

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FOTOVOLTAİK-RÜZGÂR TÜRİNİ HİBRİT ENERJİ ÜRETİM
SİSTEMLERİNİN ULUSAL ELEKTRİK ŞEBEKESİNE ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mahmut HEKİM**

Anabilim Dalı : Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Programı : Yüksek Lisans

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bekir Sami SAZAK

MAYIS, 2011

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 031180013 nolu öğrencisi Mahmut HEKİM tarafından hazırlanan “**FOTOVOLTAİK-RÜZGÂR TÜRBİNİ HİBRİT ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN ULUSAL ELEKTRİK ŞEBEKESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Bekir Sami SAZAK (PAÜ)
(Jüri Başkanı)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK (PAÜ)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Abdullah Tahsin TOLA (PAÜ)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
06.07.2011... tarih ve ...19.1.14... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nuri KOLSUZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza : 

Öğrenci Adı Soyadı : Mahmut HEKİM

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Fotovoltaik-Rüzgâr türbini hibrit enerji üretim sistemlerinin Matlab-Simulink ortamında modellenmesi yapılmış, sistemin şebekeye olan etkileri incelenmiştir. Bu çalışma sürecinde karşılaştığım zorlukları aşmama bilgi ve tecrübesi ile yardımcı olan danışman hocam Doç. Dr. Bekir Sami SAZAK'a, desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK'e ve Uzm. Dr. Engin ÇETİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman yardımını ve desteğini eksik etmeyen sevgili eşime, canım çocuklarım Umut ve Dilay'a, aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2011

Mahmut HEKİM
(Elektronik Müh.)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Tezin Önemi.....	3
1.4 Tezin Kapsamı	4
2. LİTERATÜR TARAMASI	6
2.1 Giriş.....	6
2.2 FRHES Deneysel ve Teorik Çalışma Örnekleri	6
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ.....	12
3.1 Genel	12
3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	12
3.2.1 Güneş enerjisi.....	13
3.2.2 Rüzgar enerjisi	13
3.2.3 Hidrolik enerji.....	14
3.2.4 Jeotermal enerji.....	14
3.2.5 Biyokütle.....	14
3.2.6 Biyogaz	14
4. FOTOVOLTAİK -RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMLERİ	16
4.1 Güneş Pilleri.....	16
4.2 Güneş Güneş Pili (Fotovoltaik Pil) Çalışma İlkesi	16
4.3 Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması.....	17
4.4 Katkılandırma.....	17
4.5 Yarıiletken PN Eklemler	18
4.6 Güneş Pili nin Elektriksel Modeli	18
4.7 Güneş Pili Elektriksel Eşdeğer Devresi Özellikleri	19
4.7.1 P-N jonksiyonlu diyot	19
4.8 Güç-Gerilim Grafiğinde Maksimum Güç	21
4.9 Fotovoltaik Modülün Elde Edilmesi	21
4.10 Fotovoltaik Sistem Çalışma Prensibi	23
4.11 Şebekeye Bağlı FV Sistemler	24
4.12 Şebekeye Bağlı FV Sistemin Avantajları.....	25
4.13 Şebekeye Bağlı FV Sistemin Dezavantajları	25
4.14 FV Enerji Santrallerinin Şebekeye Sorunsuz Entegrasyonu.....	25
4.15 Yükselten Tip (Boost) DA/DA Konverter	26
4.16 Güneş Pili ile Beslenen Şebeke Etkileşimli Eviriciler	29
4.16.1 Şebeke bağlantılı bir inverterde bulunması gereken temel özellikler	30
4.17 Rüzgar Enerjisi.....	32
4.18 Rüzgar Türbinleri	32
4.19 Rüzgar Türbini İç Yapısı.....	32
4.20 Hızlarına Göre Rüzgâr Türbini Tipleri	34
4.20.1 Sabit hızlı rüzgâr türbinleri	34

4.20.2 Değişken hızlı rüzgâr türbinleri	35
4.21 Rüzgâr Türbinlerinde Güç Elektronikleri	35
4.22 Rüzgâr Türbinlerinde Asenkron Jeneratörler	36
4.22.1 Kendinden uyarımlı asenkron jeneratörler	37
4.22.2 Sincap kafesli asenkron jeneratörler (SKAJ)	37
4.22.3 Rotoru sargılı asenkron jeneratör (RSAJ)	37
4.22.4 Çift beslemeli asenkron jeneratör (ÇBAJ)	38
4.23 Şebekeye Bağlı Rüzgâr Türbini Sistemleri	38
4.23.1 Rüzgâr türbini şebeke bağlantısı	38
4.23.2 Rüzgâr türbini şebekeye etkileri	41
4.23.3 Rüzgâr türbinlerinde harmonik akımlar	42
4.23.4 Rüzgâr türbinlerinde gerilim kalitesine harmonik etkiler	42
4.23.5 Rüzgâr türbini sistemlerinde flicker (kırpışma) etkisi	43
4.23.6 Rüzgâr türbinlerinde reaktif güç	43
5. GÜÇ SİSTEMLERİNDE ENERJİ KALİTESİ	45
5.1 Enerji Kalitesi Tanımı	45
5.2 Enerji Kalitesi Terimleri	46
5.3 Transiyentler	47
5.3.1 Anlık transiyentler	47
5.3.2 Osilasyonlu transiyentler	47
5.4 Sag (Düşme).....	48
5.5 Swell-Yükselme	48
5.6 Kesinti (Interruption)	48
5.7 Kalıcı Kesintiler	49
5.8 Gerilim Düşmesi	49
5.9 Aşırı Gerilim	49
5.10 Gerilim Dalgalanmaları (Flicker).....	49
5.11 Frekans değişimi	50
5.12 Güç Sistemlerinde Harmonikler.....	50
5.12.1 Harmonik nedir	50
5.12.2 Harmonik kaynakları	51
5.12.3 Harmoniklerin enerji sistemleri üzerindeki etkileri	52
5.12.4 Harmoniklerin rezonans etkisi	52
5.12.5 Temel frekansta rezonans oluşumu.....	53
6. ŞEBEKEYE BAĞLI FV - RÜZGÂR TÜRBİNİ ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİ MODELLEMESİ	54
6.1 FV Sistemlerde Işınım Şiddeti	54
6.2 Şebekeye Bağlı FV Sistemlerin Matlab-Simulink Modellemesi	55
6.3 Fotovoltaik Modül Matlab-Simulink Modellemesi	60
6.4 Yükselten Tip (Boost) Konverter Matlab-Simulink Modeli	64
6.4.1 Boost konverterde kondansatör Seçimi.....	66
6.4.2 Boost konverterde indüktans seçimi	68
6.4.3 Pulse jeneratör Matlab-Simulink modeli	68
6.5 IGBT Inverter Matlab-Simulink Modeli	69
6.6 Matlab-Simulink Modelde Voltaj Regülasyonu	71
6.7 LC Filtre Matlab-Simulink Modeli	73
6.8 Transformator Matlab-Simulink Modeli	74
6.8.1 400V/25kV Yıldız-Yıldız bağlı transformator Matlab-Simulink modeli	74
6.8.2 25kV/110kV Yıldız-Yıldız bağlı transformator Matlab-Simulink modeli	76

6.9 Pi Tipi Enerji Hattı Matlab-Simulink Modeli	77
6.10 Ortak Endüktans Matlab-Simulink Modeli	78
6.11 Gerilim Kaynağı Matlab-Simulink Modeli	79
6.12 Yüklerin Matlab-Simulink Modeli	80
6.13 Ölçüm Sistemlerinin Matlab-Simulink Modeli	80
6.14 FV Modellemede Matlab-Simulink ile Simülasyonun Çalıştırılması	81
6.15 FV Modellemede Matlab-Simulink ile Harmonik Ölçümleri	81
6.16 Şebekeye Bağlı RT Sistemi Matlab-Simulink Modellemesi	87
6.17 Rüzgar Türbini Matlab-Simulink Modeli	92
6.17.1 Rüzgar türbini Matlab-Simulink modeli giriş ve çıkışları	93
6.17.2 Rüzgar türbini Matlab-Simulink parametreleri	93
6.17.3 RT Modülü Rüzgar hızı giriş ve kontrol sistemi	94
6.18 Asenkron Jeneratör Matlab-Simulink Modeli	95
6.18.1 Asenkron jeneratör Matlab-Simulink modeli parametreleri	96
6.19 Asenkron Jeneratör Kapasitif Yük Kullanılması	98
6.19.1 Asenkron jeneratör kapasitif yük hesabı	99
6.20 AA/DA Konverter Matlab-Simulink Modeli	100
6.21 AA/DA Konverter Çıkışı LC Filtre Kullanılması	100
6.21.1 LC Filtrede kondansatör seçimi	101
6.22 RT Sistemi Ölçüm Sistemlerinin Matlab-Simulink Modeli	102
6.23 RT Modellemesinde Matlab-Simulink ile Simülasyonun Çalıştırılması	103
6.24 RT Modellemede Matlab-Simulink ile Harmonik Ölçümleri	103
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	108
KAYNAKLAR	111
ÖZGEÇMİŞ.....	116

KISALTMALAR

FV	: Fotovoltaik
PLC	: Programlanabilir Lojik Kontrolör
FRHES	: Fotovoltaik – Rüzgâr Türbini Hibrit Enerji Üretim Sistemleri
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
SCADA	: Denetleyici Kontrol ve Bilgi Edinimi
RT	: Rüzgâr Türbini
YP	: Yakıt Pili
REDS	: Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemi
UK	: Ultra Kapasitör
GP	: Güneş Pili
SMDA	: Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım
EİE	: Elektrik İşleri Etüd İdaresi
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kanunu
MGN	: Maksimum Güç Noktası
YERT	: Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini
DERT	: Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini
THB	: Toplam Harmonik Bozulma
PWM	: Darbe Genlik Modülasyonu
IEC	: Uluslararası Elektrik Komisyonu
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
RSAJ	: Rotoru Sargılı Asenkron Jeneratör
ÇBAJ	: Çift Beslemeli Asenkron Jeneratör
IJRT	: İndüksiyon Jeneratörlü Rüzgar Türbini
SKAJ	: Sincap Kafesli Asenkron Jeneratör
IGBT	: İzole Kapılı Bipolar Transistör.
GTO	: Kapıdan Tıkanabilen Transistor
AJ	: Asenkron Jeneratör
Nss	: Seri bağlı modül sayısı
Npp	: Paralel bağlı modül sayısı

TABLO LİSTESİ

Tablolar

4.1 : Şebeke etkileşimli FV sistemler ile ilgili belirli standartlar.....31

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

3.1 : Yenilenebilir enerji kaynakları.....	13
4.1 : Güneş pili hücresi.....	16
4.2 : Fotovoltaik hücre çalışma prensibi	18
4.3 : Güneş pili elektriksel eşdeğer devresi.....	18
4.4 : p-n diyota ilişkin akım-gerilim karakteristiği	20
4.5 : FV panelin I-V grafiğinin yükle değişimi.....	20
4.6 : Fotovoltaik modül ve dizi elde edilmesi	21
4.7 : FV modüllerin seri bağlantısı.....	22
4.8 : FV modüllerin paralel bağlanması	22
4.9 : Seri-Paralel FV modül bağlantıları	23
4.10 : Seri-Paralel FV modül akım(A)- gerilim(V) grafiği	23
4.11 : Şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sistemi şeması	24
4.12 : Şebekeye bağlı FV sistem bağlantı şeması	25
4.13 : Boost konverter devresi	27
4.14 : Boost konvertör için mod1	27
4.15 : Boost konvertör için mod2.....	27
4.16 : Boost konvertörde sürekli yük akımı için gerilim ve akım dalga formları	28
4.17 : Rüzgâr türbinini oluşturan parçalar	33
4.18 : Şebekeye bağlı rüzgâr türbini sistemi	39
5.1 : Enerji kalitesi kavramları	45
5.2 : Anlık transiyent dalga şekli	47
5.3 : Osilasyonlu transiyent dalga şekli	47
5.4 : Sag (Düşme) dalga şekli	48
5.5 : Swell (Yükselme) dalga şekli	49
5.6 : Gerilim düşmesi dalga şekli	49
5.7 : Gerilim dalgalanma şekli	50
5.8 : Harmonik bileşenler	51
6.1 : Sabit ve hareketli paneller üzerinden pyranometre ile alınan güç, ışınım, çevre sıcaklığı ve rüzgâr hızı değişim eğrileri	54
6.2 : Sabit ve hareketli FV paneller üzerinden ölçülen ışınım değerlerinin zamana göre değişim grafiği	55
6.3 : Şebekeye bağlı FV sistem modellemesi tek hat bağlantı şeması.....	56
6.4 : Şebekeye bağlı FV sistemin Matlab-Simulink ortamında simulasyon modeli	57
6.5 : Şebekeye bağlı FV sistemin Matlab-Simulink ortamında simulasyon modelinin yerleşim planı.....	59
6.6 : FV modül eşdeğer devre tabanlı alt sistem modellemesi.....	61
6.7 : FV model ayar uygulaması	62
6.8 : FV model katsayıları.....	63
6.9 : Matlab veri transferi.....	64
6.10 : FV Modelleme akım-gerilim-güç grafikleri	64
6.11 : FV panel çıkışı- inverter girişi- ışınım şiddeti simülasyon dalga şekilleri	65
6.12 : Yükselen tip konverterde enerji depolama.....	66
6.13 : Boost konverterde kondansatör şarj ve deşarj eğrisi.....	66
6.14 : Boost konverter devresi ve yüksek voltajda kalma süresi	67
6.15 : Pulse jeneratör faz-periyot-genlik değişimleri.....	68
6.16 : Pulse jeneratör parametreleri	70

6.17	: IGBT inverter Matlab-Simulink modeli	70
6.18	: PWM IGBT inverter Matlab-Simulink parametreleri.....	71
6.19	: Voltaj regülatörü Matlab-Simulink modeli.....	72
6.20	: PWM jeneratör Matlab-Simulink modeli parametreleri	73
6.21	: LC filtre Matlab-Simulink modeli	73
6.22	: FV sistem Vdc inverter girişı dalga şekli- Vab yük gerilim dalga şekli – modulasyon indeksi dalga şekli	74
6.23	: Trafo Matlab-Simulink modeli	75
6.24	: Trafo Matlab-Simulink modeli konfigurasyon parametreleri.....	75
6.25	: 400V/25kV trafo Matlab-Simulink modeli ayar parametreleri.....	76
6.26	: 25kV/110kV trafo Matlab-Simulink modeli ayar parametreleri	77
6.27	: Enerji iletim hattı π (Pi) eşdeğer devresi	77
6.28	: π (Pi) tipi enerji hattı Matlab-Simulink parametreleri	78
6.29	: Ortak endüktans Matlab-Simulink modeli sistem parametreleri	79
6.30	: 110kV Gerilim kaynağı Matlab-Simulink modeli parametreleri.....	80
6.31	: “power gui” menüsü.....	81
6.32	: THB Matlab-Simulink modeli	82
6.33	: FV modelleme yük üzerindeki ölçüm noktasında THB grafiğı.....	83
6.34	: FV modelleme yük üzerinde FFT analiz gerilim dalga şekli.....	83
6.35	: FV modelleme Yük üzerinde power gui FFT analiz ölçümü THB değışimi	84
6.36	: 04/25kV trafo çıkışı ölçüm noktasından elde edilen THB grafiğı.....	85
6.37	: FV modelleme 0.4/25kV trafo çıkışı üzerinde FFT analiz gerilim..... dalga şekli.....	85
6.38	: FV modelleme 0.4/25kV trafo çıkışında power gui FFT analiz ölçümü THB değışimi	86
6.39	: Şebekeye bağı rüzgâr türbini sistemi tek hat şeması	88
6.40	: Şebekeye bağı rüzgâr türbini sistemi Matlab-Simulink modellemesi	89
6.41	: Şebekeye bağı RT sistemin Matlab-Simulink ortamında simulasyon..... modelinin yerleşim planı.....	91
6.42	: Rüzgar türbini Matlab-Simulink eşdeğer modeli.....	92
6.43	: Rüzgar türbini Matlab-Simulink parametreleri.....	93
6.44	: Rüzgâr türbini-rüzgâr hızı- mekaniksel güç eğrisi.....	94
6.45	: RT giriş kontrol sistemi.....	95
6.46	: Rüzgar hızı değışim parametreleri	95
6.47	: AJ Matlab-Simulink modeli konfigurasyon parametreleri	96
6.48	: AJ Matlab-Simulink modeli genel parametreler.....	97
6.49	: Rüzgar hızı-jeneratör hızı-rotor hızı, AJ çıkışı dalga leri	98
6.50	: AA/DA konverter parametreleri Matlab-Simulink modeli.....	100
6.51	: Şebekeye bağı RT Sistemi Vdc-Vab-Vabyük- modulasyon indeksi dalga şekli	102
6.52	: RT Sistemi yük üzerindeki ölçüm noktasından elde edilen THB grafiğı	103
6.53	: RT modelleme yük üzerinde FFT analiz gerilim dalga şekli.....	104
6.54	: RT sistemi yük üzerinde power gui FFT analiz ölçümü THB değışimi	104
6.55	: 04/25kV trafo çıkışı ölçüm noktasından elde edilen THB grafiğı.....	105
6.56	: RT Sistemi 0.4/25kV çıkışı FFT analizi gerilim dalga şekli.....	106
6.57	: RT 0.4/25kV trafo çıkışında power gui FFT analizi THB değışimi	106

ÖZET

FOTOVOLTAİK-RÜZGÂR TÜRBİNİ HİBRİT ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN ULUSAL ELEKTRİK ŞEBEKESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

“Fotovoltaik – Rüzgâr Türbini Hibrit Enerji Üretim Sistemleri” (FRHES), enerji kaynaklarının hızla azalmaya başladığı günümüzde temiz, çevreye zarar vermeyen, modüler ve fosil yakıt bağımlılığı olmayan enerji üretim sistemleri olarak ön plana çıkmaktadır. Ülkemizdeki genel uygulama, lokal ve küçük güçlü yenilenebilir enerji üretimlerinin üretildiği tesisle sınırlı kalması, üretilen enerjinin tesis içerisinde tüketilmesi, fazla enerjinin ise akülerde depo edilmesi şeklindedir. Oysa sisteme akü ilavesi, beraberinde maliyet artışı, akülerin yerleştirileceği sistem boyutlarında büyüme, ek kablolama, ilave pano, akülerin bulunduğu ortamın havalandırılma ihtiyacı vb. bir çok sorunu da beraberinde getirmektedir. Dünya genelindeki eğilim, bu tür sistemlerde akü kullanılmasından ziyade, yenilenebilir kaynaklarca üretilen enerjinin anında tüketilmesi, fazla üretimin ise ulusal elektrik şebekesine gönderilerek, şebekenin bir çeşit enerji havuzu olarak kullanılması şeklindedir.

Ülkemizde lokal ve küçük güçlü (< 500 kW) uygulamalarda elde edilmiş teknik verilere, karşılaşılan problemlere, mevcut şebekede oluşabilecek tepkilere ilişkin yeterli veriler bulunmamaktadır. Gelecekte, konutların yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretmesi ve ulusal şebeke ile çift yönlü bir irtibat içerisine girmesi kuvvetle muhtemeldir. Bu çalışma ile konutlarda üretilen elektriğin ulusal şebekeye sorunsuz bir şekilde entegrasyonuna yönelik bir kaynak oluşturulması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada şebekeye bağlı FRHES Matlab-Simulink benzetimi ile modellenmiştir. Modellenen sistem üzerindeki akım, gerilim dalga şekilleri ölçülmüştür. Değişik rüzgâr hızı parametrelerinde modellenen Rüzgâr Türbini (RT) sisteminin ve değişik ışınım ve sıcaklık değerlerinde de modellenen Fotovoltaik (FV) sistemin tepkileri incelenmiştir. Şebekeye bağlı FRHES sistemlerinde harmonikler Matlab-Simulink’te “Scope” ve “Power Gui FFT Analiz” metotlarıyla ölçülerek, ölçüm sonuçları değerlendirilmiş, sistem çalışmasına etki eden diğer parametreler araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler

Fotovoltaik, Rüzgar, Enerji Kalitesi, Yenilenebilir Enerji, Şebekeye Bağlı Sistemler

SUMMARY

INVESTIGATION OF EFFECTS OF PHOTOVOLTAIC-WIND TURBINE HYBRID ENERGY SYSTEMS ON NATIONAL GRID

Nowadays with that energy sources quickly tend to decrease, “Photovoltaic-Wind Turbine Hybrid Energy Production Systems” (PWHES) have become apparent as energy production systems which are clean, environment-friendly, modular and independent from fossil fuels. General application in our country is limited to building’s self-demand and storing the surplus energy in batteries by meeting to use local and small renewable energy production systems. However, adding batteries to the system causes many problems like cost increase, increase in system size, extra cabling, additional panel, ventilation demands of the space etc. The trend in the world is to use the national grid as an energy pool by consuming the energy produced from renewable sources instantly and transmitting the surplus energy to the national grid, rather than using batteries in the system.

For national applications, there are no technical datas based on small scale power applications (< 500 kW), their problems, and national grid applications. In the near future, residential applications and energy supply for national grid by residential energy constructions can be achieved. With this study, a reference manuel can be created which consists of integration of residential power generation units to the national grid.

In this study, an on-grid photovoltaic and wind turbine system was simulated with Matlab-Simulink program. Current and voltage vaweforms were evaluated. Some effects such as reactions of photovoltaics in different solar radiations and temperatures and wind turbines in different wind speeds were investigated. Harmonics of on grid PWHES were measured with “FFT Analiysis” and “”Scope” method on Matlab- Simulink program. The parameters that effects to system were investigated for on-grid PV-Wind Hybrid Energy Systems

Key Words

Photovoltaic, Wind, Power Quality, Renewable Energy, Grid Connected Systems

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Enerji, özellikle de elektrik enerjisi, yaşamımızda tartışılmaz bir önceliğe sahiptir. Elektrik enerjisinin olmadığı bir yaşam, neredeyse olasılık dışıdır. Teknolojinin gelişimi ile artan konfor ve buna bağlı olarak tüketimin artışı enerji tüketimini artırmaktadır. Enerji açığı ülkemizde de yeni enerji kaynakları ve enerji tüketiminin üzerinde daha fazla düşünülmesini, hızlı bir şekilde alternatif kaynak arayışını gerekli hale getirmiştir. Birincil enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtların sera gazı emisyonları ile küresel ısınma ve iklim değişikliğine yol açması, alternatif olarak sunulan nükleer enerjinin ise tehlikeli, toplumsal, çevresel ve ekonomik açıdan oldukça maliyetli olması, ülkelerin öz kaynaklarını daha etkin bir biçimde kullanımını zorunlu kılmaktadır. Günümüzde doğal dengenin kurulması, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının önemini giderek artırmaktadır.

Enerjinin yeterli, zamanında, kaliteli, ekonomik, güvenilir ve temiz olarak sunumu günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeylerini belirleyen en önemli göstergelerden biridir. Artan dünya nüfusu, modern hayatın getirdiği yenilikler ve teknolojinin gelişimi enerjiye olan bağımlılığı ve ihtiyacı son yıllarda daha belirgin bir biçimde artırmış ve enerji en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir.

Gelişmişliğin göstergesi olarak elektrik enerjisi kurulu gücü ve buna bağlı olarak kişi başına düşen tüketim miktarlarının değerlendirildiği günümüzde, fosil enerji kaynaklarının bilinçsizce kullanılarak insanlığın hizmetine sunulması, hem sınırlı ve yenilenemeyen doğal kaynakların kısa zamanda tükenmesine, hem de bilinçsiz tüketim yoluyla çevrenin kirlenmesine neden olmaktadır. Bu sorunlar mevcut enerji kaynaklarının iyi kullanılması ve yeni enerji kaynaklarının bulunması ile aşılmaya çalışılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar, özellikle son yıllarda artan bir ivme göstermektedir. Mevcut enerji üretim kaynaklarının hızla tükenme eğilimi içine girmesi, hammadde fiyatlarının artması, çevreye ve insan sağlığı üzerine olan

olumsuz etkileri, kullanımlarındaki bir takım zorluklar, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmaları arttırmıştır (Çetin, 2010).

Ülkemizde küçük güçlü (< 500 kW) yenilenebilir enerji tesisleri için şebekeye enerji basılması ve çift yönlü sayaç kullanılarak enerji dağıtım şirketleri ile mahsuplaşma yoluna gidilmesi uygulamasına şimdilik müracaat edilememektedir. 2010 yılı Aralık ayında düzenlenen **Yenilenebilir Enerji Kanunu (YEK)** değişikliği ile küçük güçlü yenilenebilir enerji tesislerinde üretilen enerjinin şebekeye iletilmesi ve mahsuplaşmaya gidilebilmesi yönünde çalışmalar başlatılmıştır. Bu tür bir uygulamaya geçildiğinde ulusal şebekenin nasıl bir tepki vereceği, üretilen enerjinin şebekeye basılmasında veya şebekeden geri alınması noktasında, şebeke topolojisinden ve kurulumundan kaynaklı hangi teknik problemlerle karşılaşılacağı da tam olarak bilinmemektedir.

Ülkemizde bu tür lokal ve küçük güçlü uygulamalarda elde edilmiş teknik verilere, karşılaşılan problemlere, mevcut şebekede oluşabilecek tepkimelere ilişkin yeterli veriler bulunmamaktadır. İlerleyen yıllarda, konutların yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretmesi ve ulusal şebeke ile çift yönlü bir irtibat içerisine girmesi muhtemeldir.

1.2 Tezin Amacı

Teknolojinin ilerlemesi, dünya nüfusunun hızla artması insanoğlunun enerjiye olan talebini de günden güne artırmaktadır. Hızla artan enerji ihtiyacını karşılamak için de temiz ve ekonomik enerji kaynakları konusunda araştırmalar önem kazanmaktadır. Bu nedenle yerli ve temiz enerji üretim kaynakları olan güneş ve rüzgâr enerjisinin kullanımının yaygınlaştırılması gereklidir.

Yürürlükteki yasaya göre **Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK)**'den izin alınmaksızın kurulabilen 500 kW'tan düşük güçteki yenilenebilir enerji tesislerinden olan fotovoltaik ve rüzgâr enerjisi santralleri kurularak, şebekeye enerji aktarır konuma geçebilir. Bu süreç sırasında oluşabilecek her türlü elektriksel anormal durumların belirlenerek çözüm önerilerinin ortaya konması için bir başvuru kaynağı oluşturulması amaç olarak belirlenmiştir.

Şebekeye bağlı FRHES'nin şebekeye bağlantısı ile ilgili olarak gerçekleştirilen çalışma sonucunda elde edilen verilere göre, ulusal elektrik tesisat standartların tespit edilmesinde referans teşkil etmesi mümkündür.

Bu çalışma ile düşük güçteki yenilenebilir enerji tesislerinin şebekeye en uygun bağlantı noktalarının ve metotlarının belirlenmesi de hedeflenmiştir.

1.3 Tezin Önemi

Kömür, petrol, doğalgaz gibi konvansiyonel fosil yakıt kaynakları, son yıllarda hızlı bir azalma eğilimi içerisine girmiştir. Ayrıca bu tür fosil yakıt kaynakların kullanımı ile birlikte doğayı kirletmeleri, sera etkisi oluşturarak küresel ısınmaya neden olmaları ve böylelikle dünyamızı geri dönülemez bir felakete sürüklemeleri kaçınılmazdır. Bu nedenle alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları, insanlık tarihinde hiç olmadıkları kadar önem arz etmektedir. Mevcut enerji üretim kaynaklarının hızla tükenme eğilimi içine girmesi, hammadde fiyatlarının artması, çevreye ve insan sağlığı üzerine olan olumsuz etkileri, kullanımlarındaki bir takım zorluklar, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmaları arttırmıştır (Çetin, 2009).

Ülkeler karbondioksit (CO₂) emisyonu yüksek olan, dışa oldukça yüksek oranda bağımlı, maliyetleri siyasal çalkantılardan etkilenen petrol, doğalgaz gibi enerji kaynakları yerine, kaynak anlamında dışa bağımlı olmayan, çevreye daha duyarlı, siyasal istikrarsızlıklardan etkilenmeyen güneş, hidrojen ve rüzgâr gibi enerji üretim kaynaklarına yönelmektedirler (Çetin, 2010). Özellikle son kullanıcıların yakınına kurulan sistemler, iletim ve dağıtım cihazları gereksinimini azaltmakta ve yerel elektrik hizmetinin güvenilirliğini arttırmaktadır. Çeşitli kontrol tekniklerinin kullanılmasıyla konut uygulamaları için verimli bir hibrit enerji sistemi kurmak mümkündür. Bu tür sistemler elektriksel olarak paralel bağlanarak güç artırımı yapılabilir, ulusal şebekeye bağlı veya ulusal şebekeden bağımsız olarak çalıştırılabilir.

Temiz enerji kaynakları olarak FRHES'in önemi, teknolojinin gelişimi karşısında enerji kaynaklarının hızla azalmaya devam etmesiyle gün geçtikçe artmaktadır.

Yenilenebilir enerjinin üretildiği tesiste kullanılarak fazla enerjinin akülerde depo edilmesi uygulaması ülkemizde daha fazla tercih edilmektedir. Fakat bu sistemlerde akü kullanımının zorunlu olması nedeniyle maliyette ve sistem boyutlarında artış kaçınılmazdır. Bu tür sistemlerde akü kullanılmasının yerine yenilenebilir kaynaklarca üretilen enerjinin anında tüketilmesi, fazla üretimin ise ulusal elektrik şebekesine gönderilerek, şebekenin enerji havuzu olarak kullanılması dünyada daha fazla tercih edilen uygulamadır.

Tezin gerçekleşmesiyle; fotovoltaik-rüzgâr türbini hibrit enerji üretim sistemlerinin şebekeye olan etkilerinin belirlenmesi ve neticede bu veriler ışığında uygun bağlantı metotlarının önceden belirlenerek, yenilenebilir enerji tesislerinin kullanımının yaygınlaşması mümkündür. FRHES sistemlerinin kullanımının artmasıyla birlikte, yenilenebilir enerji teknolojisinin geliştirilmesi ve sistem ekipmanlarının ülkemizde üretilmesi yönünde çalışmalar artış gösterebilecektir. Böylelikle hem ülke ekonomisine katkı yapılabilecek hem de istihdama yönelik olumlu gelişmeler sağlanabilecektir.

Bununla birlikte düşük güçteki yenilenebilir enerji tesislerinin şebekeye entegrasyonuna yönelik sıkıntılar daha ortaya çıkmadan tespit edilip çözüme kavuşturulacak, böylelikle zamandan ve maliyetten büyük tasarruflar sağlanabilecektir. Ülkemizde yürürlükte olan 18.05.2005 tarih 25819 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun”a önemli maddeler kazandırılması hedeflenmektedir.

1.4 Tezin Kapsamı

Tez, yedi ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm olan “Giriş” bölümünde tükenmekte olan mevcut enerji üretim kaynaklarını kullanmanın meydana getirdiği olumsuz etkiler sonucunda, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmanın zorunluluğundan bahsedilmiş, şebekeye bağlı FRHES sistemlerinin kullanım amaç ve metotları üzerinde durulmuştur. Tez konusunun amaı ve önemi de bu bölümde yer almaktadır.

Tezin ikinci bölümünde, FRHES ile ilgili olarak yapılmış teorik, deneysel ve simülasyon çalışmalarına yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde yenilenebilir enerji sistemleri ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız FV ve RT sistemleri ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

Beşinci bölümde, ulusal elektrik şebekesinde güç kalitesini etkileyen kavramlar hakkında bilgiler yer almaktadır.

Altıncı bölümde, Fotovoltaik-Rüzgâr türbini sistemlerinin Matlab-Simulink modellenmesi ve simülasyon çalışması yer almaktadır.

Yedinci ve son bölüm olan “Sonuçlar ve Öneriler” bölümünde, çalışmada elde edilen sonuçlar ve ileride yapılacak çalışmalar için öneriler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Genel

FRHES ile ilgili olarak dünya genelindeki eğilim, yenilenebilir kaynaklarca üretilen enerjinin anında tüketilmesi, fazla üretimin ise ulusal elektrik şebekesine gönderilerek, şebekenin bir çeşit (her an başvurulabilecek) enerji havuzu olarak kullanılması şeklindedir. Bu nedenle FRHES enterkonnekte sistemlere bağlanması, teknik ve fiziksel problemleri, enerji kalitesine etkileri dikkatle incelenerek, en uygun metot ve cihazlarla gerçekleştirilmelidir. Bu bağlamda şebekeye bağlı FRHES sistemlerle ilgili analizleri, incelemeleri, deneysel sonuçları, standartları içeren literatür çalışmaları aşağıda yer almaktadır.

2.2 FRHES Deneysel ve Teorik Çalışma Örnekleri

Kitamura ve arkadaşları (1996), Doğru Akım (DA) üretim yapan fotovoltaik panel sistemleri ile AA şebekenin bir arada çalışması durumunda AA tarafta oluşan harmonikleri ele almış ve analiz etmişlerdir.

Macken ve arkadaşları (2002), yenilenebilir enerji tesislerinde reaktif güç ve harmonik etkiler üzerine bir çalışma yapmışlardır. Örnek uygulamada ise elektronik kontrollü rüzgâr türbini sisteminin güç kalite analizini yapmışlardır.

Çetin ve Sazak (2004), fotovoltaik enerji sistemlerinde kullanılan bir seri rezonans inverter devresini incelemişlerdir. Devrenin sistem üzerindeki etkilerini ele almış ve sonuçları analiz etmişlerdir. Sistemin genel verimindeki artışla birlikte, aynı iş için daha küçük güçte ve boyutta fotovoltaik panel kullanımına olanak vereceğini savunmuşlar, bu şekilde de hem sistem boyutlarının küçülmesinin, hem de maliyetin azalmasının sağlanacağını belirtmişlerdir.

Sırdaş (2004), yaptığı çalışmada, Türkiye’de Marmara bölgesinde on istasyonda yaptığı harmonik analiz ve rüzgâr hız değerlerini kaydederek, verilerin bölge ve zamanla birlikte çok hızlı olarak değiştiğini saptamıştır. Çeşitli harmonik

yaklaşımları hesaplamış, rüzgâr hızına göre harmonik bileşenleri detaylandırarak sunmuştur.

Tarek ve arkadaşları (2005), kapasitif yük, düşük skala aktif güç filtresi, regüleli çıkış voltajlı indüksiyon jeneratörü, reaktif akım komponenti ve harmonik filtre tarafından kontrol edilen hibrit sistemi sunmuşlardır. Tam dalga köprü diyot tipli doğrultucuya 3 faz indüksiyon jeneratörünü direk olarak bağlayıp sistemin dinamik performans cevabını araştırmışlardır. Değişken DA yükte köprü tip doğrultucu uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Rüzgâr uygulamaları için uygun sistem seçilmesine rağmen DA yükün artmasıyla ciddi harmonik problemler tespit etmişlerdir.

Fukuoka ve arkadaşları (2006), yaptıkları çalışmada çeşitli FV sistemlerin şebekeye bağlanmaları ile ilgili testler yapmışlar ve oluşan problemleri ele almışlardır.

Bhatia ve arkadaşları (2006), 20kWp rüzgâr, 2kWp fotovoltaiik ve 20kWp yakıt pilinden oluşan 20kW hibrit güç istasyonu için Denetleyici Kontrol ve Bilgi Edinimi (SCADA) sistemi dizayn etmişlerdir. Sistemin tasarımı ve geliştirilmesini endüstri ile işbirliği içinde gerçekleştirmişlerdir.

Wang ve Liu (2007), hibrit rüzgâr-fotovoltaiik-yakıt pili sisteminin gerçek zamanlı olarak takip edildiği kontrol sistemi tasarlamışlardır. Tasarladıkları sistem, SCADA, Programlanabilir Lojik Kontroller (PLC) ve dijital power metreten oluşmaktadır. Tasarladıkları sistemle elektriksel veriler gerçek zamanlı olarak izlenip, uzaktan yönetim merkezine intranet kullanarak transfer edilebilmektedir. Simüle edilen rüzgâr-fotovoltaiik-yakıt pili sistemi 2 adet rüzgâr türbini, AA/DA konverter, DA-AA inverter, FV modül ve batarya ünitesinden meydana gelmektedir.

Kaşıkçı (2008), elektrik şebekelerinde kompanzasyon ve harmonik konularında çalışmalar ve analizler yapmış, bu alanda yapılan çalışmalara dair (normlar, kurallar, talimatlar, yönetmelikler, kanunlar, IEC 60364 vb.) detaylı bilgiler vermiştir.

Shinji ve arkadaşları (2008), yaptıkları çalışmada, fotovoltaiik, rüzgâr türbini gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin şebekelerde oluşturduğu frekans ve gerilim dalgalanmaları gibi olumsuz etkileri ele almışlardır.

Bayındır ve arkadaşları (2008), bir işletmenin enerji dağıtım sistemini izlemek amacıyla bir enerji otomasyon sistemi gerçekleştirmişlerdir. Enerji izleme sistemi işletme içi kritik noktadaki analizör ile ölçülen enerji parametrelerinin takibi, arşivlenmesi ve grafik ortama aktarılmasını sağlamaktadır. Yapılan çalışma ile

işletme akımı, gerilimi, güç faktörü ($\cos\phi$), güç ve frekans değerlerindeki değişimler ve harmonikler izlenebilmektedir. Enerji analizöründen alınan veriler bilgisayarda veri tabanına aktarılabilen ve kullanıcı enerji analizöründen alınan verileri saatlik, günlük, aylık, yıllık gibi istediği tarih-saat aralığında görebilmektedir.

Mutlu ve arkadaşları (2008), rüzgâr türbinlerinde güç kalitesi ölçümleri yaparak, geliştirdikleri değişik simülasyonlardan bahsetmişlerdir. **Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemi**'nde (REDS) güç dönüşümü için 600kW'lık rotor indüksiyon jeneratörü mevcuttur. Bu çalışmada 12 adet rüzgâr türbini için güç kalite değerlerini incelemişlerdir. Hat akımı, gerçek güç, reaktif güç ve toplam harmonik distorsiyonu simülasyon programı ile modellenip, ölçülen sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Hassaine ve arkadaşları (2009), şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemleri incelemişlerdir. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin verimliliği, solar modülden elde edilen doğru akımın alternatif akıma dönüştürüldüğü inverterin verimine de bağlıdır. Sisteme bağlanan inverterde; maksimum güç noktasında çalışma, yüksek verimlilik, şebekeye bağlanma noktasında kontrol düzeneği ihtiyacı, yüksek güç faktörü ve düşük toplam harmonik distorsiyon gibi bir takım özellikler aranır. Bu çalışmada, tek faz inverterler için inverter çıkış gerilimi ile şebeke gerilimi arasında faz kaydırmasına dayanan yeni bir kontrol stratejisini ortaya koymuşlar, Matlab ve PSIM yazılımları ile simülasyonu yapmışlardır.

Türkçü (2005), rüzgâr santrallerinin enterkonnekte sistemlere bağlanmasında yaşanan teknik ve fiziksel problemleri incelemiş, çalışmada rüzgâr türbini teknolojisindeki ilerlemeler ve son 20 yıldaki araştırmalar, rüzgâr türbinlerinin ve rüzgâr çiftliklerinin elektrik şebekesine entegrasyonundaki problemleri analiz etmiştir. Türkiye'nin rüzgâr enerjisi politikalarını ve rüzgâr santrallerinin enterkonnekte sistemlerle entegrasyonunda karşılaşılan problemler için öneriler sunmuştur.

Tozlu (2004), Muğla bölgesinde 25,6kWp kurulu güce sahip şebekeye bağlı fotovoltaik güç sisteminin yıllık performansı ve karakteristiğini incelemiştir. NEG LOG ölçüm sistemleri ile sistemden elde edilen verilerden yararlanarak her bir ay için günlük FV örgü Alternatif Akım (AA) çıkış gücü ile fotovoltaik örgü üzerine ve yatay düzlem üzerine gelen günlük ışınım enerjisi miktarlarını karşılaştırmıştır. Yapmış olduğu simülasyon ile sistemin bir yıl boyunca aylara göre şebekeye aktardığı enerji dağılımını bularak, sistemden elde edilen veriler ışığında yapılan analizler ile karşılaştırmıştır.

Şener (2003), enerji kalitesini etkileyen faktörler ve bunların sonucunda şebekede meydana gelen bozulmaları incelemiştir. Enerji kalitesi için gerekli olan verileri, laboratuvar ortamında kurulan enerji dağıtım setinden derlemiş, sonrasında Labview yazılımı ile analiz etmiştir. Enerji kalitesi analizinde dalgacık ve simetri bileşenler metotlarını kullanarak iki metot arasında karşılaştırmalar yapmıştır.

Carolina ve arkadaşları (2003), yaptıkları çalışmada rüzgâr türbininin güç kalitesine önemli etkilerinin olduğunu belirtmişlerdir.

Bert ve arkadaşları (2009), yaptıkları çalışmada yüke bağlı elektrik güç sistemlerini ele almışlardır. Harmonik voltaj ve harmonik akım distorsiyonu güç sistemlerinde olumsuz etkilere sebep olabilir. Yapılan çalışma ile harmonik akım dengelemesi ve harmonik voltajdaki azalma etkilerini analiz etmişler ve verileri doğrulamışlardır.

Çetin (2008), yaptığı çalışmada harmonikleri, güç kalitesi problemlerini ve filtreleme metotlarını detaylı olarak incelemiştir. Çalışmada sanayi yüklerini ve şehri besleyen fiderler ile radyo verici istasyonlarına ait ölçüm sonuçlarını irdelemiştir. Ölçüm sonuçlarına göre sistem için tasarlanan filtre, kompanzasyon sistemine seri endüktans bağlanması metotlarının simülasyonunu Matlab'ta gerçekleştirmiştir. İki filtreleme metodunun da harmonik filtreleme için kullanılabileceğini, akım ve gerilim toplam harmonik bozulmasını azalttığını gözlemlemiştir.

Sevinç (2004), yaptığı çalışmada fosil yakıt kaynaklarının 40–50 yıl gibi sürede bitme noktasına geleceğini, alternatif, temiz, çevreyle dost enerji kaynaklarına yönelmenin gerçekleşmesi gerektiğini belirtmiştir. Türkiye'de Marmara bölgesinde on istasyonda harmonik -rüzgâr hız değerlerinin bölge ve zamanla birlikte çok hızlı olarak değiştiğini gözlemlemiştir. Tüm harmonik değerlendirmelerdeki toplam değişim olmak üzere çeşitli harmonik yaklaşımları hesaplamış, rüzgâr hızına göre harmonik bileşenleri haritalayarak sunmuştur.

Zainal (2003), yaptığı çalışmada çok seviyeli yüksek voltaj Doğru Akım (DA)-AA voltaj kaynak inverterini incelemiştir. Bu inverterin iki seviye geleneksel invertere göre avantajlarından ve çok daha iyi harmonik performansından bahsetmiştir. Deneysel sonuç olarak 5 seviyede modüler yapılı multilevel inverter ile testler gerçekleştirmiştir. Test sonuçları teorik iyileştirmeleri doğrulamıştır.

Chen (2008), yaptığı çalışmada hibrit güç sistemine dayanan yenilenebilir enerjinin dinamik modellemesi ve simülasyonunu tanımlamıştır. Bu makalede yenilenebilir enerji olarak **Güneş Pili (GP)**, **RT**, **Yakıt Pili (YP)** ve **Ultra Kapasitör (UK)** ile

kombinasyonlar gerçekleştirmiştir. Rüzgâr Türbini çıkış gücü değişiminin rüzgâr hızıyla, Güneş Pili güç çıkış değişiminin çevre sıcaklığı ve radyasyon ile, YP sistemin UK bank ile tüm şartlar altında bütünleşik performans sağladığını, çıkıştaki voltaj değişiminin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğunu belirtmiştir. Çıkıştaki dalgalanma RT'de rüzgâr hızı değişimiyle ve güneş pilindeki çevresel sıcaklık, radyasyon ve yakıt pilinin azalması ile bağlantılı olduğunu dile getirmiştir.

