

**FOTOVOLTAİK BESLEMELİ ARALIKLI TİP – 2 BULANIK
MANTIK DENETLEYİCİLİ İKİ KADEMELİ DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

MERAL ÖZARSLAN YATAK

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2012

ANKARA

Meral ÖZARSLAN YATAK tarafından hazırlanan FOTOVOLTAİK BESLEMELİ ARALIKLI TİP – 2 BULANIK MANTIK DENETLEYİCİLİ İKİ KADEMELİ DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


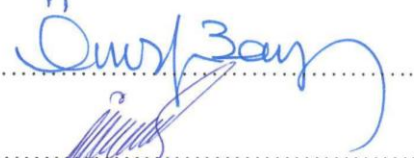



11

Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İnan GÜLER.....
Üye : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY.....
Üye : Prof. Dr. İlhami ÇOLAK.....
Üye : Doç. Dr. İbrahim SEFA.....
Üye : Yrd. Doç. Dr. Fecir DURAN.....
Tarih : 19 / 01 / 2012

Bu tez, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

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

Meral ÖZARSLAN YATAK

**FOTOVOLTAİK BESLEMELİ ARALIKLI TİP – 2 BULANIK MANTIK
DENETLEYİCİLİ İKİ KADEMELİ DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
(Doktora Tezi)**

Meral ÖZARSLAN YATAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

Ocak 2012

ÖZET

Enerji üretimi için tükenen türde olan fosil yakıtların kullanılmasıyla çevreye salınan zararlı gazların atmosferdeki yığılması sürmektedir. Bu yüzden temiz ve sürekli enerji üretimini sağlayan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmalara ilgi artmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinin atmosferi kirletici gaz ve radyasyon gibi atıklarının olmaması, kurulumu hariç işletme masrafının çok az olması, gürültüsüz çalışması, bakım maliyetlerinin ise hareketli parçaları içermemesinden dolayı düşük olması gibi üstünlükleri vardır. Güneş panellerinden elde edilen enerjinin kullanılabilir hale gelmesi için güç devrelerine ihtiyaç vardır. Bu güç devreleri, doğrusal olmayan yapıdadır ve belirsizlikler içermektedir. Bunların giderilmesinde geleneksel denetleyiciler yeterli olamamaktadır. Bu çalışmada, üç fazlı, uzay vektör modülasyonlu (UVM) evirici ile bu evirici girişi için güneş panellerinden gelen gerilimin uygun bir doğru gerilim seviyesine çıkarılmasını sağlayan DA – DA yükselten tip dönüştürücünün tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmektedir. Hem DA – DA dönüştürücü hem de eviricide denetim algoritması olarak belirsizliklerin modellenmesinde yüksek başarıma sahip tip – 2 BMD geliştirilmiştir.

Geliştirilen tip – 2 BMD algoritmasının üstünlüğünü göstermek için, sistem aynı zamanda hem PI denetleyici hem de tip – 1 BMD ile de denetlenmiştir. Bu denetim işlemi önce bilgisayar benzetimi sonra da gerçek zamanlı uygulama olarak yapılmıştır. Benzetim işlemlerinde MATLAB, Simulink ve Simpower yazılımları kullanılmıştır. Gerçek zamanlı uygulamada ise sistem, eZdsp F28335 sayısal sinyal işlemci kiti üzerinde bulunan TMS320F28335 işlemcisi ile denetlenmiştir.

Her bir denetim algoritması ile ayrı ayrı denetlenen sistemin ilk kademesi olan dönüştürücüde; oturma zamanı, aşım miktarı ile yük değişimi tepkileri incelenmiş ve tip – 2 BMD’ nin en iyi başarımı sağladığı görülmüştür. İkinci kademe olan üç fazlı eviricide ise, akım ve gerilim harmonik analizleri, frekans ile faz açısı bilgileri incelenmiştir. Aralıklı tip – 2 BMD evirici için de en iyi çözümü sunmuştur.

Bilim Kodu : 702.1.084
Anahtar Kelimeler : tip – 2 BMD, DA – DA dönüştürücü, 3 fazlı evirici, fotovoltaik beslemeli sistem
Sayfa Adedi : 141
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

**IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC SOURCED INTERVAL
TYPE – 2 FUZZY LOGIC CONTROLLED TWO STAGE CONVERTER**

(Ph. D Thesis)

Meral ÖZARSLAN YATAK

**GAZİ UNIVERSITY
INFORMATICS INSTITUTE**

January 2012

ABSTRACT

Because of using consumable fossil fuels for energy production, conglomeration of harmful gases released to the environment on the atmosphere continues. That's why, interest in the studies about clean and sustainable energy production increases. The solar energy systems have advantages such as no wastes polluting the atmosphere like gas and radiation, minimal operation cost except for installation, noiseless study, low maintenance cost due not to containing movable parts. Power circuits are needed to produce solar energy supplied from the solar panels. These power circuits are non-linear structure and contain uncertainties. Conventional controllers cannot be enough to overcome these uncertainties. In this study, design and implementation of three phase space vector modulated (SVM) inverter and DC – DC boost converter that increases the voltage from the solar panels to appropriate DC level for this inverter input has been performed. Type – 2 fuzzy logic controller (FLC) which has high performance for modelling uncertainties has been developed as control algorithm for both the DA – DA converter and the inverter. The system has been also controlled with proportional – integral (PI) controller and type – 1 FLC separately to show the superiority of the developed type – 2 FLC algorithm. Firstly, control of the system has been done as simulation and then real time application has been performed. MATLAB, Simulink and Simpower

tools have been used for simulation studies. The system has been controlled with TMS320F28335 DSP on eZdsp F28335 DSP module for real time application.

Each control algorithm has been used in both stages of the system individually. Settling time, overshoot and load variation responses have been investigated for the converter which is the first stage of the system. Type – 2 FLC has pointed out the best performance. Current and voltage harmonic analysis, frequency and phase angle data have been analyzed for three phase inverter which is the second stage of the system. Type – 2 FLC has offered the best solution for the inverter.

Science Code : 702.1.084
Key Words : type – 2 FLC, DC – DC converter, 3 phase inverter, photovoltaic sourced system
Page Number : 141
Adviser : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Prof. Dr. Ömer Faruk BAY'a, tez izleme komitemde bulunan ve tezime katkıda bulunan hocalarım Prof. Dr. İnan GÜLER'e ve Doç. Dr. İbrahim SEFA'ya, deneyimlerinden yararlandığım ve çalışmalarımı destek olan hocalarım Yrd. Doç. Dr. Fecir DURAN'a ve Yrd. Doç. Dr. İsmail ATACAK'a, fiziksel güç gerektiren durumlarda yardımını esirgemeyen Kurban KOÇAK'a, öğrencilerime, annem Nuriye ÖZARSLAN'a ve babam Vedat ÖZARSLAN ile kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim. Kayınvalidem Hacer YATAK'a, manevi desteğiyle her zaman yanımda hissettiğim değerli eşim Erdoğan YATAK'a ve çalışmalarım boyunca en büyük fedakarlığı yapan ve en büyük katkıyı sağlayan oğlum Emin YATAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarına maddi olarak destek veren Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na (07/2007-32 no' lu proje) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xx
1. GİRİŞ	1
2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	11
2.1. Güneş Pilleri.....	13
2.2. Güneş Pillerinin Elektriksel Modeli.....	14
2.3. İki Kademeli FV Sistem.....	17
2.4. Ada Modlu Çalışan FV Sistemler	17
2.5. FV Sistemler için Kritik Noktalar	18
3. GÜÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİ	21
3.1. DA – DA Yükselten Tip Dönüştürücü.....	22
3.2. Eviriciler.....	24
3.2.1. Gerilim kaynaklı eviriciler	24
3.2.2. Akım kaynaklı eviriciler	25
3.2.3. Üç fazlı eviriciler.....	25

Sayfa

3.2.4. Tek fazlı eviriciler	30
4. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİLER	31
4.1. Tip – 1 BMD	32
4.2. Tip – 2 BMD	33
4.2.1. Aralıklı tip – 2 BMD sistemleri	35
5. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN TASARIMI VE BENZETİM ÇALIŞMALARI....	42
5.1. Güneş Panelinin Benzetimi	42
5.2. DA – DA Yükselten Tip Dönüştürücünün Denetimi	44
5.2.1. DA – DA Yükselten tip dönüştürücünün PI denetimi	44
5.2.2. DA – DA yükselten tip dönüştürücünün tip – 1 BMD ile denetimi.....	48
5.2.3. DA – DA yükselten tip dönüştürücünün aralıklı tip – 2 BMD ile denetimi	53
5.3. Üç Fazlı Akım Mod Denetimli Eviricinin Benzetimi	56
5.3.1. Üç fazlı eviricinin PI ile denetimi	58
5.3.2. Eviricinin tip – 1 BMD ile denetimi	60
5.3.3. Eviricinin tip – 2 BMD ile denetimi	66
5.4. FV Sistemin Bir Bütün Olarak Benzetimi	69
6. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN GERÇEK ZAMANLI UYGULAMASI.....	74
6.1. Sistem Bileşenleri	75
6.1.1. Güneş panelleri.....	75
6.1.2. Sayısal sinyal işlemcileri.....	75
6.1.3. CMP 11 ışınım sensörü ve DS18B20 sıcaklık sensörü.....	77
6.1.4. Zeki güç modülü (intelligent power module – IPM)	78

Sayfa

6.2. Donanım Çalışmaları	80
6.2.1. Gerilim ve akım algılama devreleri.....	81
6.2.2. IGBT kapı sürücü ve DA – DA dönüştürücü tasarımı	83
6.2.3. Üç fazlı evirici ara birim devresinin tasarımı.....	85
6.2.4. LC filtre devresi tasarımı	87
7. DENEYSEL SONUÇLAR VE YORUMLANMASI.....	90
7.1. DA – DA Yükselten Tip Dönüştürücünün Deneysel Sonuçları.....	92
7.1.1. Denetleyici performanslarının karşılaştırılması	92
7.2. FV Sistemin Rezistif Yük ile Çalıştırılması.....	95
7.2.1. Denetleyici performanslarının karşılaştırılması.....	96
7.3. FV Sistemin Üç Fazlı Motor ile Çalıştırılması	106
8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	112
KAYNAKLAR	116
EKLER	122
EK – 1. KD180GH-2P kodlu güneş panelinin teknik veri sayfası	123
EK – 2. Deneysel verilerin elde edilmesi sırasında kaydedilen ışınım ve sıcaklık bilgileri ve grafikleri	125
ÖZGEÇMİŞ	140

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [41]	12
Çizelge 2.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [41]	12
Çizelge 2.3. Kyocera KD180GH-2P FV Panel katalog değerleri	16
Çizelge 3.2. Anahtarların durumlarına göre çıkış gerilim değerleri	26
Çizelge 5.1. Tip. – 1 ve tip – 2 BMD için oluşturulan kural tabanı	50
Çizelge 5.2. DA – DA dönüştürücünün performans ölçütleri	56
Çizelge 5.3. I_d akımı için tip – 1 ve tip – 2 BMD algoritmalarındaki kural tabanı	62
Çizelge 5.4. I_q akımı için tip – 1 ve tip – 2 BMD algoritmalarındaki kural tabanı	63
Çizelge 7.1. DA – DA dönüştürücünün denetim performansının algoritmalara göre kıyaslanması	95
Çizelge 7.2. Rezistif yük altında, bir bütün olarak çalıştırılan sistemin ilk kademesi olan DA – DA dönüştürücü performans ölçütleri	100
Çizelge 7.3. FV sistem rezistif yük ile çalıştırıldığında ikinci kademe olan üç fazlı eviricinin performans ölçütleri	106
Çizelge 8.1. FV sistemin algoritmalara göre uygulama sonuçları	113

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tek diyot model kullanılan FV hücre eşdeğer devresi	15
Şekil 3.1. Yükselten tip dönüştürücünün yapısı.....	23
Şekil 3.2. Yükselten tip DA – DA dönüştürücünün anahtar konumlarındaki eşdeğer devreleri.....	23
Şekil 3.3. Gerilim kaynaklı 3 fazlı evirici devre şeması	24
Şekil 3.4. Akım kaynaklı evirici devre şeması.....	25
Şekil 3.5. Evirici anahtarlarının durumları.....	29
Şekil 3.6. Evirici durumları ve referans gerilim vektörünün sabit ekseninde gösterimi	29
Şekil 3.7. Tek fazlı evirici devre şeması	30
Şekil 4.1. BMD temel yapısı [58]	33
Şekil 4.2. Aralıklı tip – 2 bulanık küme örnekleri.....	36
Şekil 4.3. Aralıklı tip – 2 BMD blok şeması.....	37
Şekil 4.4. Bir giriş değişkeninin aralıklı tip – 2 bulanık kümesine üyeliğinin gösterimi	37
Şekil 4.5. Mamdani'nin minimum operatörüyle tetiklenen aralık hesabının gösterimi	39
Şekil 5.1. Geliştirilen modelin blok şeması	42
Şekil 5.2. KD180GH-2P güneş panelinin	43
Şekil 5.3. DA – DA dönüştürücünün PI ile denetimi için geliştirilen model	46
Şekil 5.4. DA – DA dönüştürücünün PI ile denetimi ekran görüntüsü.....	47
Şekil 5.5. Hata için tip – 1 bulanık kümeler.....	49
Şekil 5.6. Hatadaki değişim için tip – 1 bulanık kümeler	49
Şekil 5.7. DGM sinyalindeki değişim olan tip – 1 bulanık çıkış	49

Şekil	Sayfa
Şekil 5.8. DA – DA dönüştürücünün tip – 1 BMD ile denetimi için geliştirilen model	51
Şekil 5.9. DA – DA dönüştürücünün tip – 1 BMD ile denetimi ekran görüntüsü.....	52
Şekil 5.10. Hata için aralıklı tip – 2 bulanık kümeler	53
Şekil 5.11. Hatadaki değişim için aralıklı tip – 2 bulanık kümeler.....	53
Şekil 5.12. Çıkış için aralıklı tip – 2 bulanık kümeler	53
Şekil 5.13. DA – DA dönüştürücünün tip – 2 BMD ile denetimi için geliştirilen model.....	54
Şekil 5.14. DA – DA dönüştürücünün tip – 2 BMD ile denetimi ekran görüntüsü...	55
Şekil 5.15. Üç fazlı eviricinin benzetiminde kullanılan Simulink model görüntüsü .	58
Şekil 5.16. Akım denetleyici alt blok şeması.....	58
Şekil 5.17. Işınım miktarı $0,4 \text{ kW/m}^2$ olduğunda PI denetleyici ile elde edilen d eksenindeki referans akım ile gerçek akım görüntüsü	59
Şekil 5.18. PI ile denetlenen üç fazlı eviricinin yük akımları	60
Şekil 5.19. 2, 5 periyotluk zaman diliminde üç fazlı akımların görüntüsü	60
Şekil 5.20. I_d akımının tip – 1 BMD ile denetimi için hata üyelik fonksiyonları	62
Şekil 5.21. I_d akımının tip – 1 BMD ile denetimi için hatadaki değişim üyelik fonksiyonları.....	62
Şekil 5.22. I_d akımının tip – 1 BMD ile denetimi için α eksenindeki gerilim değişimi üyelik fonksiyonları.....	62
Şekil 5.23. I_q akımının tip – 1 BMD ile denetimi için hata üyelik fonksiyonları	63
Şekil 5.24. I_q akımının tip – 1 BMD ile denetimi için hatadaki değişimin üyelik fonksiyonları.....	63
Şekil 5.25. I_q akımının tip – 1 BMD ile denetimi için β eksenindeki gerilim değişimi üyelik fonksiyonları.....	63
Şekil 5.26. Tip – 1 BMD ile gerçekleştirilen evirici denetiminin akım denetleyici alt bloğu.....	64

Şekil	Sayfa
Şekil 5.27. Referans akımı ve tip – 1 BMD çıkış akımı (I_d) ($G = 0.4 \text{ kW/m}^2$).....	64
Şekil 5.28. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin yük akımları	65
Şekil 5.29. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı akım sinyallerinin 2, 5 periyotluk zaman diliminde üç fazlı akımların görüntüsü	65
Şekil 5.30. I_d akımının aralıklı tip – 2 BMD ile denetimi için hata üyelik fonksiyonları.....	66
Şekil 5.31. I_d akımının aralıklı tip – 2 BMD ile denetimi için hatadaki değişim üyelik fonksiyonları.....	66
Şekil 5.32. I_d akımının tip – 2 BMD ile denetimi için α eksenindeki gerilim değişimi üyelik fonksiyonları.....	67
Şekil 5.33. I_q akımının aralıklı tip – 2 BMD ile denetimi için hata üyelik fonksiyonları.....	67
Şekil 5.34. I_q akımının aralıklı tip – 2 BMD ile denetimi için hatadaki değişim üyelik fonksiyonları.....	67
Şekil 5.35. I_q akımının tip – 2 BMD ile denetimi için β eksenindeki gerilim değişimi üyelik fonksiyonları.....	67
Şekil 5.36. Tip – 1 BMD ile gerçekleştirilen evirici denetiminin akım denetleyici alt bloğu.....	68
Şekil 5.37. Referans akımı ve tip – 2 BMD çıkış akımı (I_d) ($G = 0.4 \text{ kW/m}^2$).....	68
Şekil 5.38. Tip – 2 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin yük akımları	69
Şekil 5.39. 2, 5 periyotluk zaman diliminde üç fazlı akımların görüntüsü	69
Şekil 5.40. Bir bütün olarak gerçekleştirilen FV sistem modeli	70
Şekil 5.41. Değişken ışınım koşullarındaki referans akımı	70
Şekil 5.42. PI ile denetlenen evirici akımları	71
Şekil 5.43. 2, 5 periyotluk zaman diliminde üç fazlı akımların görüntüsü	71
Şekil 5.44. Tip – 1 BMD ile denetlenen evirici akımları.....	72

Şekil	Sayfa
Şekil 5.45. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı evirici akımlarının 2, 5 periyotluk zaman dilimindeki görüntüsü	72
Şekil 5.46. Tip – 2 BMD ile denetlenen evirici akımları	73
Şekil 5.47. Tip – 2 BMD ile denetlenen üç fazlı evirici akımlarının 2, 5 periyotluk zaman dilimindeki görüntüsü	73
Şekil 6.1. Tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen tip – 2 BMD’li FV sistemin blok şeması	74
Şekil 6.2. IPM blok şeması	80
Şekil 6.3. Gerilim sensörü bağlantı şekli	81
Şekil 6.4. IGBT Sürücü devresi	83
Şekil 6.5. M57140–01 uygulama devresi.....	85
Şekil 6.6. IPM yalıtım devresi genel blok şeması	86
Şekil 6.7. Pasif filtre çeşitleri. a. L filtre, b. LC filtre, c. LCL filtre	87
Şekil 7.1. MATLAB / Simulink’de hazırlanan FV sistem yazılımı gömülü modeli .	91
Şekil 7.2. Deneyle sırasında FV panelden sağlanan gerilim ve akım sinyalleri.....	92
Şekil 7.3. PI denetleyicili DA – DA dönüştürücü deneysel sonuçları	93
Şekil 7.4. Tip – 1 BMD denetleyicili DA – DA dönüştürücü deneysel sonuçları	94
Şekil 7.5. Tip – 2 BMD denetleyicili DA – DA dönüştürücü deneysel sonuçları	95
Şekil 7.6. Deneyle sırasında FV panelden sağlanan gerilim ve akım sinyalleri.....	96
Şekil 7.7. FV sistemin ilk kademesi olan DA – DA dönüştürücünün PI denetimli çıkış gerilimi	97
Şekil 7.8. FV sistemin ilk kademesi olan PI denetimli DA – DA dönüştürücüdeki IGBT kollektör – emiter gerilimi	97
Şekil 7.9. FV sistemin ilk kademesi olan DA – DA dönüştürücünün tip – 1 BMD denetimli çıkış gerilimi	98

Şekil	Sayfa
Şekil 7.10. FV sistemin ilk kademesi olan tip – 1 denetimli DA – DA dönüştürücüdeki IGBT kollektör – emiter gerilimi.....	98
Şekil 7.11. FV sistemin ilk kademesi olan DA – DA dönüştürücünün aralıklı tip – 2 BMD denetimli çıkış gerilimi	99
Şekil 7.12. FV sistemin ilk kademesi olan aralıklı tip – 2 denetimli DA – DA dönüştürücüdeki IGBT kollektör – emiter gerilimi.....	99
Şekil 7.13. PI ile denetlenen üç fazlı eviricinin çıkış akımları.....	101
Şekil 7.14. PI ile denetlenen üç fazlı eviricinin çıkış gerilimleri	101
Şekil 7.15. PI ile denetlenen üç fazlı eviricininTHD ve güç değerleri	102
Şekil 7.16. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin çıkış akımları	103
Şekil 7.17. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin çıkış gerilimleri.....	103
Şekil 7.18. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricininTHD değerleri.....	104
Şekil 7.19. Tip – 2 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin çıkış akımları	104
Şekil 7.20. Tip – 2 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin çıkış gerilimleri.....	105
Şekil 7.21. Tip – 2 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricininTHD ve güç değerleri .	105
Şekil 7.22. Endüktif yük altında DA – DA dönüştürücünün PI denetimli çıkış gerilimi	107
Şekil 7.23. Endüktif yük altında DA – DA dönüştürücünün tip – 1 BMD’li çıkış gerilimi	107
Şekil 7.24. Endüktif yük altında DA – DA dönüştürücünün aralıklı tip – 2 BMD denetimli çıkış gerilimi.....	108
Şekil 7.25. PI ile denetlenen FV sistemin panel gerilimi.....	108
Şekil 7.26. Tip – 1 BMD ile denetlenen FV sistemin panel gerilimi.....	109
Şekil 7.27. Tip – 2 BMD ile denetlenen FV sistemin panel gerilimi.....	109
Şekil 7.28. PI denetimli evirici çıkış akımları.....	110
Şekil 7.29. Tip 1 BMD denetimli evirici çıkış akımları.....	110

Şekil	Sayfa
Şekil 7.30. Tip 2 BMD denetimli evirici çıkış akımları.....	110
Şekil 7.31. PI ile denetlenen üç fazlı akımların THD grafiği.....	111
Şekil 7.32. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı akımların THD grafiği	111
Şekil 7.33. Tip – 2 BMD ile denetlenen üç fazlı akımların THD grafiği	111

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Çatıya yerleştirilen 30 adet panelin görüntüsü.....	75
Resim 6.2. eZdsp F28335 genel görüntüsü.....	77
Resim 6.3. Çatıya montajı yapılan ışınım sensörü ve ölçüm devresinin genel görünüm	78
Resim 6.4. Mitsubishi marka PM150CL1A120 kodlu IPM'in genel görüntüsü	79
Resim 6.5. Gerçekleştirilen FV sistemin genel fotoğrafı.....	80
Resim 6.6. DA – DA yükselten tip dönüştürücü çıkış gerilimi algılama devresi	82
Resim 6.7. Üç fazlı eviricinin çıkış akımlarını algılama devresi	82
Resim 6.8. DA – DA dönüştürücü devresi genel görüntüsü	84
Resim 6.9. FV panellere paralel bağlanan kondansatörlerin fotoğrafı.....	84
Resim 6.10. IPM arabirim devresinin genel görüntüsü.....	86
Resim 6.11. LC filtre devresinin fotoğrafı	89

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simge ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
V_s	Kaynak gerilimi
T	Zaman
I_{abc}	Üç fazlı evirici akımları
V_{abc}	Üç fazlı evirici gerilimleri
V_α	Sabit referans eksenindeki α bileşeninin gerilimi
V_β	Sabit referans eksenindeki β bileşeninin gerilimi
\vec{V}	Sabit referans eksenindeki uzay vektör gerilimi
\tilde{X}	Aralıklı tip – 2 bulanık küme
\bar{X}	Üst üyelik fonksiyonu
\underline{X}	Alt üyelik fonksiyonu
$Y_{cos}(x)$	Tipi indirgenmiş küme
$y_l(x)$	Sol son nokta
$y_r(x)$	Sağ son nokta
V_{ref}	Çıkış referans gerilimi

Kısaltmalar	Açıklama
UVM	Uzay Vektör Modülasyonu
DA	Doğru Akım
BMD	Bulanık Mantık Denetleyici
FV	Fotovoltaik
THD	Toplam Harmonik Distorsiyon
SSİ	Sayısal Sinyal İşlemci
DGM	Darbe Genişlik Modülasyonu
PI	Oransal – İntegral
AM	Hava Kütle

Kisaltmalar

Açıklama

IPM

Akıllı Güç Modülü

STC

Standart Test Koşulları

1. GİRİŞ

Artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için kullanılan fosil yakıtların tükenen türde olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları alanında yapılan çalışmalar sürekli artmaktadır. Ayrıca, dünyada çevre bilincinin ortaya çıkması ve tükenen yakıtların neden olduğu çevresel kirliliğin canlı hayatı üzerindeki olumsuz etkileri ile küresel ısınma sorunları bilim insanlarını yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak sistem tasarımlarına yöneltmiştir. Güneş enerjisi sistemleri, ilk kurulumu hariç işletme masrafının çok az olması, hareketli parçalar içermediğinden bakım maliyetlerinin düşük olması ve gürültüsüz çalışması gibi üstünlükleri nedeniyle diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Şebeke bağlantısının olmadığı veya uzak olduğu bölgelerde enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için bu sistemlerin ada modlu olarak gerçekleştirilmesi bu bölgeler için en iyi çözümdür. Özellikle güneş potansiyeli yüksek ülkelerde güneşin, alternatif enerji kaynağı olarak kullanımı ülke ekonomisi açısından yararlıdır. Coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli ülkemizde oldukça yüksektir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıyım şiddetinin ise 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir [1]. Güneş potansiyeli bu kadar yüksek olan ülkemizde son yıllarda bu alanda yapılan akademik ve ticari çalışmalar yoğunluk kazanmıştır.

Bu çalışmada, en fazla 5,4 kW güçte, güneş enerjisinden üç fazlı alternatif akım elektrik enerjisi üreten, geçici durum cevabı hızlı, toplam harmonik bozulması düşük bir FV sistemin tasarımı ve gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Güneş enerjisi sistemlerinin temel elemanı güneş pilleridir. Güneş pilleri, üzerine güneş ışığı düştüğünde, güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren ve çalışma ilkesi Fotovoltaik (FV) olayına dayanan elemanlardır. FV olayı, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olarak elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin değişmesidir. Bir güneş pili hücresinden elde edilebilecek gerilim ve akım düşük değerlere sahiptir. Bu pillerin seri ve paralel bağlanmasıyla yüksek güçlü güneş panelleri oluşmaktadır. Güneş panelleri de seri bağlanarak FV dizileri (PV string),

bunlar da paralel bağlanarak FV düzenleri (PV array) oluşturmaktadır. Gerçekleştirilen bu bağlantılarla paneller, uygun gerilim değerine ulaşabilmek için seri, istenilen akıma ulaşabilmek için ise paralel bağlanarak hedeflenen güce ulaşılmaktadır.

Güneş panellerinden elde edilen enerjinin kullanılabilir duruma gelmesi için güç devrelerine ihtiyaç vardır. Uluslar arası Enerji Ajansı (International Energy Agency) genel olarak FV uygulamaları iki kısma ayırmaktadır. Birincisi bağımsız çalışma (stand – alone) diğeri ise şebeke bağlantılı (grid – connected) çalışmadır. Her iki çalışma için de evirici için belli standartlar oluşturulmuştur. Tasarlanan eviricinin IEEE-929 (IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Residential and Intermediate Photovoltaic System) ile belirlenen performans ölçütlerine uyması için, oluşan akım toplam harmonik bozulmalarının (THD) %5'in altında, frekans değişiminin ± 1 Hz aralığında ve güç faktörünün en az 0,9 olması şartları sağlanması gerekmektedir [2].

Üç fazlı yüklerin FV sistemlerde çalıştırılması için tek kademeli bir sistem tasarımı [3-5] yapılabildiği gibi doğru akım (DA) yüklerin de çalıştırılabilmesini sağlamak amacıyla iki kademeli FV sistem tasarımı [6-10] gerçekleştirilebilmektedir. Evirici girişi için uygun, sabit bir gerilimin elde edilmesi ve güneş panelleri geriliminin istenen farklı bir gerilim değerine ayarlanabilmesi, iki kademeli bir FV sistem tasarımı ile mümkün olmaktadır. Tek kademeli olarak gerçekleştirilen sistemlerde kaynak olarak kullanılacak FV panellerin sayısı esnek değildir. Evirici girişinde, evirici çıkış geriliminin istenen gerilim seviyesine getirilebilmesi için bir regülatöre ihtiyaç vardır. Tek kademeli FV sistemlerde, bağlanacak FV panel sayısı, gerekli yükseltme oranına göre belirlenmelidir. Tek kademeli FV sistem tasarımlarında gerilim yükseltme işlemi transformatörlerle yapılmaktadır. Yalıtımın sağlanması ve güvenilir olması gibi üstünlüklerine rağmen transformatörlü sistemlerin boyutu ve kayıpları arttırması iki kademeli FV sistemleri veya transformatörsüz evirici tasarımının tercih edilmesine sebep olmaktadır. Transformatörlü FV sistemlerde, transformatör ilk kademede (dönüştürücü tarafında) yüksek frekanslı veya ikinci kademede (evirici tarafında) alçak frekanslı olarak tasarlanıp kullanılmaktadır. Her

iki durumda da ağırlık ve sistem boyutu ile verim kaybının artması söz konusudur [11]. İki kademeli eviricilerde, FV panellerin çalışma gerilimi DA bara geriliminden düşük olabilmektedir. Evirici için istenen gerilim değerine getirme işlemi ilk kademede gerçekleştirilmektedir. Wu ve diğerleri [12] yaptıkları çalışmada, tek kademeli ve iki kademeli şebeke bağlantılı FV sistemlerdeki güç kayıplarını beş senaryoya göre karşılaştırmışlardır. FV panellerin gücündeki dalgalıkların iki kademelide nerdeyse sıfır olduğunu bulmuşlardır. Hızlı ışınlam değişimlerinde maksimum gücün izlenmesindeki başarımları, iki kademelide tek kademeliye göre daha yüksek olarak elde edilmiştir. Hızlı DA yüklerin değişimi de her iki FV sistem için karşılaştırılmıştır ve hızlı DA yük değişimi altında maksimum güç noktasından uzaklaşma sonucunda oluşan güç kaybının tek kademelide %0,13, iki kademelide ise %0,002 olduğunu bulmuşlardır. Bu durumlar için iki kademeli FV sistem tasarımının daha iyi bir çözüm olduğu söylenebilmektedir. İki kademeli sistemlerdeki tek ve en büyük kayıp DA – DA dönüştürücü devresindeki kayıptır. Bunun oranı da yapılan çalışmada %2,5 olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda tek kademeli gerçekleştirilen sistemdeki toplam kayıp %4,34 olarak bulunmuşken iki kademeli için bu değer %4,5 olarak elde edilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi her iki sistemin güç kaybı hemen hemen eşit gibidir. Tez çalışmasında, on binde 16’den daha düşük bir güç kaybı fazlalığı olsa da, tasarım kolaylığı, DA yüklerin çalıştırılabilmesi ve panel yerleşiminin esnekliği düşünülerek DA – DA dönüştürücü ve üç fazlı evirici içeren iki kademeli FV sistem tasarımı tercih edilmiştir.

Güç dönüştürücülerinde, verimli bir enerji iletimi sağlamak için denetim tekniği seçimi önem kazanmaktadır. DA – DA dönüştürücüde kullanılan denetim algoritmasının belirlenmesinde, oturma süresinin kısalığı, aşım miktarı ile gerilim dalgalıklarının genliğinin azlığı, yük değişimi koşullarında tepki süresinin hızı önemli rol oynamaktadır. Şebeke bağlantılı eviricilerde frekans ve ışınlam değişimleri, ada modlu eviricilerde ise ışınlam değişimleri gibi sistem bozucularına karşı hızlı tepki vermek, birim güç faktörü elde etmek ve yük akımının düşük THD’ye sahip olması, DA – AA dönüşüm için gerekli şartlardır.

DA – DA dönüştürücüler, DA gerilim seviyesini başka bir DA gerilim seviyesine getiren devrelerdir. FV sistemlerde güç, ışınım ve sıcaklık gibi çevresel şartlara bağlı olarak değişmektedir. Işınım artışı büyük oranda akımın artmasını sağlarken sıcaklığın artması ise çok az da olsa gerilimin azalmasına sebep olmaktadır. İki kademeli sistemde, evirici girişi için sabit bir gerilime ihtiyaç duyulduğundan güneş panellerinin değişken gerilimi, DA –DA dönüştürücü ile regüleli sabit bir seviyeye getirilmektedir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, evirici giriş geriliminin olması gereken değeri, seri bağlanmış olan FV panellerin geriliminden yüksek olmalıdır. Bu yüzden dönüştürücü yükselten tip olarak gerçekleştirilmiştir.

DA – DA dönüştürücülerin, yük ve giriş gerilimi değişimine karşın çıkış gerilimini sabit tutmak için kapalı çevrim bir denetim yapılmaktadır. Denetim performansını belirleyen etmenler, geçici ve kalıcı hal davranışlarıdır. Dönüştürücüler doğrusal değildir ve pratik dönüştürücü çalışması, kullanılan elemanların parazitik dirençleri, stray kapasiteleri ve kaçak endüktanslarından dolayı teorik çalışmadan farklıdır [13]. Tüm bu sorunlar, araştırmacıları, dönüştürücü tasarımında, yüksek doğruluklu, kolay programlanabilir ve uygulanabilir, ucuz gerçekleştirilebilir, hızlı bir denetim algoritması geliştirmeye yönelmektedir.

