürekli iletim modu (CCM), diğeri de kesintili iletim modudur (DCM).

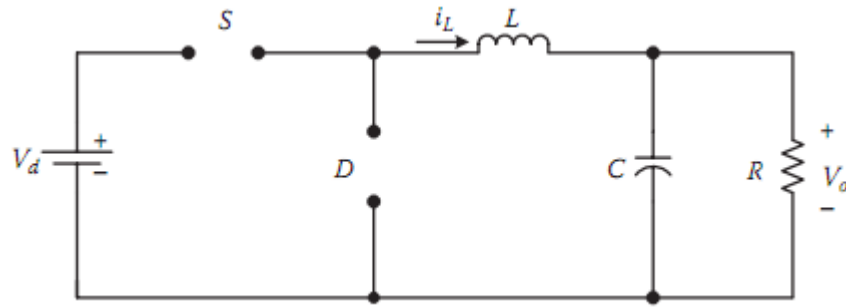
Gerilim düşürücülü dönüştürücülerde sürekli iletim modu, devredeki S anahtarı açıldığında, yani MOSFET iletime geçtiğinde başlar. Bu anda, dönüştürücünün sürekli iletim modunda çalıştığını farz edelim. Böylece başlangıçta, bobin akımı minimum bir değerde olacaktır. Devredeki S anahtarı kapandığında, diyot uçlarında negatif bir gerilim görülecektir ve diyot kesime gidecektir. Bu yüzden devrede akım, L bobini üzerinden akar. Bobin akımı doğrusal olarak artar veya bir başka deyişle, bu zaman aralığında bobin şarj olur. Şekil 3.10'da, dönüştürücünün, sürekli iletim modunda, güç katının şeması görülmektedir.

DCM ifadesi adından anlaşılabilceği gibi, devredeki bobin akımının sıfıra ulaşması anında veya bir süre için bobin akımının sıfır olması durumunda, dönüştürücünün, DCM modunda çalıştığı söylenebilir. Bu yüzden, yukarıda belirtilen aynı zaman aralıklarında, dönüştürücü DCM yani kesintili iletim modunda çalışabilir. Burada, bu zaman aralığında, bobin akımı sıfıra düşer ve negatif bir değer almaya çalışır.



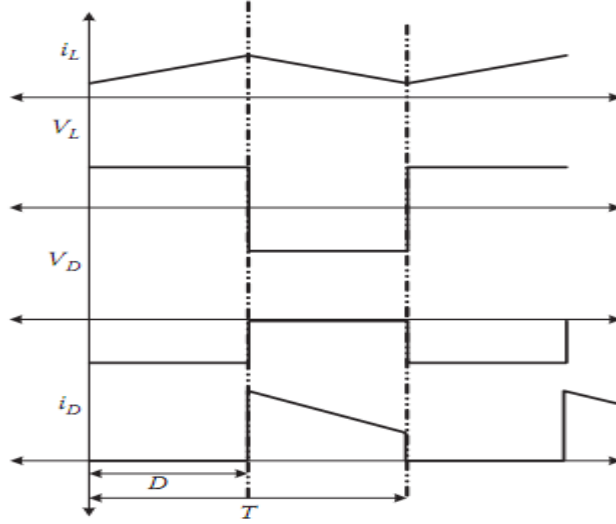
Şekil 3.10 S anahtarı kapalı iken Buck dönüştürücü

Fakat diyot ters kutuplanır ve iletimi durdurur. Devredeki S anahtarı iletimde olduğunda ve bobin akımı tekrar sıfırdan yükselmeğe başladığında bu mod, sona erer. Dönüştürücü devresi, ilk iki mod için yukarıdaki devreler ile aynıdır. Fakat, üçüncü mod farklıdır ve bu moddaki güç katı, Şekil 3.11’de görülmektedir.

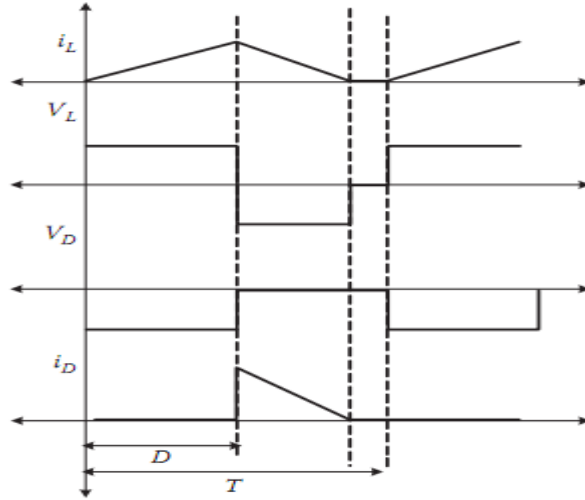


Şekil 3.11 S anahtarı ve D diyodu açık iken Buck dönüştürücü

Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de dönüştürücünün CCM veya DCM çalışma modundaki dalga şekilleri görülmektedir. Çıkış geriliminde, istenen dalgalanma (ripple) miktarına göre de, kondansatör değeri belirlenmelidir. Bobin ve kondansatör değerlerini belirlemek için, anahtarlama periyodunun her zaman aralığında, dönüştürücünün durum denklemleri çözülmelidir.



Şekil 3.12 Sürekli iletim (CCM) modunda dalga şekilleri



Şekil 3.13 Kesintili iletim (DCM) modunda dalga şekilleri

Birinci zaman aralığı için; iletme geçmesinden, kesime geçmesine kadar olan birinci zaman aralığı için; aşağıdaki denklemler yazılabilir.

$$0 < t < DT \quad (3.31)$$

$$V_d = v_L + V_o \quad (3.32)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_d - V_o}{L} \quad (3.33)$$

$$i_L(t) = \frac{V_d - V_0}{L}t + I_{L,\min} \quad (3.34)$$

$$i_L(t = DT) = I_{L,\max} \quad (3.35)$$

$$I_L = I_{L,\max} - I_{L,\min} = \frac{V_d - V_0}{L}DT \quad (3.36)$$

İkinci zaman aralığı için; kesim durumundan, iletme geçme durumuna kadar olan ikinci zaman aralığı için, aşağıdaki denklemler yazılabilir.

$$DT < t < T \quad (3.37)$$

$$v_L = -V_0 \quad (3.38)$$

$$\frac{di}{dt} = -\frac{V_0}{L} \quad (3.39)$$

$$i_L(t) = -\frac{V_0}{L}(t - DT) + I_{L,\max} \quad (3.40)$$

$$i_L(t = T) = I_{L,\min} \quad (3.41)$$

$$I_L = I_{L,\max} - I_{L,\min} = \frac{V_0}{L}(1 - D)T \quad (3.42)$$

I_L değerlerine ait denklemleri eşitleyerek, aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$\frac{V_d - V_0}{L}DT = \frac{V_0}{L}(1 - D)T \quad (3.43)$$

$$V_0 = DV_d \quad (3.44)$$

Burada,

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (3.45)$$

Böylece, buck tipi dönüştürücü bir gerilim düşürücülü dönüştürücü türüdür. Burada, çıkış gerilimi, giriş geriliminden daima küçüktür. Eğer

dönüştürücünün kesikli iletim modunda olduğunu farz edersek, minimum bobin akımı sıfır olacaktır ve böylece bobin akımı;

$$I_L = \frac{V_o}{L}(1-D)T = \frac{V_o}{L}1 - \frac{V_o}{V_d}T \quad (3.46)$$

Bu eşitlikten, aşağıdaki denklemi çıkarabiliriz.

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \quad (3.47)$$

Minimum bobin akımı denklemini sıfıra eşitlediğimizde, aşağıdaki denklem elde edilir.

$$I_L = \frac{V_o}{L}(1-D)T = \frac{V_o}{L}1 - \frac{V_o}{V_d}T \quad (3.48)$$

$$I_{L,\min} = 0 \quad \frac{1}{R} - \frac{(V_d - V_o)}{2LfV_d} = 0 \quad (3.49)$$

$$L = \frac{(V_d - V_o)R}{2fV_d} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (3.50)$$

Gerilim düşürücü tip dönüştürücünün, sürekli iletim modunda çalışabilmesi için minimum endüktans değeri gereklidir. Şimdi devrede kondansatörü düşünelim. Dönüştürücünün çalışma moduna bağlı olarak kondansatör, periyotun “on” konumunda, şarj olacaktır. Periyotun “off” konumunda deşarj olacaktır. Bunları matematiksel olarak formüle edersek;

$$i_L = i_C + i_o \quad (3.51)$$

$$i_C \cong i_L - I_o = i_L - \frac{V_o}{R} \quad (3.52)$$

$$i_C = C \frac{dv_o}{dt} \quad (3.53)$$

Kapasite akımını bulmak için her iki tarafın integralini alırsak;

$$V_o = \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} i_C dt \quad Q = \frac{TI_L}{8C} \quad (3.54)$$

Şimdi I_L 'nin değerini, bir önceki denklemde yerine koyarsak, sonuçta aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$V_o = \frac{1}{8Cf} \cdot \frac{V_o}{L} (1-D)T \quad (3.55)$$

$$V_o = \frac{(1-D)V_o}{8LCf^2} \quad (3.56)$$

$$\frac{V_o}{V_o} = \frac{(1-D)}{8LCf^2} \quad (3.57)$$

$$C = \frac{(1-D)}{8LV_o/V_o f^2} \quad (3.58)$$

3.3.3 DC – AC Dönüşüm Sistemleri

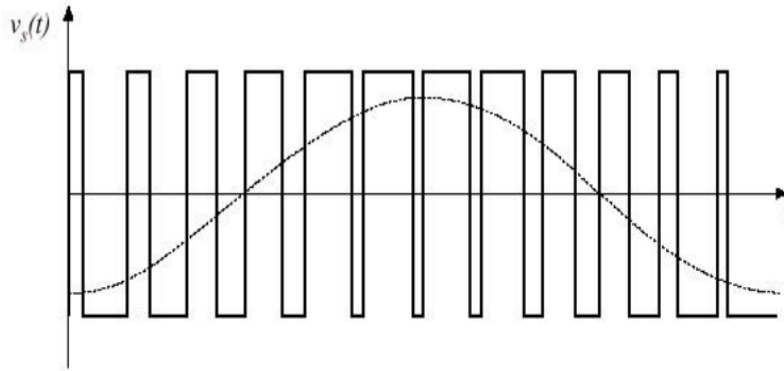
DC-AC dönüşüm sistemleri, bir başka ifade ile eviriciler (İnverter'ler), doğru gerilimden, değişken gerilim dalga biçimi elde eden, frekansı ve gerilimi birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilen düzeneklerdir. Eviricilerin üreteceği dalga'nın biçimi ve frekansı, kullanılan yarıiletken elemanın karakteristiklerine, iletim ve yalıtım sürelerine bağlıdır. Yarıiletken elemanlar olarak, güç ve frekansa bağlı olarak; BJT, MOSFET, IGBT ve hızlı SCR türleri kullanılabilmektedir.

İdeal eviricilerin çıkış dalga şekli sinüsoidaldir. Bununla birlikte pratikte, eviricilerin dalga şekilleri nonsinüsoidaldir ve harmonikler içerir (Rashid, 2001). Düşük ve orta güç uygulamaları için kare dalga veya kare dalgaya benzer gerilimler kabul edilebilir. Yüksek güç uygulamaları içinse, düşük distorsiyonlu, sinüsoidal dalga formları istenir. Yüksek hızlı, güç yarıiletkenler ile çıkış geriliminin harmonik içerikleri önemli ölçüde minimize edilebilir. Eviriciler, endüstride çok geniş uygulama alanı bulabilmektedir. Bunlara örnek olarak AC motor hız kontrolü, indüksiyon ısıtma, kesintisiz güç kaynakları verilebilir. Burada evirici girişi, bir akü sistemi, güneş pili, rüzgar türbini, bir hibrid sistem veya diğer DC kaynaklar olabilmektedir (İsmail vd., 2006).

SPWM modülasyon tekniği, güç elektroniğinde geniş bir biçimde kullanılır. SPWM tekniği, her periyotta, işaretin genliğini sabit tutarak, sinyalin işaret boşluk oranını değiştirme tekniğine dayanmaktadır. Bu SPWM darbelerinin genişliği, evirici çıkış gerilimini kontrol etmeğe ve çıkıştaki harmoniklerin azaltılmasını sağlamaktadır. Bu uygulamada, bipolar SPWM modülasyonu seçilmiştir. Geleneksel olarak analog yöntemde, SPWM işaretini üretmek için, taşıyıcı dalga olarak bir üçgen dalga kullanılmakta ve bu taşıyıcı üçgen dalga bir sinüsoidal dalga ile karşılaştırılmaktadır. Böylece çıkışta, istenen frekansta bir PWM işareti elde edilmektedir. Alternatif bir yaklaşım olarak ta, geleneksel metod yerine mikrodenetleyici veya DSP tabanlı bir mikrodenetleyici kullanımı tavsiye edilebilir. Buna digital (sayısal) kontrol yöntemi denir. Bu tez çalışmasında, digital kontrol yöntemi kullanımı tercih edilmiştir. DSP kullanımı bize, donanımda bir değişiklik yapmaksızın, gerçek-zamanlı kontrol algoritmasında değişiklik yapma gibi esneklikler getirebilir. Bunun yanında ayrıca, işlemci fiyatlarının ucuz olması ve tek fazlı tam köprü eviricinin kontrol devresinin minimum boyutlarda olmasını sağlar (Buso ve Mattavelli, 2006).

3.3.4 Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)

PWM tekniği, güç elektroniğinde güç yarı iletken elemanları on/off şeklinde anahtarlayarak “dijitize” etmekte çok sıklıkla kullanılır. Temel bileşen, değişken bir genliğe ve frekansa sahiptir. PWM modüledi bir işaretin dalga şekli Şekil 3.14’de görülmektedir ve en çok Sinüsoidal Pulse Width Modülasyon (SPWM) tekniği kullanılmaktadır.



Şekil 3.14 PWM işareti

3.3.5 Eviricilerde PWM Tekniği

Darbe Genişlik Modülasyon (PWM) tekniği, yük akımı üzerindeki toplam harmonik distorsiyonunu (THD), azaltmak için iyi bir yöntemdir. PWM modülasyon tekniğine göre çalışan bir eviricinin çıkışı, bir takım filtrelerden geçirildikten sonra, kolaylıkla istenen seviyede THD elde etmek mümkündür. PWM modülasyon tekniğine göre çalışan bir eviricinin çıkışında yüksek frekanslarda harmonik bileşenleri bulunmaktadır. Evirici çıkışına bir süzgeç tasarımı yapılarak, bu yüksek frekans harmonik bileşenleri kolayca süzülebilir.

PWM modülasyon tekniğinde, çıkış geriliminin genliği, bir modüle edilmiş sinyal tarafından kontrol edilir. Çıkış geriliminin genliğinin kontrol edilebilmesi ve çıkıştaki istenmeyen harmonik bileşenlerinin kolayca filtre edilebilmesi, PWM modülasyon tekniğinin başlıca avantajlarından biridir. Dezavantajı ise, yarı iletken anahtarlama elemanlarının kontrolü için çok karmaşık kontrol devreleri gerektirir ve yüksek frekanslarda anahtarlamalardan dolayı anahtarlama kayıpları artar (Sun, 2003).

Taşıyıcı üçgen dalganın genliği $\hat{U}_c$ ve frekansı f_s 'dir. Taşıyıcı üçgen dalga, eviricinin anahtarlama frekansını belirler. Modüle eden u_m işareti, işaret boşluk oranını (duty cycle) ve evirici çıkış geriliminin temel frekans bileşenini belirler. Genlik modülasyon oranı m_a , aşağıdaki ifade ile verilebilir:

$$m_a = \frac{\hat{U}_m}{\hat{U}_c} \quad (3.59)$$

Bu denklemde, $\hat{U}_m$ modüle eden işaretin tepe genliğidir. $\hat{U}_c$ ise taşıyıcı üçgen dalganın tepe genliğidir. Frekans modülasyon oranı ise aşağıdaki denklem ile verilir:

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (3.60)$$

3.4 Hibrid Enerji Sistemi ve Eviricinin Simulasyonu

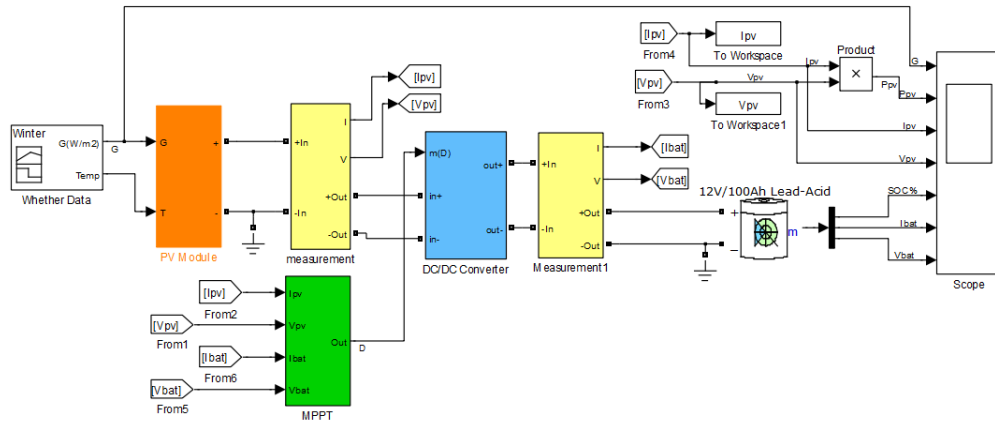
Hibrid yenilenebilir enerji sistemleri için, bir çok araştırmacı tarafından değişik modeller geliştirilmiştir. Her bir bireysel yenilenebilir enerji

kaynağının performansı deterministik ve olasılık yaklaşımları ile modellenmiştir. Fotovoltaik (PV) ve rüzgar türbininden oluşan bir hibrid yenilenebilir enerji sisteminin modellenmesi için genel bir metod aşağıda sunulmuştur (Deshmukh ve Deshmukh, 2008).

Tez çalışması çerçevesinde, EÜGEE’de kurulu bulunan hibrid enerji sisteminin elemanı olan fotovoltaik panellerin ve rüzgar türbininin simülasyonu Matlab Simulink ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda MPPT kontrolü de yapılmıştır. Tasarlanan evirici de Simulink’te simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları ayrıca sunulmuştur.

3.4.1 Bir Güneş Piliin Matlab Simulink’te Modellenmesi

Bu çalışmada güneş pili olarak OST80 kullanılmaktadır. Bu güneş piline ait veriler önceki bölümlerde verilmiştir. OST80’e ait veriler kullanılarak geliştirilen bir güneş piline ait simülasyon Şekil 3.15’de görülmektedir. Simülasyonda MPPT kontrolü yapılmaktadır. Bu nedenle OST80 güneş pili Maksimum Güç Noktasında çalıştırılmaktadır. Ayrıca devre şarj regülatörü de içermektedir. Böylece hibrid enerji sisteminde bulunan aküler şarj edilmektedir (Gülersoy ve Engin, 2012).



Şekil 3.15 Bir güneş pilinin Matlab Simulink modeli

3.4.2 Bir Rüzgar Türbininin Matlab Simulink’te Modellenmesi

Bir rüzgar türbini jeneratörünün çıkış gücü, rüzgar türbininin bulunduğu bölgedeki rüzgar hızına, hub yüksekliğine ve türbin karakteristiklerine bağlıdır.

Rüzgar türbinini simule etmek için, rüzgar türbininin elektriksel karakteristiğinden faydalanılabilir. Rüzgar türbininin elektriksel karakteristiği bilindiğinden Newton polinomlarının küçük güçlü bir rüzgar türbinini simule etmek için uygun olacağı düşünülmüştür. Böylece hibrid sistemin, simule edilmesi daha basit ve hızlı hale gelmiştir. Ayrıca pv sistem ile rüzgar türbini sisteminin birlikte uyum içinde çalışacağı görülmüştür. (Hillowala ve Sharaf, 1996).

Temel Teorem: Verilen $x_0, x_1, \dots, x_n$ gibi $(n+1)$ tane (gerçel yada karmaşık) farklı noktadan n .'ci dereceden yalnız bir tek polinom geçer (Bulut , 2007).

$$f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0 \quad (3.61)$$

$$f(x_i) = a_n x_i^n + a_{n-1} x_i^{n-1} + \dots + a_1 x_i + a_0 \quad (3.62)$$

$x_i (i = 0, \dots, n)$ 'ler fonksiyonda yerine yerleştirilirse, $n+1$ bilinmeyenli $(a_n, \dots, a_0)$, $n+1$ denklem sistemi $(i = 0, \dots, n)$ elde edilir.

$$V(x_0, \dots, x_n) = V(x_0, \dots, x_{n-1})(x_n - x_0)(x_n - x_1) \dots (x_n - x_{n-1}) \quad (3.63)$$

$$V(x_0, \dots, x_n) = \prod_{i>j}^n (x_i - x_j) \quad (3.64)$$

Burada;

$$L_k(x) = \frac{(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_n)}{(x_k - x_0)(x_k - x_1) \dots (x_k - x_n)} \quad (3.65)$$

$$f(x_k) = f_k(x) \quad (3.66)$$

$$L_k(x) = \prod_{j=0}^n \frac{(x - x_j)}{(x_k - x_j)} \quad (3.67)$$

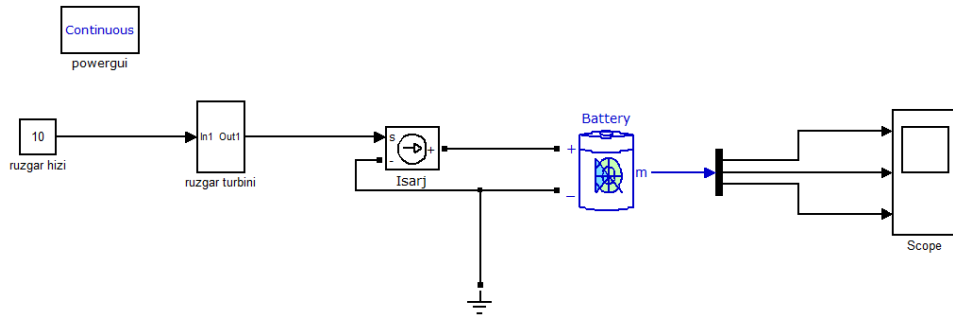
şeklinde rüzgar türbininin üretilen güç cinsinden polinomu elde edilir. Bu çalışmada sonlu farklar ara değer hesaplarından Newton bölüm farklar formülü bu uygulama için seçilmiştir.

$$1, (x - x_0), (x - x_0)(x - x_1), \dots, (x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-1}) \quad (3.68)$$

Newton polinomlarıdır. Böylece rüzgar türbininin aşağıdaki gibi denklemini

$$f(x) = f(x_0) + (x - x_0)f(x_0, x_1) + \dots + (x - x_0)(x - x_1)\dots(x - x_{n-1})f(x_0, x_1, \dots, x_n) + R \quad (3.69)$$

şeklinde elde edebiliriz (Bulut, 2007). Artık bu denklem yardımıyla bir rüzgar türbinini ve dolayısıyla hibrid enerji sistemini Matlab Simulinkte simule etmek kolay hale gelmektedir. Çünkü sistem blokları daha basite indirgenmiştir. En önemlisi rüzgar türbini hızlı bir şekilde simule edilebilmektedir. Bu durum, bir rüzgar türbinin, bir fotovoltaik sistemle birlikte çalıştığında, meydana gelen hibrid enerji sistemini simule etmek için oldukça önemlidir. Yukarıdaki denklemler yardımı ile bir rüzgar türbininin Matlab Simulink modeli Şekil 3.16'da görülmektedir.