Özcan (2006), yaptığı çalışmada metal işleme-istifleme, matbaa, tekstil gibi Türkiye'nin lokomotif sektörlerine ait 15 farklı fabrikayı incelemiş ve bunların kullandığı enerjinin kalitesi hakkında ayrıntılı olarak araştırmalar yaparak elde edilen verileri yorumlamıştır. Multilog adlı enerji analizörü yardımıyla birer dakika arayla alınan L1, L2, L3 fazlarına ait faz akımı değerleri, **Toplam Harmonik Bozulma (THB)** gerilim ve THB akım değerleri de dahil olmak üzere 3., 5., 7., 9., 11., 13., 15., 17. ve 19. akım ve gerilim harmonikleri 3000'er adet örneklemeyle Matlab yazılımında modellemiştir. Bu tezdeki amaçlarını ise, endüstriyel tesislerdeki harmoniklerin önemini vurgulamak, ayrıca tespit edilen harmoniklerin yeni kurulacak tesislere yatırım ve maliyet açısından bir ön bilgi olmasını sağlamak olarak belirtmiştir.

Altaş (1999), yaptığı çalışmada fotovoltaik güneş pilleri ile uygulama metotları ile ilgili bilgiler verip, uygulama örneklerinden bahsetmiştir. FV güneş panellerinin yük sistemine doğrudan doğruya ya da şebeke üzerinden güç aktarmalarından yola çıkarak, FV güneş panellerinin hemen yakınlarındaki yükleri besleyebilecekleri gibi, şebekenin diğer kısımlarına da destek olabileceğini belirtmiştir. Doğrudan yüke bağlanan FV panellerde de yüke uygulanan gerilim ve gücü ayarlayabilmek için ara bağlantı birimlerinin gerekliliğinden bahsetmiştir.

Muljadi ve Nguyen (2008), bu çalışmada 9 bus sistem ve standart 3 makineyi 22 adet RT jeneratörüne bağlı olarak çalıştırıp, enterkonnekte noktasında voltaj kararlılıklarını incelemişlerdir. RT varken ve yokken radial sistemin aynı olup olmadığını kontrol etmişlerdir. Rüzgâr türbinindeki transiyent kararlılığından bahsetmişlerdir.

Mario ve arkadaşları (2005), yaptığı çalışmada Calabria Üniversitesinde enerji araştırma laboratuvarında 2.7kW'lık FV panelleri ile kurulan sistemi anlatmışlardır. Deneysel verimlilik sonuçlarını FV sistem ve inverterler için sunmuşlardır. Solar radyasyonun ve hücrelerdeki sıcaklığın etkilerini incelemişlerdir.

Mutlu ve arkadaşları (2008), çalışmalarında RT’de güç kalitesi ölçümleri ve simülasyon sunumlarına yer vermişlerdir. **Rüzgâr Enerjisi Dönüştürme Sistemi (REDS)** güç dönüşümü için 600kW’lık indüksiyon jeneratörü mevcuttur. Güç kalite değerlerini 12 adet rüzgâr türbini için incelemişlerdir. Hat akımı gerçek güç, reaktif güç ve THB’yi önceden simülasyon programı ile tahmin ederek, ölçülen sonuçlarla kıyaslamışlardır.

Özaktürk (2007), yüksek lisans tezinde rüzgâr enerjisi ve kalitesi üzerinde yoğunlaşmış, rüzgâr enerjisinin dünya ve ülkemiz genelindeki durumunu anlatmış, rüzgârın tanımını yaparak RT hakkında detaylı bilgiler vermiştir. Rüzgâr santrallerinin iletim ve dağıtım sistemine olan etkilerini, üretilen enerjinin kalitesini, rüzgâr enerjisinin avantaj ve dezavantajlarını anlatmıştır. Rüzgâr enerjisi projelerinin gerçekleştirilmesinde yer tespiti, maliyet, rüzgâr analizi verileri ve teşvikler gibi dikkat edilmesi gereken hususları ele almıştır. Son olarak Türkiye’nin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemeye çalışmıştır. Bu çalışmada, rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesinin yaygınlaşmasını destekleyerek, üretilen enerjinin daha kaliteli ve daha güvenilir olması gerektiğini vurgulamıştır. Sonuç olarak, uygun bölgelere rüzgâr santralleri kurularak mevcut şebekenin yükünün hafifletilebileceğini, dışa bağımlılığının azaltılabileceğini, enerji arzının artırılarak ülke ekonomisine katkıda bulunabileceğini belirtmiştir.

Akdeniz (2006), yüksek lisans tezinde özellikle 90’lı yılların başlangıcından itibaren çevre dostu enerji üretiminin, dünya genelinde birçok uluslararası kurum tarafından teknolojik araştırma-geliştirme ve buna paralel olarak yatırım yapılmasının teşvik edilen bir alan olduğunu belirtmiştir. Yenilenebilir enerji teknolojileri olarak tanımlanan bu yeni nesil elektrik üretim tesislerinin birçoğunun değişken üretim yapıyor olması sebebiyle, bu tip santrallerin mevcut elektrik şebekesiyle bütünleşmesini zorlaştırdığını belirtmiştir. Yenilenebilir enerji santrallerinin genellikle şebekenin güçlü olmadığı arazilerde tesis edilmesi, bu santrallerin genellikle şebekenin uç noktalarından elektrik sistemine bağlanmasını gerektirmektedir. Bu durumun şebekenin mevcut enerji akışını önemli ölçüde değiştirdiğini, rüzgâr santralleri sisteminin değişken enerji üretim karakteristiklerinin nominal gerilim ve frekans değerlerini olumsuz yönde etkilediğini belirtmiştir. Farklı yenilenebilir enerji santrallerin sırasıyla şebekeye farklı kurulum güçlerinde, değişik kısa devre güçlerindeki bağlantı noktalarından bağlantı yapması durumunun şebekenin enerji kalitesi üzerine etkilerini incelemiştir.

Villalve ve arkadaşları (2009), yaptıkları çalışmada fotovoltaik hücrenin eşdeğer devre modelinden yola çıkarak, modellemesini gerçekleştirdikleri FV sistemin çıkışının ışınım ve sıcaklıkla değişebildiğini göstermişlerdir. Kullanıcının alt sistem parametrelerinde değişiklikler yapmasına imkân tanıyan, Matlab-Simulink yazılımını kullanarak gerçekleştirdikleri FV sistemin modellemesini anlatmışlardır.

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ

3.1 Genel

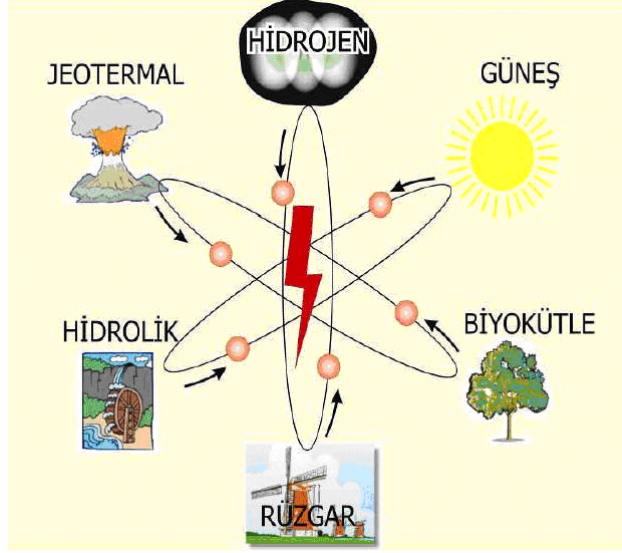
Teknolojinin gelişmesi ve hızlı nüfus artışı nedeniyle doğada sınırlı miktarda bulunan kömür, petrol, doğalgaz gibi binlerce yılda oluşmuş kaynaklar tükendikçe, atıklarıyla hava, su, toprak da tükenmeye başladı. Fosil yakıtlar olarak adlandırılan kömür, petrol ve doğalgazın yarattığı olumsuzluklar sadece yakın çevreyle sınırlı kalmadı, atmosfere de yayıldı. Sonunda bu kirlilik, iklim değişikliğine yol açmaya ve dünya yaşamını tehdit etmeye başladı.

Bugün fosil yakıtların çevre ve insan sağlığı açısından yarattığı olumsuzluklar her geçen gün katlanarak artıyor. Fosil yakıtlar yakıldığında sera gazlarının açığa çıkmasına neden oluyor. Bunlardan en belirleyici olanları karbondioksit ve metandır.

Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların iklim değişikliğine yol açmasının nedeniyse, yanma sırasında ortaya çıkan karbondioksit ve metan gibi sera gazlarının bünyelerinde ısı tutma özelliğine sahip olmasıdır. Güneş, gün doğumundan batımına kadar atmosferin içine ısı ve ışığını veriyor. Doğal döngünün devamı için, bu ısının tekrar uzaya transferi gerekiyor. Oysa fosil yakıtların neden olduğu sera gazları, ısının bir kısmının atmosferde tutulmasına yol açıyor. Böylece dünya ısınmaya ve iklim değişmeye başlıyor.

3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, doğanın kendi çevrimi içinde, bir sonraki gün aynen bulunabilen enerji kaynağı olarak tanımlanıyor. Bugün yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlar, yakılınca biten ve yenilenmeyen enerji kaynaklarıdır. Oysa hidrolik (su), güneş, rüzgâr ve jeotermal gibi Şekil 3.1’de gösterilen doğal kaynaklar, yenilenebilir olmalarının yanı sıra temiz enerji kaynakları olarak karşımıza çıkıyor.



Şekil 3.1 : Yenilenebilir enerji kaynakları (Url-12)

3.2.1 Güneş enerjisi

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kanununda (YEK), yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin desteklenmesinde kaynağa göre farklı fiyat uygulaması yoktur. YEK ile verilen teşvikli tarifenin, maliyetleri oldukça yüksek olan güneşten elektrik enerjisi üretimi için uygun olmaması nedeniyle şimdiye kadar güneş santrallerinden elektrik enerjisi üretimine olanak sağlanamamıştır. Kanunda yapılacak bir takım değişiklikler ile Türkiye'nin zengin güneş enerjisi potansiyeli özellikle elektrik üretimi açısından değerlendirilebilecektir (Ulu, 2010).

Kaynağının sonsuz olması ve kaynağa kolay ulaşılabilmesi nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde fotovoltaik enerjinin önemi ortaya çıkmaktadır. Dünya üzerine düşen toplam güneş enerjisinin miktarı, modern hayatın sürekliliğini koruyabilmesi için gerekli olan toplam dünya enerji tüketiminden 5 kattan daha fazla büyüklüğe sahiptir (Ulu, 2010).

3.2.2 Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr, güneşin doğuşundan batışına kadar yeryüzündeki farklı yüzeylerin, farklı hızlarda ısınıp soğumasıyla oluşur. Örneğin, deniz kayadan daha geç ısınır. Isınan yerdeki hava yükselir ve daha soğuk kısımdaki hava hareketlenerek rüzgârı oluşturur. Hareket halindeki havanın kinetik enerjisine rüzgâr enerjisi denir. Dev kulelerin üzerine monte edilen kanatlar yardımıyla rüzgârdan elektrik enerjisi üretilebilir.

Rüzgârla gelen hava kanatları döndürür, kanatların bağlı olduğu mil de jeneratörü çalıştırır. Kanatların birleştiği yükseklikte bulunan bölmeden aşağıda sadece elektriği ileten kablo bulunmaktadır. İşletme maliyetinin olmadığı hesaba katılırsa rüzgâr, çok ekonomik bir enerji kaynağı olarak gözükmektedir.

3.2.3 Hidrolik enerji

Hidroelektrik santraller; nehirler, akarsular, göller veya kanallar üzerine kurulabilir. Hidroelektrik santrallerin en önemli özellikleri: yakıt masraflarının olmaması, verimlerinin zamanla azalmaması, enerji birim maliyetinin düşük olması ve kaynaklarının yenilenebilir olması şeklinde sıralanabilir. Suların kinetik ve potansiyel enerjilerinden faydalanabilmek için hidroelektrik santraller kurulmuş, böylece elektrik enerjisi üretiminde çok uzun ömürlü ve ucuz bir kaynak hizmete konulmuştur (Çetin, 2010).

3.2.4 Jeotermal enerji

Magmadan kaçan kızgın ve sıvı halde bulunan gazlar yeraltında bulunan çatlak mermer tabakalarını ısıtır. Yağmur suları ve nehirlerden yeraltına inen sular sıcak tabakalarda ısınarak, gazın basınç oluşturması ile jeotermal kaynak olarak yeryüzüne çıkar. Elektrik üretimi de jeotermal buharın gücüyle yapılmaktadır.

3.2.5 Biyokütle

Bitkiler büyürken, fotosentez sırasında atmosferden aldıkları karbondioksitin karbonunu bünyelerinde biriktirip biyokütleyi oluştururken oksijeni dışarıya verir. Bu bitkiler yakıldığında ise karbondioksit yeniden atmosfere verilir. Bu nedenle biyokütle yakılmasına sürdürülebilir biyokütle enerjisi kullanımı adı verilmektedir. Hızlı büyüyen bitkilerle enerji ormanları oluşturmak ve bu bitkileri bir yandan yetiştirip diğer yandan yakmak suretiyle elde edilecek buhardan elektrik üretilmektedir (Url-13).

3.2.6 Biyogaz

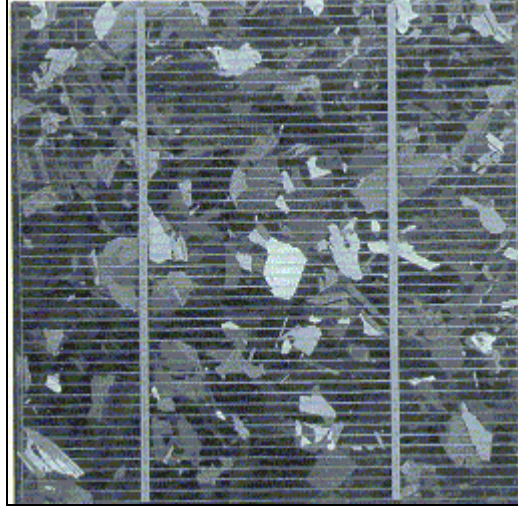
Hayvansal ve bitkisel atıkların çürütülmesiyle üretilen metan gazını depolayarak tehlikeli ve çevreye zararlı olabilecek bir gazı enerjiye dönüştürmek mümkündür. Çöp içinde biriken metan gazı, açılan kuyulardan borularla enerji üretim tesisine pompalanarak üretim gerçekleştirilmekte, aktif gaz depolama sistemiyle depolanan gazların arıtılmasıyla elde edilen metan gazı, yakılarak elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

4. FOTOVOLTAİK -RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMLERİ

Fosil yakıtlar tükenmekte olduğundan ve tükenirken de dünyada iklim değişikliğine sebep olduklarından dolayı, doğayla dost yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında fotovoltaik-rüzgâr enerji sistemleri ön plana çıkmaktadır.

4.1 Güneş Pilleri

- Fotovoltaik etki ile çalışan elemanlara fotovoltaik pil veya güneş pili adı verilir. Güneş pili hücresi Şekil 4.1’de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.1 : Güneş pili hücresi (Url-16)

- Her ne kadar pil adı verilse de bir güneş pili, ışınımına bağımlı bir akım kaynağıdır.
- Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0.2-0.4 mm arasındadır.
- Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

- Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir.
- Güneş pilinin çıkış gücü, üzerine gelen gün ışığı seviyesi ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişir (Url-16).

4.2 Güneş Pili Çalışma İlkesi

- Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Güneş pilinin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir.
- Fotovoltaik güç üretimi, ışınımın etkisiyle ışığı soğuran madde içerisindeki negatif (-) ve pozitif (+) yüklü taşıyıcıların ayrışmasının bir sonucudur.
- Elektrik alan mevcut ise bu taşıyıcılar dış devre üzerinden akım akıtabilirler.
- Güç dönüşümünün verimli olabilmesi sadece güneş pilinin iç yapısına değil, dış devre elemanlarına, yani çalışma noktasına da bağlıdır.
- Güneş pilleri çok büyük bir oranda silisyum tabanlıdır.
- Ömürleri uzundur, yaklaşık 20–30 yıl güç üretebilirler.

4.3 Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması

Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleri de yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir. Yarı-iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkılanmaları gereklidir.

4.4 Katkılandırma

Katkılanma, saf yarıiletken eriyik içerisinde istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. Valans bandında Silisyumdan daha fazla elektronu olan atomlarla (V. grup elementler, fosfor, antimon vs.) n tipi katkılandırma yapılırsa elektron fazlalığı oluşur. Valans bandında Silisyumdan daha az elektronu olan

atomlarla (III. grup elementler, bor vs.) *p* tipi katkılandırma yapılırsa boşluk fazlalığı oluşur (Url-14).

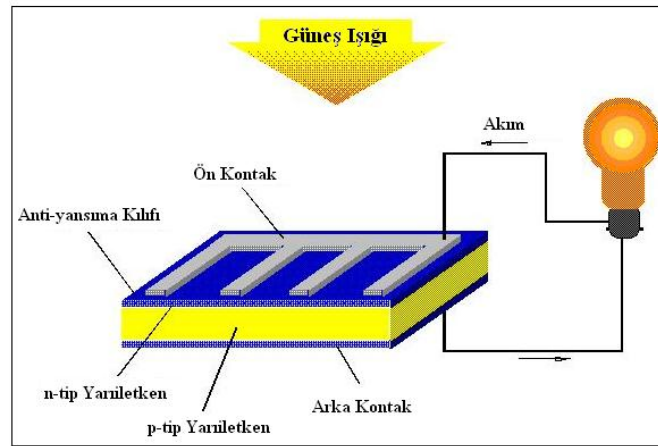
4.5 Yarıiletken PN Eklemler

Yarıiletken eklem güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaik dönüşümün sağlanması gerekir.

Bu dönüşüm iki aşamada olur.

- İlk olarak; eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur.
- İkinci olarak ise elektron-hol çiftleri bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır (Url-3).

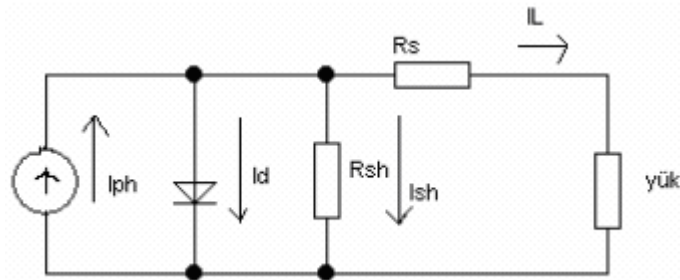
Fotovoltaik hücrenin güç çıkışı meydana getirmesi şeklindeki çalışma prensibi Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 : Fotovoltaik hücre çalışma prensibi (Çetin, 2010)

4.6 Güneş Pilinin Elektriksel Modeli

Güneş pilinin elektriksel eşdeğer devre modeli Şekil 4.3’de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.3 : Güneş pili elektriksel eşdeğer devresi

Elektriksel eşdeğer devrede;

I_{ph} : Güneş ışığı tarafından üretilen elektrik akımı

I_d : Diyot akımı

I_{sh} : Paralel direnç akımı

I_L : Yük akımı

R_s : Seri direnç

R_{sh} : Paralel direnç

Güneş pili elektriksel eşdeğer devresinde Kirchoff akım ve gerilim kanunlarının uygulanmasıyla 4.1 ve 4.2 eşitlikleri elde edilir.

Kirchoff Akım Kanunu :

$$I_{sc} - I_d - V_d / R_p - I_{pv} = 0 \quad (4.1)$$

Kirchoff Gerilim Kanunu:

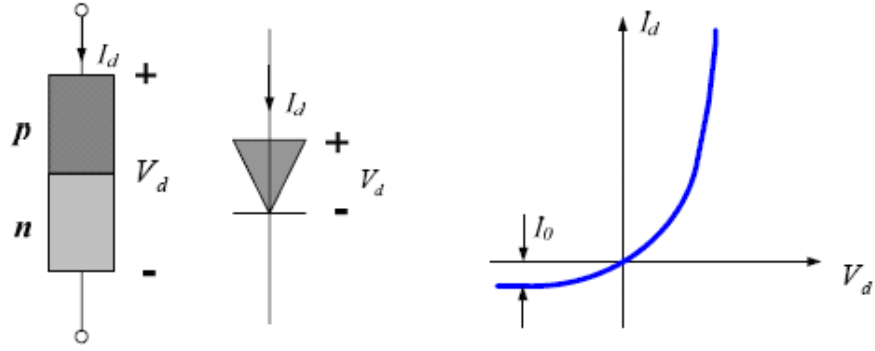
$$V_{pvc} = V_d - R_s \cdot I_{pv} \quad (4.2)$$

4.7 Güneş Pili Elektriksel Eşdeğer Devresi Özellikleri

- Güneş pilinin elektrik üretimi bir akım kaynağı olarak sembolize edilir.
- Hücre üzerine düşen ışınım arttıkça elektrik akımı da artmaktadır.
- Güneş hücresinin gövdesi yarı iletken malzeme olması nedeniyle diyotla modellenmiştir.
- Jonksiyonda üretilen enerjinin kutuplara iletilmesi sırasında oluşan kayıplar seri direnç ile gösterilir.
- Bu seri direnç hücre verimini doğrudan etkiler.

4.7.1 P-N jonksiyonlu diyot

Güneş pili elektriksel eşdeğer devresinde kullanılan p-n diyota ilişkin akım-gerilim karakteristiği Şekil 4.4'de görülmektedir. Aynı p-n diyot üzerinden geçen akım denklemi ise 4.3 eşitliğinde görüldüğü gibidir.



Şekil 4.4 : p-n diyota ilişkin akım-gerilim karakteristiği

$$I_d = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V_d}{kT}} - 1 \right) \quad (4.3)$$

I_d → İletim yönündeki diyot akımı (A)

q → Elektron yükü ($1,602 \times 10^{-19}$ C)

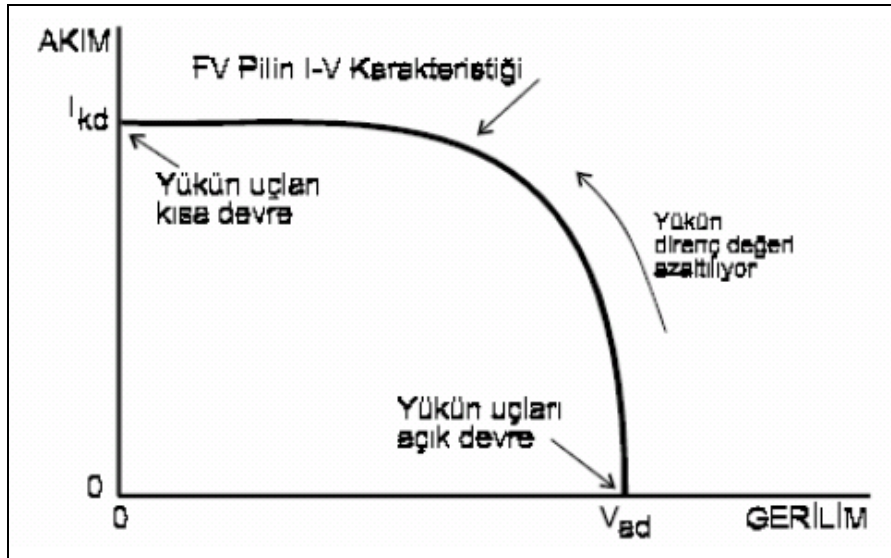
k → Boltzman sabiti ($1,381 \times 10^{-23}$ j/k)

V_d → p-n diyot uçları yönünde oluşan gerilim (V)

T → Kelvin olarak jonksiyon sıcaklığı

I_0 → Ters doyma akımı (A)

Güneş pili hücrelerinde akım-gerilim-güç arasındaki ilişkileri gösteren grafikler Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4.5 : FV panelin I-V grafiğinin yüklerle değişimi

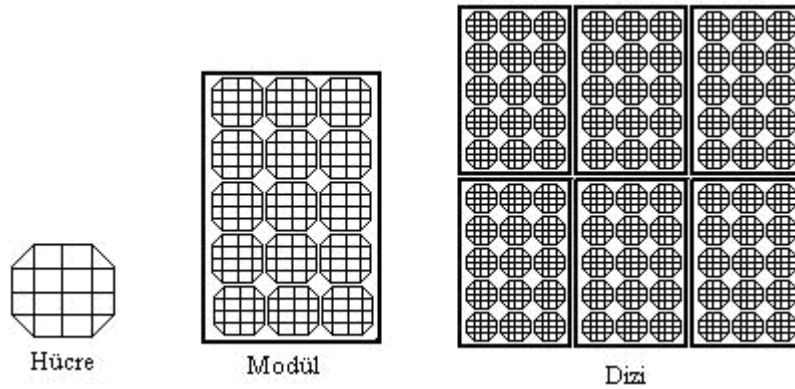
4.8 Güç-Gerilim Grafiğinde Maksimum Güç

Çıkış gücü, akım ve gerilimin bazı değerlerinde maksimum olmaktadır. Çıkış gücünün maksimum olduğu noktaya **Maksimum Güç Noktası (MGN)** noktası denmektedir. Kurulan ve işletilen bir FV panelin verimini yüksek tutmak için, o panelin çıkış gücünü mümkün olan maksimum değerde tutmak gereklidir. MGN formülü ise denklem 4.4'de görülmektedir..

$$P_{mg} = I_{fv} (V_{mg}) * V_{mg} \quad (4.4)$$

4.9 Fotovoltaik Modülün Elde Edilmesi

Tipik olarak bir FV hücre 25-30 cm² lik kare bir alana sahip olup, yaklaşık 1Watt güç üretir. Yüksek güçler elde edebilmek için, birçok FV hücre seri ve paralel bağlanarak, büyük bir alana sahip bir modül Şekil 4.6'da görüldüğü gibi elde edilir. Bir FV güneş paneli ise ihtiyaç olan akım ve gerilimi üretecek şekilde modüllerin seri-paralel kombinasyonlarını içerir.

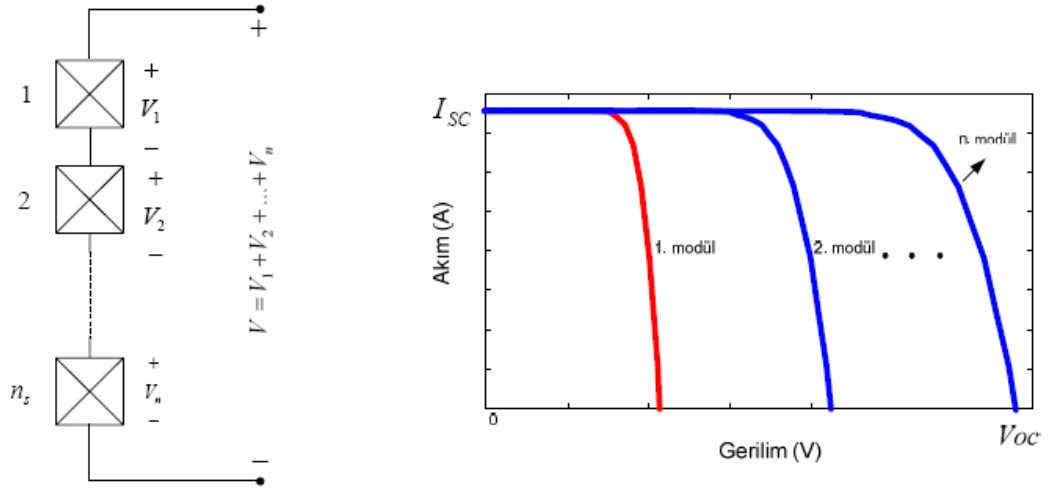


Şekil 4.6 : Fotovoltaik modül ve dizi elde edilmesi (Çetin, 2010)

- Modüllerin şekil 4.7'de görüldüğü gibi seri bağlanmasıyla modül gerilimi arttırılır. Modül gerilimi denklem 4.5 ve 4.6'da görüldüğü gibidir.

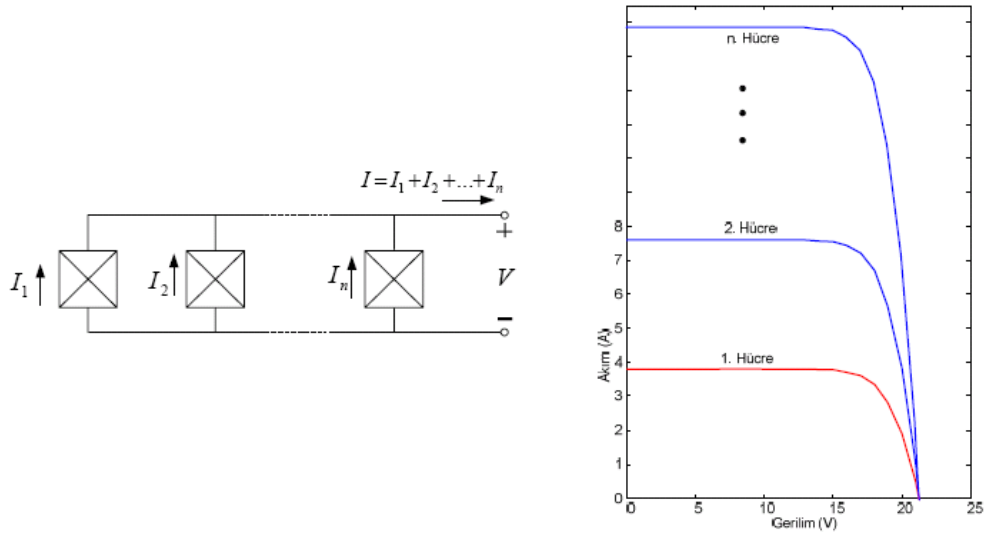
$$V_{\text{modül}} = n.V \quad (4.5)$$

$$V_{\text{modül}} = n (V_D - I.R_s) \quad (4.6)$$



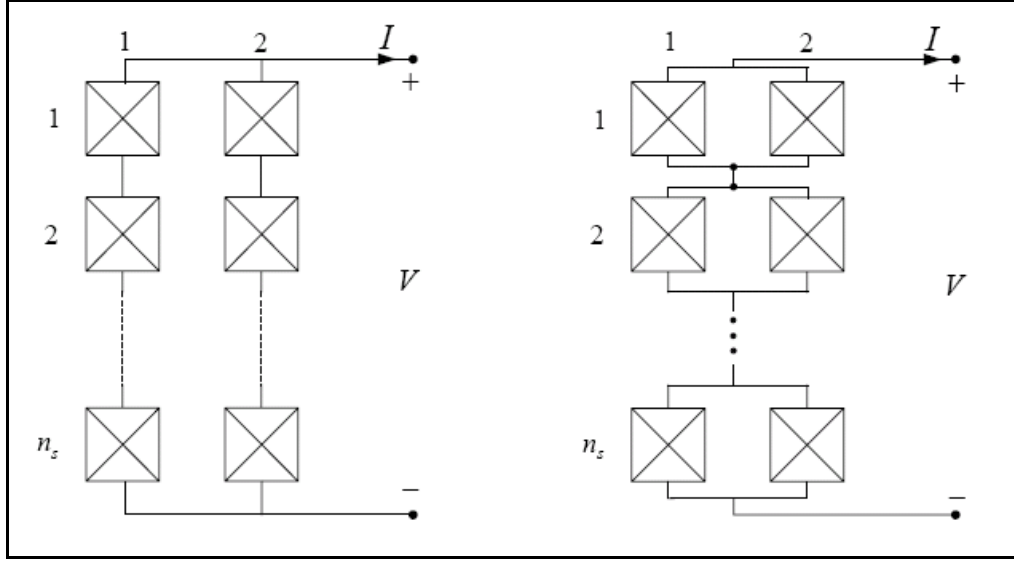
Şekil 4.7 : FV modüllerin seri bağlantısı (Url-21)

- Modüllerin Şekil 4.8’de görüldüğü gibi paralel bağlanmasıyla modülün sağlayacağı akımın miktarı ayarlanır.

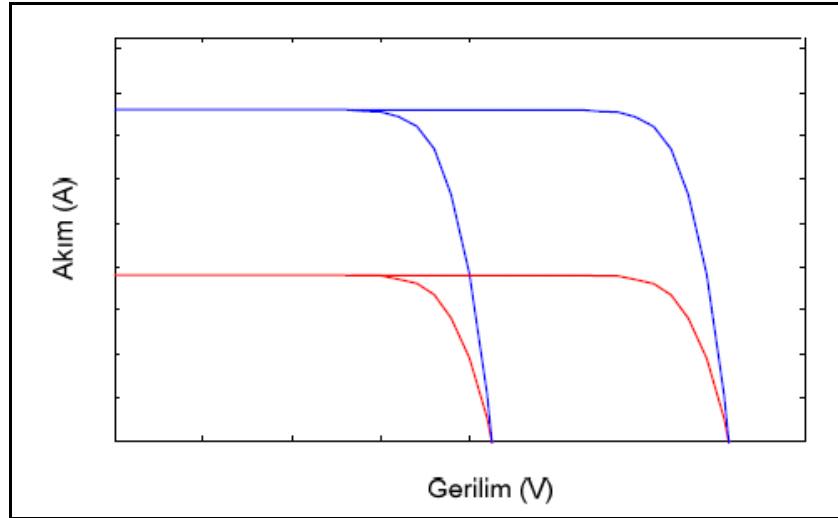


Şekil 4.8 : Fv modüllerin paralel bağlanması (Url-21)

- Şekil 4.9’da görüldüğü gibi seri-paralel modül bağlantıları ile arzu edilen güç seviyesi elde edilmiş olur. Modüllerin seri-paralel bağlantıları sonucunda akım-gerilim değişimleri Şekil 4.10’daki gibi değişmektedir.



Şekil 4.9 : Seri-Paralel FV modül bağlantıları



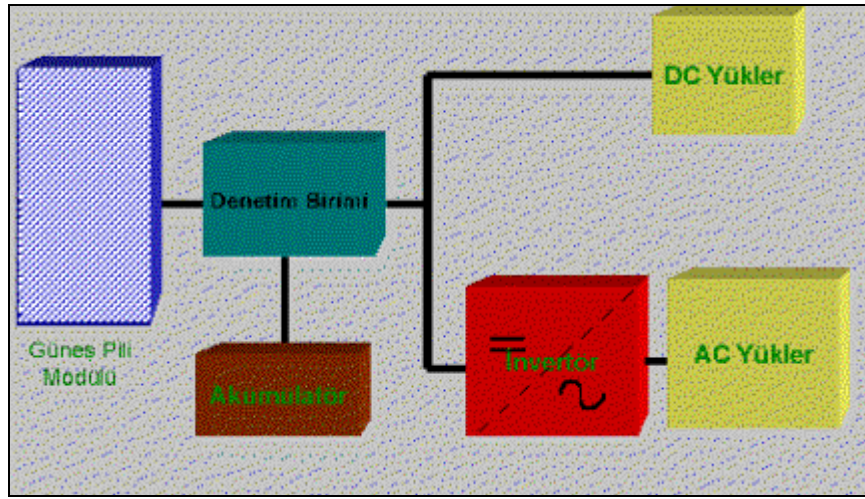
Şekil 4.10 : Seri-Paralel FV modül akım(A)- gerilim(V) grafiği (Url-21)

4.10 Fotovoltaik Sistem Çalışma Prensibi

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak; akümülatörler, inverterler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluşturur. Bu sistemler; özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar.

Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleriyle gün boyunca elektrik

enerjisi üretilerek akümülatörde depolanır ve yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan ve denetim birimi olan şarj regülâtörü, akünün durumuna göre ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir inverter eklenerek akümülatördeki DA gerilim, 220 V, 50 Hz.lik sinüs AA dalgasına dönüştürülür (Url-15). Benzer şekilde, uygulamanın yöntemine göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan MGN izleyici cihazı bulunur. Şekil 4.11’de şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sisteminin şeması görülmektedir.



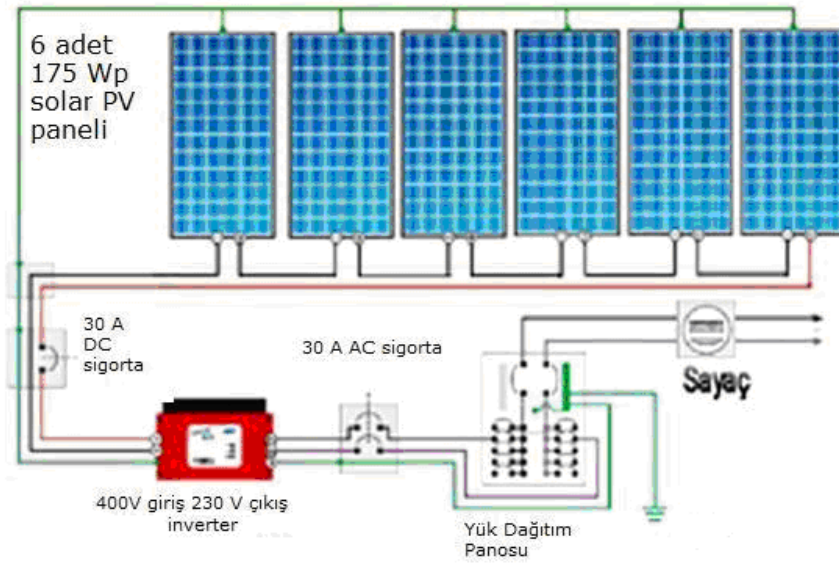
Şekil 4.11 : Şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sistemi şeması (Url-3)

FV sistemin sürekli olarak optimum şartlarda, yani MGN’da çalıştırılması istendiğinde, elektronik bir yük ayarlayıcısına, yani bir MGN izleyicisine gerek duyulmaktadır. Çekilen gücün maksimum olduğu (V_{LM} , I_{LM}) noktası MGN olarak adlandırılır. MGN’da çalışan FV eleman maksimum verimini vermektedir. Gücün değişken olması, FV eleman gücünün MGN şartına göre tanımlanmasını ve dolayısıyla yalnızca [W] birimi ile değil, [Wp] ile gösterilmesini gerektirmektedir.

4.11 Şebekeye Bağlı FV Sistemler:

Yenilenebilir kaynaklar kullanılarak üretilen enerjinin üretildiği tesiste tüketildiği, fazla üretimin ise ulusal elektrik şebekesine aktarıldığı şebeke bağlantılı FV sistemler, dünya genelinde tercih edilen uygulamalardandır. Şekil 4.12’de örnek teşkil edebilecek şebekeye bağlı FV sistem bağlantı şeması görülmektedir. Bağlantı

şemasına göre, FV panel çıkışında DA sigorta ve inverter, inverter çıkışında ise AA sigorta, yük dağıtım panosu ve sayaç üzerinden şebeke bağlantısı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.12 : Şebekeye bağlı FV sistem bağlantı şeması (Url-5)

4.12 Şebekeye Bağlı FV Sistemin Avantajları:

Şebekeye bağlı FV sistemlerde batarya ihtiyacı yoktur. FV sistemin ürettiği fazla elektrik enterkonnekte şebekeye satılabilir. FV sistemdeki herhangi bir arızada veya FV sistemin yeterli olmadığı durumda şebeke direk devreye girecektir. Modül sayısı yani çıkış gücü istenildiği zaman arttırılabilir.

4.13 Şebekeye Bağlı FV Sistemin Dezavantajları:

Frekans, güç faktörü, harmonikler, dalga şekli gibi önemli elektriksel parametreler çok düzenli regülasyon istediği için, şebekeye bağlı FV sistemde yüksek kalitede elektronik ekipmanlara ihtiyaç vardır. Bu nedenle maliyet artmaktadır.

4.14 FV Enerji Santrallerinin Şebekeye Sorunsuz Entegrasyonu

Herhangi bir FV enerji santralinin şebekeyle optimum şekilde enterkonnekte olabilmesi için aşağıda listelenen özellikleri sağlamak zorunda olduğu tespit edilmiştir.

- Değişen aktif ve reaktif enerji üretimlerinden dolayı şebekede istenmeyen gerilim değişimlerinin önlenmesi,
- Mevcut şebeke elemanlarının kısa devre akım limitleri ile ısı dayanım kapasitelerinin zorlanmaması,
- Flicker ve harmonik üretiminin kabul edilebilir sınırlar içinde olması,
- Anahtarlama ve anlık devreye girme olayları gibi geçici durumlarda şebeke kararlılığının limit değerleri içerisinde olması gerekmektedir.

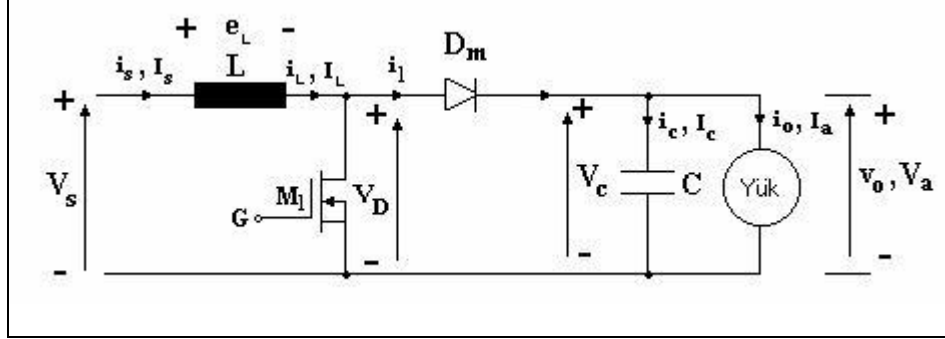
Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde karşılaşılan en önemli sorun şebeke hatları içerisinde meydana gelen dalgalanmalardır. Bu durum; yıldırım düşmesi sonucunda şebeke içerisinde meydana gelen voltaj ve frekans değerlerinin anlık değişmesine, ana şebeke besleme hattında meydana gelebilecek dengesizliklere ve FV sistemin bağlı olduğu şebeke hattından büyük değerlerde güç çekilmesi gibi durumlara sebebiyet verebilir. Bu durumda inverterler bu dalgalanmalara karşı verimsiz çalışacaktır ve inverter içerisindeki elektriksel bileşenlerin zarar görmesine neden olacaktır. Bu durumu engellemek amacıyla sistemde şebekedeki voltaj ve frekans değerlerini izleyen bir ünite yer almaktadır. Bu sistemde inverterlerin çıkış değer aralığına eşdeğer olan şebeke gerilim ve frekans parametrelerinin değerleri ayarlanarak sistem koruma altına alınmaktadır (Tozlu, 2004).

Şebekenin gerilim ve frekans değerlerinin, ayarlanan limit değerlerinin altında veya üzerinde olması durumunda koruma ünitesi devreye girerek FV sistem ile şebeke arasındaki güç aktarımını durdurur.

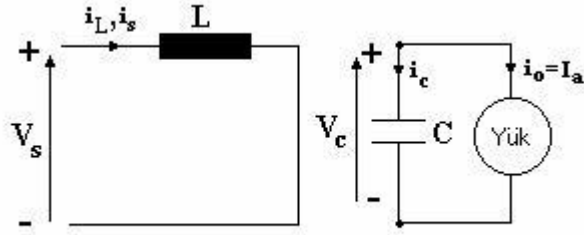
4.15 Yükselten Tip (Boost) DA/DA Konvertör

Boost konvertörlerde, çıkış gerilimi giriş geriliminden daha büyüktür. Şekil 4.13'de bir Boost konvertör devresi görülmektedir. Devre iki modda çalışır. Mod1, M1 tranzistörünün $t=0$ 'da ilettime geçmesiyle başlar. Anahtar iletimdeyken diyot ters kutupludur, böylelikle çıkış izole edilir (Mohan, 1989). Yükselen giriş akımı, L indüktansı ve M1 üzerinden akar. Mod2, M1 tranzistörünün $t=t_1$ anında yalıtıma geçmesiyle başlar. Tranzistör üzerinden akan akım, L , C , yük ve D_m diyotu üzerinden akacaktır. İndüktör akımı, M1 tranzistörü bir sonraki çevrimde tekrar ilettime girene

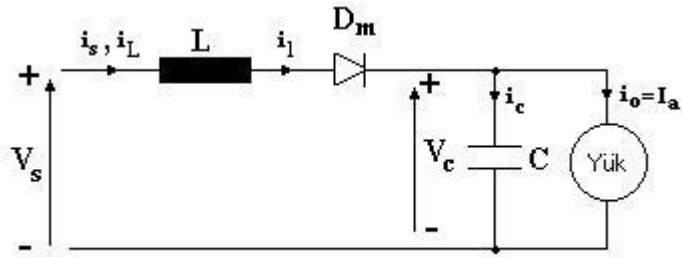
kadar düşer. L indüktansı üzerinde depolanan enerji yüke aktarılır. Modların eşdeğer devreleri, Şekil 4.14 ve 4.15’de görülmektedir. Sürekli yük akımı için, gerilim ve akım dalga formları ise şekil 4.16’da görülmektedir (Çetin, 2010).