Demirtaş ve diğerleri [14] güneş enerjili sistemler için mikrodenetleyici tabanlı bir yükselten tip dönüştürücü gerçekleştirmişlerdir. Bu dönüştürücü ile sistemin sürekli panellerden elde edilebilecek gücün en yüksek olduğu noktada çalıştırılması sağlanmıştır. Dönüştürücünün çıkış gerilimini referans değerine getirmek için denetleyici algoritması olarak PI kullanılmıştır. Ancak, bu algoritma doğrusal olmayan durumların değerlendirilmesinde yeterli olamamaktadır.

Bulanık mantık (BM) dilsel yaklaşımlarla sorunları çözen matematiksel bir yaklaşımdır. BM'nin asıl amacı, uzman deneyimine dayanarak dilsel denetim stratejisini otomatik denetim stratejisine dönüştürmektir. Endüstriyel bir süreç denetiminde güvenilirlik, kararlılık, ucuzluk ve kolay gerçekleştirme aranan özelliklerdir. Bu özelliklerin sağlanması için, sistem yapısının ve dinamik karakteristiklerinin çok iyi bilinmesi ve matematiksel modelinin elde edilmesi gerekmektedir. Ancak bu tüm sistemler için her zaman mümkün olamamaktadır. Bu

sorunun çözümünde Bulanık Mantık Denetleyici (BMD) iyi bir alternatiftir. BMD, DA – DA yükselten tip dönüştürücülerin doğrusal olmayan denetleyicilerinden biridir. So ve diğerleri [15] Texas Instruments firmasının ürettiği TMS320C50 Sayısal İşaret İşlemcisi (SSİ) kullanarak, ayırık – zamanlı sayısal sistemli DA – DA dönüştürücü için BMD algoritmasının benzetim ve uygulama çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Yükselten (boost), düşüren (buck) ve düşüren – yükselten (buck - boost) tip DA – DA dönüştürücüler için yük ve hat regülasyonunu sağlamışlardır. Gupta ve diğerleri [16] DA – DA dönüştürücünün denetimini, BMD ile 8-bit ucuz bir mikro denetleyici kullanarak gerçek zamanlı bir şekilde gerçekleştirmişlerdir. Kullandıkları mikro denetleyicinin analog/sayısal dönüştürücü ile DGM sinyallerine dahili birimler olarak sahip olmasına rağmen karmaşık algoritmaların programlanması zordur. Bay ve diğerleri [17] programlanması daha kolay olan ancak SSİ ile karşılaştırıldığında denetim işleminde örnekleme frekansı daha az 8 bit ST52E301 mikro denetleyicisi ile DA – DA dönüştürücü gerçekleştirmişlerdir. SSİ tabanlı BMD ile DA – DA yükselten ve düşüren tip dönüştürücü devresini Guo ve diğerleri [18] eZdsp F2812 SSİ kiti kullanarak gerçekleştirmiş ve BMD' nin daha hızlı geçiş cevabı, daha kararlı kalıcı durum cevabı ve değişen koşullarda daha çabuk cevap verme özelliği sağladığını göstermişlerdir. Bu çalışmalar incelendiğinde, dönüştürücülerin düşük güçlü olarak gerçekleştirildiği görülmektedir.

Güç elektroniği devrelerinde gücün artması beraberinde sorunları da arttırmaktadır. Yüksek akım, yüksek iletim ve anahtarlama kaybıyla sonuçlanmakta ve dönüştürücülerin verimini azaltmaktadır. Güç arttıkça, DA – DA dönüştürücülerin tasarımında oturma zamanı, aşım miktarı, kalıcı durum hatası gibi performans ölçütlerinin iyileştirilmesi için sensörden alınan bilgiler daha da önem kazanmaktadır. Sensörlerden alınan bilgiler gürültü içermektedir. Bu gürültünün etkisini en aza indirecek bir algoritma gereklidir. Tip – 1 BMD' de tek bir sayı değeri alan değişkenlerin ait olduğu küme sınırları, tip – 2 BMD ile aralıklı olarak belirlenmekte ve esnek bir yapı oluşturulabilmektedir.

Geleneksel BMD (tip – 1 BMD) ile gerçekleştirilen denetimlerde, bulanık kümeler, bunların sınırları ile kural tabanı deneme – yanılma yoluyla belirlenmekte ve bu da tatmin edici sonuçlar almak için denetim tasarım süresini arttırmaktadır. Ya da BMD parametrelerini en iyilemek için ilave bir en iyileme algoritmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Geleneksel BMD ile denetim sırasında, algılayıcılardan alınan bilgilerin gürültülü olmasından kaynaklanan belirsizlikler üyelik fonksiyonlarında tam olarak tanımlanamamaktadır. Bu da çıkış üyelik fonksiyonunda yer almayan bir durum ortaya çıkarmaktadır. Bunun dışında dilsel ifadelerden kaynaklanan ve giriş ile çıkış üyelik fonksiyonlarının isimlendirilmesinden oluşan belirsizlikler de vardır. Her kelime her kişiye aynı durumu çağrıştırmadığından, giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi kişiden kişiye farklılık göstermekte ve bu da dilsel farklılıklardan kaynaklanan belirsizlikler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlara ek olarak, her uzman aynı giriş değişkeninin kümesini farklı olarak belirleyip, çıkış kümesini de buna göre farklı oluşturabilir. Bunlar sistemdeki belirsizliklerin kaynaklarıdır [19]. Bu çalışma iki kademeli FV bir sistemdir. İki kademeli FV sistemlerdeki ilk kademe olan DA – DA dönüştürücüde, çevresel şartlardan kaynaklanan değişimler sebebiyle gerilim ve akımdaki belirsizliklerin giderilebilmesi için tip – 2 BMD algoritması tercih edilmiştir.

Tip – 2 BMD 'nin, denetim uygulamalarında, belirsizliklerin modellenmesinde güçlü bir denetleyici olduğu yapılan benzetim çalışmaları ile gösterilmiştir [20-22]. Atacak ve Bay [13], düşüren ve yükselten tip DA – DA dönüştürücülerin denetimini tip – 2 BMD ile benzetim çalışması olarak gerçekleştirmişlerdir. Giriş gerilimi ile çıkış yükünü değiştirmişler ve sonuçlarını PI (Oransal – İntegral), tip – 1 BMD ve tip – 2 BMD ile karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır. Sonuçta, tip – 2 BMD' nin, tip – 1 BMD ve PI denetleyiciye göre oturma süresi, aşım, dalgacık genliği ve geçici durum cevabı gibi performans ölçütlerini iyileştirdiği görülmüştür. Lin ve diğerleri [23], azaltan tip dönüştürücü için tip – 2 BMD' yi uygulamalı olarak gerçekleştirmişlerdir. Giriş gerilimindeki ve çıkış yükündeki değişikliklere rağmen dönüştürücünün çıkışını 10V'a sabitlemişlerdir.

Eviriciler gerilim – kaynaklı ve akım – kaynaklı olarak sınıflandırılabilir. Gerilim kaynaklı eviricide, yüksek kapasiteli bir kondansatör gerilim kaynağına paralel bağlanmakta ve anahtarlara uygulanan gerilim bunun üzerinden aktarılmaktadır. Akım kaynaklı eviricilerde ise kaynağa seri bağlı büyük değerli bir bobin üzerinden enerji aktarımı sağlanmaktadır. Akım kaynaklı eviriciler donanımsal yapısından dolayı ters gerilimi engelleyebilmektedir. Ancak bu durum devredeki kayıpları arttırmakta, piyasada kolay bulunan anahtarların doğrudan kullanımını engellemektedir. Gerilim kaynaklı eviricide DA bara gerilimi AA geriliminden büyük olmak zorundadır. Bu yüzden gerilim kaynaklı evirici kullanılan sistemlerde genellikle iki kademeli yapı tercih edilmektedir [24]. Yerel yüklerin çalıştırılmasında gerilim kaynaklı eviriciler kullanıldığından bu tez çalışmasında gerilim kaynaklı evirici tercih edilmiştir.

Üç fazlı eviricilerde iç ve dış döngü olarak iki adet denetim algoritması vardır. Eviricilerdeki iç döngü akım denetimidir ve genellikle doğrusal denetleyicilerle gerçekleştirilmektedir. Doğrusal denetimde, *durağan* ve *dönel* referans çerçeve tabanlı iki adet yaklaşımın sayısal olarak gerçekleştirilebilmesi ve basit bir yapıya sahip olması günümüzde evirici denetiminde sıklıkla kullanılmasını sağlamaktadır. Kalıcı durum hatası *durağan* çerçevede kullanılan PI algoritmasında hiçbir zaman tam olarak sıfırlanamamaktadır. Bu durum PI regülatörlerinin dönel çerçevede kullanılmasıyla ortadan kaldırılmaktadır. Dönel çerçevede kullanılan PI regülatörler, kolay gerçekleştirilebilmesinin yanında hızlı dinamik cevaba ve sıfırlanmış kalıcı durum hatasına sahiptir. Bu da evirici denetiminde gelenek haline gelmiş bir çözümdür ve sıklıkla kullanılmaktadır [2, 25-27]. *dq* çerçeve olarak da bilinen dönel referans çerçevede, akımlar *d* ve *q* eksenindeki referans değerlerine, kullanılan iki adet PI algoritmalarıyla getirilmektedir. Ancak bu denetimde iki ayrı PI denetleyici kullanılmasına rağmen *d* eksenindeki değişim *q* eksenindeki akımın büyüklüğünü, *q* eksenindeki değişim de *d* eksenindeki akımı etkilemektedir. Bu etkinin azaltılabilmesi için Bahrani ve diğerleri [28], PI algoritmalarını çok-değişkenli olarak gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirdikleri uygulama çalışması sonucunda, güç kalitesini ve performansını düşüren, eksenlerin birbirini etkileme oranını en aza indirmişlerdir.

Eviricilerdeki dış döngü denetimi, iç döngü denetimindeki d eksen referansının belirlenmesinde kullanılan denetimdir. Evirici giriş geriliminin referans değerlere getirilebilmesi için yapılan bu denetim, iki kademeli evirici sisteminde, ilk kademe olan DA –DA dönüştürücüde gerçekleştirildiğinden iki kademeli sistemde yer almamaktadır. Harici denetimde, evirici giriş geriliminin referans değerine getirilmesi için Tip – 1 BMD çalışmaları gerçekleştirilmiştir [29-34]. Bu çalışmalarda gerilim denetimi için tip- 1 BMD kullanılmış olmasına rağmen iç döngü denetiminde akımların denetimi için PI denetleyici kullanılmıştır.

Torrico ve Bim yaptıkları çalışmada [35], uzay vektör modülasyonunda (UVM) giriş olarak değerlendirilen referans gerilim vektörü bileşenlerinin denetlenmesinde tip – 1 BMD 'yi kullanmışlardır. BMD' li evirici denetimini histerisiz akım denetimi ile karşılaştırmışlardır. Tip – 1 BMD ile motorun elektro motor kuvveti (EMK) bilgilerine ihtiyaç duymadan, düşük akım dalgacıklı ve sabit anahtarlama frekanslı bir evirici gerçekleştirmişlerdir. Anahtarlama frekansı 10 kHz iken en iyi dinamik cevabı tip – 1 BMD ile elde etmişlerdir. Rukonuzzaman ve Nakaoka [36] ise yaptıkları çalışmada üç fazlı evirici için d ve q eksenlerindeki akımları tip – 1 BMD ile denetlemişlerdir. Bunun için iki adet BMD kullanmışlardır. Tip – 1 BMD ile elde ettikleri hata bileşenlerini PI denetimiyle elde ettikleri bileşenlerle karşılaştırmış ve daha hızlı ve daha kararlı sistem cevabı elde etmişlerdir. Altın [37] yaptığı tez çalışmasında, şebeke etkileşimli tek fazlı eviricinin denetimini bulanık sinirsel denetleyici ile gerçekleştirmiştir. Eviricinin doğrusal olmayan karakteristiği ve zamana bağımlı olarak değişen parametrelerden etkilenmeden yüksek performanslı bir denetim sağlamıştır. Tasarım sürecini kısaltmak için Adaptive Neuro – Fuzzy Inference System (ANFIS) kullanmış ve böylece giriş çıkış üyelik fonksiyonları ile kural tabanını verilen bilgilere göre elde etmiştir. ANFIS tarafından eğitim için kullanılacak giriş – çıkış verisi toplanıp üyelik fonksiyonları düzenlenerek bulanık çıkarım sistemi buna göre eğitilmiştir. Bunun için bir veri setine ihtiyaç vardır. Bu veriler bulanık mantık denetimli benzetimlerden elde edilen verilerdir. Bu denetim sisteminde eğitim süresi işlem yoğunluğunu da beraberinde getirmektedir.

Tip – 1 BMD’ de kullanılan üyelik kümelerinin sınırlarının keskinliğinden dolayı, değişen çevresel koşullar sonucunda ortaya çıkan dilsel ve sayısal belirsizlikler bu denetleyicilerde modellenememektedir. Bu durum için tip – 2 BMD iyi bir çözüm olmaktadır. Chen ve Lin [38], yük olarak kullandıkları kalıcı miktatsız doğrusal senkron motorun denetimi için kendinden uyarlamalı aralıklı tip – 2 sinirsel bulanık algoritmasını kullanmışlardır. Motor sürücüsünde ortaya çıkan, yükün değişimi, harici bozucu etkiler ve algılayıcıdan kaynaklanan gürültüler gibi belirsizliklerin giderilmesinde aralıklı tip – 2 BMD kümeleri kullanılmış ve iyi denetim performansı ve kararlı bir denetim gerçekleştirilmiştir. Barkati ve diğerleri [39] yedi seviyeli evirici ile indüksiyon motorunun sürülmesini sağlamışlardır. Bu motorun hızı ve flux denetimi ile eviricinin DA bara gerilim denetimini tip – 2 BMD ile gerçekleştirmişlerdir. Çok seviyeli eviricinin akımlarının denetimi için ise çok seviyeli histerisiz akım denetim yöntemini kullanmışlardır. Gerçekleştirdikleri benzetimler sonucunda, indüksiyon motor sürücüsünde, tip – 2 bulanık denetim yaklaşımı aşım, kalıcı durum hatası, tork bozucu etkisi ve değişken hız takibinde üstünlük sağlamaktadır.

Anılan çalışmalarda genellikle yapay zeka tabanlı denetimler, evirici girişi veya hız denetimi gibi harici döngüler için kullanılmıştır. İç döngü denetimi olarak yapılan evirici akımları denetiminde, tip – 1 BMD’ nin kullanımına yönelik yapılan çalışma sayısı da oldukça azdır [35-36]. Üç fazlı evirici akımlarının denetiminde, dönel referans çerçevesinde, d ve q eksenlerindeki akımların denetimi için, tip – 2 BMD ile yapılmış bir çalışmaya rastlanamamaktadır.

Bu tez çalışması ile temiz ve sürdürülebilir bir kaynak olan güneşten elde edilen enerji güç devreleriyle kullanılabilir hale getirilmektedir. Bunun için tip – 2 BMD algoritmaları geliştirilerek, yük değişimlerine karşı hızlı tepki veren, aşımı az, kalıcı durum hatası ile THD’ si düşük, yüksek güç faktörüne sahip iki kademeli bir FV sistemin tasarımı gerçekleştirilmektedir.

Bu tez çalışmasında, FV panellerden elde edilen elektrik enerjisi bir DA – DA dönüştürücü ile uygun bir DA seviyeye getirilmekte ve bu gerilim üç fazlı bir evirici ile endüstriyel yüklerin çalıştırılmasını sağlamak amacıyla üç faza

dönüştürülmektedir. İki kademeli olarak gerçekleştirilen FV sistemin beslemesi 30 adet güneş paneli ile sağlanmaktadır. 15 adet FV panel seri bağlanarak FV dizi, 2 FV dizi de paralel bağlanarak toplamda 30 adet panel ile sistem gücü maksimum 5,4 kW olarak elde edilmiştir (Bu değer STC adı verilen Standard Test Condition için katalog değeridir. Buna göre ışıyım 1kW/m^2 , sıcaklık $25\text{ }^\circ\text{C}$ ve hava kütlesi 1,5 AM' dir.). Çalışmada kullanılan paneller, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi B Blok ek binasının çatısına yerleştirilmiştir. Seri bağlı panellerin gerilimi en fazla 442,5 V' tur. Bu gerilim gerçekleştirilen DA – DA dönüştürücü ile evirici girişi için 620 V' a çıkarılmaktadır. DA – DA dönüştürücünün çıkış gerilimi ile üç fazlı gerilim – kaynaklı eviricinin, dönel çerçevede d ve q akımlarının denetiminde tip – 2 BMD kullanılmaktadır. Böylece, dilsel farklılıklardan, sensör gürültülerinden ve DA – DA dönüştürücü ile üç fazlı eviricinin doğrusal olmayan yapısından kaynaklanan belirsizlikler dilsel ifadelerle dönüştürülebilmiştir. Bu da daha kararlı ve güçlü bir denetim olanağı sağlamıştır. MATLAB / Simulink ile oluşturulan gömülü modeller eZdsp F28335 kiti kullanılarak işlemciye aktarılmıştır. Tip – 1 ve tip – 2 BMD algoritmaları, Simulink' de bulunan Embedded MATLAB Function bloğunun içine yazılan script kodlarıyla geliştirilmiştir. Performans ölçümleri yapılırken kullanılan ışıyım ve sıcaklık bilgileri, çatıda bulunan FV panellerin yanına yerleştirilen Kipp&Zonen marka CMP 11 pironometre ve Maxim/Dallas firmasının ürettiği DS18B20 sıcaklık algılayıcısı ile elde edilmiştir. Bu bilgiler tasarlanan veri kartı ile RS232 seri iletişim protokolü kullanılarak bilgisayar ortamına taşınmıştır. Yapılan benzetim ve uygulama çalışmaları neticesinde, önerilen tip – 2 BMD algoritmasının diğer alternatif algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bu çalışma sekiz bölümden meydana gelmektedir. Tezin ikinci bölümünde FV sistemlerin yapıları ile temel bileşenleri açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde DA – DA dönüştürücüler ile üç fazlı eviriciler incelenmektedir. FV sistemin gerçekleştirilmesinde kullanılan yöntemler olan Tip – 1 BMD ve Tip – 2 BMD dördüncü bölümde açıklanmaktadır. Sistem için yapılan benzetim çalışmaları beşinci bölümde, uygulama çalışmaları ise altıncı bölümde sunulmaktadır. Sistem test sonuçları ile sonuç ve değerlendirme bölümleri yedi ve sekizinci bölümlerde yer almaktadır.

2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

FV sistemler güneşten gelen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Güneş panelleri, FV hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşmuş, sistemin enerji ihtiyacını karşılayan, güneş enerjisini DA gerilime dönüştüren ve belli bir güçte üretilen elemanlardır. FV sistem, bir evin ihtiyaçlarını karşılayabileceği gibi çok yüksek güçlü olarak tasarlanıp bir güç istasyonu olarak da kullanılabilir.

FV sistemler yerleşim alanının konumu, ihtiyaç duyulan güç miktarı, maliyet vb. gibi nedenlerle farklı yapılarda oluşturulabilmektedir. Örneğin ortalama güneş ışınımı, sistem gücü ve yükün güç ihtiyacı açısından yeterli seviyede ise ve kuruluş alanı yerel elektrik şebekesinden uzak bir noktada ise bağımsız bir FV sistem kurulabilirken ortalama güneş ışınımı yüksek düzeyde ve üretilen ihtiyaç fazlası enerji yerel elektrik şebekesine verilebilecek durumdaysa, şebeke bağlantılı bir FV sistem tasarlanabilmektedir. Enerji dağıtım hattından belli bir güce ihtiyaç duyulduğunda bağımsız FV sistem kurulumu yeni bir enerji dağıtım hattı inşa etmekten daha ucuz bir çözüm olmaktadır.

FV panellerden üretilen enerji Aralık 2011 tarihi itibari ile birim güç başına 2,33 Avro'dur [40]. Bu maliyetin diğer fosil yakıtlara göre yüksek olmasına rağmen teknolojiye gelişmeler, FV panel üretiminde verimin artırılmasına yönelik çalışmalar güneş enerjisi kullanımını her geçen gün arttırmaktadır. Panellerin veriminin artırılmasının yanında sistemde kullanılan güç elektroniği devrelerinde kayıpların azaltılması da hedeflenen çalışmalardan biridir.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmada, ülkemizin ortalama yıllık güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti de 1311 kW/m^2 'dir. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi Çizelge 2.1' de verilmektedir. En yüksek ışınım değerlerinin yaz aylarında sağlandığı çizelgeden açıkça görülmektedir.

Çizelge 2.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [41]

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi Saat / ay
	Kcal/cm ² – ay	kWh/m ² – ay	
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308,0 cal / cm ² – gün	3,6 kWh/m ² – gün	7,2 saat / gün

Ülkemizde FV uygulamalara en elverişli bölgeler Güney Doğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleridir. Bölgelere göre güneşlenme süreleri ile ışınım değerleri Çizelge 2.2'de görülmektedir.

Çizelge 2.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [41]

Bölge	Toplam Ortalama Güneş Enerjisi	En Çok Güneş Enerjisi (Haziran)	En Az Güneş Enerjisi (Aralık)	Ortalama Güneşlenme Süresi	En Çok Güneşlenme Süresi (Haziran)	En Az Güneşlenme Süresi (Aralık)
	kWh/m ² -yıl	kWh/m ²	kWh/m ²	saat/yıl	saat	saat
Güneydoğu Anadolu	1460	1980	729	2993	407	126
Akdeniz	1390	1869	476	2956	360	101
Doğu Anadolu	1365	1863	431	2664	371	96
İç Anadolu	1314	1855	412	2628	381	98
Ege	1304	1723	420	2738	373	165
Marmara	1168	1529	345	2409	351	87
Karadeniz	1120	1315	409	1971	273	82

Çizelgeler incelendiğinde en çok güneş enerjisinin sağlandığı ay Temmuz, en az sağlandığı ay ise Aralık ayıdır. Çizelgelerde verilen değerlerin gerçek potansiyelden daha az olduğu yapılan araştırmalarla anlaşılmıştır [37].

2.1. Güneş Pilleri

Güneş enerji sisteminin temel elamanı güneş pili hücreleridir. Güneş pili hücresi, temel yapı malzemesi Silisyum olan ve yabancı parçacıkların Silisyumdan arındırılmasıyla oluşturulmuş bir diyota benzetilebilmektedir. Güneş pillerinin verimliliğini belirleyen, birim alana gelen güneş enerjisinin hangi oranda elektrik enerjisine dönüştürüldüğüdür.

Yerkürenin temel enerji kaynağı güneştir ve yerküreye gelen ışınımın büyük bölümü görünür bölgededir. Seçilen bir dalga boyundaki fotonun taşıdığı enerji ve o dalga boyunda birim yüzeye birim zamanda gelen foton sayısı, seçilen dalga boyundaki gücü tanımlamaktadır. Güneşin gücünün çok büyük olmasına rağmen yerkürenin atmosferinin dışına ulaşan tutar yalnızca küçük bir bölümüdür. Güneş ışınımının havaküreyi geçerken uğradığı değişimin bağlı olduğu değişkenlerin sayısının oldukça fazla olmasına karşın, en önemli değişken, ışığın havakürede aldığı yolun uzunluğudur. Genellikle güneş ışınımı değerlendirilirken atmosfer dışındaki bir nokta başvuru noktası olarak ele alınmaktadır ve buna hava kütle-sıfır (air-mass 0) AM0 adı verilmektedir. Bulutsuz ve güneşli bir havada bile güneş ışınları havaküreyi geçerken yeryüzüne ancak havakürenin dışındaki enerjinin %70'i ile ulaşmaktadır. Yeryüzüne düşen güneş ışınları, doğrudan güneşten gelen ve havakürede saçıldıktan sonra yayınımına uğramış ışınların toplamıdır. Doğrudan ve yayınım ışınım toplamı küresel ışınım olarak adlandırılmaktadır [42].

FV sistemlerin seçiminde, güneş ışınımının verileri büyük önem taşımaktadır. Güneş pilleri verimliliğinin belirlenmesi için yapılan ölçümlerde bir standart koşul söz konusudur. Bu standarda Standard Test Condition – Standart Test Koşulları (STC – STK) ismi verilmektedir. Güneş panellerinin katalog değerlerinde bu koşullardaki veriler bulunmaktadır. Kullanılan bu standart, güneş ışınımının hava-kütle birimi 1,5 (AM 1,5) spektrumu sağlaması ve 1 kW/m² güç yoğunluğunda olmasının yanında güneş panellerinin sıcaklığının ölçümler sırasında 25°C'de tutulması ile sağlanmaktadır [43].

Güneş pilleri yapımında kullanılan maddeler aşağıda sıralanmaktadır [42]:

- Kristal Silisyum: Laboratuvar şartlarında verimi %24, ticari panellerde ise %14'ün üzerindedir.
- Galyum Arsenit: Laboratuvar şartlarında verimi %25 ve %28 olmaktadır.
- Amorf Silisyum: Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Silisyum pillerden elde edilen verim %10, ticari panellerde ise %5 ile %7 aralığındadır.
- Kadmiyum Tellürid: Çoklu kristal yapıdadır. Laboratuvar tipi hücrelerde verim %16 iken ticari panellerde %7 civarındadır.
- Bakır İndiyum Diselenid: Bu çoklu kristal pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş prototip bir panelde ise %10,2 verim elde edilmektedir.
- Optik yoğunlaştırıcı hücreler: Gelen ışığı 10 – 500 kat arasında yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla panel verimi %17'nin, pil verimi ise %30'un üzerine çıkmaktadır.

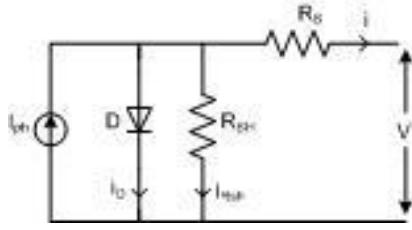
2.2. Güneş Pillerinin Elektriksel Modeli

FV bir hücre, PN bağlantılı bir diyotla paralel bağlı bir akım kaynağı olarak modellenebilmektedir. Akım kaynağı sabit akım üretmekte ve bu akım, hücre üzerine düşen ışığın yoğunluğuyla orantılı olmaktadır.

FV Sistemler hava koşulları ve güneş ışınımından direk olarak etkilenmektedir. FV sistemin verimi ve dolayısıyla fiyatı, harici çalışma koşulları ve bu değişken koşullar altında sistem elemanların en iyi noktada çalıştırılması ile direk ilgilidir. Bu yüzden güneş enerjisi uygulamaları artarken, farklı ve değişken koşullar altında FV sistemin her bir elemanının performansını doğru değerlendirmek önem kazanmaktadır. Bu durum, aynı zamanda sistem tasarımını etkilemekte ve elektriksel parametreleri ani şekilde değiştirerek şebekeyi belli zaman içindeki değişimleri ayarlama durumunda bırakmaktadır.

Bir güneş hücresinin performansını anlamak için hücrenin akım-gerilim bağıntısına ihtiyaç vardır. Güneş pili karakteristikleri evirici çalışmasını ve denetim sisteminin tasarımını etkilemektedir.

Güneş pillerinin modellenmesinde Şekil 2.1’deki devre sıklıkla kullanılmaktadır. Sebebi ise basit ancak kaliteli sonuçlar verecek yapıda olmasıdır. Sistem tasarımında en önemli hususlardan biri panelin seçimidir. Panel üreticisinin bu doğrultuda verdiği veriler açık devre gerilimi, kısa devre akımı, en büyük güç noktasındaki akım ve gerilim değerleri ile bunların sıcaklıkla ve ışınım ile değişim oranlarıdır.



Şekil 2.1. Tek diyot model kullanılan FV hücre eşdeğer devresi

Tek üstel modele dayalı bir FV panelin genel akım-gerilim karakteristiği Eş. 2.1’de verilmektedir [44].

$$i = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{v+iR_s}{n_s V_t}} - 1 \right) - \frac{v+iR_s}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

Eşitlikte geçen v_t birleşim termal gerilimidir ve Eş. 2.2 ile bulunmaktadır.

$$V_t = \frac{AkT_{STC}}{q} \quad (2.2)$$

STC (Standart test koşulları): FV hücre veya panellerin çıkış güçlerini ölçmede kullanılan standart koşullar: Işınım seviyesi 1000W/m^2 , 1,5 AM (air mass – hava kütle) spektral ışınım dağılımı ve hücre veya panel sıcaklığı $25\text{ }^\circ\text{C}$.

I_{ph} - STC altında foto akımı

I_o - STC altında karanlık doyma akımı

R_s - Panel seri direnci

R_{sh} - Panel paralel direnci

A - Diyot kalite (ideallik) faktörü

k Boltzman sabiti, q elektron yükü, n_s paneldeki seri bağlı hücre sayısı, T_{STC} ($^{\circ}K$) STC altında sıcaklık değerlerini göstermektedir.

Kısa devre durumu, maksimum güç noktası durumu ve açık devre durumu gibi üç anahtar nokta için akım değerleri sırasıyla Eş. 2.3, Eş. 2.4 ve Eş. 2.5’de verilmektedir.

$$I_{sc} = I_{ph} - I_o e^{\frac{I_{sc} R_s}{n_s v_t}} - \frac{I_{sc} R_s}{R_{sh}} \quad (2.3)$$

$$I_{MPP} = I_{ph} - I_o e^{\frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s}{n_s v_t}} - \frac{V_{mpp} + I_{mpp} R_s}{R_{sh}} \quad (2.4)$$

$$I_{oc} = 0 = I_{ph} - I_o e^{\frac{V_{oc}}{n_s v_t}} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \quad (2.5)$$

- I_{sc} - STC altında kısa devre akımı
- V_{oc} - STC altında açık devre gerilimi
- V_{mpp} - STC altında maksimum güç noktasındaki gerilim
- I_{mpp} - STC altında MPP’deki akım
- P_{mpp} - STC altında MPP’deki güç
- k_i - kısa devre akımında sıcaklık katsayısı
- k_v - açık devre geriliminde sıcaklık katsayısı

Gerçekleştirilen tez çalışmasında kullanılan güneş paneli, Kyocera marka KD180GH-2P kodlu paneldir. Bu panelin özellikleri Çizelge 2.3’de verilmektedir.

Çizelge 2.3. Kyocera KD180GH-2P FV Panel katalog değerleri

FV Hücre teknolojisi	Çoklu kristal
Paneldeki hücre sayısı ve bağlantı tipi	48 – Seri
Açık devre gerilimi (Voc)	29,5 V
Maksimum güç noktasındaki gerilimi (Vpm)	23,6 V
Kısa devre akımı (Isc)	8,35 A
Maksimum güç noktasındaki akımı (Ipm)	7,63 A
Maksimum gücü (Pm)	180 W

2.3. İki Kademeli FV Sistem

AA yüklerinin çalışmasını sağlayan eviricinin girişi için, uygun, sabit bir gerilimin elde edilebilmesi ve güneş panellerinden üretilen gerilimin farklı bir gerilime ayarlanması iki kademeli FV sistem tasarımı ile mümkün hale gelmektedir. Bu yapıyla DA yüklerin çalıştırılması ve panellerin yerleşiminde esneklik sağlanmaktadır. Tek kademeli eviricilerde evirici girişinin referans gerilime getirilmesi için ayrıca bir denetim algoritması gerekmektedir. Tek kademeli eviricilerde gerilim yükseltme işlemi transformatörlerle sağlanmaktadır. Sisteme eklenen bu transformatör yalıtım sağlamasına rağmen sistem boyutunu, maliyetini ve kaybını arttırmaktadır.

İki kademeli olarak tasarlanan FV sistemlerde, ilk kademe olan DA – DA dönüştürücünün bir işlevi de panellerin her zaman en yüksek gücü verecek noktada çalıştırılmasını sağlamaktır [45-48]. Bu durumda, evirici giriş gerilimi değişken bir gerilim olmaktadır. Evirici giriş geriliminin sabit bir gerilim değerine getirilme işlemi, evirici denetiminde gerçekleştirilmektedir.

Maksimum güç noktası izleyici (MGNI) işlemi tek kademeli FV sistemlerde de gerçekleştirilebilir. Ancak hızlı ışınım değişimlerinde maksimum güç noktasını izlemedeki başarımları iki kademeli FV sistemlerde daha yüksektir. Ayrıca, DA yükünde oluşan hızlı değişim sırasında maksimum gücün izlenme oranındaki sapmadan kaynaklanan güç kaybı, tek kademelide daha fazladır. İki kademelide ise en büyük güç kaybı eklenen DA – DA dönüştürücüdeki anahtarda oluşan kayıplardır. İki sistem karşılaştırıldığında ikisi arasındaki güç kaybı en çok on binde 16 kadardır [12]. Çok küçük bir güç kaybı fazlalığı olsa da, tez çalışmasında tasarım kolaylığı, DA yüklerin çalıştırılabilmesi ve panel yerleşiminin esnekliği düşünülerek DA – DA dönüştürücü içeren iki kademeli FV sistem tasarımı tercih edilmiştir.

2.4. Ada Modlu Çalışan FV Sistemler

FV sistemler, şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantılı olmayan (ada modlu) bir şekilde tasarlanabilmektedir. Şebeke bağlantılı FV sistemlerde öncelik, evirici

çıkışındaki yerel yüklerin çalıştırılmasını sağlamaktır. Eğer FV sistemden üretilen güç, yükün ihtiyacından fazlaysa kalan gücün de şebekeye aktarılması şebeke bağlantılı çalışmayla gerçekleştirilebilmektedir. Bu modda şebeke, sınırsız kapasiteli bir depolayıcı özellik göstermektedir. Bu sayede, depolama kapasitesi sınırlı olan veya hiç olmayan ada modlu çalışmada boşa giden enerji, şebeke bağlantılıda olmayacaktır. Bu da şebeke bağlantılı FV sistemlerin verimini ada modlu çalışmadakine göre arttıran en önemli özelliktir. Şebekeye yakın yerlerde, elektrik dağıtım hatlarından bağımsız olarak enerji üretimi ve iletimi, şebeke bağlantılı çalışma moduyla sağlanabilmektedir. Bu modda yerel bir yük olmadan üretilen enerjinin tamamı şebekeye aktarılabilmektedir [49].