Şekil 3.16 Bir rüzgar türbininin Matlab Simulink modeli

Bu tez çalışmasında akü sisteminin simülasyonu için, Matlab Simulink'in kullanıcıya hazır olarak sunduğu blok kullanılmıştır.

3.4.3 Hibrid Enerji Sisteminin Matlab Simulink'te Modellenmesi

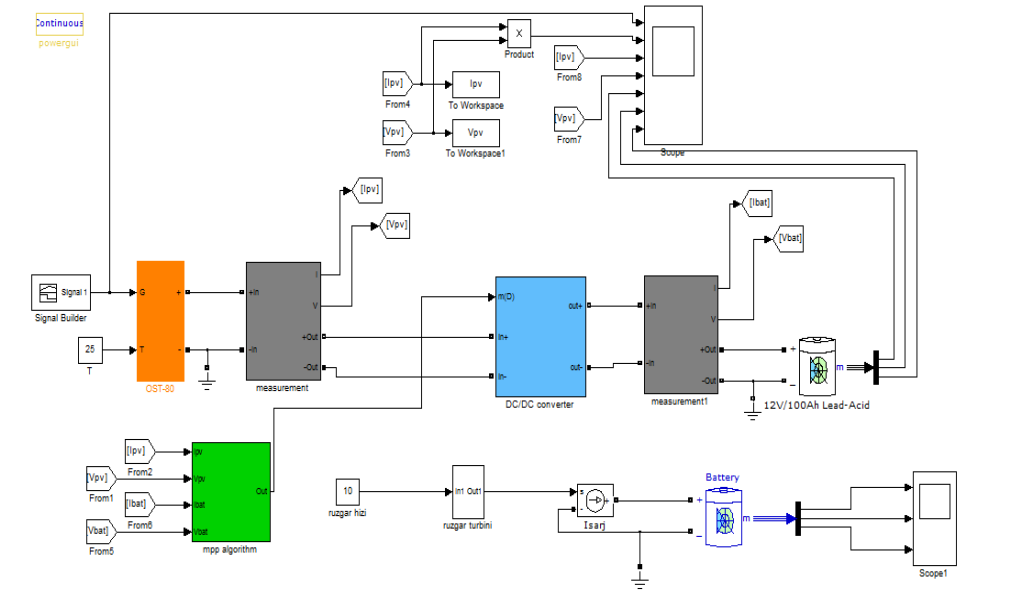
Ticari olarak, fotovoltaik-akü sistemi, fotovoltaik-diesel sistemi, rüzgar enerjisi-akü sistemi, rüzgar enerjisi-diesel, fotovoltaik-rüzgar enerjisi-akü sistemi ve fotovoltaik-rüzgar enerjisi-diesel-akü sistemi gibi pek çok hibrid yenilenebilir enerji sistemi konfigürasyonu bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, fotovoltaik ve rüzgar türbininden oluşan, hibrid yenilenebilir enerji sistemi kullanılmış ve simülasyonu yapılmıştır.

Hibrid sistemde akü kullanmak, sistem kontrol esnekliğini ve sistem güvenilirliğini artırır. Bu enerji sistemleri özellikle sıcak iklimlerde yeni fırsatlar ve umutlar vaat etmektedir. Ayrıca bu enerji sistemleri uzak kırsal alanlar için oldukça ucuz çözüm yöntemleri sunmaktadır. Ulusal şebekenin

olmadığı küçük kırsal alanlarda PV hibrid sistemlerinin ekonomik ömrü, bu köylerin enerji ihtiyacını karşılamak için yeterli olduğu kanıtlanmıştır.

Tez çalışması esnasında gerçekleştirilen sistem, tipik bir hem şebekeye paralel hem de şebekeden bağımsız olarak çalışan bir güç sistemi olup, AC yükleri sorunsuzca besleyebilmektedir.

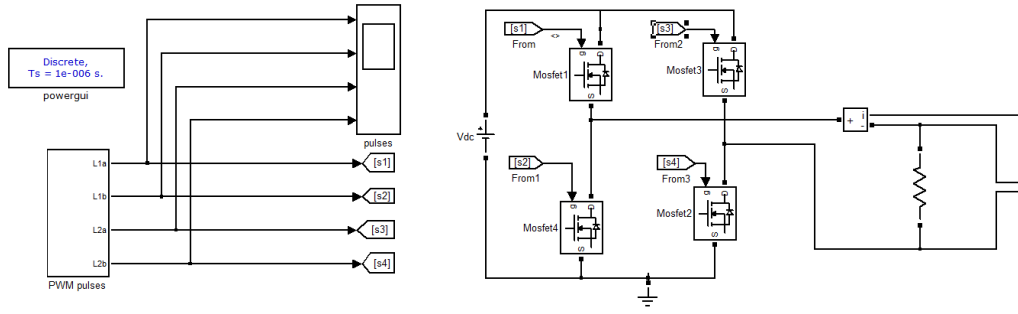
Bu çalışmada bir fotovoltaik panel ile bir rüzgar türbininden oluşan hibrid enerji sisteminin Matlab Simulink modeli tasarlanmıştır. Fotovoltaik panel MPP algoritması sayesinde Maksimum Güç Noktasında çalıştırılmaktadır. Bir dc-dc dönüştürücü yardımıyla elde edilen dc gerilim bir akü grubunu şarj etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca rüzgar türbini, P-V karakteristiğinden yararlanılarak polinomlar cinsinden simule edilmektedir. Simule edilen hibrid enerji sisteminin Matlab Simulink modeli Şekil 3.17’de görülmektedir.



Şekil 3.17 Hibrid enerji sistemin Matlab Simulink modeli

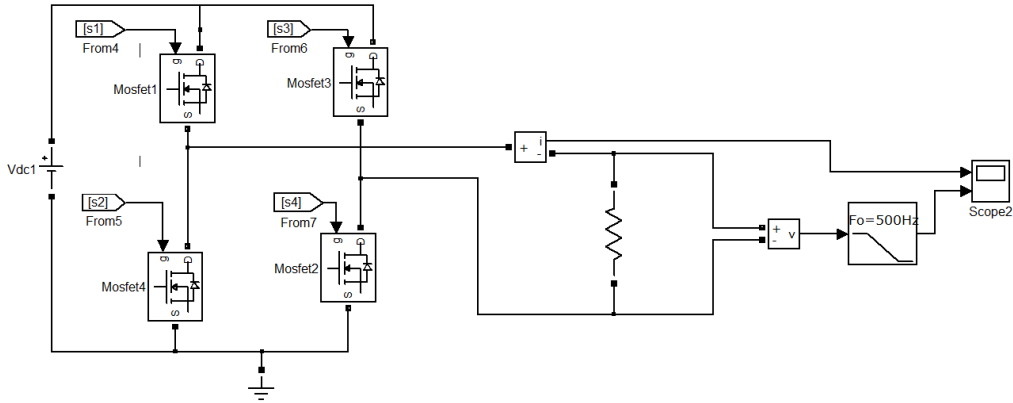
3.4.4 DC-AC Eviricinin Matlab Simulink Modeli

Eviriciler, doğru akımı alternatif akıma çevirmek için kullanılan cihazlardır. Şekil 3.18’de, çıkışında sadece rezistif bir yük bulunan, tam köprü evirici devresinin Matlab Simulink modeli görülmektedir.



Şekil 3.18 Tam köprü evirici devresinin Matlab Simulink modeli

Daha sonra evirici çıkışına bir LC filtresi bağlanmıştır. Evirici çıkışına LC filtresi bağlandıktan sonra devre Matlab Simulink ile simule edilmiştir. Şekil 3.19’da çıkışına bir LC çıkış filtresi bağlanan evirici devresinin Matlab Simulink modeli görülmektedir.



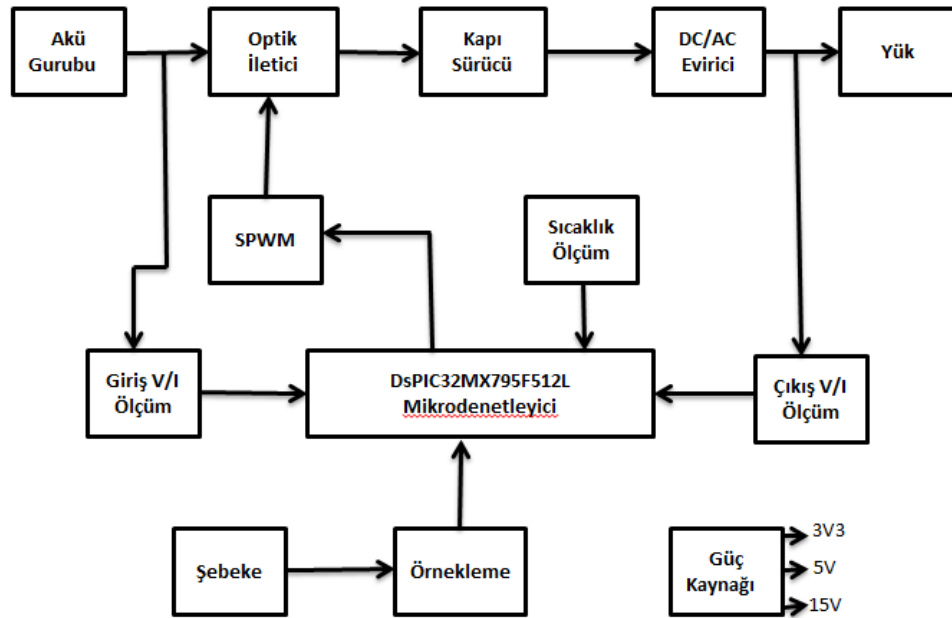
Şekil 3.19 Çıkışına LC filtre bağlanmış bir evirici devresinin Matlab Simulink modeli

3.5 Deneysel Uygulama

Bu tez çalışmasında, gerilim kaynaklı SPWM evirici kontrolü DSP tabanlı bir mikrodeneleyici kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tek fazlı evirici devresinin kontrolü için bir devre tasarlanmış olup, devrenin kontrolü için C32 tabanlı bir kaynak kodu yazılmıştır ve mikrodeneleyiciye gömülmüştür. DSP tabanlı bir mikrodeneleyici kullanılması, SPWM modüleli işaretlerin üretilmesinde ve devrede çevresel elemanların kontrolünde büyük kolaylık sağlamaktadır. DSP tabanlı bir devre tasarlamak kullanıcıya düşük maliyet, devrenin boyutlarının küçük olması ve devrenin donanımında herhangi bir

değişiklik yapmaksızın devre kontrol algoritmasında değişiklik yapma imkanı sunmaktadır.

Uygulamada öncelikle DSP tabanlı mikrodnetleyici kartı tasarlanmış ve montajı yapılmıştır. Mikrodnetleyici kartı, I/O, PWM, ADC portlarını ve dış dünya ile haberleşme için JTAG haberleşme portunu içermektedir. Tasarımı yapılan mikrodnetleyici kartının, interrupt girişlerine şebekeden alınan örnek uygulanarak, hem şebekeye paralel, hem de şebekeden bağımsız olarak çalışan evirici kartı kontrol edilmiştir. Daha sonra devreye LCD display bağlanmıştır. Şekil 3.20’de kontrol devresi için geliştirilen donanımın blok diyagramı gösterilmiştir. Okların akış yönü, dsPIC32MX795F512L mikrodnetleyiciden eviriciye doğru olan SPWM sinyal akışını göstermektedir.



Şekil 3.20 Donanım akış şeması

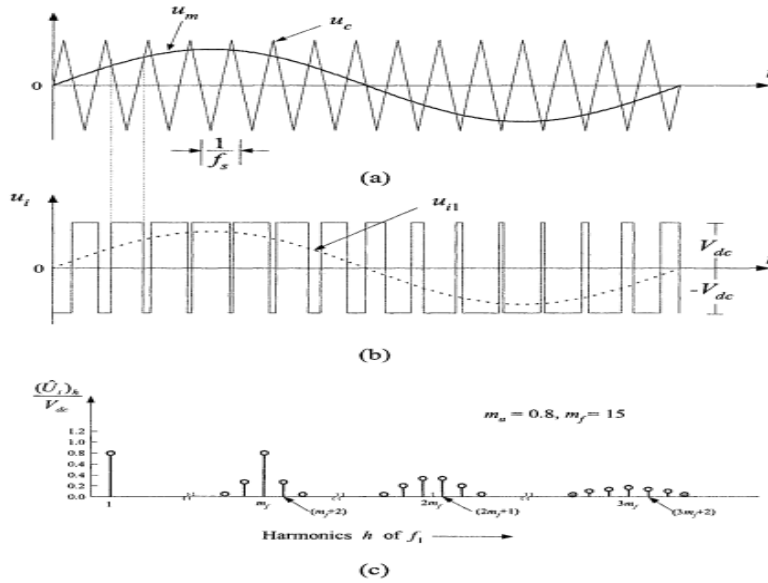
Bu tez projesinde, geleneksel analog SPWM işareti elde etme yöntemi yerine, dijital yöntem kullanımı tercih edilmiştir. Evirici devresinde kullanılan yarı iletken güç elemanlarının anahtarlama frekansı, 10kHz’dir. Geliştirilen yazılım, DSP tabanlı mikrodnetleyici tarafından istenen frekansta ve istenen işaret boşluk oranına sahip SPWM darbelerinin üretilmesini sağlamaktadır. Yazılımın ve donanımın, öncelikle eviriciyi anahtarlama amacıyla kontrol etmesi sağlanmıştır (Buso ve Mattavelli, 2006). Bu dijital tasarım, SPWM modülasyon olarak adlandırılmaktadır ve mikrodnetleyici içinde PWM kayıtcısı tarafından gerçekleştirilmektedir. SPWM kontrol işaretleri

dsPIC32MX795F512L mikrodeneleyicisi tarafından üretilmektedir. Evirici devresindeki yarı iletken güç anahtarlarının açma kapama zamanları, SPWM kontrol sinyalleri tarafından belirlenmektedir (Ismail vd., 2007).

3.5.1 Bipolar Gerilim Anahtarlama

Bu tez çalışmasında, eviriciyi kontrol etmek için bipolar anahtarlama tekniği kullanımı tercih edilmiştir. Şekil 3.21'de (SPWM) Sinüsoidal Darbe Genişlik modülasyon tekniğinin prensibi görülmektedir. Şekil 3.21.a'da sinüsoidal referans sinyali ile taşıyıcı üçgen dalga görülmektedir. Şekil 3.21.b'de görüldüğü gibi, sinüsoidal referans işaretinin anlık değeri, üçgen taşıyıcı dalgadan büyük olduğu zaman, çıkış $+V_{dc}$ değerindedir. Benzer şekilde, sinüsoidal referans işaretinin anlık değeri, üçgen taşıyıcı dalgadan küçük olduğu zaman, çıkış $-V_{dc}$ değerindedir.

Evirici çıkış geriliminin temel bileşeni, sinüsoidal dalga formundadır ve temel bileşenin genliği ve frekansı, modüle eden referans işareti tarafından belirlenir.



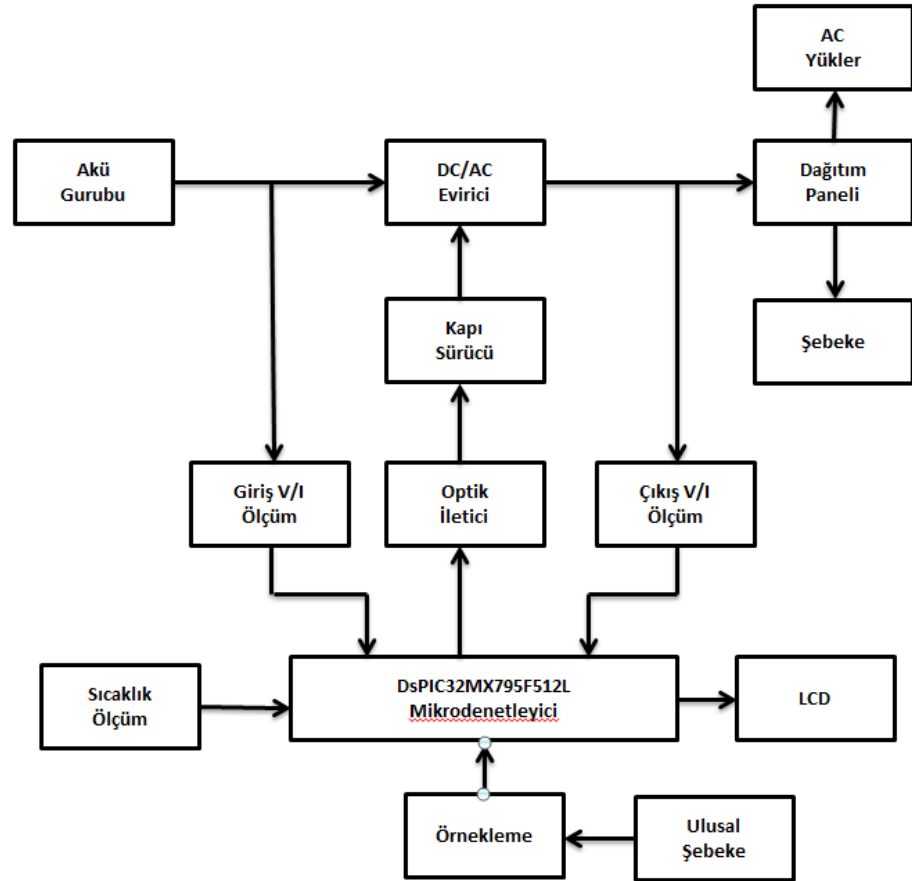
Şekil 3.21 Bipolar PWM gerilim anahtarlama

Şekil 3.21.c'de bipolar PWM genlik anahtarlama tekniğinde, çıkış geriliminin harmonik spektrumu görülmektedir. Evirici çıkış gerilimindeki harmonikler, merkez frekansının katları ve yan bantlarında gözükmemektedir. Bu yüzden, eğer frekans modülasyon oranı m_f büyükse, çıkış gerilimi üzerindeki

harmonikler yüksek frekanslarda görülecektir ve bunların etkisi bir filtre kullanılarak azaltılabilir.

3.5.2 Sistemin Tanıtımı

Tez çalışması kapsamında tasarlanan evirici, hem şebekeye paralel hem de şebekeden bağımsız modda çalışacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu tasarlanan evirici, şebeke gerilimi kesilse dahi, eğer hibrit sistemde yeteri kadar enerji varsa, kolaylıkla şebekeden bağımsız çalışacak şekilde tasarlanmaktadır. Evirici sistemin blok diyagramı Şekil 3.22’de görülmektedir (İsmail vd., 2006).



Şekil 3.22 Evirici sistem blok şeması

Sistem, SPWM işaretlerini üretmek için mikrodnetleyici devresi, optik iletici, tam köprü evirici devresi, filtre devresi ve gerilim yükseltici bir transformatör içermektedir. dsPIC32MX795F512L tarafından üretilen SPWM sinyalleri, potansiyel tehlikeli çevreden güvenli koruma için izole edilmek zorundadır. Sonra kapı sürücü devreler, elektriksel olarak izole MOSFET yarı

iletken anahtarları sürmede kullanılmaktadır. Kapı sürücü devrelerin çıkışları, dört adet MOSFET'i sürmek için düzenlenmiştir. Evirici çıkışı, anahtarlama sinyalleri yüzünden bir kare dalga formundadır. Başka bir ifade ile, çıkışta bir sinüs dalgası elde etmek için ve çıkıştaki harmonikleri azaltmak için bir LC filtre devresi kullanılır. Ayrıca evirici çıkışında istenen gerilim seviyesi için, bir gerilim yükseltici transformatör bağlanır.

SPWM modüleli evirici tasarımında aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir.