Şekil 4.13 : Boost konverter devresi



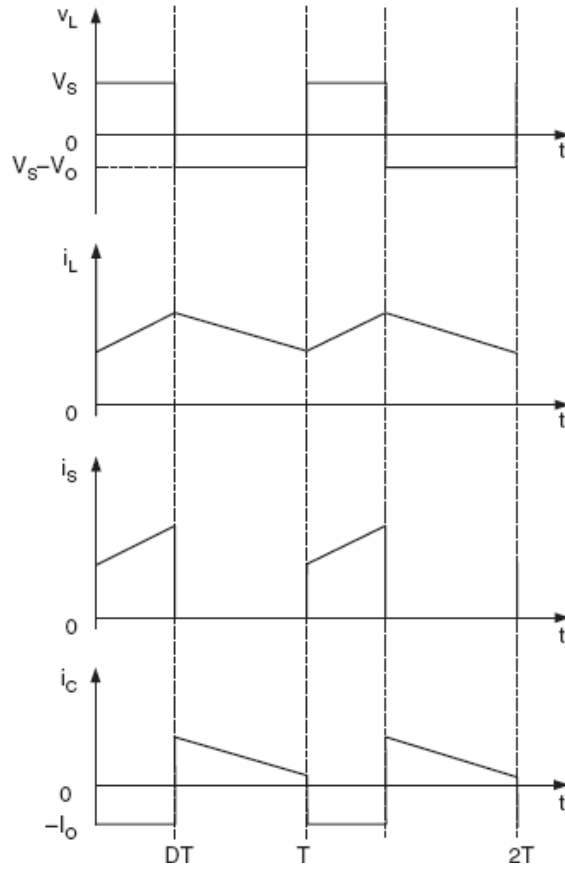
Şekil 4.14 : Boost konvertör için mod1



Şekil 4.15 : Boost konvertör için mod2.

İndüktör akımının, t_1 süresi içinde lineer olarak I_1 'den I_2 'ye yükseldiği kabul edilirse; denklem 4.7 elde edilir.

$$V_s = L \cdot (I_2 - I_1) / t_1 = L \cdot \Delta I / t_1 \quad (4.7)$$



Şekil 4.16 : Boost konvertörde sürekli yük akımı için gerilim ve akım dalga formları. (Çetin, 2010)

İndüktör akımının t_2 süresi içinde lineer olarak I_2 'den I_1 'e düştüğü kabul edilirse; denklem 4.8 elde edilir.

$$V_s - V_a = -L \cdot \Delta I / t_2 \quad (4.8)$$

elde edilir. Burada $\Delta I = I_2 - I_1$ 'dir ve ΔI değeri, L indüktörünün tepeden tepeye dalgalanma akımıdır. Denklem 4.7 ve 4.8'deki ΔI 'lar eşitlenirse; 4.9 denklemi elde edilir.

$$\Delta I = V_s \cdot t_1 / L = (V_a - V_s) \cdot t_2 / L \quad (4.9)$$

elde edilir (Rashid, 1993). t_1 yerine DT ve t_2 yerine $(1-D)T$ koyularak ortalama çıkış gerilimi 4.10'daki gibi oluşturulur.

$$V_a = V_s \cdot T / t_2 = V_s / (1 - D) \quad (4.10)$$

Kayıpsız bir devre olduğu kabulü ile 4.11'de görülen eşitlik elde edilir.

$$V_s \cdot I_s = V_a \cdot I_a = V_s \cdot I_a / (1-D) \quad (4.11)$$

ortalama giriş akımı 4.12 eşitliğindeki gibi elde edilir (Çetin, 2010).

$$I_s = I_a / (1-D) \quad (4.12)$$

Bir Boost konvertör, çıkış gerilimini transformatör kullanmaksızın yükseltebilir. Dolayısıyla boost konvertörü, gerilim yükseltici bir DA transformatör gibi düşünmek mümkündür. Konvertör tek tranzistör kullanır ve bu yüzden verimi yüksektir. Giriş akımı sürekli. Ancak yüksek pik akımı, tranzistör üzerinden akar. Çıkış gerilimi, D'deki değişimlere çok hassastır ve konvertörü kararlı hale getirmek zordur. Ortalama çıkış akımı, (1-D) faktöründen dolayı ortalama indüktör akımından daha düşüktür ve çok daha yüksek bir etkin akım değeri filtre kapasitörü üzerinden akar. Böylelikle, bir buck konvertördekinden daha büyük filtre kapasitörü ve indüktör kullanılması gerekir (Çetin, 2010).

4.16 Güneş Pili ile Beslenen Şebeke Etkileşimli Inverterler

Güneş Pillerinin şebekeye bağlanabilmesi ve böylece daha verimli bir çalışma sağlanabilmesi için şebekeyle paralel çalışabilen ve şebeke etkileşimli adı verilen inverterlere ihtiyaç vardır.

Şebeke etkileşimli inverterler ile FV panellerde üretilen DA elektrik enerjisi AA elektrik enerjisine dönüştürülmekte olup, inverter çıkışı dağıtım tablosuna bağlanmaktadır.

Sistemdeki yüklerin tamamı veya bir kısmı inverterden beslenebildiği gibi üretilen enerjinin ihtiyaçtan fazla olması durumunda şebekeye enerji aktarımı da mümkün olmaktadır. Böylece daha verimli bir çalışma sağlanabilmektedir. Bu tip bir inverter ile küçük güçlü bir FV sisteme sahip bir kullanıcının dahi günün belli saatlerinde satıcı durumuna geçebilmesi mümkün olabilmektedir.

4.16.1 Şebeke bağlantılı bir inverterde bulunması gereken temel özellikler

- Şebekeye sinüs şeklinde akım enjekte etmeli ve bu akımın harmonikleri yönetmeliklerde belirtilen sınırlar içinde olmalıdır.
- Şebeke etkileşimli inverterin güç faktörü 1 olmalıdır.
- Inverterdeki güç elemanlarının yüksek frekanslı anahtarlama nedeniyle oluşan radyo girişimi kontrol altında olmalıdır.
- Şebeke kesildiğinde şebeke etkileşimli inverter şebekeden ayrılmalıdır.
- FV Sistemin veriminin en yüksek tutulmasını yani FV panellerden her an maksimum güç çekilmesini sağlamalıdır (Sefa, 2009).
- Şebekeye bağlı inverterlerde karşılaşılabilecek en büyük sorun, şebekenin kesilmesi durumunda, inverterin şebekeye enerji aktarımına devam etmesidir. Adalama olarak bilinen bu olayı önlemek amacıyla şebekenin voltaj ve elektriksel parametrelerinin normal değerlerinin üzerinde veya altında iken, FV sistemin şebeke ile olan bağlantısını kesen yüksek ve düşük voltaj röleleri ile yüksek ve alçak frekans röleleri kullanılır.
- Güneş ışınımının olmadığı durumlarda veya fotovoltaik modülden gelen giriş gücünün limit değerleri dışında olması durumunda inverter otomatik olarak kendisini devre dışı bırakır ve güneş ışınımının yeterli olduğu durumda tekrar şebekeye güç aktarımına başlar.
- Inverterler şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olmak üzere iki gruba ayrılır. Şebekeden bağımsız inverterlerde üretilen alternatif gerilimin 220V efektif değere ve 50 Hz frekansa sahip olması yeterlidir. Ancak şebekeye bağlı inverterlerin ek olarak şebekeye senkron olabilme, güneş pillerini maksimum güç noktasında çalıştırabilme ve şebekeye kontrollü olarak güç aktarabilme yeteneklerinin olması gereklidir.

Şebeke etkileşimli FV Sistemlerle ilgili dünya çapında kabul gören IEC 61727, IEEE1547, EN61000-3-2 Standartlarına göre harmonik, güç faktörü, gerilim ve frekans sınır değerleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Şebeke etkileşimli FV sistemler ile ilgili belirli standartlar (Sefa, 2009)

KONU	IEC61727	IEE1547	EN61000-3-2
ANMA GÜCÜ	10kW	30kW	16A*230V=3.7kW
Derecesine göre harmonik akım limitleri	(3-9) % 4.0 (11-15) % 2.0 (17-21) % 1.5 (23-33) % 0.6	(2-10) % 4.0 (11-16) % 2.0 (17-22) % 1.5 (23-34) % 0.6 >35 % 0.3	(3) 2.30A (5) 1.14A (7) 0.77A (9) 0.40A (11) 0.33A (13) 0.21A (15-39) 2.25/h
	Bu aralıktaki çift sıralı harmonikler listelenen tek sıralı harmoniklerden %25 daha az olmalıdır.		Tek sıralı harmoniklerin yaklaşık %30'u kadar
Maksimum Akım THB'si	%5.0	%5.0	-
Anma Gücün %50'sinde Güç faktörü	0.9	-	-
DA akım enjeksiyonu	Anma çıkış akımının %1.0'ından az	Anma çıkış akımının %0.5'inden az	<0.22A-50W yatırım dalga doğrultucuya uyan
Normal çalışma için gerilim aralığı	%85-%110 (196-253V)	%88-%110 (97V-121V)	-
Normal çalışma için frekans aralığı	50±1 Hz	59.3Hz-60.5Hz	-

4.17 Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, güneş radyasyonunun yer yüzeylerini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeylerinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olur. Güneş ışınları olduğu sürece rüzgâr olacaktır. Rüzgâr güneş enerjisinin dolaylı bir ürünüdür. Rüzgârı oluşturan hava akımının sahip olduğu enerji hareket (kinetik) enerjisidir. Bu enerjinin bir bölümü mekanik veya elektrik enerjisine dönüştürülebilir.

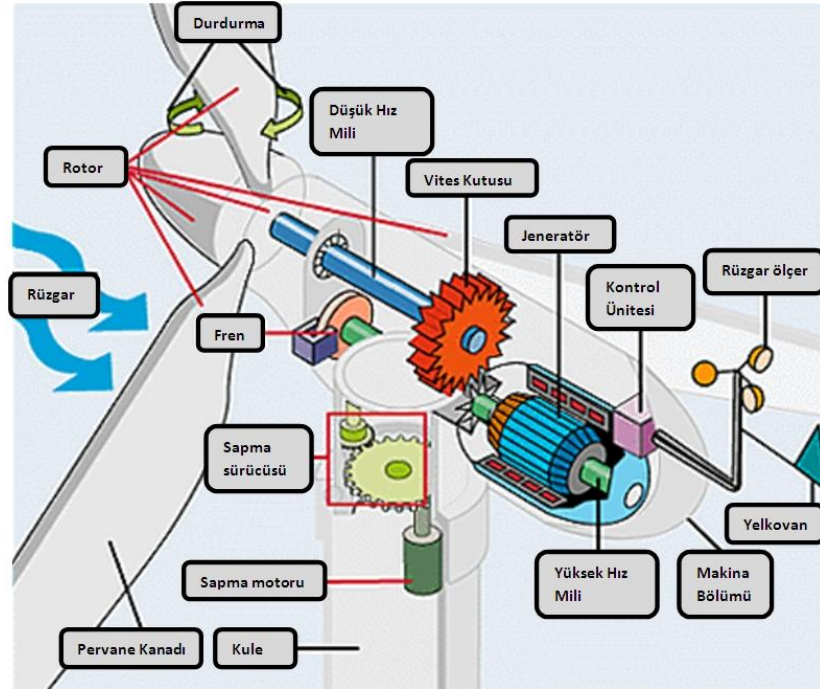
4.18 Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr türbinleri, rüzgârdaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bir rüzgâr türbini genel olarak kule, jeneratör, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve pervaneden oluşur. Rüzgârın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Pervane milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki jeneratöre aktarılır. Jeneratörden elde edilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılır.

Kullanımdaki rüzgâr türbinleri boyut ve tip olarak çeşitlilik gösterse de, genelde dönme eksenine göre sınıflandırılır. Rüzgâr türbinleri dönme eksenine göre **Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri (YERT)** ve **Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri (DERT)** olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar.

4.19 Rüzgâr Türbini İç Yapısı

Rüzgâr Türbinini oluşturan parçalardan pervane kanatları, rotor, eğim, fren, düşük hız mili, dişli kutusu, jeneratör, kontrol ünitesi, rüzgar ölçer ve anemometre, rüzgâr kanadı, motor yeri, yüksek hız mili, sapma sürücüsü, sapma motoru ve kule parçaları Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17 : Rüzgâr türbinini oluşturan parçalar (Url-19)

Rüzgâr türbinini oluşturan parçaların bazılarının görevleri aşağıdaki gibidir.

- **Makina Bölümü**

Makine bölümü rüzgâr türbin kulesinin tepesinde durur ve içerisinde vites kutusunu, düşük ve yüksek hız millerini, jeneratörü, kontrol ünitesini ve freni bulundurur.

- **Pervane Kanatları**

Pervane kanatları, rüzgârı yakalar ve rüzgârın gücünü pervane göbeğine aktarır.

- **Düşük Hız Mili**

Rüzgâr türbininin düşük hız mili, pervane göbeğini dişli kutusuna bağlar.

- **Dişli Kutusu**

Vitesler düşük hız milini, yüksek hız miline bağlayarak dönüş hızını 30–60 devir/dakikadan (rpm) 1000–1800 devir/dakika seviyesine (elektrik üretmek için gerekli olan dönüş hızı) çıkartır.

- **Mekanik Frenli Yüksek Hız Mili**

Mekanik frenli yüksek hız mili, dakikada yaklaşık 1500 devir hız ile döner ve elektrik üreticini çalıştırır.

- **Elektrik Üretici**

Elektrik üretici, genelde bir senkron üreteç veya asenkron üreteçtir.

- **Elektronik Kontrol Ünitesi**

Elektronik kontrol ünitesi, rüzgâr türbininin durumunu sürekli izleyen ve eğim mekanizmasını kontrol eden bir bilgisayar içerir.

- **Anemometre ve Yelkovan**

Anemometre (Rüzgâr ölçer) ve yelkovan, rüzgâr hızı ve yönünü ölçmek için kullanılır. Anemometreden gelen elektronik sinyaller, rüzgâr hızı yaklaşık 5 m/s'ye yaklaştığında rüzgâr türbininin elektronik kontrol ünitesi tarafından rüzgâr türbinini çalıştırmak için kullanılır. Bilgisayar, türbini ve çevresini korumak için rüzgâr hızı 25 m/s'yi aştığında türbini otomatik olarak durdurur (Url-19).

4.20 Hızlarına Göre Rüzgâr Türbini Tipleri

Rüzgâr türbinleri hızlarına göre sabit hızlı ve değişken hızlı rüzgâr türbinleri olmak üzere ikiye ayrılırlar.

4.20.1 Sabit hızlı rüzgâr türbinleri

Sabit hızla çalışan rüzgâr türbinlerinde, rüzgâr türbininin rotor hızı sabittir ve besleme şebekesinin frekansı, dişli oranı ve jeneratör tasarımı tarafından belirlenir. Reaktif güç kompanzasyonunu azaltmak için bir soft starter, kapasitör grubu ve şebekeye doğrudan bağlanmış bir indüksiyon jeneratörüyle (sincap kafesli ya da rotoru sargılı) donatılmıştır. Belirli bir rüzgâr hızında maksimum verim sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Sabit hızlı rüzgâr türbini basit, sağlam, güvenilir ve kanıtlanmış olma avantajına sahiptir. Elektriksel parçaların maliyeti düşüktür. Dezavantajları ise sınırlı güç kalite kontrolü, mekanik zorlama, kontrol edilemeyen reaktif güç harcamasıdır. Sabit hızlı

çalışmasından dolayı rüzgâr gücündeki salınımlar, zayıf şebekelerde gerilim dalgalanmalarına neden olabilir.

4.20.2 Değişken hızlı rüzgâr türbinleri

Son yıllarda değişken hızlı rüzgâr türbini kullanımında artış gözlenmiştir. Değişken hızlı rüzgâr türbinleri geniş bir rüzgâr hızı aralığında maksimum bir verim sağlamak üzere tasarlanmıştır. Değişken hızlı çalışma ile rüzgâr türbininin dönüş hızının(w) rüzgâr hızına sürekli uyarlanması (ivmelenme ya da yavaşlama) mümkün hale gelmiştir. Bu şekilde uç hız oranı (λ) maksimum güç katsayısına karşılık gelen ön tanımlı bir değerde tutulur. Değişken hızlı sistemler jeneratör torkunu sabit tutar ve rüzgâr değişimleri jeneratör hızındaki değişiklikler tarafından absorbe edilir.

Değişken hızlı RT elektriksel sistemi, sabit hızlı RT elektriksel sisteminden daha karmaşıktır. Rüzgâr türbini indüksiyon jeneratörü ya da senkron jeneratörle donatılmış olup, şebekeye bir güç konverteri vasıtasıyla bağlanır. Güç konverteri jeneratör hızını kontrol eder. Rüzgâr hızındaki değişimler, rüzgâr türbini rotor hızındaki değişimler tarafından absorbe edilir.

Değişken hızlı RT'lerin avantajı artırılmış güç kalitesi ve enerji yakalama özelliğidir. Değişken hızlı RT'lerin dezavantajı ise güç elektroniğinden dolayı kayıplar ve maliyetlerin artmasıdır (Ackermann, 2009).

4.21 Rüzgâr Türbinlerinde Güç Elektroniği

Rüzgâr Türbinlerinde yumuşak yolvericiler, kapasitör grupları, doğrultucular, inverterler ve frekans konverterleri gibi güç elektroniği cihazları kullanılmaktadır.

Güç elektroniği, rüzgâr çiftliklerinin şebekelerde aktif elemanlar haline gelmesini mümkün kılar. Şebekeye ilişkin olarak bu özellik çeşitli avantajlar sunar.

- Rüzgâr çiftliğinin aktif ve reaktif güç akışı kontrol edilebilir.
- Rüzgâr çiftliğindeki güç konverteri zayıf şebekeler söz konusu olduğunda lokal bir reaktif güç kaynağı olarak kullanılabilir.
- Rüzgâr çiftliğinin şebeke kararlılığı üzerinde pozitif bir etkisi vardır.
- Güç konverterleri, kırışma seviyesini azaltarak rüzgâr çiftliğinin güç kalitesini geliştirir.

- Düşük harmonikleri filtreler ve kısa devre gücünü sınırlandırır.

Şebeke söz konusu iken güç elektroniği, şebeke üzerinde yüksek harmonik üretme dezavantajına sahiptir (Ackermann, 2009).

4.22 Rüzgar Türbinlerinde Asenkron Jeneratörler

Asenkron jeneratörün statoru üç faz grubundan birçok sarıma yataklık yapar. Bu üç grup sargı fiziksel olarak stator etrafına yayılmıştır. Bu sargılar üzerindeki akım akışından dolayı rotor etrafında, çevresinde dönen bir manyetik alan oluşur ki bu manyetik alan asenkron makinenin en önemli çalışma özelliğini gösterir. Dönen manyetik alanın açıl hızı aynı zamanda senkron hızdır. Buradaki senkron hızı N_s 4.13 denkleminde gösterildiği gibidir.

$$N_s = 60f/p \quad (4.13)$$

$f \rightarrow$ frekans

$p \rightarrow$ manyetik alan kutup çifti

Stator manyetik alanı N_s (senkron hızı) ile döner. Döner manyetik alanı ile rotor arasındaki bağıl hız her bir rotor dönüşünde gerilim indükler. Çünkü stator ϕ akıları, rotor tarafından kesilir (Url-20).

Boşta çalışma durumunda (manyetik yük yok, sürtünmeler ihmal, sıfır direnç) rotor, stator döner alanı ile aynı hızda (senkron hızda) dönecektir. Bu hızda rotorda herhangi bir akım indüklenmez, dolayısı ile moment oluşturmaz. Yani bu noktada rotor dengede olup, sürekli olarak senkron hızda döner. Makine bu durumda motor olarak çalışır.

Eğer rotor bir rüzgâr türbinine bağlanırsa ve senkron hızdan daha yüksek bir hızda döndürülürse, rotorda indüklenen akım ve momentin yönü motor çalışma durumuna göre ters yönde olur. Bu durumda makine jeneratör olarak çalışır. Türbinin mekanik gücünü elektrik gücüne çevirir ve stator uçlarına bağlı yükü besler. Eğer makine şebekeye paralel olarak çalışıyor ise şebekeye güç temin edecektir. Yani makinenin jeneratör olarak çalışabilmesi için senkron hızdan daha yüksek bir hızda döndürülmesi gerekir. Asenkron makinelerde stator ile rotor arasında elektriksel bir bağlantı olmayıp, tamamen elektromanyetik endüksiyon prensibine göre çalışır. Asenkron makinenin çalışma prensibi transformatöre benzetilebilir.

Statordaki yüksek gerilim sargıları kendisi üzerinde kısa devre edilmiştir. Güç her iki sargı yönünde de akabilir (Apaydın, 2009).

4.22.1 Kendinden uyarımlı asenkron jeneratörler

Eğer stator, 3 fazlı uyarma akım sistemi ile birlikte dizayn edilirse rüzgâr türbinine ve dişli kutusuna bağlı olan makine başlangıçta motor olarak çalışmaya başlayacak ve senkron hızı yakalama yönünde hızını arttıracaktır. Rüzgâr hızı jeneratör miline senkron hızı aşacak seviyede etki edince, asenkron makine otomatik olarak jeneratör çalışmaya geçecektir ve elde edilen elektriksel gücü stator sargıları üzerinden şebekeye aktarılacaktır. Makine şebeke ile paralel çalışıyor ise bu süreçte üç fazlı mıknatıslanma akımı şebekeden temin edilir. Bununla birlikte, makine harici bir kondansatör bağlayarak makinenin ihtiyacı olan uyarma akımı şebekeye ihtiyaç olmaksızın sağlanmış olur (Url-20).

4.22.2 Hız kontrollü asenkron jeneratörler

Şebekeye doğrudan bağlı asenkron jeneratörlerde görüldüğü üzere, değişken kayma özelliği jeneratörün hızını değiştirebilir. Ancak yüksek kayma oranı, rotorda yüksek kayıplara neden olacağından, kayma miktarının %10 seviyelerini geçmemesine dikkat edilir. Bununla birlikte rotor gücü şebekeye aktarılarak jeneratör hız kontrolü için kullanılabilir (Url-20).

4.22.3 Sincap kafesli asenkron Jeneratörler (SKAJ)

Sincap Kafesli Asenkron Jeneratör (SKAJ) bir AA sisteme doğrudan bağlanıp sabit hızda işletilebileceği gibi güç elektroniği üniteleri ile birlikte değişken hızlarda da işletilebilir. Sincap kafesli asenkron makineler, fırçasız, güvenilir, ekonomik ve sağlam bir yapıya sahip olmaları nedeniyle uygulamada sıkça kullanılmaktadır. Kayma dolayısıyla rotor hızı, üretilen gücün miktarıyla değişir. Rotor hızındaki değişimler %1–2 civarındadır. Bu yüzden, bu tip asenkron jeneratör rüzgâr hızının sabit olduğu zamanlarda avantajlıdır.

Dezavantajları; jeneratör parametrelerinin sıcaklık ve frekansla değişerek sistemin kontrolünü karmaşık hale getirmesidir. Moment-hız eğrisi lineerdir. Böylece rüzgâr gücündeki dalgalanmalar direkt olarak şebekeye iletilir. Bu geçişler özellikle rüzgâr türbininin şebeke bağlantısı sırasında kritiktir. Bu noktalarda nominal akımdan 7-8

kat daha hızlı akım geçişi olur ki bu sistemin dezavantajlarından biridir. Ayrıca SKAJ reaktif güç tüketir. Birçok durumda, özellikle büyük türbinlerde ve zayıf şebekelerde bu istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden SKAJ, reaktif güç faktörünü birleştirmek için kapasitörler kullanarak güç tüketimini dengeler (Apaydın, 2009).

4.22.4 Rotoru sargılı asenkron jeneratör (RSAJ)

Bir Rotoru Sargılı Asenkron Jeneratörde (RSAJ) rotorun elektriksel özellikleri dışarıdan kontrol edilebilir ve böylece rotor gerilimi değiştirilebilir. Rotor sargı uçları rotorla beraber dönen bileziklerle bağlıdır. Bilezikler üzerinde sabit duran fırçalar yardımıyla, rotor sargıları üç fazlı bir yol verici direncine ya da dış kaynağa bağlanabilir. Böylece yol alma akımı sınırlandırıldığı gibi hız ayarı da yapılabilir. Dezavantajı pahalı olması ve SKAJ kadar sağlam olmamasıdır (Apaydın, 2009).

4.22.5 Çift beslemeli asenkron jeneratör (ÇBAJ)

Çift Beslemeli Asenkron Jeneratör (ÇBAJ) stator sargıları direkt olarak sabit frekanslı, 3 fazlı şebekeye bağlı bir RSAJ ile rotor sargılarına monte edilmiş iki yönlü IGBT konvertörden meydana gelmiştir. Genellikle rotor tarafındaki konverter kontrol sistemi, elektromanyetik torku regüle eder ve jeneratörün manyetizasyonunu sürdürebilmesi için reaktif güç sağlar. Şebeke tarafındaki konverter kontrol sistemi ise, DA linkini regüle eder. ÇBAJ değişik rüzgar hızı uygulamalarına imkan sağlar, ancak sınırlıdır (Dursun, 2008).

4.23 Şebekeye Bağlı Rüzgar Türbini Sistemleri

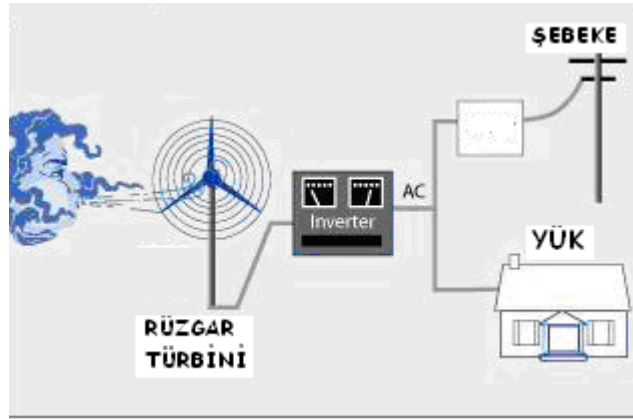
Rüzgâr enerjisi çok kesintili bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerjisini, hiçbir sınırlamaya tabi tutmadan elektrik enerjisine çevirerek şebekeye veren RT sistemi çok kesintili bir elektrik enerjisi üretmektedir. RT sisteminde üretilen elektrik enerjisi üretildiği tesiste aynı anda tüketilebildiği gibi şebeke bağlantısı ile fazla enerji şebekeye aktarılmaktadır.

4.23.1 Rüzgâr türbini şebeke bağlantısı

Rüzgâr türbinlerindeki enerji dönüşümü sırasında kullanılan üç temel eleman, pervane, vites kutusu ve jeneratördür. Pervane, rüzgâr enerjisini mekanik enerjiye çevirir. Jeneratör, bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek tüketir. Vites kutusu ise, pervaneyi jeneratör hızına göre düzenler. Sabit hızlı makinalarda,

jeneratör doğrudan ana şebekeye bağlıdır. Sabit hızlı rüzgâr türbininin en büyük faydası basit yapıda ve ucuz olmasıdır. Ayrıca herhangi bir senkronizasyon ünitesi gerektirmez. Dezavantaj olarak ise, yüksek başlama akımı ve reaktif güç gerektirmesidir.

Rüzgâr türbinlerinden elde edilen elektrik enerjisi mevcut elektrik şebekesine verilmektedir. Her ülkenin kendi sistemine göre değişmekle birlikte, genel olarak 300 kW'a kadar olan küçük rüzgâr türbinleri alçak gerilim sistemine, 10–15 MW'a kadar olan küçük ve orta büyüklükteki rüzgâr santralleri orta gerilim sistemine, 15 MW'tan daha büyük rüzgâr santralleri ise yüksek gerilim sistemine bağlanmaktadır. Şebekeye bağlı rüzgâr türbini sistemi bağlantısı Şekil 4.18'de görülmektedir.



Şekil 4.18 : Şebekeye bağlı rüzgâr türbini sistemi (Url-23)

Rüzgâr konverterleri son 5-10 yılda büyük bir gelişme göstermiştir. Bugün kullanılan modern rüzgâr türbinlerinde olduğu gibi rüzgâr enerjisi, elektrik enerjisine çevrilerek şebekeye verilmeden önce çeşitli kademelerden geçmektedir. Türbinler personelsiz işletildikleri için, türbini her türlü şebeke olayına ve türbin arızasına karşı koruyan bilgisayarlı bir kontrol sistemi içermektedir. Çok nadir olarak meydana gelen arızalarda türbin kontrol sistemi tarafından sinyal yollanmakta, uzaktan müdahale edilerek veya teknisyen gönderilerek arıza giderilmektedir.

İletim şebekesine bir rüzgâr santrali en yakın TEİAŞ trafo merkezine çekilecek bir iletim hattı ile ya da en yakın iletim hattına girdi-çıkıtı yapılarak şebekeye bağlanabilir. İletim şebekesinin gerilim seviyesi 154kV veya 300kV'tur. Bu gerilimdeki trafo merkezlerinin kısa devre güçleri 300-400MVA'dan başlamakta, 10.000MVA'ya kadar çıkabilmektedir. Bu nedenle büyük güçte rüzgâr santrali tesis etmek isteyenler ancak iletim şebekesine bağlanabilecektir.

Dağıtım sistemine bağlanacak bir rüzgâr çiftliğindeki elektrik bağlantılarının gerilim seviyesi, tercihen bağlanacak trafo merkezinin gerilim seviyesi olarak seçilmektedir. Bu durumda santral çıkışına ilave bir yükseltici (veya düşürücü) trafo tesis maliyeti olmayacaktır.

Rüzgâr tarlası veya rüzgâr türbininin ürettiği aktif ve reaktif güç, şebeke empedansı üzerinden akarken şebeke gerilimini etkileyecektir. Bu etkiler düşük güçlü şebekeler için daha büyük olacaktır. Etki, olağandışı haller hariç diğer tüketicilerin şebekeye bağlantı noktasında ise en yüksek değerde olacaktır.

Eşdeğer sistem empedansının endüktif bileşeninin rezistif bileşene oranı da (X/R oranı) önemlidir. Bu oran genellikle 2 civarındadır ve bu değer sabit hızlı rüzgâr türbinlerinin etkilerinin en aza indirildiği değeri gösterir. Şebeke empedansı terimi için faz açısı terimi de kullanılır.

Ülkemizdeyse trafoları, türbinleri ve bağlantı kablolarını korumak için kesici, ayırıcı gibi ilave teçhizat ve kablo arızalarına karşı ring sisteminin kullanılması şart koşulmakta, bu da santral maliyetlerini arttırmaktadır

Kısa süreli periyotlar içindeki enerji üretimindeki dalgalanmalar elektrik dağıtım şebekesine küçümsenmeyecek zararlar verebilmektedir. Kesintili yük çeken tesislerin elektrik şebekesindeki olumsuz etkileri çok eskiden beri bilinmektedir. Bu nedenle kesintili üretim yapan bir rüzgâr konverterinin de şebekeye yaptığı olumsuz etkileri sınırlamak için, diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de sınırlamalar getirilmiştir.

Rüzgâr konverterlerinin şebekeye yaptığı olumsuz etki, şebekeye bağlantı noktasındaki kısa devre gücüne bağlıdır. Bugün ülkemizde tesis edilecek bir rüzgâr santralının kurulu gücü, bağlantı noktasındaki minimum kısa devre gücünün yüzde beşi ile sınırlıdır. Türbinlerin ilk devreye girerken çektiği akım sınırlandırılarak, şebekeye etkisi azaltılmaktadır. Rüzgâr hızına göre üretimi sabit tutmak amacıyla kanat açıları sürekli değiştirilmektedir. Bir kısım rüzgâr türbinleri ise, ani gelen rüzgâr darbeleri ile üretim yapmadan dönüş hızını artırmakta, bu şekilde rüzgâr darbesinin elektrik darbesi olarak şebekeye aktarılmasını nispeten engellemektedir.

Rüzgâr santrallerinin elektrik üretimdeki payı artıp, büyük güçlü türbinlerin şebekeye bağlanması ile sistem daha zayıf hale gelmektedir. Burada zayıf olarak nitelenmesi, rüzgâr hızına bağlı olarak üretim kapasitesinin, gerilim kararlılığının ve hata sonrası düzeltme yeteneğinin düşük olmasıdır. Bu amaçla rüzgâr santrallerinin 24 Eylül

2008'de Resmi Gazete'de yayınlanan yönetmelik gereği Ek-18'de yer alan şebeke bağlantı kriterlerine uyması zorunlu hale getirilmiştir. Birçok ülkede uygulanan bağlantı kriterleri arasından Nordic bağlantı kriterleri Türkiye'dekine en yakın olanıdır.

Ek-18 altı ana başlıktan oluşmaktadır. Bunlar:

- Hata sonrası sisteme katkısı
- Aktif güç kontrolü
- Frekans tepkisi
- Otomatik gerilim regülasyonu
- Reaktif güç kontrolü
- Akım, gerilim dalga şekli kalitesidir.

Rüzgâr santralının bağlantı noktasında Ek-18 yönetmeliğinde belirlenen kriterlerin sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Dolayısıyla rüzgâr santralini oluşturan bağlantı transformatörü, OG kablolar, türbin trafoları ve türbinlerin tümü birlikte değerlendirilmelidir. OG kablolar, kapasitif reaktif güç, transformatörler endüktif reaktif güç, türbinler ise hem endüktif hem kapasitif reaktif güç üretmektedir. Buna göre sistemin yönetmeliklere uyumunu incelemek için türbinlerin farklı yüklenme durumlarını görmek gerekir. Bu amaçla yapılan yük akışı analizi ile toplam reaktif güç gereksinimi belirlenir.

4.23.2 Rüzgâr türbini şebekeye etkileri

Rüzgâr türbininin elektrik enerjisi üretim performansı ile şebeke üzerine yapacağı etkiler güç kalitesi kavramını oluşturmaktadır. Zayıf şebeke ve iletim hatlarının bulunduğu bölgelerde rüzgâr santrali kurmaktan kaçınılmalıdır. Rüzgâr türbininin şebekeye yapacağı etki genellikle gerilim değişimi (artış veya azalış) şeklinde kendini gösterecektir. Bu durum aşağıdaki biçimlerde olur

- Harmonik (>50 Hz),
- Flicker (0.01-35Hz),
- Gerilim artışı (<0.01 Hz),
- Ani değişimler (rastgele değerler).

Gerilim değişimlerine ek olarak rüzgâr türbininin şebekeden reaktif güç çekmesi de şebeke için istenmeyen bir durumdur. Güç üretimi, türbülans yoğunluğu ve rüzgâr

kayması gibi olaylar arazi yapısı ve meteorolojik koşullara bağlıdır. Aktif ve reaktif gücün üretimi ve tüketimi sırasında gerilim yükselmesi ve düşmesi meydana gelebilir (Özaktürk, 2007).

4.23.3 Rüzgâr türbinlerinde harmonik akımlar:

Harmonikler yumuşak başlatma (soft start) üniteleri tarafından üretilirler. Kısa süreli olmaları ve türbinlerin aynı zamanda başlama olasılığının düşük olması nedeni ile ihmal edilebilir. Değişken hızlı türbinlerde, sürekli olarak harmonik akımlar üretildiğinden filtreler gerekli olabilir. Filtre tasarımı rüzgâr tarlasına özgü olabilir, filtreler hacimlidir ve ek maliyet gerektirir. Harmonikler genelde inverterli rüzgâr türbinlerinde oluşmaktadır. Bugün geliştirilmiş çoğu türbinde kısmi de olsa inverter kullanılmakta ve gerekli filtreler kullanılarak harmonikler istenilen seviyelere indirilmektedir.

Güç elektroniğine sahip bir rüzgâr türbininin sürekli çalışması sırasındaki harmonik akımın yayını ifade edilmelidir. Maksimum harmonik akımı veren çıkış gücünde her bir derece için ellinci harmoniğe kadar harmonik akım değerleri ve toplam harmonik bozulumu da belirtilmelidir (Ackermann, 2009).

4.23.4 Rüzgâr türbinlerinde gerilim kalitesine harmonik etkiler

Lineer olmayan yükler, gerilim dalga biçimini bozarak nötr iletkenlerin aşırı ısınmasına sebep olabilir, transformatörlerin elektriksel dağılımını bozabilir, elektronik ekipmanlarda ve haberleşme sistemlerinde arızalara sebebiyet verebilir.

Araya giren bir güç elektroniği konverteri olmaksızın şebekeye doğrudan bağlanan bir indüksiyon jeneratörü olan rüzgâr türbininin gerilim dalga şeklini bozması beklenmemektedir. Güç elektroniği konverterlerini kullanan değişken hızlı rüzgâr türbinleri, harmonik akımların değerleri hesaplanmış sınır değerlerine göre değerlendirilmelidir.

Modern rüzgâr türbinlerinde harmonik gerilimleri etkileyebilen tristör tabanlı konvertörler yerine transistör tabanlı ve 3kHz anahtarlama frekansında çalışan konverterler kullanıldığında, gerilim dalga şekli üzerindeki etkisi ihmal edilebilir seviyededir. Önemli harmonik kaynaklara sahip şebekeler için, kapasitör gruplu rüzgâr çiftlikleri gibi yeni birimlerin bağlantısı, harmonik empedansın hatalarını engellemek için dikkatli bir şekilde tasarlanmalıdır.

Modern motor sürücüleri 1kHz üzeri frekanslarda yüksek derecedeki harmonikleri yayar. Şebeke bağlantılı rüzgâr türbinleri için güç kalite karakteristiklerinin ölçümü ve değerlendirilmesine ilişkin Uluslararası Elektrik Komisyonu (IEC) standardına göre (IEC 61400-21), harmonik yayınların yalnızca güç konverterine sahip rüzgâr türbinleri için ölçülmesi gereklidir. Doğrudan şebeke bağlantılı indüksiyon jeneratörlerine sahip rüzgâr türbinlerinden harmonik yayınların ölçülmesine gerek yoktur (Ackermann, 2009).

4.23.5 Rüzgâr türbini sistemlerinde flicker (kırpışma) etkisi

Rüzgâr Türbinleri, başlatmalar sırasındaki anahtarlama işlemlerinin ve sürekli çalışma sırasında çıkış gücündeki hızlı dalgalanmaların sonucu olarak kırpışma yayar.

Rüzgâr Türbininin aktif ve/veya reaktif gücünün dalgalanmaları kırpışmaya neden olur. Sabit hızlı rüzgâr türbinlerdeki kırpışmaya ilişkin temel neden kulenin uyanmasıdır. Bir rotor kanadı kuleyi her geçişte, türbinin güç çıkışı indirgenir. Genellikle sabit hızlı rüzgâr türbinlerinin kırpışması yüksek rüzgâr hızlarında maksimum değerine ulaşır. Yumuşatma etkilerinden dolayı büyük rüzgâr türbinleri genelde küçük rüzgâr türbinlerine göre daha düşük kırpışma gösterir. Değişken hızlı türbinler için, hızlı güç dalgalanmaları yumuşatılır ve kulenin uyanması güç çıkışını etkilemez. Bu nedenle değişken hızlı güç türbinlerinin kırpışması sabit hızlı güç türbinlerinin kırpışmasından daha düşüktür (Ackermann, 2009).

4.23.6 Rüzgâr türbinlerinde reaktif güç

Şebekeye doğrudan bağlanmış bir indüksiyon jeneratörüne sahip rüzgâr türbinleri, aktif çıkış gücünün bir fonksiyonu olarak reaktif gücü harcar. Bu harcama kapasitörler tarafından kompanze edilir. Kapasitör grubu sabit hızlı ya da değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde kullanılan ve indüksiyon jeneratörlerine reaktif güç sağlayan elektriksel bileşenlerdir. Böylece jeneratör tarafından absorbe edilen reaktif güç en aza indirilir. Kapasitör grupları rüzgâr türbininin en üstüne monte edilir. Rüzgar türbinleri, şebekede aşırı gerilimler söz konusu olduğunda ağır bir şekilde yüklenmiş ve hasar görmüş olabilir. Bu şekilde sistemin bakım maliyeti artabilir.

Sabit hızlı rüzgâr türbinlerinin asenkron jeneratörünün reaktif güç talebi kısmen kapasitör gruplarıyla kompanze edilmektedir. Bu nedenle genel olarak güç faktörü

(aktif gücün görünür güce oranı) 0.96 civarındadır. PWM inverter sistemlerine sahip değişken hızlı rüzgâr türbinleri reaktif gücü dengelemek için invertere sahiptir. Bu nedenle bu tip rüzgâr türbinleri genel olarak 1.00 lık bir güç faktörüne sahiptir. Bu türbinler geniş bir aralıkta reaktif gücü kontrol edebilir. Bu nedenle, rüzgâr çiftliğinin şebeke bağlantı noktasında gerilimin kontrol edilmesi ya da daha kararlı bir şekilde tutulması mümkündür (Ackermann, 2009).

5. GÜÇ SİSTEMLERİNDE ENERJİ KALİTESİ

5.1 Enerji Kalitesi Tanımı

Enerji kalitesi; ölçülen veya hesaplanan parametre değerlerinin, uluslararası standart otoriteleri tarafından belirlenen limitler dâhilinde olup olmaması durumudur. Enerji kalitesi kavramları Şekil 5.1'deki gibidir.



Şekil 5.1 : Enerji kalitesi kavramları

Vazgeçilmez bir enerji kaynağı olan elektrik enerjisini üreten, ileten ve dağıtan kuruluşların görevi kesintisiz, ucuz ve kaliteli bir hizmeti tüketicilerine sunmaktır.

İdeal bir güç sisteminde akım ve gerilimin, sabit 50Hz şebeke frekansında, istenen genlikte, güç faktörü 0,9'un üzerinde ve sinüsoidal biçimde değişim göstermesi gerekmektedir.

Ancak bu tür enerji pratikte bir takım zorluklarla sağlanabilir. Güç sistemine bağlanan bazı elemanlar ve bunların yol açtığı olaylar sebebiyle tam sinüsoidal değişimden sapmalar olabilmektedir. Tam sinüsoidaldan sapma, genellikle harmonik

adı verilen bileşenlerin ortaya çıkması ile ifade edilir ve buna sebep olan etkenlerin başında ise manyetik ve elektrik devrelerindeki lineersizlikler (Nonlineerlik) gelir (Url-22).

Enerji Kalitesi, şebekenin tanımlanan bir noktasında, gerilimin genlik ve frekansının anma değerlerini koruması ve gerilim dalga şeklinin sinüs biçiminde bulunmasıdır. Bu tanımın tersi olarak, gerilimin genliğinin değişmesi, kesintiler, gerilim darbeleri, flicker, gerilimin doğru bileşen içermesi, dalga şeklinin sinüsten uzaklaşması, frekans değişimleri enerji kalitesizliğidir.

Enerji kalitesi çoklukla yük tarafından bozulur. V-I karakteristiği lineer olmayan yükler şebekeden sinüs olmayan akımlar çeker ve bu akımlar şebekede sinüs olmayan gerilim düşümleri oluşturarak besleme noktasındaki gerilimin dalga şeklini bozar.

Gerilim ve/veya akım dalga şekli sinüs biçiminde değilse, bu dalgaya Fourier analizi uygulanarak harmonikler bulunur.