Enerji iletim hattının taşınma maliyetinin yüksek olduğu uzak mesafelerde çalıştırılması gereken yükler için ada modlu FV sistem önerilmektedir. Fenerler ve uzaktan kumanda istasyonları ile askeri ve sürekli üretim yapması gereken tesislerde yardımcı güç birimleri için ada modlu çalışan FV sistemler önerilmektedir [49]. Bu sistemlerde en önemli öncelik yükün çalıştırılmasıdır. Sistemin kapasitesini tamamen yükün ihtiyaçları belirlemektedir. En büyük dezavantajı yükün her zaman çalıştırılmasını sağlamak için sisteme eklenen akülerdir. Bu aküler hem sistem boyutunu hem de maliyetini artırmaktadır. Ayrıca, akülerin bakım gerektirmeleri sebebiyle sistemin ömrünü de azaltmaktadır.

Şebeke bağlantılı ya da bağlantısız iki sistemin de ortak noktası çevreye duyarlı temiz bir enerji üretimidir. Ekonomik getiriler, şebekenin yüke mesafesi, sistem boyutu gibi özellikler seçimi etkilemektedir. FV sistemden üretilen enerji, şebeke bağlantılıda hiçbir şekilde boşa gitmemektedir. Bu açıdan ekonomik bir çözümdür. Ancak elektrik dağıtım hattının uzak ve iletiminin pahalı olduğu yerlerde de ada modlu FV sistem ekonomik bir çözüm olmaktadır.

2.5. FV Sistemler için Kritik Noktalar

FV sistemlerin tasarımında çeşitli kritik noktalar mevcuttur. Bunlar teknik, ekonomik ve sosyal alanlar olarak alt gruplara ayrılabilir. Kurumsal yapılanma,

mülkiyet sorunu, finansman planı ve satış sonrası sözleşmeler gibi kritik noktaların yanında sistem tasarımı için teknik olmayan, çevresel kritik beklentiler de mevcuttur.

Sistem kurulumunda FV paneller, toplam maliyetin %65' ini oluşturmaktadır. Eğer sistemde depolama özelliği kullanılacaksa, aküler %13, şarj denetleyiciler yaklaşık %5' lik bir maliyet oranına sahip olacaktır. FV sistemi oluşturan bileşenlerin ömürleri de farklı olmaktadır. FV panellerin ömrü 20 yıl kadar iken sistemde kullanılan akülerin ömürleri yaklaşık 3 yıldır. Bu da depolama özelliği olan FV sistemlerin bakım maliyetinin fazla olduğunun bir göstergesidir.

FV sistem tasarımı için kurumsal ve finansal birçok sözleşme yapılmaktadır. Sonuç olarak, ticari dağıtım sistemlerinde tam mülkiyet durumundan, devlet projelerinde devlet mülkiyetine kadar sistem sahipliği değişiklik göstermektedir. Bu da sistem tasarımı, değişikliği, bakımı gibi durumlarda yetki belirlemesini etkilemektedir. Bu yüzden mülkiyet durumu kritik noktalardan biridir.

Satış sonrası sözleşmeler, FV sistemin diğer kritik beklentisidir. Garanti kapsamındaki bileşenlerin değişimi, tamir ve bakımı çeşitli sözleşmelerle garanti altına alınmalıdır. Kullanılan bileşenlerin kaliteli seçilmesi de kullanım ömrünü uzatmakta, bakım ve tamir gerekliliğini azaltmaktadır. Bu yüzden eleman seçiminde kaliteli malzeme seçimi FV sistemler için önemli bir noktadır.

Tasarım için alan tecrübesi de önemli bir faktördür. Dağıtım şirketi tarafından düzenlenen toplantılarla sistem tanıtımı, bileşenlerin çıkarabileceği arızalar, bunların bakımıyla ilgili bilgilerin temini FV sistemler için belirlenen kritik beklentilerden biridir.

Akülü sistemlerde kullanılan akülerin ömürlerinin uzatılması önemli bir çalışma konusudur. Bu akülerin geri dönüşümü sağlanabilmektedir. Ancak bu durumda çevreye verilen zararlar da göz ardı edilmemelidir.

Teknik olarak FV sistemlerin kritik noktaları, sistem kayıpları, FV panellerin boyutlandırılması, bileşenlerin boyutlandırılması ve genişletilebilirlik konuları olarak belirlenebilmektedir.

Sistemi oluşturan elemanların seçiminden önce sistemde oluşabilecek kayıpların tahmini olarak hesaplanması gerekmektedir. Bu kayıplara göre, kullanıcı ihtiyaçlarının belirlenmeli ve buna göre FV panel seçimi yapılmalıdır. Panellerde oluşan kayıplar, panellerin montajı için yer seçiminden, panelin gölgede kalmasından, panel üzerindeki tozdan, sıcaklığın panele olan etkisinden ve üretici firmanın katalog değerindeki uyumsuzluktan kaynaklanan kayıplar olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun dışında FV sistemdeki kablo kayıpları, yarı iletken enerji kayıpları, aküdeki kimyasal ve elektriksel enerji dönüşüm kayıpları ile şarj regülatöründeki kayıplar da tasarımda göz önüne alınmalıdır.

FV sistemin boyutlandırılması da diğer bir kritik tasarım noktasıdır. Günlük ışınım miktarı, sıcaklık değeri, kullanılan elektrik yükleri ve bunların çalıştırılma saatleri FV panellerin boyutlandırılmasında önemlidir. Kullanılacak FV paneller belirlendikten sonra, sistemin diğer bileşenlerinin boyutlandırılması gerekmektedir.

FV sistem tasarımı için diğer bir önemli nokta da sistemin genişletilebilir özellikte olmasıdır. FV sistemle beslenecek yük miktarının artması durumunda, FV panel sayısının, sistem bileşenlerinin arttırılabilir özellikte olması tasarım süresini ve maliyetini azaltmaktadır.

3. GÜÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİ

Güç elektroniği malzemeleri, denetim teknikleri ve mikro denetleyici teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak anahtarlamalı regülatörlerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları genellikle regülesiz düşük gerilim üretmektedirler. FV sistemlerde değişen ışınım ve sıcaklığa göre panel gerilim ve akımında değişiklik olmaktadır.

İki kademeli eviricilerde evirici girişi için uygun sabit bir DA baranın elde edilmesi için DA – DA dönüştürücü kullanılmaktadır. DA – DA dönüştürücüler bir DA gerilim değerini, başka bir DA gerilim değerine dönüştürmek için kullanılan devrelerdir. DA-DA dönüştürücü tasarımında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Yöntemleri farklı kılan, temel devre elemanlarının bağlantı şekilleridir. Farklı bağlantı şekilleri, kimisinde gerilimi düşürürken kimisinde ise gerilimi yükseltmektedir.

Dönüştürücü yapısını, eviricinin giriş gerilimi ile panel gerilimi arasındaki fark belirlemektedir. Eviricinin olması gereken gerilim değerinden daha düşük bir FV panel gerilimi varsa, yükselten tip dönüştürücü (boost converter) kullanılmalıdır. Eğer panel gerilimi, eviricinin olması gereken giriş geriliminden büyük bir değerde ise dönüştürücü düşüren tipte (buck converter) tasarlanmalıdır.

Eviriciler DA elektrik enerjisini AA elektrik enerjisine dönüştüren güç elektroniği devreleridir. Kesintisiz güç kaynakları, AA motorlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarında kullanılmaktadır. Eviriciler tasarlanırken anahtarlama frekansının belirlenmesi önemli bir adımdır. Anahtarlama frekansının artması ile çıkışta oluşan harmonikler ve tasarlanan filtrenin boyutları azalmakta ancak anahtarlama kayıpları artmaktadır.

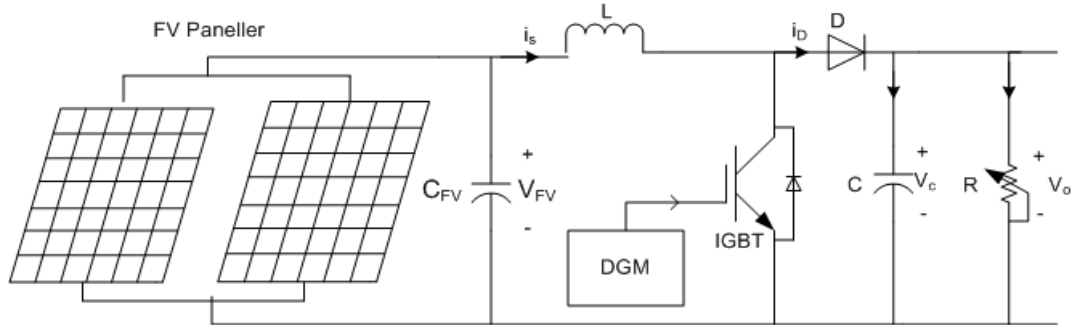
Orta ve büyük güçlü uygulamalar için üç fazlı evirici tasarımı gerçekleştirilmektedir. Faz açısı, frekans ile gerilim veya akım üç fazlı sistemlerde denetlenen değişkenlerdir. Üç fazlı eviriciler ile birbirlerine göre 120° faz farklı gerilim elde edilmektedir. Üç fazlı eviricilerde, dengeli üç fazlı çıkış gerilimli elde edebilmek

için, tek bir üçgen dalga şekli, üç adet 120° faz farklı sinüzoidal denetim gerilimi ile karşılaştırılarak Dalga Genişlik Modülasyonu (DGM) işaretleri oluşturulmaktadır [50].

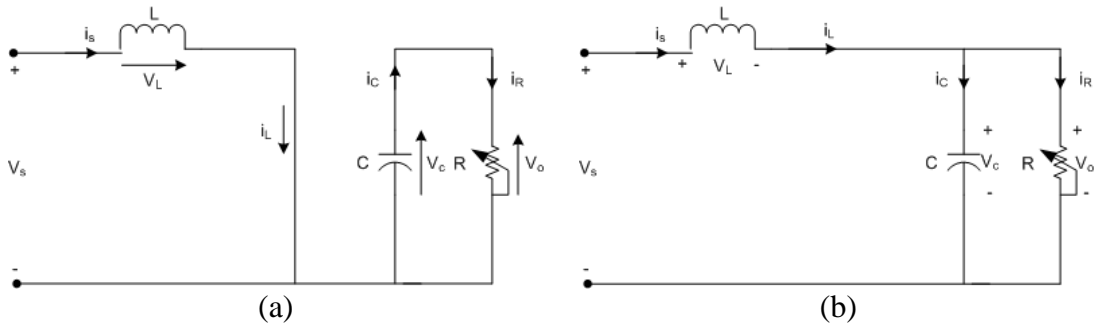
3.1. DA – DA Yükselten Tip Dönüştürücü

Güneş panelleri günün değişik zamanlarında ortamdaki sıcaklık ve ışınım gibi dış etkilere bağlı olarak farklı güç değerleri üretmektedir. Evirici girişinde, sabit bir gerilimin, her türlü çevresel şartta sağlanması için DA – DA dönüştürücü tasarımı yapılması gerekmektedir. FV sistemlerde kullanılan dönüştürücünün yapısını, güneş panellerinden elde edilen giriş gerilimi (V_i) ile dönüştürücünün çıkış gerilimi (V_o) arasındaki fark belirlemektedir. Bu tez çalışmasında seri bağlanan FV panellerden elde edilen gerilim değeri, eviricinin giriş gerilim değerinden düşük olduğu için ilk kademe, yükselten tip DA – DA dönüştürücü olarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.1’de DGM’ li yükselten tip DA – DA dönüştürücünün yapısı görülmektedir. Devrede sistemin enerjisini sağlayan FV paneller, bu panellere paralel bağlı yüksek kapasiteli kondansatör, yükselme bobini, anahtar olarak kullanılan IGBT, diyot, çıkış kondansatörü ve eviriciyi temsilen ayarlı bir yük bulunmaktadır. Gerilim yükselten dönüştürücüde, çıkış gerilimi giriş geriliminden büyüktür. IGBT’ nin gate ucuna DGM işareti uygulandığında, IGBT iletme geçmektedir. Bu durumda diyoda ters gerilim uygulandığından diyot kesime gitmektedir. Panellerden sağlanan akımın tamamı bobin üzerinden geçmekte, bobin gerilimi giriş gerilimine eşit ($V_L=V_s$) olmaktadır. IGBT iletim durumunda iken devre şeması Şekil 3.2.a’ da görülmektedir. IGBT’nin gate ucuna gelen DGM 0’a düştüğünde ise IGBT kesime gitmektedir. Kesim durumunun eş değer devresi Şekil 3.2.b’ de görülmektedir. Bu durumda, bobin üzerindeki gerilim, giriş ve çıkış gerilimlerinin farkına ($V_L=V_s - V_o$) eşit olmaktadır. Böylece çıkış, hem girişteki kaynak hem de bobin üzerinde biriken enerji ile beslenmektedir. Burada devrenin sürekli iletim modunda çalıştığı ve kaynaktan gelen enerji kesildiğinde çıkış filtre kondansatörünün değerinin yükü besleyecek düzeyde olduğu kabul edilmektedir [51].



Şekil 3.1. Yükselten tip dönüştürücünün yapısı



Şekil 3.2. Yükselten tip DA – DA dönüştürücünün anahtar konumlarındaki eşdeğer devreleri

- Anahtar iletimde iken eşdeğer devre
- Anahtar kesimde iken eşdeğer devre

Kararlı durumda, bir periyotluk zaman diliminde bobin üzerine düşen gerilimin zamana göre integrali sıfırdır.

$$v_s \cdot t_{on} + (v_s - v_o) \cdot t_{off} = 0 \quad (3.1)$$

Eş. 3.1'deki ifadeler T_s anahtarlama süresine bölüldüğünde, yükselten tip DA – DA dönüştürücülerde ortalama çıkış gerilimi ile anahtarlama oranı arasındaki ilişki elde edilmektedir. Bu bağıntı Eş. 2' de verilmiştir.

$$v_o/v_s = T_s/t_{off} = 1/(1 - d) \quad (3.2)$$

Kayıplar ihmal edildiğinde $P_s = P_o$ olmaktadır. Bu yüzden akımlar ile DGM işaretinin görev süresi arasındaki ilişki Eş.3.3' de görülmektedir.

$$v_s \cdot i_s = v_o \cdot i_o \rightarrow i_o/i_s = (1 - d) \quad (3.3)$$

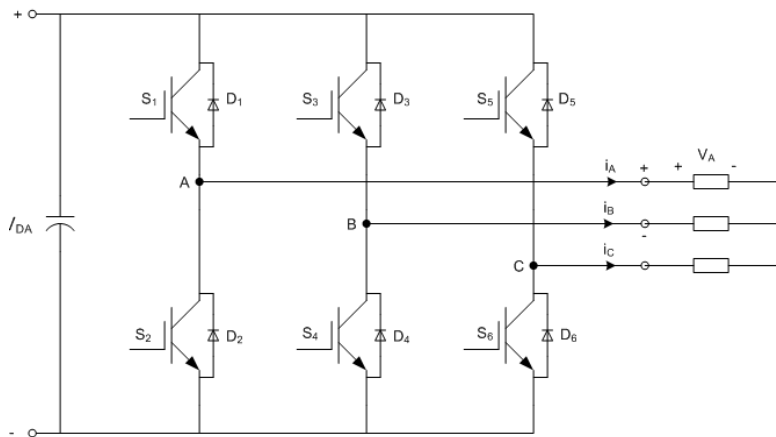
3.2. Eviriciler

Eviriciler, yarı iletken güç elemanlarının uygun bir şekilde denetlenmesiyle, DA gerilimi istenen genlik ve frekansta AA gerilime dönüştüren devrelerdir. Bir eviricinin çıkış gerilimi, tek fazlı veya üç fazlı, kare dalga, sinüs benzeşimli veya tam sinüs olarak elde edilebilmektedir.

Eviriciler, uygulamada besleme özelliklerine göre akım kaynaklı ve gerilim kaynaklı olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

3.2.1. Gerilim kaynaklı eviriciler

Gerilim kaynaklı eviricide DA hattaki gerilimin dalgacıksız olması için kaynağa paralel, yüksek kapasiteli bir kondansatör bağlanmalı, anahtara iletilen gerilim bu kondansatörün üzerinden iletilmelidir. Şekil 3.3' de gerilim kaynaklı üç fazlı evirici yapısı görülmektedir. Bu eviriciler, anahtarlar kesimde iken sadece gerilimi bir yönde bloke edebildiklerinden her iki yönde akım geçirebilirler [37].



Şekil 3.3. Gerilim kaynaklı 3 fazlı evirici devre şeması

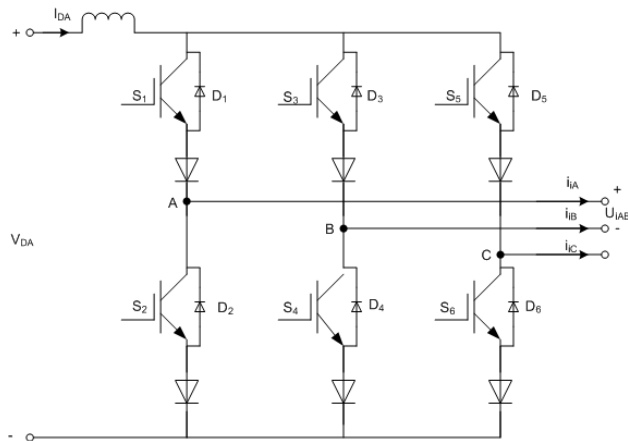
Gerilim kaynaklı eviricilerde DA bara gerilimi, AA çıkış geriliminden büyük olmak zorundadır. Her bir faz hattındaki üst ve alt anahtarlar, hiçbir şekilde aynı anda aktif hale getirilmemelidir. Aksi halde kaynak, anahtarlar üzerinden kısa devre olmakta ve

elemanlara zarar vermektedir. Bunu engellemek için, ölü zaman adı verilen ve aynı koldaki anahtarların aynı anda ilettime geçmelerini engellemek için iki DGM işaretinin arasına belli bir süre koyulmakta, bu da çıkıştaki sinyalde bozulmalara neden olmaktadır. Ayrıca, gerilim kaynaklı evirici çıkışında sinüzoidal bir gerilim elde etmek için çıkışa bir LC filtre eklenmelidir [24].

3.2.2. Akım kaynaklı eviriciler

Akım kaynaklı evirici, denetimli bir akım kaynağı olarak tanımlanabilecek bir DA hatta sahiptir. Akım kaynaklı eviricilerde, kaynağa seri bağlı büyük değerlikli bir bobin üzerinden enerji aktarımı sağlanmaktadır.

Şekil 3.4' de akım kaynaklı evirici devre şeması görülmektedir. Eviricideki anahtarlara seri bağlı diyotlar sayesinde ters gerilim engellenebilmektedir. Ancak bu durum devredeki kayıpları arttırmakta, piyasada kolay bulunan anahtarların (IGBT, MOSFET, IPM vb.) direk kullanımını engellemektedir. Anahtar olarak GTO kullanılırsa seri diyotların kullanılmasına gerek yoktur.



Şekil 3.4. Akım kaynaklı evirici devre şeması

3.2.3. Üç fazlı eviriciler

Üç fazlı evirici, çıkışı birbirinden temel frekansa göre 120° kaydırılmış, her faz için bir kol olmak üzere üç adet koldan oluşan güç devreleridir. Her hattın çıkış gerilimi, V_{DA} ve anahtarların durumuna bağlıdır. Üst koldaki anahtarlama elemanlarından biri kesime girdikten sonra, karşılık gelen alt koldaki anahtarlama elemanı, ölü zaman

değeri kadar sonra ilettime sokulmaktadır. Böylece, aynı fazdaki iki anahtarlama elemanınin aynı anda ilettime girmesi ve DC giriş kaynağının kısa devre olması engellenmektedir. Bu da kaynağın ve anahtarlama elemanlarının korunması anlamına gelmektedir. Şekil 3.3’ de görülen evirici devresinde yük uçlarındaki faz gerilimleri Eş. 3.4 ile elde edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \frac{1}{3} V_{DA} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Burada S_a , S_b ve S_c her bir faz kolundaki anahtarlama durumunu göstermektedir. Üst koldaki anahtarın ilettimeinde $S_a = 1$ değerini alırken, alt anahtarın ilettimeinde olma durumunda $S_a = 0$ değerini almaktadır.

Eviricideki üst veya alt kollardan birinin ilettimeinde, diğerinin kesimde olması için sekiz farklı anahtarlama durumu mümkündür. Üç fazlı AA çıkış gerilimi elde etmek için eviricinin sekiz anahtarlama durumunun altısı arasında anahtarlanmasıyla gerçekleştirilen çalışma, “kare dalga çalışma modu” olarak adlandırılmaktadır. Kalan iki durum (111 ve 000), sıfır durumdur ve bu durumlarda tüm fazlar, (111) için DA kaynağın pozitif ucuna, (000) için de DA kaynağın negatif ucuna bağlandığından çıkış gerilimi sıfır olmaktadır [52]. Sekiz anahtarlama durumunun kombinasyonu ve DA kaynak gerilimi V_{DA} ’ ya göre faz ve fazlar arası çıkış gerilimleri Çizelge 3.1’ de görülmektedir. İstenen gerilim dalga şeklinin elde edilebilmesi için evirici bu anahtar konumları arasında geçişler yapmaktadır. Anahtarların konumu ise kullanılan modülasyon tekniği ile belirlenmektedir.

Çizelge 3.1. Anahtarların durumlarına göre çıkış gerilim değerleri

Anahtarlama durumları			Faz gerilimleri			Fazlar arası gerilimler		
S_a	S_b	S_c	V_A	V_B	V_C	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	$2/3V_{DA}$	$-1/3V_{DA}$	$-1/3V_{DA}$	V_{DA}	0	$-V_{DA}$
1	1	0	$1/3V_{DA}$	$1/3V_{DA}$	$-2/3V_{DA}$	0	V_{DA}	$-V_{DA}$
0	1	0	$-1/3V_{DA}$	$2/3V_{DA}$	$-1/3V_{DA}$	$-V_{DA}$	V_{DA}	0
0	1	1	$-2/3V_{DA}$	$1/3V_{DA}$	$1/3V_{DA}$	$-V_{DA}$	0	V_{DA}
0	0	1	$-1/3V_{DA}$	$-1/3V_{DA}$	$2/3V_{DA}$	0	$-V_{DA}$	V_{DA}
1	0	1	$1/3V_{DA}$	$-2/3V_{DA}$	$1/3V_{DA}$	V_{DA}	$-V_{DA}$	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0

Uzay vektör modülasyonu

Eviricide bulunan anahtarların tetiklenme sırasını kullanılan modülasyon tekniği belirlemektedir. Bunun için en kolay ve en ekonomik yöntem DGM yöntemidir. DGM yönteminde, giriş genliğinin uygulama süresi ya da darbe genişliği çıkışta istenilen sinüzoidal işarete göre modüle edilerek darbe dizisi biçiminde işaretler oluşturulmaktadır. DGM dalga şekli farklı yöntemlerle elde edilebilmektedir. Bunun için çeşitli modülasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Gerilim kaynaklı eviricilerde, sinüzoidal DGM (SDGM), harmonik elemeli DGM (HE-DGM), uzay vektör DGM (UVDGM), histerezis akım denetimi DGM, delta modülasyonu ve sigma delta modülasyonu yöntemleri yaygın kullanılan yöntemlerdir [53].

Uzay vektör modülasyonu ile DA bara geriliminin %15 daha etkin kullanıldığı, bu yöntemin işlemlerin vektörel olarak yapılması açısından uygun olduğu, üç fazlı sinüsoidal gerilimlerin dönen bir vektör ile kolaylıkla sentezlenebileceği ve sinüsoidal DGM yöntemine göre aynı anahtarlama frekansı için daha düşük THD değerinin elde edildiği yapılan uygulamalarla tespit edilmiştir [54-56]. Bu modülasyon tekniği, karmaşık hesaplamalar, karmaşık koordinasyon dönüşümleri ve trigonometrik fonksiyonlar içerdiğinden yalnızca sayısal olarak gerçekleştirilebilmektedir.

UVM yönteminde, evirici gerilimleri uzay vektörüne dönüştürülmektedir. Üç adet zamanla değişen büyüklüğün toplamları sıfır ve aralarındaki faz farkı 120° ise bu büyüklükler tek bir uzay vektörü ile temsil edilebilmektedir. Üç fazlı büyüklükler sabit veya senkron olarak dönel ekseninde iki fazlı büyüklüklere dönüştürülmektedir. Gerilim uzay vektörüne dönüştürülen üç fazlı büyüklüğün, sabit referans ekseninde, genlik ve açı bilgilerinin elde edilebilmesi için Clarke dönüşümü kullanılmaktadır. Evirici geriliminin sabit referans eksenindeki uzay vektör değeri Eş. 3.5 kullanılarak elde edilmektedir.

$$\vec{V} = V_\alpha + jV_\beta = \left(\frac{2}{3}\right)(V_{A0}a^0 + V_{B0}a^1 + V_{C0}a^2) \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ 'dir. Bu gerilim vektörünün genliği ve faz açısı sırasıyla Eş. 3.6 ve Eş. 3.7'de görülmektedir.

$$|V| = \sqrt{V_\alpha^2 + V_\beta^2} \quad (3.6)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{V_\beta}{V_\alpha} \right) \quad (3.7)$$

Eş. 3.5'deki ifadede yer alan a değeri yerine yazılacak olursa Eş. 3.8 elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} V_\alpha + jV_\beta &= (2/3) \left(V_{A0} + V_{B0}e^{j\frac{2\pi}{3}} + V_{C0}e^{j\frac{2\pi}{3}} \right) \\ &= (2/3) \left(V_{A0} + \cos \frac{2\pi}{3} V_{B0} + \cos \frac{2\pi}{3} V_{C0} \right) + j(2/3) \left(\sin \frac{2\pi}{3} V_{B0} - \sin \frac{2\pi}{3} V_{C0} \right) \end{aligned} \quad (3.8)$$

Bu eşitliklerde gerçek ve sanal kısımlar birleştirilerek Eş. 3.9 ve Eş. 3.10 değerleri elde edilmektedir.

$$V_\alpha = (2/3) \left(V_{A0} - \frac{1}{2}V_{B0} - \frac{1}{2}V_{C0} \right) \quad (3.9)$$

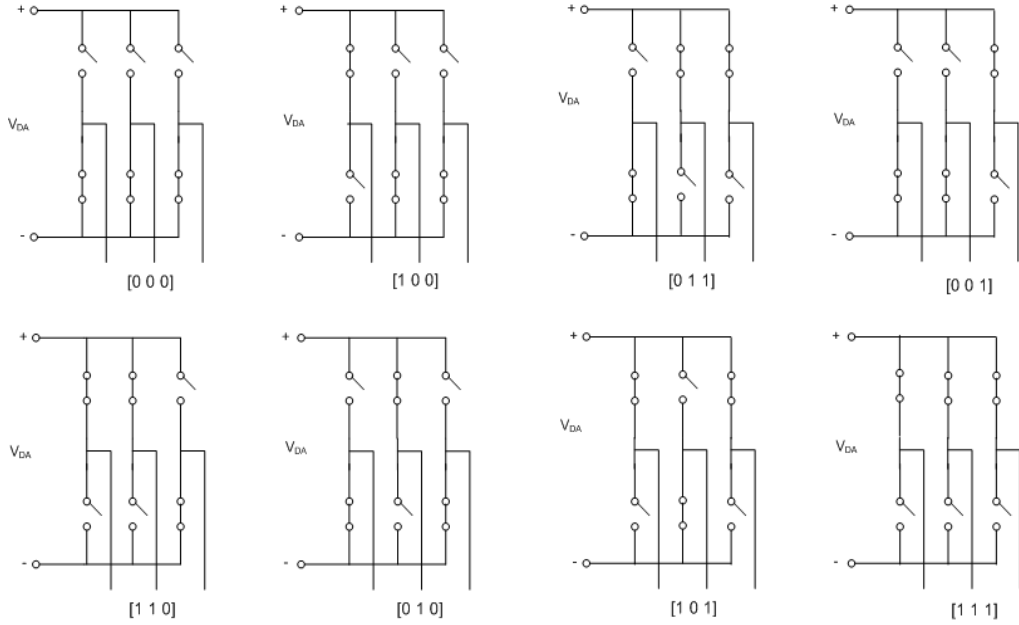
$$V_\beta = (2/3) \left(0 - \frac{\sqrt{3}}{2}V_{B0} - \frac{\sqrt{3}}{2}V_{C0} \right) \quad (3.10)$$

V_{A0} , V_{B0} ve V_{C0} evirici faz gerilimlerinin sabit referans ekseninde uzay vektör gösterimi şeklinde kullanılan V_α ve V_β vektör bileşenleri Clarke dönüşümü ile Eş. 3.11'de elde edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{A0} \\ V_{B0} \\ V_{C0} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

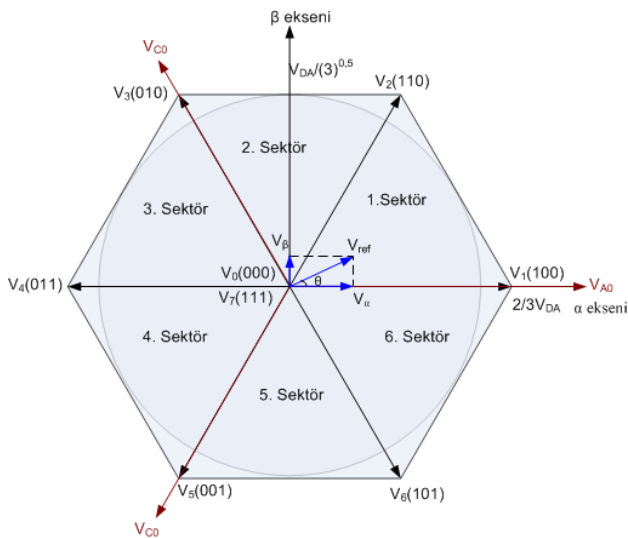
Üç fazlı gerilim kaynaklı eviricinin sekiz adet anahtarlama durumu Şekil 3.5' de görülmektedir. Eviricide üst kolların tamamının kesimde olması (0 0 0) ile üst kolların tamamının iletimde olması (1 1 1) çıkış geriliminin sıfır olması anlamına gelmektedir. Bu sekiz farklı durum için tam sekiz farklı gerilim uzay vektörü tanımlanmaktadır. Bu vektörler Eş. 3.12'deki eşitlikle elde edilmektedir.

$$V_k = \begin{cases} \frac{2}{3} V_{DA} e^{j(k-1)\frac{\pi}{3}} & k = 1,2,3,4,5,6 \\ 0 & k = 0,7 \end{cases} \quad (3.12)$$



Şekil 3.5. Evirici anahtarlarının durumları

Dengeli üç fazlı gerilimler, uzayda ω açısal hızıyla dönen ve karmaşık düzlem üzerinde dairesel bir yörünge tanımlayan bir gerilim uzay vektörü ile gösterilmektedir [52]. Altısı aktif durum, ikisi sıfır vektörü olan bu vektörler Şekil 3.6' da görüldüğü gibi bir altıgen oluşturmakta ve birbirini takip eden sıfırdan farklı gerilimler arasındaki açı her zaman 60° olmaktadır.

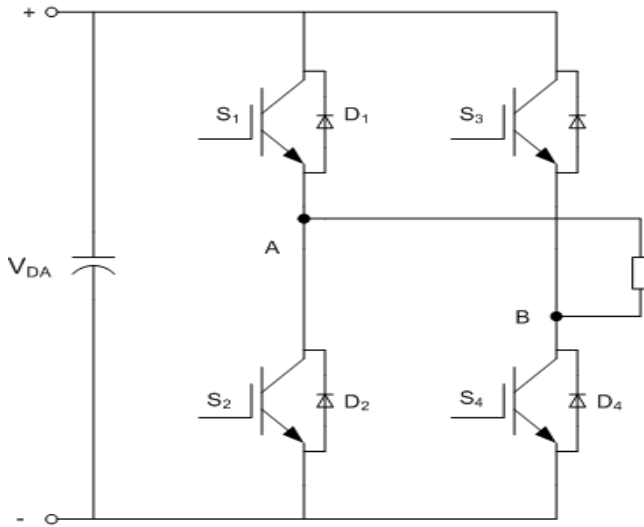


Şekil 3.6. Evirici durumları ve referans gerilim vektörünün sabit eksende gösterimi

UVM metodunda, her bir anahtarlama periyodunda en yakın iki aktif vektör ve sıfır vektörleri arasında güç elemanlarının anahtarlama ile dönen referans vektöre yaklaşım sağlanmaktadır. Güç anahtarlama elemanlarının etkin şekilde denetimi için bu vektörlerin değişim sırası her adımda sadece tek bir evirici kolu anahtarlacak şekilde belirlenmektedir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında UVM işlemi MATLAB/Simulink' de bulunan SVM (Space Vector Modulation) bloğu ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.4. Tek fazlı eviriciler

Tam köprü tek fazlı gerilim kaynaklı evirici şeması Şekil 3.7' de görülmektedir. Tek fazlı evirici, her biri iki adet anahtarlama elemanı içeren iki koldan oluşmaktadır. Yarım köprü eviricide iki adet anahtar kullanılırken tam köprü eviricide dört anahtar kullanılmaktadır. Büyük güçlü yükler için tam köprü evirici tasarlanmaktadır. S1 ve S4 anahtarları ilettime geçtiğinde yük uçlarında + V_{DA} görülmektedir. S2 ve S3 anahtarları ilettime geçtiğinde ise yük uçlarında negatif DA gerilimi görülmektedir. Böylece AA gerilim evirici çıkışında elde edilmiş olur.