- Yüksek hassasiyetli PWM sinyalleri elde edilmesi
- Çıkışta harmonikleri azaltmak ve hassas bir kontrol için hızlı işlem kapasitesi (proses) ve gelişmiş, esnek bir kontrol algoritması kullanımı
- Köprü devresi, LCD ve diğer devre elemanlarının kontrolü için hızlı ve gelişmiş bir kaynak kodu yazılımı
- Gelişmiş bir devre tasarımı için, devredeki donanım üzerinde bir değişiklik yapmaksızın, sadece devrede yazılımın geliştirilmesine olanak sağlama

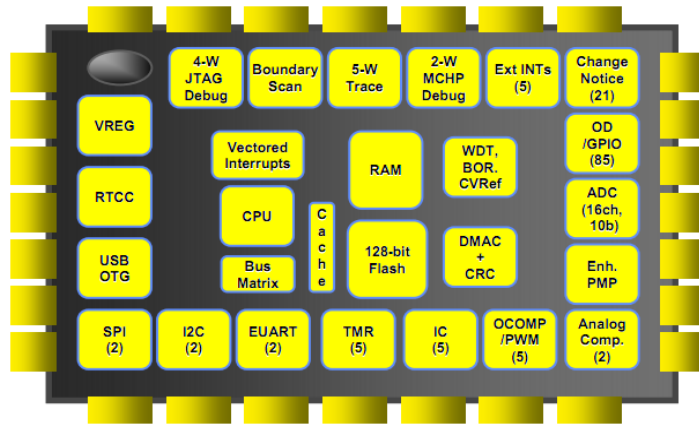
Yeni sınıf DSP mikrodnetleyiciler, yukarıda belirtilen özellikleri gerçekleştirebilen birer gömülü sistemdirler. Bu mikrodnetleyiciler hızlı bir işlem kapasitesine sahip olup, devredeki diğer komponentlerle uyum içerisinde çalışmakta ve böylece devrenin tasarım maliyetlerini, minimum düzeye düşürmektedirler. dsPIC32MX795F512L mikrodnetleyicisi birçok hassas uygulamada rahatlıkla kullanılabilir bir denetleyicidir. Bu mikrodnetleyici, yukarıda açıklanan sebepleri kolaylıkla gerçekleştirebildiğinden, bu tez çalışmasındaki uygulama için seçilmiştir. Bunlara ilave olarak, yeni sınıf DSP tabanlı mikrodnetleyici matematiksel fonksiyonlara, kayar noktalı kayıtçılara, FFT uygulamalarına ve güç elektroniği uygulamalarına tamamen entegredir. Bu entegre uyumlu olma durumu tasarlanan devrenin boyutlarını azaltmakta dolayısıyla devrenin maliyet fiyatlarını azaltmaktadır.

dsPIC32MX795F512L mikrodnetleyicisi, Microchip firması tarafından geliştirilen 32-bit kayar noktalı bir işlemcidir. Mikrodnetleyici 80

Mhz saat darbesi hızında çalışabilmektedir. Kolaylıkla, 120MHz'e overclock edilebilmektedir. İşlemci, 3,3V'luk bir beslemeye ihtiyaç duymakta ve bu yüzden güç tüketimi son derece düşüktür.

PIC32MX mikrodenetleyicisi, genel amaçlı 32-bit bir mikro denetleyicidir. PIC32 ailesi, çok çeşitli uygulamalarda kullanılabilir ve oldukça geniş kullanım alanlarına sahiptir.

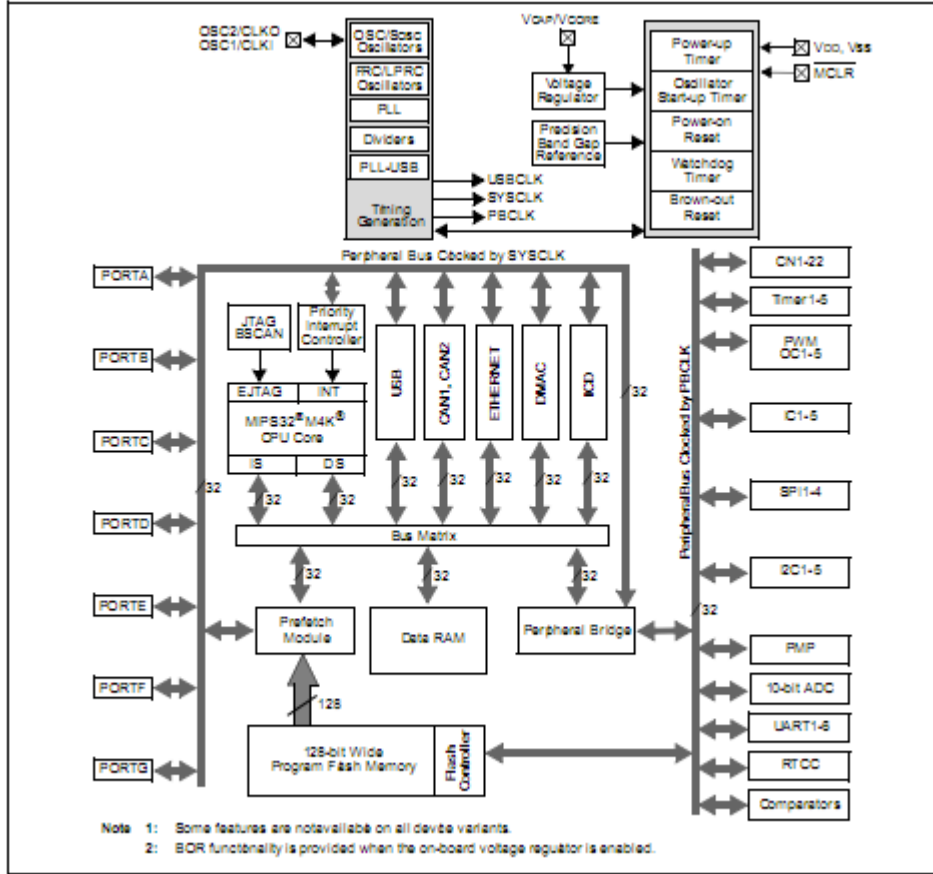
PIC32MX ailesi, 32K'dan 512K'ya kadar Flash bellek içerirler. Ayrıca oldukça zengin bir çevresel devre seti de mevcuttur. Şekil 3.23'de PIC32 mikro denetleyicilerin çekirdek iç yapısı görülmektedir.



Şekil 3.23 PIC32 MCU Modülü

PIC32 ailesindeki mikro denetleyiciler, MIPS M4K çekirdeği içerirler ve bu yapı çok çeşitli uygulamalar için Flash, RAM ve güçlü bir çevresel devre desteği sağlar.

Bu tez çalışması kapsamında hibrid enerji sistemine bağlı çalışan eviriciyi kontrol etmek için dsPIC32MX795F512L mikro denetleyicisi kullanılmıştır. Şekil 3.24'de dsPIC795F512L mikrodenetleyicisinin blok diyagramı görülmektedir.

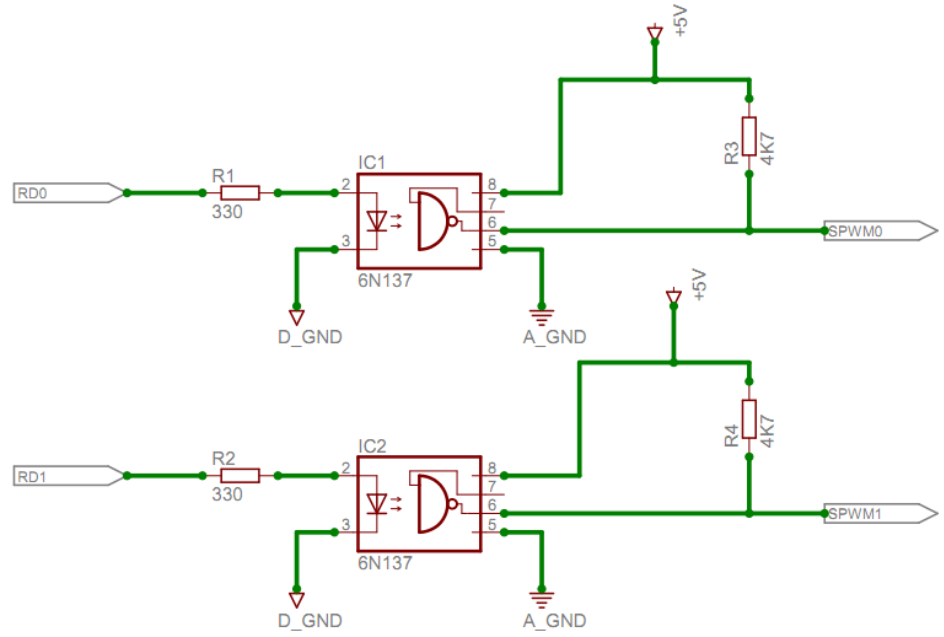


Şekil 3.24 dsPIC795F512L işlemcisinin blok diyagramı

3.6 Güç Devresi

3.6.1 Mikrodenetleyici ve Güç Devrelerinin Yalıtımı

Optik iletici devresi, devre elemanlarını potansiyel tehlikeli çevreden korumak amacıyla kullanılır. Evirici tasarımında, H-köprü güç devresi ile mikrodenetleyici arasında, doğru bir koruyucu arabirim devresi tasarlanmasına ihtiyaç duyulur. Bu devreler genelde, optik iletici devre kullanılarak gerçekleştirilir. Eviricinin maksimum çıkış voltajı 220 voltur. Mikroişlemci, 3.3 volt ile çalışmaktadır. Bunun için, evirici çıkışındaki yüksek gerilim nedeniyle, kontrol kartının izole edilmesi gerekmektedir. Bu işlem, optik iletici kullanılarak yapılabilir. Tez çalışması kapsamında geliştirilen kontrol kartında, 6N137 optik iletici entegre devreleri kullanılmıştır. Geliştirilen optik izolasyon devresi Şekil 3.25’de görülmektedir.

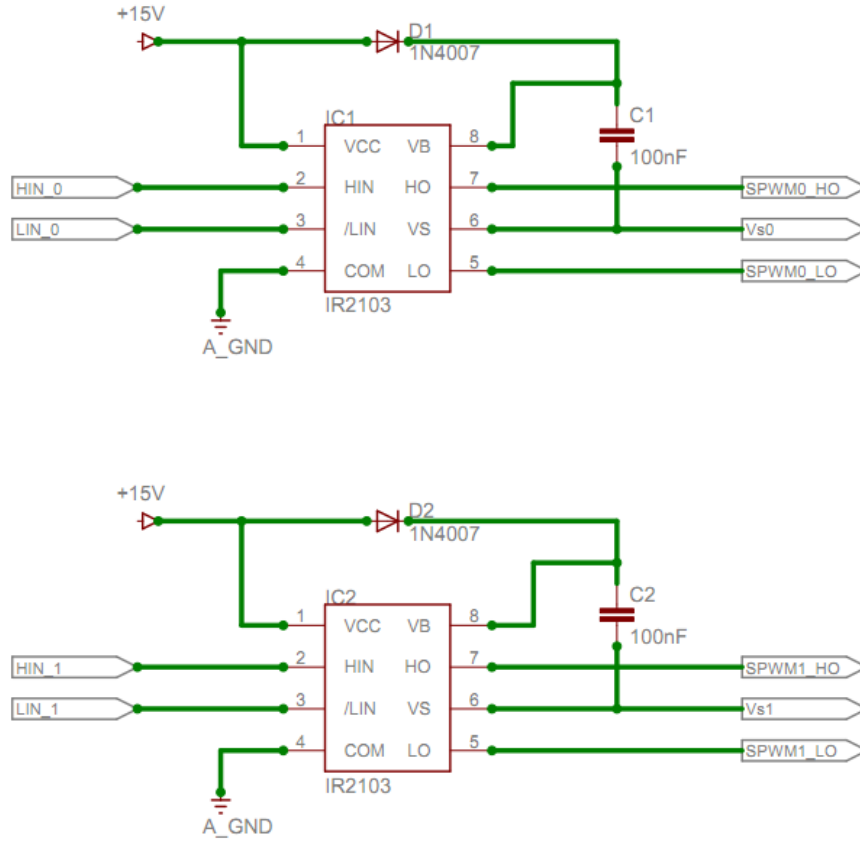


Şekil 3.25 Optik iletici devresi

3.6.2 MOSFET Sürücü Devresi

Kapı sürücü devre olarak IR2103 entegre devresi kullanılmıştır.

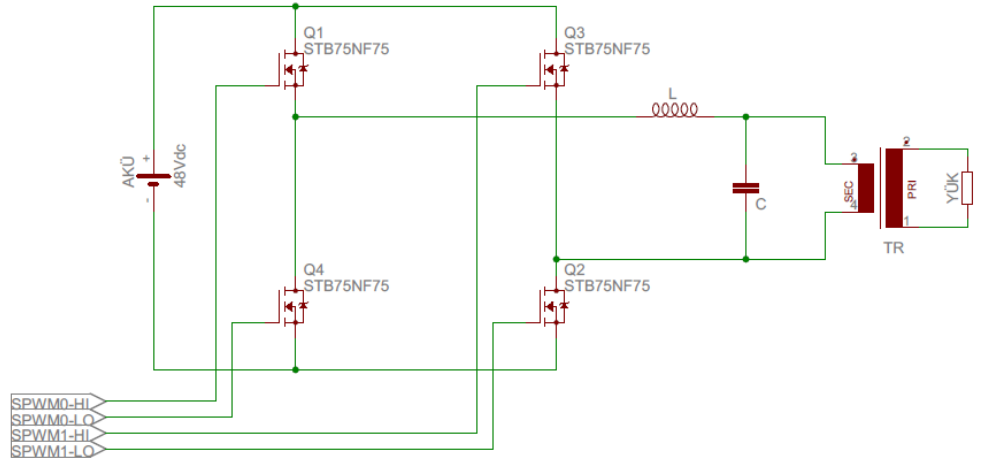
dsPIC32MX795F512L mikrodenetleyicisi, 5 adet PWM kanalı ihtiva etmektedir. Tez projesi kapsamında geliştirilen devrede, bu PWM kanallardan iki tanesi SPWM modüleli işaret üretmek ve kapı sürücü devreyi sürmek için kullanılmaktadır. Her kapı sürücü devre optik olarak izole edilmiştir. Kapı sürücü devre yardımıyla, dört adet SPWM modüleli işaret elde edilmektedir ve H-köprü devresindeki güç Mosfet'lerini sürmede kullanılmaktadır. Şekil 3.26'da, kapı sürücü devresinin açık devre şeması görülmektedir.



Şekil 3.26 Kapı sürücü devresi

3.6.3 H-Köprü Devresi

Güç devresi olarak, tam köprü evirici devresi seçilmiştir. Şekil 3.27’de tam köprü evirici devresi görülmektedir. Bu devre, bir DC gerilim kaynağı veya hibrid enerji sistemi, dört adet anahtarlama elemanı, LC filtre devresi, trafo ve yükten oluşmaktadır. Tasarımda, STB75NF75 güç Mosfet’leri, birer soğutucuya monte edilmişlerdir. Böylece devre çalışır iken, güç Mosfet’lerinin aşırı ısınmasının önüne geçilmiştir. Ayrıca Mosfet’lerin hemen yanına, LM135 sıcaklık sensörü de monte edilmiştir.



Şekil 3.27 Tam köprü evirici devresi

Tam köprü evirici devresi, düşük gerilimde, yüksek akım temin etmeğe olanak sağladığı için tercih edilmiştir. Eğer hibrid sistem uygulamaları için, evirici tasarlanmak isteniyorsa, bu özellik önemlidir.

3.6.4 LC Çıkış Süzgecinin Tasarlanması

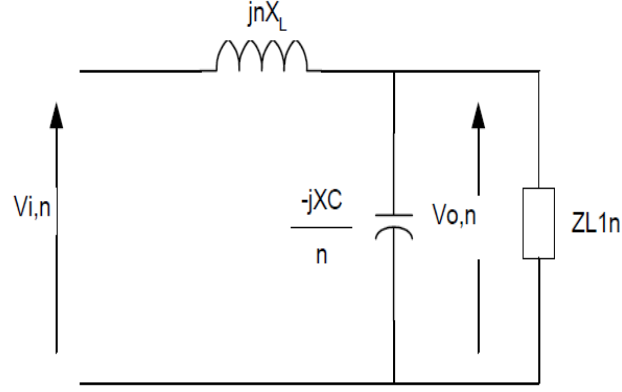
Çıkışta bir LC süzgeci kullanmak; çıkış harmoniklerini azaltmak ve çıkış dalga şeklinin sinüsoidal olması için gereklidir. Daha sonra, sinüsoidal çıkış işaretini, istenen çıkış gerilimine yükseltmek için, çıkış işareti bir gerilim yükseltici transformatöre uygulanarak sağlanır.

Evirici çıkışındaki, PWM anahtarlama frekansı harmoniklerinin elemine edilmesi ve çıkış gerilimindeki toplam harmonik distorsiyonunun %5'in altına düşürülmesi için çıkış süzgecinin fonksiyonu oldukça önemlidir. Böyle bir evirici çıkış filtresi, Şekil 3.28'de görülmektedir.

Evirici çıkış filtresinin, transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi verilebilir;

$$H_n = \frac{V_{o,n}}{V_{i,n}} = - \frac{jX_c \cdot Z_{l,n}}{n \cdot X_l \cdot X_c + j \cdot Z_{l,n} \cdot (n^2 \cdot X_l - X_c)} \quad (3.70)$$

Burada n, anahtarlama frekansının, temel frekansa oranıdır.



Şekil 3.28 DC-AC Evirici çıkış süzgeci

$$n = m_f = \frac{f_s}{f} \quad (3.71)$$

Yukarıdaki denklemde filtrenin kazancı, temel frekansta ve $X_l \ll X_c$ iken

$H_{1,1}$ 'e gider. Bu durumda yukarıdaki denklem;

$$H_{1,1} \leq \frac{-j.X_c.Z_{l,1}}{-j.Z_{l,1}.X_c} \cong 1 \quad (3.72)$$

olur. Bundan başka, herhangi bir yük bağlı değil iken çıkış empedansı sonsuza gider. $Z_{l,1} \rightarrow \infty$ Bu durumda yukarıdaki denklem,

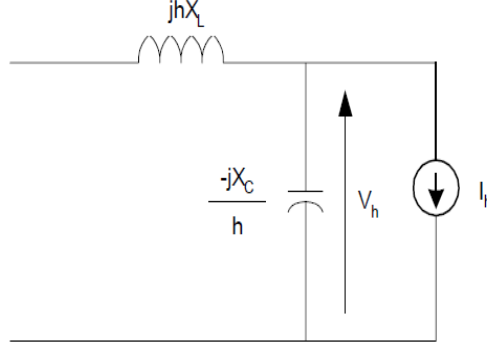
$$|H_n| = - \frac{X_c}{n^2.X_l - X_c} = \frac{1}{n^2.\frac{X_l}{X_c} - 1} \quad (3.73)$$

şeklinde yazılabilir. Çıkışta toplam harmonik distorsiyonu %5'in altına düşürebilmek için $H_n=0,045$ olmalıdır. Bu durumda ;

$$\frac{1}{n^2.\frac{X_l}{X_c} - 1} \leq 0,045 \quad (3.74)$$

$$\frac{X_l}{X_c} \geq \frac{23.222}{n^2} \quad (3.75)$$

denklemleri bulunur. Tek fazlı sistemlerde, evirici çıkışına doğrusal olmayan bir yük bağlandığında, çıkış filtresi üzerinde, üçüncü harmoniğin etkisi çıkış akımı üzerinde önem kazanmaktadır.



Şekil 3.29 Doğrusal olmayan yük için eşdeğer devre

Şekil 3.29'daki devrede yük üzerinden geçen akım I_h olsun. Bu durumda transfer fonksiyonu ;

$$V_h = \frac{j.h.X_L.X_c}{X_c - n^2.X_L} . I_h \quad (3.76)$$

Şeklinde yazılabilir. Burada

$$|V_h| = \frac{h.X_L}{1 - n^2 \frac{X_L}{X_c}} . I_h \quad (3.77)$$

yazılabilir. Burada $n^2 \cdot \frac{X_L}{X_c} \ll 1$ olduğu durumda,

$$|V_h| \leq h.X_L.I_h \quad (3.78)$$

yazılabilir.

Evirici çıkışındaki bağlanan doğrusal olmayan yük sebebiyle, üçüncü harmonik dikkate alındığında ;

$$\frac{|V_3|}{V_1} = \frac{3.X_L.I_3}{V_1} \quad (3.79)$$

yazılabilir. Çıkışta kabul edilebilir bir toplam harmonik distorsiyonu için çıkıştaki üçüncü harmonik geriliminin , çıkış temel voltajına oranı ;

$$\frac{|V_3|}{V_1} = 0,03 \text{ olmalıdır. Bu durumda;}$$

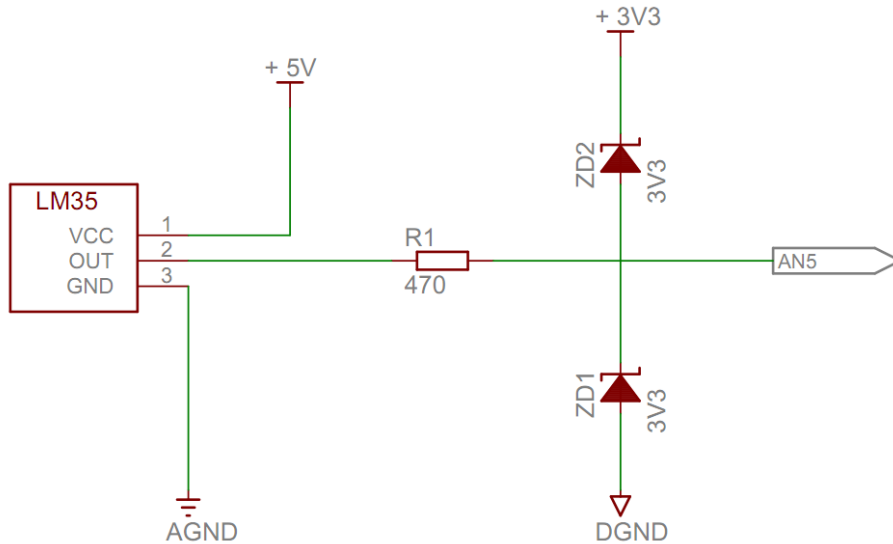
$$X_l = \frac{0,03.V_1}{3.I_3} \quad (3.80)$$

yazılabilir. Bu ifadelerden, evirici çıkışındaki filtrede bulunan C ve L değerleri hesaplanabilir. Tez çalışması sürecinde tasarlanan eviricinin çıkışında bulunan süzgeçteki L ve C değerleri ;

$L = 127,3 \mu H$ ve $C = 46,23 \mu F$ olarak hesaplanmıştır.