5.2 Enerji Kalitesi Terimleri

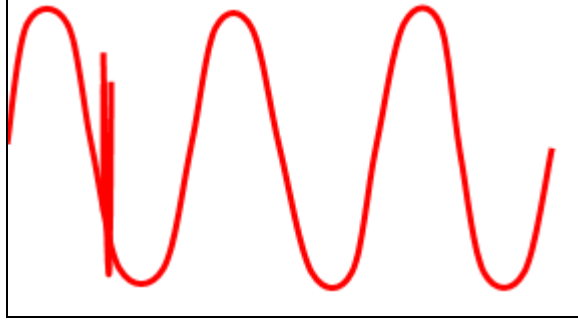
- Transiyentler - Geçici Rejim Bileşenleri
 - Anlık Transiyentler
 - Osilasyonlu Transiyentler
- Kısa Süreli Gerilim Değişimleri
 - Çökme
 - Yükselme
 - Kesinti
- Uzun Süreli Gerilim Değişimleri
 - Kalıcı Kesintiler
 - Düşük Gerilim
 - Aşırı Gerilim
- Gerilim Dalgalanmaları
- Gerilim Dengesizliği
- Frekans Değişimi
- Gerilim Distorsiyonları
 - DA Bileşen
 - Çentik
 - Gürültü
 - Harmonikler

5.3 Transiyentler

Transiyentler anlık ve osilasyonlu transiyentler olmak üzere 2'ye ayrılır.

5.3.1 Anlık Transiyentler

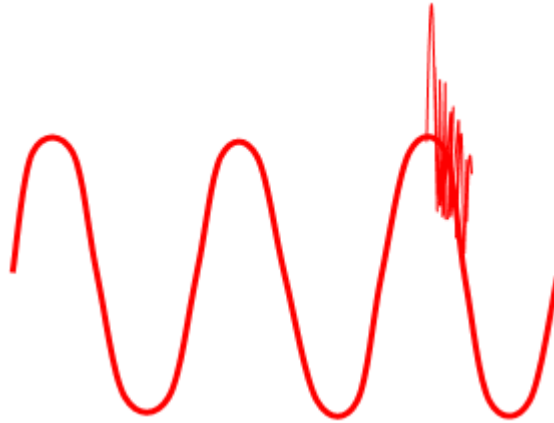
Transiyentler, çok kısa süreli (< 0.5 devir) dalgalanmalardır. Anahtarlama olayları, yıldırımlar, endüklenmiş akımın ani deşarjı, kontaklar arası arklar vb. nedeniyle meydana gelir. Şiddetin büyüklüğü ve enerjisine göre cihazda hasara sebep olabilirler. Anlık transiyent dalga şekli Şekil 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.2 : Anlık transiyent dalga şekli (Gül, 2010)

5.3.2 Osilasyonlu Transiyentler

Akım veya gerilim dalgası üzerine binmiş yüksek frekanslı ve kısa süreli dalgalanmalardır. Transformatörlerin enerjilenmesi, anahtarlama olayları veya ferrezonans durumlarında meydana gelirler. Osilasyonlu transiyent dalga şekli Şekil 5.3'de görülmektedir.

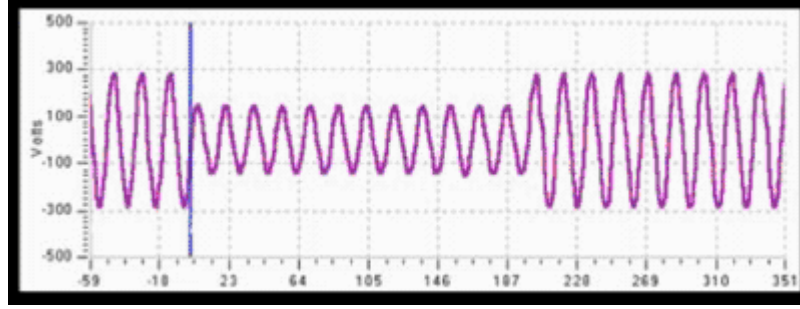


Şekil 5.3 : Osilasyonlu transiyent dalga şekli (Gül, 2010)

5.4 Sag (Düşme)

Gerilim çökmesi 10ms ile 1 dakikalık süre boyunca anma geriliminin efektif değerinin % 10'u ile % 90'ı arasındaki bir değere düşmesi olarak tanımlanır.

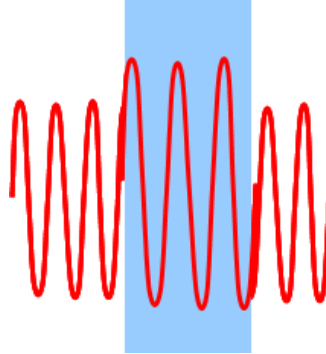
Gerilim çökmesinin sonucunda oluşabilecek durumlardan birisi yüklerin özellikle motorların devreden çıkması veya verimlerinin düşmesidir. Enerji iletim ve dağıtım sisteminde meydana gelen arızaların büyük bir çoğunluğu tek faz nötr arızalarıdır. Sag (Düşme) dalga şekli Şekil 5.4'de görülmektedir.



Şekil 5.4 : Sag (Düşme) dalga şekli (Gül, 2010)

5.5 Swell-Yükselme

Anlık gerilim yükselmesi 10ms ile 1 dakikalık süre boyunca anma geriliminin efektif değerinin %10'u ile %80'i arasındaki bir değere anlık olarak yükselmesi olarak tanımlanır. Şebekede yük azalması gibi nedenlerle meydana gelir. Bilgisayar donanımının ve akkor flamanlı lambanın ömrünü azaltır. Şebekede Swell (Yükselme) olayı gerçekleşmesi halinde motor sürücülerini, kontrol elemanlarını olumsuz yönde etkiler. Swell (Yükselme) dalga şekli Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5.5 : Swell (Yükselme) dalga şekli (Gül, 2010)

5.6 Kesinti (Interruption)

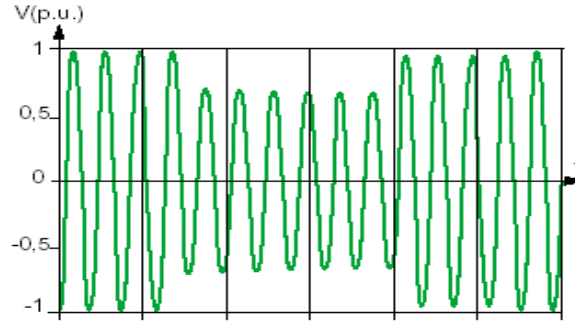
Bir periyottan daha uzun süre gerilim veya akımın anma değerinin %10'undan daha düşük değere düşmesidir. Şebeke hatalarından, yükteki arızalardan, kontrol kısmındaki aksaklıklardan dolayı meydana gelir.

5.7 Kalıcı Kesintiler

1dk'dan daha uzun süreli gerilim kesintilerine denir.

5.8 Gerilim Düşmesi

AA gerilimin 1dk'dan daha uzun süreyle değerinin %90'ından az olması durumudur. Bir kapasite bankasının devreden çıkması, şebekenin aşırı yüklenmesi gibi durumlarda meydana gelir. Gerilim düşmesi dalga şekli Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : Gerilim düşmesi dalga şekli (Url-22)

5.9 Aşırı Gerilim:

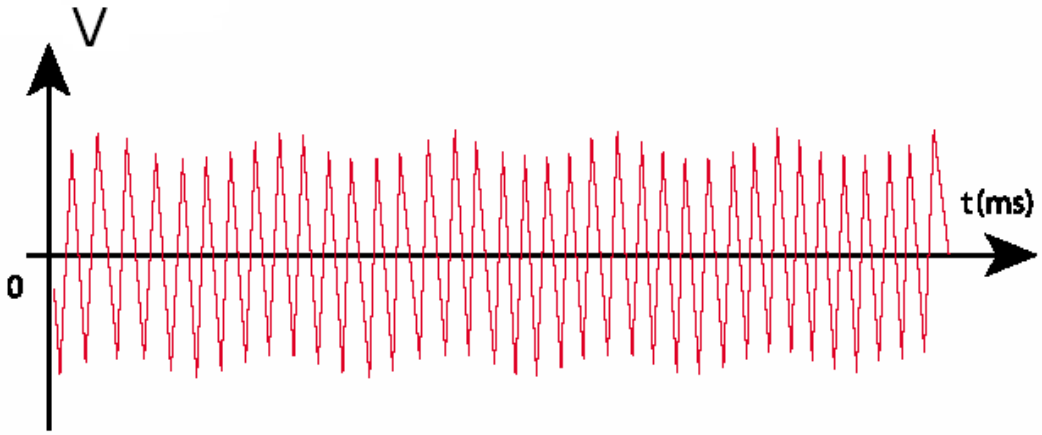
AA gerilimin 1dk'dan daha uzun süreyle değerinin %110'undan çok olması durumudur. Kapasitif yüklerin devreye alınması, kademeli transformatörlerin yanlış anahtarlanması gibi durumlarda meydana gelir.

5.10 Gerilim Dalgalanmaları (Flicker)

Gerilimin periyodik olarak 6-7 tam dalga süresince %90-%110 aralığında değişmesidir. Gerilim dalgalanması, insanlar ve akkor flamanlı lambaları etkileyen özel bir etkidir.

Genellikle gerilim düşümü ve yükselişi ile karıştırılmakla birlikte ikisi birbirinden farklı olaylardır. Gerilim dalgalanması dalga şekli Şekil 5.7’de görülmektedir.

İnsanlar aydınlatma sisteminlerinde meydana gelen flicker olaylarına karşı son derece hassastır. Bu olay gerilimin çok kısa süre içinde devamlı olarak yükselip alçalması ile meydana gelir. Bu nedenle aydınlatma sistemlerinde meydana gelebilecek flicker olaylarına karşı sistemin daima kontrol altında tutulması gerekmektedir (Url-17).



Şekil 5.7 : Gerilim dalgalanma şekli (Url-17)

5.11 Frekans değişimi

Şebeke frekansının anma değerinden sapmasıdır. Şebeke, jeneratör, kesintisiz güç kaynaklarındaki ayar düzensizliklerinden kaynaklanır.

5.12 Güç Sistemlerinde Harmonikler

Elektrik enerjisine olan talebin sürekli artması ile daha güvenilir ve daha kaliteli bir enerji kavramı ve bunu gerçekleştirmek için bir takım kriterlerin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

5.12.1 Harmonik Nedir?

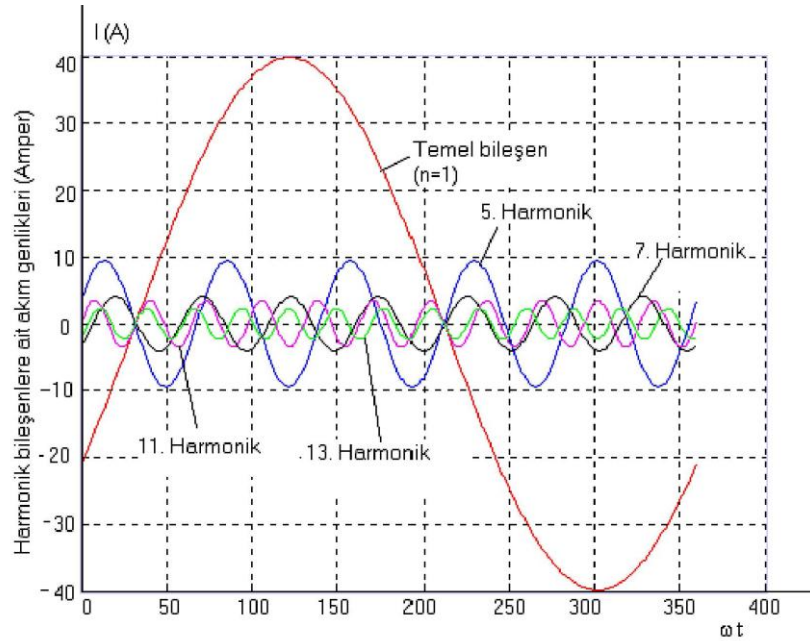
Alternatif akım güç sistemlerinde, ideal koşullarda şebeke geriliminin ve şebekeden çekilen akımın sinüsoidal biçimde olması istenir. Ancak, uygulanan gerilimin sinüsoidal olmasına rağmen güç elektroniği düzenleri, ark fırınları, deşarj lambaları gibi yüklerin akımı sinüzoidal değildir. Akımın sinüsoidal olmayışı, şebeke geriliminin dalga şekline de etki edebilir. Bu durumda gerilim dalga şeklinde

bozulmalar başlar. Sinüsoidal özelliğini kaybeden fakat zamana göre periyodik olarak tekrarlanan akım veya gerilimin dalga şekli Fourier serisi yardımıyla temel frekans 50Hz'in katları frekanslardaki sinüsoidal dalgaların toplamı olarak ifade edilir. Harmonik bileşenler Şekil 5.8'de görülmektedir. 3., 5., 7., vs “Tek Harmonikler”, 2., 4., 6., vs “Çift Harmonikler” olarak ayrılırlar. En çok karşılaşılan harmonikler tek harmoniklerdir (Kocatepe, 2006).

Elektrik enerji kalitesinin bozulma oranının tespiti için standartlarla belirlenmiş olan, aşağıdaki 5.1 ve 5.2 no'lu bağıntılar kullanılabilir.

$$\text{Toplam Harmonik Bozulma (Gerilim için) } \left[HD \right]_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad (5.1)$$

$$\text{Toplam Harmonik Bozulma (Akım için) } \left[HD \right]_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (5.2)$$



Şekil 5.8 : Harmonik bileşenler (Bilge, 2008)

5.12.2 Harmonik kaynakları

Ana bileşene ilişkin gerilim dalgası ile ana bileşenle aynı ve farklı fazlarda 3., 5. ve 7. harmoniklerin bulunması halinde, şebekede çoğunlukla bu harmonikler yüksek genlikli olduğu için, bileşke gerilim dalga biçimi sinüs eğrisinden uzaklaşacaktır.

Sinüs eğrisindeki harmoniklerin sebebi, güç sistemlerinde farklı amaçlarla kullanılan bazı cihaz ve devrelerdir. Bunların başında; jeneratör, transformatör, alternatif ve doğru akım enerji nakil hatları, kondansatör, dinamik kompanzatör, elektrik motoru, doğrultucu, evirici, AA kıyıcı, direk frekans çevirici devreler, ark fırını, güç filtresi, anahtarlama güç elemanları gelmektedir.

5.12.3 Harmoniklerin enerji sistemleri üzerindeki etkileri

Tüm harmonik akım seviyeleri sonuç olarak akım seviyesinin artmasına ve artan frekans seviyesine bağlı olarak kondansatör empedansını düşürerek kondansatörlerin aşırı ısınmasına yol açabilmektedirler. 3 ve 3'ün katı olan harmonik akımların 3 faz dengeli şebekelerde aynı fazda olmaları durumunda, birbirlerini dengeleyip harmonik etkileri azaltmalarının aksine trafoların yıldız bağlantılarında döner akımların oluşmasına ve sonuçta trafoların ısınmasına sebebiyet vermektedirler.

Enerji sistemlerinde harmoniklerin gerilim ve akım dalga şekillerini bozması (distorsiyon) çeşitli problemlere neden olmaktadır. Bunlar:

- Gerilim şeklinin bozulması
- Gerilim düşümünün artması
- Enerji sistemlerindeki elemanlarda ve yüklerde kayıpların artması
- Motorlarda moment salınımlarının ve aşırı ısınmanın meydana gelmesi
- Koruma ve kontrol düzenlerinde sinyal hataları
- İzolasyon malzemesinin delinmesi
- Elektrik aygıtlarının ömrünün azalması
- Kompanzasyon tesislerinin aşırı reaktif yüklenmesi ve dielektrik zorlanma nedeniyle zarar görmesi
- Şebekede rezonans olayları, rezonansın aşırı gerilim ve akımlara sebep olması

5.12.4 Harmoniklerin Rezonans Etkisi

Elektrik enerji sistemlerinin harmonik empedansı, elektrik sistemlerinin harmoniklere cevabını etkilemekte olup, bu etki elektrik enerjisi sisteminin rezonansa girmesi durumunda daha fazla artmaktadır. Rezonans olayları, enerji sistemlerinde enerji kalitesinin azalmasına neden olduğundan, sistemin devamlılığı bakımından büyük risk oluşturmaktadır.

Bir elektrik devresinde endüktif reaktans ile kapasitif reaktans değerlerinin eşitliği sonucu rezonans meydana gelir. Enerji sistemlerinde rezonans meydana gelmesi sistemde aşırı akım, aşırı gerilim gibi bir takım problemlere ve enerji akışının kesilmesine neden olabilmektedir. Bu sebeple harmoniklerde rezonans etkisi engellenmesi gereken olaylardandır (Kocatepe, 2006).

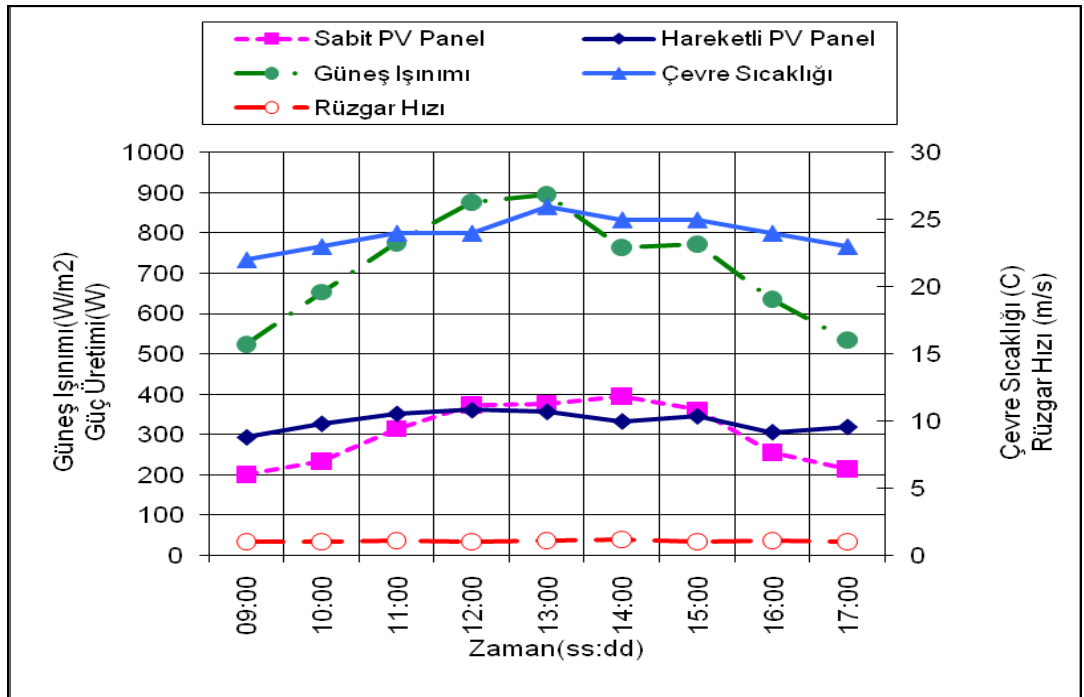
5.12.5 Temel Frekansta Rezonans Oluşumu

Direnç (R) , Bobin (L), ve Kondansatör (C) elemanlarından oluşan bir devrede kaynak tarafından verilen gerilim ve devreden çekilen akım aynı fazda ise (L ve C elemanları olmasına rağmen devre omik yüklü ise) bu devredeki L ve C elemanları rezonans halindedir.

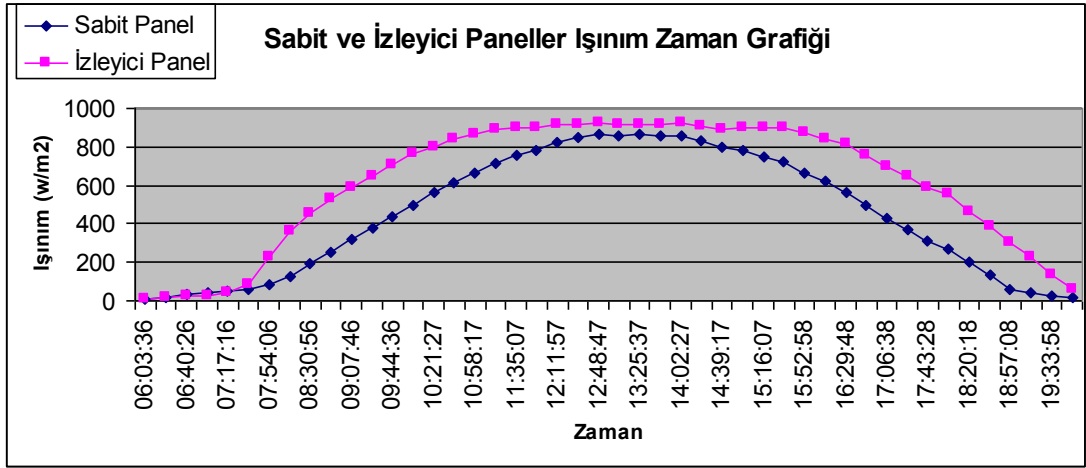
6. ŞEBEKEYE BAĞLI FV - RÜZGÂR TÜRBİNİ ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİ MODELLEMESİ

6.1 FV Sistemlerde Işınım Şiddeti

FV sistem kurulacak olan bölgedeki ışınım verileri önceden tespit edilerek, sistemin besleyeceği yüklerle beraber hesaplar yapılmalı, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek sistemi oluşturan cihazların seçimi yapılmalıdır. Örnek olarak Denizli ili için 2010 yılı Mayıs ayında elde edilmiş olan bir günlük ışınım ve sıcaklık değişim değerleri Şekil 6.1’de verilmiştir. Kurulması planlanan FV sistemin, hareketli izleyicili veya sabit açılı olarak tercih edilebilmesi için, 2010 yılı Temmuz ayında PAÜ temiz enerji evinde kurulu sabit ve hareketli FV paneller üzerinden pyranometreyle ışınım değerleri ölçülmüştür. Ölçülen ışınımın zamanla değişim grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.1 : Sabit ve hareketli paneller üzerinden pyranometre ile alınan güç, ışınım, çevre sıcaklığı ve rüzgâr hızı değişim eğrileri (Ulu, 2010)



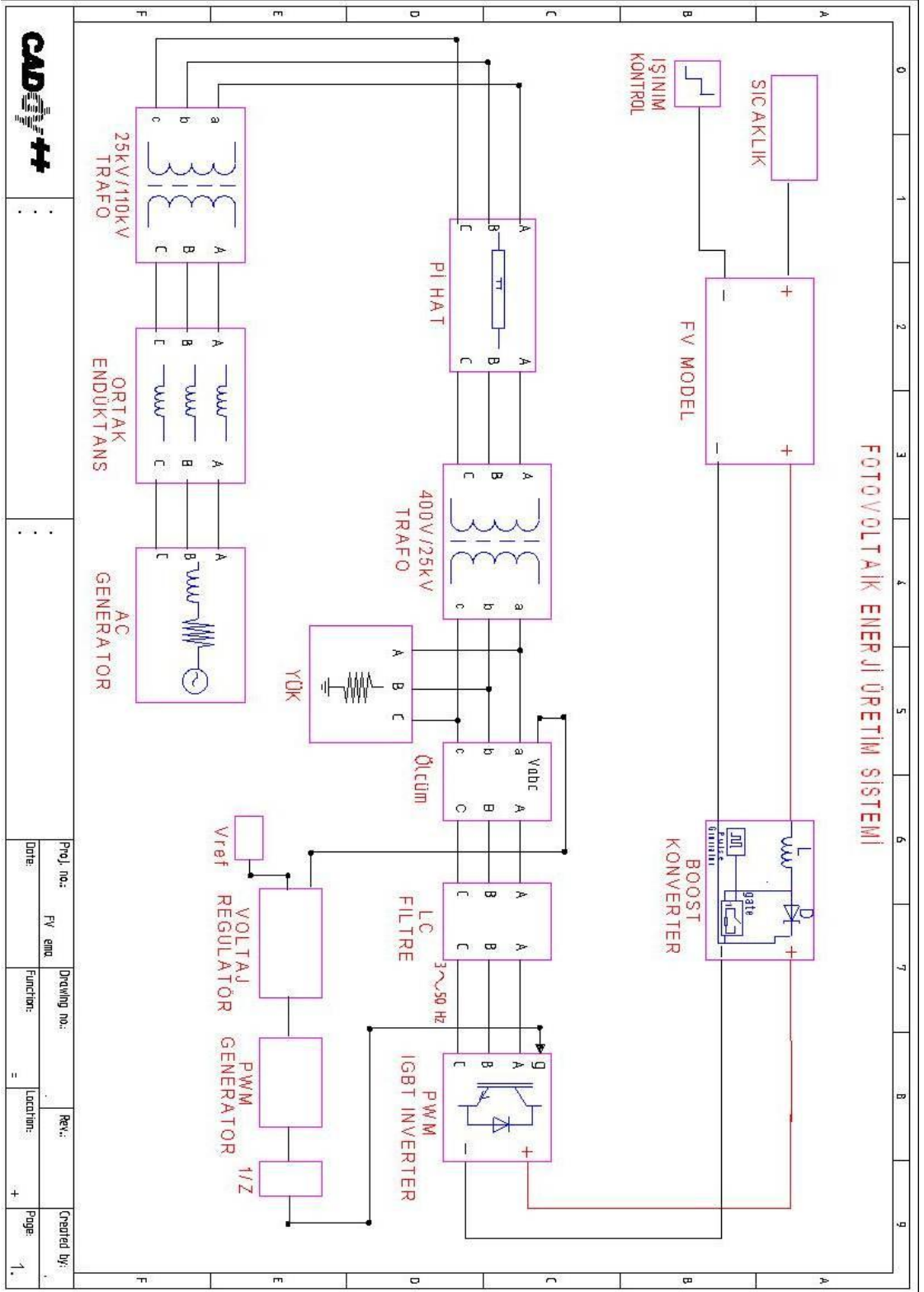
Şekil 6.2 : Sabit ve hareketli FV paneller üzerinden ölçülen ışınımdeğerlerinin zamana göre değişim grafiği

6.2 Şebekeye Bağlı FV Sistemlerin Matlab-Simulink Modellemesi

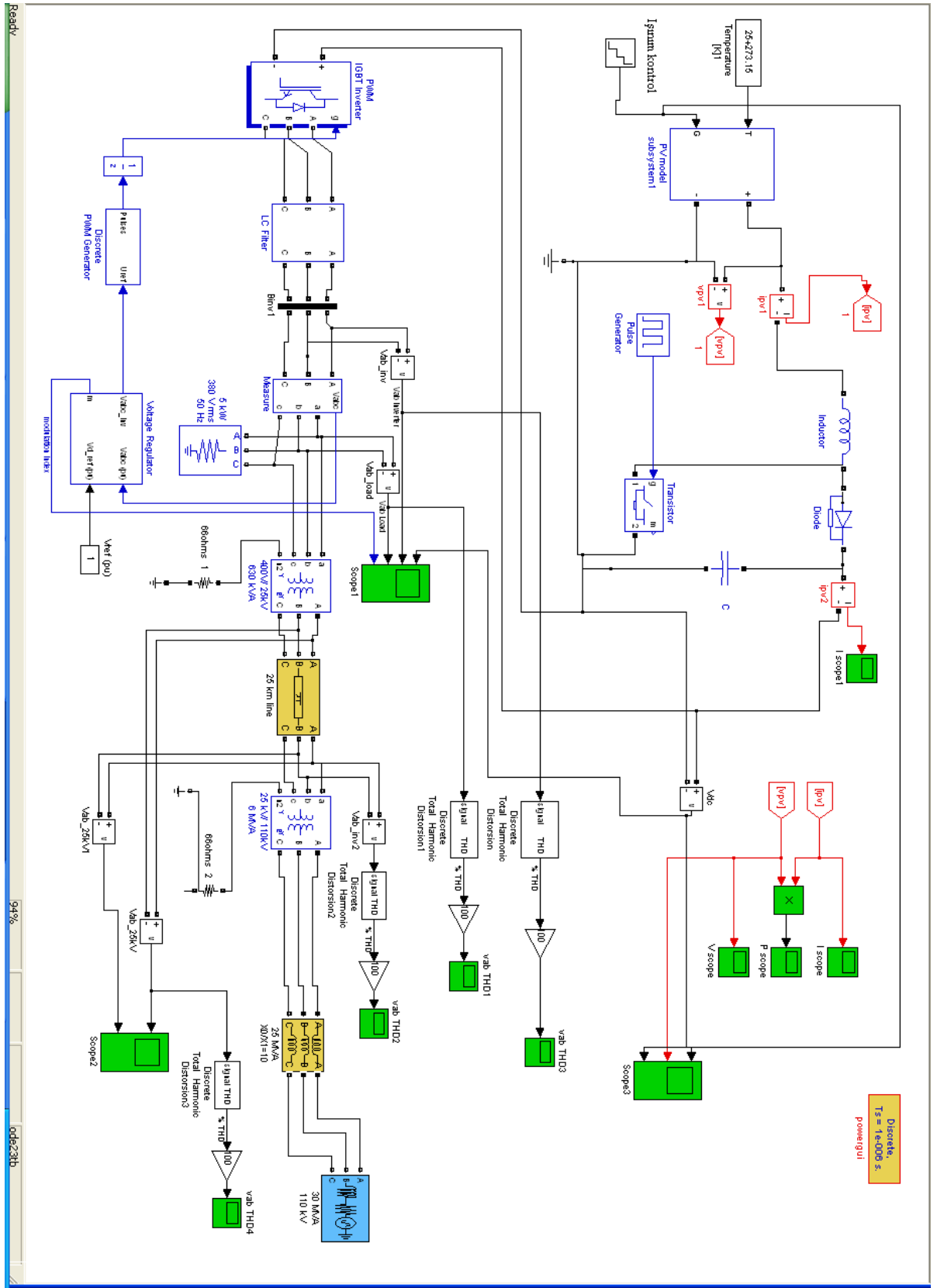
Şebeke bağlantılı FV Sistem modellemesi tek hat şeması Şekil 6.3'te verilmiştir. Modellemede seri ve paralel modül bağlantıları ile 15kW gücünde FV sistem tasarlanmıştır, FV sistem çıkışına DA/DA yükselten tip boost konverter bağlantısı yapılarak, FV çıkış voltaj değeri yükseltilmiştir. Ayrıca DA/DA boost konverterin çıkış işaretinin üç fazlı DA/AA IGBT inverter üzerinden şebekeye ve yüklerle bağlantısı sağlanmıştır. Inverter çıkışında da LC filtre kullanılarak filtreleme sağlanmıştır. Filtre çıkışında bulunan yük üzerindeki gerilim değerinin kararlılığı PWM regülatör kullanılarak, frekans regülasyonu ise **Faz Kilitlemeli Döngü (FKD)** kullanılarak gerçekleştirilmiştir. FV sistemin çıkışında, DA/DA konverter çıkışında, IGBT inverter çıkışında ve yük üzerinde gerilim, akım dalga şekilleri ölçülmüştür.

FV sistemin güç kalitesi ile ilgili olarak şebekede oluşan harmonik değişimler yük üzerinde ve 400V/25kV trafo çıkışında ölçülmüştür. Elektrik dağıtım sisteminde oluşabilecek problemler belirlenmeye çalışılmıştır.

FV sistemlerin şebekeye etkilerini incelemek amacıyla Matlab-Simulink ortamında gerçekleştirilen modelleme ve simülasyon çalışması Şekil 6.4'de görülmektedir.



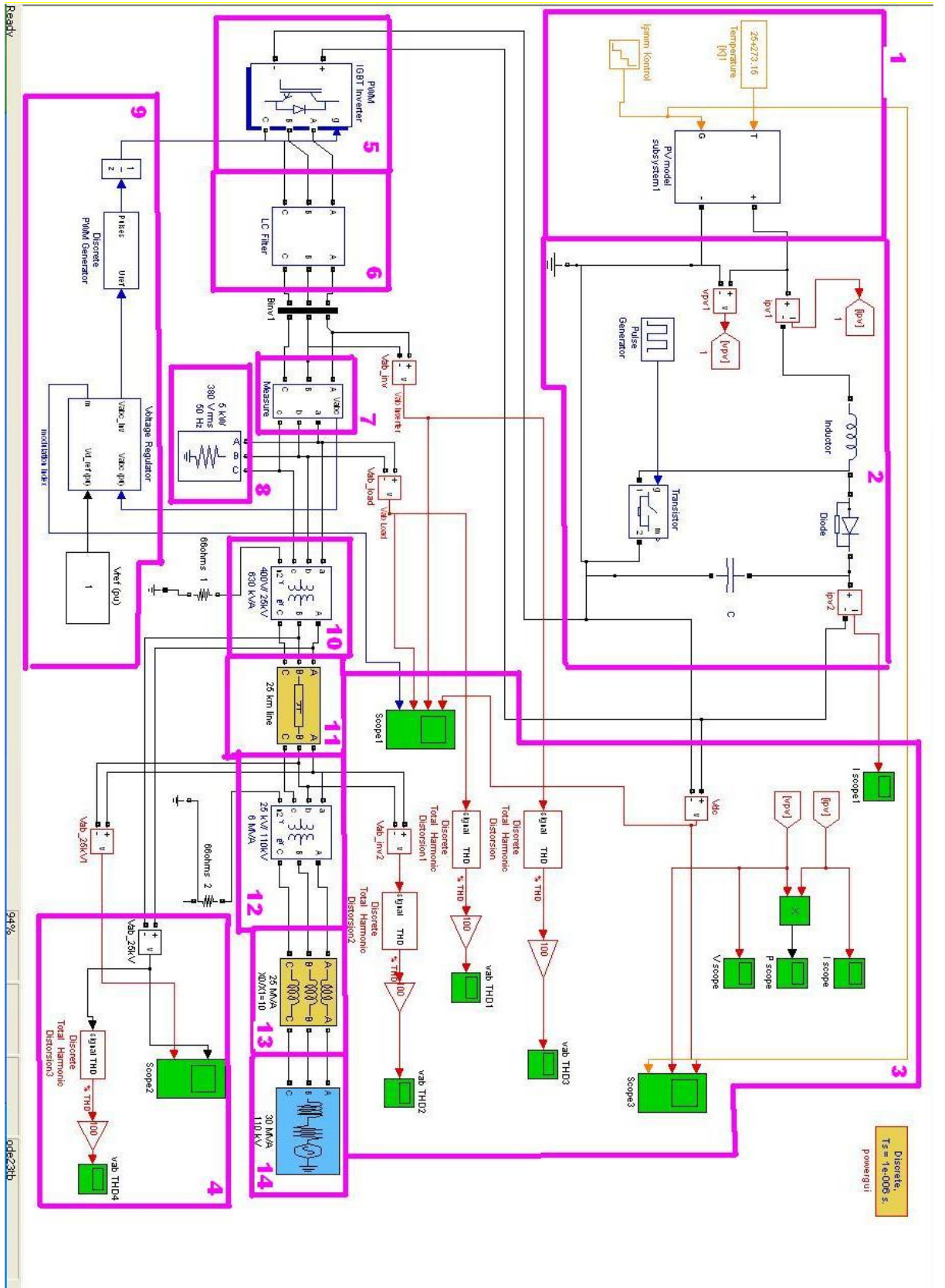
Şekil 6.3 : Şebekeye bağlı FV sistem modellemesi tek hat bağlantı şeması



Şekil 6.4 : Şebekeye bağlı FV sistemin Matlab-Simulink ortamında simülasyon modeli

Simülasyonu gerçekleştirilen şebeke bağlantılı FV sistemin kolay anlaşılabilmesi için sistemi oluşturan parçaların numaralarla etiketlenmiş hali Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Şekil 6.5'te yapılan etiketlemeye göre FV sistemi oluşturan parçalar aşağıda belirtildiği gibidir.

- 1 FV modül, sıcaklık ve ışıınım girişleri
- 2 Yükselten tip boost konverter
- 3 ve 4 Ölçüm (Scope) girişleri
- 5 PWM IGBT inverter
- 6 LC filtre
- 7 Gerilim ölçüm ve ayar noktası
- 8 Yük
- 9 Voltaj regülatör ve PWM pulse jeneratör
- 10 400V/25kV transformatör
- 11 25km Pi hat
- 12 25kV/110kV transformatör
- 13 Ortak endüktans
- 14 Üç faz 110kV voltaj kaynağı



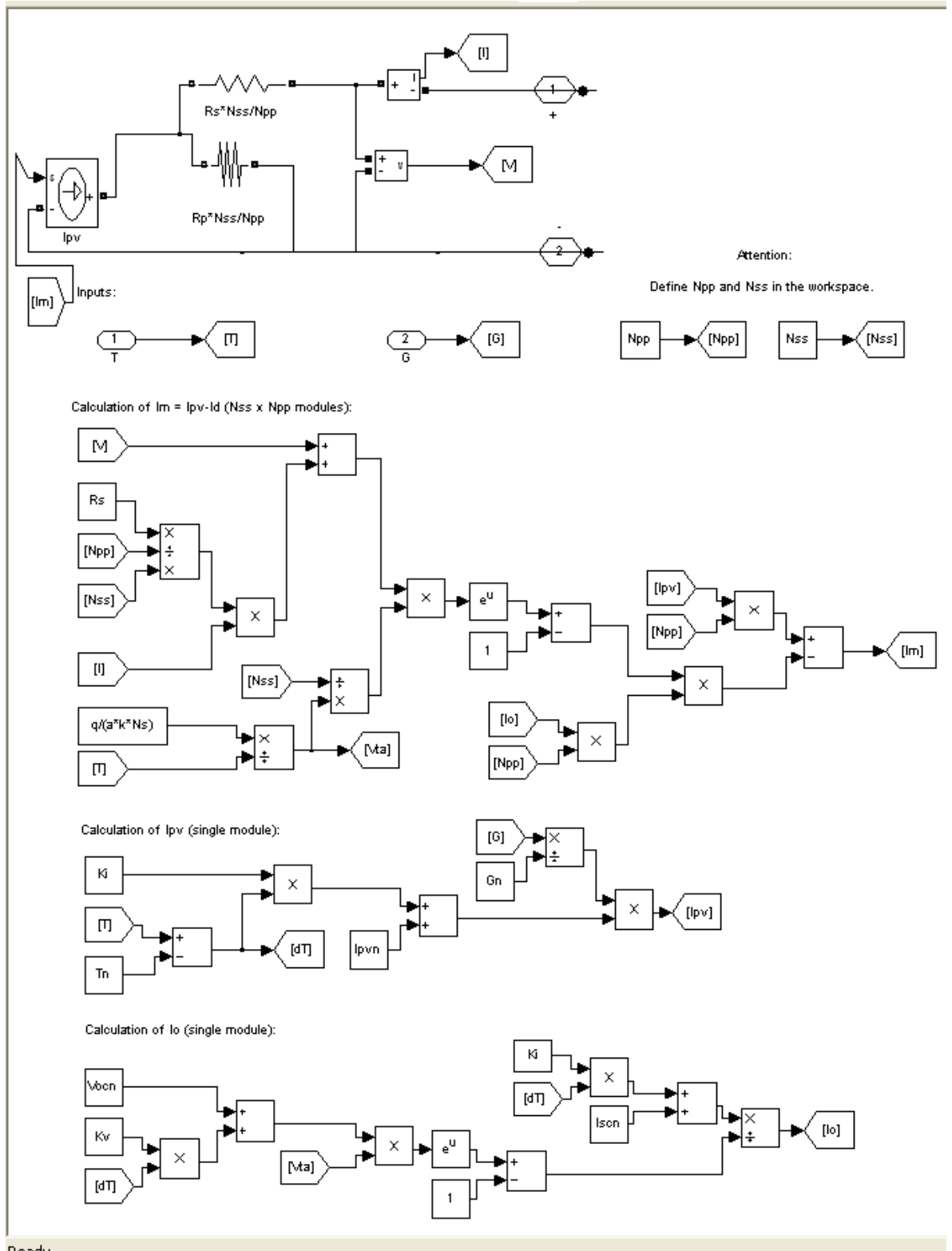
Şekil 6.5 : Şebekeye bağlı FV sistemin Matlab-Simulink ortamında simülasyon modelinin yerleşim planı

6.3 Fotovoltaik Modül Matlab-Simulink Modellemesi

FV sistemin eşdeğer tabanlı alt sistem modellemesi Villalva ve arkadaşlarının (2009) çalışması referans alınarak Şekil 6.6'da görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir.

Sistemde kullanılan FV modülün oluşturulmasında, Bölüm 4'te bahsedilen FV modül eşdeğer devresinden ve eşdeğer devre üzerinde uygulanan Kirchoff akım ve gerilim kanuna göre (Dördüncü bölüm Denklem 4.1, 4.2, 4.3) elde edilen düğüm analizlerinden faydalanılmıştır.

Şekil 6.7'de FV Modelin temelini oluşturan, parametre ayarlamalarının yapıldığı "pv_model_adjust.m" uygulamasının arayüzü görülmektedir. Tasarlanmak istenilen sistemin güç ihtiyacına göre fotovoltaik modülleri seri ve paralel bağlayarak güç artırımı yapılabildiği 4. bölümde belirtilmişti. Simülasyon çalışmasında kullanılan FV modülün güç kapasitesini belirlerken Şekil 6.7'de görülen seri bağlı modül sayısı (Nss) ve paralel bağlı modül sayısı (Npp) değerlerini değiştirerek güç ayarı gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada Nss ve Npp değerlerini 15 değerinde seçmek suretiyle 15kW gücünde bir FV sistem oluşturarak simülasyon gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.7'de görülen diğer parametrelerden açık devre gerilimi, kısa devre voltajı, MGN gerilim değeri, MGN akım değeri gibi veriler, güneş panellerinin etiket değerleridir. Şekil 6.8'de FV panel eşdeğer devresine göre yapılan hesaplamalarda kullanılan formül ve katsayılar görülmektedir.