Şekil 3.7. Tek fazlı evirici devre şeması

4. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİLER

DA – DA dönüştürücüler ve eviriciler, yüksek anahtarlama frekansı ile anahtarlanan ve içerisinde enerji depolayan pasif elemanlar (bobin, kondansatör) barındıran güç elektroniği devreleridir. Bu devrelerin dinamik performansları ile geçici ve kalıcı durum davranışları, devre tasarımı, eleman ve modülasyon tipi seçimi gibi ölçütlerle birlikte denetleyici seçimiyle de yakından ilgilidir. Evirici ve DA – DA dönüştürücünün dinamikleri doğrusal değildir ve teorik yaklaşımlardan oldukça farklıdır. Sebebi ise devrede kullanılan elemanların kaçak kapasiteleri ve endüktanslarıdır. Sistemde oluşan harmonikler, akım ve gerilimin frekans ve faz açılarındaki değişimler, aşımalar, sistemin kararlı duruma gelmesi için geçen süre, yük değişiminde sistemin verdiği tepkilerin süresi seçilen denetim algoritmasıyla doğrudan ilgilidir. Ortaya çıkan bu sorunlar, araştırmacıları, geleneksel denetleyiciler yerine, yüksek doğruluklu, kolay programlanabilir ve ucuz mikro denetleyicilerle gerçekleştirilebilecek yeni denetim algoritmaları geliştirmeye yöneltmiştir.

Bulanık mantık, sorunların çözümü için dilsel yaklaşımlar kullanan matematiksel bir algoritmadır. Bulanık mantıkta amaç, uzman deneyiminden faydalanarak, dilsel denetim stratejisini otomatik denetim stratejisine dönüştürmektir. Endüstriyel bir süreç denetiminde aranan özellikler, güvenilirlik, kararlılık, ucuzluk ve kolay gerçekleştirilmedir. Bu özelliklerin sağlanabilmesi için, denetlenecek sistemin yapısının ve dinamik özelliklerinin iyi bilinip, bunlara göre matematiksel modellerinin çıkarılması gerekmektedir. Bu da her sistem için mümkün değildir. Bulanık mantık denetimi, sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duymadan, uzmanın deneyimlerine göre denetim yapan bir sistemdir.

Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Bulanık küme, değişik üyelik derecelerine sahip elemanları olan bir küme türüdür. Böyle bir kümenin elemanlarının her biri 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerine sahiptir. Bulanık mantık insan mantığında olduğu gibi, çok uzun-uzun-orta-kısa-çok kısa, sıcak-ılık-az soğuk-soğuk-çok soğuk gibi ara değerlere göre çalışmaktadır [57].

Matematiksel model gerektirmeyen ancak uzman bilgisine başvuru alan denetim sistemi bulanık mantık denetleyicidir. Bu denetleyiciler, günümüzde farklı bir yaklaşım sunan ve belirsizliklerin ortadan kaldırıldığı yeni bir algoritma olan Tip – 2 Bulanık Mantık Denetleyiciler (tip – 2 BMD) çıktıktan sonra tip – 1 BMD olarak isimlendirilmektedir.

Tip – 1 .BMD’ de kullanılan bulanık kümeler, üyelik dereceleri ve kural tabanı, tatmin edici sonuçlar almak için uzun süren bir deneme – yanılma işleminden sonra belirlenebilmektedir [15-18, 35-36]. Bunun dışında, güç devrelerinin doğrusal olmayan yapılarından ve FV sistemlerin çevresel şartlardan direk olarak etkilenmesinden dolayı ortaya belirsiz durumlar çıkmaktadır. Bu belirsiz durumların modellenmesinde geleneksel bulanık kümeler yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden, gerçekleştirilen tez çalışmasında, belirsizlikleri denetim algoritmasına daha fazla dahil edebilmek için DA – DA dönüştürücü ve üç fazlı evirici denetiminde tip – 2 BMD kullanılmıştır.

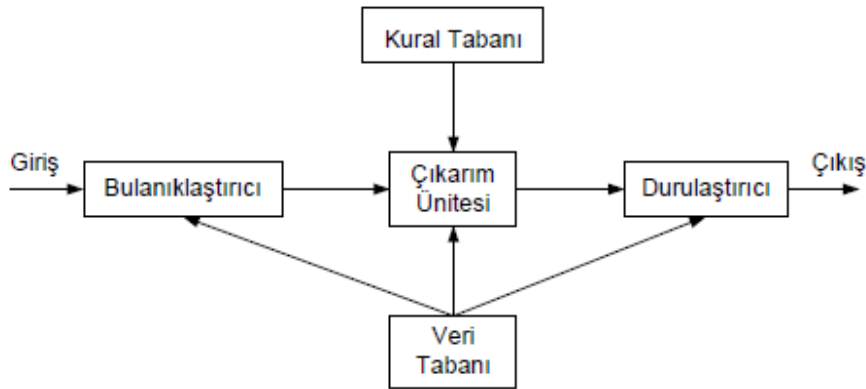
4.1. Tip – 1 BMD

Keskin mantıkta bir olayın sonucu kesin bir ifade ile belirtilmektedir. Buna göre sonuç ya doğru ya da yanlıştır. Geleneksel mantık tabanlı sistemlerde sonuç, sadece 0 ve 1 değerini almaktadır. Keskin matematiksel yöntemlerle karmaşık sistemleri modellemek ve denetlemek bu yüzden zordur. Bulanık mantık bu durumlarda daha niteliksel bir tanımlama olanağı sağlamaktadır.

Tip – 1 BMD, yanlış, gürültülü veya eksik bilgilerin olduğu durumlarda belli bir sonuca ulaşmak için geliştirilmiş bir denetim algoritmasıdır. Bulanık denetim, ‘IF ... THEN’ kurallarıyla ve bulanık mantık sonuç çıkarma mekanizmasıyla bir denetim kuralıdır. Bu denetleyicilerde, PI, PID gibi geleneksel denetim teknikleri için kullanılan matematiksel model yerine sistem hakkında uzman kişinin deneyimleri kullanılmaktadır.

Tip – 1 BMD, tip – 1 bulanık kümeler kullanmaktadır. Bulanık kümeleri geleneksel kümelerden ayıran en temel özellik sayısal değişkenler yerine dilsel değişkenleri kullanmasıdır [58].

Tip – 1 BMD' nin temel yapısı Şekil 4.1' de görülmektedir. Tip – 1 BMD beş bölümden oluşmaktadır. Bulanıklaştırıcı, sayısal veri üzerinde ölçek değiştirerek sayısal veriyi bulanık veriye dönüştürmektedir. Veri tabanı, girişlerin yerleştirileceği üyelik fonksiyonlarını içermektedir. Kural tabanı, uygun çıkışlar sağlamak için uzmanın deneyimine dayalı olarak oluşturulmuş dilsel kurallar içermektedir. Çıkarım ünitesi, veri tabanından alınan üyelik derecesi bilgileri ve kural tabanından alınan bunlara uygun çıkış verileri işlenerek bulanık bir değer elde edilmektedir. Kurallar EĞER .. İSE yapısından oluşmaktadır. Burada EĞER kelimesi öncül (antecedent) durumu ifade etmektedir. İSE kelimesiyle de sonuç (consequent) ifadesi belirtilmektedir. Durulaştırıcı ile çıkarım ünitesinden gelen sayısal veri, keskin denetim sinyaline dönüştürülmektedir [57].



Şekil 4.1. BMD temel yapısı [58]

4.2. Tip – 2 BMD

Geleneksel BMD (diğer bir deyişle tip – 1 BMD), karmaşık, doğrusal olmayan sistemlerde matematiksel modelinin çıkarılması zor olan durumlarda kullanılan bir denetim yöntemidir. Tip – 1 BMD ilk olarak Zadeh [59] tarafından 1965' de sunulan bulanık kümelerle işlem yapmaktadır. Geleneksel küme kullanılan bir sistemde giriş değişkeninin alacağı değer 0 ya da 1'dir. Tip – 1 bulanık küme kullanan bir sistemde

ise giriş değişkeninin ait olduğu kümedeki üyelik derecesi 0 ve 1 arasında bir değer almaktadır. Tip – 1 bulanık kümenin sınırları uzman tarafından belirlenen keskin bir değerdir. Bu kümelerden birine ait olan bir değişkenin üyelik derecesi de keskin bir değer almaktadır. Bu yüzden, geleneksel bulanık kümeler, yüksek seviyeli belirsizlikleri tam olarak ifade edememektedir. Ayrıca, üyelik fonksiyonlarının, küme sınırlarının ve kural tabanının belirlenmesi de sistemde yeni belirsizliklerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bunların bir sonucu olarak, Zadeh tarafından 1975 yılında, belirsizlikleri de modelleyen yeni bir bulanık küme tipi sunulmuştur [60]. Tip – 1 bulanık kümeye ait bir giriş değişkeninin üyelik derecesi keskin bir değerken, tip – 2 bulanık kümeye ait bir değişkenin üyelik derecesi de bulanıktır. Bu yüzden, tip – 2 bulanık kümenin diğer bir adı da “bulanık bulanık” kümedir [61].

Tip – 2 bulanık mantık kavramı, farklı ifadelerin, farklı insanlarda farklı düşünceler uyandırması sonucu ortaya çıkmıştır. Tip – 1 BMD’ de, tip-1 bulanık kümelerin üyelik derecelerinin 0 ve 1 arasında ancak keskin değerler olması sebebiyle ortaya çıkan belirsizliklerin derecelendirilmesi söz konusu olamamaktadır. Bu belirsizliklerin modellenmesi ve etkilerinin azaltılabilmesi için tip-2 bulanık kümeler kullanılmaktadır.

Bir sistemdeki belirsizliklerin kaynağı aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir [62]:

- Kuralların öncül ve sonuç cümlelerinde kullanılan kelimelerin anlamlarından kaynaklanan belirsizlik,
- Belli bir uzman grubun deneyimlerinden elde edilen sonuçlardan kaynaklanan belirsizlik,
- Ölçümlerden kaynaklanan belirsizlik,
- Parametreler ayarlanırken kullanılan verilerden kaynaklanan belirsizlik.

Bu belirsizlikler, öncül ve sonuç üyelik fonksiyonlarının tam ve kesin olarak belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Sonuç olarak, tip – 2 bulanık mantık kavramı, farklı kişilerin farklı durumlarda ortaya koyduğu farklı düşüncelerden ortaya çıkmıştır. Böylece kelimelerden kaynaklanan bir belirsizlik var olmaktadır. Tip – 2 bulanık kümeler, belirsizliklerin etkili bir şekilde modellenmesini sağlamaktadır.

Tip – 2 bulanık küme teorisi ilk olarak Zadeh tarafından 1975 yılında ortaya atılmış ancak yeterince ilgi görmemiştir. 1976 yılında Mizumoto ve Tanaka Tip – 2 bulanık kümelerin teorik ilişkileri üzerine çalışmışlardır. Nieminen, Tip – 2 kümelerin cebirsel yapısıyla ilgili ayrıntılı bir çalışma yapmıştır. Karnik ve Mendel, Tip – 2 bulanık kümeler için birleşim, kesişim ve komplement gibi pratik algoritmalar geliştirmişlerdir. Karnik ve Mendel ayrıca, tip – 2 bulanık kümenin merkezi için bir kavram geliştirmişler ve aralıklı tip – 2 bulanık küme için pratik bir algoritmayla bu merkezi bulma işlemini gerçekleştirmişlerdir [62]. Özellikle tip – 2 BMD’ yi tip – 1 BMD’ den ayıran en önemli katmanlardan olan tip – indirgeme yöntemi için geliştirilmiş Wu – Mendel [63] algoritmasıyla tip – 2 BMD’ nin işlemcilerle gerçekleştirilmesi sağlanmış ve çalışmalar bundan sonra hız kazanmıştır.

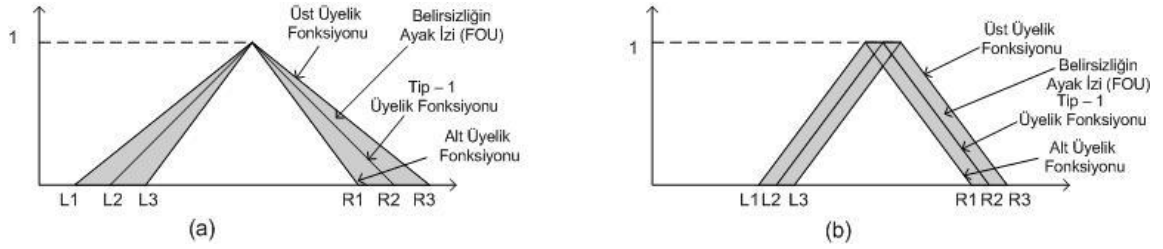
Tip – 2 BMD, en az bir adet tip – 2 üyelik fonksiyonu içeren sistemlerdir. Tip – 2 BMD, zaman serisi tahmini, haberleşme ve ağ, karar verme, veri işleme, kelime modelleme, ses tanıma, alan görüntüleme gibi birçok alanda kullanılmaktadır [64].

4.2.1. Aralıklı tip – 2 BMD sistemleri

Aralıklı tip – 2 bulanık küme, bir çeşit tip – 2 kümesidir ve basitliği ile gömülü model çalışmalara uygunluğu açısından denetim sistemlerinde kullanılmaktadır. Aralıklı tip – 2 bulanık küme kullanılarak gerçekleştirilmiş sistem, aralıklı tip – 2 BMD olarak adlandırılmaktadır.

Tip – 2 bulanık kümeler, kendisi de bulanık olan üyelik derecelerine sahiptir ve belirsizlikleri daha çok modellemektedir [64]. Tip – indirgeme (type – reduction) algoritmalarıyla, belirsizliğin bir aralıkta tanımlanması mümkün hale gelmekte ve aralıklı tip – 2 kümeler (Interval Type – 2 Sets) oluşturulmaktadır. Böylece sonsuz sayıda oluşan tip – 1 bulanık kümeler belli bir aralıkta tutulmuş olmaktadır. Aralıklı tip-2 bulanık kümeler, tip-2 bulanık kümeleri içinde en çok kullanılanıdır. Çünkü bu kümede, küme sayısı belli bir aralıkta bırakıldığından işlem yoğunluğu azalmakta ve gerçek zamanlı uygulamalar tip – 2 bulanık mantık algoritmasıyla sağlanabilmektedir.

Tip – 2 bulanık kümeler iki şekilde oluşturulabilmektedir. Tip – 1 bulanık kümenin genişliğinin değiştirilmesiyle oluşan tip – 2 bulanık küme Şekil 4.2.a’da görülmektedir. Şekil 4.2.b’ de ise üçgen üyelik fonksiyonunun tepe noktasının kaydırılmasıyla oluşan tip – 2 bulanık küme görülmektedir.



Şekil 4.2. Aralıklı tip – 2 bulanık küme örnekleri

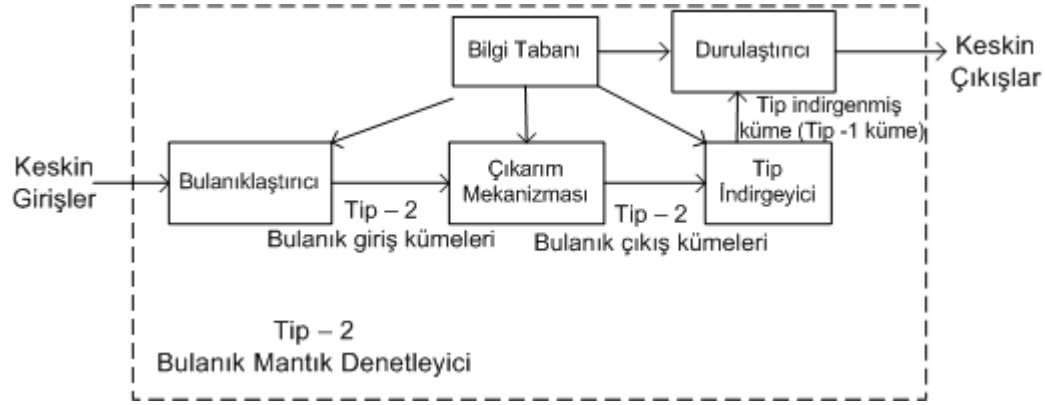
- Tip – 1 üçgen üyelik fonksiyonunun genişliğinin değiştirilmesiyle oluşan tip – 2 bulanık küme
- Üçgen üyelik fonksiyonunun tepe noktasının kaydırılmasıyla oluşan tip – 2 bulanık küme

Aralıklı tip – 2 bulanık küme, her biri tip – 1 bulanık küme ile gösterilen üst üyelik fonksiyonu ile alt üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır. Bu iki üyelik fonksiyonunun arasında kalan alan belirsizliğin ayak izidir (Footprint of Uncertainty – FOU) ve bu tip – 2 bulanık kümeyi temsil etmektedir. Aralıklı tip – 2 bulanık küme \tilde{X} ile gösterilirken üst üyelik fonksiyonu \bar{X} ve alt üyelik fonksiyonu da \underline{X} ile gösterilmektedir.

Öncül ve sonuç aralıklı tip – 2 bulanık kümeler, değişen çevresel koşullardan kaynaklanan dilsel ve nümerik belirsizlikleri ayak izlerinde barındırmaktadır. Böylece, sistemde bulunan belirsizlikler ifade edilebilir hale getirilmektedir. Aralıklı tip – 2 bulanık kümeler, birçok gömülü tip – 1 bulanık küme içermektedir ve tip – 2 BMD birçok farklı gömülü tip – 1 BMD’ nin toplamı olarak düşünülebilmektedir [19].

Aralıklı tip – 2 BMD’ nin genel blok diyagramı Şekil 4.3’ de görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, yapı tip – 1 BMD’ ye oldukça benzemektedir. En büyük fark, kural tabanındaki öncül veya sonuç kümelerinden en az bir tanesinin aralıklı tip – 2 bulanık küme olmasıdır. Bunun sonucunda çıkarım mekanizmasının çıkışı da aralıklı tip – 2 bulanık küme olmakta ve bu tip – 2 kümesinin

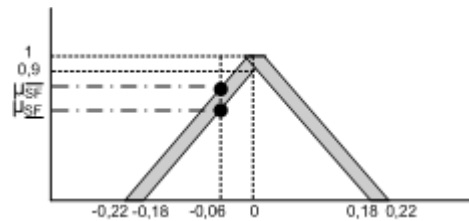
durulaştırılabilmesi için tip – 1 bulanık kümeye dönüştürülmesi gerekmektedir. Burada karşımıza ikinci büyük fark olan tip indirgeyici karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 4.3. Aralıklı tip – 2 BMD blok şeması

Bulanıklaştırıcı

Bulanıklaştırıcı kademesi, keskin bir giriş değişkenini ($x = (x'_1, x'_2, \dots, x'_p)$) tip – 2 bulanık kümeye (\widetilde{A}_x) dönüştürmektedir. Bir giriş değişkeni için, bir tanesi üst üyelik fonksiyonuna, diğeri de alt üyelik fonksiyonuna ait iki adet üyelik derecesi belirlenmektedir. Örneğin, Şekil 4.4' de görülen SF kümesinde, -0,06 değerindeki giriş değişkeni, alt kümeye μ_{SF} değeri kadar, üst kümeye ise $\mu_{\overline{SF}}$ değeri kadar üye olmaktadır. Aralıklı tip – 2 BMD'de giriş değişkenleri ($e(k)$ and $de(k)$) gerçekleştirilmesi kolay ve işlemcide fazla yer tutmayan üçgen üyelik fonksiyonu ile bulanıklaştırılmaktadır.



Şekil 4.4. Bir giriş değişkeninin aralıklı tip – 2 bulanık kümesine üyeliğinin gösterimi

Bulanıklaştırıcıda, girişlerin üyelik dereceleri ile üyelik fonksiyonları belirlenmekte ve çıkarım mekanizmasına gönderilmektedir.

Bilgi tabanı ve çıkarım mekanizması

Bilgi tabanı, veri tabanı ile kural tabanından oluşan ve tüm kademelerle ilişki içerisinde olan bir kısımdır. Veri tabanı, girişlerin üyelik fonksiyonlarını, dilsel etiketlerini ve sınırlarının yanında bulanık sisteme ait diğer parametre ve değişkenleri içermektedir. Kural tabanı ise tip – 1 BMD’ de olduğu gibi, uygun çıkışın sağlanması için oluşturulmuş dilsel kurallar çizelgesidir. Kural cümleleri EĞER..İSE yapısıyla oluşturulmaktadır. Bu cümlede EĞER öncül kümeleri, İSE de sonuç kümelerini içermektedir. Giriş değişkenlerine göre tetiklenen kurallar ve bu kuralların ağırlıkları işlenmek üzere çıkarım mekanizmasına gönderilmektedir. Simetrik olarak oluşturulmuş bulanık kümeler için bir değişkene ait iki küme ve dört üyelik derecesi bulunmaktadır. Buna göre kural tabanında her bir durum için dört adet kural tetiklenmektedir.

Bulanıklaştırıcı çıkışında elde edilen aralıklı tip – 2 bulanık kümeler ve bu kümelerin ateşlediği sonuç kümeleri, kural tabanında Eş. 4.1 formunda ifade edilmektedir.

$$R^i : IF x_1 is \tilde{F}_1^i \text{ and } \dots \text{ and } x_p is \tilde{F}_p^i THEN y is \tilde{G}^i \quad i = 1, \dots, N \quad (4.1)$$

Burada F_j^i ve \tilde{G}^i aralıklı tip – 2 kümelerini göstermektedir.

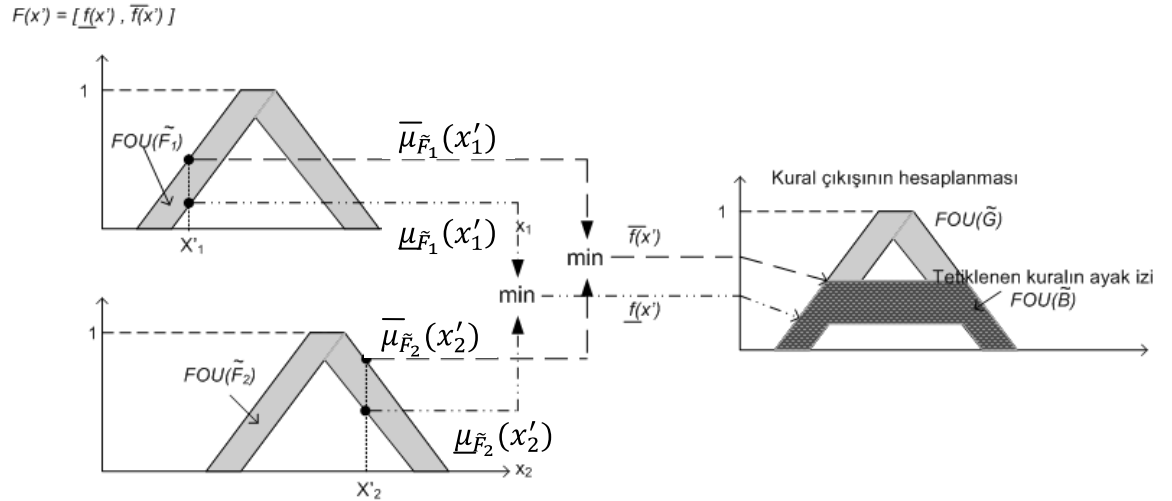
Çıkarım mekanizması kurallara göre çalışan bir mekanizmadır. Bu birim, kuralları birleştirerek, tip – 2 bulanık öncül kümelerinden tip – 2 bulanık sonuç kümelerine bir eşleşme sağlamaktadır. Tüm tetiklenen kurallar için tetikleme ağırlıkları hesaplanmaktadır. Çıkarımda en çok kullanılan prosedürler, minimum ve product yöntemleridir. i^{th} kuralın tetikleme ağırlığı $F^i(x')$, alt tetikleme seviyesi ($\underline{f}^i(x')$) ve üst tetikleme seviyesinden ($\overline{f}^i(x')$) oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla Eş. 4.2, Eş. 4.3 ve Eş. 4.4 ile hesaplanmaktadır.

$$F^i(x') = [\underline{f}^i(x'), \overline{f}^i(x')] \quad (4.2)$$

$$\underline{f}^i(x') = \min \{ \underline{\mu}_{\tilde{F}_1^i}(x'_1), \dots, \underline{\mu}_{\tilde{F}_p^i}(x'_p) \} \quad (4.3)$$

$$\overline{f}^i(x') = \min \{ \overline{\mu}_{\tilde{F}_1^i}(x'_1), \dots, \overline{\mu}_{\tilde{F}_p^i}(x'_p) \} \quad (4.4)$$

Bu eşitliklerde p , i^{th} kuralın öncül sayısıdır. Çıkarım mekanizmasının Mamdani' nin minimum operatörüyle nasıl gerçekleştirildiği Şekil 4.5' de görülmektedir.



Şekil 4.5. Mamdani'nin minimum operatörüyle tetiklenen aralık hesabının gösterimi

Şekilden de görüldüğü gibi, birinci değişkenin alt üyelik fonksiyonuna ait üyelik derecesi ile ikinci değişkenin alt üyelik fonksiyonuna ait üyelik derecelerinin minimum değeri çıkarım mekanizmasında elde edilen aralıklı tip – 2 bulanık kümenin alt sınırını belirlemektedir. Birinci değişkenin üst üyelik fonksiyonuna ait üyelik derecesi ile ikinci değişkenin ait olduğu üst üyelik fonksiyonunun üyelik dereceleri kıyaslanarak minimum değeri, çıkarımda elde edilen kümenin üst değerini belirlemektedir. Sonuçta çıkarım mekanizmasının çıkışı aralıklı tip – 2 bulanık kümedir.

Tip indirgeyici

Tip indirgeyici birimi, çıkarım mekanizmasında elde edilen aralıklı tip – 2 bulanık kümeyi, tipi indirgenmiş küme olarak adlandırılan tip – 1 bulanık kümeye dönüştüren ve tip – 1 BMD ile farkı ortaya çıkaran önemli bir birimdir. Tipi indirgenmiş küme, $yl(x)$ ve $yr(x)$ olarak iki adet son nokta ile ifade edilir. Bunlardan, $yl(x)$ sol son noktayı, $yr(x)$ ise son sağ noktayı ifade etmektedir. Tip indirgeme işlemi, ağırlık merkezi, toplamaların merkezi, yükseklik, değiştirilmiş yükseklik ve kümelerin merkezi gibi değişik yöntemlerle uygulanabilmektedir [65]. Tip

indirgeyici basit bir tanımla, çıkarımda elde edilen aralıklı tip – 2 bulanık kümenin ağırlık merkezinin bulunma işlemidir.

Tip indirgeme işlemi için en çok kullanılan algoritmik prosedürler, Karnik – Mendel’ in tekrarlamalı prosedürü [66] ve Wu – Mendel’ in belirsizlik sınırları prosedürüdür [63]. Karnik ve Mendel isimlerini verdikleri bu indirgeme yönteminde, aralıklı kümenin sol son L ve sağ son R anahtar noktalarını iterasyonla bulmaktadır. Ancak bu yöntem gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılamayan bir yöntemdir. Çünkü merkezi bulmak için kurulan döngüler işletilirken işlemci hafızasında çok fazla alan kullanımı gerekmektedir. Bu yüzden Wu ve Mendel bu noktaların belirlenmesi için eşitlikler geliştirmişlerdir. Bu eşitlikler sayesinde herhangi bir iterasyona gerek kalmadan sabit denklemler kullanılarak tip indirgeme işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Bu da gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılabilir bir algoritma olmaktadır. Lynch ve diğerleri bu iki tip indirgeme algoritmasını karşılaştırmış ve referans noktasından %1’den daha az bir sapma hatası bulmuşlardır.

Ağırlık merkezi tip indirgeme yöntemiyle elde edilen tipi indirgenmiş küme Eş. 4.5 ile gösterilmektedir [62].

$$Y_{cos}(x) = [y_l(x), y_r(x)] = \int_{y^i \in [y_l^i, y_r^i]} \int_{f^i \in [f^i, \bar{f}^i]} 1 / \frac{\sum_{i=1}^M f^i y^i}{\sum_{i=1}^M f^i} \quad (4.5)$$

Tipi indirgenmiş küme $Y_{cos}(x)$, sol son nokta $y_l(x)$ ve sağ son nokta $y_r(x)$ sınırlarıyla oluşan bir aralıklı kümedir. y^i , i^{th} kuralın tetiklenmesi sonucunda ortaya çıkan sonuç kümesinin merkezidir. Bu küme en son sol nokta y_l^i ve en son sağ noktadan y_r^i oluşmaktadır.

Wu – Mendel belirsiz sınır prosedürü, iç ve dış sınır kümeleri için matematiksel eşitlikler sunmaktadır. $y_l(x)$ ve $y_r(x)$ alt ve üst değerlerle sınırlandırılmaktadır. Bunlar, $y_l(x)$ için Eş. 4.6’da, $y_r(x)$ için ise Eş. 4.7’de verilmektedir.

$$\underline{y}_l(x) \leq y_l(x) \leq \bar{y}_l(x) \quad (4.6)$$

$$\underline{y}_r(x) \leq y_r(x) \leq \overline{y}_r(x) \quad (4.7)$$

Burada

$$\overline{y}_l(x) = \min \left\{ \frac{\sum_{i=1}^M \underline{f}^i y_l^i}{\sum_{i=1}^M \underline{f}^i}, \frac{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i y_l^i}{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i} \right\} \quad (4.8)$$

$$\underline{y}_l(x) = \overline{y}_l(x) - \delta_l(x) \quad (4.9)$$

$$\underline{y}_r(x) = \max \left\{ \frac{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i y_r^i}{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i}, \frac{\sum_{i=1}^M \underline{f}^i y_r^i}{\sum_{i=1}^M \underline{f}^i} \right\} \quad (4.10)$$

$$\overline{y}_r(x) = \underline{y}_r(x) - \delta_r(x) \quad (4.11)$$

ve

$$\delta_l(x) = \left[\frac{\sum_{i=1}^M \underline{f}^i (y_l^i - y_l^1) \sum_{i=1}^M \overline{f}^i (y_l^M - y_l^i)}{\sum_{i=1}^M \underline{f}^i (y_l^i - y_l^1) + \sum_{i=1}^M \overline{f}^i (y_l^M - y_l^i)} \right] * \left[\frac{\sum_{i=1}^M (\overline{f}^i - \underline{f}^i)}{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i \sum_{i=1}^M \underline{f}^i} \right] \quad (4.12)$$

$$\delta_r(x) = \left[\frac{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i (y_r^i - y_r^1) \sum_{i=1}^M \underline{f}^i (y_r^M - y_r^i)}{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i (y_r^i - y_r^1) + \sum_{i=1}^M \underline{f}^i (y_r^M - y_r^i)} \right] * \left[\frac{\sum_{i=1}^M (\overline{f}^i - \underline{f}^i)}{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i \sum_{i=1}^M \underline{f}^i} \right] \quad (4.13)$$

Yukarıdaki eşitlikler kullanıldığında en son sol ve en son sağ nokta elde edilebilmektedir.

Durulaştırıcı

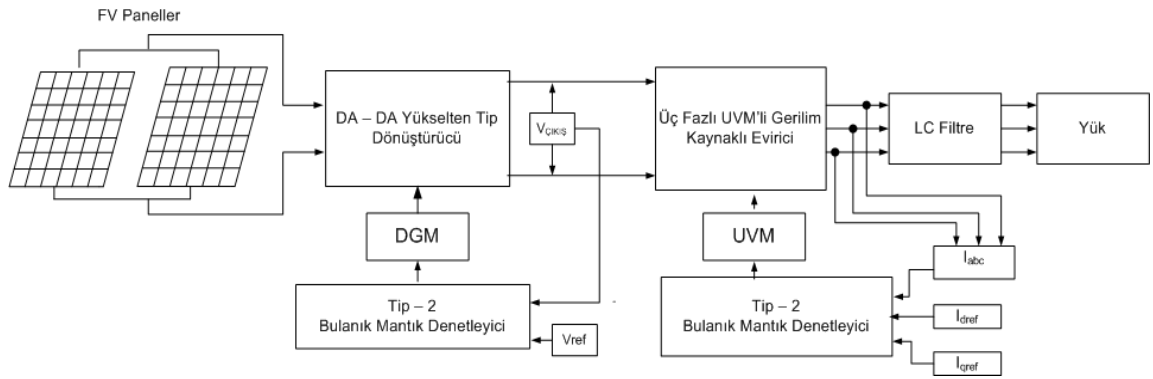
Durulaştırıcı, tipi indirgenmiş kümenin sınırlarını kullanarak aralık tip – 2 BMD'nin keskin çıkışının elde edilmesini sağlamaktadır. Wu – Mendel prosedürü ile edilen belirsiz sınırlar, keskin değere bu kısımda dönüştürülür. Bunun için kullanılan eşitlik Eş. 4.14'de verilmektedir.

$$y_{out} = \frac{\left(\left(\underline{y}_l(x) + \overline{y}_l(x) \right) / 2 \right) + \left(\left(\underline{y}_r(x) + \overline{y}_r(x) \right) / 2 \right)}{2} \quad (4.14)$$

5. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN TASARIMI VE BENZETİM ÇALIŞMALARI

Herhangi bir sistemin uygulama aşamasından önce tüm sistem modelinin çıkarılması, uygulama sırasında karşılaşılabilecek sorunların bilinmesi, sistem davranışının tam olarak ortaya konulması gibi faydalar sağlamaktadır. Bu sebeple, gerçekleştirilen tez çalışmasında, uygulamadan önce birimlerin ayrı ayrı modelleri çıkarılmış ve benzetim işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen FV sistemin blok şeması Şekil 5.1’ de görülmektedir.