3.6.5 Sıcaklık Ölçüm Devresi

Evirici devresinde, yarı iletken anahtarların sıcaklıkları sürekli olarak ölçülmektedir. Sıcaklık ölçümü için, LM35 entegre devresi kullanılmaktadır. Yarı iletken anahtarların sıcaklıklarını ölçmek için, Şekil 3.30’da görülen devre tasarlanmıştır. Sıcaklık transdüseri, Mosfet’lerin hemen yanına bağlıdır. Sıcaklık ölçüm devresi çıkışındaki gerilim mikrodenetleyicinin ADC5 girişine uygulanmaktadır.



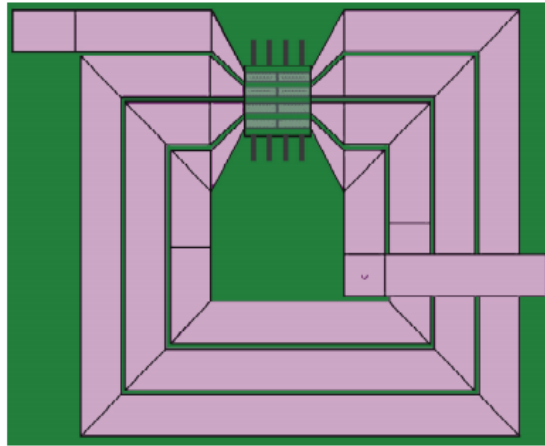
Şekil 3.30 Sıcaklık ölçüm devresi

3.6.6 Devrede Akım ve Gerilimlerin Ölçülmesi

Geliştirilen evirici devresindeki ac ve dc akımlar, FHS40 tipi hall effect tabanlı, akım transdüseri kullanılarak ölçülmüştür. Minisens entegresinin kullanılmasıyla, geri besleme devresi üzerinde meydana gelen kayıplar minimuma inerken, primer (yüksek güç) akımı ve sekonder (düşük güç) akımı arasındaki galvanik izolasyon da sağlanmış olur. Diğer yandan, seri üretimlerde sensörün otomatik dizgide doğrudan PCB'ye monte edilmesi ile üretimde ve montajda kolaylık ve nihai üründe de daha kompakt bir yapı sağlanmaktadır. Entegrenin standby özelliği, oransal veya sabit olarak ayarlanabilen akım kazancı ve geniş akım ölçüm aralığı da (2-70Arms) kullanıcıya esnek tasarım olanağı yaratmaktadır. Üzerinden akım akan herhangi bir iletken, aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibi iletken tarafında belirli bir manyetik alan yoğunluğunu meydana getirir.

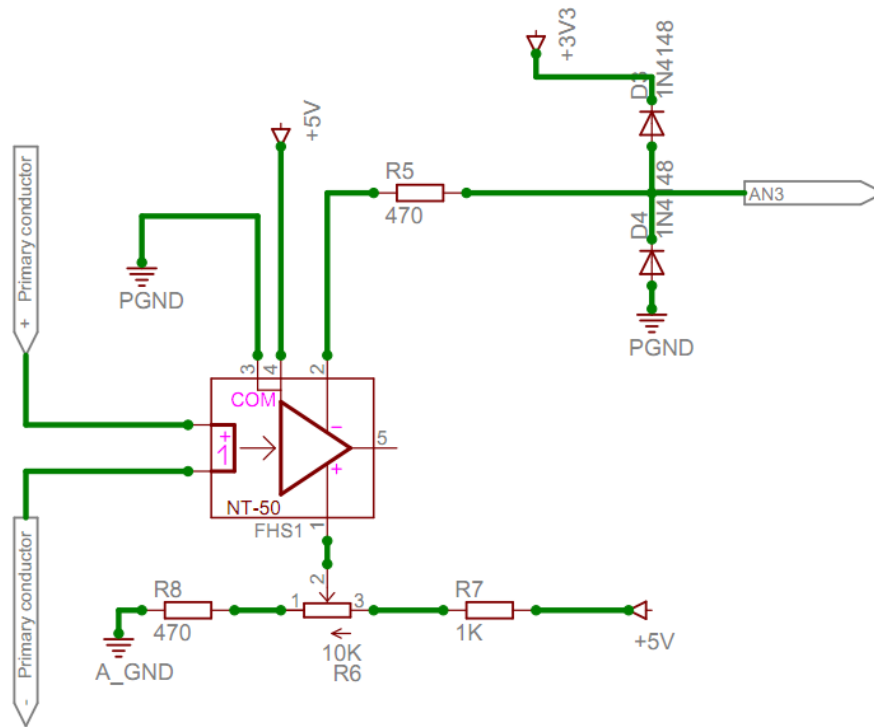
$$B = \frac{I_p}{r} \frac{\mu_0}{2\pi} (T) \quad (3.81)$$

Minisens akım ölçer entegresi değişik uygulamalarda kullanılabilir. Minisens entegresi, düşük akımlı uygulamalarda kullanıldığında (<10A) primer akımı tarafından meydana gelen manyetik alanın artırılması için, primer akım yolu entegrenin altında Şekil 3.31'de görüldüğü gibi birkaç tur attırılır. İletkenden akan akım nedeniyle, meydana gelen sıcaklık artışını minimuma düşürmek için, Minisens etrafındaki yolun kalınlığının mümkün olduğunca artırılması gerekir.



Şekil 3.31 Bakır yolun birkaç turla kuvvetlendirilerek akım transdüserinin altından geçirilmesi

Hem şebekeye bağlı, hem de şebekeden bağımsız olarak çalışan evirici devresindeki dc akımı okuyan devre Şekil 3.32’de görülmektedir.

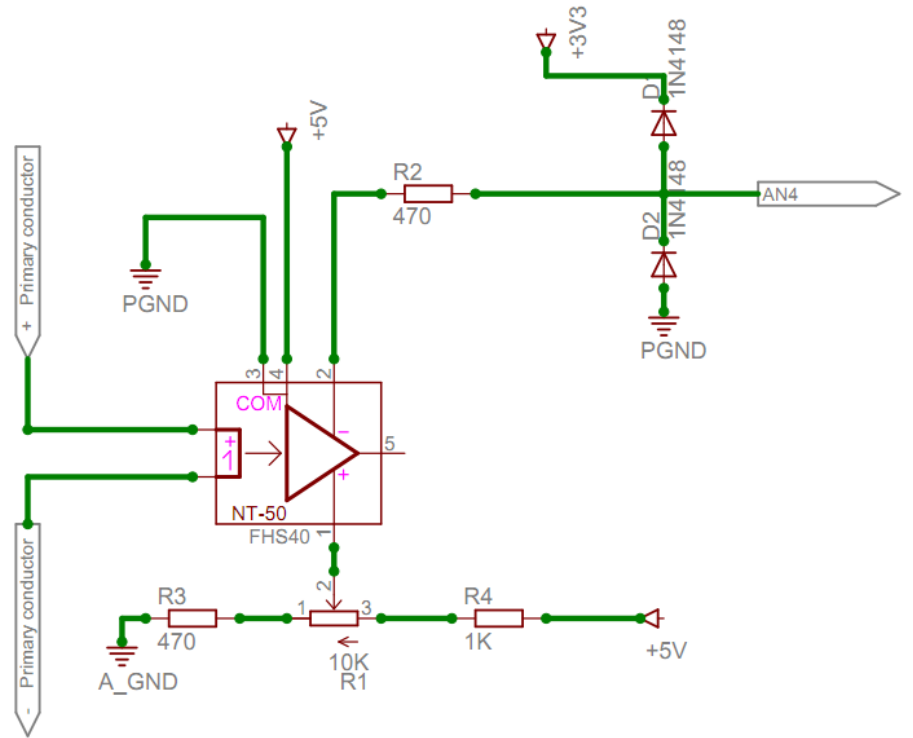


Şekil 3.32 DC akım ölçme devresi

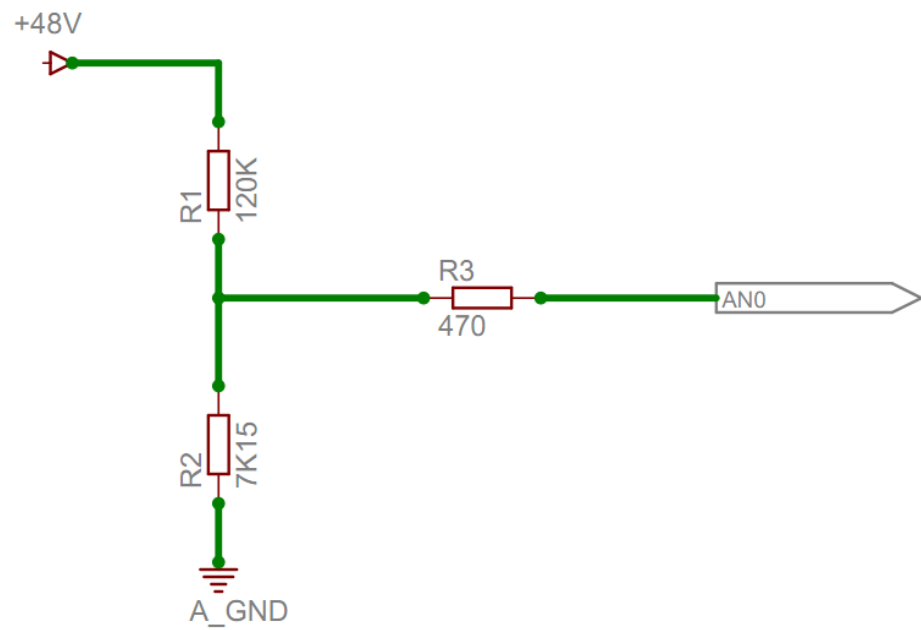
Evirici devresindeki ac çıkış akımını ölçen devre, Şekil 3.33’de görülmektedir.

Tasarlanan devrede ölçülen akımlar, mikrodnetleyicinin AN1 ve AN3 analog portlarına uygulanmaktadır. Yazılan kodda, bir ADC alt yordam programı bulunmaktadır. Okunan değerler, geliştirilen yazılım tarafından değerlendirilmektedir.

Evirici devresinde, hibrid güç sisteminin çıkışları dc formdadır ve bu dc gerilimi ölçmek için Şekil 3.34’de görülen devre geliştirilmiştir.



Şekil 3.33 AC akım ölçüm devresi



Şekil 3.34 DC gerilim okuma devresi

Okunan bu dc formdaki değer, daha sonra mikrodnetleyicinin ADC2 girişlerine uygulanmaktadır.

Evirici devresi çıkışındaki, ac formdaki işaretin de genliği okunabilmektedir. Bunun için öncelikle, küçük gl bir ölçüm trafosu yardımı ile çıkış geriliminden bir örnek alınmaktadır. Bu işaret daha sonra bir doğrultucu devresinden geçirilmekte ve mikrodnetleyicinin ADC1 girişlerine uygulanmaktadır. Böylece evirici devre çıkışındaki ac formdaki işaretin genliği okunmuş olmaktadır.

Tez alışması kapsamında geliştirilen, şebeke ile senkron çalışan evirici devresi, senkronizasyon işaretlerini şebeke üzerinden almaktadır. Bunun için öncelikle, küçük bir sinyal trafosu yardımı ile şebeke geriliminden bir örnek alınmaktadır ve bu örnek işaret, mikrodnetleyicinin INT1 girişine uygulanmaktadır. şebekeden alınan bu örnek işaret, daha sonra bir sıfır geçiş devresine uygulanarak, sıfır geçişler algılanmaktadır. Bundan sonra, alternatif akımın ilk yükselen kenarı, mikrodnetleyicinin INT1 interrupt girişine uygulandığından, mikrodnetleyicide bir ISR alt yordam programı çalışmaktadır. Kaynak kodu, bu yükselen kenara göre tetiklenen, bir PWM kaynak kodunu çalıştırmaktadır. Böylece, ac şebeke daima takip edilmekte ve şebeke ile senkron SPWM darbeleri üretilmektedir. Bunun sonucunda, devre çıkışında AC şebeke ile senkron bir alternatif akım üretilmektedir.

Tasarımı yapılan evirici devresinde, devre giriş-çıkış akımları, devrenin giriş-çıkış gerilimleri ve yarıiletken anahtarların sıcaklıkları sürekli olarak ölçülmektedir. Devrede bu beş analog değer ölçülerek, mikrodnetleyicinin AN0-AN4, ADC girişlerine uygulanmaktadır. Yazılan ADC altyordam programları yardımıyla, bu analog değerler, mikrodnetleyici yardımı ile sayısal değerlere dönüştürülmektedir. Bu işlemi yapabilmek için, öncelikle mikrodnetleyicinin ADC portlarının tanımlanması gerekmektedir. Aşağıda yazılan kod, bu işlemi yapmaktadır.

```
void initADC( int amask)
{
    AD1PCFG = amask;
    AD1CON1 = 0x00E0;
    AD1CSSL = 0;
    AD1CON2 = 0;
    AD1CON3 = 0x1F3F;
    .
    .
}
```

Daha sonra, okuma yapacak her bir analog kanalın, sırasıyla belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlem aşağıda verilen alt yordam programı ile yapılabilir.

```
int readADC( int ch)
{
    AD1CHSbits.CH0SA = ch;
    AD1CON1bits.SAMP = 1;
    .
    .
}
```

Bundan sonra, her bir analog kanalın girişindeki analog değerin okunması gerekir.

```
initADC(AINPUTS);
while(1)
{
    a=readADC(VIN);
    .
    .
    {
```

Bu işlem, yazılan kaynak kodunda, toplamda beş kez yapılarak, devrede ölçülen analog değerlerin, sayısal değerlere dönüştürülmesi tamamlanmış olur. Daha sonra, ADC portlarıyla dijitize edilen girişler, karşılaştırma ve değerlendirme yapılacak olan, alt yordam programları çalıştırılır.

Bir sonraki adımda devrede, şebekeden örnek alan ve şebeke gerilimini takip eden, interrupt (kesinti) alt yordam programı çalıştırılır. Tasarlanan evirici devresinde, şebeke geriliminden küçük bir trafo yardımı ile örnek alınmaktadır. Şebekeden bu örnek, bir sıfır geçiş devresine uygulanmaktadır. Bu devre yardımı ile elde edilen işaretler, mikrodenetleyicinin interrupt girişine (INT1) uygulanmaktadır. Bir interrupt alt yordam programı yardımı ile PWM alt yordam programı çalıştırılmaktadır. Böylece bu devre vasıtasıyla, PWMH ve PWML sinyalleri oluşturulmaktadır. Böylece şebeke gerilimi, her an takip edilmektedir.

```
void __ISR(_EXTERNAL_1_VECTOR, ipl7) _INT1Interrupt(void)
{
    IFS0bits.INT1IF = 0;
    .
    .
}
```

Yazılan kodda öncelikle, interrupt önceliği belirlenmiştir. Daha sonra, interrupt bayrağı önce disable, sonra enable edilmiştir.

```
INTEnableSystemMultiVectoredInt();

PORTSetPinsDigitalIn(IOPORT_D, BIT_0);

IEC0CLR = 0x00008000;
INTCONCLR = 0x00000008;
IFS0CLR = 0x00008000;
IEC0SET = 0x00008000;

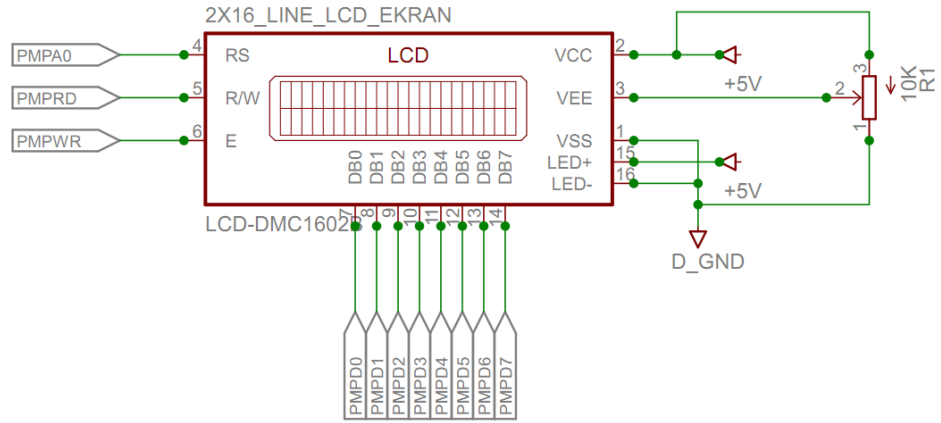
mPORTDSetPinsDigitalOut(BIT_0);
```

İnterrupt (kesinti) altıyordam programı, daima şebeke geriliminin ilk yükselen kenarına göre tetiklenmekte ve şebeke gerilimini takip etmektedir. İlk yükselen kenar geldiğinde, interrupt üretilmekte ve sonra PWM üreten altıyordam programını çalıştırmaktadır.

3.6.7 Eviriciye LCD Bağlanması

Tez çalışması esnasında, geliştirilen dsPIC795F512L tabanlı mikrodnetleyici kartına bir adet, 2X16 karakter HD44780 LCD devresi bağlanmıştır. Böylece, evirici çıkışındaki gerilim değeri ve çalışma frekansı görüntülenebilmektedir. LCD, ASCII kodundaki karakterleri kabul etmektedir. LCD'nin kontrol sinyalleri, F portundan gönderilmekte ve buradan kontrol edilmektedir. Data bitleri, mikrodnetleyicinin E portundan gönderilmektedir. LCD'ye herhangi bir komut göndermek için, RS pini "0"a çekilmektedir. LCD'ye data göndermek için ise RS pini "1"e çekilmektedir. Her düşen kenarda, bilgi tutulmakta ve LCD'de görüntülenmektedir. DsPIC795F512L mikrodnetleyicisinde, bu tip LCD ekranları sürebilmek için bir port yetmemekte, bunun yerine Parellel Master Port'u (PMP) kullanılmaktadır. Bu port, kullanıcıya kod yazmak ve LCD'yi sürmek için büyük kolaylık sağlamaktadır. Tez çalışması kapsamında geliştirilen LCD devresi Şekil 3.35'de görülmektedir.

DsPIC795F512L mikrodnetleyicisi2nin 2X16 karakter HD44780 LCD devresini kontrol etmesi için, bir alt yordam (subroutine) programı yazılmıştır.



Şekil 3.35 LCD devresi

Yazılan alt yordam programında öncelikle, paralel master portu (PMP), oku-yaz (RD/WR) pini ve enable (E) pinleri tanımlanmıştır.

```
void initLCD( void)
{
    PMCON = 0x8303;
    PMMODE = 0x3FF;
    PMAEN = 0x0001;
    T1CON = 0x8030;
    TMR1 = 0; while( TMR1<12000);
    .
    .
}
```

Daha sonra, LCD'ye yazılacak karakterlerin okunması gerekmektedir. Bu işlem aşağıdaki kod parçacığı ile yapılmıştır.

```
char readLCD( int addr)
{
    int dummy;
    while( PMMODEbits.BUSY);
    PMADDR = addr;
    dummy = PMDATA;
    .
    .
}
```

Bundan sonra, okunan karakterlerin, LCD'ye yazdırılması işlemi gerekmektedir. Bu işlem, aşağıda verilen komut satırları ile yapılabilir.

```
void writeLCD( int addr, char c)
```

```

    {
        while( busyLCD());
        while( PMMODEbits.BUSY);
        .
        .
    }
    initLCD();
    putsLCD( "Vout= ");
    .
    .
}

```

En son olarak, yazılan bu kod parçacığı mikrodnetleyiciye gömülür. Böylece, evirici çıkış gerilimi ve frekansının görüntülenmesi sağlanmış olur.

3.7 Yazılım

DSP tabanlı sistemlerin kullanımının en büyük avantajı, tüm kontrol sisteminin tasarımında, esneklik sağlamalarıdır. Örneğin DSP tabanlı mikrodnetleyiciler, kompleks fonksiyonlar nedeniyle, analog devrelerle karşılaştırıldığında, yazılım ve donanım olarak daha hızlıdır. Yazılımların esnek olması çoğu zaman, donanımda çok küçük değişiklikler gerektirmektedir. Çoğu kez, donanım yazılım tarafından belirlenmektedir ve bu durum, devrenin fiyatlarını düşürdüğü gibi, güvenilirliği de arttırmaktadır. (Salam ve Salim, 2001).

3.7.1 SPWM Sinyallerinin Üretilmesi

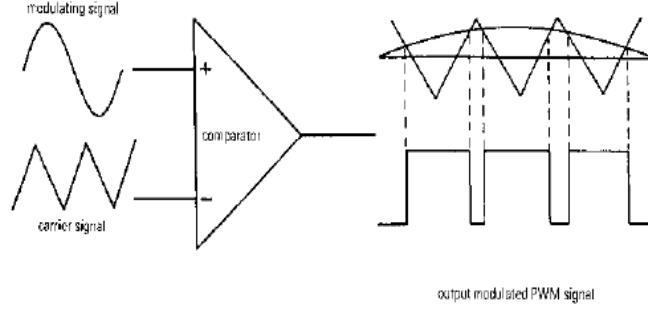
PWM modülasyon tekniğinde, yüksek frekanslı bir sinyal, spesifik bir sinüs işareti ile karşılaştırılır. PWM sinyallerini üretmek için taşıyıcı işaret, genelde bir üçgen dalgadır. Bu, sistemdeki gürültüyü, akımdaki dalgalanmayı ve harmonik distorsiyonunu azaltır. Bu sinüsoidal işaret, bir üçgen dalga ile karşılaştırıldığında, SPWM darbeleri elde edilir (Hassain vd., 2007). Şekil 3.36'da bir SPWM modüleli işaretin nasıl elde edildiği prensip şeması ve çıkış dalga şekli görülmektedir.

Bu durumda,

$$V_m > V_c \Rightarrow \text{pozitif alternans için SPWM}$$

$$V_m < V_c \Rightarrow \text{negatif alternans için SPWM}$$

olur.