Şekil 6.6 : FV modül eşdeğer devre tabanlı alt sistem modellemesi

```

% M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E. Ruppert F.
% "Modeling and circuit-based simulation of photovoltaica arrays"
% Brazilian Journal of Power Electronics, 2009
% vol. 14, no. 1, pp. 35--45, ISSN 1414-8862
%
% Visit: http://sites.google.com/site/mvillalva/pvmodel

clear all

clc

%% Information from the KC200GT solar array datasheet

% You may change these parameters to fit the I-V model
% to other kinds of solar arrays.

Iscn = 8.21;           %Nominal short-circuit voltage [A]
Vocn = 32.9;          %Nominal array open-circuit voltage [V]
Imp = 7.61;           %Array current @ maximum power point [A]
Vmp = 26.3;           %Array voltage @ maximum power point [V]
Pmax_e = Vmp*Imp;     %Array maximum output peak power [W]
Kv = -0.123;          %Voltage/temperature coefficient [V/K]
Ki = 3.18e-3;         %Current/temperature coefficient [A/K]
Ns = 54;              %Number of series cells

%% Array with Nss x Npp modules
Nss = 15;
Npp = 15;

```

Şekil 6.7 : FV model ayar uygulaması

Şebekeye bağlı FV sistem simülasyonu çalıştırılmadan önce FV modül, verileri kullanmak zorunda olduğu için “pv_model_adjust.m” uygulamasının çalıştırılması gerekmektedir. Uygulama çalıştırdıktan sonra veriler Şekil 6.9’da görüldüğü gibi Matlab ara yüzüne transfer edilirken, Akım (I)–Gerilim (V) grafiği ve Güç(W)–Gerilim(V) grafiği Şekil 6.10’da görüldüğü gibi elde edilmektedir.

```

%% Constants
k = 1.3806503e-23; % Boltzmann [J/K]
q = 1.60217646e-19; % Electron charge [C]
a = 1.3; % Diode constant

%% Nominal values
Gn = 1000; % Nominal irradiance [W/m^2] @ 25oC
Tn = 25 + 273.15; % Nominal operating temperature [K]

%% Adjusting algorithm
% The model is adjusted at the nominal condition
T = Tn;
G = Gn;

Vtn = k * Tn / q; % Thermal junction voltage (nominal)
Vt = k * T / q; % Thermal junction voltage (current
temperature)

Ion = Iscn / (exp(Vocn/a/Ns/Vtn) - 1); % Nominal diode saturation current
Io = Ion;

% Reference values of Rs and Rp
Rs_max = (Vocn - Vmp) / Imp;
Rp_min = Vmp / (Iscn - Imp) - Rs_max;

% Initial guesses of Rp and Rs
Rp = Rp_min;
Rs = 0;
tol = 0.001; % Power mismatch Tolerance
P=[0];
error = Inf; %dummy value

% Iterative process for Rs and Rp until Pmax,model = Pmax,experimental
while (error>tol)

% Temperature and irradiation effect on the current
dT = T-Tn;
Ipn = (Rs+Rp)/Rp * Iscn; % Nominal light-generated current
Ipv = (Ipn + Ki*dT) * G/Gn; % Actual light-generated current
Isc = (Iscn + Ki*dT) * G/Gn; % Actual short-circuit current

% Increments Rs
Rs = Rs + .01;

% Parallel resistance
Rp = Vmp * (Vmp + Imp * Rs) / (Vmp * Ipv - Vmp * Io * exp((Vmp + Imp * Rs) / Vt / Ns / a) - Vmp * Io -
Pmax_e);

```

Şekil 6.8 : FV model katsayıları

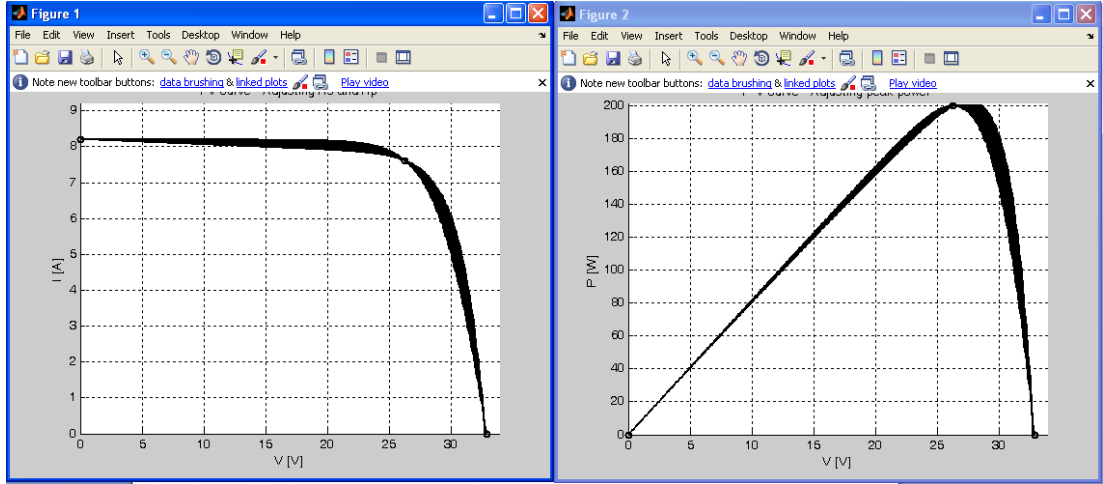
```
MATLAB 7.7.0 (R2008b)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: H:\tez m_h\matlab örnekler\SIMULINK PV BOOST CONVERTER
Shortcuts How to Add What's New

Model info:

Rp_min = 42.966053
Rp = 601.336801
Rs_max = 0.867280
Rs = 0.230000
a = 1.300000
T = 25.000000
G = 1000.000000
Pmax,m = 200.143000 (model)
Pmax,e = 200.143000 (experimental)
tol = 0.001000
P_error = -0.000000
Ipv = 8.214580
Isc = 8.210000
Ion = 0.000000

fx >> |
```

Şekil 6.9 : Matlab veri transferi

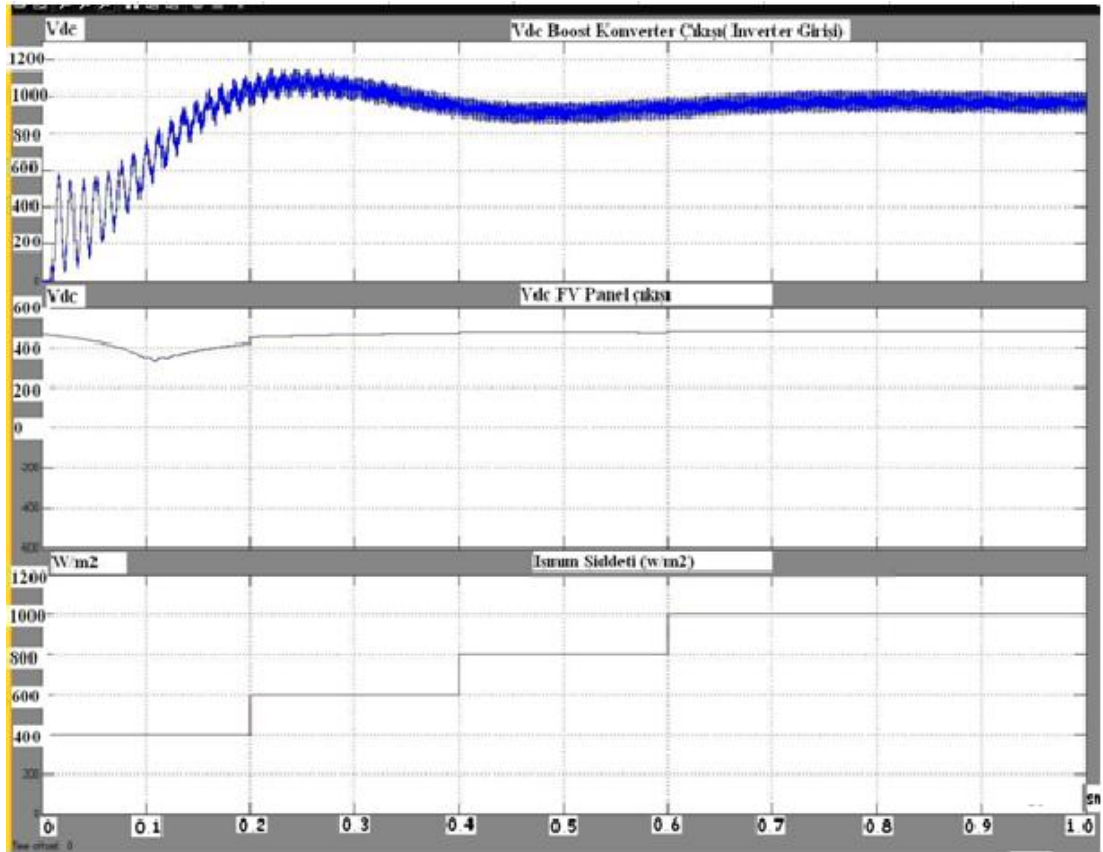


Şekil 6.10 : FV modelleme akım-gerilim-güç grafikleri

6.4 Yükselten Tip (Boost) Konverter Matlab-Simulink Modeli

Yükselten tip boost konverter hakkında detaylı bilgiler Bölüm 4'te verilmişti. Şebekeye bağlı FV sistem modelinde boost konverter, FV modül çıkışındaki DA işaretini yükseltmek amacıyla FV modül çıkışında, IGBT DA/AA inverter girişinde kullanılmıştır. Boost konverter devresi şebekeye bağlı FV sistem modellemesi yerleşim şeması olan Şekil 6.5'te "2" ile etiketlenmiş kısım olarak belirtilmiştir. Şekil 6.5'te "2" numaralı kısımda görüldüğü gibi boost konverter; indüktör, diyot, transistör, pulse jeneratör ve kondansatörden oluşmaktadır.

Gerçekleştirilen 1 saniye süreli Matlab-Simulink simülasyonunda elde edilen FV panel çıkışındaki (boost konverter girişi) DA işaretinin, boost konverter çıkışındaki (inverter girişi) DA işaretinin ve ışınım değişimlerinin zamana bağlı değişim eğrileri Şekil 6.11’de görülmektedir. Şekil 6.11’de elde edilen eğrilere göre boost konverter çıkış işareti (Vdc)’nin 0.2sn süresine kadar gerilim dalga şeklinde kuvvetli salınımlar mevcut olup, 0.2sn süre sonunda salınımlar azalmaktadır. Boost konverter çıkışındaki gerilimin genliği yaklaşık 1000Vdc değerinde olup, 90-110Vdc değer aralığında salınımlar (ripple dalgalanmaları) yaptığı görülmektedir. FV panel çıkışındaki DA karakteristikli (Vdc) işarete ait eğriler, 0.2sn süresine kadar değişkenlik gösterirken, 0.2sn süresinden simülasyon süresi sonuna kadar 450Vdc genlikte sabit olarak ilerlemektedir. Işınım şiddetinin 0.2sn süresine kadar 400w/m^2 , 0.2-04sn arası 600w/m^2 , 0.4-06sn arası 800w/m^2 , 0.6-1sn arası ise 1000w/m^2 değerlerinde olduğu görülmektedir.

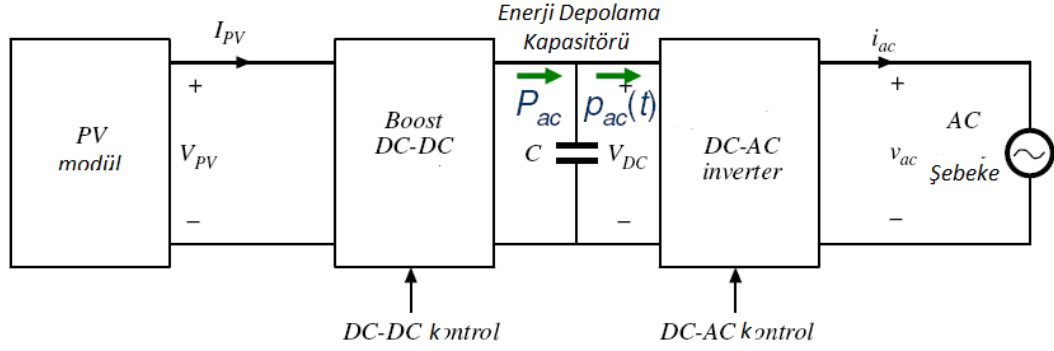


zaman (sn)

Şekil 6.11 : FV panel çıkışı- inverter girişi- ışınım şiddeti simülasyon dalga şekilleri

6.1.1 Boost konverterde kondansatör seçimi

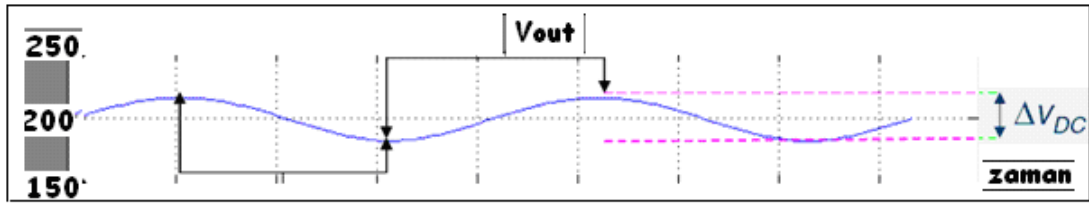
Yükselen tip konverterde kullanılan kondansatörün bağlantısı Şekil 6.12'de gösterilmiştir. Şekil 6.12'ye göre düğüm denklemi 6.1 elde edilmiştir. Kondansatör değerinin hesaplandığı 6.5 denklemi 6.2, 6.3 ve 6.4 denklemlerinden elde edilmiştir (Url-7).



Şekil 6.12 : Yükselen tip konverterde enerji depolama (Url-7)

$$P_{ac} - P_{ac}(t) = P_{ac} - P_{ac}(1 - \cos 2\omega t) = P_{ac} \cdot \cos 2\omega t \quad (6.1)$$

$P_{ac} > P_{ac}(t)$ olduğu zaman kondansatör (C) V_{dc} min değerinden V_{dc} max değerine şarj halde, $P_{ac} < P_{ac}(t)$ ise kondansatör (C) deşarj haldedir. Boost konverterde kondansatör şarj, deşarj ve ripple değışimleri Şekil 6.13'de görölmektedir (Url-7).



Şekil 6.13 : Boost konverterde kondansatör şarj ve deşarj eğrisi (Url-7)

$$\Delta E_C = \int_{-T_{ac}/8}^{T_{ac}/8} P_{ac} \cos 2\omega t dt = \frac{P_{ac}}{W} \quad (6.2)$$

$$\Delta E_C = \frac{1}{2} C V_{DCMAX}^2 - \frac{1}{2} C V_{DCMIN}^2 = C (V_{DCMAX} - V_{DCMIN}) \frac{V_{DCMAX} + V_{DCMIN}}{2} \quad (6.3)$$

$$\Delta V_{DC} = \frac{P_{ac}}{C V_{DC} W} \quad (6.4)$$

$$C = P_{ac} / V_{DC} W \Delta V_{DC} \quad (6.5)$$

Yüksek voltajda kalma süresinin (Duty Cycle) hesaplaması denklem 6.6'da gösterildiği gibidir.

$$D = \frac{V_0 - V_d}{V_0} \quad (\text{Duty Cycle}) \quad (6.6)$$

Sistem Parametreleri:

Pac : 15kW

ΔV_{DC} : 100 (Ripple Faktörü)

V_0 : 900V

V_{fv} : 450V

T_s : 4.10^{-6} (Anahtarlama periyodu)

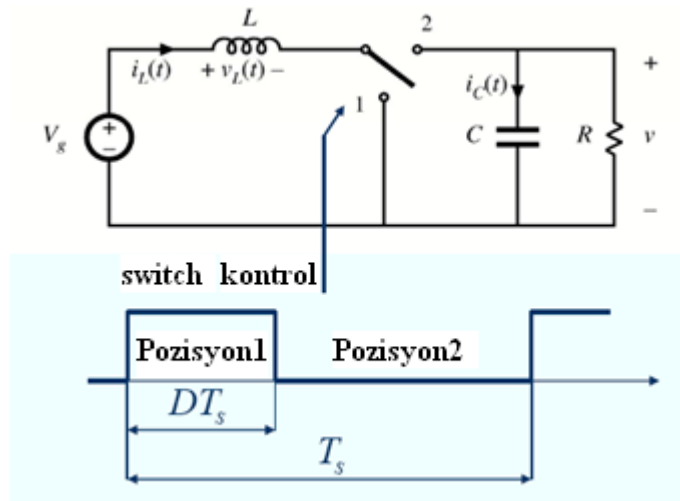
$f_s = 1/T_s$ (Anahtarlama Frekansı)

D : Duty Cycle (Yüksek voltajda kalma süresi) ($0 < D < 1$)

I_{fv} : 22A

Pulse Jeneratör Anahtarlama Periyodu : %50

Boost konverter devresi ile birlikte yüksek voltajda kalma süresi (Duty Cycle) değişimleri Şekil 6.14'de görülmektedir.



Şekil 6.14 : Boost konverter devresi ve yüksek voltajda kalma süresi (Url-7)

Simülasyonda kullanılan boost konverter Duty Cycle ve minimum kapasitans değerleri 6.5 ve 6.6 denklemleri kullanılarak;

$D = 0.5$

$C_{min} = 555\mu F$ olarak hesaplanır. Simülasyonda $1000\mu F$ kondansatör kullanılmıştır.

6.4.2 Boost konverterde indüktans seçimi

Boost konverter için minimum indüktans (L_{min}) hesaplama formülü Denklem 6.7 de görüldüğü gibidir (Url-24).

$$L_{min} = \frac{T \cdot V_0}{2I_0} D(1-D)^2 \quad (6.7)$$

Bir boost konverterde verim hesaplaması denklem 6.8 'den yapılabilir.

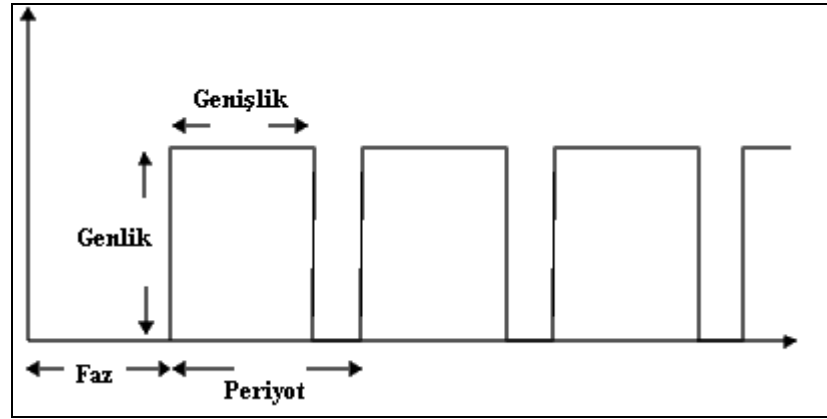
$$\eta_{konverter} = \frac{P_{out}}{P_{fv}} = \frac{V_0 \cdot I_0}{V_{fv} \cdot I_{fv}} \quad (6.8)$$

Sistem parametrelerini 6.8 ve 6.7'de yerlerine koyunca,

$L_{min} = 50\text{mH}$ yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Simülasyonda kullanılan indüktans değeri 200mH 'dir

6.4.3 Pulse Jeneratör Matlab-Simulink Modeli

Pulse jeneratör bloğu düzenli aralıklarla kare dalga üretir. Pulse jeneratör faz, periyot, genlik ve genişlik değerlerinin grafiksel olarak değişimi Şekil 6.15'te görülmektedir.

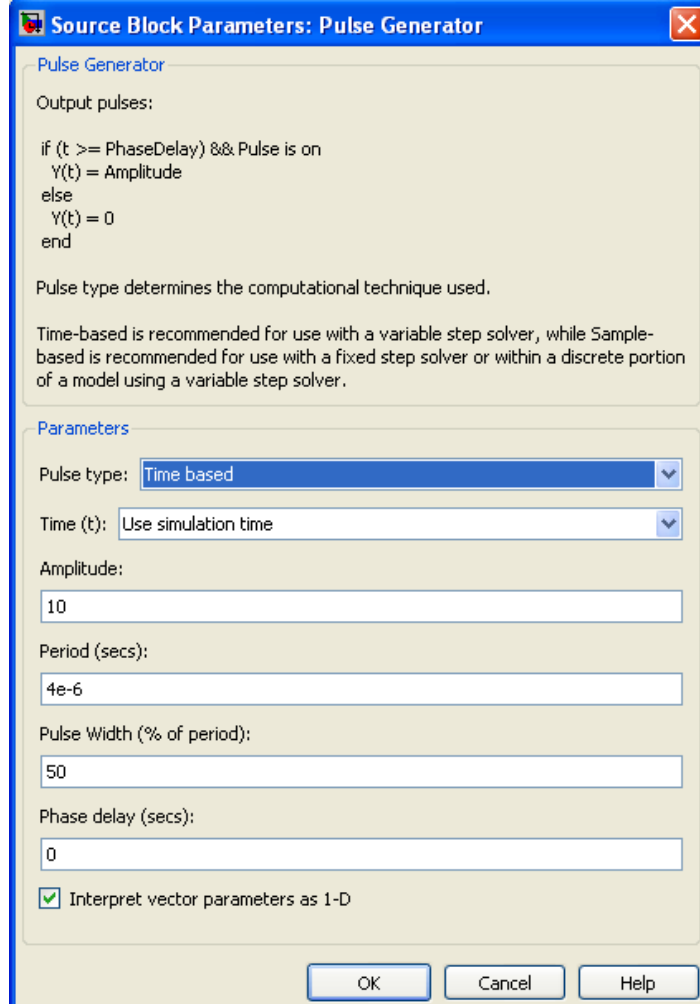


Şekil 6.15 : Pulse jeneratör faz-periyot-genlik değişimleri (Matlab-Simulink Kütüphanesi)

Boost konverterde transistör elemanının anahtarlamasını sağlamak amacıyla kullanılan pulse jeneratörün, simülasyonda ayarlanan verileri Şekil 6.16'da görüldüğü gibidir. Şekil 6.16'ya göre t 'nin faz gecikmesinden büyük olduğu zamanlarda pulse "On" konumunda, $Y(t)$ genlik değerindedir. Diğer durumlarda ise $Y(t) = 0$ değerindedir.

Pulse jenerator için seçilen simülasyon parametreleri:

Pulse tipi zaman eksenli, pulse zamanı olarak simülasyon zamanı, genlik 10, periyot $4 \cdot 10^{-6}$, pulse genişliği (duty cycle) periyodun %50'si, faz gecikmesi ise 0 olarak belirlenerek simülasyon gerçekleştirilmiştir.

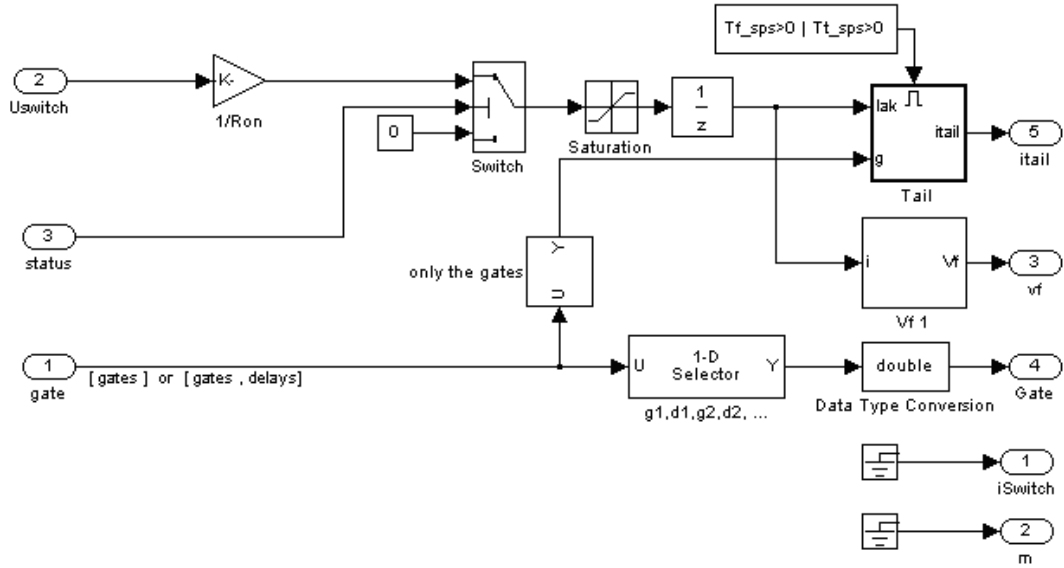


Şekil 6.16 : Pulse jeneratör Matlab-Simulink parametreleri (Matlab-Simulink Kütüphanesi)

6.5 IGBT Inverter Matlab-Simulink Modeli

Şebeke bağlantılı FV Sistemde boost konverterin çıkışındaki DA işareti 3 faz AA işarete çevirmek amacıyla Şekil 6.5'te "5" no'lu etiketlenmiş bölümde gösterilen IGBT inverter kullanılmıştır. IGBT inverterin Matlab-Simulink modeli Şekil 6.17'de görülmektedir. Şebekeye bağlı FV sistemin önemli parametrelerinden olan inverterler hakkında bölüm 4'te detaylı bilgi verilmiştir. Şekil 6.18'de

Matlab-Simulink ile yapılan modellemede kullanılan IGBT invertere ait parametreler görülmektedir.



Şekil 6.17 : IGBT inverter Matlab-Simulink modeli

Kullanılan sistem 3 fazlı olduğu için köprü kol sayısı “3” olarak seçilmiştir. 1 ya da 2 değeri monofazlı sistemlerde tercih edilmektedir. Snubber rezistans R_s değerinin ohms (Ω) cinsinden değeri 5000 Ohms, Snubber kapasitans değeri rezistif snubber olması için inf olarak kullanılmıştır. Sistem analiz edildiğinde R_s ve C_s değerleri Denklem 6.9 ve 6.10’den hesaplanabilir (Matlab-Simulink Kütüphanesi).

$$R_s > 2T_s/C_s \quad (6.9)$$

$$C_s < \frac{P_n}{100.(2\pi f).V_n^2} \quad (6.10)$$

P_n : 1 yada 3 fazlı konverterin nominal güç değeri

V_n : Nominal hattan hatta gerilimin rms değeri

f : Temel frekans

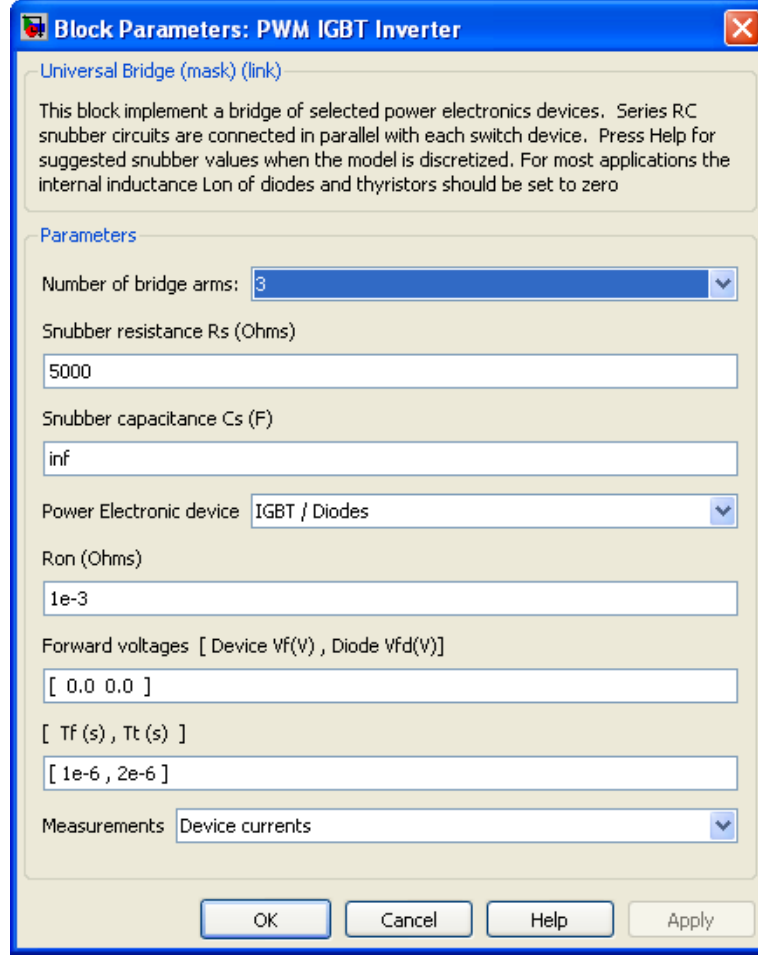
T_s : Örnekleme zamanı

R_s ve C_s değerleri iki kriteri sağlamalıdır. Bunlar

- Snubberların RC zaman sabiti örnekleme zamanı T_s 'in iki katından büyük olmalıdır.

- Güç elektroniği elemanları devrede değilken, temel frekansta snubber kaçak akımı nominal akımın %0.1 inden düşük olmalıdır.

Ron seçili devrenin dahili rezistansının ohm olarak değeridir. (Matlab-Simulink Kütüphanesi)



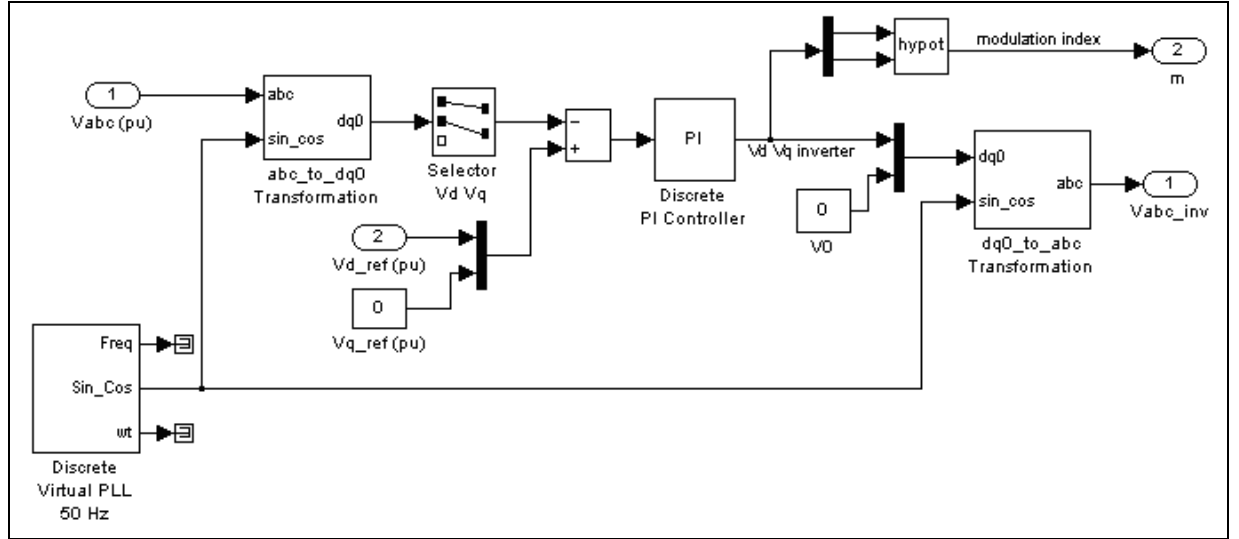
Şekil 6.18 : PWM IGBT inverter Matlab-Simulink parametreleri

6.6 Matlab-Simulink Modelde Voltaj Regülasyonu

PI voltaj denetleyicinin abc/dq ve dq/abc dönüşümünü kullanmasıyla IGBT inverter çıkışındaki yük voltajı 1pu (380 Vrms - 3 Faz) değerine Şekil 6.19’da görüldüğü gibi set edilmektedir. Şebekeye bağlı FV sistem simülasyonunun akış şemasının belirtildiği Şekil 6.5’te “9” ile etiketlenmiş kısımda voltaj regülasyonu sistemi kullanılmıştır. Vabc(pu) değeri d-q eksen takımına dönüştürüldükten sonra elde edilen Vd ve Vq değerleri ayrı ayrı kontrol edilmektedir. Kontrolör olarak PI denetleyici kullanılmaktadır. Daha sonra kontrolör çıkışında tekrar d-g eksen

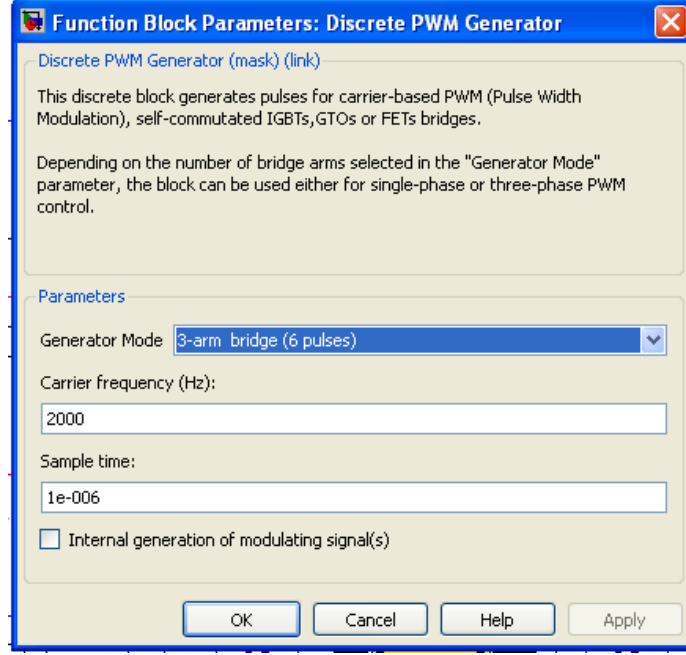
takımından abc eksen takımına dönüşüm yapılarak elde edilen gerilim ile darbe genişlik modülasyonu için referans işaret üretilmektedir.

PWM üretilen darbeler ile evirici istenen gerilim düzeyinde çıkış verecek şekilde ayarlanmaktadır. Bu bölümde ayrıca faz kilitlemeli çevrim (PLL) yardımıyla frekans değeri 50 Hz’de sabit tutulmaktadır



Şekil 6.19 : Voltaj regülörü Matlab-Simulink modeli

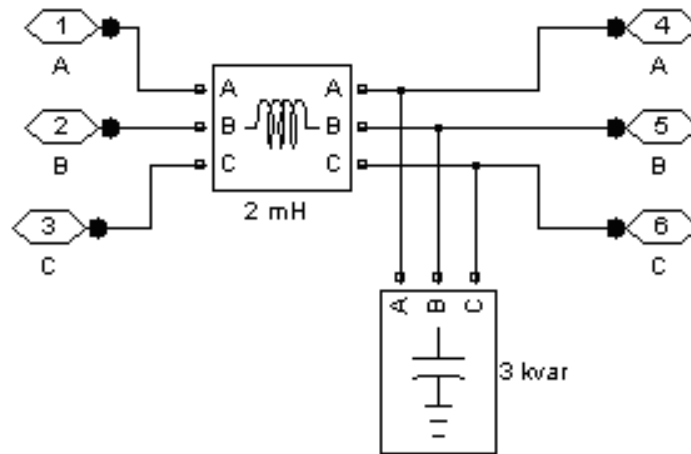
Voltaj regülörünün iki adet çıkışı bulunmaktadır. Birinci çıkışı, altı pulse üreten PWM jeneratör kullanılarak elde edilen üç adet modüle edilmiş sinyali kapsayan vektörden, ikinci çıkışı ise modülasyon indeksi olarak geri dönüşten oluşmaktadır. Voltaj regülörü Matlab-Simulink modelinde “Extras/Measurements” ve “Extras/Discrete Control libraries”ten oluşturulmuştur. PWM jeneratörü Matlab-Simulink parametreleri Şekil 6.20’de görüldüğü gibidir. 3 bölge köprülü, 6 pulse jeneratör mod seçimi ile birlikte, carrier frekansı 2kHz, örnekleme zamanı simülasyonun tamamında kullanılan Ts zamanı ile aynı değerde 1.10^{-006} olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.20 : PWM jeneratör Matlab-Simulink modeli parametreleri

6.7 LC Filtre Matlab-Simulink Modeli

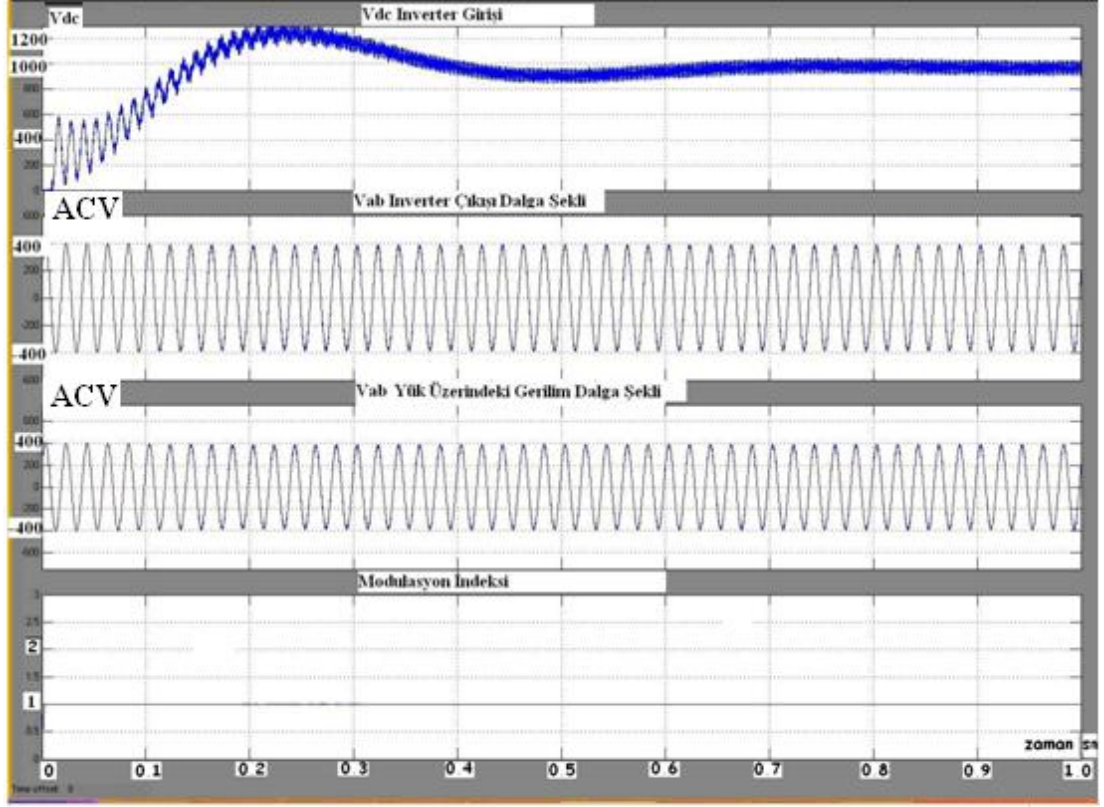
Modellemesi gerçekleştirilen şebekeye bağlı FV sistemin akış şemasının belirtildiği Şekil 6.5'te "6" ile belirtilen kısmı LC filtre oluşturmaktadır. Inverter çıkışında oluşabilecek harmonikleri engellemek amacıyla sistemde kullanılan LC filtre Matlab-Simulink modeli Şekil 6.21'de gösterilmiştir. Sistem L:2mH, C: 3kVar, 380V, 50Hz parametrelerinde çalışmaktadır.



Şekil 6.21: LC filtre Matlab-Simulink modeli

Simülasyon sonucunda IGBT inverter ve LC filtre çıkışında elde edilen zamana bağlı gerilim değişimlerinin ve modülasyon indeksinin görüldüğü grafikler Şekil 6.22'de

görülmektedir. Şekil 6.22'deki eğrilere göre inverter girişindeki DA işaret Şekil 6.11 için incelenmiştir. IGBT inverter çıkışındaki ve yük üzerindeki alternatif gerilim dalga şeklinin 1 sn simülasyon süresince değişimleri incelendiğinde, 400V değerinde sinüs formuna çok yakın, alternatif akım işareti elde edildiği görülmektedir. Simülasyon süresince modülasyon indeksinin 1 değerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 6.22 :FV sistem Vdc inverter girişi dalga şekli- Vab yük gerilim dalga şekli – modülasyon indeksi dalga şekli

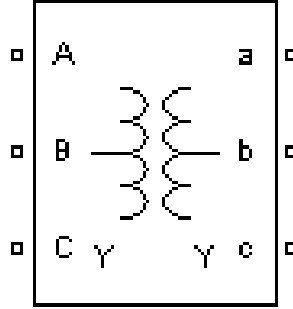
6.8 Transformatör Matlab-Simulink Modeli

Şebekeye bağlı FV sistem modellemesinde 400V/25kV ve 25kV/110kV yıldız bağlı transformatör modelleri kullanılmıştır.

6.8.1 400V/25kV Yıldız-Yıldız bağlı transformatör Matlab-Simulink modeli

Yapılan çalışmada IGBT inverter çıkışında elde edilen 3 faz 400V AA gerilimin şebekeye bağlantısı yapılırken, ilk basamakta 400V değerini 25kV değerine yükseltmek amacıyla Şekil 6.5'te şebekeye bağlı FV sistem modellemesi tek hat

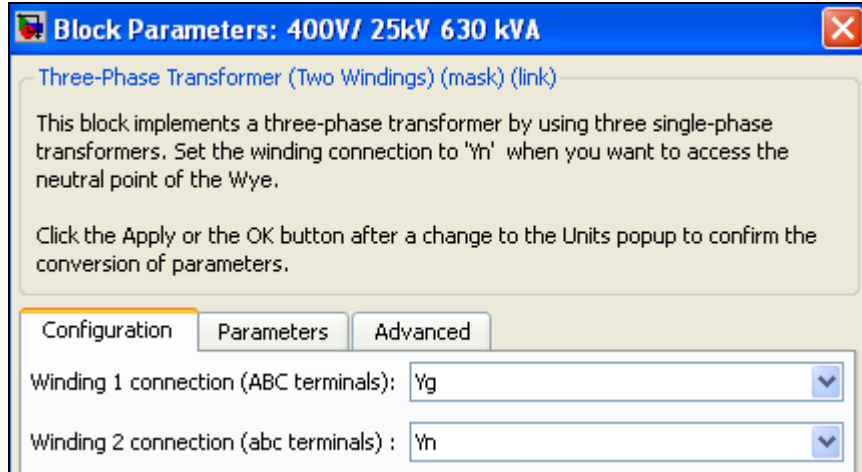
şemasında “10” ile işaretlenmiş kısımda bulunan 400V/25kV trafo kullanılmıştır. 400V/25kV trafo Matlab-Simulink modeli Şekil 6.23’de görülmektedir.



Şekil 6.23 : Trafo Matlab-Simulink modeli (Pamuk, 2011)

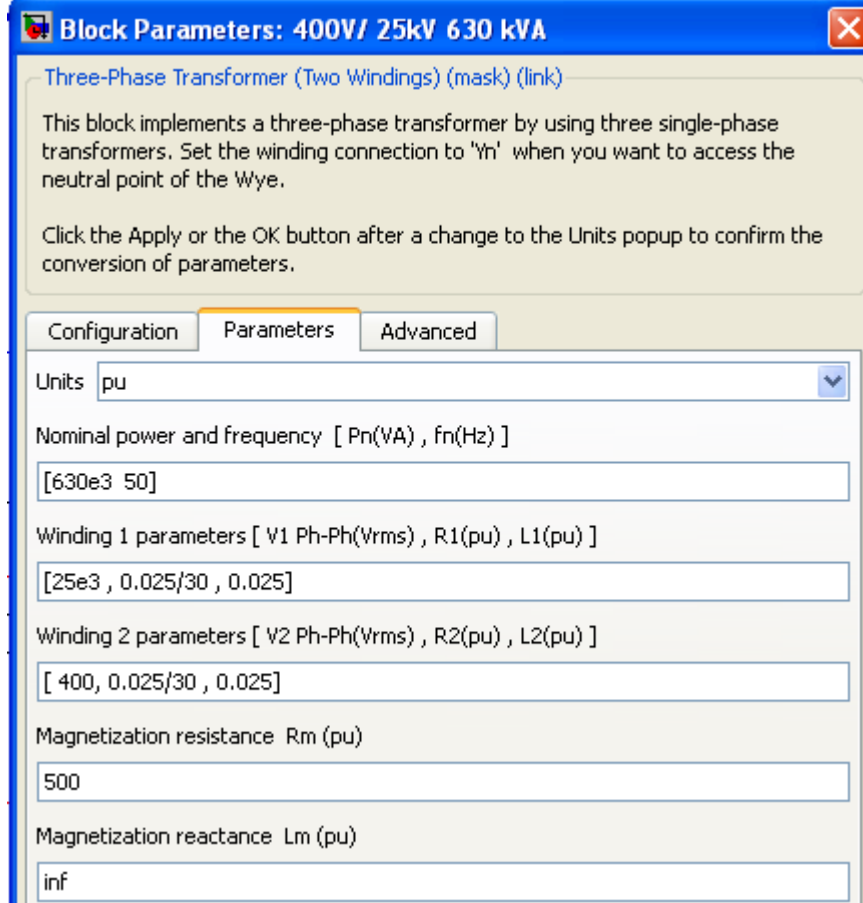
Birincil ve ikincil sargısı yıldız bağlı olan trafolar yıldız-yıldız bağlı trafolardır. Yıldız bağlantı şebekede faz-faz geriliminden, faz-nötr geriliminin elde edilmesi avantajını sağlar. Sadece yıldız sargı içeren transformatörlerde simetrik olmayan yüklerde olumsuz bir durum söz konusudur. Sinüs şeklinde bir akının meydana gelmesi için, üç ve üçün katı harmonikler oldukça önemlidir. Yıldız bağlı trafolarda bu akılar aynı fazda olduklarından sıfır noktasında yığılırlar (Pamuk, 2011).

Matlab-Simulink modellemesinde kullanılan trafonun konfigürasyon parametreleri Şekil 6.24’de görülmektedir. Sargı 1 ABC terminaline, sargı 2 ise abc terminaline bağlantılıdır.