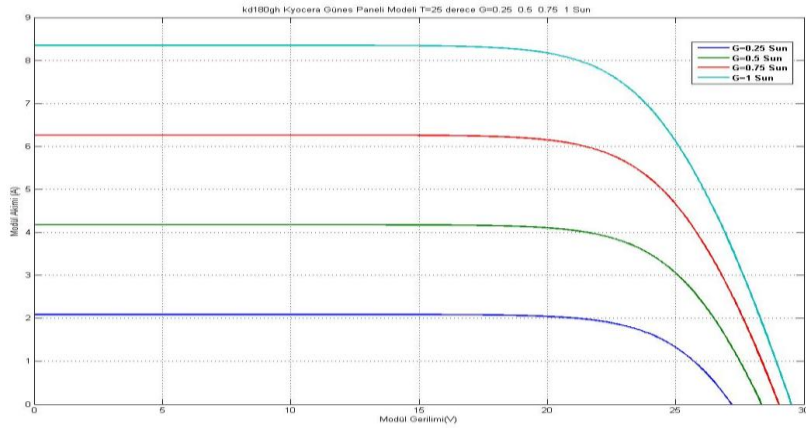
Şekil 5.1. Geliştirilen modelin blok şeması

Sistemde 30 adet güneş paneli, çıkışı 620 V’ a sabitlenmiş DA-DA dönüştürücü, gerilim kaynaklı akım mod denetimli bir evirici ile LC filtre bulunmaktadır. DA – DA yükselten tip dönüştürücü ve üç fazlı gerilim kaynaklı eviricinin denetimleri PI, tip – 1 BMD ve tip – 2 BMD ile ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Benzetim işlemlerinde MATLAB, Simulink ve Simpower araçları kullanılmaktadır.

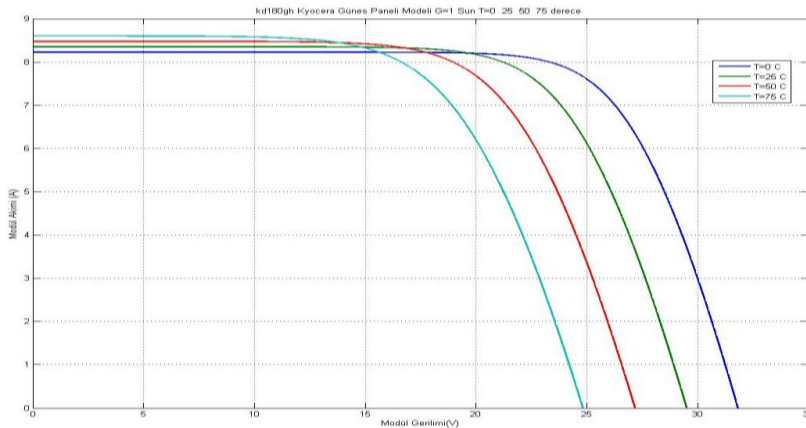
5.1. Güneş Panelinin Benzetimi

Bir güneş hücresinin performansını anlamak için hücrenin akım-gerilim bağıntısına ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş pili karakteristikleri evirici çalışmasını ve denetim sisteminin tasarımını etkilemektedir. Bu yüzden KD180GH-2P kodlu Kyocera marka (Bkz. Çizelge 2.3) güneş panelinin MATLAB’ da kod yazılarak benzetimi gerçekleştirilmiştir. Benzetimde tek diyot modeli kullanılmıştır.

Katalog değerleri ve Eş. 2.1 temel alınarak gerçekleştirilen MATLAB modeliyle, farklı ışınım ve sıcaklık değerleri için akım – gerilim karakteristiği çıkarılmış ve katalogda verilen değerler ile grafikler karşılaştırılarak model doğruluğu test edilmiştir. Gerçekleştirilen panel modelinin akım – gerilim eğrisinin sabit sıcaklık (25 °C) ve 4 farklı ışınım durumları için tepkileri Şekil 5.2.a’ da görülmektedir. Işınımın artmasıyla akımın da arttığı şekilden görülmektedir. Modelin akım ve gerilim eğrilerinin, sıcaklıkla ilişkisi 4 farklı sıcaklık değeri ve sabit ışınım değeri (1 kW/m²) için çizdirilerek doğrulanmaktadır. Bu da Şekil 5.2.b’ de görülmektedir.



a



b

Şekil 5.2. KD180GH-2P güneş panelinin

a. Işınım 0,25 kW/m², 0,5 kW/m², 0,75 kW/m² ve 1 kW/m² iken akım – gerilim eğrisi (1 Sun = 1 kW /m²'dir)

b. Sıcaklık 0 °C, 25°C, 50°C ve 75 °C iken akım – gerilim eğrisi

Model sonucunda çizdirilen eğrilerle panelin teknik veri sayfasında verilen grafikler (EK – 1) karşılaştırıldığında model doğruluğu teyit edilmiştir.

5.2. DA – DA Yükselten Tip Dönüştürücünün Denetimi

DA – DA dönüştürücü en uygun denetim algoritmasını belirlemek için sırasıyla PI, tip – 1 ve tip – 2 BMD ile denetlenmektedir.

DA – DA dönüştürücünün denetimindeki istenen performans ölçütleri şunlardır:

- Geçici durumda aşımın az olması,
- Geçici durumda sistem cevabının oturma zamanının (settling time) düşük olması,
- Kalıcı durumda hatanın az olması,
- Çıkış sinyalinde dalgacıkların az olması.

Yukarıdaki özelliklerin sağlanması için DA – DA yükselten tip dönüştürücü için sırasıyla PI, Tip – 1 BMD ve Tip – 2 BMD algoritmaları kullanılmıştır.

5.2.1. DA – DA Yükselten tip dönüştürücünün PI denetimi

PI denetleyici, kolay gerçekleştirilmesi sebebiyle güç elektroniği devrelerinde denetleyici olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak sistem cevabının yavaşlığı ve aşım miktarının fazlalığı yeni algoritmalar geliştirmeyi gerekli kılmıştır. Denetleyicilerde kullanılan PI eşitliği Eş. 5.1’de verilmiştir.

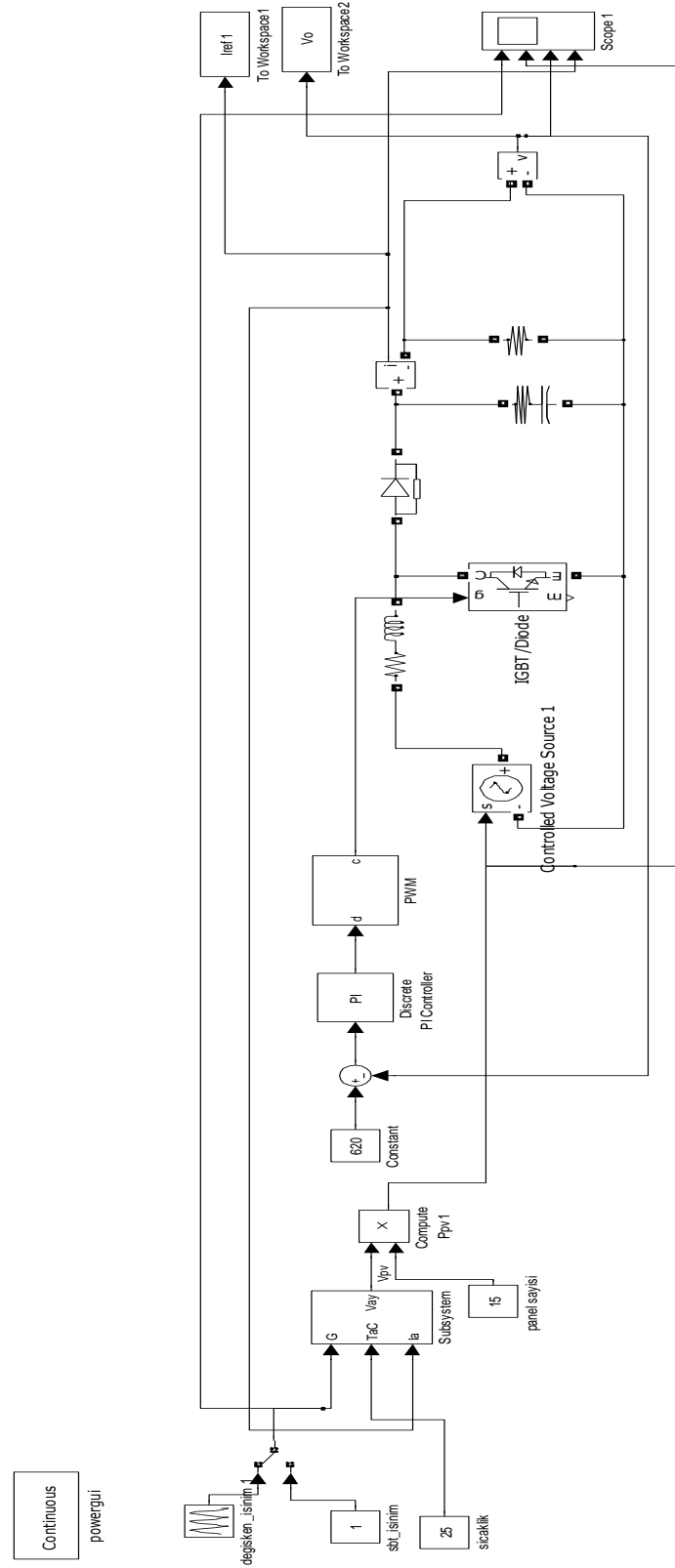
$$u(t) = K_p * e(t) + K_i * \int_0^t e(\tau).d\tau \quad (5.1)$$

Burada $u(t)$, denetim sinyali, $e(t)$, hata sinyali, K_p , K_i ise denetleyici sabitleridir.

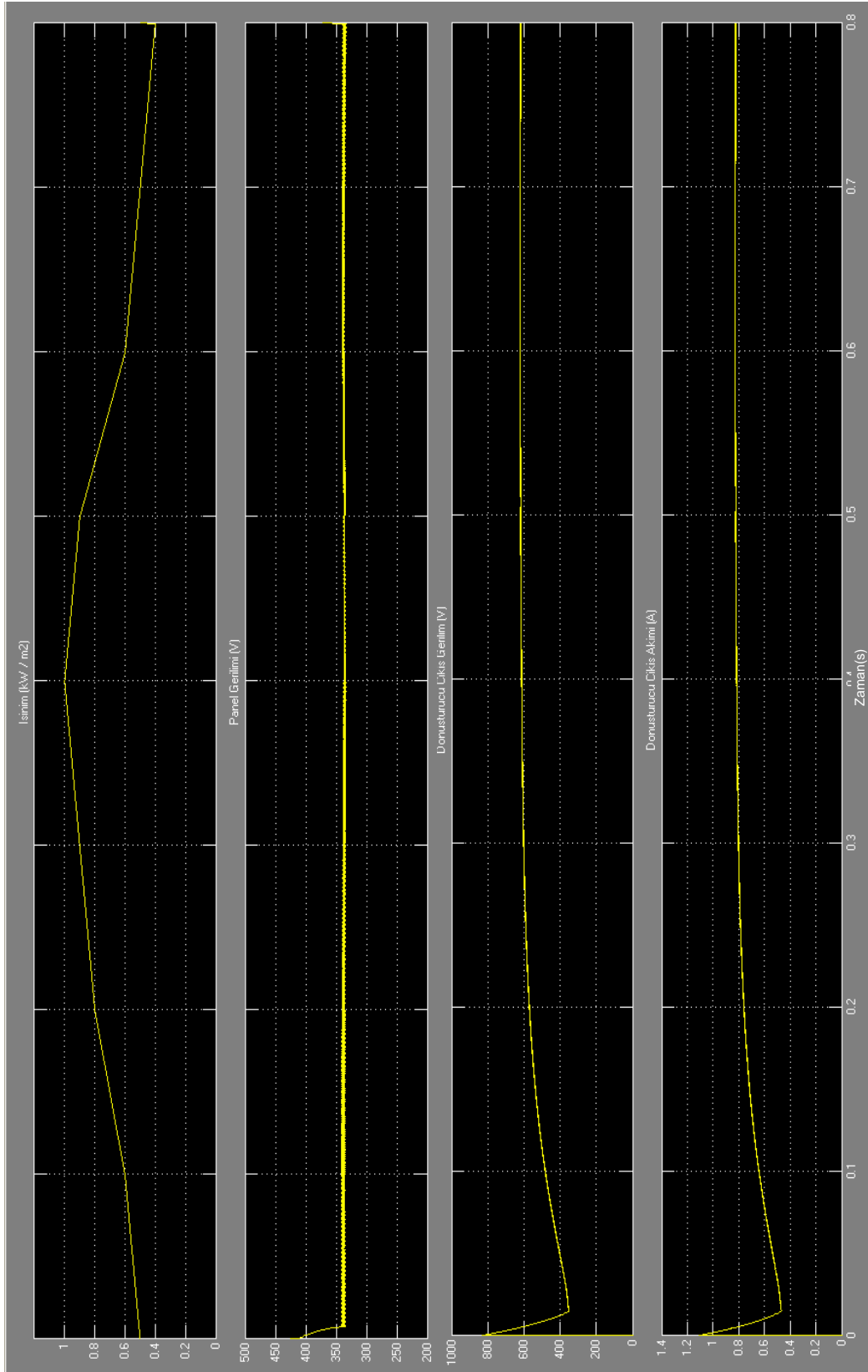
PI denetleyicide, K_p ve K_i katsayıları, John G. Ziegler ve Nathaniel B. Nichols tarafından 1940 yıllarında ortaya çıkarılmış Ziegler – Nichols sezgisel katsayı ayarlama yöntemiyle belirlenmiştir. Bu yöntemde öncelikle K_i katsayısı 0’a getirilmekte ve K_p değeri 0’dan başlayarak ayarlanan değer, referans değer etrafında salınım yapar hale gelene kadar arttırılmaktadır. Salınım periyodu ve salınım yapılan katsayı kullanılarak K_i değeri de ayarlanmaktadır. Buna göre, K_p değeri 0,001 ve K_i değeri de 0,01 olarak elde edilmiştir.

Benzetimi yapılan DA – DA dönüştürücünün çıkışı üç fazlı eviricinin girişidir. Eviricinin girişinin 620 V olması gerektiğinden dönüştürücü çıkışı da 620 V' a getirilmektedir. Dönüştürücü çıkışına 750Ω 512 W değerinde bir yük bağlanmıştır.

Dönüştürücünün PI ile denetimini sağlamak için geliştirilen sistem modeli Şekil 5.3'de' de, yapılan benzetim sonuçları ise Şekil 5.4' de görülmektedir. Benzetim sonucu, Simulink' de bulunan Scope bloğu ile alınmıştır. Bir günlük ışınım değişim eğrisi, 0,8 saniye aralığında modellenmiştir. Bu ışınım eğrisi, panel çıkış gerilimi, dönüştürücü çıkış gerilimi ve çıkış akımı aynı ekranda gösterilmektedir. İlk ekran görüntüsü bir günlük ışınım değişiminin değerlerini kW/m^2 cinsinden modellenmesi ile oluşturulmuştur. İkinci ekran görüntüsü panellerin çıkış gerilimidir. Bu gerilim DA – DA dönüştürücünün girişine uygulanmaktadır. Üçüncü ekran görüntüsü, dönüştürücünün çıkış gerilimini, alttaki ekran görüntüsü ise çıkış akımını göstermektedir. Aşım miktarı %75, kalıcı durum hatası 3,5 V, dalgalık miktarı 2,8 V ve sistem cevabının oturma süresi ise 0,2 s' dir.



Şekil 5.3. DA – DA dönüştürücünün PI ile denetimi için geliştirilen model



Şekil 5.4. DA – DA dönüştürücünün PI ile denetimi ekran görüntüsü

5.2.2. DA – DA yükselten tip dönüştürücünün tip – 1 BMD ile denetimi

Tip – 1 BMD, uzman tecrübesine dayalı işlem yapan bir denetim algoritmasıdır. Matematiksel modelin elde edilemediği sistemlerde kullanımı, başarılı sonuçlar vermiştir. Tip – 1 BMD beş bölümden oluşmaktadır. Bulanıklaştırıcı, sayısal veri üzerinde ölçek değiştirerek sayısal veriyi bulanık veriye dönüştürmektedir. Veri tabanı, girişlerin yerleştirileceği üyelik fonksiyonlarını içermektedir. Kural tabanı, uygun çıkışlar sağlamak için uzmanın deneyimine dayalı olarak oluşturulmuş dilsel kurallar içermektedir. Çıkarım ünitesi, veri tabanından alınan üyelik derecesi bilgileri ve kural tabanından alınan bunlara uygun çıkış verileri işlenerek bulanık bir değer elde edilmektedir. Kurallar EĞER .. İSE yapısından oluşmaktadır. Durulaştırıcı, çıkarım mekanizmasından gelen bulanık çıkış verisini keskin sayısal bir değere dönüştürmektedir.

DA – DA dönüştürücü çıkış geriliminin denetimi, gerilim mod denetleyici olarak gerçekleştirilmiştir. $(e(k))$ hata bilgisi ve $(de(k))$ hatadaki değişim bilgisi, tip – 1 BMD için giriş bilgileridir ve sırasıyla Eş. 5.2 ve Eş. 5.3 ile bulunmaktadır.

$$e(k) = V_{ref} - V_o(k) \quad (5.2)$$

$$de(k) = e(k) - e(k-1) \quad (5.3)$$

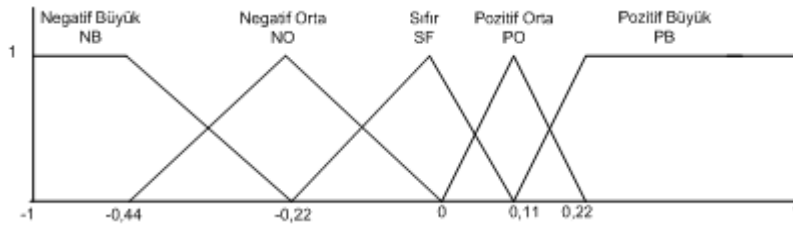
Eşitliklerde yer alan V_{ref} , dönüştürücü çıkışının getirilmek istenen gerilim değeridir. $V_o(k)$ ise çıkış gerilimidir. $(de(k))$, k . zamandaki hata ile $(k-1)$. zamandaki hatanın farkının alınmasıyla elde edilmektedir.

Tip – 1 BMD çıkışı $(du(k))$ devrede bulunan güç anahtarına gönderilecek olan DGM sinyalinin görev süresindeki değişimdir ve Eş. 5.4' de anahtara gönderilen sinyal ile ilişkisi görülmektedir.

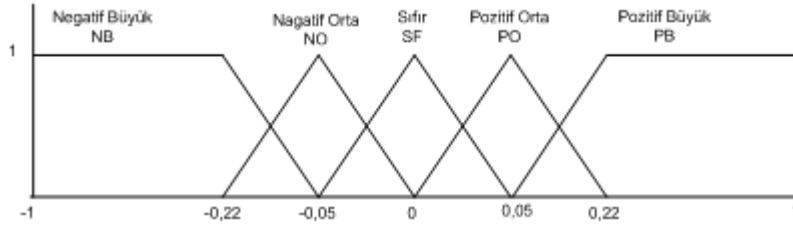
$$u(k) = u(k - 1) + du(k) \quad (5.4)$$

Burada $u(k)$ k . örnekleme zamanı için görev süresi iken $u(k-1)$ de $(k-1)$. zamandaki görev süresidir. $du(k)$ ise tip – 1 BMD çıkış değeridir ve DGM'nin görev süresindeki değişimidir.

Tip – 1 BMD' de girişlerin bulanıklaştırılması için beş adet üçgen tipi üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Bu kümeler, her iki giriş değişkeni için de Negatif Büyük (NB), Negatif Orta (NO), Sıfır (SF), Pozitif Orta (PO) ve Pozitif Büyük (PB) olarak etiketlenmiştir. Hata ve hatadaki değişim için kullanılan üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 5.5 ve Şekil 5.6' da görülmektedir.

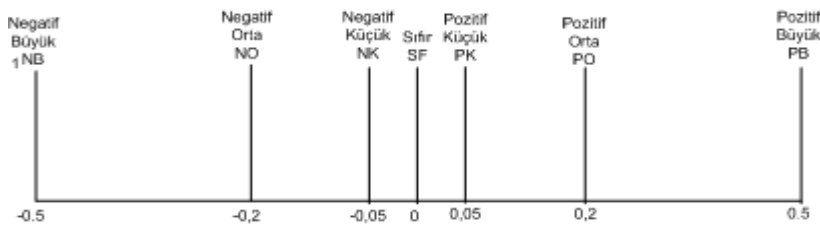


Şekil 5.5. Hata için tip – 1 bulanık kümeler



Şekil 5.6. Hatadaki değişim için tip – 1 bulanık kümeler

Tip – 1 BMD' de DGM sinyalinin görev süresindeki değişim olarak belirlenen çıkış için yedi adet bulanık küme tanımlanmıştır. Çıkış için tanımlanan bu kümeler Şekil 5.7' de görülmektedir.



Şekil 5.7. DGM sinyalindeki değişim olan tip – 1 bulanık çıkış

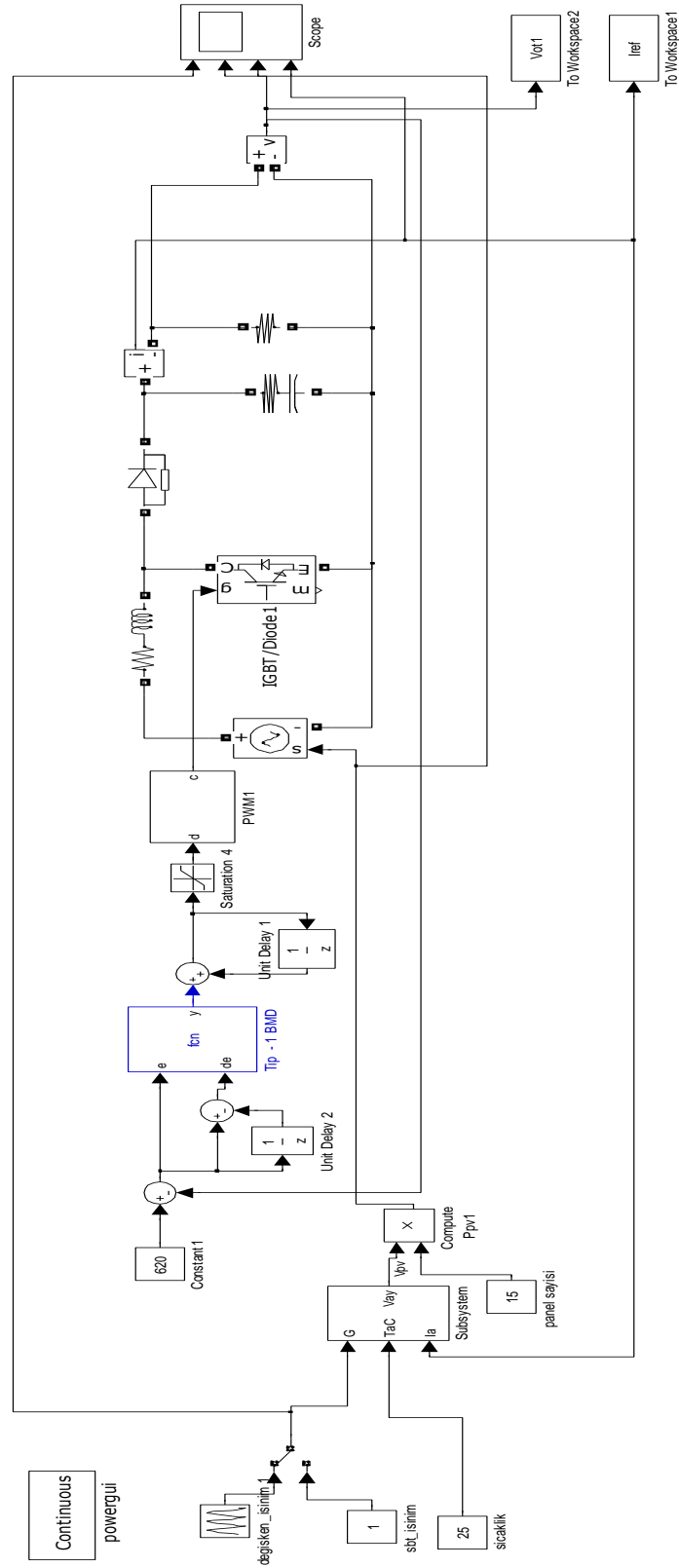
Çıkış için oluşturulan kural tabanı Çizelge 5.1’ de görülmektedir. Kural tabanı 5 x 5 Mac – Vicar Whelan kural tabanıdır. Çıkarım yöntemi ise kolay gerçekleştirilebilir olmasından dolayı MAX – MIN olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.1. Tip – 1 ve tip – 2 BMD için oluşturulan kural tabanı

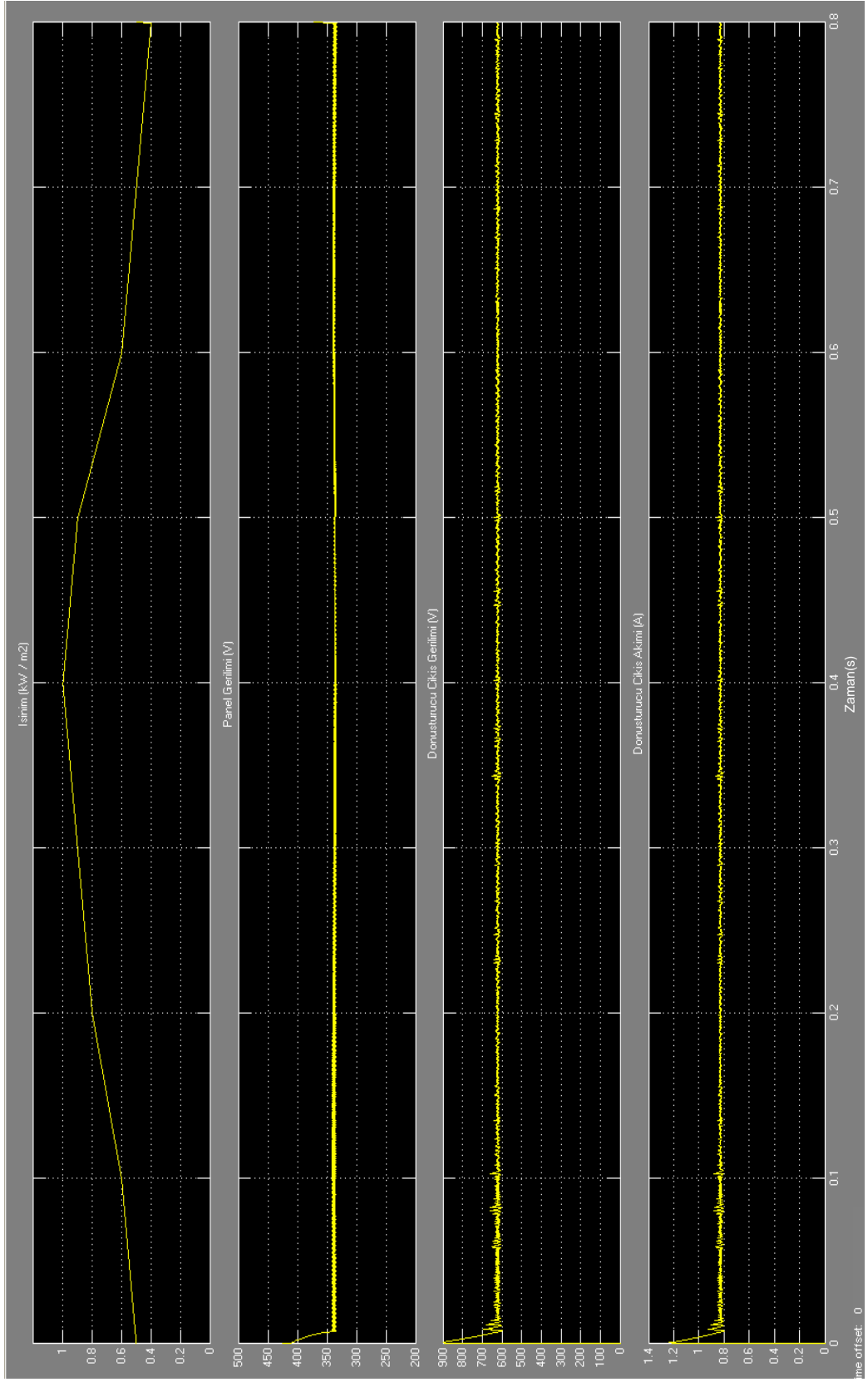
e de	NB	NO	SF	PO	PB
NB	NB	NB	NO	NK	SF
NO	NB	NO	NK	SF	SF
SF	NO	NK	SF	SF	PK
PO	SF	SF	PK	PO	PB
PB	SF	PK	PO	PB	PB

Durulaştırma yöntemi olarak da gerçek zamanlı uygulamalar için uygun olan ağırlık merkezi yöntemi seçilmiştir.

MATLAB / Simulink’ de bulunan Embedded MATLAB Function bloğuna MATLAB kodlarıyla tip – 1 BMD kodları yazılmıştır. Böylece gerçek zamanlı uygulamaya geçildiğinde işlemci hafızasından tasarruf edilmiştir. Tip – 1 BMD için geliştirilen model Şekil 5.8’ de görülmektedir. Şekil 5.9’ da ise tip – 1 BMD ile denetlenen DA – DA dönüştürücünün sırasıyla ışınlam değişimi, panel çıkış gerilimi, DA – DA dönüştürücü çıkış gerilimi ve çıkış akımı görülmektedir. PI ’a göre Tip – 1 BMD’ nin aşımı ve oturma zamanı oldukça azalmıştır. (aşım miktarı %23, dalgacık miktarı 1,8 V, kalıcı durum hatası 2,7 V, oturma süresi, 0,02 s).