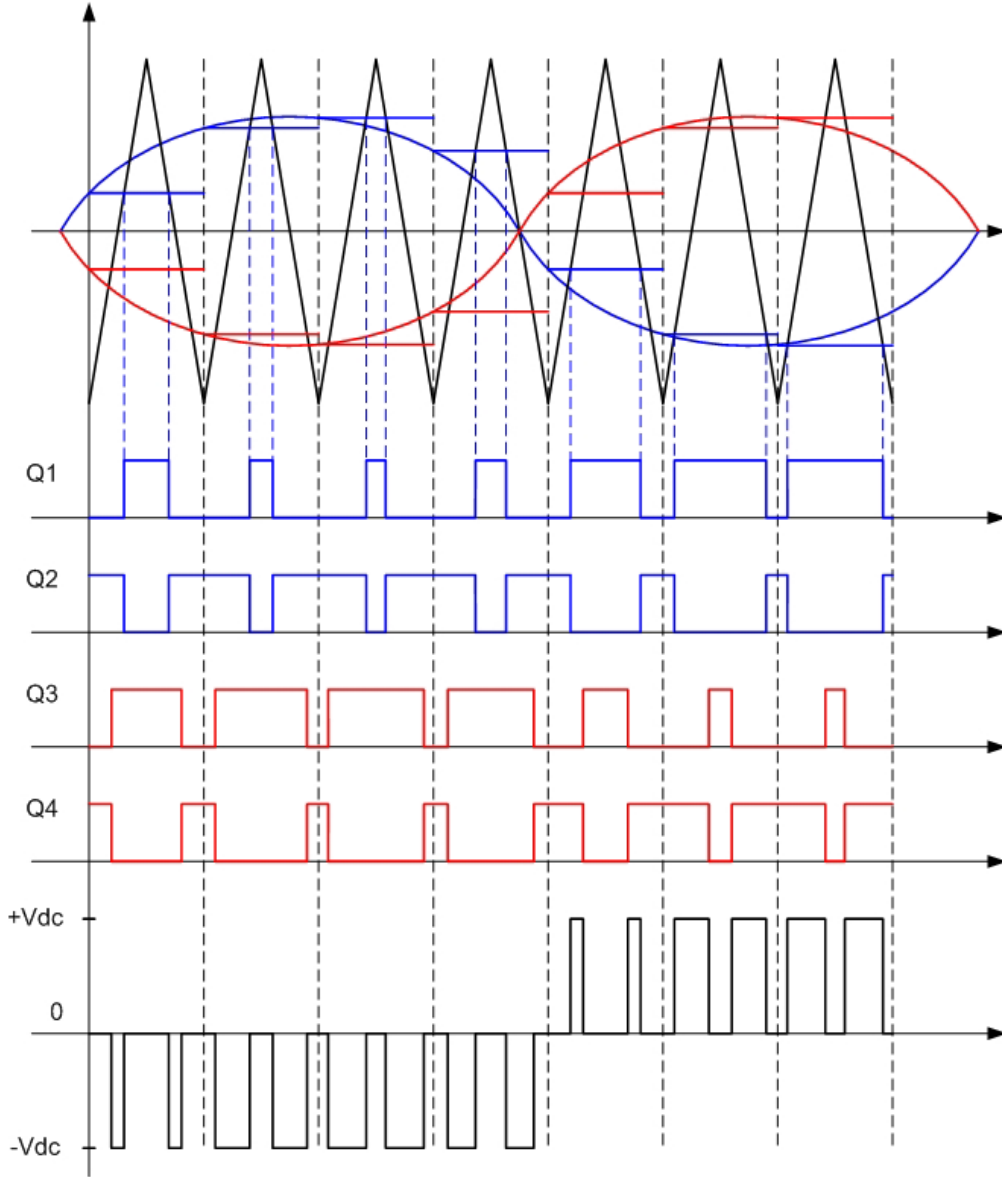
Şekil 3.36 SPWM modüleli dalga şekillerinin elde edilmesi

Böylece elde edilen SPWM işaretleri, H-köprü devresini sürmek için kullanılır. Her yarım periyotta, referans işaretinin sıfır geçişlerinde, SPWM işareti değiştirilerek ters polaritede, H-köprü devresine uygulanmaktadır. Şekil 3.37’de elde edilen SPWM gerilim darbe şekilleri görülmektedir (Prasad ve Nagaraj, 2008; Shepherd ve Zhang, 2004).

Sayısal SPWM yönteminde, mikrodnetleyiciler SPWM modüleli işaretleri üretmek için kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, SPWM sinyallerini üretmek için dsPIC795F512L mikrodnetleyicisi kullanılmıştır. DsPIC işlemci 32-bit bir mikrodnetleyici olup, yüksek yoğunluklu bir gömülü sisteme sahiptir. Ayrıca, C-32 komut setine sahiptir. DSP işlemci, beş adet PWM kayıtcısına sahiptir ve bu uygulama için gerekli kontrol fonksiyonlarına içermektedir. Flash belleğe sahip, 32-bit CPU ile dsPIC mikrodnetleyici oldukça esnek, ucuz ve gömülü kontrol uygulamalarına olanak sağlamaktadır. (Busa ve Mattavelli, 2006)

3.7.2 SPWM Sinyalinin Elde Edilmesi İçin Geliştirilen Algoritma

SPWM modüleli işaret elde etmek için, mikrodnetleyicinin PWM kayıtcısına, bazı integer değerlerin atanması gerekmektedir. Atanacak bu değerler, rastgele değerler olmayıp, ideal bir sinüs fonksiyonunun bir tam periyotta aldığı değerlere karşılık gelmelidir. Sinüs fonksiyonu, sürekli ve ortogonal bir fonksiyondur ve $(-1 \leq \sin x \leq +1)$ aralığında değerler almaktadır. Bu aralıktaki değerler, mikrodnetleyicinin PWM kayıtcısı için anlamlı değildir. Ayrıca, mikrodnetleyicinin programlanmasında, C32 dili kullanılmaktadır. C, fonksiyonel bir dildir. Bundan dolayı, $y=\sin(x)$ fonksiyonunun $(-1 \leq \sin x \leq +1)$ aralığında aldığı değerler, mikrodnetleyici için anlamlı integer değerler haline getirilebilir.



Şekil 3.37 Kapı sürme işaretlerinin elde edilmesi mantığı ve eviricinin çıkış işareti.

Bu işlem, bir algoritma geliştirilerek yapılabilir. Bu amaçla, tez çalışması esnasında SPWM işaretlerini elde etmek için, mikrodnetleyicinin PWM kayıtcısına atanacak integer değerlerini belirleyen bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritma sonuçlarını elde etmek için Excel’de bir makro yazılmıştır.

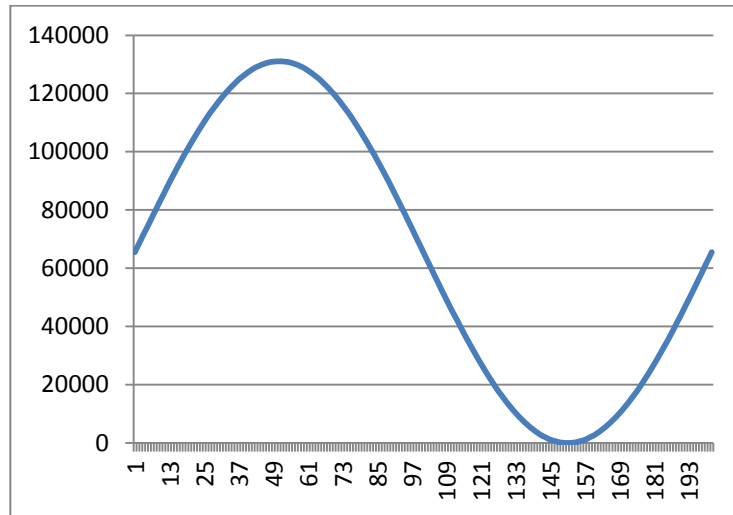
Geliştirilen algoritma yardımı ile bakma tablosuna atanacak sinüs değerleri hesaplanmaktadır. Daha sonra hesaplanan bu değerler, yazılan kaynak kodundaki bakma tablosunda yerine konmaktadır. Mikrodnetleyici için yazılan koda yerleştirilen bu bakma tablosu değerleri, daha sonra PWM

kayıtçısının içerisine atanmaktadır. Atanan bu sinüs değerleri ile mikrodnetleyicinin RD0 ve RD1 pinlerinden SPWM modüleli işaretler elde edilmektedir. Elde edilen bu işaretler daha sonra kapı sürücüleri yardımı ile H-köprü devresindeki MOSFET yarı iletken anahtarlara uygulanmaktadır.

Burada n , evirici anahtarlama frekansının f_s , temel frekansa f oranıdır.

$$n = m_f = \frac{f_s}{f} \quad (3.82)$$

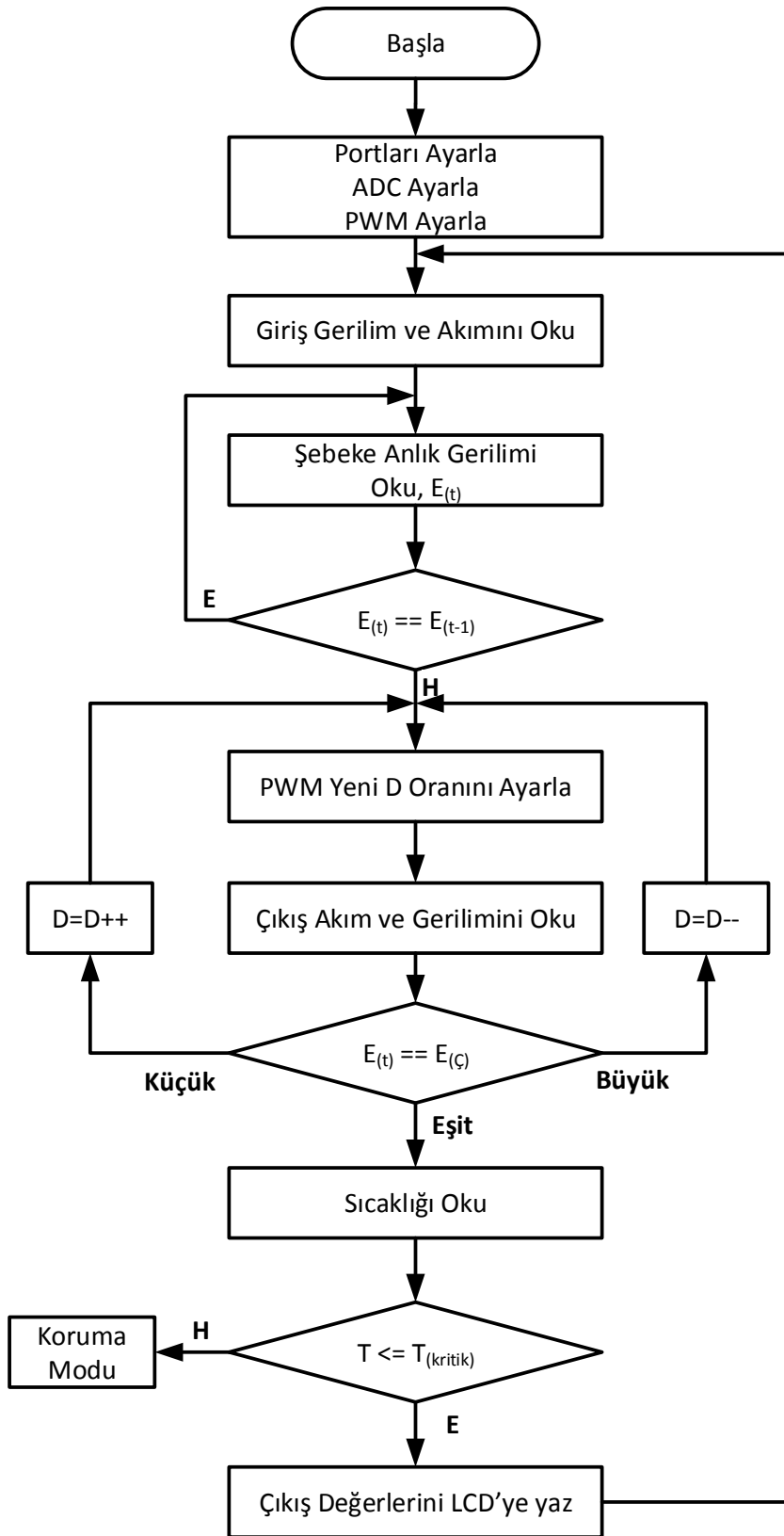
Yazılan makro sonucunda, elde edilen çıktılar yardımı ile çizilen eğrinin, gerçek sinüse benzediği görülmektedir. Çıktılar yardımıyla çizilen eğri Şekil 3.38’de görülmektedir.



Şekil 3.38 Algoritma ile elde edilen katsayılar yardımıyla çizilen eğri

3.7.3 Ölçme ve Denetim Algoritması

Mikrodnetleyici devresinden sinüsoidal PWM işaretlerini elde etmek için, bir kaynak kodu yazılması gerekmektedir. Gerekli kaynak kodunu yazmak için, Şekil 3.39’da gösterilen akış diyagramı kullanılmıştır. DsPIC32MX795F512L mikrodnetleyicisi beş adet PWM kayıtçısına sahiptir. Milrodenetleyiciden 10kHz frekansında anahtarlama sinyalleri bu PWM kayıtçıları yardımı ile üretilmektedir.



Şekil 3.39 Evirici denetim programı akış diyagramı.

PWM kayıtlarından, SPWM modüleli işaretleri üretmek için, mikrodnetleyicinin doğrudan belleğe erişim kanalları (DMA0, DMA1) kullanımı tercih edilmiştir. Bu yöntemle, CPU fazla meşgul edilmeden, PWM altıyordam programının çalışması sağlanmıştır. PWM altıyordam programında öncelikle, üretilecek PWM darbe sayısı kadar ve sinüs fonksiyonunun bir periyotta aldığı değerleri içeren integer (tamsayı) değerler, bir bakma tablosuna atanır. Bu bakma tablosundaki her bir tamsayı değer, üretilecek PWM darbesinin, pals genişliğini belirlemede kullanılmaktadır. Bu değerler, sinüs fonksiyonunun aldığı değerlere göre belirlendiğinden, sonuçta PWM kayıtlısından üretilecek işaret, sinüsoidal formda olacaktır. PWM alt yordam programında öncelikle, sinüsün değerlerine karşılık gelen integer değerler, bir bakma tablosuna yüklenir. Daha sonra kaynak kodunda, PWM kayıtlısına atanacak tam sayı değerleri boyutu ve doğrudan belleğe erişimde kullanılacak kayıtların tanımlanması yapılır.

```
#define ARRAY_SIZE      (sizeof(pwm_duty_cycles))
#define DMA0             (0)
#define DMA1             (1)
```

Bundan sonra, PWM işaretlerini üretmek için, DMA kanalları sırasıyla açılır. Önce, ilk yarım periyotu üretmek için, mikrodnetleyicinin DMA0 kanalı açılır ve bakma tablosundaki değerler PWM kayıtlısına yüklenir. Böylece, mikrodnetleyicinin RD0 pininden SPWM modüleli işaretler üretilir. Böylece sinüsün ilk yarım periyotu üretilmiş olur. Bundan sonra, mikrodnetleyicinin DMA1 kanalı açılır ve bakma tablosundaki değerler, PWM kayıtlısına yeniden yüklenir. Böylece, mikrodnetleyicinin RD1 pininden, SPWM modüleli işaretler elde edilir. Böylece, sinüsün ikinci yarım periyotunda üretilmiş olur. Bu iki doğrudan belleğe erişim kanalı sayesinde, sinüsün bir periyot boyunca tüm SPWM modüleli işaretler elde edilmiş olur. Kaynak kodundaki program parçacığı aşağıdadır.

```
DmaChnOpen(DMA0, 0, DMA_OPEN_CHAIN_LOW);
.
.
OpenOC1(OC_ON | OC_TIMER_MODE16 | OC_TIMER3_SRC |
OC_PWM_FAULT_PIN_DISABLE, 0,0);

T3CON=0x0000;
TMR3=0x0000;
OpenTimer3(T3_ON, 0x2000);
.
.
INTEnableSystemMultiVectoredInt();
```

```
DmaChnEnable (DMA0) ;
```

Kaynak kodunda, doğrudan belleğe erişim kanallarını kontrol etmek için, mikrodnetleyicide bir zamanlayıcının (timer) kurulması gerekmektedir. Bu çalışmada, DMA kanallarını kontrol etmek için, mikrodnetleyicinin üç nolu zamanlama kayıtçısı (Timer3) kurulmuştur. Tasarımı yapılan evirici devresinde, anahtarlama frekansı 10kHz'dir. Timer3, her 100usn'de bir interrupt üretmektedir. Bu esnada, bakma tablosundan bir değer alınarak, PWM kayıtçısının içine atılmaktadır. Böylece, PWM kayıtçısından (RD0 ve RD1 pinlerinden), SPWM modüleli işaretler elde edilmektedir.

3.7.4 Gerilimin Oransal İntegral (PI) Denetimi

Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) veya Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (SPWM) tekniği ile çalışan, gerilim kontrollü eviricilerde oransal integral (PI) kontrol yöntemi, çok sık kullanılan bir yöntemdir. Bir başka deyişle, çıkışta istenen formda bir çıkış gerilimi elde etmek için, devrenin anahtarlama frekansı sabit olmalı ve bu değer devrenin çıkış frekansından bağımsız olmalıdır. Bu durum, ancak oransal integral kontrol (PI) yöntemi kullanılarak sağlanabilir.

Oransal integral kontrol yönteminin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Sabit evirici anahtarlama frekansı
- Anlık kontrol ve çıkışta istenen dalga şekli

Evirici çıkışına bir yük bağlanır ve yük üzerindeki çıkış gerilimi bir sensör yardımı ile okunur. Okunan bu değer bir karşılaştırıcıya geri beslenir ve burada yük çıkışı üzerindeki referans işareti ile karşılaştırılır. Böylece bir hata hata sinyali üretilir. Bu anlık hata, oransal integral (PI) kontrole geri beslenir. Oransal integral kontroldeki integral terimi, referans gerilimi ile gerçek gerilim arasındaki anlık hatayı azaltarak, izlemeyi iyileştirir.

3.7.5 Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD)

Evirici tabanlı hibrid sistemler, enterkonnekte elektrik güç sistemlerine bağlanır iken, çıkış harmonikleri IEEE-1547 Standartlarını sağlamalıdır. Hibrid

sistemlerin, günümüzde elektrik güç üretiminde önemi gittikçe artmaktadır. Hibrid sistemler yakıt hücresi, rüzgar türbini, mikro gaz türbini ve fotovoltaik diziler içeren ve son tüketiciye hizmet eden küçük ölçekli elektrik üreteçleridir. Şebekeye bağlı rüzgar türbinleri veya fotovoltaik diziler, bir DC-AC evirici içerirler ve bu eviriciler sistemdeki dc gücü, ac güce dönüştürürler. Rüzgar türbini güç sistemlerinde, rüzgarın zamana bağlı olarak rastgele değişiminden dolayı, elde edilen gerilimin frekansı ve genliği değişkendir. Bu yüzden, rüzgar türbini jeneratörlerinden elde edilen ac gerilim dc gerilime çevrilir. Daha sonra bu dc gerilim, bir evirici yardımı ile tekrar ac gerilime çevrilir.

Hibrid sistemler, ulusal enterkonnekte elektrik şebekesine bağlanır iken, bazı tavsiyelere uymak durumundadırlar. Güç kalitesi bu parametrelerden en önemlilerinden biridir. IEEE 1547 Standartları, şebekeye bağlı sistemlerde harmonik akımlarının değerlerini belirlemektedir. Aşağıda Çizelge 3.2’de harmoniklerin bulunması gereken sınırlar görülmektedir.

Çizelge 3.2 Maksimum Harmonik Distorsiyonu (IEEE 1547)

Tek harmonikler	$h < 11$	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$35 < h$	THD
%	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

Tasarlanan evirici devre çıkışındaki toplam harmonik distorsiyonu, %2.67 olarak bulunmuştur.

Evirici tabanlı hibrid sistemlerde, güç kalitesi büyük ölçüde eviricinin kontrol performansına bağlıdır. Darbe Genişlik Modülasyon (PWM) tekniği, gerilim kaynaklı eviricileri kontrol etmek için kullanılan çok popüler bir tekniktir.

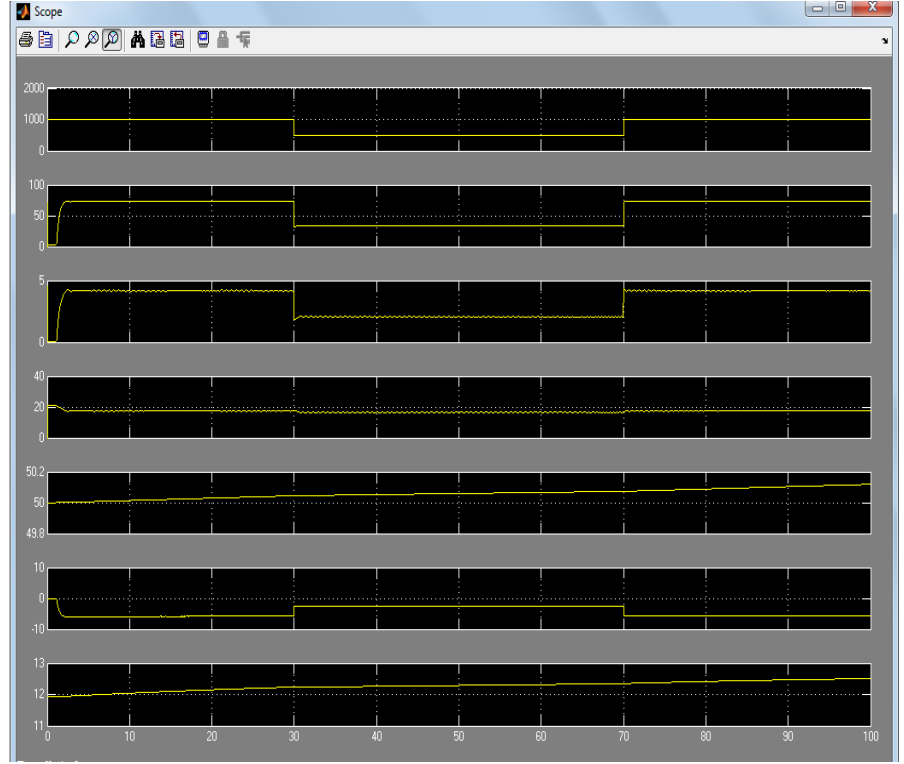
4 BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde kurulu bulunan PV ve rüzgar türbininden oluşan Hibrid enerji sisteminde kullanılmak üzere bir tek fazlı gerilim kaynaklı evirici tasarlanmıştır. Öncelikle eviriciyi kontrol edecek, mikrodnetleyici kartı tasarlanmıştır. Daha sonra tek fazlı gerilim kaynaklı eviricinin güç katında kullanılacak olan H-köprü devre tasarlanmıştır. Evirici çıkışında temel ac bileşeni süzecek ve temel bileşenin elde edilmesine olanak sağlayan süzgeç devresi tasarlanmıştır. Tez kapsamında geliştirilen evirici hem şebekeye paralel hem de şebekeden bağımsız olarak çalıştırılmıştır.