Şekil 6.24 : Trafo Matlab-Simulink modeli konfigürasyon parametreleri

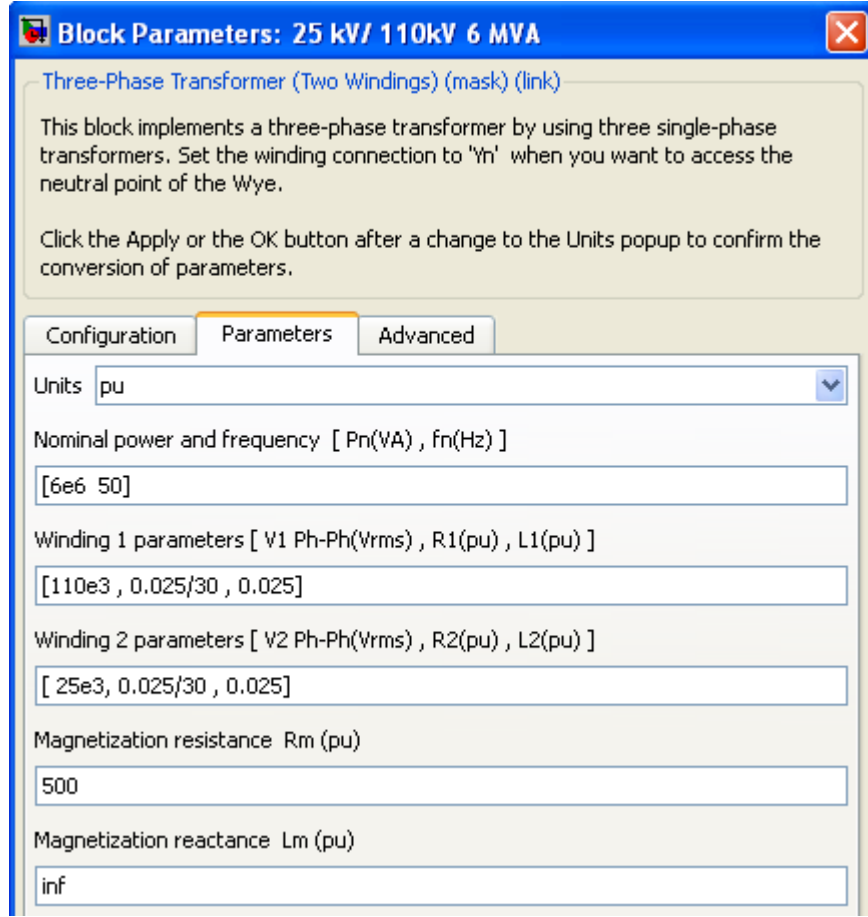
Şekil 6.25’te ise trafonun ayar parametreleri görülmektedir. Ayar parametrelerine göre 630kVA nominal güçte, 50Hz frekansta, 400V gerilimi 25kV değerine yükselten bir trafo modellenmiştir.



Şekil 6.25 : 400V/25kV trafo Matlab-Simulink modeli ayar parametreleri

6.8.2 25kV/110kV Yıldız-Yıldız bağlı transformatör Matlab-Simulink modeli

Yapılan çalışmada 25km Pi tipi hat çıkışındaki 25kV AA gerilimin şebekeye bağlantısı yapılırken, Şekil 6.5'te şebekeye bağlı FV sistem modellemesi tek hat şemasında 25kV değerini 110kV değerine yükseltmek amacıyla "12" ile işaretlenmiş kısımda 25kV/110kV trafo kullanılmıştır. 25kV/110kV trafoda hattın başında kullanılan 400V/25kV trafo ile aynı özelliklerdedir. Trafonun Matlab-Simulink modeli ayar parametreleri Şekil 6.26'da gösterildiği gibidir. 6MVA nominal güçte, 50Hz frekansta, 25kV'u 110kV değerine yükseltecek şekilde modelleme yapılmıştır.

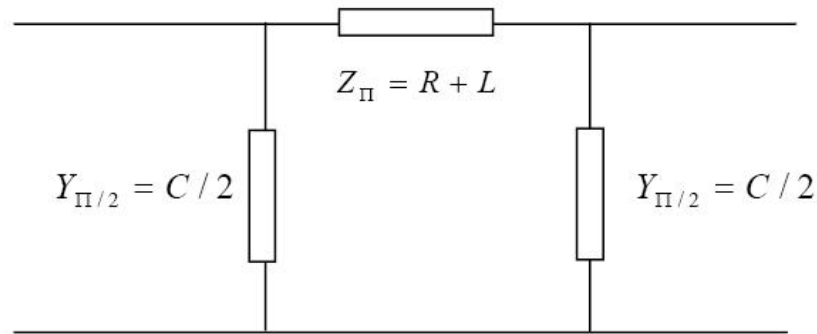


Şekil 6.26 : 25kV/110kV trafo Matlab-Simulink modeli ayar parametreleri

6.9 Pi Tipi Enerji Hattı Matlab-Simulink Modeli

Şebekeye bağlı FV sistem modellemesi uygulamasının tek hat şemasının gösterildiği Şekil 6.5'te "11" ile belirtilen kısımda π (Pi) tipi enerji nakil hattının Matlab-Simulink modeli gösterilmiştir.

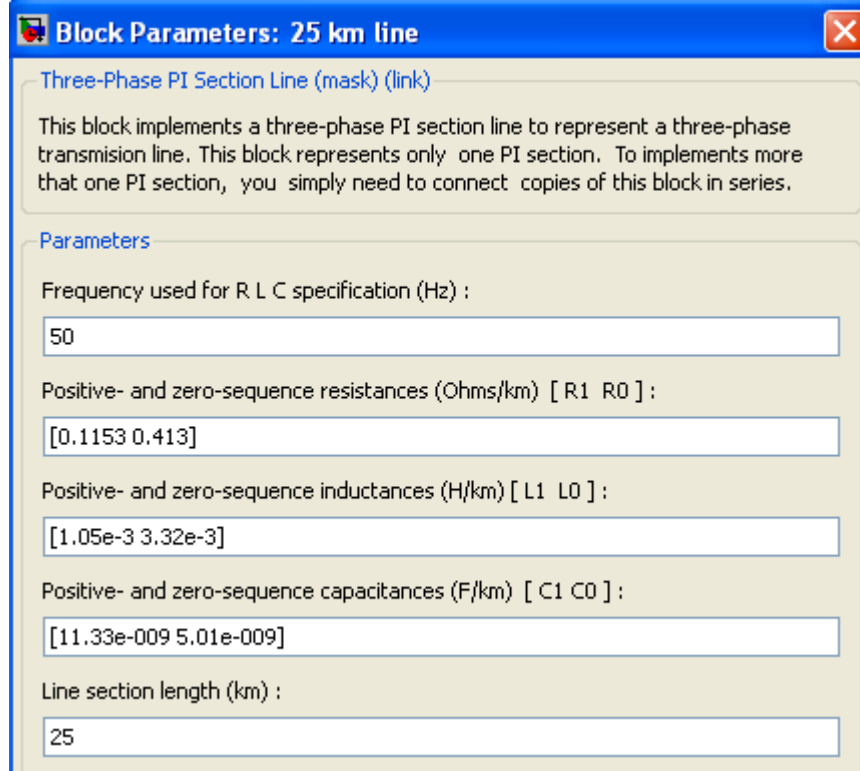
Enerji iletim hatlarında kullanılan π (Pi) eşdeğer devresi Şekil 6.27'de gösterilmiştir.



Şekil 6.27 : Enerji iletim hattı π (Pi) eşdeğer devresi (Pamuk, 2011)

Devre sistem empedansı ile paralel yarım iki admitanstan oluşmaktadır. Devre empedansı iletkenin direnç ile reaktans değerleri toplamına, admitans (Y) ise kapasitans değerine eşittir (Pamuk, 2011).

Modellemesi gerçekleştirilen π (Pi) tipi hattın Matlab-Simulink parametreleri Şekil 6.28'de gösterildiği gibidir.



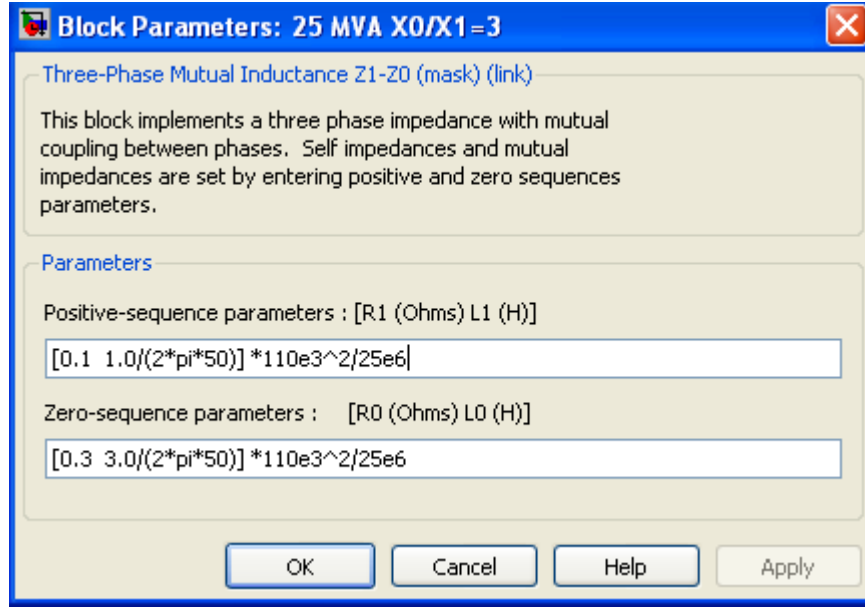
Şekil 6.28 : π (Pi) tipi enerji hattı Matlab-Simulink parametreleri

Enerji iletim hattının uzunluğu 25 km, frekansı 50Hz, kilometre başına direnç 0.1153 ohm/km, Endüktans $1,05e^{-3}$ H/km, kapasitans $11.33e^{-009}$ F/km olarak kullanılmıştır. Değerler Matlab-Simulink enerji hat modellemelerinde kullanılan değerlerle aynı seçilmiştir.

6.10 Ortak Endüktans Matlab-Simulink Modeli

Şebekeye bağlı FV sistem modellemesi uygulamasının tek hat şemasının gösterildiği Şekil 6.5'te "13" ile belirtilen kısımda ortak endüktans modeli gösterilmiştir. Üç faz ortak endüktans fazlar arası ortak bağlantıyla Z1 ve Z0 Blokları arasındaki üç faz endüktif ve rezistif empedansları dengeler. Rezistans ve endüktans değerlerine dayanarak üç faz dengeli güç sistemleri için uygun sistem parametrelerinin girilmesi gereklidir (Matlab-Simulink Kütüphanesi).

Şebeke modeli olarak kullanılan gerilim kaynağına sistemin bağlantısını yapmak amacıyla kullanılan ortak endüktans modellemesine ait sistem parametreleri Şekil 6.29'da görülmektedir. Sistem modellemesinde kullanılan parametreler X0/X1 Oranı 3, frekans 50Hz, gerilim genliği 110kV ve güç 25MVA olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.29 : Ortak endüktans Matlab-Simulink modeli sistem parametreleri

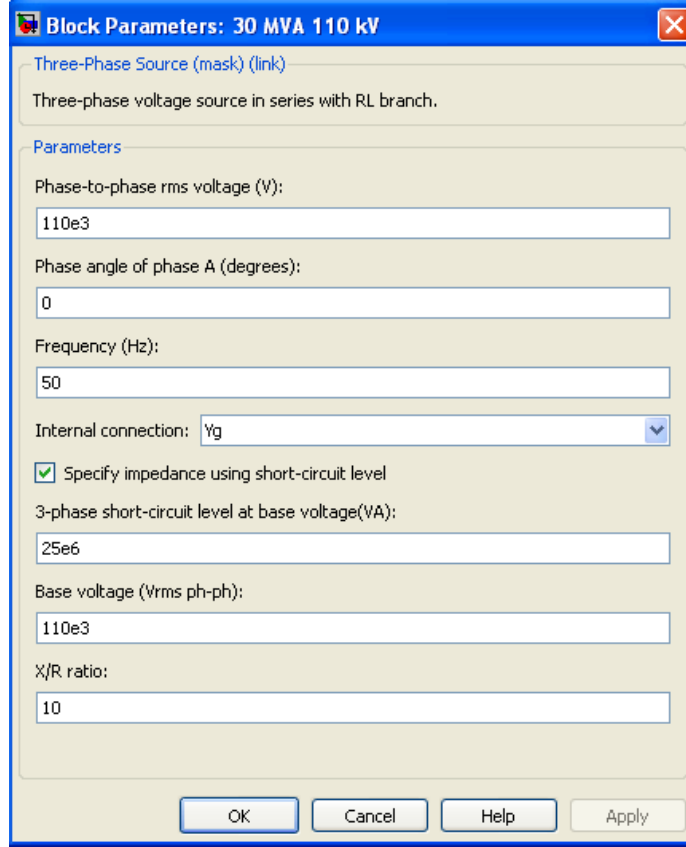
6.11 Gerilim Kaynağı Matlab-Matlab-Simulink Modeli

Şebekeye bağlı FV sistem modellemesi uygulamasının tek hat şemasının gösterildiği Şekil 6.5'te "14" ile belirtilen kısımda şebeke modeli olarak gerilim kaynağı gösterilmiştir.

Üç fazlı kaynak bloğu, dahili R-L empedansında dengeli üç fazlı gerilim kaynağını oluşturur. Üç voltaj kaynağı, yıldız ve dahili olarak topraklanabilen nötr noktası ile bağlanır (Matlab-Simulink Kütüphanesi).

Simülasyonda kullanılan voltaj kaynağının Matlab-Simulink parametreleri Şekil 6.30'da gösterilmiştir. Dahili faz-faz arası rms voltaj değeri 110kV, A fazına ait faz açısı 0°, kaynak frekansı 50 Hz, dahili nötr topraklama üzerinden üç voltaj kaynağının bağlantısı Yg, temel voltaj kısa devre seviyesi 25MVA, faz-faz arası temel voltaj rms değeri 110kV, X/R Oranı (Dahili kaynak empedansı ya da dahili kaynak empedansının kalite faktörü) 10 olarak kullanılmıştır. Dahili rezistans (R-ohm) , kaynak reaktansı (X-ohm)'un X/R'ye oranından denklem 6.11'de gösterildiği gibi hesaplanır (Matlab-Simulink Kütüphanesi).

$$R = X / (X/R) = 2\pi fL / (X/R) \quad (6.11)$$



Şekil 6.30 : 110kV Gerilim kaynağı Matlab-Simulink modeli parametreleri

6.12 Yüklerin Matlab-Simulink Modeli

Modellemesi gerçekleştirilen şebekeye bağlı FV sistemin akış şemasının belirtildiği Şekil 6.5'te "8" ile belirtilen kısmı "R" tipi yük modellemesi oluşturmaktadır.

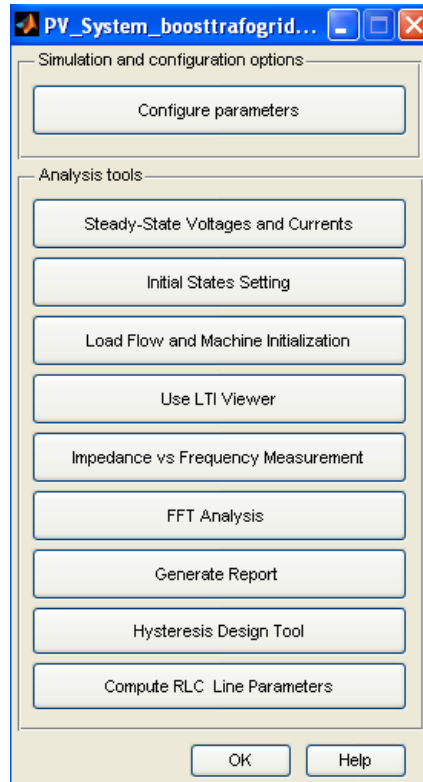
Modellenen FV sisteminin inverter çıkışında 5kW gücünde, 380VAA genlikte, 50 Hz frekans özelliklerinde Matlab-Simulink araç kutusunda bulunan yük bağlanmış, yük üzerindeki gerilim, harmonik bozulma gibi ölçümler gerçekleştirilmiştir.

6.13 Ölçüm Sistemlerinin Matlab-Simulink Modeli

Şebekeye bağlı FV sistem modellemesinin akış şemasının belirtildiği Şekil 6.5'te "3" ve "4" ile belirtilen kısımlarda, verilerin bilgisayar ortamında ölçülerek analiz edilebilmesi için ölçüm noktaları (Scope) kullanılmıştır. Şebekeye bağlı FV sistem çıkışında, boost konverter çıkışında, IGBT inverter çıkışında ve 0.4/25kV trafo çıkışındaki gerilim, akım, harmonik, güç gibi ölçümler gerçekleştirilmiş, grafiksel olarak eğriler elde edilerek tezin ilgili kısımlarında şekil olarak sunulmuştur.

6.14 FV Modellemede Matlab-Simulink ile Simülasyonun Çalıştırılması

Matlab-Simulink benzetimi ile oluşturulan şebekeye bağlı FV sistem modellemesinin simülasyonu 1sn sürede $T_s: 1.10^{-006}$ örnekleme zamanı ile gerçekleştirilmektedir. Simülasyon devam ederken “Scope” olarak adlandırılan ölçüm noktalarından zamana bağlı değişimler izlenebilmektedir. Simülasyon bitiminde Şekil 6.31’de görülen “Power Gui” menüsü kullanılarak FFT analiz gerçekleştirilir. Gerçekleştirilen simülasyon sonucunda inverter ve trafo çıkışındaki gerilim değerlerinin zamana bağlı değişimleri ölçülerek grafikler elde edilmiştir.



Şekil 6.31 : Power gui menüsü

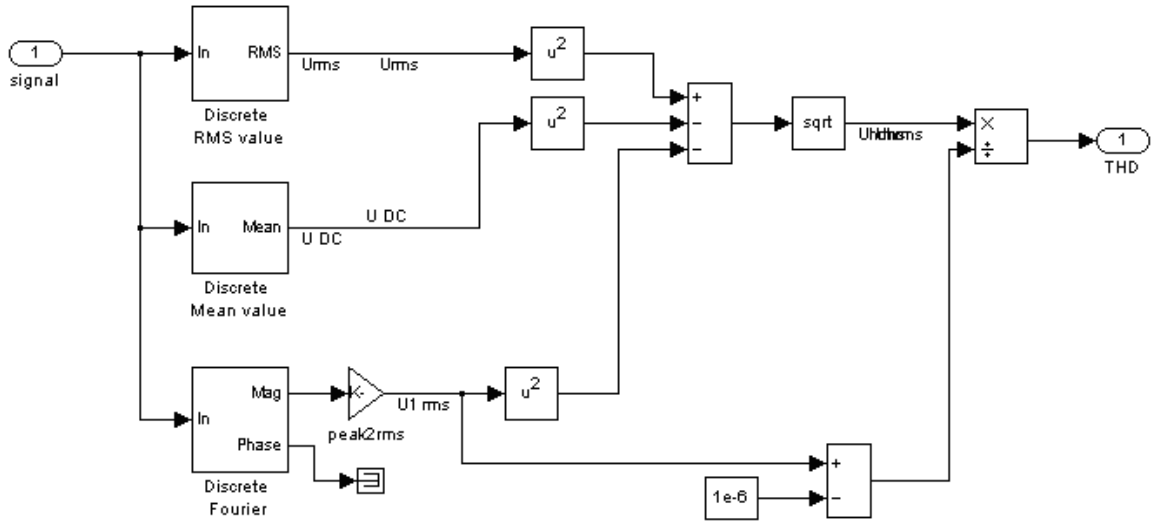
6.15 FV Modellemede Matlab-Simulink ile Harmonik Ölçümleri

Şebekeye bağlı Fotovoltaik sistemlerde bulunan harmonikler, gerçek verilerden yola çıkılarak simülasyon ortamında incelenmiştir.

Harmonik etkiler akım ve gerilim dalga şekillerinin ideal sinüzoidal formdan uzaklaştığı durumlar için genel bir durumdur. Özellikle anahtarlama elemanları kullanan birçok elektriksel ekipman tipik harmonik kaynağıdır. Genelde, harmonik akımın seviyesi arttıkça harmonik bileşenin etkisi azalmaktadır.

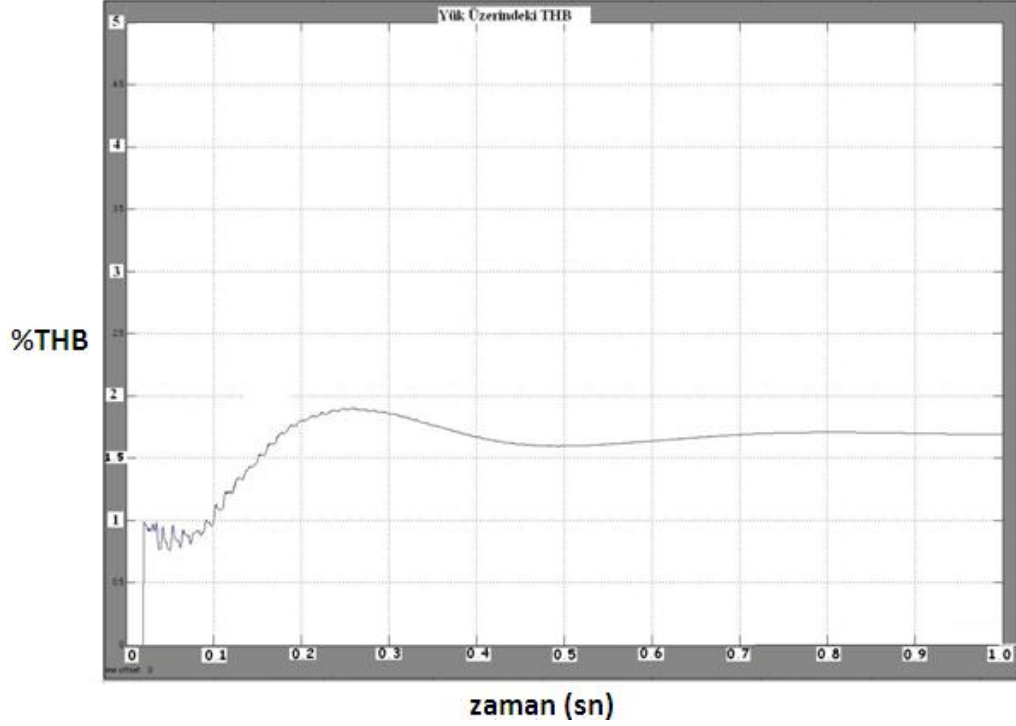
IEEE 519 standardı uyarınca 69kV'un altındaki elektrik şebekelerinde oluşan harmonik seviyeleri toplamda %5'i ve cihazlardan kaynaklanan münferit emisyon ise %3'ü geçmemelidir (Akdeniz, 2006).

Bölüm 5'te detayları verilen harmonik hesaplama formülünü temel alarak hesaplama yapan, Matlab-Simulink uygulamasının araç kutusunda yer alan THB Matlab-Simulink modelinin akış diyagramı şekil 6.32'de gösterildiği gibidir.



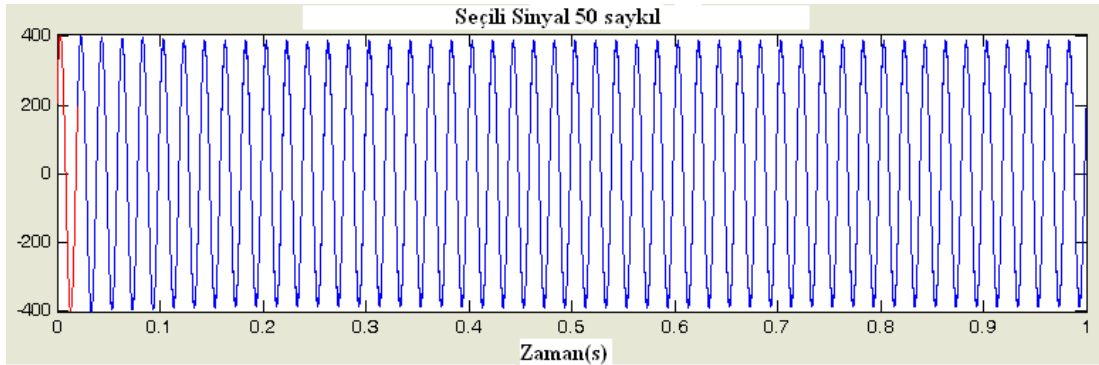
Şekil 6.32 : THB Matlab-Simulink modeli

Simülasyon çalıştırılıp, çalışma sonucunda yük üzerindeki ve 0.4/25kV trafo çıkışı üzerindeki harmonik ölçümler, “Scope” olarak ölçüm noktalarından ve “Power Gui-FFT analizden gerçekleştirilmiştir. Yük üzerinde ölçüm noktalarından yapılan harmonik ölçümler sonucunda elde edilen grafikler Şekil 6.33’de gösterilmiştir. Şekil 6.33’e göre simülasyon süresi olan 1sn süresince THB değişimi takip edilmiştir. THB değişimi 0.2sn süresine kadar dalgalanma gösterirken maksimum %2 civarında bir değere THB eğrisi ulaşmaktadır. Gözlemlenen dalgalanma aynı zaman diliminde IGBT inverter girişindeki DA işaretinde de görülmektedir. 0.2sn süresinden simülasyonun tamamlandığı zaman olan 1 sn süresine kadar THB değişiminin %1.5 değeri civarında olduğu bir eğri elde edilmiştir.



Şekil 6.33 : FV modelleme yük üzerindeki ölçüm noktasında THB grafiği

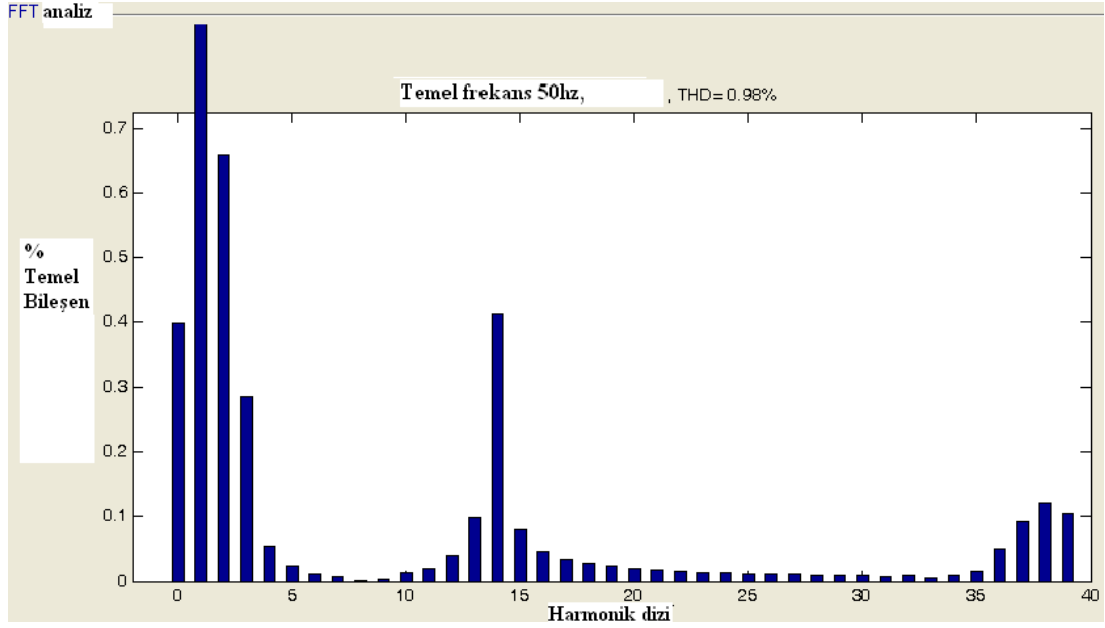
Power Gui-FFT analizden elde edilen yük üzerindeki 50 saykıl gerilim dalga şekli Şekil 6.34'de görülmektedir. Şekil 6.34'de elde edilen gerilim dalga şekline göre yük üzerinde sinüs dalga şekline çok yakın, 400V genlikte AA karakteristikli işaret elde edilmektedir.



Şekil 6.34 : FV modelleme yük üzerinde FFT analiz gerilim dalga şekli

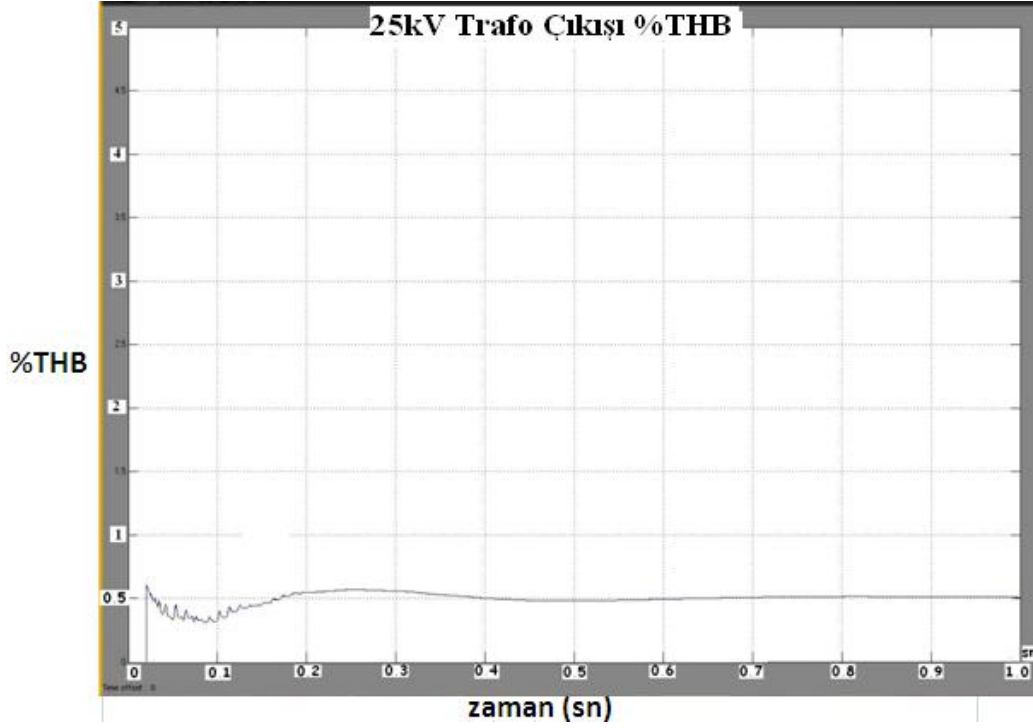
FFT analizden elde edilen yük üzerindeki harmonik bileşenler Şekil 6.35'de gösterilmiştir. Şekil 6.35'de görüldüğü gibi 39. harmonik bileşene (1950Hz) kadar THB ölçümleri yapılarak sütun diyagram şeklinde grafikler elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerde temel frekansın ilk katlarındaki harmonik bileşenler yüksek frekanstaki harmonik bileşenlere göre yüksek olup, frekans yükseldikçe harmonik

bileşenlerin düştüğü görülmektedir. Sıfırncı harmonik (0Hz) DA bileşen değeri %0.40, DA bileşenden sonraki ilk değer olan temel bileşen (50Hz) değeri %100'dür. Grafiklerdeki harmonik bileşenlerin frekansla değişimi 2. harmonik bileşenden başlanarak incelenecek olursa; en yüksek 2. harmonik bileşen %0.66 değerinden sonra harmonik bileşenler frekansla düşmekte olup, 14. harmonik bileşende (700Hz) nedeni bilinmeyen yükselme gerçekleşmekte, ardından tekrar harmonik bileşenler düşmektedir. THB değeri ise FFT analiz ile %0.98 olarak hesaplanmıştır.



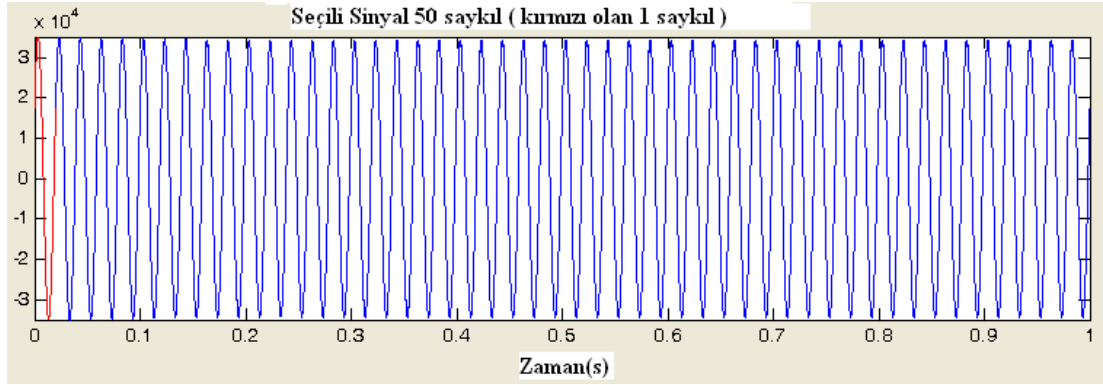
Şekil 6.35 : FV modelleme yük üzerinde power gui FFT analiz ölçümü THB değişimi

04/25kV trafo çıkışı üzerinde ölçüm noktasında yapılan harmonik ölçümler sonucunda elde edilen grafik Şekil 6.36'da görülmektedir. Şekil 6.36'ya göre simülasyon süresince THB değişimi takip edilmiştir. THB değişimi 0.2sn süresine kadar dalgalanma göstermektedir. Gözlemlenen dalgalanma aynı zaman diliminde yük üzerindeki THB ölçümünde de görülmektedir. 0.2sn süresinden simülasyonun tamamlandığı zaman olan 1 sn süresine kadar THB değişimi kararlılık göstererek %0.5 değeri civarında eğri elde edilmektedir.



Şekil 6.36 : 04/25kV trafo çıkışı ölçüm noktasından elde edilen THB grafiği

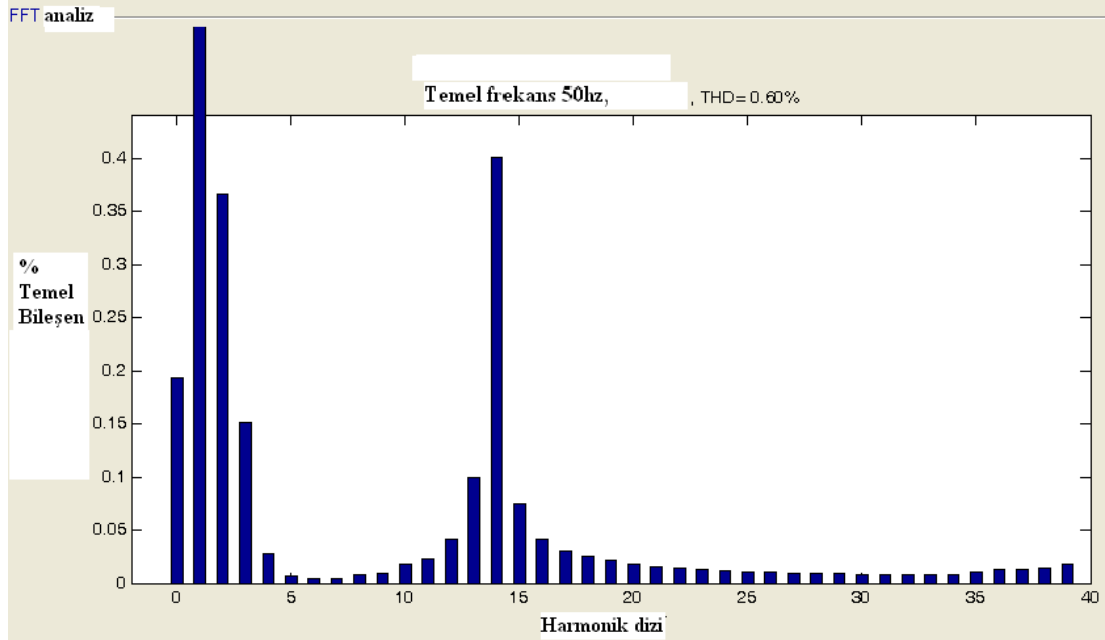
Power Gui-FFT analizden 0.4/25kV trafo çıkışındaki elde edilen gerilim dalga şekli Şekil 6.37’de görülmektedir. Sinüs dalgasına çok yakın, sabit genlikte devam eden AA karakteristikli eğri elde edilmiştir.



Şekil 6.37 : FV modelleme 0.4/25kV trafo çıkışı üzerinde FFT analiz gerilim dalga şekli

FFT analizden elde edilen 04/25kV trafo çıkışındaki harmonik bileşenler Şekil 6.38’de gösterilmiştir. Şekil 6.38’de görüldüğü gibi 39. harmonik bileşene kadar (1950Hz) THB ölçümleri yapılarak sütun diyagram şeklinde grafikler elde edilmiştir. DA bileşen değeri %0.19, temel bileşen (50Hz) değeri %100’dür. Grafiklerdeki harmonik bileşenler 2. harmonik bileşenden itibaren incelendiğinde; en yüksek 2.

harmonik bileşen olan %0.37 değerinden sonra harmonik bileşenlerin değeri frekansla düşmekte olup, 14. harmonik bileşende (700Hz) %0.40 değeriyle nedeni bilinmeyen ani yükseliş gerçekleşmiştir. THB değeri FFT analiz ile %0.60 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.38 : FV modelleme 0.4/25kV trafo çıkışında power gui FFT analiz ölçümü THB değişimi

IGBT inverter çıkışından sonraki yük üzerinde ve 400V/25kV trafo çıkışında, Power GUI FFT analiziyle temel frekans 50Hz ve maksimum frekans 2000Hz değerleri arasında harmonik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.35 ve 6.38’de görülen grafikler ve hesaplamalara göre THB yük üzerinde % 0.98, trafo çıkışında ise %0.60 olarak ölçülmüştür. Scope olarak yapılan ölçümlerde ise harmonik bileşen değerleri % 1-2 arasında değişmektedir. Matlab-Simulink ortamında gerçekleştirilen harmonik ölçüm sonuçlarına göre harmonik bozulmaların seviyelerinin, kabul gören en genel şart olan %5 harmonik bozulma sınırını aşmaktan uzak olduğu görülmüştür.

Modellemesi gerçekleştirilen şebeke bağlantılı FV sistem modellemesinde, THB Discrete Simulink modeli ve FFT analizle temel frekansın katlarında ölçüm imkânı olmasından dolayı harmonik bileşenler ölçülerek yorumlanmıştır. Ölçülebilen büyüklükleri değerlendirme prensibinden hareketle güç kalitesini belirleyen diğer kalite faktörlerine ilişkin yorumlama getirilmemiş, sadece gerilim dalga şekilleri sunulmuştur.

6.16 Şebekeye Bağlı RT Sistemi Matlab-Simulink Modellemesi

Şebeke bağlantılı RT Sistemin modellemesi tek hat şeması Şekil 6.39'da görüldüğü gibidir. Tez çalışmasında Matlab-Simulink ortamında jeneratör hızı, rüzgâr hızı ve kanat açısı verileri değiştirilebilen 275kW gücünde RT bağlantılı olduğu AJ ile birlikte RT sistemi modelini oluşturmaktadır. Oluşturulan RT sisteminin çeviriciler aracılığıyla şebekeye entegre edildiği simülasyon modeli ise Şekil 6.40'da görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

Rüzgar türbininde rüzgâr hızı temel limit değeri 12m/s olarak kullanılmıştır. AJ Tm girişi negatif iken jeneratör, pozitif iken motor modunda çalışmaktadır. Rüzgâr türbininde rüzgâr hızı giriş değeri 8m/s den fazla iken, jeneratörün Tm girişi negatif değer olarak ölçülmüştür. Rüzgâr hızını 0 m/s değerine getirerek yapılan ölçümlerde inverter çıkışındaki gerilim dalga genliğinin düşmekte olduğu gözlenmiştir.

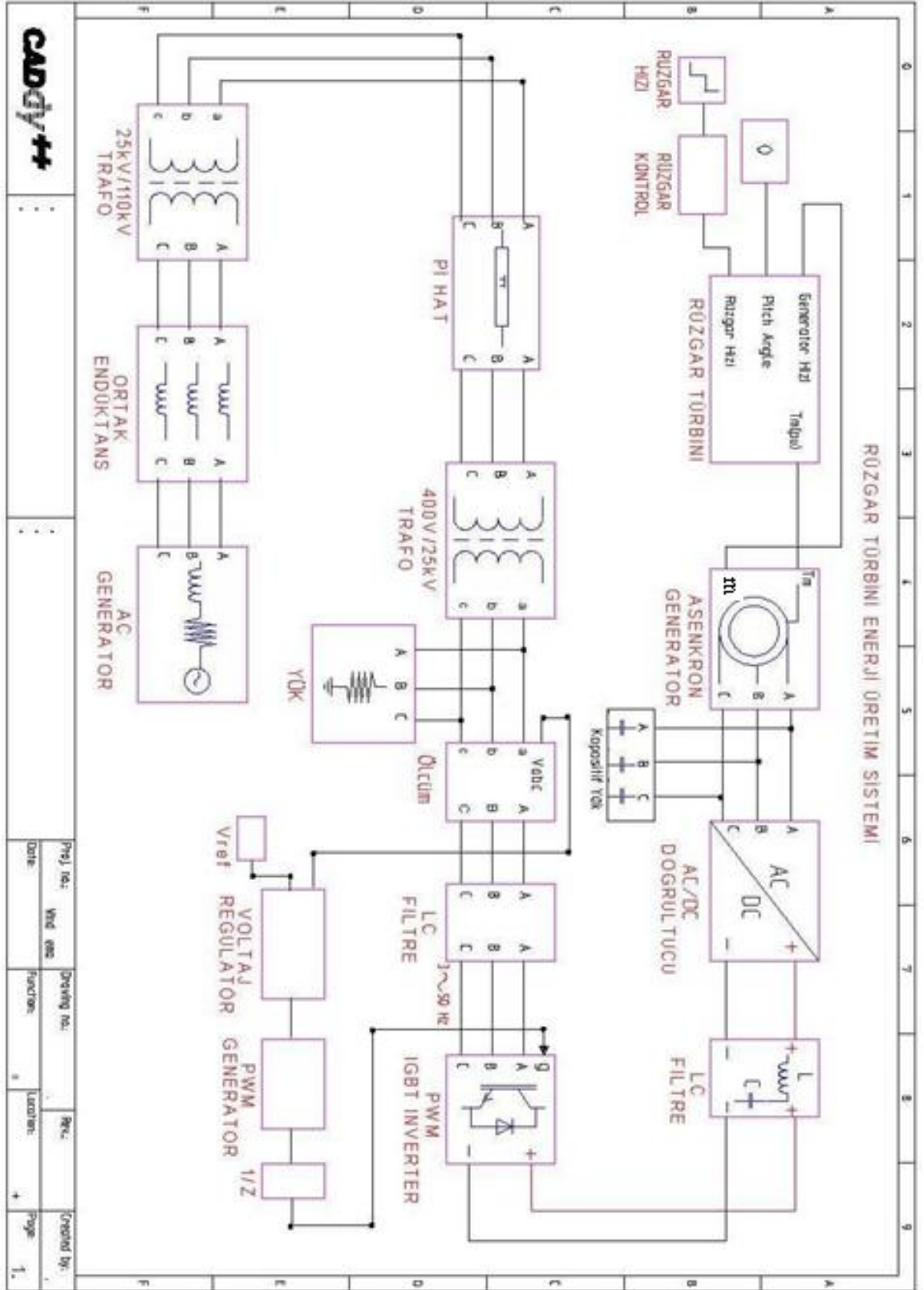
RT sistemini şebeke ve yüke bağlamadan önce AJ çıkışındaki dalga şekli AA/DA konverterle doğrultulmuş, doğrultulan işaret LC Filtresinden geçirildikten sonra FV sistemde kullanılan metotla aynı olarak IGBT (Yalıtımlı Geytli çift kutuplu –bipolar transistör) inverter üzerinden şebeke ve yüke bağlantısı yapılmıştır.

Sistemde IGBT inverter kullanılmasının nedeni IGBT inverterler hem aktif hem reaktif gücün kontrol edilmesi avantajına sahiptir. Geleneksel tristörler aktif gücü kontrol edebilirken, anahtarlanabilir tristörler ve transistörler hem aktif hem reaktif gücü kontrol edebilir (Mohan, 1989). Günümüzde değişken hızlı rüzgar türbini jeneratör sistemlerinde çok farklı tipteki konverterler kullanılabilir. Bunlar şebeke anahtarlama veya kendinden anahtarlama konverter olarak karakterize edilebilir.