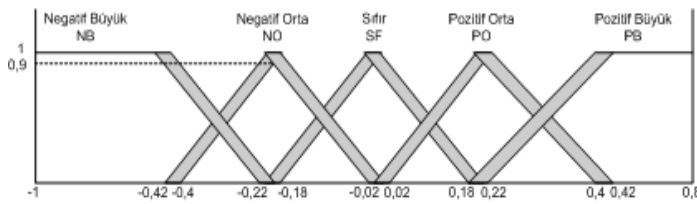
Şekil 5.8. DA – DA dönüştürücünün tip – 1 BMD ile denetimi için geliştirilen model



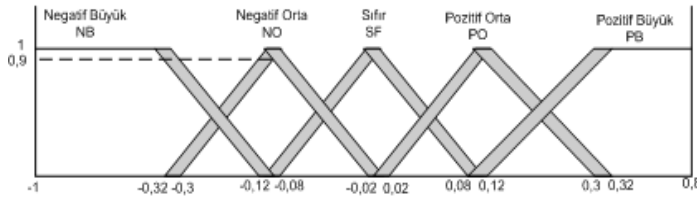
Şekil 5.9. DA – DA dönüştürücünün tip – 1 BMD ile denetimi ekran görüntüsü

5.2.3. DA – DA yükselten tip dönüştürücünün aralıklı tip – 2 BMD ile denetimi

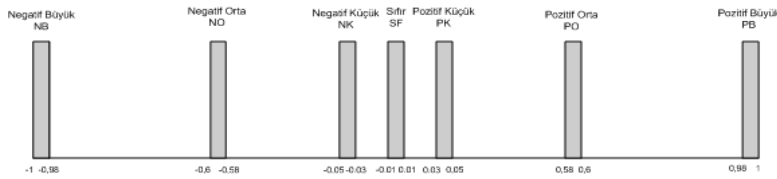
Aralıklı tip – 2 BMD için kullanılan giriş değişkenleri ve çıkış değişkeni tip – 1 BMD ile aynıdır. Bu değişkenlerin eşitlikleri hata, hatadaki değişim ve çıkış için sırasıyla Eş. 5.2, Eş. 5.3 ve Eş. 5.4’de görülmektedir. Hata, hatadaki değişim ve çıkış için kullanılan aralık tip – 2 bulanık kümeler ise sırasıyla Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.10. Hata için aralıklı tip – 2 bulanık kümeler

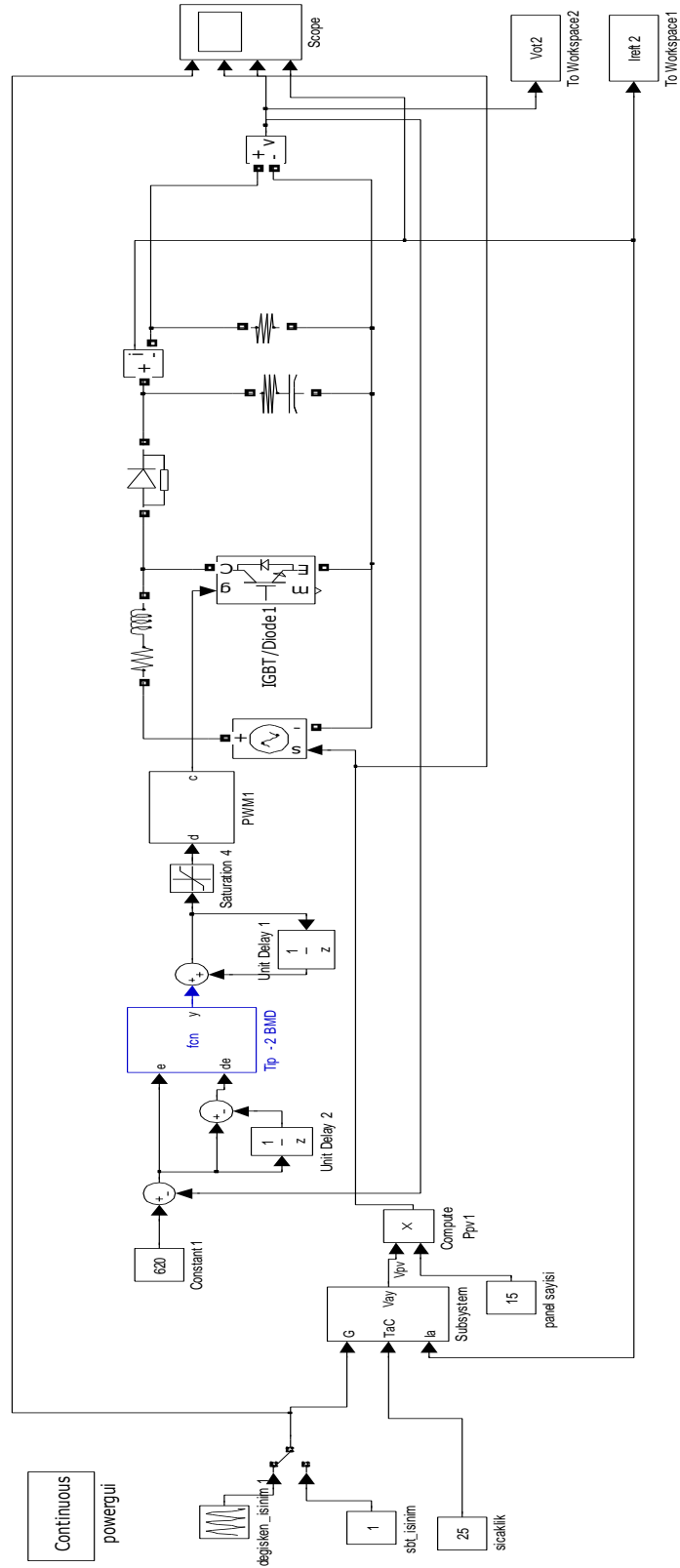


Şekil 5.11. Hatadaki değişim için aralıklı tip – 2 bulanık kümeler

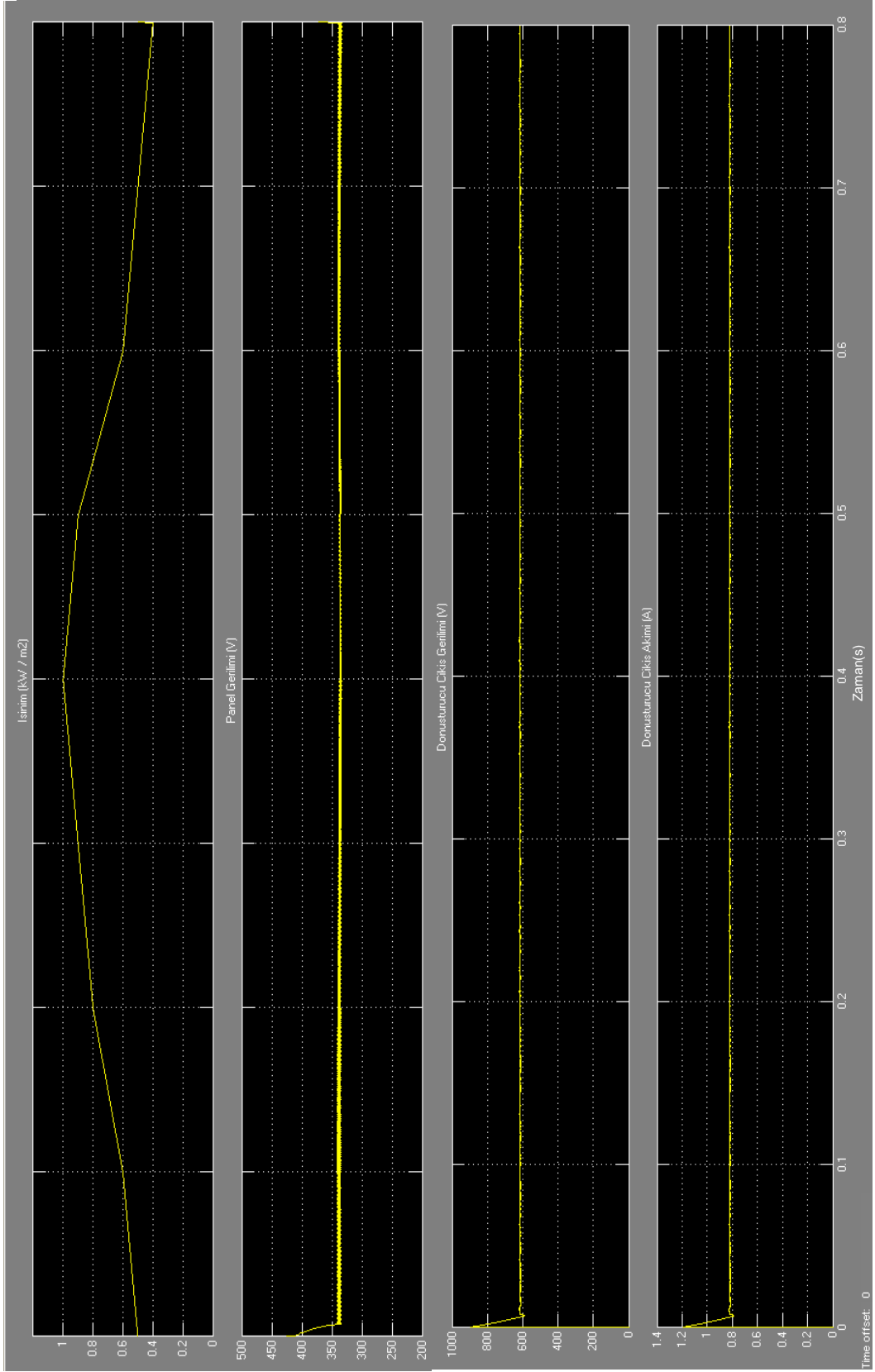


Şekil 5.12. Çıkış için aralıklı tip – 2 bulanık kümeler

Çıkarım mekanizması olarak Mamdani’nin max – min çıkarım yöntemi kullanılmıştır. Tip indirgeyici algoritması olarak da gerçek zamanlı uygulamalar için geliştirilmiş Wu – Mendel belirsizlik sınırları prosedürü kullanılmıştır. Tip – 2 BMD ile DA –DA dönüştürücü benzetim modeli Şekil 5.13’de görülmektedir. Şekil 5.14’de tip – 2 BMD ile denetlenen dönüştürücünün performans çıktıları görülmektedir.



Şekil 5.13. DA – DA dönüştürücünün tip – 2 BMD ile denetimi için geliştirilen model



Şekil 5.14. DA – DA dönüştürücünün tip – 2 BMD ile denetimi ekran görüntüsü

Aşım miktarı en düşük bu denetim algoritmasıyla sağlanmıştır. (%18) Sistem cevabının oturma süresi ise 0,018 s kadardır. Ayrıca Tip – 1 BMD’ de var olan dalgacık miktarı 1,5 V’ a kadar düşürülmüştür. Kalıcı durum hatası 2 V’ a kadar indirilebilmiştir.

DA – DA dönüştürücü için gerçekleştirilen denetim algoritmalarının sonucunda elde edilen performans ölçütleri olan oturma zamanı, aşım miktarı, dalgacık genliği ile kalıcı durum hatası bilgileri toplu olarak Çizelge 5.2’ de görülmektedir.

Çizelge 5.2. DA – DA dönüştürücünün performans ölçütleri

Algoritmalar	Oturma Zamanı	Aşım Miktarı	Dalgacık Miktarı	Kalıcı Durum Hatası
PI	0,2 s	%75	2,8 V	3,5
Tip-1 BMD	0,02 s	%23	1,8 V	2,7 V
Tip-2 BMD	0,018 s	%18	1,5 V	2 V

Sonuçlar karşılaştırıldığında geliştirilen tip – 2 BMD ile sistem cevabının oturma süresi %91 hızlandırılmıştır ki bu durum yükün güvenli çalışma koşullarına çok kısa sürede ulaşması anlamına gelmektedir. Aşım miktarı tip – 2 BMD ile %76 azaltılmıştır. Dalgacık miktarı PI denetleyiciye göre %46, kalıcı durum hatası ise %43 oranında azaltılmıştır. Tüm bu iyileştirmeler daha sağlam bir denetimin tip – 2 BMD ile gerçekleştirildiğini göstermektedir.

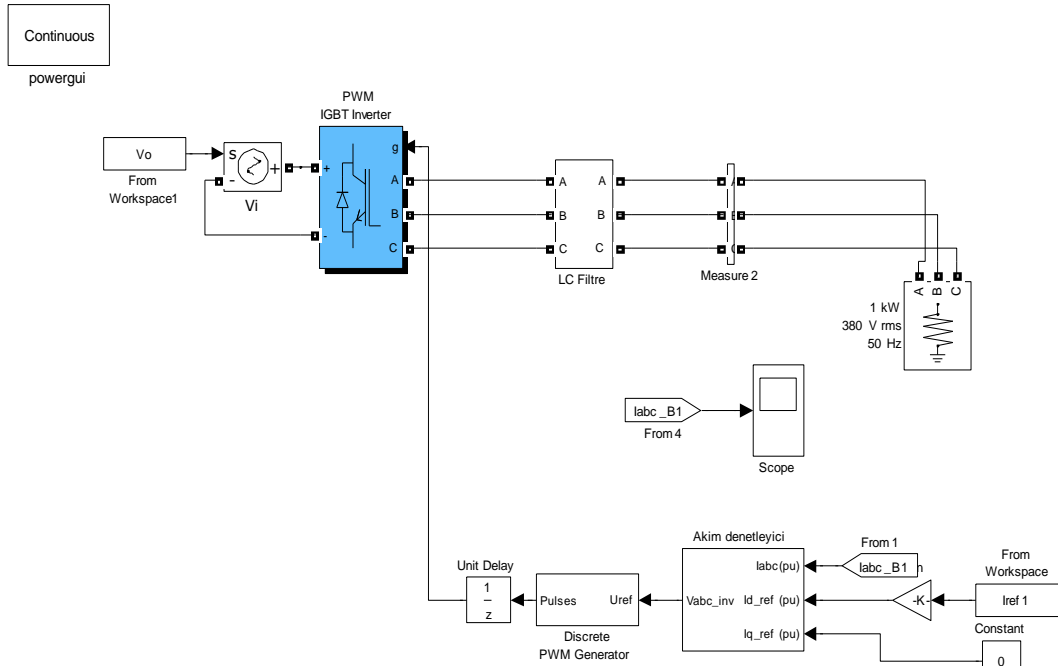
5.3. Üç Fazlı Akım Mod Denetimli Eviricinin Benzetimi

Evirici için iki temel denetim modu vardır. Biri sabit akım denetimi diğeri ise sabit güç denetimidir. Sabit güç denetiminde, iç döngü akımı regüle ederken diğeri denetim döngüleri gücü regüle etmektedir. Reaktif güç referansı Q_{ref} güç faktörü referansı olmaktadır. Sabit güç denetimi, evirici DA barasının sabit bir değerinde olması için yapılan denetimdir. Bu durumda aktif güç, P_{ref} , V_{dref} ile değiştirilebilmekte ve P_o da V_{dout} ile değiştirilebilmektedir. Böylece DA gerilim V_{dref} ayar noktasına getirilebilmektedir. Bu harici denetim döngüsünün çıkışı I_d ’ dir ve akım regülatörü için referans sinyalini oluşturmaktadır.

Üç fazlı eviricilerde, üç fazlı akım I_{abc} 'den, d – q (direct – quadrature) dönel eksene dönüştürme ve denetimi bu değerler üzerinden gerçekleştirme güç sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Elektrik büyüklüklerinin karmaşıklığı bu eksen dönüşümleri kullanılarak basitleştirilmektedir. Üç fazlı akım bilgisi öncelikle Clarke dönüşümü ile durağan eksen i_α ve i_β akımlarına dönüştürülmektedir. Daha sonra, durağan eksen i_α ve i_β akımları, Park dönüşümü ile θ dönme açısında senkron olarak dönen eksen i_d ve i_q akımlarına dönüştürülmektedir. Denetim algoritmaları, iki eksenli dönel koordinat düzleminde yer alan d ve q eksenlerinde kullanılmaktadır. FV sistemin ikinci kademesi olan üç fazlı eviricinin, d ve q eksenlerindeki akımların denetiminde sırasıyla PI, tip – 1 BMD ve tip – 2 BMD kullanılmıştır.

Benzetimi gerçekleştirilen üç fazlı eviricinin MATLAB / Simulink görünümü Şekil 5.15'de görülmektedir. Üç farklı algoritmaya göre yük akımı ve I_{dref} ile I_d akımı benzetim sonuçları verilmiştir.

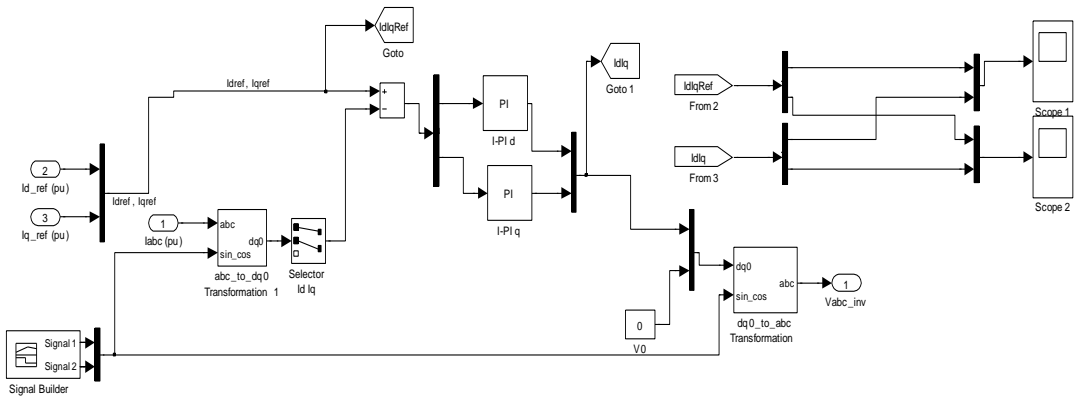
Üç fazlı akımların frekans, faz açısı ve genlik değerleri denetimde önemli olan parametrelerdir. Akımların denetiminde, kalıcı hal hatası ile referans değere ulaşma süresi ve THD değeri algoritmalarla belirlenen performans ölçütleridir. Ancak benzetim sırasında MATLAB' ın işlem yoğunluğu dolayısıyla THD değerleri elde edilememiştir.



Şekil 5.15. Üç fazlı eviricinin benzetiminde kullanılan Simulink model görüntüsü

5.3.1. Üç fazlı eviricinin PI ile denetimi

İki adet PI denetleyici ile evirici çıkış akımının d eksenindeki büyüklüğü I_{dref} referans akıma getirilmiş, q eksenindeki büyüklüğü ise birim güç faktörü için 0'a getirilmiştir. Evirici girişi FV sistemin ilk kısmı olan DA – DA dönüştürücünün çıkış gerilimidir. Iref akımı, dönüştürücü çıkış geriliminin yüke bölünmesiyle elde edilen akımdır. Denetim algoritmaları akım denetleyici alt bloğunda yer almaktadır. PI denetimi için gerçekleştirilen benzetimde kullanılan akım denetleyici alt bloğu Şekil 5.16' da görülmektedir.

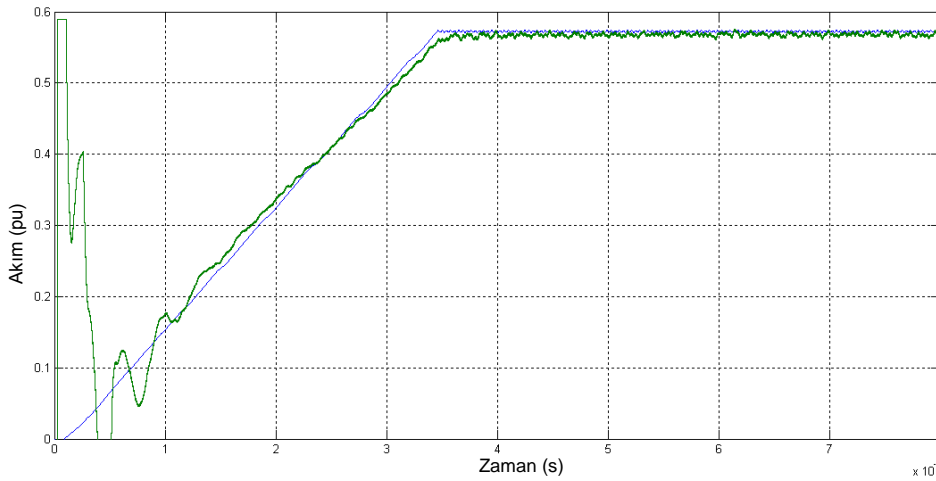


Şekil 5.16. Akım denetleyici alt blok şeması

Gerçekleştirilen modelde sinyal çıkışları Simulink' de bulunan osiloskop ile elde edilmiştir. Elde edilen şekiller, karmaşıklığı azaltmak ve daha küçük sayılarla işlem yapmak için per unit (pu) ölçü birimi ile çizdirilmiştir. pu birimi ile üç fazlı akımların etkin değeri arasındaki ilişki Eş. 5.5' de görülmektedir.

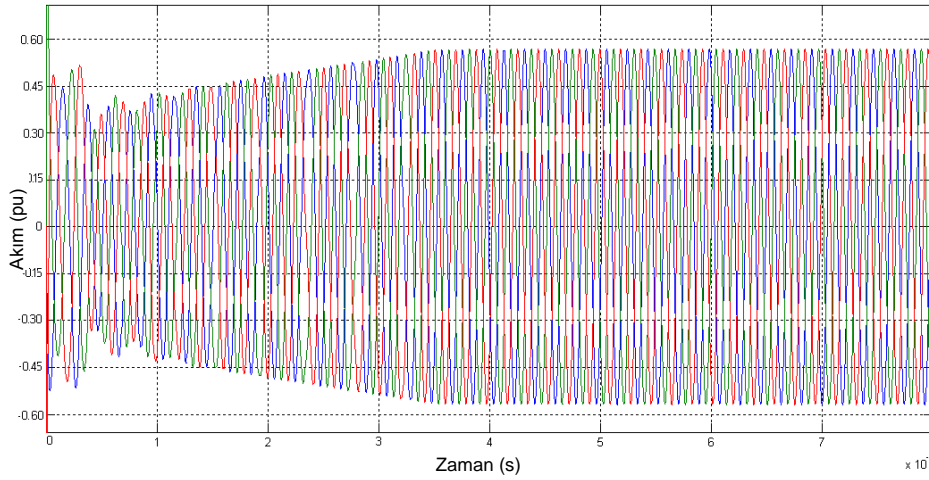
$$I_{abc}(pu) = \frac{I_{abc}(A)}{\left(\frac{P_{evirici}}{V_{hatlararası}\sqrt{3}\sqrt{2}}\right)} \quad (5.5)$$

d eksenindeki akım referansı ile PI denetleyici ile ayarlanan I_d akımı Şekil 5.17' de görülmektedir. Bu ölçümler ışıınım miktarı $0,4 \text{ kW/m}^2$ iken alınmıştır. Işınım $0,4 \text{ kW/m}^2$ olduğunda istenen akım değerine ulaşması için geçen süre $3,5 \text{ s}$ ' dir. I_d akımının bu referans değeri izlemesindeki bozulmalar Şekil 5.17' de görülmektedir.



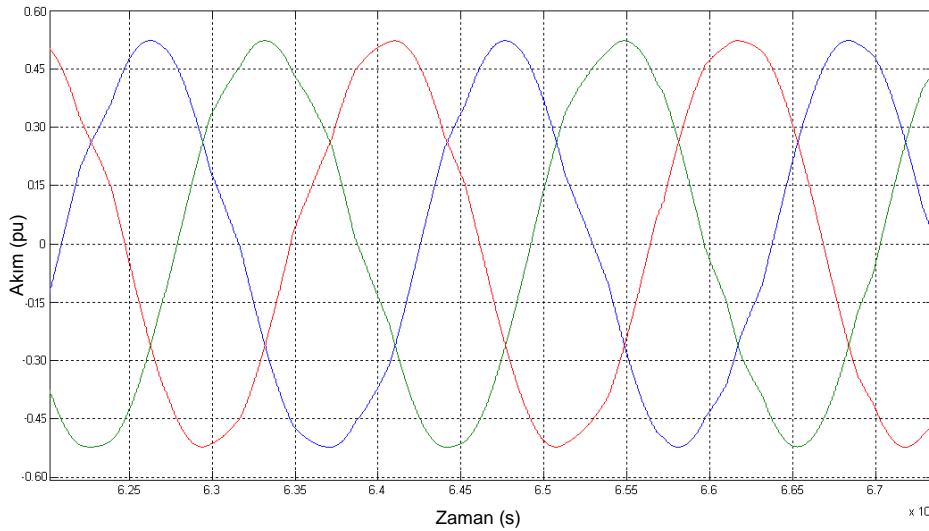
Şekil 5.17. Işınım miktarı $0,4 \text{ kW/m}^2$ olduğunda PI denetleyici ile elde edilen d eksenindeki referans akım ile gerçek akım görüntüsü

PI denetleyici ile denetlenen üç fazlı eviricinin yük akımları Şekil 5.18' de görülmektedir. I_d akımındaki bozulmaların üç fazlı evirici akımlarına etkisi şekilden de net olarak görülmektedir.



Şekil 5.18. PI ile denetlenen üç fazlı eviricinin yük akımları

Şekil 5.18’ de görülen üç fazlı akım sinyallerinin 2,5 periyot için aralıklı olarak çizdirilmiş hali Şekil 5.19’ da görülmektedir.



Şekil 5.19. 2, 5 periyotluk zaman diliminde üç fazlı akımların görüntüsü

PI denetleyicide sinüs formunun bozulduğu görülmektedir.

5.3.2. Eviricinin tip – 1 BMD ile denetimi

Üç fazlı eviricinin, tip – 1 BMD ve tip – 2 BMD ile denetimi, iki adet BMD algoritması kullanılarak sağlanmıştır. Dönel referans koordinat düzleminde, d eksenindeki akımın regülasyonu için kullanılan tip – 1 ve tip – 2 BMD giriş

değişkenleri($e(k)$ ve $de(k)$) ile çıkış değişkeni ($du(k)$) sırasıyla Eş. 5.6, Eş. 5.7 ve Eş. 5.8’de verilmektedir.

$$e(k) = I_{dref} - I_d \quad (5.6)$$

$$de(k) = e(k) - e(k-1) \quad (5.7)$$

$$u(k) = u(k-1) + du(k) \quad (5.8)$$

Reaktif gücün 0 olması için q eksenindeki akımın denetimi gerekmektedir. Bunu sağlamak için q eksenindeki akımın 0’a çekilmesi gerekmektedir. İkinci BMD algoritması da q eksenindeki akımın regülasyonu için kullanılmaktadır. Aşağıdaki eşitlikler, bu denetleyicide kullanılan hata, hatadaki değişim ve çıkış formülleridir. Tip – 2 BMD için de aynı eşitlikler kullanılmaktadır.

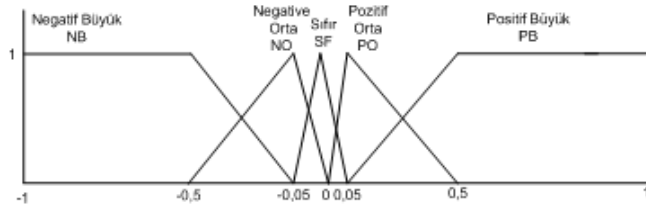
$$e(k) = 0 - I_q \quad (5.9)$$

$$de(k) = e(k) - e(k-1) \quad (5.10)$$

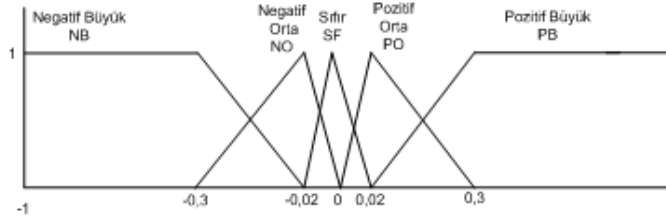
$$u(k) = u(k-1) + du(k) \quad (5.11)$$

Bu iki BMD çıkışından elde edilen denetim sinyalleri, durağan eksendeki gerilimlerin değişimidir. d eksenini için kullanılan $du(k)$, durağan eksendeki α geriliminin değişimi, q eksenini için kullanılan $du(k)$ ise durağan β ekseninin gerilim değişimidir. Dönel eksendeki bu denetim sinyalleri, ters Park dönüşümü ile durağan eksen gerilim bileşenlerine (V_α ve V_β) dönüştürülmekte ve bu gerilim değerleri de uzay vektör modülasyonundaki referans gerilimlerini oluşturmaktadır. UVM çıkışında da bu gerilimlere göre eviricide bulunan anahtarlara gönderilen DGM sinyallerinin açık olma süresi elde edilmektedir.

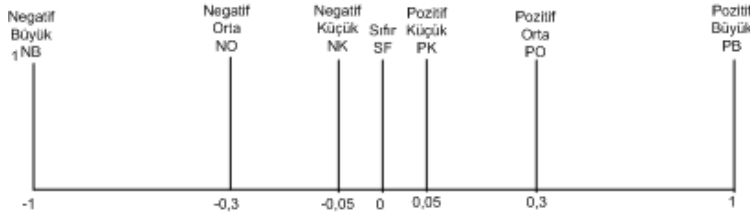
d ekseninin regülasyonunda kullanılan hata ve hatadaki değişimin üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’ de görülmektedir. I_d akımının regülasyonunun tip – 1 BMD ile sağlanmasında çıkış değişkeninin üyelik fonksiyonları Şekil 5.22’ de görülmektedir.



Şekil 5.20. I_d akımının tip – 1 BMD ile denetimi için hata üyelik fonksiyonları



Şekil 5.21. I_d akımının tip – 1 BMD ile denetimi için hatadaki değişim üyelik fonksiyonları



Şekil 5.22. I_d akımının tip – 1 BMD ile denetimi için α eksenindeki gerilim değişimi üyelik fonksiyonları

I_d akımının tip – 1 ve tip – 2 BMD ile denetiminde kullanılan kural tabanı Çizelge 5.3' de görülmektedir.

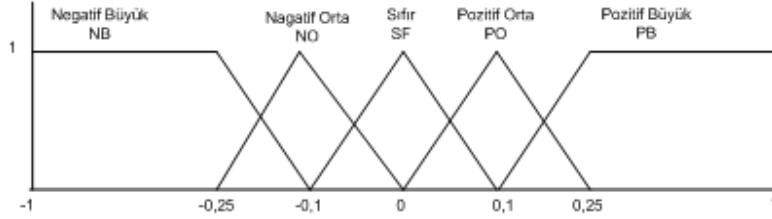
Çizelge 5.3. I_d akımı için tip – 1 ve tip – 2 BMD algoritmalarındaki kural tabanı

de \ e	NB	NO	SF	PO	PB
NB	NB	NO	NK	NK	SF
NO	NO	NO	NK	SF	PK
SF	NK	NK	SF	SF	PK
PO	SF	SF	PK	PO	PO
PB	SF	PK	PK	PO	PB

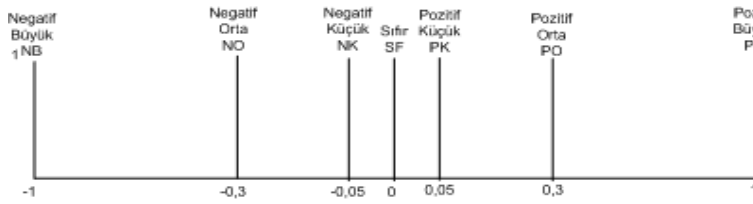
q eksenini regülasyonunda kullanılan hata ve hatadaki değişimin üyelik fonksiyonları ile çıkışın üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 5.23, Şekil 5.24 ve Şekil 5.25' de görülmektedir.



Şekil 5.23. I_q akımının tip – 1 BMD ile denetimi için hata üyelik fonksiyonları



Şekil 5.24. I_q akımının tip – 1 BMD ile denetimi için hatadaki değişimin üyelik fonksiyonları



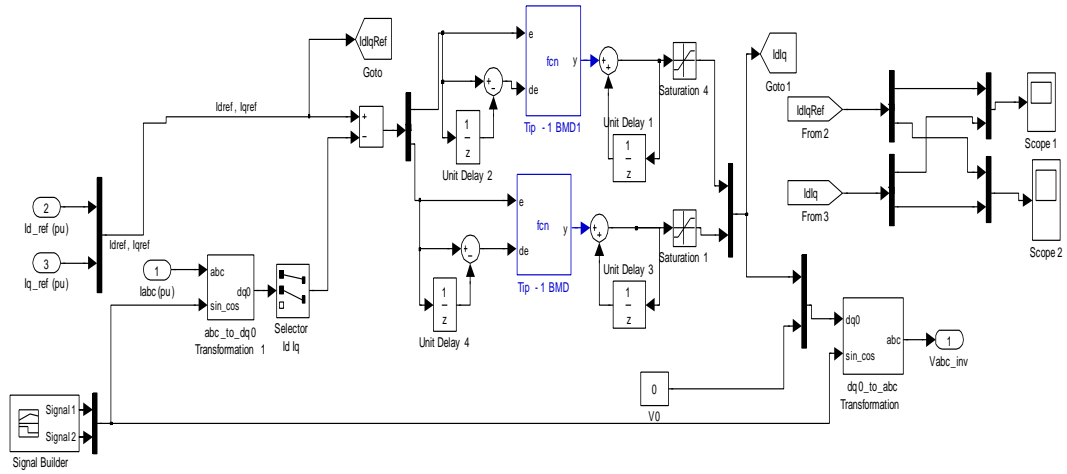
Şekil 5.25. I_q akımının tip – 1 BMD ile denetimi için β eksenindeki gerilim değişimi üyelik fonksiyonları

I_q akımının tip – 1 ve tip – 2 BMD ile denetiminde kullanılan kural tabanı ise Çizelge 5.4' de görülmektedir.

Çizelge 5.4. I_q akımı için tip – 1 ve tip – 2 BMD algoritmalarındaki kural tabanı

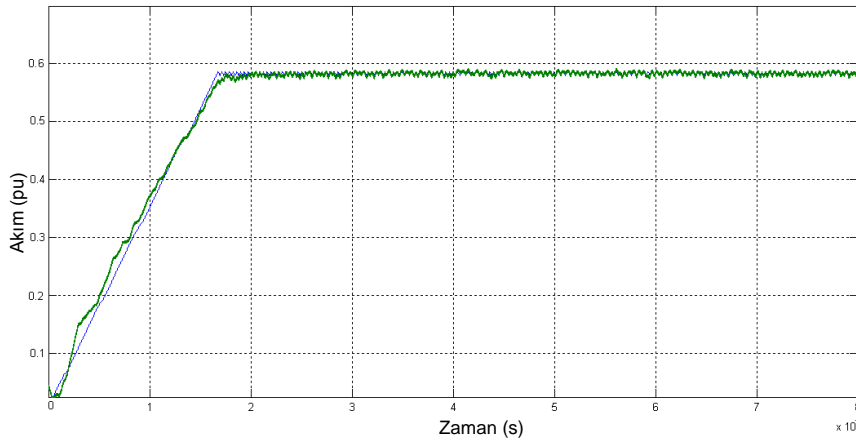
de \ e	NB	NO	SF	PO	PB
NB	NB	NO	NK	SF	SF
NO	NO	NK	NK	SF	PK
SF	NK	NK	SF	SF	PK
PO	SF	SF	PK	PK	PO
PB	SF	SF	PK	PO	PB

Şekil 5.26' da tip – 1 BMD ile gerçekleştirilen akım denetiminin alt bloğu görülmektedir. Tip – 1 BMD Simulink'de bulunan Embedded MATLAB Function bloğunun içine MATLAB kodları yazılarak gerçekleştirilmiştir. d akımı ile q akımının regülasyonu için iki adet denetleyici oluşturulmuştur.



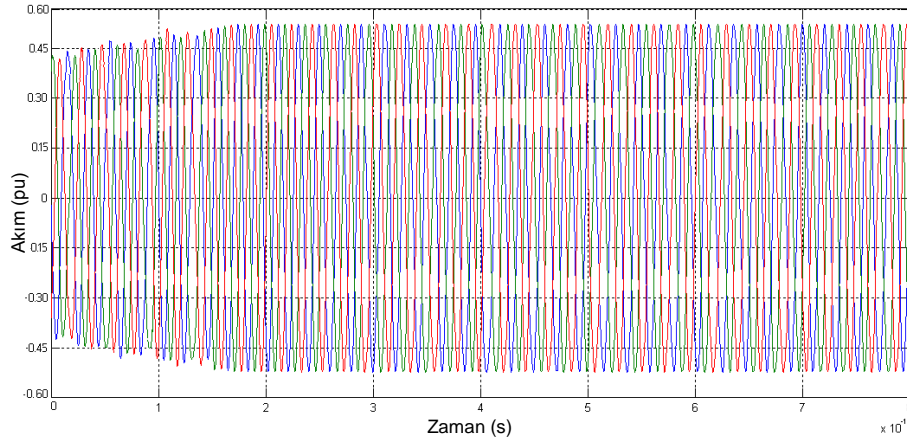
Şekil 5.26. Tip – 1 BMD ile gerçekleştirilen evirici denetiminin akım denetleyici alt bloğu

Modelde çıkış sinyalleri Scope bloğu ile elde edilmiştir. Işınım $0,4 \text{ kW/m}^2$ iken ilk kısımdan gelen referans sinyal ile d eksenini akımı I_d aynı ekranda Şekil 5.27’ de görülmektedir.