Tez çalışmasının bu aşamasından sonra, geliştirilen devrede dc giriş gerilimini, dc giriş akımını, ac çıkış gerilimi, ac çıkış akımını ve yarı iletken anahtarların sıcaklıklarını ölçmek için devreler tasarlanmış ve bu analog bilgilerin mikrodnetleyicinin ADC girişlerine uygulanması sağlanmıştır. Bundan başka, geliştirilen evirici devresinin şebeke ile paralel çalışması istenmektedir. Bunun için şebekeden örnek alan ve bunu mikrodnetleyicinin interrupt girişlerine uygulayan devre tasarlanmış ve montajı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra evirici çıkışına rezistif yükler bağlanmıştır. Devrelerin sorunsuz çalıştığı tespit edilmiştir. Gerekli ölçümler alınmıştır.

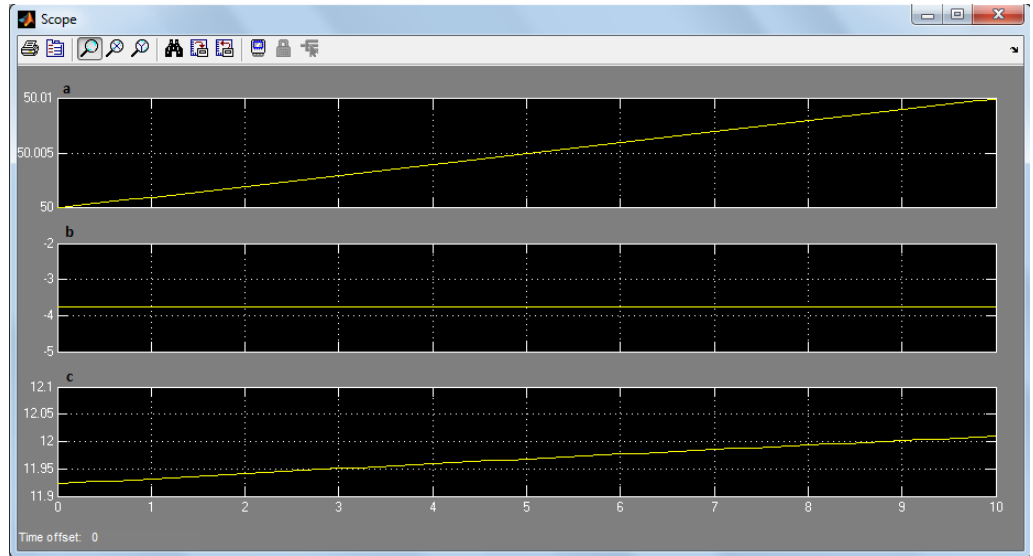
4.1 Simulasyon Sonuçları

Bu çalışmada OST-80 fotovoltaiik panel ile küçük güçlü bir rüzgar türbininden oluşan hibrid enerji sistemi için bir Matlab Simulink modeli geliştirilmiştir. Fotovoltaiik panel için geliştirilen Matlab Simulink modelinin simulasyon sonucu elde edilen sonuçlar Şekil 4.1’de görülmektedir. Bu simulasyon modeli güneş pilinin eşdeğer devresi, MPP algoritması, bir dc-dc dönüştürücü ve bir akü grubundan oluşmaktadır. Simulasyon sayesinde MPP kontrol algoritması gerçekleştirilmekte ve bir dc-dc dönüştürücü devrede yer almaktadır. Devrenin çıkışında ise güneş panellerinden elde edilen enerji bir kurşun-asit akü grubunun şarj edilmesinde kullanılmaktadır.



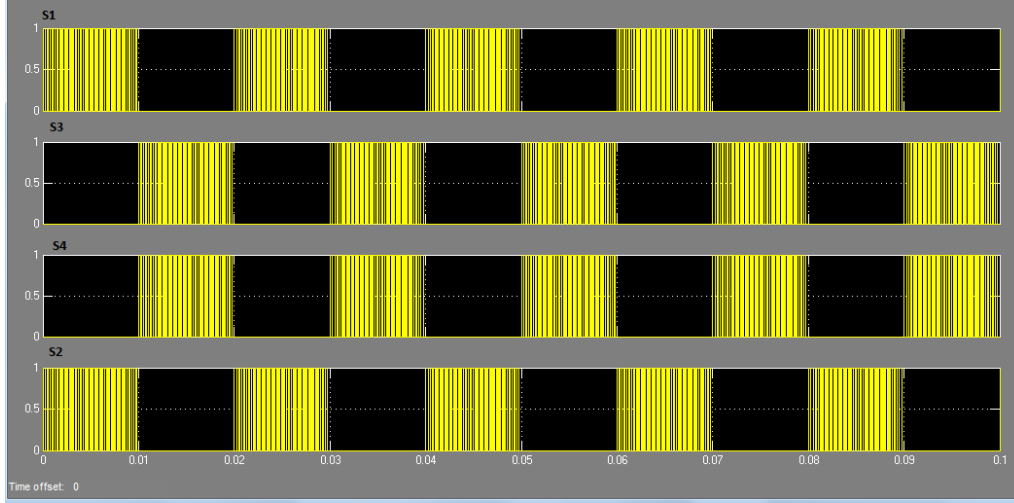
Şekil 4.1 PV sistemin simülasyon sonuçları. a) güneş ışığı şiddeti b) pv panel çıkış gücü c) pv panel çıkış akımı d) pv çıkış gerilimi e) batarya şarj olma yüzdesi f) batarya akımı g) batarya şarj gerilimi

Rüzgar türbini için geliştirilen Matlab Simulink modeli için simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar Şekil 4.2’de görülmektedir.



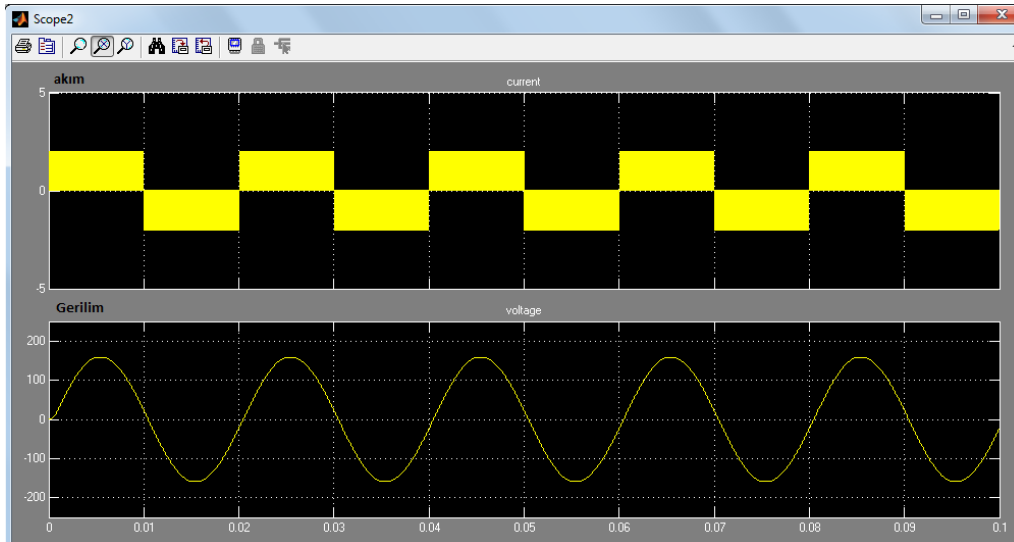
Şekil 4.2 Rüzgar türbini simülasyon sonuçları a) batarya şarj olma yüzdesi b) batarya akımı c) batarya şarj gerilimi

Daha sonra pv panel ile rüzgar türbini birlikte bağlanarak bir hibrid sistem elde edilmiştir. Hibrid enerji sistemi çıkışına bir evirici devresi bağlanmıştır. Şekil 4.3’de Matlab Simulinkte elde edilen SPWM modüleli anahtarlama sinyalleri görülmektedir.



Şekil 4.3 Matlab Simulink modeli ile elde edilen SPWM modüleli anahtarlama darbeleri

Şekil 4.4’de ise çıkışına bir LC filtresi bağlanmış olan evirici devresinin Matlab Simulink modelinde devre çıkışındaki akım ve gerilim dalga şekilleri görülmektedir.

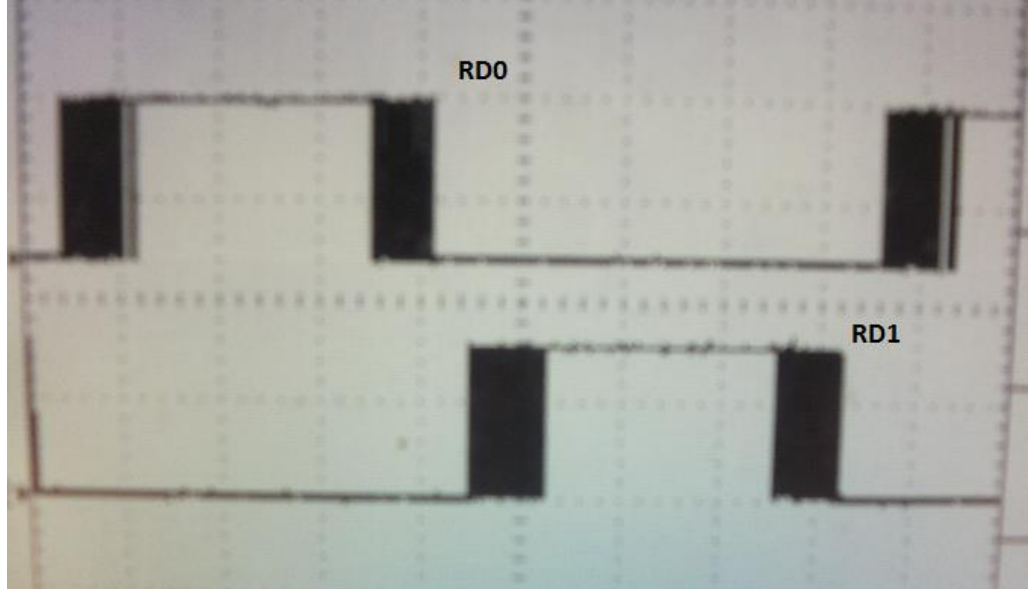


Şekil 4.4 LC filtre bağlı evirici çıkışındaki akım ve gerilim dalga şekilleri

Bu tez çalışması kapsamında, fotovoltaik ve rüzgar türbininden oluşan dağıtılmış hibrid güç sistemi ile tasarımı yapılan evirici sistemin simülasyonları Matlab Simulinkte tasarlanmış ve sonuçlar sunulmuştur. Tüm bu konular önceki bölümlerde ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır.

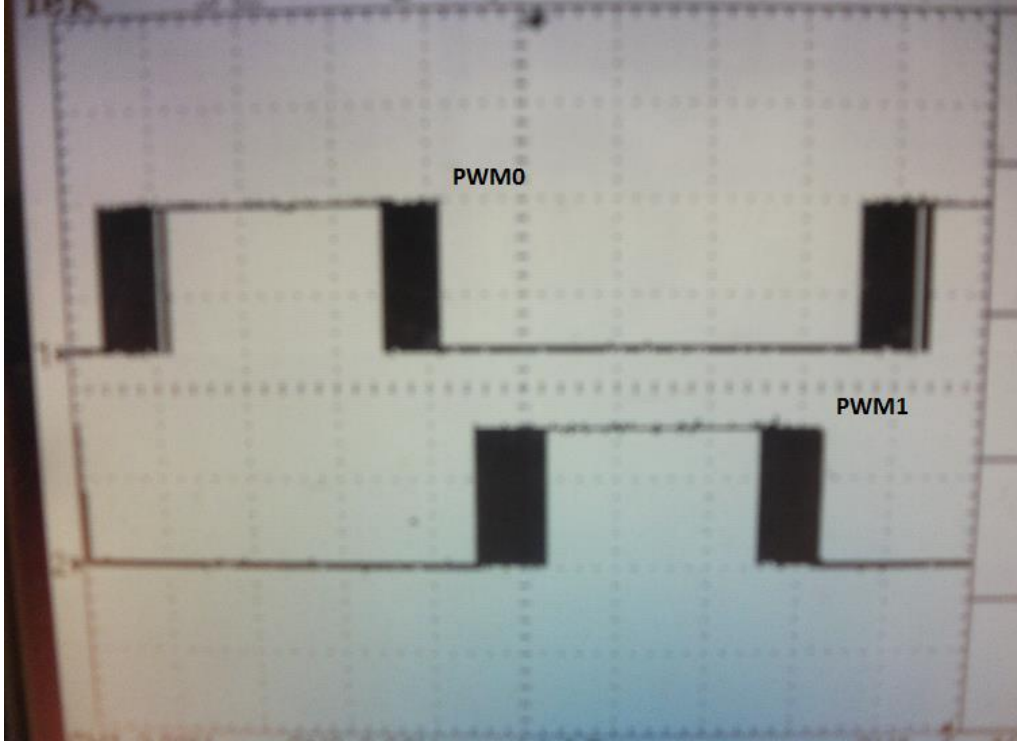
4.2 Deneysel Sonuçlar

Bu tez çalışmasında bir tek fazlı laboratuvar tipi evirici kontrol uygulaması için DSP tabanlı dsPIC795F512L mikrodnetleyicisi kullanılarak tasarlanmış ve başarıyla test edilmiştir. Evirici devresi dört adet MOSFET yarı iletken anahtar, optik iletici ve kapı sürücüleri içermektedir. H-köprü devresindeki uygulama için STP75NF75 tipi MOSFET kullanılmıştır. Ayrıca çok hızlı optokuplörler ve TTL kapı devreler kullanılmıştır. Güç MOSFET'lerini anahtarlama frekansı 10kHz ve evirici çıkış frekansı 50Hz'dir. Geliştirilen bu modeldeki prensipler, ileride UPS tasarımında, tek fazlı indüksiyon motor uygulamalarında, şebekeden bağımsız çalışan kırsal alandaki AC enerji gereksinimlerinde ve şebeke bağlantılı hibrid güç sistemlerinde başarılı bir şekilde kullanılabilir. Tektronix marka, bir dijital osiloskop, deney sonuçlarını ölçmek ve gözlemlemek için kullanılmıştır. DSP tabanlı mikrodnetleyicinin çıkış portlarında görülen işaretler Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4.5 DSP tabanlı mikrodnetleyicinin çıkışlarında elde edilen SPWM sinyalleri CH1 RD0 [2V/div], [2,5ms T/div] CH2 RD1 [2V/div],[2,5ms T/div]

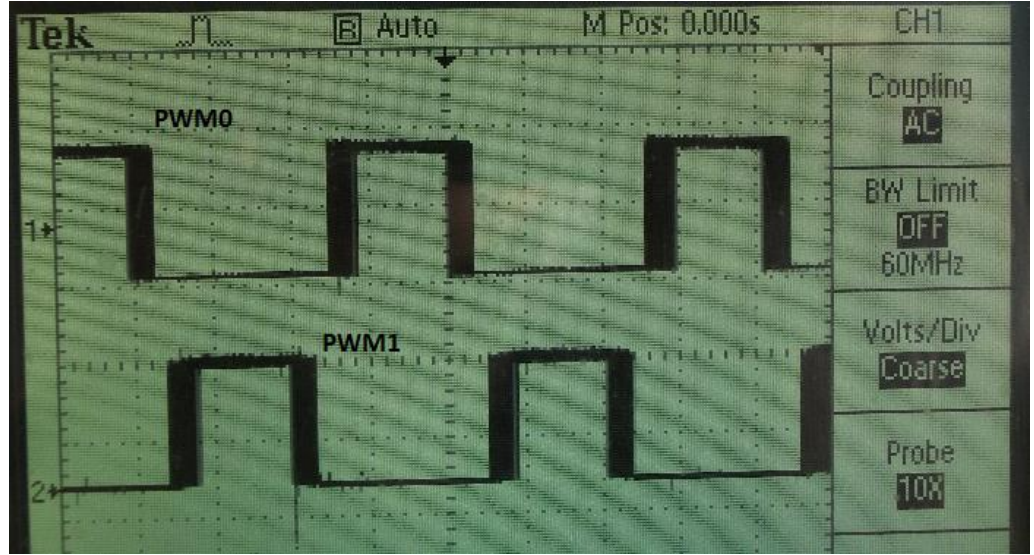
RD0 kapısındaki SPWM0 işareti, mikrodenetleyicinin port1.7 çıkışında, RD1 kapısındaki SPWM1 işareti ise port1.6 çıkışından elde edilmektedir. SPWM0 sinyali elde edildikten yarım periyot sonra SPWM1 işareti elde edilmektedir. Tasarlanan evirici devresinde, optik iletici entegrenin çıkışlarında görülen PWM0 ve PWM1 işaretleri Şekil 4.6’da görülmektedir.



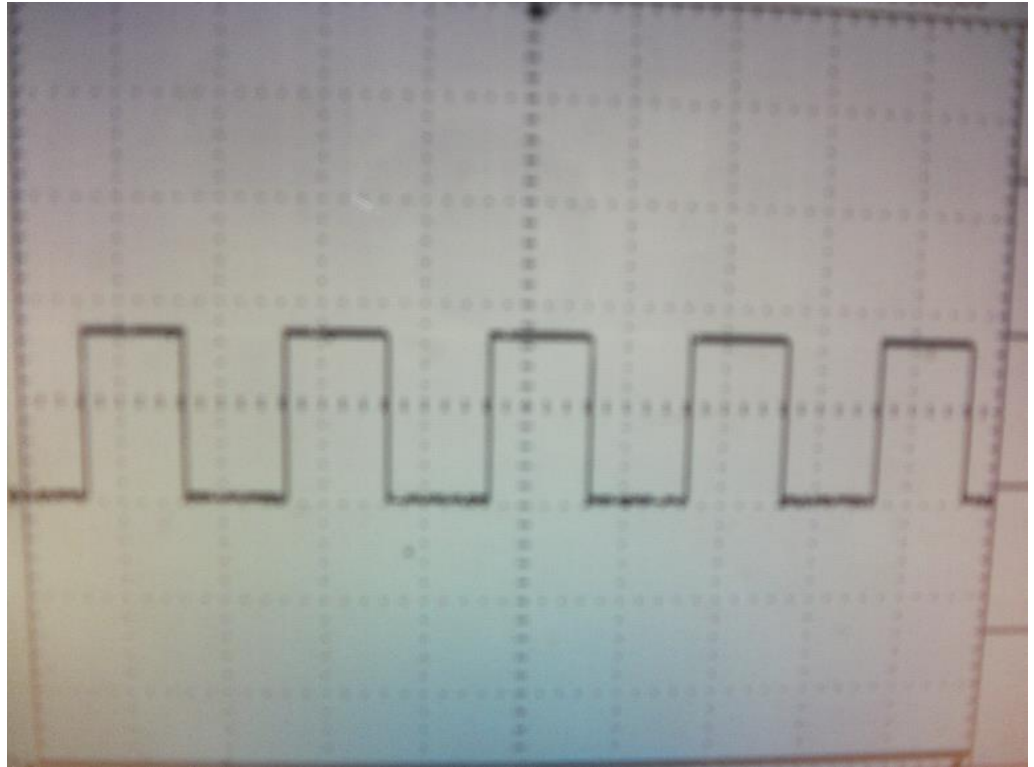
Şekil 4.6 Optik iletici çıkışındaki PWM işaretleri CH1 PWM0 [2V/div],[2,5ms T/div], CH2 PWM1 [2V/div],[2,5mc T/div]

Tasarımı yapılan evirici devresindeki, kapı sürücü entegrelerin çıkışlarında görülen PWM0 ve PWM1 işaretleri Şekil 4.7’de görülmektedir.

Geliştirilen evirici devresi hem şebekeye paralel, hem de şebekeden bağımsız olarak çalışabilmektedir. Evirici’nin şebekeye paralel çalışabilmesi için, devrede şebekeden örnek alınması ve alınan bu örneğin interrupt girişlerine uygulanması gereklidir. Geliştirilen devrede şebekeye paralel çalışmayı sağlamak için üretilen interrupt darbeleri Şekil 4.8’de görülmektedir.