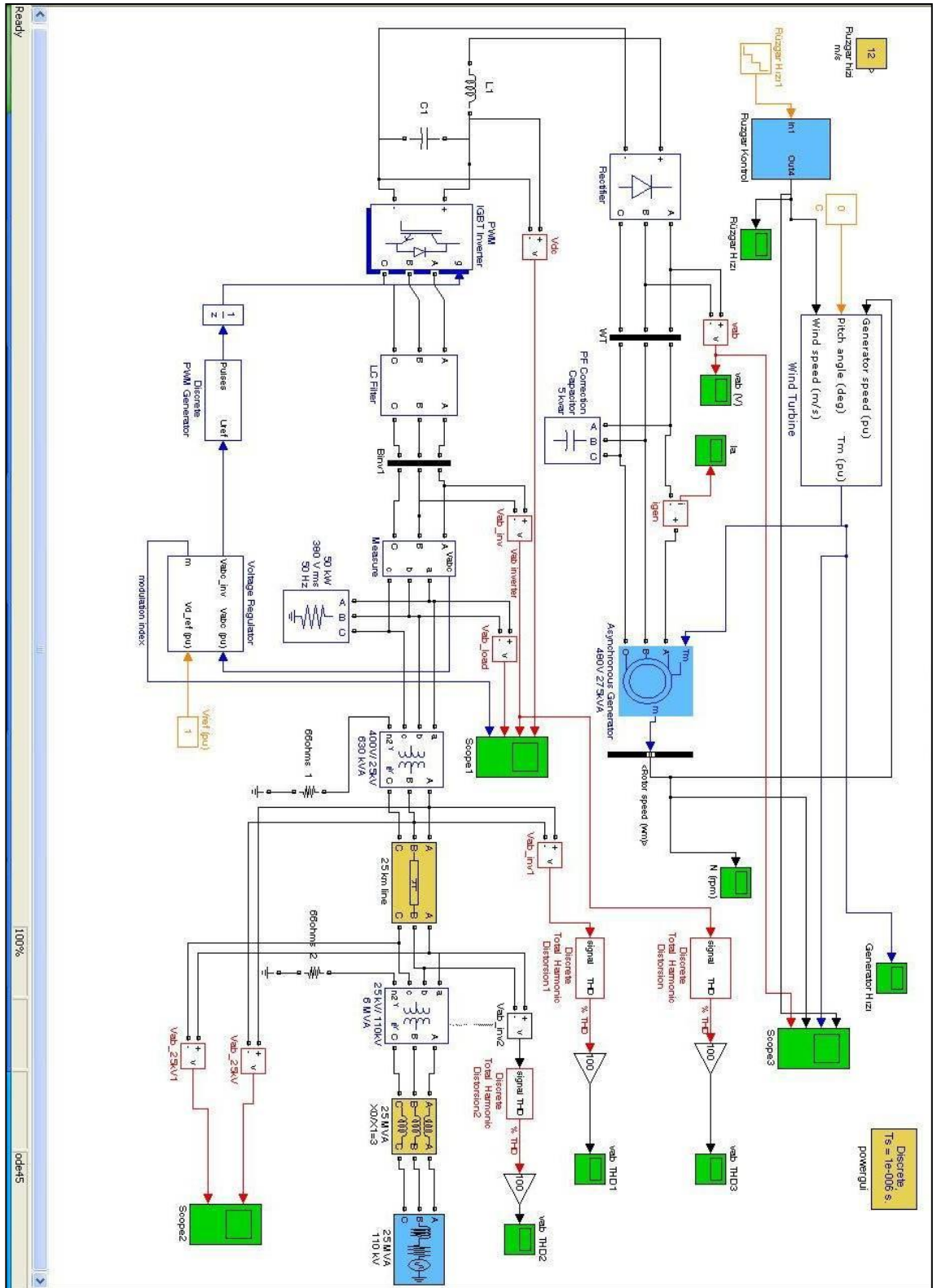
Günümüzde en yaygın ve en hızlı gelişim gösteren transistör IGBT'dir. IGBT'lerin anahtarlama frekansı 2-20kHz aralığındadır (Ackermann, 2009). Kendinden anahtarlama transistörler, yüksek anahtarlama frekansına sahip olduğu için harmonikler daha kolay bir şekilde filtrelenebilir. Genel olarak inverter kilohertz aralığında harmonik üretir. Bu nedenle harmonik filtreler kullanmak gereklidir.

RT modellemesinde denetleyici olarak PI denetleyici kullanılmakta, rüzgâr hızındaki değişimler nedeniyle inverter girişinde farklı genliklere sahip bir DA gerilimi oluşsa da, yapılan denetim ve uygun filtrelerin kullanılması sonucu inverter çıkış geriliminin etkin değeri 380V'da, frekansı da 50Hz'de sabit tutulabilmektedir. Ayrıca oluşan harmonik etkiler de kullanılan filtrelerle önemli ölçüde

azaltılabilmektedir. Yapılan RT sistem simülasyonunda (Altaş, 2008) makalesindeki metotla benzer metot kullanılmıştır.



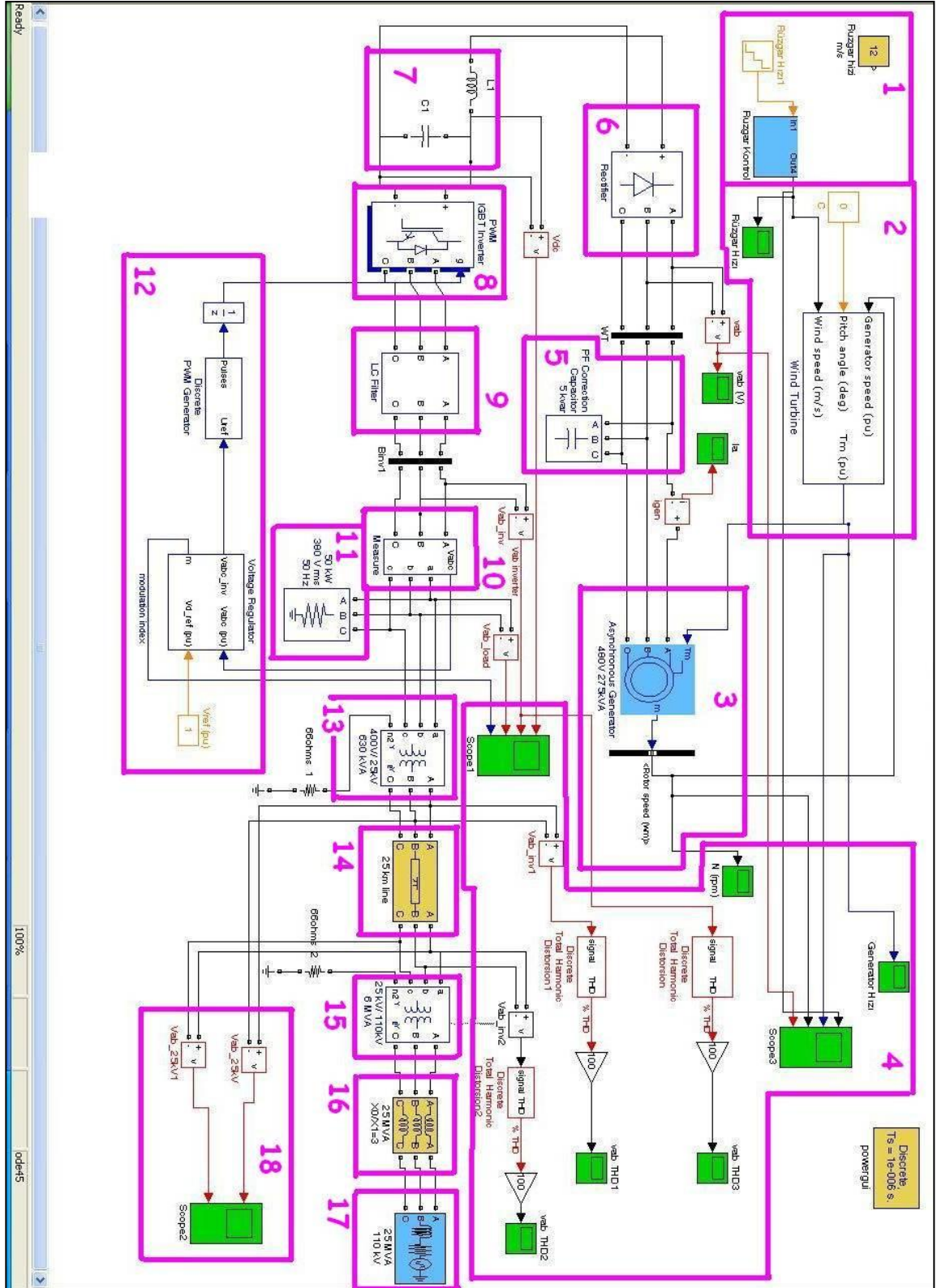
Şekil 6.39 : Şebekeye bağlı rüzgâr türbini sistemi tek hat şeması



Şekil 6.40 : Şebekeye bağlı rüzgâr türbini sistemi Matlab-Simulink modellemesi

Simülasyonu gerçekleştirilen şebeke bağlantılı RT sisteminin kolay anlaşılabilmesi için sistemi oluşturan parçaların numaralarla etiketlenmiş hali Şekil 6.41’de gösterilmiştir. Şekil 6.41’de yapılan etiketlemeye göre RT Sistemini oluşturan parçalar aşağıda belirtildiği gibidir.

- 1 RT modülü rüzgar hızı giriş ve kontrol sistemi
- 2 Rüzgar türbini
- 3 Asenkron jeneratör
- 4 ve 18 Ölçüm (Scope) girişleri
- 5 Kapasitif yük
- 6 AA/DA doğrultucu
- 7 LC filtre
- 8 PWM IGBT inverter
- 9 LC filtre
- 10 Gerilim ölçüm ve ayar noktası
- 11 Yük
- 12 Voltaj regülatör ve PWM pulse jeneratör
- 13 400V/25kV Transformatör
- 14 25km Pi hat
- 15 25kV/110kV Transformatör
- 16 Ortak endüktans
- 17 Üç faz 110kV voltaj kaynağı



Şekil 6.41 : Şebekeye bağlı RT sistemin Matlab-Simulink ortamında simülasyon modelinin yerleşim planı

6.17 Rüzgâr Türbini Matlab-Simulink Modeli

RT sisteminde rüzgârdan elde edilen mekanik enerji elektrik enerjisine çevrilir. Elde edilen enerjiyi kullanabilmek için gerilim ve frekans ayarı yapılır. Rüzgâr türbin modeli, türbinin sürekli durum güç karakteristikleri temel alınarak geliştirilmektedir. Rüzgâr türbininin ürettiği mekanik güç formülü denklem 6.11’de görüldüğü gibidir (Matlab-Simulink kütüphanesi).

$$P_m = c_p (\lambda, \beta) \rho \frac{A}{2} V_{Wind}^3 \quad (6.11)$$

P_m : Türbin mekanik çıkış Gücü (W)

c_p : Türbinin performans katsayısı

ρ : Hava yoğunluğu (kg/m^3)

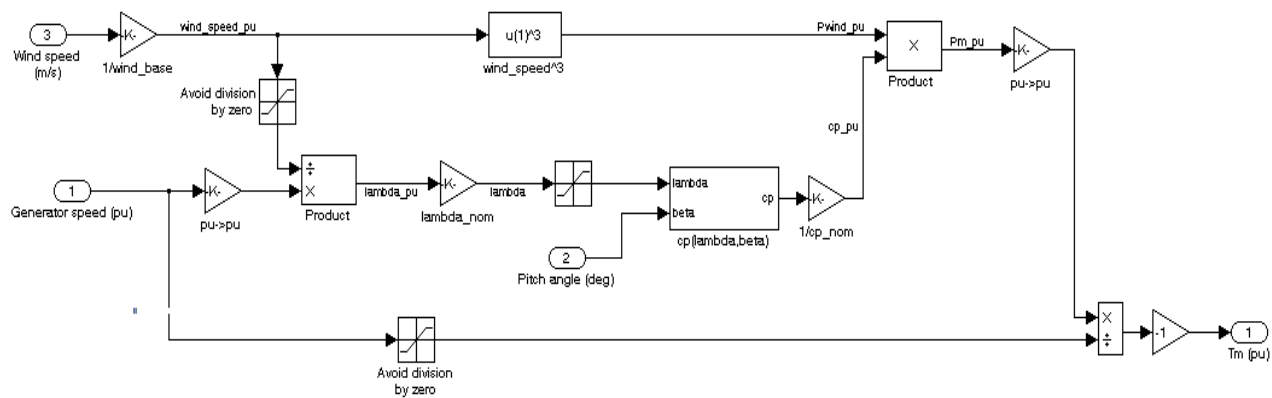
A : Rotor süpürme alanı (m^2)

V_{wind} : Rüzgâr hızı (m/s)

λ : Pitch açısı (deg)

β : Tepe hız oranı (deg)

Denklem 6.11’de belirtilen eşitlik temel alınarak Matlab-Simulink araç çubuğunda oluşturulmuş bulunan RT Matlab-Simulink eşdeğer modeli Şekil 6.42’de görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Şekil 6.41’de bulunan şebekeye bağlı RT sisteminin Matlab-Simulink modellemesi yerleşim planında RT modeli “2” ile belirtilen kısımda kullanılmıştır.



Şekil 6.42 : Rüzgâr türbini Matlab-Simulink eşdeğer modeli

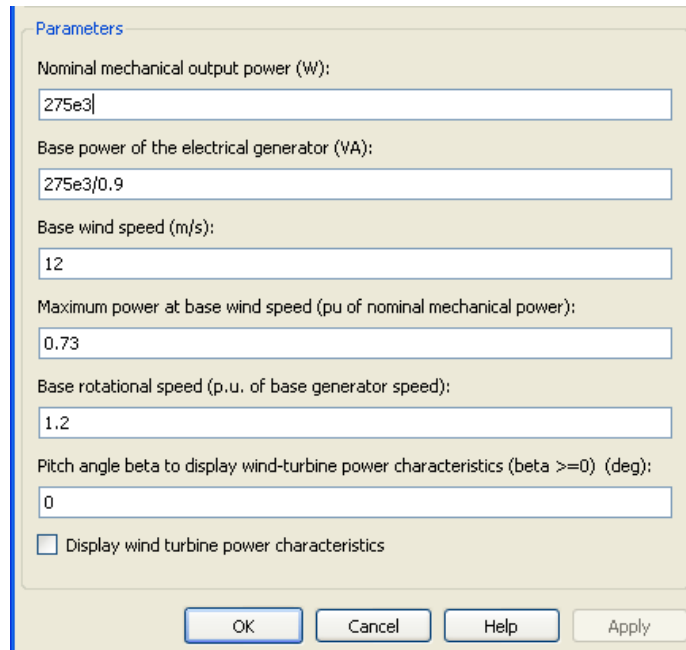
6.17.1 Rüzgar türbini Matlab-Simulink modeli giriş ve çıkışları

Simülasyon modellerinde görüldüğü gibi rüzgar türbininin rüzgar hızı, jeneratör hızı, eğim açısı olmak üzere 3 adet girişi ve rüzgar türbininin mekanik tork olarak 1 adet çıkışı mevcuttur. RT parametreleri aşağıdaki gibidir.

- Rüzgar Hızı : Rüzgar hızının Matlab-Simulink girişi (m/s)
- Jeneratör Hızı : Jeneratörün nominal hızına (pu) bağlı olarak jeneratör hızının Matlab-Simulink girişi (pu)
- Pitch Angle : Eğim açısının Matlab-Simulink girişi (deg)
- Tm(pu) : RT mekanik torkunun Matlab-Simulink çıkışı (pu)
Jeneratörün nominal torku, nominal jeneratör hızı ve gücüne bağlıdır.

6.17.2 Rüzgar türbini Matlab-Simulink parametreleri

Şebekeye bağlı RT sistemi simülasyonunda kullanılan RT ayarlanabilir parametreleri Şekil 6.43'de gösterildiği gibi seçilmiştir. RT 275kW nominal gücünde seçilirken, RT'ne bağlı elektriksel jeneratörün nominal gücü 0.73 VA, temel rüzgar hızı için maksimum güçte rotasyonel hız ise 1.2 pu (Temel jeneratör hızına göre), temel rüzgar hızı 12m/s, temel hızda maksimum güç katsayısı 0.73, eğim açısı ise 0 olarak belirlenmiştir.



Parameters

Nominal mechanical output power (W):
275e3

Base power of the electrical generator (VA):
275e3/0.9

Base wind speed (m/s):
12

Maximum power at base wind speed (pu of nominal mechanical power):
0.73

Base rotational speed (p.u. of base generator speed):
1.2

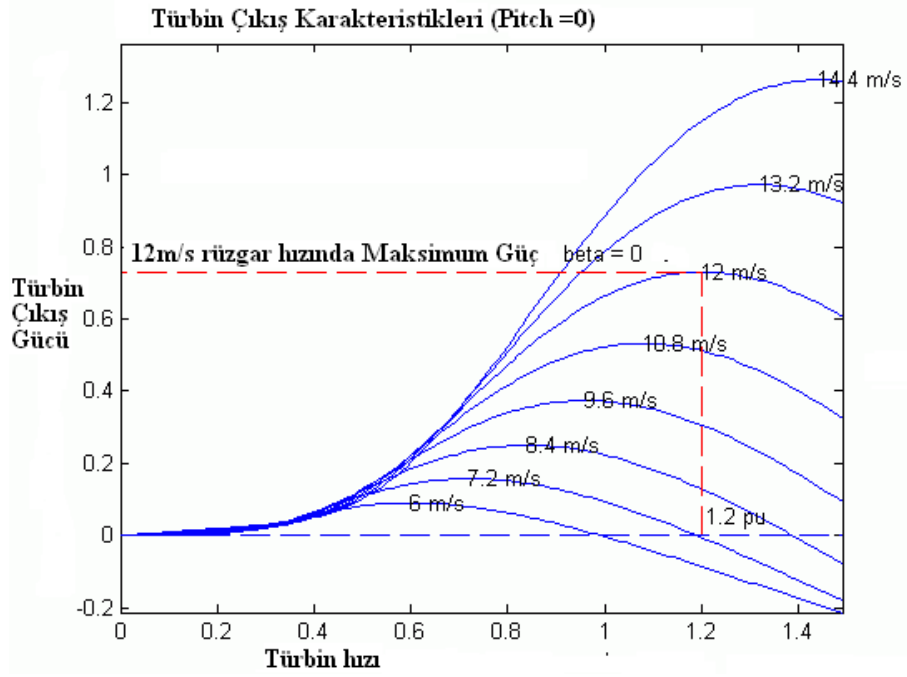
Pitch angle beta to display wind-turbine power characteristics (beta >=0) (deg):
0

Display wind turbine power characteristics

OK Cancel Help Apply

Şekil 6.43 : Rüzgar türbini Matlab-Simulink parametreleri

Türbinin mekaniksel çıkış gücünün temel rüzgâr hızı 12 m/s ve eğim (pitch) açısı sıfır iken, rüzgâr hızı ile değişimi şekil 6.44’de görülmektedir.

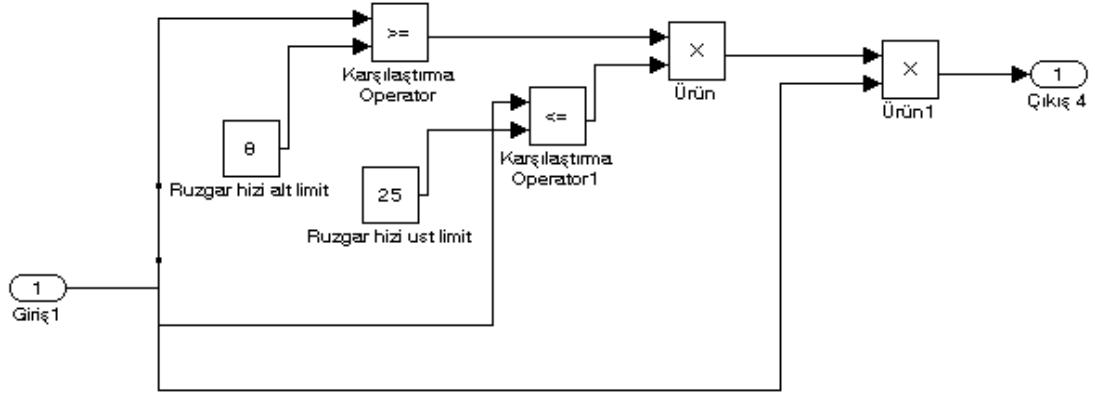


Şekil 6.44 : Rüzgâr türbini-rüzgâr hızı- mekaniksel güç eğrisi (Matlab-Simulink kütüphanesi)

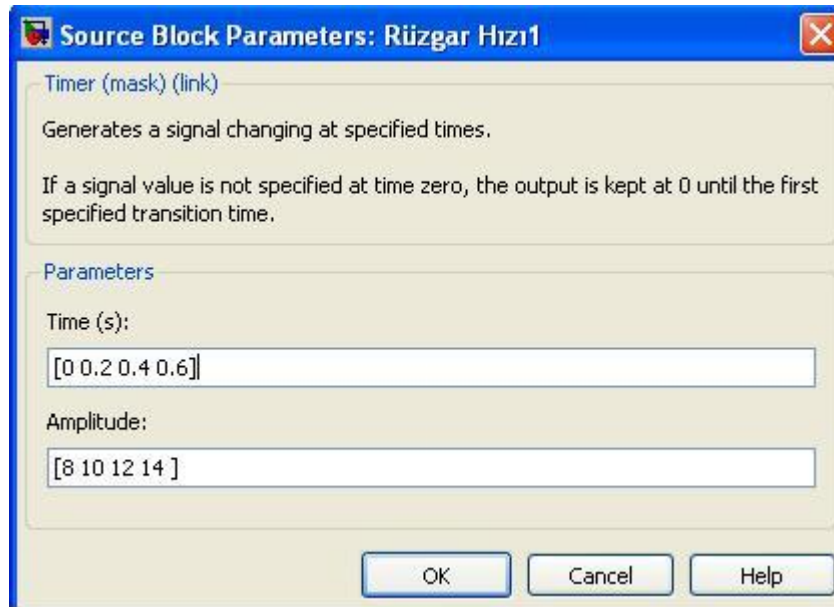
6.17.3 RT Modülü Rüzgâr hızı giriş ve kontrol sistemi

RT rüzgâr hızı giriş ve kontrol sistemi, Şekil 6.41’de bulunan şebekeye bağlı RT sisteminin Matlab-Simulink ortamında simülasyon modelinin yerleşim planında “1” ile belirtilen kısımda kullanılmıştır.

Rüzgâr hızı simülasyon süresince değiştirilerek ölçümler yapılmıştır. Güvenli çalışma sınırı olarak 25m/s üzerinde RT’nin çalışmasını engellemek amacıyla Şekil 6.45’te gösterildiği gibi Matlab-Simulink benzetiminde alt program oluşturularak rüzgâr hızı girişi sınırlandırılmıştır. Rüzgâr hızı alt limit değeri olarak da 8m/s değeri kullanılmıştır. Simülasyon süresince değişik rüzgâr hızı seçeneklerinde ölçümler yapılmıştır. Matlab-Simulink modelinde Şekil 6.46’da gösterilen parametre ayarları ile değişken rüzgâr hızı girişleri rüzgâr türbini modelinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.45 : RT giriş kontrol sistemi



Şekil 6.46 : Rüzgâr hızı değişim parametreleri

6.18 Asenkron Jeneratör Matlab-Simulink Modeli

AJ modeli Şekil 6.41’de bulunan şebekeye bağlı RT sisteminin Matlab-Simulink ortamında simulasyon modelinin yerleşim planında “3” ile belirtilen kısımda kullanılmıştır.

Rüzgâr türbini sistemlerinin büyük bir çoğunluğunda kullanılmakta olan asenkron jeneratörler hakkında detaylı bilgiler Bölüm 4’te verilmiştir.

Matlab-Simulink modelinde AJ, jeneratör veya motor modunda çalışmaktadır. Eğer Tm girişi pozitif ise makine motor modunda, negatif ise jeneratör modundadır.

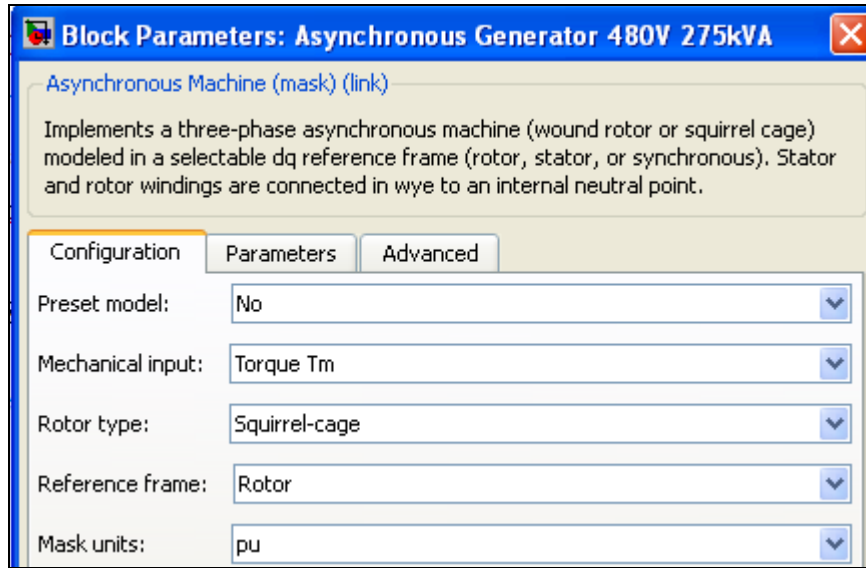
Asenkron jeneratörün “m” çıkışı rotor hızı olarak rüzgâr türbininin jeneratör hızı girişine geri besleme yapmaktadır.

Rüzgâr santrallerinin büyük çoğunluğu asenkron jeneratöre sahip olup, bunlar gerilim regülasyonuna katkıda bulunmadıkları gibi, üretim yaparken ihtiyaç duydukları reaktif enerjiyi de şebekeden çekerek gerilim düşümüne neden olmaktadır. Türbin çıkışında 0,8-0,85 civarında olan güç faktörü alınacak kompanzasyon önlemleriyle daha yukarı seviyelere çıkarılabilmektedir.

6.18.1 Asenkron jeneratör Matlab-Simulink modeli parametreleri

AJ modellemesinde kullanılan konfigürasyon parametreleri Şekil 6.47’de gösterildiği gibi uygulanmıştır.

Konfigürasyon parametrelerinde preset model kullanılmadığı için “No” seçeneği seçilmiş, mekanik girişlerden hız ve tork seçeneklerinden “tork” seçilmiş, referans olarak rotor ve per-unit (pu) sistem tercih edilmiştir.

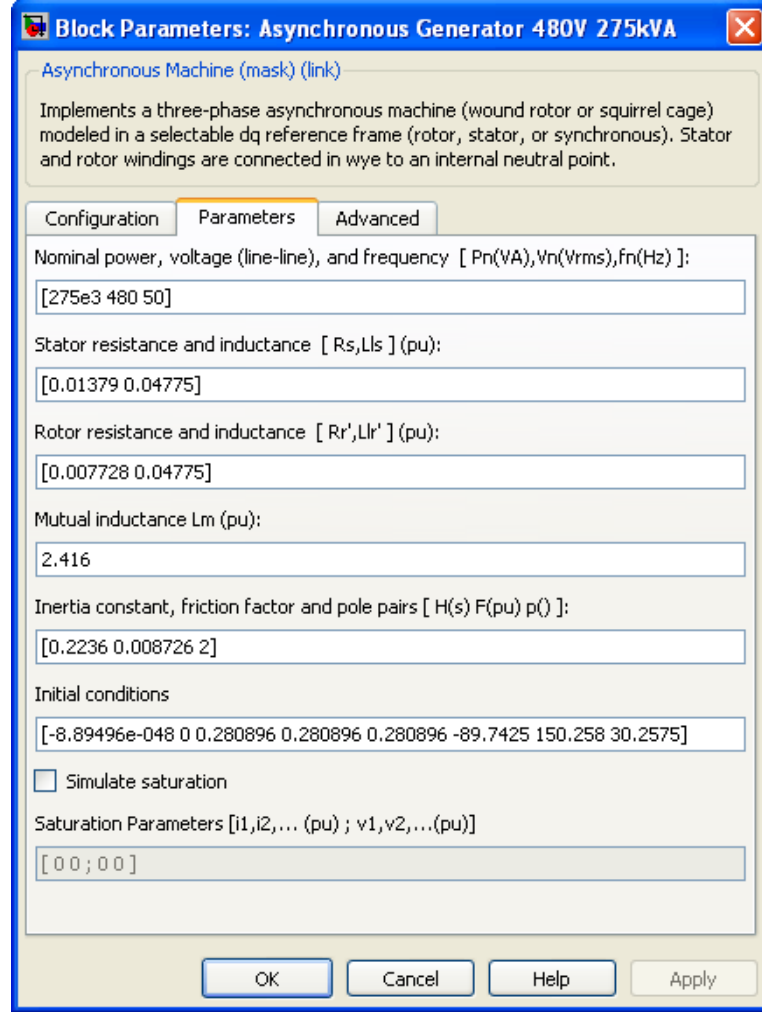


Şekil 6.47 : AJ Matlab-Simulink modeli konfigürasyon parametreleri

AJ modellemesinde kullanılan genel parametreler Şekil 6.48’de gösterildiği gibi uygulanmıştır. Nominal güç 275kW, faz-faz arası gerilim değeri 480V, frekans 50Hz değerlerinde seçilerek modelleme gerçekleştirilmiştir.

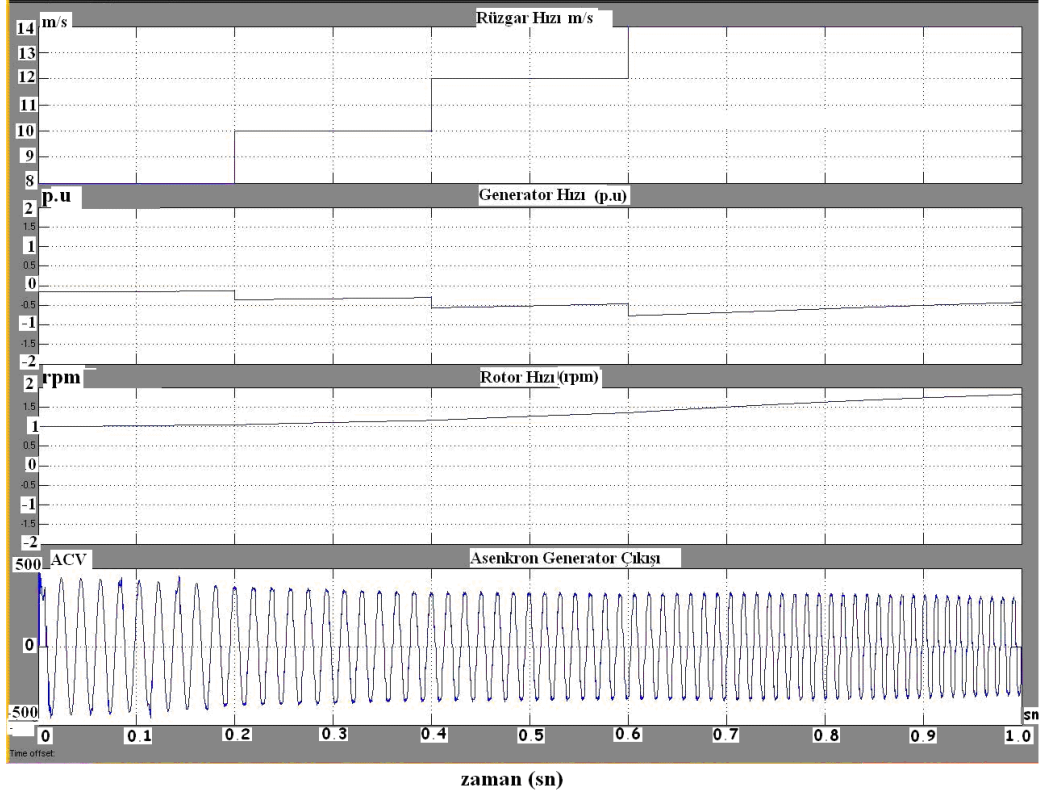
Stator rezistansı R_s : 0.01379 Ω , Stator indüktansı: 0.04775L, Rotor rezistansı : 0.007728 Ω , Rotor indüktansı: 0.04775H, Ortak indüktans : 2.416 (pu) değerleri seçili iken simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Atalet sabiti 0.2236J(kg/m²), Sürtünme faktörü :0.008726F(N.m.s), kutup çiftleri 2p olarak kullanılmıştır. Değerlerin seçiminde Matlab-Simulink uygulamalarından faydalanılmıştır.



Şekil 6.48 : AJ Matlab-Simulink modeli genel parametreler

Şebekeye bağlı RT Sistemi, değişken rüzgar hızı değerlerinde 1 sn süreyle gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında rüzgar hızı, jeneratör hızı, rotor hızı, AJ çıkış dalga şeklinin zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 6.49'da gösterildiği gibidir. Çıkış dalga şekilleri incelendiğinde jeneratör hızı (T_m girişi) negatif olduğu için AJ jeneratör modunda çalışmaktadır. Rüzgar hızı 0.2sn süresine kadar 8m/s, 02-04sn arası 10m/s, 0.4-0.6sn arası 12m/s, 0.6-1sn arasında 14 m/s değerlerinde değişim göstermektedir. AJ çıkışı ise sinüs dalgasına çok yakın biçimdedir.



Şekil 6.49 : Rüzgar hızı-jeneratör hızı-rotor hızı, AJ çıkışı dalga şekilleri

6.19 Asenkron Jeneratör Kapasitif Yük Kullanılması

AJ üretim yaparken ihtiyaç duydukları reaktif enerjiyi şebekeden çekerek gerilim düşümüne neden olmaktadır. Gerilim düşümünü engellemek amacıyla AJ çıkışına kapasitif yük bağlanması gerekmektedir. Uygulaması yapılan RT simülasyonunda AJ çıkışına bağlanan kapasitif yük yerleşim planının belirtildiği Şekil 6.41’de “5” no’lu kısımda gösterilmiştir.

Reaktif enerji bakımından rüzgâr santrallerinde enerji teslim noktasında istenecek güç faktörünün belirlenmesi gerekmektedir. Buradaki temel felsefe rüzgâr santrallerinin şebekeden çekeceği reaktif enerjinin, dolayısıyla bu konuda sisteme vereceği rahatsızlığın minimuma indirilmesini sağlayacak düzenlemelerin yapılmasıdır. Rüzgâr santrali projelerinin yoğunlaştığı bölgelerde, güç faktörünün mümkün olduğunca yüksek tutularak şebekenin rahatsız edilmemesi gerekmektedir. Bu nedenle bu santrallerinin güç faktörünün 0,99’dan az olmayacak şekilde kompanzasyon tesisleriyle birlikte yapılması gerekmektedir (Türkçü, 2005).

6.19.1 Asenkron jeneratör kapasitif yük hesabı

Asenkron jeneratörlerin elektrik enerjisi üretebilmesi için rotor devrinin senkron devrinden yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle $n_s = 300$ alınır (Gencer, 2008).

Asenkron jeneratörlerin enerji üretebilmesi için sargı uçlarına paralel bağlanan kondansatörlerle paralel rezonans devresinin oluşturulması gerekmektedir.

Jeneratörün endüktif reaktans değeri ile uçlarına eklenecek kondansatörün kapasitif reaktansının denklem 6.12’de gösterildiği gibi birbirine eşit olması gerekmektedir.

Kullanılan parametreler:

$$p = 6 \quad (\text{AJ devrinden kutup sayısı hesabı})$$

$L = 0.380\text{H}$ Jeneratör sargısının LCR metre ile ölçülmesi sonucu ölçülen değer (Gencer, 2008).

$$X_L = X_C \quad (6.12)$$

$$W_L = 1 / W_C$$

$$2.\pi.f.L = 1/2.\pi.f.C$$

$$(2.\pi.f)^2.L.C = 1$$

$$f = 1/2\pi$$

$$n = 60.f/p \text{ buradan } f = 30 \text{ Hz.}$$

AJ uçlarına eklenecek kapasite değeri denklem 6.13’den hesaplanır (Gencer, 2008).

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} \quad (6.13)$$

$$C = 81.2\mu\text{F}$$

$$Z = \frac{1}{2\pi f C} \quad (6.14)$$

$$Z = 41.05$$

Sistemde kullanılması gereken kapasitif yük değeri denklem 6.15’deki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$Q = \frac{V.V}{Z.1000} \text{ kVAR (Kapasitif Yük)} \quad (6.15)$$

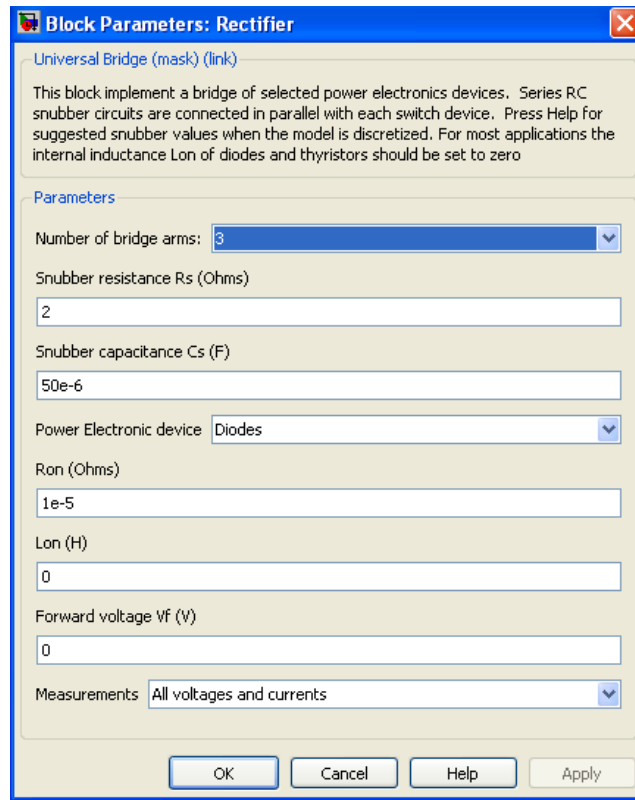
$$Q = 3.5\text{kVAR} \text{ yaklaşık olarak hesaplanmıştır.}$$

Gerçekleştirilen şebekeye bağlı RT sistemi simülasyonunda AJ'den sonra 4kVAR'lık kapasitif yük kullanılarak gerilim düşümü engellenmiştir.

6.20 AA/DA Konverter Matlab-Simulink Modeli

AA/DA konverter (doğrultucu) modeli, Şekil 6.41'de bulunan şebekeye bağlı RT sisteminin Matlab-Simulink ortamında simülasyon modelinin yerleşim planında "6" ile belirtilen kısımda AJ çıkışındaki alternatif gerilimi doğru gerilime çevirebilmek amacıyla kullanılmıştır.

Matlab-Simulink araç kutusunda bulunan AA/DA konverterin parametreleri Şekil 6.50'de görüldüğü gibi seçilmiştir. Snubber rezistansı 2Ω , snubber kapasitans $50\mu\text{F}$, dahili rezistans $10\mu\Omega$ olarak belirlenmiş, diyotlardan kurulu güç elektroniği devresi seçilmiştir.



Şekil 6.50 : AA/DA konverter parametreleri Matlab-Simulink modeli

6.21 AA/DA Konverter Çıkışı LC Filtre Kullanılması

LC Filtre modeli, Şekil 6.41'de bulunan şebekeye bağlı RT sisteminin Matlab-Simulink ortamında simülasyon modelinin yerleşim planında "7" ile belirtilen

kısımda, AA/DA konverter çıkışında bulunan DA işaretteki akım ve gerilim dalgalanmalarını engellemek amacıyla kullanılmıştır.

Doğrultmaç devresinin çıkışına paralel bağlanan kondansatör, çıkış sinyalini filtre ederek düzgünleştirir. Pozitif alternans maksimum yükseklikte iken kondansatör şarj olur. Alternans sıfıra inerken kondansatör üzerindeki yükü alıcıya verir. Dolayısıyla alıcı üzerinden geçen doğru akımın şekli daha düzgün olur. Filtre olarak kullanılan kondansatörün kapasite değeri büyük olursa çıkıştan alınan DA dalga daha düzgün olur.

Filtrede kullanılan bobinler, üzerinden geçen dalgalı akımların salınım yapmalarına engel olur. Bobinlere değişken özellikli gerilim uygulandığında sargıların etrafında bir manyetik alan oluşur. Bu alan kendisini oluşturan akıma karşı koyarak yükselen giriş akımını bastırır. Uygulanan akım kesilince bobin etrafındaki alanın aniden sıfır değerine doğru azalması nedeniyle bobinde bir gerilim (emk) oluşur. Bu emk şebekenin geriliminde yükselme etkisi yapar (Mohan, 1989).

Şekil 6.51’de şebekeye bağlı RT sistemi simülasyon çalışmasında elde edilen IGBT inverter giriş dalga şekli, IGBT inverter çıkış dalga şekli, yük üzerindeki gerilim dalga şekli ve modülasyon indeksi değişimi görülmektedir. AA/DA konverter çıkışı dalga şeklinin simülasyonun başlamasından yaklaşık 0.2 sonra 400Vdc genlik değerinde sabit olarak devam etmektedir. IGBT inverter çıkışındaki ve yük üzerindeki gerilim dalga şeklinin 400V genlik değerinde sinüsoidal forma çok yakın olduğu görülmektedir.

6.21.1 LC Filtrede Kondansatör Seçimi

Kondansatör kapasite denklemi 6.16’daki gibidir.

$$Q = C.V \quad (6.16)$$

$$\Delta V = 30 \text{ (Gerilim Salınımı)}$$

$$\Delta t = 0.1 \text{ sn (Kondansatör deşarj süresi kabul edilen değer)}$$

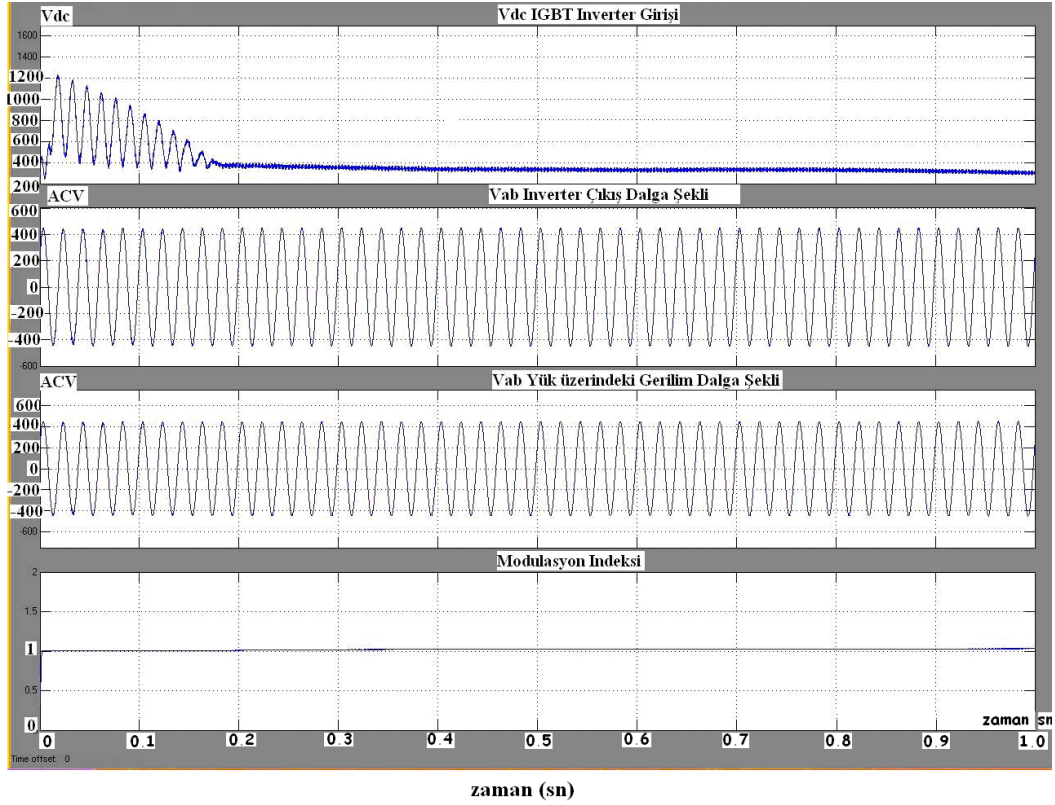
$$R_L = 1k\Omega \text{ (kabul edilen değer)}$$

$$V_{out} = 400V_{dc}$$

Parametre değerlerini denklem 6.17’de kullanarak kondansatör minimum değeri hesaplanır (Rashid, 1993).

$$I \text{ (boşalma akımı)} = C.\Delta V/\Delta t = V_{out}/R_L \quad (6.17)$$

$C_{min} = 1333\mu F$ olarak hesaplanmış olup simülasyonda $2000\mu F$ kondansatör kullanılmıştır.