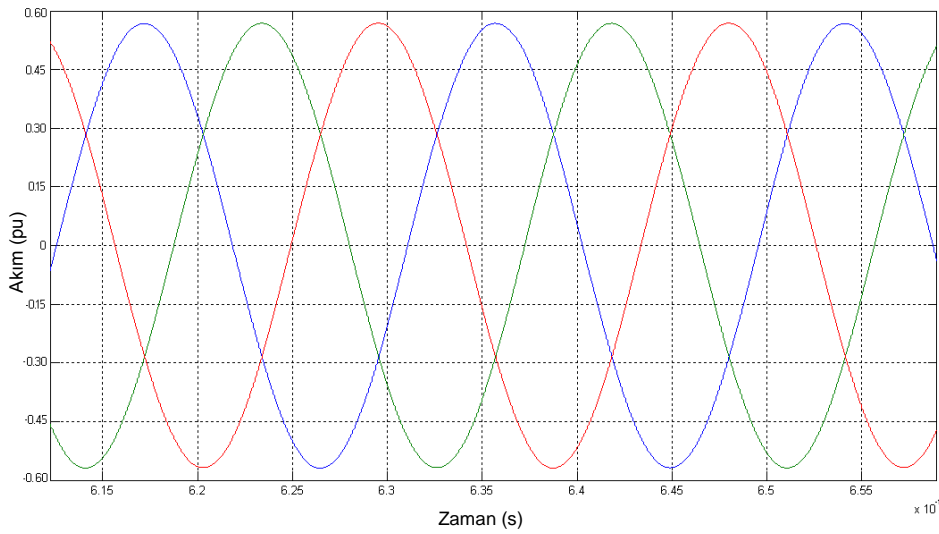
Şekil 5.27. Referans akımı ve tip – 1 BMD çıkış akımı (I_d) ($G = 0,4 \text{ kW/m}^2$)

Eviricinin üç fazlı çıkış akımları ise Şekil 5.28’ de yer almaktadır. d eksenindeki akım regülasyonunun PI denetleyiciye göre oldukça düzgün olduğu, sonuç olarak da evirici çıkış akımlarının aynı oranda düzeldiği görülmektedir. . Işınım $0,4 \text{ kW/m}^2$ olduğunda istenen akım değerine ulaşması için geçen süre $1,7 \text{ s}$ ’ dir. Ayrıca I_d akımının I_{dref} ’ i izlemesindeki bozulmanın ortadan kalktığı da şekilden görülebilmektedir.



Şekil 5.28. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin yük akımları

I_d akımında oluşan sistem cevap süresinin artması, üç fazlı evirici akımlarına da yansımaktadır. Evirici akımlarının oturma süresi 1,7 s olarak elde edilmiştir. Şekil 5.28’ de görülen üç fazlı akım sinyallerinin 2,5 periyot için aralıklı olarak çizdirilmiş hali Şekil 5.29’ da görülmektedir.



Şekil 5.29. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı akım sinyallerinin 2, 5 periyotluk zaman diliminde üç fazlı akımların görüntüsü

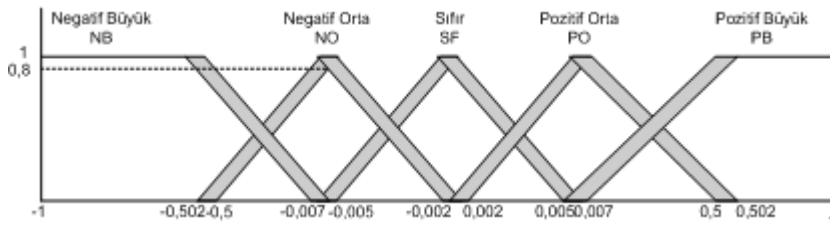
PI denetleyicideki sinüs formundaki bozulma tip – 1 BMD ile ortadan kaldırılmış, düzgün bir sinüs formu elde edilmiştir.

5.3.3. Eviricinin tip – 2 BMD ile denetimi

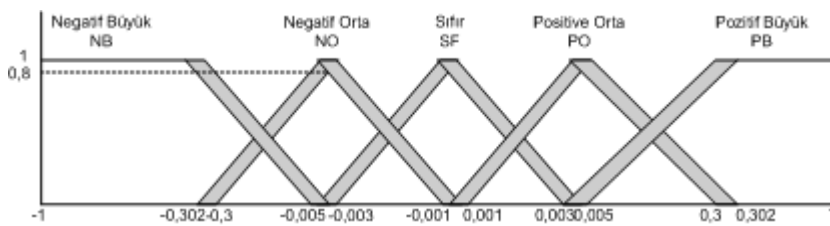
Aralıklı tip – 2 BMD dört kısımdan oluşmaktadır. Bunlar bulanıklaştırıcı, kural tabanı ve çıkarım mekanizması, tip indirgeyici ve durulaştırıcıdır. Bulanıklaştırıcı tip – 1 BMD ile aynıdır. Evirici akımlarının tip – 2 BMD ile denetiminde iki adet denetleyici kullanılmaktadır. İlki d eksenindeki akımı regüle ederken ikincisi ise q eksenindeki akımları regüle etmektedir.

Bulanıklaştırıcı, keskin girişleri tip – 2 bulanık kümelere yerleştirme işlemini gerçekleştirmektedir. Girişler, tip – 1 BMD’ de olduğu gibi, hata ($e(k)$) ve hatadaki değişimdir ($de(k)$). Uygulamasının kolaylığı düşünülerek tip – 2 bulanık küme olarak üçgen tipi seçilmiştir. Çıkış kümesi ise singleton tip – 2 bulanık kümedir ve DGM üretiminde kullanılan referans sinyalinin genliğini ifade etmektedir.

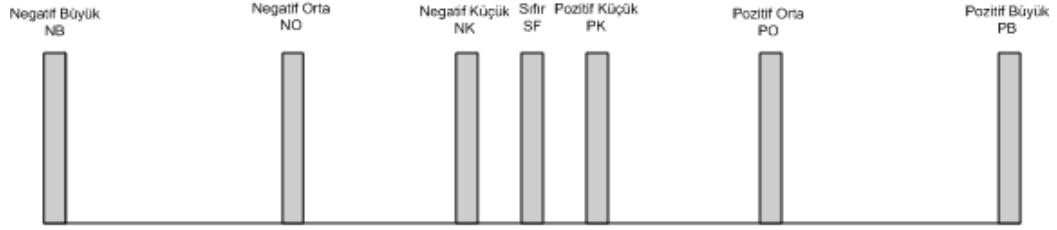
Evirici denetimi için, I_d akımının denetiminde kullanılan aralıklı tip – 2 BMD’ nin giriş değişkenleri ve çıkış değişkeni eşitlikleri tip – 1 BMD ile aynıdır. Bunlar hata, hatadaki değişim ve çıkış için sırasıyla Eş. 5.6, Eş. 5.7 ve Eş. 5.8’ de görülmektedir. Hata, hatadaki değişim ve çıkış için kullanılan aralıklı tip – 2 bulanık kümeler sırasıyla Şekil 5.30, Şekil 5.31 ve Şekil 5.32’ de görülmektedir.



Şekil 5.30. I_d akımının aralıklı tip – 2 BMD ile denetimi için hata üyelik fonksiyonları



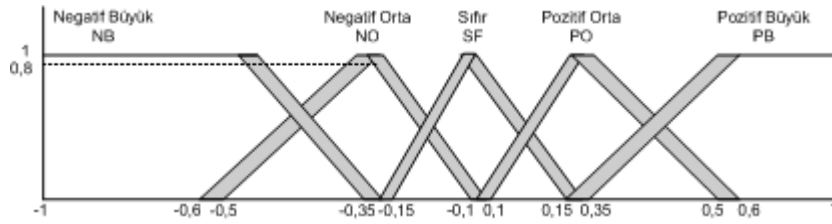
Şekil 5.31. I_d akımının aralıklı tip – 2 BMD ile denetimi için hatadaki değişim üyelik fonksiyonları



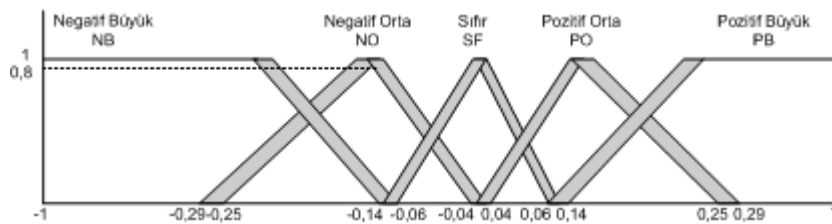
Şekil 5.32. I_d akımının tip – 2 BMD ile denetimi için α eksenindeki gerilim değişimi üyelik fonksiyonları

I_d akımının tip – 2 BMD ile denetlenmesinde kullanılan kural tabanı tip – 1 BMD’ de kullanılan kural tabanı ile aynıdır ve bu tablo Çizelge 5.3’ de görülmektedir.

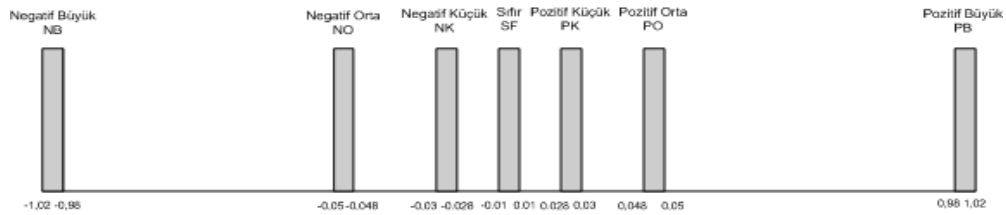
Evirici denetiminde, q eksenindeki akımın regülasyonu için kullanılan hata ve hatadaki değişimin üyelik fonksiyonları ile çıkışın üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 5.33, Şekil 5.34 ve Şekil 5.35’ de görülmektedir.



Şekil 5.33. I_q akımının aralıklı tip – 2 BMD ile denetimi için hata üyelik fonksiyonları



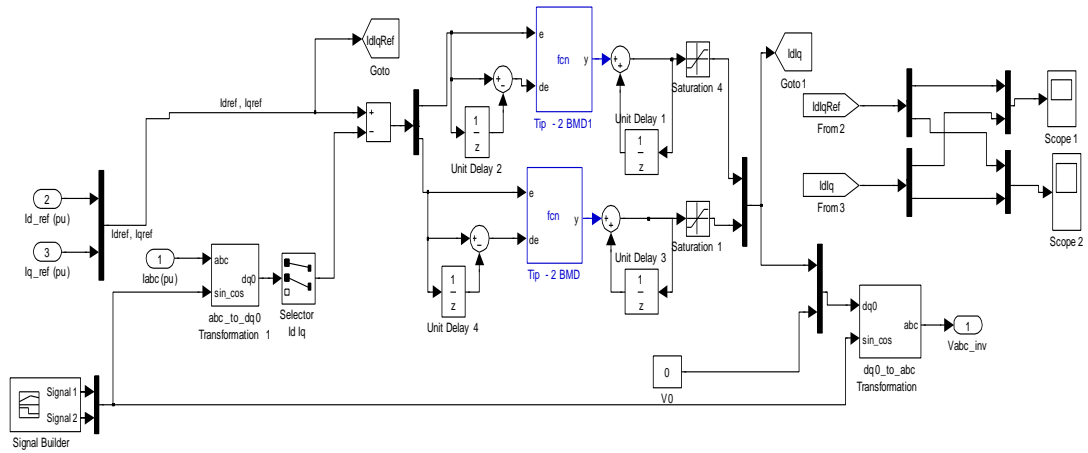
Şekil 5.34. I_q akımının aralıklı tip – 2 BMD ile denetimi için hatadaki değişim üyelik fonksiyonları



Şekil 5.35. I_q akımının tip – 2 BMD ile denetimi için β eksenindeki gerilim değişimi üyelik fonksiyonları

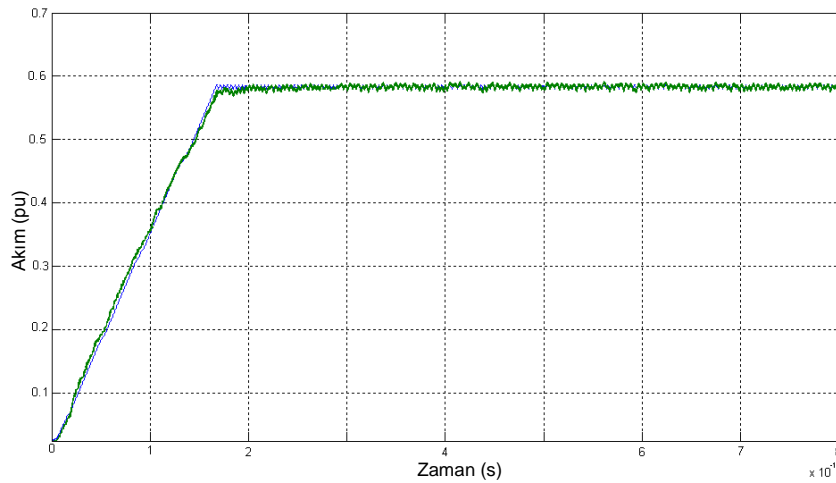
I_q akımının aralıklı tip – 2 BMD ile denetlenmesinde kullanılan kural tabanı tip – 1 BMD’ de kullanılan kural tabanı ile aynıdır ve bu tablo Çizelge 5.4’ de görülmektedir.

Şekil 5.36’da tip – 2 BMD ile gerçekleştirilen akım denetiminin alt bloğu görülmektedir. Tip – 1 BMD’ de olduğu gibi tip – 2 BMD algoritması da kod yazılarak gerçekleştirilmiştir.

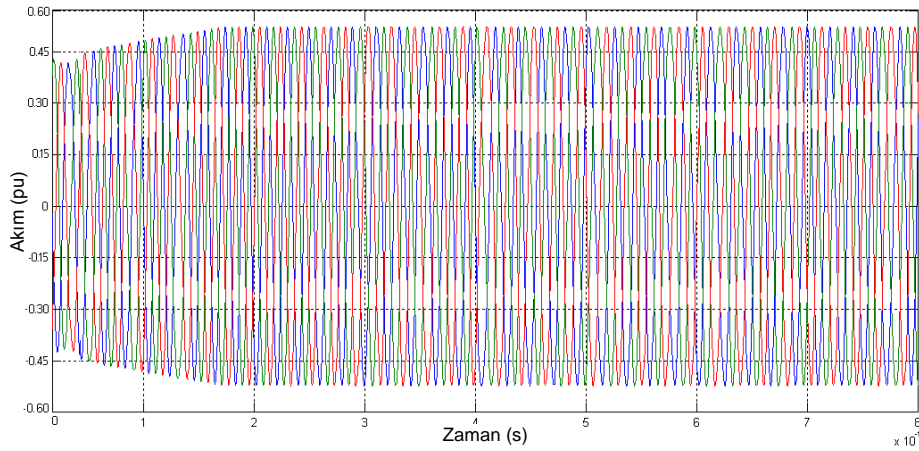


Şekil 5.36. Tip – 1 BMD ile gerçekleştirilen evirici denetiminin akım denetleyici alt bloğu

Işınım $0,4 \text{ kW/m}^2$ iken ilk kısımdan gelen referans sinyal ile d eksenini akımı I_d aynı ekranda Şekil 5.37’ de görülmektedir. Eviricinin üç fazlı çıkış akımları ise Şekil 5.38’ de yer almaktadır. d eksenindeki akım regülasyonunun en iyi ve en kısa sürede yapıldığı denetleyici türü tip – 2 BMD’ dir.

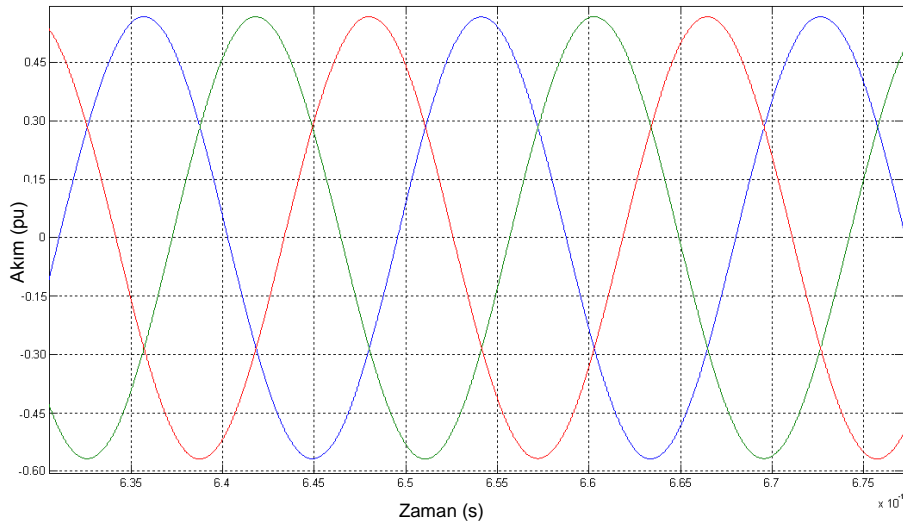


Şekil 5.37. Referans akımı ve tip – 2 BMD çıkış akımı (I_d) ($G = 0,4 \text{ kW/m}^2$)



Şekil 5.38. Tip – 2 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin yük akımları

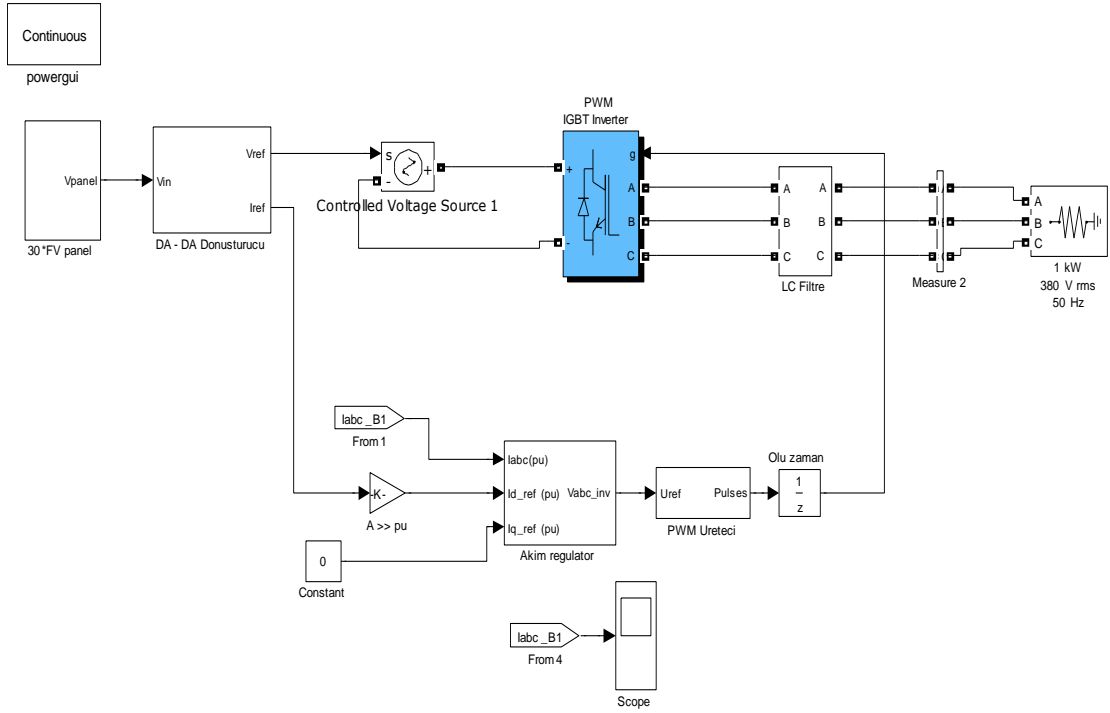
Şekil 5.38’ de görülen üç fazlı akım sinyallerinin 2,5 periyot için aralıklı olarak çizdirilmiş hali Şekil 5.39’ da görülmektedir. Tip – 1 BMD ile tip – 2 BMD’ nin sinyallerde sağladığı düzeltme oranı aynıdır. İki denetleyici arasındaki en önemli performans farkı kalkış zamanlarında olmaktadır.



Şekil 5.39. 2, 5 periyotluk zaman diliminde üç fazlı akımların görüntüsü

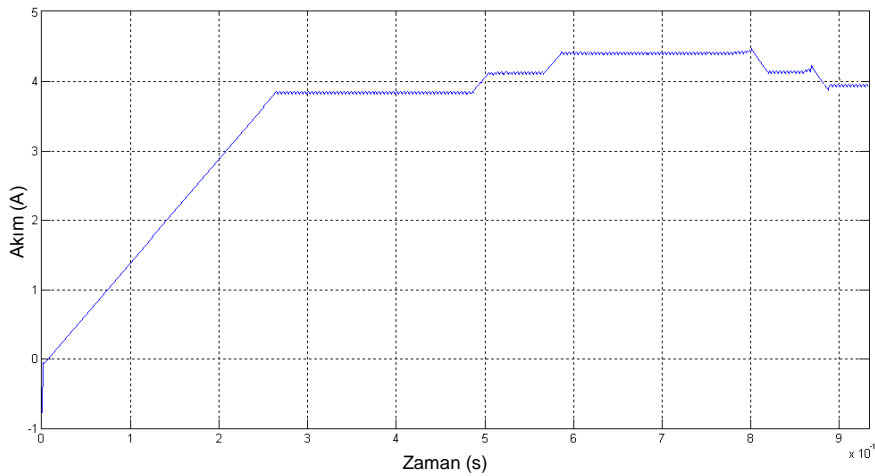
5.4. FV Sistemin Bir Bütün Olarak Benzetimi

Ayrı ayrı benzetimi gerçekleştirilen FV panel, DA – DA dönüştürücü ve üç fazlı eviricinin bir bütün olarak benzetimi her üç algoritma için gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen FV sistemin Simulink model görüntüsü Şekil 5.40’ da görülmektedir.



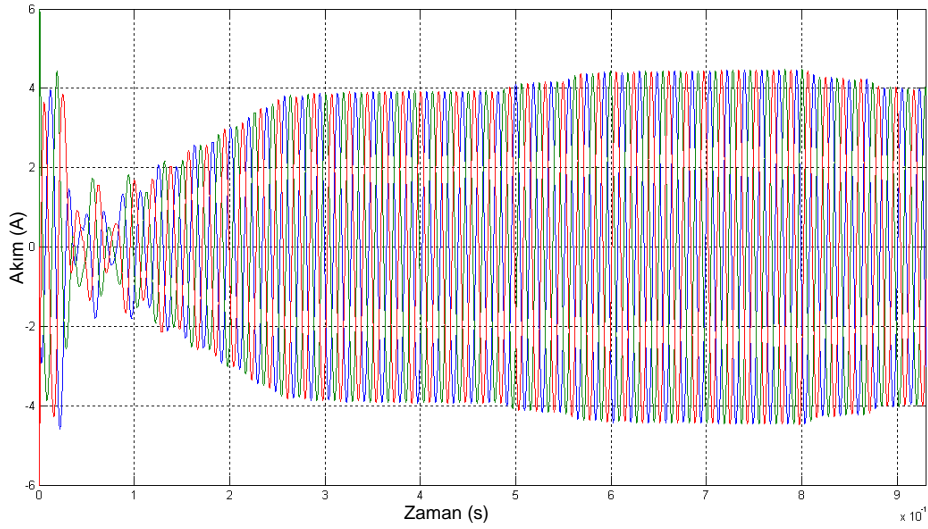
Şekil 5.40. Bir bütün olarak gerçekleştirilen FV sistem modeli

Panellerden elde edilen gerilim, DA – DA dönüştürücünü giriş gerilimi olmaktadır. DA – DA dönüştürücünün çıkış gerilimi, üç fazlı eviricinin giriş gerilimini oluşturmaktadır. İlk kademedan gelen referans akım değeri, Iabc akımlarının d – q dönüşümüyle I_d akımına dönüştürülen gerçek değeri ile karşılaştırılarak evirici için akım denetlemesi gerçekleştirilmektedir. Değişken ışınım koşullarında oluşan referans akım Şekil 5.41’ de görülmektedir.



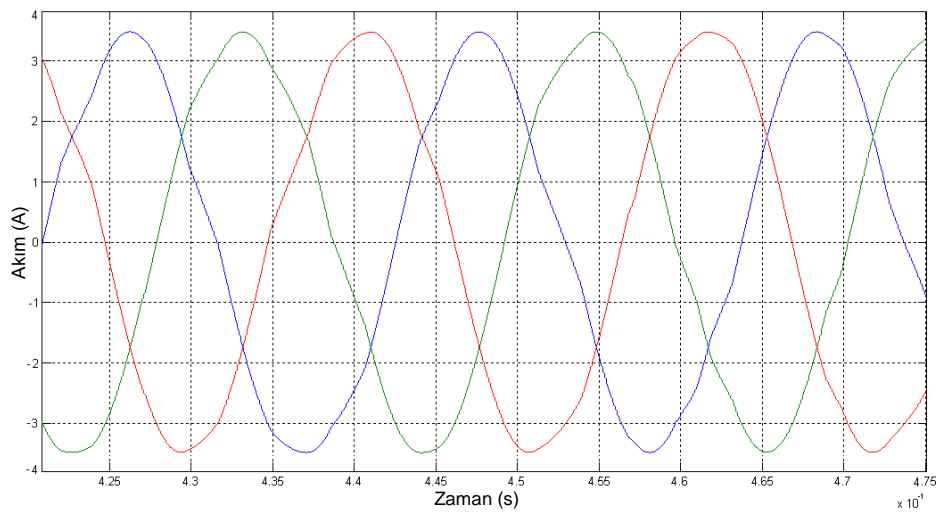
Şekil 5.41. Değişken ışınım koşullarındaki referans akımı

Değişken ışınım koşulları için ilk kademe olan DA – DA dönüştürücünden alınan referans akıma göre elde edilen üç fazlı akımlar PI, tip – 1 BMD ve tip – 2 BMD için sırasıyla Şekil 5.42, Şekil 5.44 ve Şekil 5.46’ da görülmektedir.

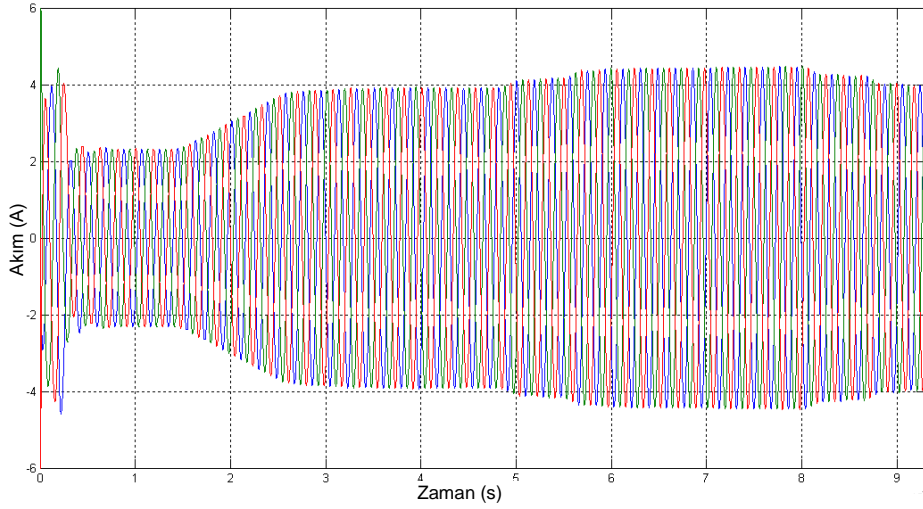


Şekil 5.42. PI ile denetlenen evirici akımları

Şekil 5.42’ de görülen üç fazlı akım sinyallerinin 2,5 periyot için aralıklı olarak çizdirilmiş hali Şekil 5.43’ de görülmektedir. PI denetleyiciden kaynaklanan bozulmalar, değişken ışınım koşullarında ve sistem bir bütün olarak çalıştırıldığında da etkisini göstermektedir.

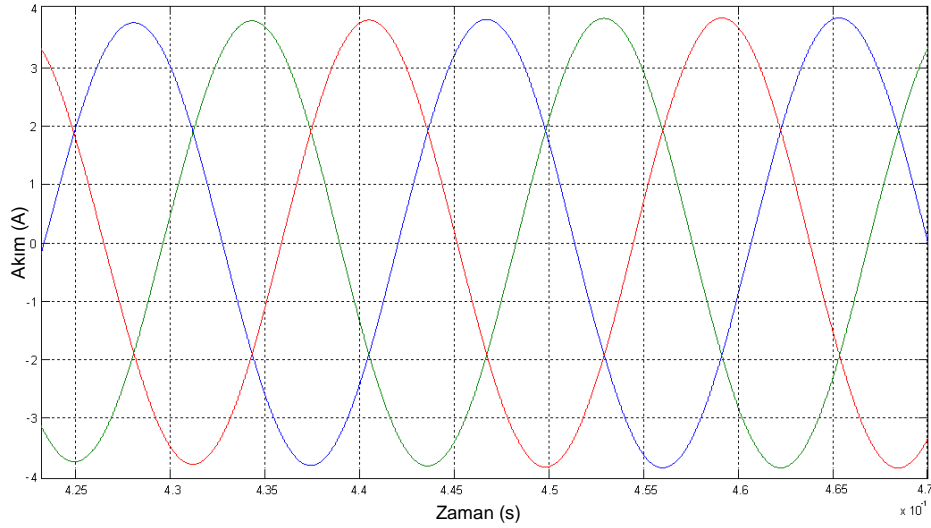


Şekil 5.43. 2, 5 periyotluk zaman diliminde üç fazlı akımların görüntüsü

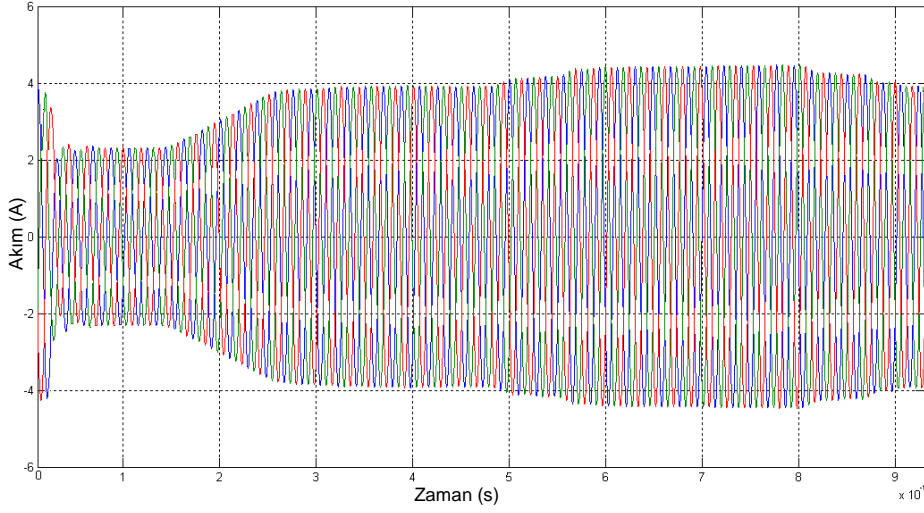


Şekil 5.44. Tip – 1 BMD ile denetlenen evirici akımları

Şekil 5.44’ de görülen üç fazlı akım sinyallerinin 2,5 periyot için aralıklı olarak çizdirilmiş hali Şekil 5.45’ de görülmektedir. PI denetleyiciden kaynaklanan bozulmalar tip – 1 BMD ile düzeltilmiştir.