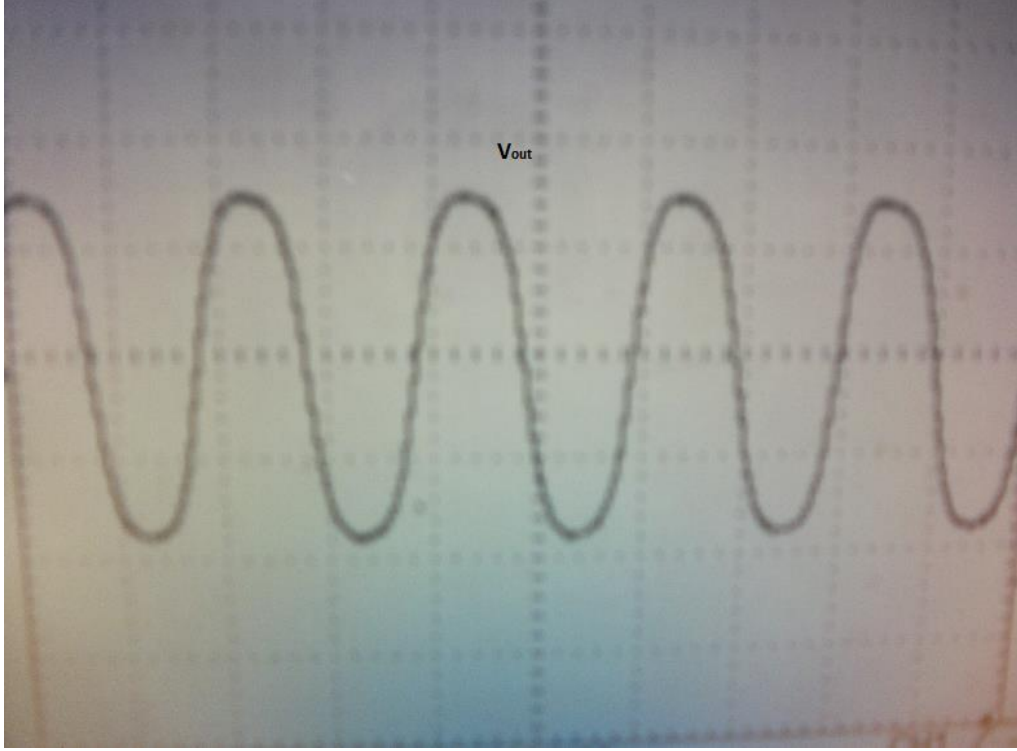


Şekil 4.7 Kapı sürücü çıkışlarında elde edilen PWM0 ve PWM1 işaretleri CH1
PWM0 [10V/div],[5ms T/div], CH2 PWM1 [10V/div],[5ms T/div]



Şekil 4.8 DSP Tabanlı mikrodeneleyiciye uygulanan interrupt darbeleri CH1
[2V/div],[10ms T/div]

Tasarlanan evirici devresinin çıkışına bir LC filtre devresi bağlanmıştır. Evirici çıkışına bağlı LC filtre devresi çıkışında elde edilen işaretler Şekil 4.9’da görülmektedir.



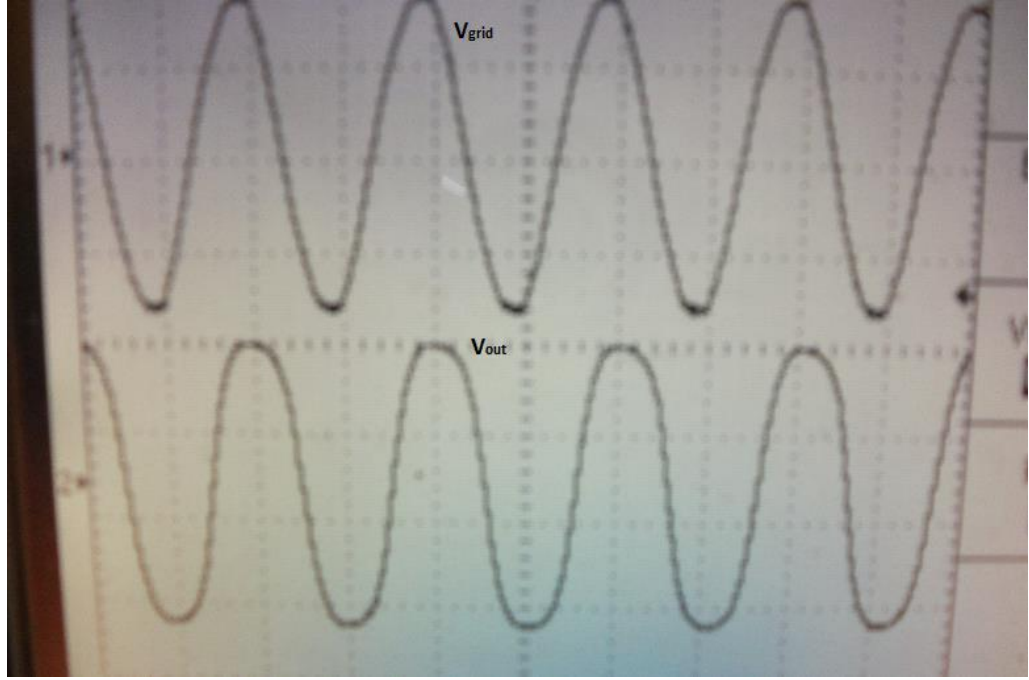
Şekil 4.9 LC filtre devresi çıkışında elde edilen işaretler CH1 Vout
[50V/div],[10ms T/div]

Şebeke gerilimi ile evirici çıkış gerilimi arasındaki ilişki Şekil 4.10’da görülmektedir. Şekilde, üstte şebeke gerilimi, alta ise inverter devre çıkışındaki sinüsoidal formdaki işaret görülmektedir.

dsPIC795F512L mikrodnetleyicisi tarafından üretilen SPWM işaretlerinin genliği 3V3’tür. Üretilen bu işaretler önce optokuplör devresine, ardından kapı sürücü devrelerine uygulanmaktadır. Bundan sonra H – köprü devresindeki yarıiletken şalterlere uygulanmaktadır. Evirici çıkış geriliminin frekansı 50Hz’dir. Bu frekans, şebeke gerilimi frekansına eşit bir frekanstır. Tek fazlı tam köprü eviricinin çıkış gerilimi 48V’tur. Bu değer, devre girişindeki DC baradaki gerilim değerine eşittir.

Bu tez çalışmasında ana amaç, dsPIC tabanlı mikrodnetleyici kullanarak, hem şebekeye bağlı, hem de şebekeden bağımsız olarak çalışabilen

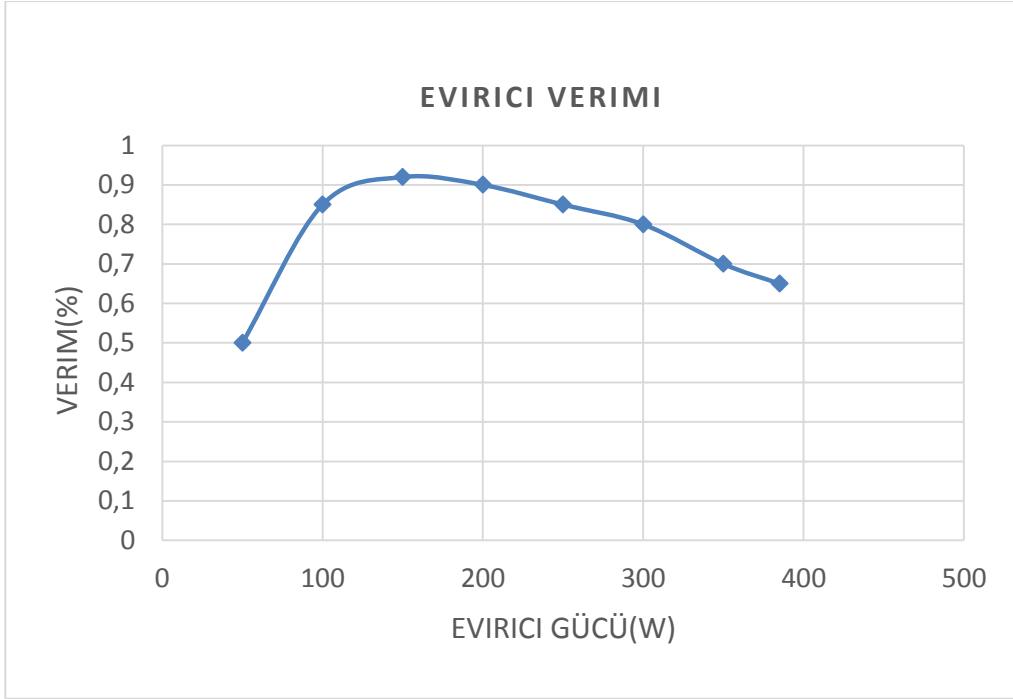
bir tek fazlı tam köprü evirici için kontrol devresi geliştirmektedir. Simulasyon sonuçları ile deneysel sonuçların birbiri ile uyum içinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.10 Şebeke gerilimi ile evirici geriliminin karşılaştırılması CH1 Vgrid [50V/div],[10ms T/div], CH2 Vout [50V/div],[10ms T/div]

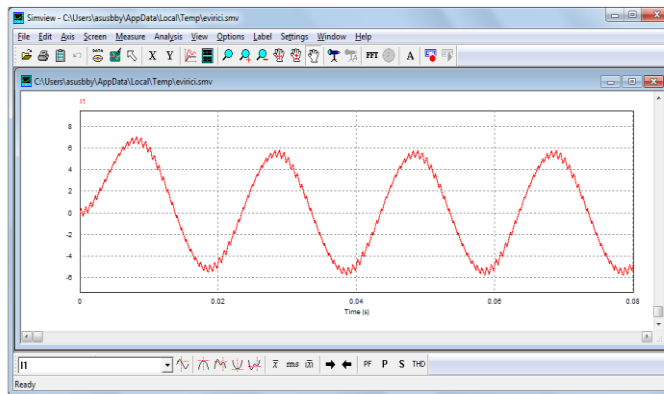
Evirici çıkış geriliminin frekansı 50Hz olup, THD'nu %2,67 olduğu bulunmuştur. Eviriciyi kontrol etmek için SPWM metodu kullanılmıştır. Kontrol devresinde Microchip firmasının dsPIC795F512L mikrodeneleyicisi kullanıldığından, evirici kontrol devresinde minimum sayıda devre elemanı kullanılmıştır. Mikrodenetleyici devresi yardımı ile, donanımda herhangi bir değişiklik yapılmaksızın frekans modülasyon oranı, ölü zaman periyodu kolaylıkla yazılım tarafından kontrol edilebilmektedir

Tasarlanan evirici devrenin verim eğrisi Şekil 4.11'de görülmektedir. Tasarlanan evirici devresinde maksimum verimin %92 olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada OST-80 fotovoltaik panel ile küçük güçlü bir rüzgar türbininden oluşan hibrid enerji sistemi için bir Matlab Simulink modeli geliştirilmiştir. Fotovoltaik panel için geliştirilen Matlab Simulink modeli güneş pilinin eşdeğer devresi, MPPT algoritması, bir dc-dc dönüştürücü ve bir akü grubundan oluşmaktadır. Simulasyon sayesinde MPPT kontrol algoritması ve bir dc-dc dönüştürücü devrede yer almaktadır.



Şekil 4.11 Evirici verimi

Daha sonra rüzgar türbini modeli Matlab Simulinkte simule edilmiştir. Ayrıca evirici devrenin çıkışında filtre varken ve yok iken her iki durum içinde Matlab Simulink modelleri geliştirilmiştir. Ayrıca evirici devrenin toplam harmonik distorsiyonunu (THD) bulabilmek için PSIM simülasyonundan da yararlanılmıştır. Evirici devrenin çıkış akımı Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.12 Evirici çıkış akımı

Tasarlanan eviricide, H-köprü devresinde STB75NF75 tipi güç Mosfet’leri kullanılmıştır.

Bu çalışmada, şebekeye bağlı çalışan tek fazlı bir hibrid enerji sisteminin, şebeke kesildiğinde IEEE 1547 standartlarına göre, adalama olayının dedekte edilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu metod, aktif ve reaktif güce ve akım, gerilim değerlerine ve faz kaymalarına dayanmaktadır. Adalama olayı meydana geldiğinde, hibrid enerji sisteminin çıkışındaki evirici gerilim ve akım arasındaki faz kayması, şebeke akımı üzerinde değişimler yapmaya başlamaktadır. Bu istenmeyen adalama olayı, idealde bir periyot içerisinde (0.02s) önlenmelidir. Bu çalışmada işlemler, kaynak kodu yazılarak yapılmıştır (Atia vd., 2007; Bae vd., 2010).

Şebekeye bağlı çalışan dağıtılmış güç sistemleri için önemli konulardan biride, adalama algılama (islanding detection) kapasitesidir. Adalama olayı, elektrik dağıtım şebekesinde herhangi bir kesilme meydana geldiğinde, dağıtılmış güç sisteminin hala şebekeye enerji vermesi durumunda meydana gelir.

Adalama olayı genelde, elektrik şebeke hatlarında düşük gerilimin olduğu noktalarda meydana gelir. Adalama olayı, dağıtım şebekesinde çalışan personelin can güvenliği için, tehlike arz etmektedir. Ayrıca adalama olayı bunun yanında, sistemde güç kalitesini düşürür ve güç sisteminin güvenliği sorunlarına neden olur. Bu durumda yapılacak en önemli şey, adalama olayı meydana geldiği zaman, mümkün olduğunca hızlı bir şekilde dağıtılmış güç sistemini, şebekeden ayırmak gerekir. IEEE 1547 Standartı bize, adalama olayı dedekte edildikten maksimum 2s içinde, dağıtılmış güç sistemini, şebekeden ayırmamız gerektiğini tavsiye eder.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında bir laboratuvar tipi, Microchip firmasının dsPIC32MX795F512L tabanlı bir mikrodenetleyici kullanarak, bipolar, tek fazlı, gerilim kaynaklı evirici tasarımı gerçekleştirilmiş ve test edilmiştir. Geliştirilen evirici, hem şebekeye paralel hem de şebekeden bağımsız olarak çalışabilen, bir hibrid enerji veya dağıtılmış güç sistemi için tasarlanmıştır. Evirici devresi, dört adet MOSFET yarı iletken elemanı ve bunları anahtarlayan, sürücü devreleri içermektedir. Deneysel bulgular, simulasyon sonuçları ile uyushmaktadır. Sayısal kontrol tasarımı SPWM modüleli evirici, sistem performansı ve verimliliğinde toplam bir çözüm sağlamıştır.

Tasarlanan ve yapımı gerçekleştirilen sistem, oldukça basittir ve bu nedenle minimum donanım gerektirmektedir. DSP tabanlı mikrodenetleyicinin, çevresel elemanları timer, dma kanalları, pmp, timer, pwm registerleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmış ve SPWM işaretinin nasıl üretildiği açıklanmıştır. Hem simulasyon sonuçları, hem de deneysel sonuçlar göstermiştir ki, bu teknik ile istenen kalitede bir AC çıkış sağlanmıştır. Bu şartlar altında bu hibrid enerji güç sistemi, ev, ofis gibi küçük ölçekli sistemlere başarıyla uygulanabilir. Tasarlanan ve uygulaması gerçekleştirilen evirici sistemi, yeteri kadar kaynak sağlandığı takdirde 6000W'a kadar AC güç üretebilir. Evirici çıkış gerilimi 220V rms ve 50Hz'dir. Çıkışta 385W güç elde edilmiştir. Bipolar evirici yardımı ile, tüm AC yükler ve tek fazlı indüksiyon motorları sorunsuzca sürülebilir. Tasarlanan evirici devrenin çıkışında, toplam harmonik distorsiyonunun kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu gösterilmiştir.

Türkiye enerji sektörünün 2020 yılına kadar yatırım ihtiyacının 130 milyar dolar olacağı varsayımından yola çıkarak, bu yatırımın bir kısmının da yenilenebilir enerji kaynaklarına ve özellikle güneş enerjisine yönlendirilmesi durumunda yaratacağı istihdam etkisi hesaplanmıştır. Bu konuda; son 10 yılda büyük ilerlemeler gerçekleştirmiş dünya ülkelerinin elde ettiği istihdam sonuçları dikkate alınarak tahminler yapılmıştır. Bu tahminlerde, 2020 yılında yol haritasında hedeflenen güneş enerjisi elektrik üretim santralleri için ayrılacak 13-20 milyar dolarlık yatırım ile, yaklaşık 200.000-500.000 kişiye direkt olarak üretim, satış, proje, kurulum, servis alanlarında istihdam olanağı sağlanmış olmaktadır. TÜİK raporlarına göre 2009 sonu itibari ile üç milyon işsiz yaşayan ülkemiz için bu istihdam oranı büyük katkı anlamına gelmektedir. Mevcut endüstri alanında bir kişiye istihdam yaratmanın maliyeti

ortalama olarak 288.000 TL olan ülkemizde; en çok istihdam yaratan güneş enerjisi teknolojik alanında yatırımların yaratacağı çıg etkisi yanında, istihdam yaratma maliyetlerini ciddi şekilde iyileştirmiş olacaktır.

Yenilenebilir enerji kanunu ile oluşturulacak destekleme mekanizmaları bu etkileri hızlandıracak ve yatırımcılara güvence vermesi ile ekonomiye canlılık katacaktır.

Rüzgar türbini imalatı ile rüzgar santrallerinin kurulup işletilmesi teknoloji transferine açık bir alandır. Bu alan ayrıca istihdam anlamında da büyük bir fırsattır. Bu fırsat bundan başka, hemen hemen tüm türbin bileşenlerinin yerli olarak üretilmesi ve Türkiye'ye özgü türbin teknolojisinin geliştirilmesine yol açacaktır. Enerjide dışa bağımlılığımızı azaltacak bu yatırımlar AB süreci ile de uyumluluk göstermektedir. Yatırım teklifleri ve planlamaları da göstermektedir ki, İzmir Türkiye'nin rüzgar enerjisi üretim merkezi olmaya aday en önemli ilidir. Gaziemir Serbest Bölgesi'nde, Atatürk Organize Sanayi Bölgesi'nde mevcut türbin kanadı ve kule üretimleri ile İzmir'de üretim tesisi ve bakım şirketleri kurmaya başlayan pek çok yerli ve yabancı ortaklı şirket bunun en iyi göstergesidir.

Rüzgar potansiyeli yüksek bölgelerdeki zayıf şebekelerin güçlendirilmesi ve enerjinin güçlü tüketim noktalarına taşınması için gereken yeni iletim hatlarının yapılması bir zorunluluktur. Bağlantı noktasında kısa devre gücü limitinin %5 olması da yatırım anlamında sorunlara yol açmaktadır. Uzun sipariş sürelerinin ve finans zorluklarının, ülkemize yapılacak yatırımlarla azalacağı muhakkaktır.

Ülkemizde genel olarak yapılan çalışmalarda 8-bit mikrodnetleyicilerin kullanıldığı görölmektedir. Artık 8-bit işlemcilerin endüstriyel uygulamalarda ömürlerini tamamladığı düşünölmektedir. Günümüzde 32-bit mikrodnetleyiciler oldukça geliştirilmiş olup, bu işlemcilerin fiyat/performans bakımından 8-bit mikrodnetleyicilere kıyasla çok üstün oldukları muhakkaktır. Bundan dolayı, artık ülkemizde yapılması planlanan çalışmalarda 32-bit mikrodnetleyicilerin kullanılmasının ülkemizin bilimsel çalışmalarına, bilimsel birikimlerine ve uluslar arası arenada gelişmişlik düzeyine daha fazla katkı yapacağı düşünölmektedir. Konuya bu açıdan bakıldığında, bu tez çalışmasında kullanılan Microchip tabanlı 32-bit mikrodnetleyicinin ülkemizde bir ilk olduğu düşünölmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abubakar, A., Zarafi, A., and Abdullah, F.S.,** 2009, “ Design of FPGA Based SPWM Single Phase Inverter”, MUCEET 2009, June 20-22, Malaysia, 66-69pp.
- Akdağ, S.A. ve Güler, Ö.,** 2008, ” Weibull Dağılım Parametrelerini Belirleme Metodlarının Karşılaştırılması “, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’2008, İstanbul, 707-714s.
- Akdag, S.A. ve Dinler, A.,** 2009, “ A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications “, Energy Conversion and Management, vol.50, 1761-1766 pp.
- Akhmatov, V.,**” Induction Generators for Wind Power “, Multi-Science Publishing, 298p.
- Akkaya, R. ve Kulaksız, A.A.,** 2004, ” A microcontroller-based stand-alone photovoltaic power system for residential appliances “, Applied Energy, 78, 2004, 419-431 pp.
- Akpınar, E.K. ve Akpınar, S.,** 2005, ” An Assessment on Seasonal Analysis of Wind Energy Characteristics and Wind Turbine Characteristics “, Energy Conversion and Management, 46, 1848-1867 pp.
- Akpınar, E.K. ve Akpınar, S.,** 2005, ” A Statistical Analysis of Wind Speed Data Used in Installation of Wind Energy Conversion Systems”, Energy Conversion and Management, 46, 515-532 pp.
- Akpınar, S., ve Akpınar, E.K.,** 2009, “ Estimation of wind energy potential using finite mixture distribution models “, Energy Conversion and Management, 50, 877-884 pp.
- Alarcon, G.,** “ Non-linear Passive Control with Inductor Current Feedback for an UPS Inverter “, CENIDET, (Erişim tarihi: 30 Eylül 2009)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Apniratsakun, N., Bhaganagarapu, S.R. and Techakittiroj, K.**, 2005, “Implementation of a Single-Phase Unipolar Inverter Using DSPTMS320F241 “, AU J.T. 8(4), 191-195 pp.
- Aras, H.**, 2003, “ Wind energy status and its assessment in Turkey “, Renewable Energy, vol.28, 2213-2220pp.
- Atia, Y., Zahran, M. and Salem, M.**, 2007, “A Developed Passive Anti-Islanding Hybrid Method for Distributed PV System”, OJEEE, Vol.3, No.3
- Bae, B. Y., Jeong, J. K., Lee, J. H. and Han, B. M.**, 2010, “Islanding Detection Method for Inverter-Based Distributed Generation System Using a Signal Cross-correlation Scheme”, Journal of Power Electronics, Vol.10, No.6, 762-768pp.
- Bascope, R.P.T., Alcazar, Y.J.A., Lenz, E.C., Branco, C.G.C. and Bezerra, L.D.**, 2008, “A DC-AC Converter for Stand-Alone Systems”, POCOSDE CALDAS, Brasil
- Bilgili, M., Şahin, B. ve Şimşek, E.**, 2010, “ Türkiye’nin Güney, Güneybatı ve Batı Bölgelerindeki Rüzgar Enerjisi Potansiyeli “, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 30, 01-12s.
- Blaabjerg, F. and Chen, Z.**, 2006 “Power Electronics for Modern Wind Turbines”, Morgan & Claypool Publishers, 68p.
- Blanchi, F.D., Battista, H.D. and Mantz, R.J.**, 2007, “Wind Turbine Control Systems”, Springer, 218p.
- Bulut, A.**, 2007, “Sayısal Çözümleme”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No.268, 120s.
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N. and Bossanyi, E.**, 2001, “Wind Energy Handbook”, John Wiley and Sons Ltd, 642p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Buso, S. and Mattavelli, P.**, 2006, “Digital Control in Power Electronics”, Morgan & Claypool Publishers, 158p.
- Çetin, M. ve Eğrican, N.**, 2010 “Güneş Enerjisi:Ekonomiye ve İsdihlama Katkısı”, Solar Future 2010, 11-12 Şubat,119-121s.
- Chang, L., Guo, G. and Shao, R.**, 2007, “ Development of a 10 kW Single-Phase IGBT Inverter for grid-connected PV applications “, 2.nd Canadian Solar Buildings Conference, Calgary, June 10-14
- Chang, Y.H. and Wu, M.Z.**, 2010, “ High Conversion Ratio Switchced Capacitor Boost DC-AC Inverter Using Sinusoidal PWM Control “, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, 2010, vol.2, IMECS 2010, March 17-19, Hong Kong
- Chang, T.J., Wu, Y.T., Hsu, H.Y., Chu, C.R. and Liao, C.M.**, 2003, “ Assessment of wind characteristics and wind turbine characteristics in Taiwan “, Renewable Energy, vol.28, 851-871 pp.
- Dali, M., Belhadj, J. and Roboam, X.**, “Design of a stand-alone Hybrid Photovoltaic-Wind Generating System with Battery Storage”,(Erişim tarihi:25 Eylül 2009)
- Demirtaş, M.**, 2008, “Güneş ve Rüzgar Enerjisi Kullanılarak Şebeke ile Parelel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması”, Doktora Tezi, Gazi Üni., 211s(yayımlanmamış).
- Deshmukh, M.K. and Deshmukh, S.S.**, 2008, “Modeling of Hybrid Renewable Energy Systems”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, No.12, 235-249 pp.
- Dong, D.**, 2009, “ Modeling and Control Design of a Bidirectional PWM Converter for Single-Phase Energy Systems “ , MSc Thesis, Virginia Politechnic Institute, 114p(unpublished).