Şekil 6.51 : Şebekeye bağlı RT sistemi Vdc-Vab-Vabyük- modülasyon indeksi dalga şekli

Şebekeye bağlı RT Sistemi modellemesi ile şebekeye bağlı FV sistem modellemesinde, IGBT inverter ve sonrasında aynı özellikte malzemeler kullanılarak simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle aynı malzemelerin tekrar detaylı bilgileri verilmemiştir.

6.22 RT Sistemi Ölçüm Sistemlerinin Matlab-Simulink Modeli

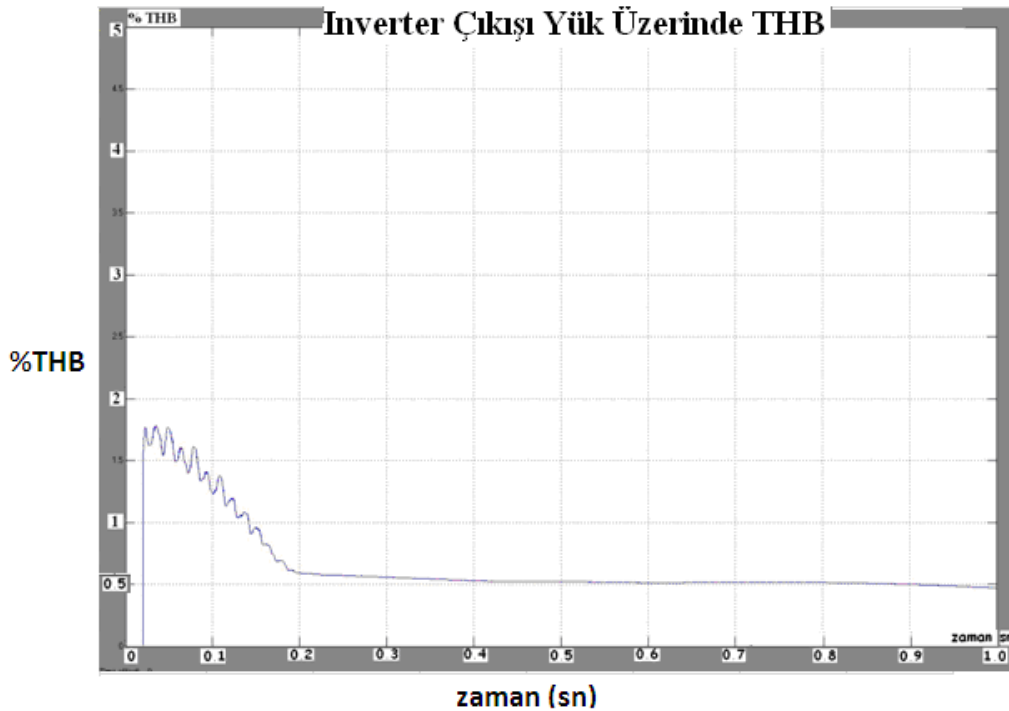
Ölçüm sistemleri şebekeye bağlı RT sistem modellemesinin akış şemasının belirtildiği Şekil 6.41'de "3" ve "18" ile belirtilen kısımlarda, RT sisteminin bilgisayar ortamında analiz edilebilmesi için kullanılmıştır. RT sistemi çıkışında, AJ çıkışında, IGBT inverter çıkışında ve 0.4/25kV trafo çıkışında gerilim, akım, harmonik, güç gibi ölçümler grafiksel olarak elde edilmiş ve tezin ilgili kısımlarında şekil olarak sunulmuştur.

6.23 RT Modellemesinde Matlab-Simulink ile Simülasyonun Çalıştırılması

Matlab-Simulink ile oluşturulan şebekeye bağlı RT sistemi modellemesi simülasyon çalışmasının işleyişi 6.16 başlığında anlatılmıştı. Matlab-Simulink'te oluşturulan şebeke bağlantılı RT sistemi simülasyon çalışması da şebeke bağlantılı FV sistem simülasyonu çalışması ile aynı şekilde yani 6.14 başlığında anlatıldığı gibidir.

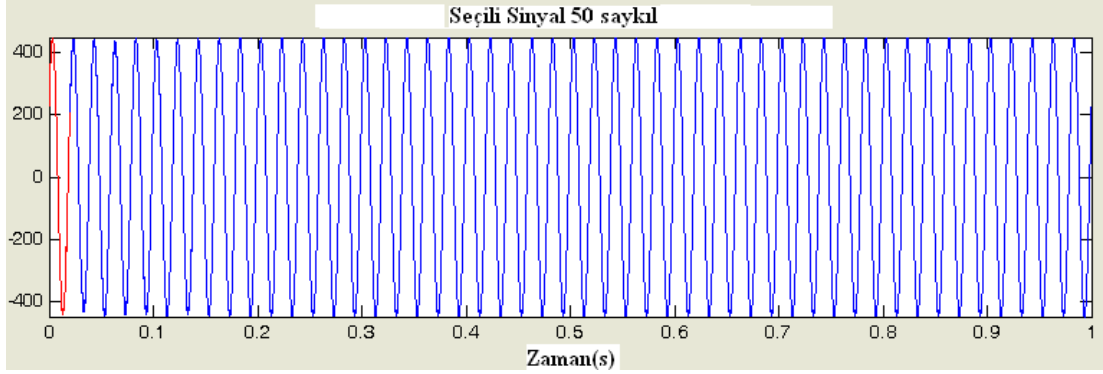
6.24 RT Modellemede Matlab-Simulink ile Harmonik Ölçümleri

Şebeke bağlantılı RT sistemi modellemesinde simülasyon çalıştırılıp, çalışma sonucunda yük üzerindeki ve 0.4/25kV trafo çıkışı üzerindeki harmonik ölçümleri "Scope" olarak ölçüm noktalarından ve "Power Gui-FFT analizden gerçekleştirilmiştir. Yük üzerinde yapılan harmonik ölçümler sonucunda elde edilen grafikler Şekil 6.52'de gösterilmiştir. Şekil 6.52'ye göre simülasyon süresi olan 1sn süresince THB değişimi takip edilmiştir. THB değişimi 0.2sn süresine kadar dalgalanma gösterirken maksimum %2 civarında bir değere ulaşmaktadır. Gözlemlenen dalgalanma aynı zaman diliminde IGBT inverter girişindeki DA işaretinde de görülmektedir. 0.2sn süresinden simülasyonun tamamlandığı zaman olan 1 sn süresine kadar THB değişimi kararlılık göstererek %0.5 değeri civarında eğri elde edilmektedir.



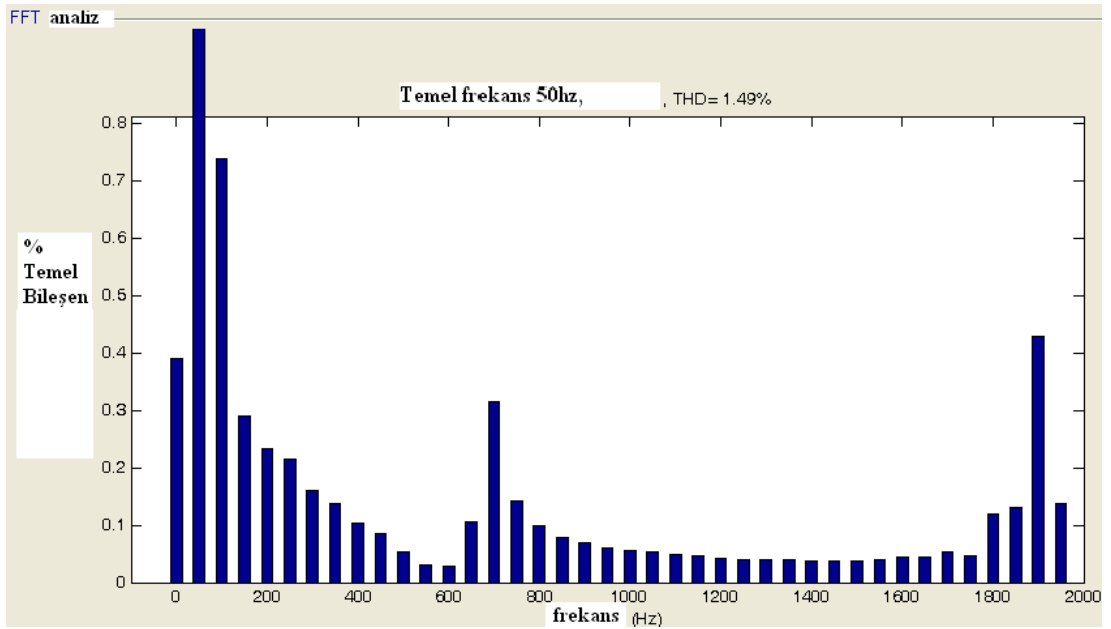
Şekil 6.52 : RT sistemi yük üzerindeki ölçüm noktasından elde edilen THB grafiği

Power Gui-FFT analizden elde edilen yük üzerindeki gerilim dalga şekli Şekil 6.53'de görülmektedir. Şekil 6.53'de elde edilen gerilim dalga şekline göre yük üzerinde sinüs dalga şekline çok yakın, 400V genlikte AA karakteristikli işaret elde edilmektedir.



Şekil 6.53 : RT modelleme yük üzerinde FFT analiz gerilim dalga şekli

FFT analizden elde edilen yük üzerindeki harmonik bileşenler Şekil 6.54'de gösterilmiştir. Şekil 6.54'de görüldüğü gibi 39. harmonik (1950Hz) değere kadar harmonik bileşenlerin ölçümleri yapılarak sütun diyagram şeklinde grafikler elde edilmiştir.

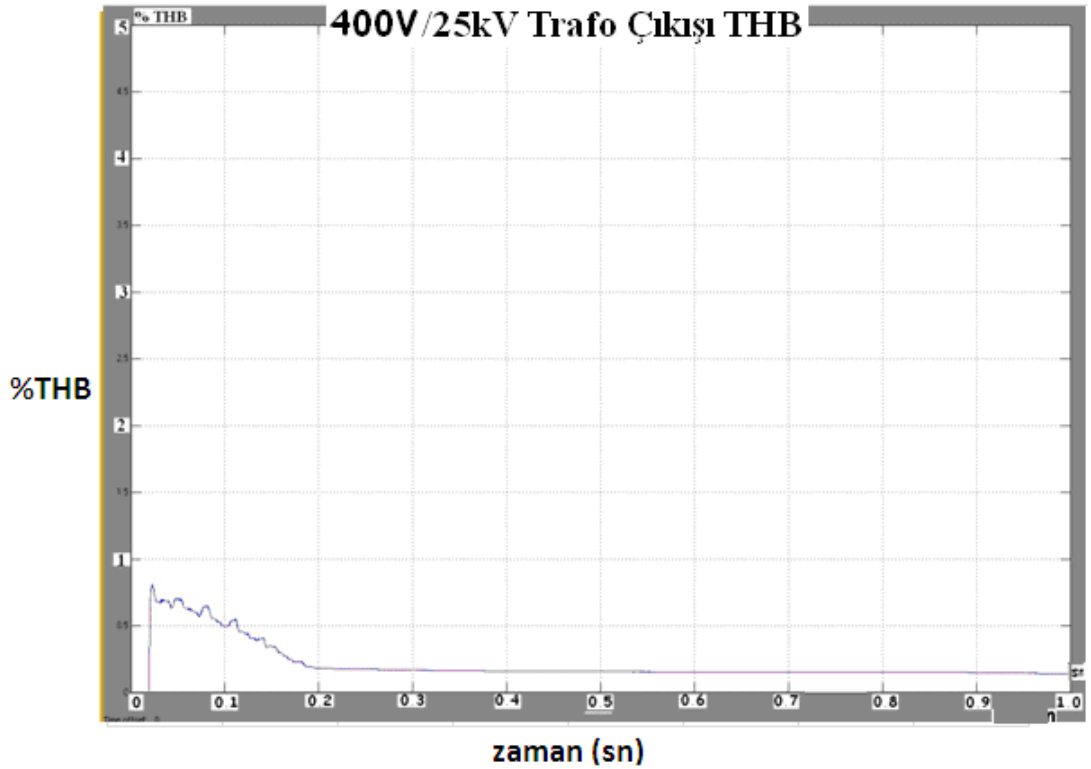


Şekil 6.54 : RT sistemi yük üzerinde power gui FFT analiz ölçümü THB değişimi

Şekil 6.54'e göre DA bileşen değeri %0.39, DA bileşenden sonraki ilk değer olan temel bileşen (50Hz) değeri %100'dür. Grafiklerdeki harmonik bileşenlerin frekansla

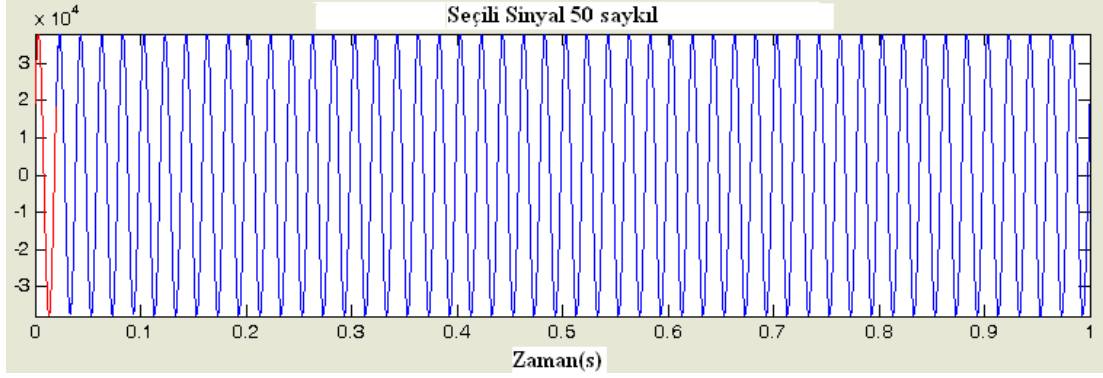
değişimi 2. harmonik bileşenden başlanarak incelenecek olursa; en yüksek 2. harmonik bileşen %0.74 değerinden sonra harmonik bileşenler frekansla düşmekte olup, 14. harmonik bileşende (700Hz) ve 38. harmonik bileşende (1900Hz) nedeni bilinmeyen yükselme gerçekleşmiştir. THB değeri FFT analiz ile %1.49 olarak hesaplanmıştır.

0.4/25kV trafo çıkışı üzerindeki ölçüm noktasında yapılan harmonik ölçümler sonucunda elde edilen grafik Şekil 6.55'de gösterilmiştir. Şekil 6.55'e göre simülasyon süresi olan 1 sn süresi boyunca THB değişimi takip edilmiştir. THB değişimi 0.2sn süresine kadar dalgalanma göstermektedir. Gözlemlenen dalgalanma aynı zaman diliminde yük üzerindeki THB ölçümünde de görülmektedir. 0.2sn süresinden simülasyonun tamamlandığı zaman olan 1 sn süresine kadar THB değişimi kararlılık göstererek %0.25 değeri civarında eğri elde edilmektedir.



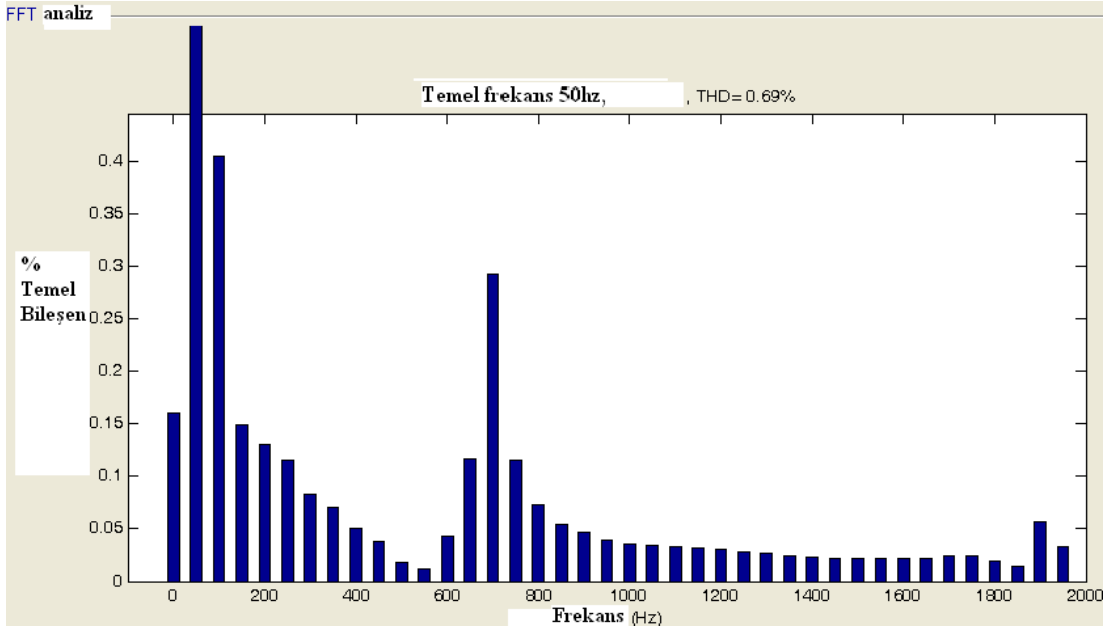
Şekil 6.55 : 04/25kV trafo çıkışı ölçüm noktasından elde edilen THB grafiği

Power Gui-FFT analizden 0.4/25kV trafo çıkışındaki elde edilen gerilim dalga şekli Şekil 6.56'da görülmektedir. Şekil 6.56'ya göre 0.4/25kV trafo çıkışında sinüs dalgasına çok yakın, sabit genlikte devam eden AA karakteristikli eğri elde edilmiştir.



Şekil 6.56 : RT sistemi 0.4/25kV çıkışı FFT analizi gerilim dalga şekli

FFT analizden elde edilen 04/25kV trafo çıkışındaki harmonik bileşenler Şekil 6.57’de gösterilmiştir. Şekil 6.57’de görüldüğü gibi 39. harmonik (1950Hz) frekansa kadar THB ölçümleri yapılarak sütun diyagram şeklinde grafikler elde edilmiştir. DA bileşen değeri %0.19, temel bileşen (50Hz) değeri %100’dür. Grafiklerdeki harmonik bileşenler 2. harmonik bileşenden itibaren incelendiğinde; en yüksek 2. harmonik bileşen olan %0.40 değerinden sonra harmonik bileşenlerin değeri frekansla düşmekte olup, 14. harmonik bileşende (700Hz) %0.29 değeriyle nedeni bilinmeyen ani yükseliş gerçekleşmiştir. THB değeri FFT analiz ile %0.69 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.57 : RT 0.4/25kV trafo çıkışında power gui FFT analizi THB değişimi

Power GUI FFT Analizinde maksimum frekans 2000 Hz seçilerek temel frekans 50Hz’in 40 katına kadar harmonik değişimleri, IGBT inverter çıkışından sonraki yük

üzerinde ve 400V/25kV trafo çıkışında ölçülmüştür. Şekil 6.54 ve 6.57'de görülen grafikler ve hesaplamalara göre THB yük üzerinde % 1.49, 400V/25kV trafo çıkışında ise % 0.69 olarak FFT analiz ile hesaplanmıştır. Ölçüm noktalarından Scope olarak yapılan ölçümlerde ise harmonik bileşen değerleri %0.3-1 arasında değişmektedir.

Matlab-Simulink ortamında gerçekleştirilen harmonik ölçüm sonuçlarına göre harmonik bozulmaların seviyelerinin, kabul gören en genel şart olan %5 harmonik bozulma sınırını aşmaktan uzak olduğu görülmüştür.

IGBT inverter filtre çıkışındaki gerilim dalga şeklinde yapılan incelemelerde yük üzerindeki gerilim dalga şeklinin 380V genlik değerinde sabit kaldığı görülmüştür

Matlab-Simulink kütüphanesinde THB Discrete Simulink modeli olmasından dolayı ve FFT analiz ile temel frekansın katlarında ölçüm imkânı olmasından dolayı şebeke bağlantılı RT sistem modellemesinde harmonik bileşenleri ölçerek yorumlama imkânı bulunmuştur. Ölçülebilen büyüklükleri değerlendirme prensibinden hareketle güç kalitesini belirleyen diğer kalite faktörlerine ilişkin yorumlama getirilmemiş, sadece gerilim dalga şekilleri sunulmuştur.

7 SONUÇ VE ÖNERİLER

Fotovoltaik ve Rüzgâr türbini hibrit enerji sistemlerinin şebekeye entegrasyonunda; şebekenin bağlantı noktasının kısa devre gücü, şebekenin rezistif ve endüktif hat karakteristikleri, mevcut koruma elemanlarının kısa devre akım kapasiteleri önemlidir. Yenilenebilir enerji santrallerinin şebekeye bağlantısında; aktif ve reaktif enerji üretimlerinden dolayı şebeke de istenmeyen gerilim değişimlerinin önlenmesi, harmonik gibi güç kalite faktörlerinin sınırlar içinde olması, anahtarlama ve anlık devreye girme olaylarında şebeke kararlılığının sağlanması gerekmektedir.

Tez çalışmasında şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerle ilgili olarak Matlab-Simulink ortamında fotovoltaik modül modellemesi gerçekleştirilmiş, akım-gerilim, güç-zaman grafikleri teoriye uygun olarak ölçülmüştür. 15'er adet seri ve paralel modül bir araya gelerek FV sistem oluşturulmuş, yükselten tip boost konverter, IGBT inverter, filtre, yük, trafo, Pi tipi hat, gerilim kaynağı üzerinden şebeke bağlantısı gerçekleştirilmiştir. FV modül ve yükselten tip boost konverter dışındaki cihaz modelleri, Matlab-Simulink araç kutusunda paket olarak mevcut modellerin parametrelerinin sisteme uygun hale getirilmesiyle elde edilmiştir. Yükselten tip boost konverter ise güç elektroniği kaynakları referans alınarak, Matlab-Simulink araç kutusunda bulunan kondansatör, bobin, pulse jeneratör, anahtarlama transistör gibi elemanlardan oluşturulmuştur.

FV Model Matlab-Simulink araç kutusunda mevcut değildir. Sistemi oluşturan tüm cihazlar Matlab-Simulink "Sim Power Systems'te" bulunduğu için "Sim Electronics'te" bulunan fotovoltaik hücre modeli ile bağlantı sağlanamamıştır. Simülasyonda ilk başta kullanılması planlanan Colorado Üniversitesi tarafından modellenen FV modül, çıkışında teoriye uygun grafikler elde edilebilmesine rağmen, şebekeye ve güç elektroniği cihazlarına bağlantısı gerçekleştirilememiştir. Villalva ve arkadaşları tarafından serbest olarak kullanıma sunulan FV modül modellemesi kullanılmış, sistemin diğer kısımları ile bağlantısı gerçekleştirilebilmiştir. Sistemin güç ayarı yapılabilmüş, değişik ışınım ve sıcaklık değerlerinde FV modül ölçümleri

gerçekleştirilmiş, değişimlerin teoriye uygun elde edildiği tespit edilmiştir. Bu şekilde şebeke bağlantılı FV sistem modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Matlab-Simulink imkânlarıyla modelleme tamamlanmış, modelleme üzerinde akım, gerilim, güç, harmonik değişimleri ölçülmüş, grafiksel olarak şekiller elde edilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre gerilim eğrileri teorik bilgileri desteklemekteyken, harmonik ölçümleri standartlarda belirtilen sınırlar içerisinde ölçülmüştür.

Şebeke bağlantılı FV sistem modellemesi çalışmalarıyla ilgili olarak; birden fazla FV sistem modellemesi aynı anda aynı şebekeye bağlanarak bu çalışmada gerçekleştirilen ölçümler geliştirilmelidir. FV sistemin şebeke bağlantısında YEK yönetmeliğinde taslak olarak belirtilen (Aralık, 2010 düzenlemesi) kurulu gücün %30'u geçmemesi sınırlaması ile ilgili olarak, yine birden fazla FV sistem modelinin değişik güç kapasite değerlerinde ölçümleri yapılarak şebekeye etkileri incelenmelidir. Aynı konu ile ilgili olarak Matlab-Simulink modellemesine ilaveten gerçek cihazlar ile gerçek şebeke bağlantı FV sistem oluşturulmalıdır. Ölçümler tüm güç kalitesi terimleri için gerçekleştirilmeli, şebekede problemler oluşturularak sistemin performansı takip edilmelidir.

Şebeke bağlantılı RT sistemi ile ilgili yapılan çalışmada RT, AJ, AA/DA konverter, DA/AA IGBT inverter, yük, trafo, Pi tipi hat, gerilim kaynağı gibi cihazların Matlab-Simulink kütüphanesinde bulunan modellerinin parametrelerinin düzenlenmesiyle sağlanmıştır. Matlab-Simulink kütüphanesinde IJRT, ÇBAJ'lü RT sistemlerinin şebekeye bağlantı örnekleri mevcut olmasına rağmen, aralıklı ölçüm yapılamaması nedeniyle harmonik ölçümler gerçekleştirilemediği için farklı bir metotla RT sistemi oluşturulmuştur. Altaş'ın 2008 yılı makalesinde kullandığı metoda benzer bir metot kullanılarak Matlab-Simulink araç kutusunda bulunan RT ve AJ modüllerinin uygun bağlantıları sağlanarak ve parametreleri oluşturularak RT sistemi oluşturulmuştur. Matlab-Simulink ortamında gerçekleştirilmiş şebeke bağlantılı RT sisteminde akım, gerilim, güç, harmonik gibi ölçümler değişik rüzgâr hızlarında gerçekleştirilmiş, rüzgâr hızı değişimlerine RT modelinin teoriye uygun tepki verdiği ölçülmüştür. Rüzgâr hızının 25m/s üzerinde olduğu değerlerde rüzgâr türbinini devreden çıkaran alt program ile rüzgâr hızı girişinin RT modeline girişi sağlanmıştır. Ölçümler sonucunda gerilim dalga şekillerinin teoriye uygun, harmonik ölçümlerinin standartlarda verilen sınırlarda olduğu gözlemlenmiştir.

Şebeke bağlantılı RT sistem modellemesi ve gelecekte yapılması gereken çalışmalar ile ilgili olarak; birden fazla RT sistem modellemesi aynı anda aynı şebekeye bağlanarak bu çalışmada gerçekleştirilen ölçümler geliştirilmelidir. RT sistemin şebeke bağlantısında yönetmelikte belirtilen kurulu gücün, şebeke kısa devre akımının %5'ini geçmemesi sınırlaması ile ilgili olarak, yine birden fazla RT sistem modelinin değişik güç kapasite değerlerinde ve sınır değerlerinde ölçümleri yapılarak şebekeye etkileri incelenmelidir.

FV ve RT enerji üretim sistemlerinin şebekeye entegrasyonunda veya mevcut ev tipi yükleri beslemesinde enerji kalitesi değerlerinin standartlarda izin verilen aralıkta olması çok önemlidir. Güç kalitesi değerlerinin standartlar dâhilinde olmasında FV ve RT ekipmanlarının önemli olduğu kadar, sistemde kullanılan özellikle DA/AA inverter, AA/DA konverter, filtreler, DA/DA konverter gibi güç elektroniği ekipmanlarının kalitelerinin de son derece önemi vardır.

Simülasyon çalışmaları, farklı özellikte güç elektroniği ekipmanları ve farklı tip yüklerle gerçekleştirildiğinde daha farklı sonuçlar elde edilmesi ihtimal dâhilindedir.

Şebekeye entegre edilebilen FV Sistemlerin maliyetinin ve yapılan yatırımın amorti süresinin de akülü sistemlere göre düşük olmasından hareketle, gerçekleştirilecek kanuni düzenlemeyle birlikte ülkemizde şebekeye bağlı FV sistem toplam kurulu gücünün artması beklenmektedir. FV kurulu gücünün artmasının istihdama yönelik olarak da pozitif etkileri olabileceği belirtilebilir.

Şebekeye bağlı FV sistemleri oluştururken; enerji kaynağı olarak güneş ışınımından yararlanılması nedeniyle dışa bağımlılık söz konusu değildir, fakat FV sistemi bütün olarak inceleyince FV panel ve şebeke etkileşimli inverter gibi sistemi meydana getiren en önemli unsurların üretiminde dışa bağımlılığın azaltılması son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

- Ackermann,T.**, 2009, “ Güç Sistemlerinde Rüzgâr”, EMO Yayın, No: GY/2009/4
- Apaydın M., Üstün A.K., Kurbam M., Filik Ü.**,2009, “ Rüzgar Enerjisinde Kullanılan Asenkron Jeneratörler”, RÜGES 2009,
- Adak, S.**, 2008,”Elektrik Tesislerindeki Kirlilik, Harmonikler ‘’, Elektrik Kaynak Dergisi, Sayı 162,
- Akdeniz, E.**,2006,“Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin şebekenin enerji kalitesi ve kararlılığına etkilerinin incelenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Altaş İ.H.**, 1999, “Fotovoltaj Güneş Pilleri Uygulama Örnekleri”, Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, Mayıs 1999, Sayı 60, Sayfalar:26-29, Bileşim yayıncılık A.Ş., İstanbul
- Altaş İ.H.**, Mengi O.Ö., 2008, “Rüzgar Enerji Sistemlerinde Harmoniklerin Azaltılması”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’2008
- Bayındır, R., Demirbaş, Ş., Bektaş, A., Çolak., İ.**, 2008, “Bir Endüstriyel İşletmede Elektrik Enerjisinin İzlenmesi”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 24 (1-2) 154 – 164.
- Bhatia, C. M., Banga, S., Khurana, M., Malhotra, S., Juneja, B., Bhardwaj, H. and Kapahi, M.**, 2006, “Stand-alone SCADA based renewable energy power station suitable for rural application”, IETE technical review, ISSN 0256-4602, vol. 23, n5, pp. 321-327.
- Bilge M.**, 2008, “Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Pasif Filtrelerle Eliminasyonu”, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi
- Carolina V., Julio U.**,2003,“A Frequency Domain Approach to Wind Türbines for Flicker Analysis” Energy Conversion,IEEETransaction on Volume 18, Issue 2, June 2003 Page(s):335 – 34
- Cem İ. Ö.**, 2006,” Endüstriyel tesislerde harmonik sorunları ve çözümleri”, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Çelebi A.**, 2009, “Şebekeye Bağlı Fotovoltaik sistemlerde oluşan harmoniklerin şebekeye etkileri”, EMO yayınları,
- Çetin Ç.**, 2008, “Dağıtım sistemlerinde enerji kalitesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

- Çetin E., Hekim M., Yılançı A.,Ozturk H.K., İplikçi S., Kaşıkçı İ.,** 2009, “Yenilenebilir Enerji Tesisleri İçin Örnek Bir Otomasyon Sistemi Tasarlanması Ve Uygulanması”, V.Otomasyon Sempozyumu Bildirileri, İzmir
- Çetin, E.,** 2010, “Fotovoltaik-Rüzgâr-Yakıt Pili Hibrit Güç Sistemi İçin Bir Mikro Doğru Akım Dağıtım Şebekesi Tasarlanması, Uygulanması Ve Analizi”, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi,
- Çetin, E., Sazak, B. S.,** 2004, “Fotovoltaik Enerji Dönüşüm Sistemlerinde Kullanılabilecek Bir Seri Rezonans İnverter Devresinin İncelenmesi” Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt No:10, Sayı 3.
- Dursun, E., Binark, A.K.,** 2008, “ Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Jeneratörler”, UTES 2008
- E. Muljadi , T. B. Nguyen,** 2008, “Impact of Wind Power Plants on Voltage and Transient Stability of Power Systems”, IEEE Energy2030
- Fukuoka, N., Nakashima, E., Miyamoto, Y. and Sugihara, H.,** 2006, “The Simulated Equipment of Distribution Line for The Research on Clustered FV Systems”, 1-4244-0016-3/06/\$20.00 ©2006 IEEE.
- Gencer Ç., Sevim, D.,** 2008, “İstanbul boğazı alt akıntısından yararlanarak bir hidroelektrik santral ile elektrik üretilebilirliği”, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları
- Gül M.,** 2010,”Enerji Kalitesi Nedir”, ST. Elektrik-Enerji Dergisi / Mayıs 2010
- Hassaine, L., Olias, E., Quintero J. and Haddadi, M.,** 2009, “Digital Power Factor Control and Reactive Power Regulation for Grid-Connected Photovoltaic Inverter, Renewable Energy”, 34, pp. 315-321
- Hung Chen,** 2008, “Dynamic modeling and simulation of renewable energy based hybrid power systems” DRPT2008 6-9 April 2008 Nanjing China
- Kaşıkçı İ.,** 2008, “ Elektrik Tesisleri Temel El Kitabı “ Sayfa: 23-25 171,
- Kitamura, A., Yamamoto, F., Matsuda, H., Akhmad, K. and Hamakawa, Y.,** 1996, “Test Results on DC Injection Phenomenon of Grid Connected FV System at Rokko Test Center”, 25th FVSC; May 13-17, Washington D.C.
- Kocatepe C.,**2006,”Elektrik Tesislerinde Harmonikler”, Birsen Yayınevi, ISBN 975-511-354-1,
- Macken K. J. P., Green T. C, Belmans R. J. M.,** 2002, “Active filtering and load balancing with small wind energy systems”, IEEE International Conference on Harmonics and Quality of Power, Vols I and II, pp, 776-781.
- Mario C., A.De Rosa, V. Ferraro,D. Kaliakatsos, V. Marinelli,** 2005, “Performance analysis of a 3 kW grid-connected photovoltaic plant”,

Renewable Energy 31 (2006) 1129–1138

- Mengi, O., ve Altaş İ.H.**, “Fotovoltaik Güneş Panellerinden Beslenen Yükler Üzerindeki Gerilim Genliğinin Denetimi”, EMO Yayınları
- Mutlu, O. S., Akpınar, E., Balıkcı, A.**, 2008, “Power quality analysis of wind farm connected to Alaçatı substation in Turkey”, Renewable Energy 34 (2009) 1312–1318.
- Mohan, Undeland, Robbins, 1989**, “ Güç Elektroniği, çeviriciler, uygulamalar ve tasarım ”
- Mutlu, Ö.S., Akpınar, E., Balıkcı, A.**, 2008,“Power quality analysis of wind farm connected to Alaçatı substation in Turkey”, Renewable Energy 34 (2009) 1312–1318
- Özaktürk, M.**, 2007,“Rüzgâr enerjisinin güç kalitesi açısından incelenmesi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Pamuk, M.**, 2011, “Sakarya ili elektrik iletim şebekesinin Matlab-Simulink programı kullanılarak modellenmesi ve analiz edilmesi”,Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü dergisi, Cilt :27, Sayı :1
- Perinçek O.**,(2003), “Fotovoltaik Güç Sistemleri Elektrik Şebekesine Bağlandığında Oluşan Anomaliler”, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi
- Rashid, M.**, (1993), “Power Electronics, Prentice Hall Inc.”, 2nd ed., New Jersey, USA
- Renders B., Koen De G., Ryckarert WR**, 2009.,“Konverter-connected distributed generation units with integrated harmonic voltage damping and harmonic current compensation function”, Electric Power Systems Research Volume: 79 Issue: 1 Pages: 65-70 Published: JAN 2009
- Sefa İ., Altın N., 2006,**” Kesintisiz Güç Kaynakları İçin 18 Darbeli Bir Doğrultucu”, Politeknik Dergisi, Cilt :9 Sayı :3 S:147-152
- Sevinç S.**,2004, “Daily wind speed harmonic analysis for Marmara region in Turkey”, Energy Conversion and Management 46 (2005) 1267–1277
- Shinji, T., Sekine, T., Akisawa, A., Kashiwagi, T., Fujita, G. and Matsubara, M.**, 2008, “Reduction of Power Fluctuation by Distributed Generation in Micro Grid, Electrical Engineering in Japan”, Vol. 163, No. 2, pp. 22-29.
- Sirdas, S.**, 2004, “Daily wind speed harmonic analysis for Marmara region in Turkey”, Energy Conversion and Management Volume: 46 Issue: 7-8 Pages: 1267-1277
- Şener A.**, (2003), “Alçak gerilim güç sistemlerinde enerji kalitesinin belirlenmesi”, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

- Tarek A., Mutsuo N., Toshihiko T., Nishida K.**, 2005, “Advanced active power filter for renewable energy applications of stand-alone induction jeneratör”, IECON 2005: 31st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, vols 1-3, pp. 756-761.
- Tozlu, C.**, (2004), “Muğla Üniversitesinde Kurulu Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Performans Analizi”, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Türkçü, S.**, (2005), “Türkiye’nin Rüzgâr Enerjisi Politikaları ve Enterkonnekte sistemlere Entegrasyonu”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Ulu,E.**, 2010 “ Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Ekserji Analizi”, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Uzunoğlu M.**, Elektrik Kaynak Dergisi, Sayı 145, , “Elektrik Güç Sistemlerinde Harmonik Büyüklüklere Ait tanımlar ve Kavramlar”
- Villalva M.G., Gazoli, J.R., and Filho,E.**,(2009), “Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays” Ieee Transactions On Power Electronics, Vol. 24, NO. 5, MAY 2009
- Villalva, M. G., Gazoli, J. R., Ruppert F. E.**, (2009), “Modeling And Circuit-Based Simulation Of Photovoltaic Arrays”, Brazillian Journal of Power Electronics, vol 14, no 14,pp 35-45, ISSN 1414-8862
- Wang, L. and Liu, K. H.**, 2007, “Implementation of a Web-Based Real-Time monitoring and control system for a hybrid wind-FV-battery renewable energy system”, Intelligent Systems for Electrical Engineering and Communications, Volume: 15, Issue: 2, 99-105.
- Yılcı, A.**, 2008, “Güneş-Hidrojenli Bir Sistemin Kurulması ve Performansının Analizi”, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Zainal S.**, 2003, “Design And Development Of A Stand-Alone Multi-Level Inverter For Photovoltaic (FV)Application”, Universiti Teknologi Malaysia, Doktora Tezi

- Url-1 www.akmtele.com
- Url-2 <http://www.mathworks.com>
- Url-3 <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunespv.html>
- Url-4, <http://sites.google.com/site/mvillalva/pvmodel>
- Url-5 (<http://www.sma.de/en.html>)
- Url-6 http://ecee.colorado.edu/~ecen2060/materials/simulink/PV/PV_module_model.pdf
- Url-7 <http://www.bilesim.com.tr/dergi.php?git=yazi&id=6626>
- Url-8 <http://www.nuveforum.net/700-mimarlik-bolumu/193755-ruzgar-enerjisinde-kullanilan-assenkron-jeneratorler/>
- Url-9 <http://www.resmi-gazete.org/tarih/20080924-15.htm>
- Url-10 <http://www.solar-bazaar.com/gunes.asp?id=116>
- Url-11 <http://www.unienerji.com/?p=2650>
- Url-12 <http://www.aymoli.com/enerji-kaynaklari-ve-yenilenebilir-enerjiler-nelerdir/>
- Url-13 <http://www.kamuenerji.com/Anasayfa/yenilenebilir-enerji.html>
- Url-14 http://electronics.ege.edu.tr/boztepe/download/gee591_lecture2.pdf
- Url-15 <http://www.guneshaber.net/haber/59-teknik-bilgiler-gunes-pilleri-fotovoltaik.html>
- Url-16 <http://320volt.com/gunes-pilleri-ve-teknolojik-uygulamalari/>
- Url-17 <http://gunesenerjisi.uzerine.com/index.jsp?objid=702>
- Url-18 <http://www.powerstandards.com/tutor.htm>
- Url-19 <http://energy.yolu.tk/index/sayfa/ruzgar-ve-gunes-enerjileri-calisma-mekanizmalari>
- Url-20 <http://forum.elektrikport.com/showthread.php?p=2332>
- Url-21 <http://www.yildiz.edu.tr/~tanriov/RG7.pdf>
- Url-22 <http://www.kontrolkalemi.com/forum/guc-kalitesi-enerji-verimliliği-harmonikler/235-elektrik-guc-sisteminin-kalitesini-bozan-faktorler.html>
- Url-23 http://synergyholdings.net/esolutions/Wind_Power.htm
- Url-24 <http://320volt.com/guc-elektronigi-hesaplamalar-formuller/>

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Mahmut HEKİM
Doğum Yeri ve Tarihi : Ereğli-KONYA 1974
Adres : Adalet Mah. Vatan Cad. 10080 Sok Eren apt. D:20
DENİZLİ
Lisans Üniversite : Erciyes Üniversitesi Elektronik Mühendisliği

Yayın Listesi:

Ulusal Dergi yayınları

Çetin, E., **Hekim, M.**, Yılandı, A., Öztürk, H. K., İplikçi, S., Çolak, M. ve Kaşıkçı, İ., 2009, Yenilenebilir Enerji Tesisleri İçin Örnek Bir Otomasyon Sistemi Tasarlanması ve Uygulanması, EMO İzmir Şube Bülteni, Eylül 2009, s. 30-33.

Şanlı, G., Öztürk, H. K., Yılandı, A., Çetin, E., Ulu, E. Y., **Hekim, M.** ve Kıvrak, S., Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörlerinin Performans Analizi, Endüstri&Otomasyon Dergisi, Sayı: 155, Şubat 2010, s. 18-24.

Ulusal ve Uluslararası Konferans Yayınları

Çetin, E., **Hekim, M.**, Yılandı, A., Öztürk, H. K., İplikçi, S., Çolak, M. ve Kaşıkçı, İ., 2009, Yenilenebilir Enerji Tesisleri İçin Örnek Bir Otomasyon Sistemi Tasarlanması ve Uygulanması, 5. Otomasyon Sempozyumu, İzmir Fuar Alanı, 7-10 Mayıs.

Cetin, E., **Hekim, M.**, Yilanci, A., Ozturk, H. K., Colak, M. and Kasikci, I., 2009, PLC-Based Measurement of Electrical Datas in Photovoltaic Energy Systems, International Conference on Applied Electronics, September 9-10, Pilsen-Czech Republic.

Ulu, E. Y., Öztürk, H. K., Yılandı, A., Çetin, E., **Hekim, M.**, Şanlı, G., 2009, Temiz Enerji Kaynakları Uygulamaları PAÜ Temiz Enerji Evi Örneği, Ege Bölgesi Enerji Forumu, Bildiriler CD'si, EMO yayın no:2009/1, 12-13 Ekim, Denizli.

Cetin, E., Yilanci, A., Ozturk, H. K., **Hekim, M.**, Kasikci, I., Colak, M., Icli, S., 2010, Investigation of DC and AA power distribution systems for renewable energy applications, 5th International Ege Energy Symposium & Exhibition, June 27-30, Denizli-TR

Ulu, E. Y., Ozturk, H. K., Yilanci, A., Olgun, H., Cetin, E., **Hekim, M.**, 2010, Energy Efficiency Comparison of Fixed and Movable PV-Arrays for the Climatic Condition of Denizli, 5th International Ege Energy Symposium & Exhibition, June 27-30, Denizli-TR.

Engin Cetin, Ahmet Yilanci, Harun Kemal Ozturk, **Mahmut Hekim**, Ismail Kasikci, Metin Colak, Siddik Icli, Simulation and Application of a DC Energy Distribution System for Hybrid Renewable Energy Systems, 7th Biennial International Workshop in Advances in Energy Studies, October 19-21, Barcelona, Spain