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Dorf, R. C.**, 2000, “The Electrical Engineering Handbook”, CRC Press LLC, 2800p.
- Draghiciu, N. and Albu, D.**, 2004, “ Control Strategy for a Single-Phase Uninterruptible Power Supply “, University of Oradea, Department of Electronics, Volume 45, Number 6, 603-605pp.
- Emadi, A., Khaligh, A., Nie, Z. and Lee Y. J.**, 2009, “Integrated Power Electronic Converters and Digital Control”, CRC Press, 339p.
- Engin, M.**, 2002, ”Fotovoltaik-Rüzgar Hibrid Enerji Sisteminin İzmir Koşullarında Tasarımı ve Denenmesi “, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü, Doktora Tezi, 159s(yayınlanmamış).
- Erdogdu, E.**, 2009, “ On the wind energy in the Turkey “, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.13, 1361-1371 pp.
- Eskin, N., Artar, H. ve Tolun, S.**, 2008, “ Wind energy potential of Gökçeada Island in Turkey “, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 839-851 pp.
- Esram, T. and Chapman, P.L.**, 2007, “Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.22,No.2,439-449pp.
- Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G. and Vitelli, M.**, 2013, “ Power Electronics and Control Techniques for Maximum Energy Harvesting in PV Systems”, CRC Press,355p.
- Ferreira, P.,Trindade, M.,Martins, J.S. and Afonso, J.L.**, 2003, ” Interfaces for Renewable Energy Sources with Electric Power Systems”,Environment 2010,Situation and Perspectives for the European Union, Porto,Portugal
- Fewson, D.**, 1998, “Introduction to Power Electronics”, Arnold,207p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Global Wind Istatistics, 2013, “2012”, GWEC,4p.

Görgün, T., 2010, “Uluslararası Ticaret Çerçevesinde Güneş Enerjisi Teknolojileri, Önemli Ülkeler ve Türkiye’nin Durumu”, Solar Future 2010, Bildiriler Kitabı, 184-188s.

Gupta, R. and Biswas, A., 2010, “ Wind data analysis of Silchar (Assam, India) by Rayleigh’s and Weibull methods “, Journal of Mechanical Engineering Research, vol.2(1),10-24 pp.

Güler, O., 2009, “ Wind energy status in electrical energy production of Turkey “, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.13,473-478 pp.

Gülersoy, T. ve Çetin, N. S., 2010, “Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri İçin Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması”, Politeknik Dergisi, Cilt.13, Sayı.3, 209-213s.

Gülersoy, T. ve Engin, M., 2012, “PV-Wind hybrid power system performance simulation and sizing”, 6.th International Ege Energy Symposium & Exhibition, 28-30 June, İzmir, 993-1005pp.

Hapal, P., “ Implementation of Single-Phase Inverter Using MC56F8322 DSP “, (Erişim tarihi:1 Şubat 2010)

Hassaine, L., Olias, E., Haddadi, M. and Malek, A., 2007, “Asymmetric SPWM used in Inverter Grid Connected”, Revue des Energies Renouvelables, Vol.10, No.3, 421-429pp.

Hau, E., 2006, “Wind Turbines”, Springer,792p.

Hilloowala, R. M. and Sharaf, A. M., 1996, “A Rule-based Fuzzy Logic Controller for a PWM Inverter in a Stand-alone Wind Energy Conversion Scheme”, IEEE Transaction On Industry Applications, Vol.32, No.1, 57-65pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Ilango, G. S., Rao, P. S., Karthikeyan, A. and Nagamani, C.,** 2010, “Single-stage sine-wave inverter for an autonomous operation of solar photovoltaic energy conversion system “, Renewable Energy, 35, 274-282 pp.
- İsa, M.N, Ahmad, M.I., Sohiful, A.Z. and Arshad, M.K.,** 2007, “FPGA Based SPWM Bridge Inverter”, American Journal of Applied Sciences 4,8, 584-586pp.
- Ismail, B., Miece, S.T., Saad, A.R.M., Isa, M. and Hadzer, C.M.,** 2006, “Development of a Single Phase SPWM Microcontroller-Based Inverter”, First International Power and Energy Conference, November 28-29, Malaysia, 437-440pp.
- Ismail, B., Taib, S., Isa, M., Daut, I., Saad, A.R.M. and Fauzzy, F.,** 2007, “Microcontroller Implementation of Single Phase Inverter Switching Strategies”, International Conference on Control, Cohor, May 28-29, Malaysia
- Ismail, B., Taib, S., Mohd, Saad A.R., Isa, M. and Daut, I.,** “ Development of Control Circuit for Single Phase Inverter Using Atmel Microcontroller “, (Erişim tarihi: 1 Kasım 2009)
- Kang, F.S., Park, S.J., Cho, S.E. and Kim, J.M.,** 2005, “Photovoltaic Power Interface Circuit Incorporated with a Buck-Boost Converter and a Full-Bridge Inverter”, Applied Energy, 82, 266-283pp.
- Karaca, İ. H.,** 2010, “Verimi Arttırılmış Fotovoltaik Paneller: Hibrid Panel Teknolojisi İle Elektrik ve Isı Enerjisi Üretimi”, Solar Future 2010, 108-111s.
- Karris, S.T.,** 2008, “Introduction to Simulink with Engineering Applications”, Orchard Publications, 716p.
- Kaymaz, C., Yıldırım, Taner, Tırıs, M. ve Gülbahar, L.,** 2010, “PV Üretim Teknikleri-Temel Bileşenler”, Solar Future 2010, 50-54s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Keyhani, A., Varnamkhasti, M.G., Khanali, M. and Abbaszadeh, R.,** 2010, “ An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran”, Energy , vol.35, 188-201 pp.
- Keyhani, A., Marwali, M.N. and Dai, M.,** 2010, “Integration of Green and Renewable Energy in Electric Power Systems”, Wiley,327p.
- Khaled, M.A. and Abozaed, M.E.S.,** 2010, “ Microcontroller Based Variable Frequency Power Inverter ”, IMECS 2010, March 17-19, Hong Kong
- Kim, H. and Kim, K.H.,** 2008, “Filter Design for Grid Connected PV Inverters”, ICSET 2008,1201-1206pp.
- Kjaer, S.B., Pedersen, J.K. and Blaabjerg, F.,** 2005, “ A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules “, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.41., No.5,1292-1306pp.
- Kose, R.,Ozgur, M.A., Erbas, O. ve Tugcu, A.,** 2004, “ The analysis of wind data and wind energy potential in Kutahya, Turkey “, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8, 277-288pp.
- Koutroulis, E. and Blaabjerg, F.,** 2011, “Methods for the Optimal Design of Grid-Connected PV Inverters”,International Journal of Renewable Energy Research, IJRER, Vol.1, No.2, 54-64pp.
- Koutroulis, E. and Kalaitzakis, K.,** 2006, “Design of a Maximum Power Tracking System for Wind Energy Conversion Applications”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.53, No.2, April,486-494pp.
- Koutroulis, E., Kalaitzakis, K., Chatzakis, J. and Voulgaris, N.C.,** 2001, “A Bidirectional, Sinusoidal, High Frequency Inverter Design”,IEE Proc. Elect. Power Appl., Vol.148, No.4,315-321pp.
- Kurban, M., Kantar, Y.M. ve Hocaoglu, F.O.,**”Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Araştırılmasında Weibull ve Rayleigh Dağılımlarının Kullanılması “, Anadolu Üniversitesi, (Erişim tarihi: 1 Haziran 2011)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Longatt, F.M.G.**, 2005, “Model of Photovoltaic Module in Matlab”, II CIBELEC 2005
- Manwell, J. F., McGowan, J. G. and Rogers, A. L.**, 2002, “Wind Energy Explained”, John Wiley and Sons Inc, 590p.
- Masters, G.M.**, 2004, “Renewable and Efficient Electric Power Systems”, Wiley-Interscience, 677p.
- Mazman, M., Kaymaz, C., Uzun, D., Biçer, E., Yıldız, A. ve Tırıs, M.**, 2010, “Yenilenebilir Enerji İçin Elektrik Enerjisi Depolama Teknolojileri “,Solar Future 2010, 11-12 Şubat,113-118s.
- Mekhilef, S. and Masaoud, A.**, 2006, “ Xilinx FPGA Based Multilevel PWM Single Phase Inverter “, 2006 Engineering e-Transaction, University of Malaya, Vol.1, No.2, 40-45pp.
- Microchip**, 2009, “PIC32 Peripheral Libraries for MPLAB C32 Compiler”,790p.
- Mihalache, L. and Chis, M.**, “ DSP Control Improves Inverter Performance and Density “, Power Conversion Technologies Inc., Harmony, Pa., (Erişim tarihi: 22 Ekim 2009)
- Mihalache, L.**, “ DSP Control Method of Single-Phase Inverters for UPS Applications “, Power Conversion Technologies Inc., 44-51pp.
- Millman, J. and Halkias, C. C.**, 1967, “Electronic Devices and Circuits”, McGraw-Hill Book Company, 386p.
- Mohan, N., Undeland, T.M. and Robbins, W.P.**, 1989, “Power Electronics”, John Wiley and Sons Inc., 418p.
- Myrzik, J.M.A. and Calais, M.**, 2003, “ String and Module Integrated Inverters for Single-Phase Grid Connected Photovoltaic Systems-A Review “, IEEE Bologna Power Tech Conference, June 23-26, Italy

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Nonaka, S. and Harada, K.,** 1997, “Application of Utility Interactive Photovoltaic Power Generation System for UPS”, Solar Energy Materials and Solar Cells, 47, 271-279pp.
- Ozerdem, B. ve Turkeli, H.M.,** 2005, “ Wind energy potential estimation and micrositting on Izmir Institute of Technology Campus, Turkey “, Renewable Energy, vol.30, 1623-1633pp.
- Ozerdem, B.** “ İzmir ve Rüzgar Enerjisi “, TMMOB İzmir Kent Sempozyumu, (Erişim tarihi: 1 Eylül 2010)
- Öztop, H., Varol, Y., Koca, A., Şekerci, M., Ergin, Z. ve Gürtürk, M.,** 2010, “İçerisinde Faz Değiştiren Madde Bulunan Güneş Enerjili Su Istma Sisteminin Tasarımı ve Isıl Performansının İncelenmesi”, Solar Future 2010, 88-92s.
- Palm, W.J.,** 2011, “Introduction to Matlab for Engineers”, Mc Graw Hill,577p.
- Polatkan, D.S.,** 2010, “Güneş Elektriği Sistemlerinde Türkiye İçin Öncelikler”, Solar Future 2010, 11-12 Şubat,56-59s.
- Prasad, S.A.H. and Nagaraj, R.,** 2008, “ An Efficient Method of Controlling AC Power Using DSP2407-A Controller “, IJCSNS International Journal of Cömputer Science and Network Security, Vol.8, No.9, 297-300pp.
- Qazalbash, A.A., Amin, A., Manan, A. and Khalid, M.,** 2009, “Design and Implementation of Microcontroller Based PWM Technique for Sinewave Inverter”, POWERENG 2009, Lisbon Portugal, March 18-20, 163-167pp.
- Rashid, H.M.,** 2001, “Power Electronics Handbook”, Academic Press,892p.
- Rashid, H. M.,** 2011, “Power Electronics Handbook, Devices, Circuits and Applications”, Elsevier, 1409p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Rogers, S.**, 2007, “Annual Progress Report for the Advanced Power Electronics and Electric Machinery Program”, USA Energy Dep., 266p.
- Salam Z. and Salim, K.M.**, 2001, “ Generation of PWM Signals for Three-Phase Inverter Using a Single Chip Microcontroller “ Jurnal Teknologi, 34, 1-12pp.
- Sen, Z.**, 2000, “ Stochastic wind energy calculation formulation “, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.84, 227-234pp.
- Shaffer, R.**, 2007, “Fundamentals of Power Electronics with Matlab”, Charles River Media, 401p.
- Shepherd, W. and Zhang, L.**, 2004, “Power Converter Circuits”, Marcel Dekker Inc, 549p.
- Simoës, M.G. and Farret, F.A.**,” Alternative Energy Systems”, CRC Press, Taylor&Francis Group, 398p.
- Skvarenina, T.**, 2002, “Power Electronics Handbook”, CRC Press, 626p.
- Sun, X.**, 2003, “Advanced Control of SPWM DC-AC Inverters”, Hong Kong Polytechnic University, Ph.D. Thesis, 157p(unpublished).
- Şen, Ç.**, 2003, “Gökçeada’nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar Enerjisi ile Karşılanması”, Yük.Lis.Tezi, DEÜ Fen Bil.,146s(yayınlanmamış).
- Şenbil, E.Y., Çakan, K. ve Uysal, H.**, 2010, “Güneş Panelleri Yaygınlaştırma Örnekleri “, Solar Future 2010, 11-12 Şubat, 61-64s.
- Tağıl, S.** “ Sinop ve Çevresinde Rüzgar Enerjisi Potansiyeli “, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 8. Enerji Kongresi, (Erişim tarihi:3 Haziran 2012)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Thiaux, Y., Seigneurbieux, J., Multon, B., Ahmed, H.B. and Miller, D.,** “Single Phase AC Power Load Profile Emulator “, (Erişim tarihi:10 Ocak 2010)
- Trigg, M.C. and Nayar, C.V.,** “ Matlab Simulink Modelling of a Single-Phase Voltage Controlled Voltage Source Inverter “, (Erişim tarihi:15 Ekim 2009)
- Tumay, M., Bayindir, K.C., Cuma, M.U. ve Teke, A.,** “ Experimental Setup for a DSP Based Single-Phase PWM Inverter “, (Erişim tarihi:15 Ekim 2009)
- Tunlasakun, K., Kirtikarak, K., Thepa, S. and Monyakul, V.,** 2007, “Comparison Between FPGA Based and dsPIC Based Islanding Detection for Grid Connected Inverter in a Photovoltaic System”, International Conference on Control, Oct.17-20, COEX, Seoul, Korea, 416-419pp.
- Tunlasakun, K., Kirtikarak, K., Thepa, S. and Monyakul, V.,** 2006, “DSPIC Based Islanding Detection for a Grid Connected Inverter in a Photovoltaic System”, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, 4-8 September 2006, Dresden, Germany,2782-2784pp.
- Twidell, J. and Weir, T.,** 1986, “Renewable Energy Resources”, Taylor&Francis, 625p.
- Ucar, A. ve Balo, F.,** 2009, “ Investigation of wind characteristics and assessment of wind-generation potentiality in Uludağ-Bursa, Turkey “, Applied Energy, 86, 333-339pp.
- Ucar, A. ve Balo, F.,** 2009, “ Evalutaion of wind energy potential and electricity generation at six locations in Turkey “, Applied Energy, vol.86, 1864-1872pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Ucar, A. ve Balo, F.**, 2010, “ Assessment of wind power potential for turbine installation in coastal areas of Turkey “, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 921-933pp.
- Ülgen, K. Ve Hepbasli, A.**, 2002, “ Determination of Weibull parameters for Wind Energy Analysis of Izmir,Turkey “, International Journal of Energy Research,26:495-506
- Ülgen, K., Eke, R. ve Kara, O.**, 2005, “ Optimization of a wind/pv hybrid power generation system”, International Journal of Green Energy, 2: 57-63,
- Ülgen, K., Kara, Ö. ve Özdamar, A.**, 2001, ” Rüzgar Hızlarının Daha Yüksekçe Taşınmasında Hellmann Katsayısının Değişimi Üzerine Bir Araştırma:Söke Örneği “,6. Türk-Alman Enerji Sempozyumu,İzmir,
- Ülgen, K., Söğüt, Z. ve Oktay, Z.**, 2008, “Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretiminin Matematiksel Modellemesi ve Örnek Uygulama “, Kara Harp Okulu Yayınları
- Ulu, E.Y., Öztürk, H.K., Yılcı, A., Çetin, E., Hekim, M., Şanlı, G. ve Kıvrak, S.**, 2009, “ Temiz Enerji Kaynakları Uygulamaları Pamukkale Üniversitesi Temiz Enerji Evi Örneği “, Ege Bölgesi Enerji Forumu, , Denizli, 46-51s.
- U.S. Department of Energy**, 2004, “ Fuel Cell Handbook”, 980p.
- Usatequi, J.M.A., Ruiz, A.E., Martinez, I.A. and Parra, I.T.**, “DSPIC”,Mc Graw Hill, 428p.
- Vogiatzis, N., Kotti, K., Spanomitsios, S. and Stoukides, M.**, 2004, “ Analysis of wind potential and characteristics in North Aegean, Greece “, Renewable Energy, vol.29, 1193-1208pp.
- Williams, B.W.**, 2006, “Power Electronics”, 986p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Wilmshurst, T.**, 2007, “Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers”, Elsevier, 583p.
- Würfel, P.**, 2005, “ Physics of Solar Cells”, Wiley – VCH Verlag GmbH &Co., 188p.
- Yağcıtekin, B., Tuna, S., ve Kılıç, B.**, 2010, “Sürdürülebilir Taşımacılıkta Güneş Enerjili Arabalar”, Solar Future 2010, 11-12 Şubat, 31-36pp.
- Yelman, B., ve Yelman, O.G.**, 2010, “ Akdeniz Bölgesi için Yatay Düzleme Gelen Aylık Ortalama Tüm Güneş Işınımının Tespiti”, Solar Future 2010, 11-12 Şubat, 15-19pp.
- Yelman, B., ve Üstüner, M.**, 2010, “Tarımda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı: Türkiye Örneği”, Solar Future 2010, 11-12 Şubat, 20-23pp.
- Yinfu, Y., Jingbo, L. and Dangsheng, Z.**, 1999, “Pulse by Pulse Current Limiting Technique for SPWM Inverters”, IEEE 1999, PEDS’99, Hong Kong, 1021-1026pp.
- Youm, I., Sarr, J., Sall, M., Ndiaye, A. and Kane, M.M.**, 2005, “ Analysis of wind data and wind energy potential along the northern coast of Senegal “, Rev. Energ. Ren. Vol. 8, 95-108pp.
- Yu, B.**, 2004, “Predictive Current Controlled PWM Strategy for Grid Connected Single Phase Inverter”, MSc Thesis, The University of New Brunswick, 86p(unpublished).
- Yuvarajan, S., Yu, D. and Xu, S.**, 2004, “ A novel power converter for photovoltaic applications “, Journal of Power Sources, 135, 327-331pp.
- Zong, X.**, 2011, “A Single Phase Grid Connected DC-AC Inverter with Reactive Power Control for Residential PV Application”, MSc Thesis, Toronto University, 88p(unpublished).

ÖZGEÇMİŞ

Yayın Listesi;

T. Gülersoy, N.S. Çetin, 2010, “Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri İçin Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması”, Politeknik Dergisi, Cilt.13, Sayı.3, 209-213s.

T. Gülersoy, M. Engin, 2012, “PV-Wind hybrid power system performance simulation and sizing”, 6.th International Ege Energy Symposium & Exhibition, 28-30 June, İzmir, 993-1005pp.

T. Gülersoy, M. Engin, 2014, “ DESIGN AN INVERTER FOR RENEWABLE HYBRID ENERGY SYSTEM “, SOLARTR 2014, 19-21 NOVEMBER 2014, Swisotel Buyuk Efes, İzmir, Türkiye, 161-168pp.

T. Gülersoy, M. Engin, 2014, “ Menemen Bölgesinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Weibull ve Rayleigh Parametreleri İle Belirlenmesi “, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (inceleniyor)

T. Gülersoy, M. Engin, 2014, “ Hibrid Güç Sistemleri İçin Evirici Tasarımı “, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, (inceleniyor)

T. Gülersoy, M. Engin, 2014, “ Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri İçin Rayleigh ve Weibull Analizi İle Kapasite Faktörlerinin Belirlenmesi “, Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi, (inceleniyor)