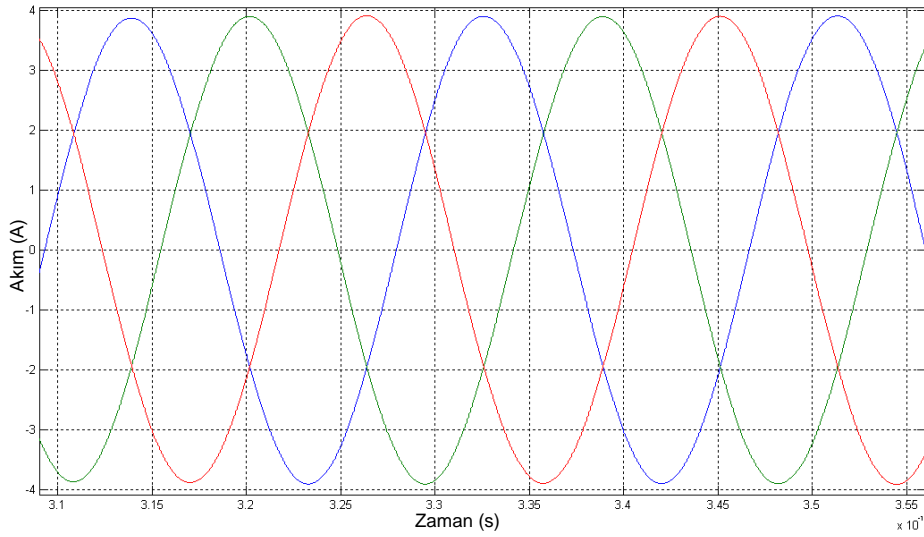


Şekil 5.45. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı evirici akımlarının 2, 5 periyotluk zaman dilimindeki görüntüsü



Şekil 5.46. Tip – 2 BMD ile denetlenen evirici akımları

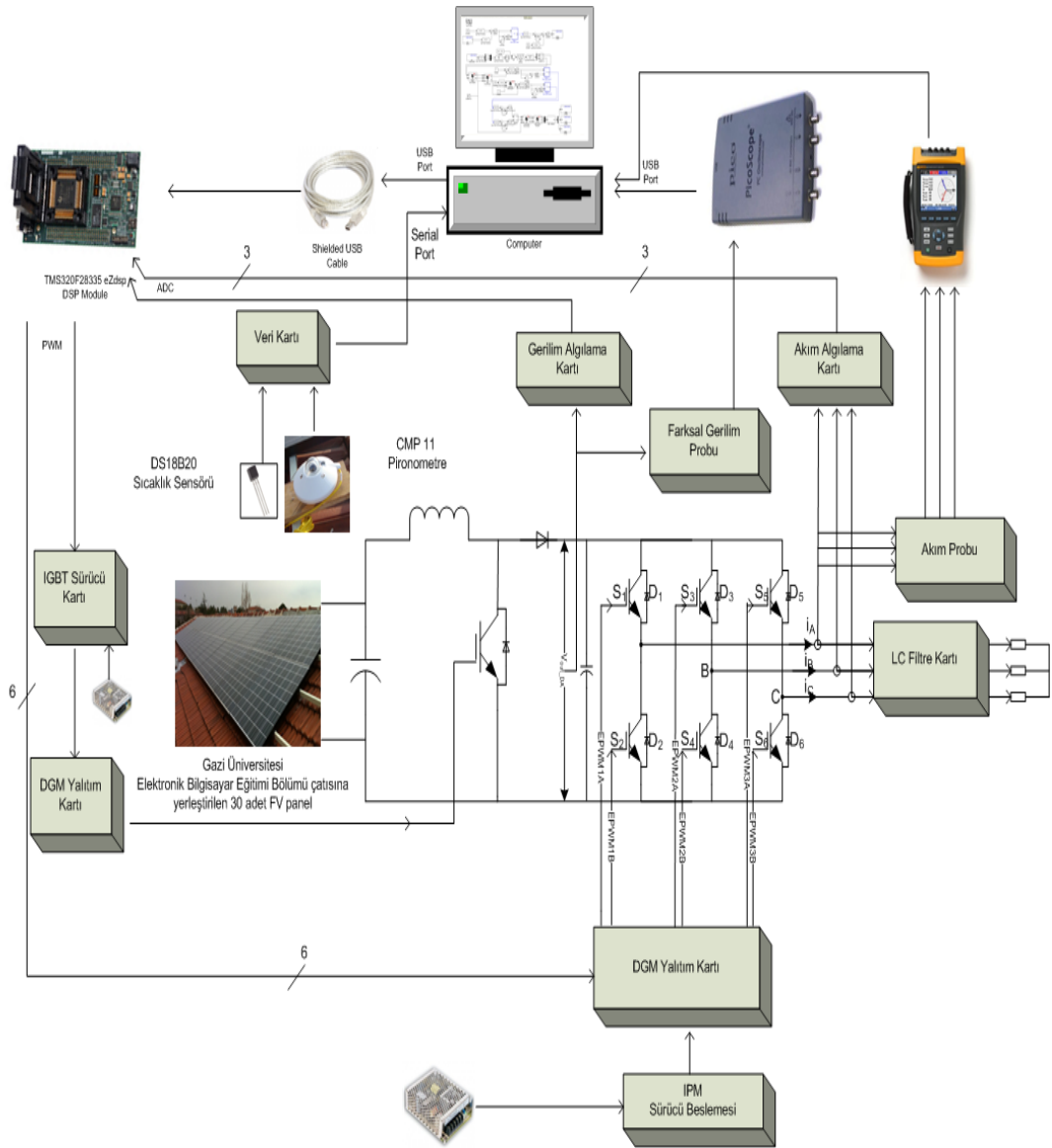
Şekil 5.46’ da görülen üç fazlı akım sinyallerinin 2,5 periyot için aralıklı olarak çizdirilmiş hali Şekil 5.47’ de görülmektedir. Tip – 1 ve tip – 2 BMD’ ler kalıcı durumda aynı etkiyi göstermektedir. İki denetleyici arasındaki fark geçici durumda ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.47. Tip – 2 BMD ile denetlenen üç fazlı evirici akımlarının 2,5 periyotluk zaman dilimindeki görüntüsü

6. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN GERÇEK ZAMANLI UYGULAMASI

İki kademeli FV sistem için DA – DA yükselten tip dönüştürücü ile panel gerilimi 620 V sabit gerilime yükseltilmektedir. Daha sonra bu gerilim üç fazlı UVM' li akım mod denetimli evirici ile üç faza dönüştürülmektedir. Tip – 2 BMD denetimli FV sistemin blok şeması Şekil 6.1' de görülmektedir.



Şekil 6.1. Tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen tip – 2 BMD'li FV sistemin blok şeması

6.1. Sistem Bileşenleri

Gerçekleştirilen FV sistemi oluşturan donanımsal elemanlar güneş panelleri, SSİ, ışınım sensörü, sıcaklık sensörü, IPM, gerilim ve akım algılama devreleri, DA – DA dönüştürücü devresi, FV panel kondansatörleri, evirici ara birim devresi, LC filtre devresi, Picoscope 3423 ile Fluke 434 güç analizörüdür.

6.1.1. Güneş panelleri

Sistemde çatıya yerleştirilmiş 30 adet güneş paneli bulunmaktadır. Bu paneller Kyocera marka KD-180GH-2P kodlu güneş panelleridir. 15’li seri 2 grup paralel bağlanmıştır. Sistemin standart test koşulları altında ürettiği en yüksek güç 5,4 kW’ dır. Çatıya yerleştirilen panellerin görüntüsü Resim 6.1’ de görülmektedir.



Resim 6.1. Çatıya yerleştirilen 30 adet panelin görüntüsü

6.1.2. Sayısal sinyal işlemcileri

Sayısal sinyal işlemcileri (SSİ) video, müzik, haberleşme ve ölçme tekniğinde sıklıkla kullanılmaktadır. Elektrik makinelerinin hız, moment veya konum denetiminde yüksek hızlı ve doğruluklu işlem başarımının elde edilmesinde ve daha karmaşık denetim yöntemlerinin uygulanmasında SSİ önemli yer tutmaktadır. Güç elektroniği sürücü düzeneklerinde kullanılan yarı iletken anahtarların daha hızlı ve

daha karmaşık denetimleri, sürekli gelişen mikroişlemci teknolojisiyle daha kolay yapılabilmektedir [67].

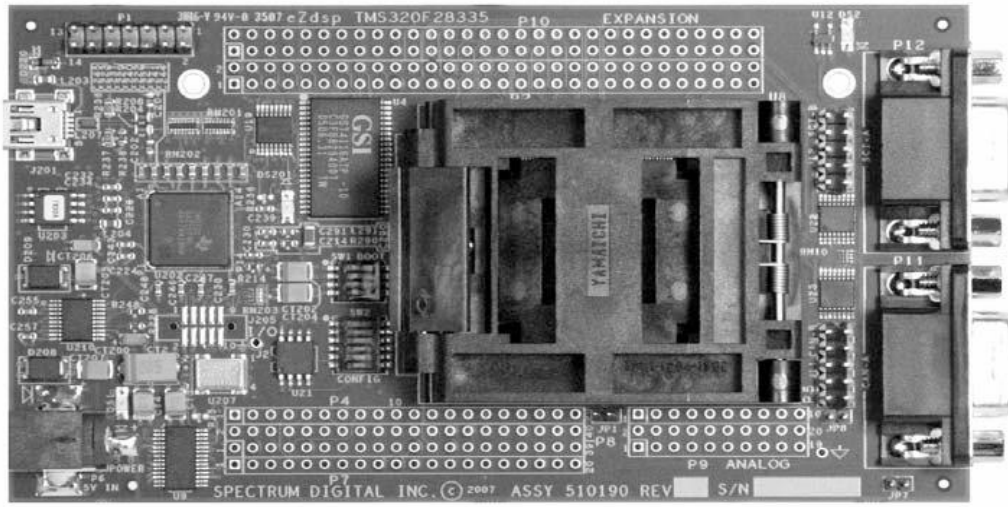
Spectrum Digital firması tarafından deneysel kullanımlar için geliştirilmiş deney kartı olan eZdsp TMS320F28335 kiti, bilgisayarın USB girişi üzerinden Code Composer Studio (CCS) program ara yüzü ile programlanabilmektedir. Bu kitin deneylerin yapılmasında hız kazandırma gibi üstün bir özelliği olmasına rağmen, TMS320F28335 işlemcisinin ADC kanalları için giriş empedansının düşük olması ve TTL 5 V ile değil de 3.3 V' u referans alması ara yüz kartlarının tasarlanmasını gerektirmiştir. Ayrıca karmaşık bir yapıya sahip olmasından dolayı öğrenilmesi ve uygulaması oldukça zordur. Bunun yanında yüksek çalışma hızı (150 MHz), floating point desteği, 68 kB RAM belleğe sahip olması ve 12 bit ADC gibi özellikleri ile gerçek zamanlı uygulamalar için uygun bir işlemcidir.

eZdsp TMS320F28335 kiti

eZdsp F28335 kiti, SSI' nin çalıştırılmasını ve MATLAB/Simulink, CCS veya Vissim gibi programlar ile geliştirilen yazılımların devre üzerinde çalışmasını sağlamaktadır. Code Composer Studio IDE programı ile yazılan programların kitin üzerinde bulunan SSI' ye aktarılması sağlanmaktadır. Bu kit, bilgisayara USB' den bağlanmaktadır. Spectrum Digital tarafından geliştirilen kit, yine aynı firma tarafından oluşturulmuş SD Config isimli programla tanıtılmaktadır. Kitin genel görünümü Resim 6.2' de görülmektedir.

Kitin özellikleri aşağıdaki gibidir:

- TMS320F28335 Sayısal işaret işlemcisi
- 150 MHz çalışma hızı
- Entegre üzeri 32 bit FPU
- 68K byte entegre üzeri RAM
- 512K byte yonga üzeri Flash bellek
- 256K word yonga dışı SRAM bellek
- 30 MHz giriş clocku
- Multi genişletme (expansion) bağlantı yuvası (analog, I/O)
- Bord üzerinde IEEE 1149.1 JTAG Denetleyici



Resim 6.2. eZdsp F28335 genel görüntüsü

MATLAB / Simulink ile otomatik gömülü kod üretimi

MATLAB/Simulink, denetim algoritmalarının blok diyagramlarla gösterilebilen benzetimi için model tabanlı bir geliştirme ortamıdır. MATLAB / Simulink paket programının içerisinde, TI 2000 serisi için hazırlanmış matematiksel dönüşümler ve işlemler, PWM, ADC, PID bloğu, hız ölçümü ve uzay vektör üretici gibi hazır bloklar bulunmaktadır. Bu bloklar ile CCS kullanılarak gerçekleştirilen program rutinleri MATLAB/Simulink ile SSİ' nin içerisine gömülmektedir.

Blok diyagramlarla verilen SSİ algoritmaları, Real Time Workshop (RTW), Link for Code Composer Studio Development Tools ve Embedded Target for TIC2000 SSİ alt yazılımları ile hedef SSİ için makine diline (assembly) çevrilmekte ve gerçek zamanda uygulanması ve tasarım doğrulaması hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

6.1.3. CMP 11 ışınım sensörü ve DS18B20 sıcaklık sensörü

Işınım bilgilerinin alınabilmesi için Kipp & Zonen marka CMP 11 kodlu ışınım sensörü kullanılmıştır. Sıcaklık kompanzasyonlu dedektör teknolojisiyle 1.66 saniyelik örneklem hızıyla güneş enerjisi uygulamaları için uygun bir algılayıcıdır. Genel görüntüsü Resim 6.3' de görülmektedir.

Işınım bilgileri ve panel ile çevre sıcaklığı bilgileri 10 saniyede bir, RS232 seri iletişim protokolü kullanılarak tasarlanan veri kartı ile bilgisayar ortamına alınmaktadır.



Resim 6.3. Çatıya montajı yapılan ışınım sensörü ve ölçüm devresinin genel görünüm

6.1.4. Zeki güç modülü (intelligent power module – IPM)

Gerçekleştirilen çalışmada Mitsubishi firmasına ait 1200 V 150A' lik PM150CL1A120 kodlu IPM kullanılmıştır. IGBT modüller ve sürücü devreleriyle karşılaştırıldığında, IPM aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- IPM' de bulunan IGBT gate sürücüleri en iyi koşullarda çalışmaktadır.
- Dahili sürücü devrelerle IGBT arasındaki mesafe kısadır. Sürücü devrenin empedansı düşüktür. Bu yüzden elektro manyetik girişimler azdır.
- 4 farklı denetim güç kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Bu güç kaynaklarının hepsi birbirinden yalıtılmış olmalıdır. Bunlardan bir tanesi alt kollardaki IGBT ler için, diğer üçü ise yukarıdaki her bir IGBT için kullanılmaktadır.
- Aşağıdaki koruma devrelerine sahiptir.
 - (OC): Aşırı akım koruma
 - (SC): Kısa devre koruma
 - (UV): Kontrol güç kaynaklarının düşük gerilim koruması
 - (OH): Aşırı ısınma koruması
 - (ALM): Harici alarm çıkışı

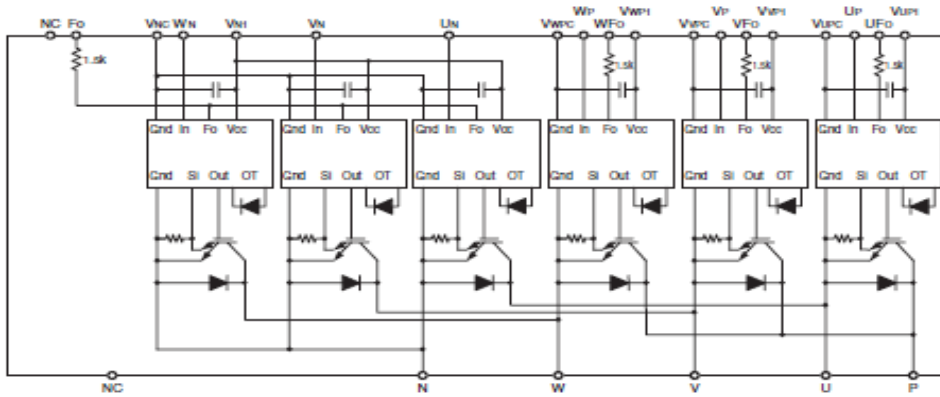
- OC ve SC koruma devreleri aşırı akım veya yükün kısa devre olması durumunda IGBT' nin zarar görmesine karşı koruma sağlamaktadır. Bu devreler her bir IGBT' nin üzerine yerleştirilmiş dedeksiyon elemanları kullanılarak kollektör akımlarını görüntülemektedir ve böylece IGBT' nin zarar görme olasılığını en aza indirmektedir.
- UV koruma devresi tüm IGBT sürme devrelerinde kullanılmaktadır. Bu devre Vcc kaynak gerilimini izlemektedir.
- OH koruma devresi IGBT ve diyotları aşırı ısınmadan korumaktadır. Devre, IPM' in içindeki yalıtım alt tabakasının üzerine yerleştirilmiş sıcaklık algılama elemanlarıyla bu yüzeyin sıcaklığını takip etmektedir.
- ALM devresi IPM' in çıkışında bir alarm sinyali üretmektedir. Yukarıdaki normal olmayan durumlardan biri ortaya çıktığında IPM' i denetleyen işlemciye alarm sinyali göndererek sistemin güvenli bir şekilde kapatılmasını sağlamaktadır.

Kullanılan IPM' in genel görüntüsü Rsim 6.4' de yer almaktadır.



Resim 6.4. Mitsubishi marka PM150CL1A120 kodlu IPM'in genel görüntüsü

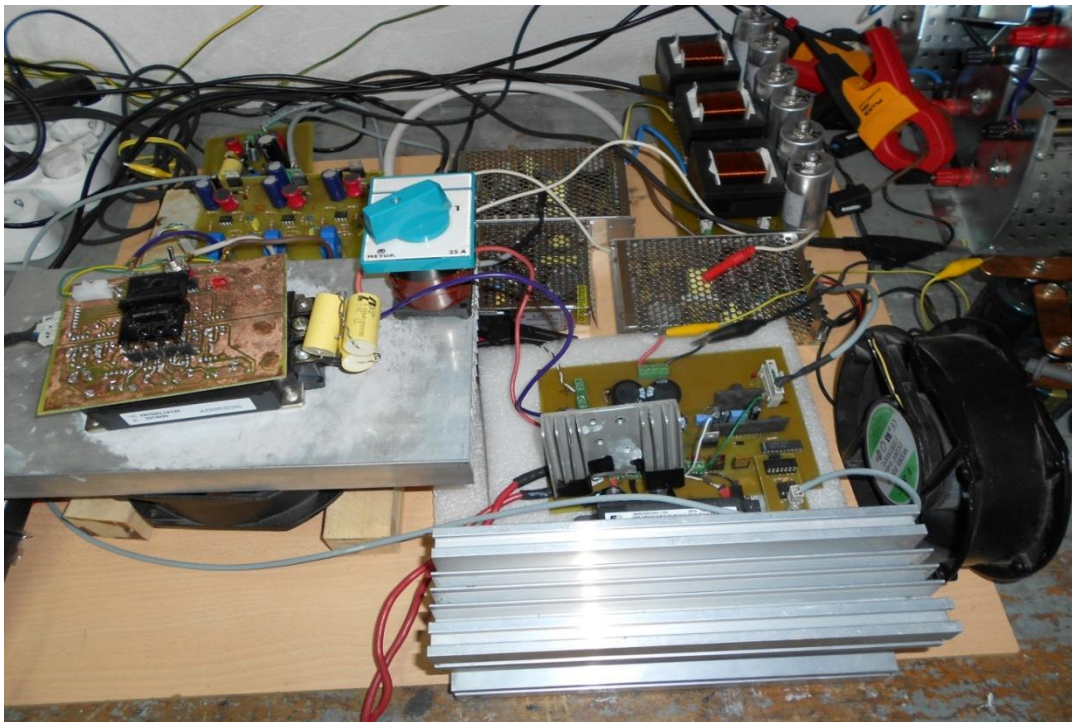
Şekil 6.2'de kullanılan IPM' in blok şeması görülmektedir.



Şekil 6.2. IPM blok şeması

6.2. Donanım Çalışmaları

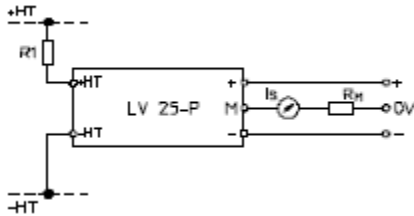
FV sistem tasarımı için DA – DA yükselten tip dönüştürücü devresi, dönüştürücünün çıkış gerilimini algılamak için gerilim algılama devresi, üç fazlı eviricide kullanılan IPM için ara birim devresi, üç fazlı eviricinin akımlarını algılamak için akım algılayıcı devresi, üç fazlı akım sinyallerinin harmoniğini azaltmak için LC filtre devresi ve ışınlım ile sıcaklık bilgilerinin bilgisayar ortamına aktarılması için veri kartı devresi gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin genel görüntüsü Resim 6.5’ de görülmektedir.



Resim 6.5. Gerçekleştirilen FV sistemin genel fotoğrafı

6.2.1. Gerilim ve akım algılama devreleri

Gerilim ölçüm devreleri, gerilim sensörü, seviye kaydırma devreleri ve tampon yükselteci içermektedir. DA - DA yükselten tip dönüştürücü çıkış geriliminin algılanması için gerilim algılama devresi tasarlanmıştır. Gerilim sensörü olarak LEM firmasının üretmiş olduğu galvanik yalıtıma sahip LV25 – P – SP2 sensörü kullanılmıştır. LV25-P-SP2 sensörü, 1500 V' a kadar olan gerilimlerin algılanmasında kullanılabilir. Sensörün çıkışı, primer akımını, sekonderde 2,5:1 oranında düşüren bir akımdır. Bu sensör simetrik olarak ± 15 V ile beslenmektedir ve Şekil 6.3' deki gibi bir bağlantıya sahiptir.

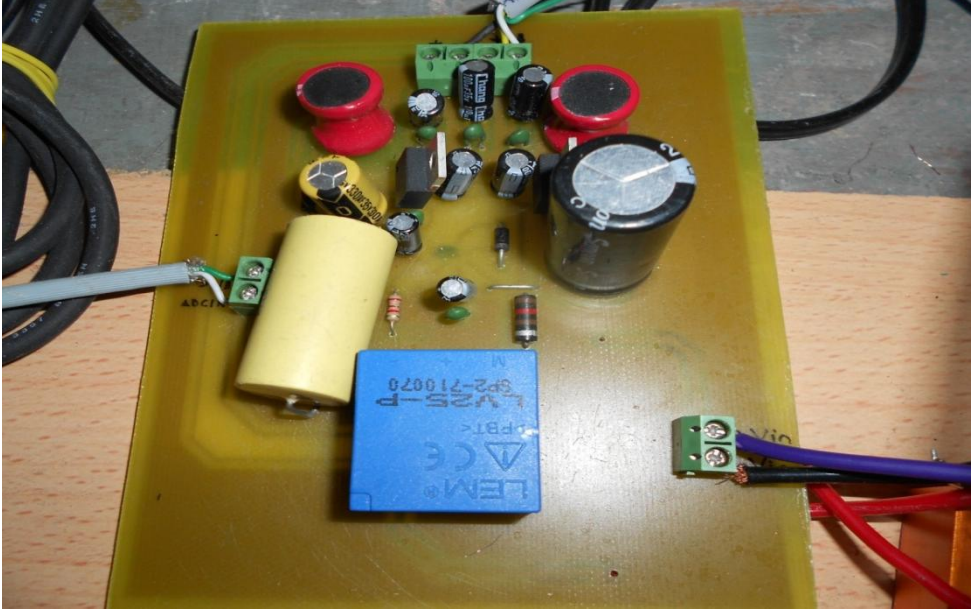


Şekil 6.3. Gerilim sensörü bağlantı şekli

Gerilim ölçümü için öncelikle, ölçülen gerilimle orantılı olarak akım geçirecek olan, algılayıcıya seri bağlanan direnç değeri R_1 belirlenir. DA – DA dönüştürücüsünün çıkış gerilimi 620 V' a sabitlenmektedir. Bu gerilimi algılamak için bağlanan direnç değeri 100 k olarak belirlenmiştir. Böylece primer akımı yaklaşık olarak 6,2 mA olmaktadır.

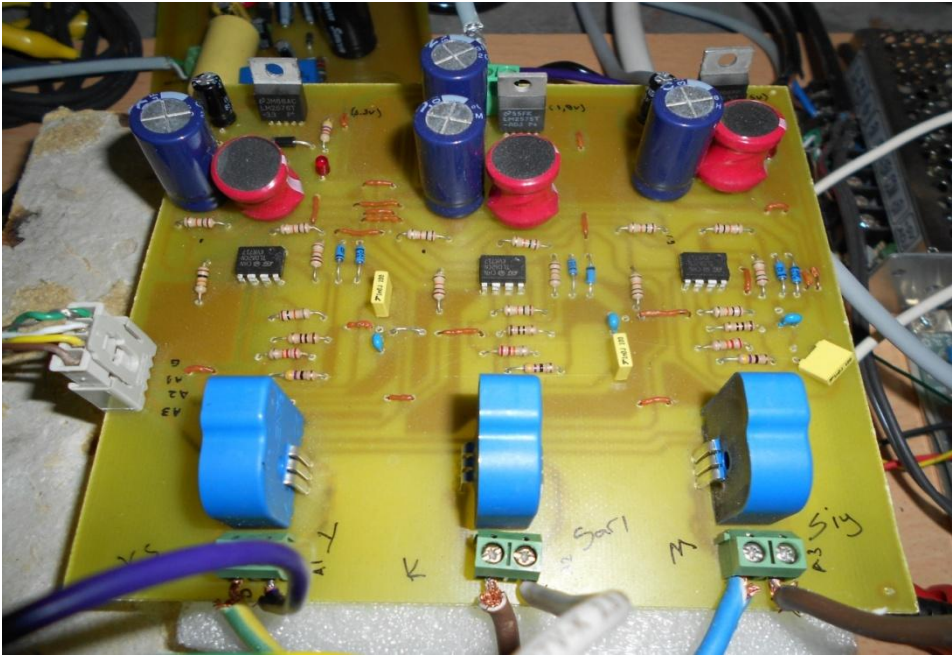
Algılanan gerilim için en yüksek doğruluk primer akımının 10 mA olarak seçilmesiyle elde edilmektedir ki bu doğruluk değeri $\pm 0,9\%$ dur. Primer akımının 5 mA seçilmesiyle bu oran $\pm 1,5\%$ a düşmektedir. Ancak standart dirençlerin sınırlılığından dolayı böyle bir doğruluk azalması göze alınmıştır.

Gerçekleştirilen gerilim algılama devresinin fotoğrafı Resim 6.6' da görülmektedir.



Resim 6.6. DA – DA yükselten tip dönüştürücü çıkış gerilimi algılama devresi

Üç fazlı eviricinin çıkış akımlarını algılamak için LEM firmasının üretmiş olduğu LTS25-NP algılayıcı kullanılmıştır. Bu algılayıcıyla primer sargı sayılarına bağlı olarak 8, 12 ve 25 A'e kadar olan akımları algılamak mümkündür. Tasarlanan akım algılama devresinin genel görüntüsü Resim 6.7' de görülmektedir.



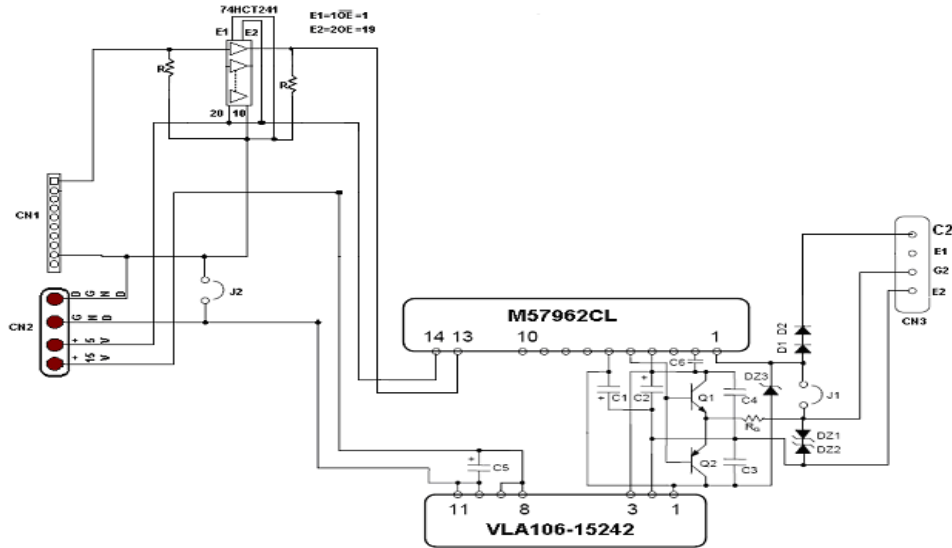
Resim 6.7. Üç fazlı eviricinin çıkış akımlarını algılama devresi

6.2.2. IGBT kapı sürücü ve DA – DA dönüştürücü tasarımı

IGBT modül uygulamalarında daha iyi bir başarıml elde edebilmek için yalıtımlı karma model kapı sürücü devreleri kullanılmaktadır. Bu tipteki sürücüler yalıtımlı sayısal seviye denetimi, opto yalıtıcıları kullanarak hata geri besleme sinyali ve her bir kapı sürücüsü için ayrı yalıtıma sahip güç kaynağına olanak sağlamaktadır. Karma model kapı sürücüleri çok sayıda üstünlüğe sahiptir.

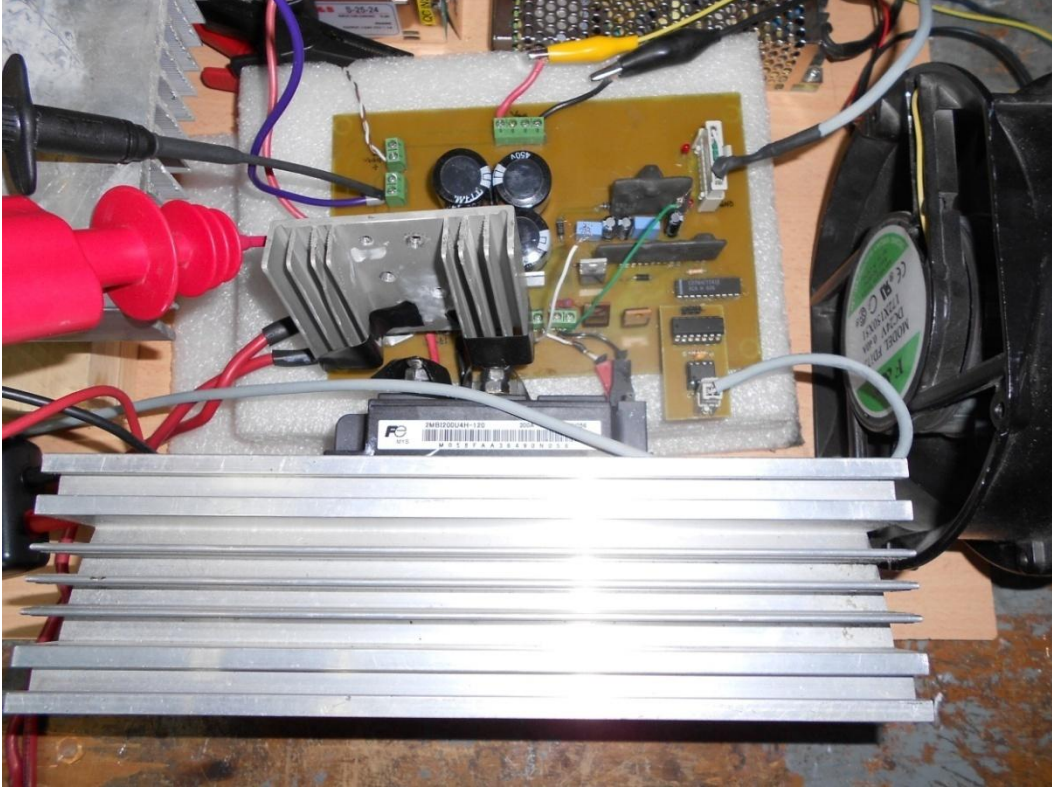
1. IGBT' lerin kesim ve iletim anlarında kararlı gerilimler sağlamaktadır.
2. Yüksek güçlü IGBT' ler için yüksek bir çıkış akımına olanak sağlamaktadır.
3. Güç devresine ait anahtarlama gürültüleri ve yüksek gerilimleri denetim devresini kullanarak yalıtılmaktadır.

Sistemde bir adet IGBT anahtar bulunmaktadır. Bu yüzden bir adet M962CL-01 IGBT sürücü entegresi ve IGBT sürücü beslemesi olarak da bir adet VLA106-15242 DA – DA dönüştürücü entegresi kullanılmıştır. IGBT sürücü ile DA-DA dönüştürücünün prensip şeması Şekil 6.4' de görülmektedir



Şekil 6.4. IGBT Sürücü devresi

DA – DA dönüştürücüde kullanılan anahtar yüksek gerilim değeri için IGBT olarak belirlenmiştir. Anahtar olarak 1200 V 150 A değerinde Fuji marka 2MBI150N-120 kodlu IGBT kullanılmıştır. Gerçekleştirilen DA – DA dönüştürücü devresinin fotoğrafı Resim 6.8' de görülmektedir. FV panellere paralel olarak bağlanan kondansatörün resmi ise Resim 6.9' da görülmektedir.



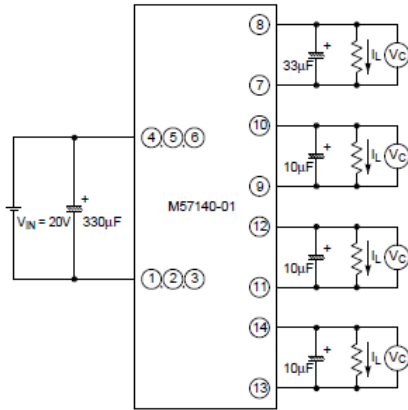
Resim 6.8. DA – DA dönüştürücü devresi genel görüntüsü



Resim 6.9. FV panellere paralel bağlanan kondansatörlerin fotoğrafı

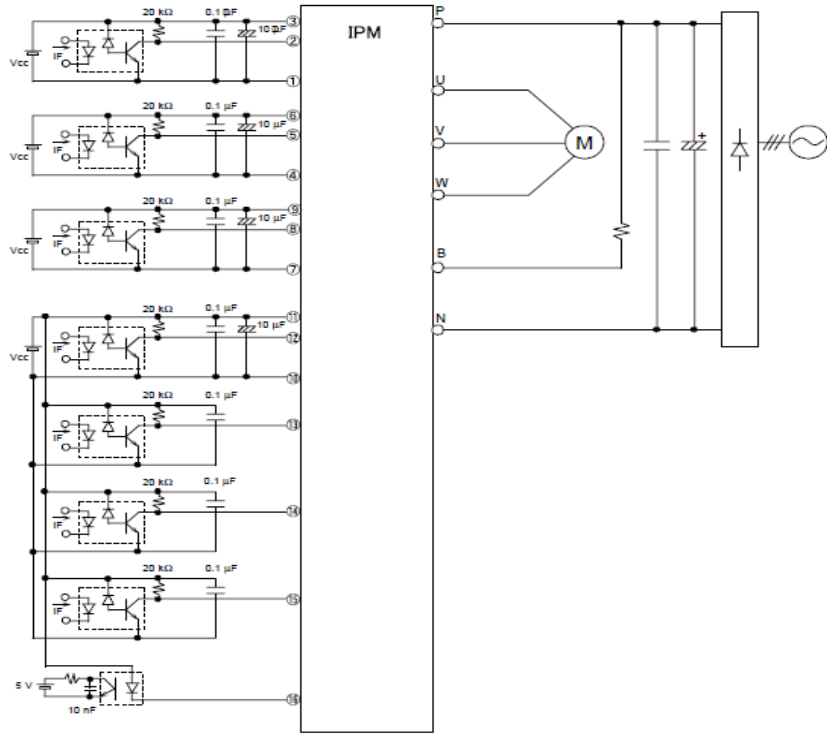
6.2.3. Üç fazlı evirici ara birim devresinin tasarımı

Üç fazlı evirici için iyi bir başarı ve kolay tasarım için IPM kullanılması uygun görülmüştür. Bu sayede sürücü devreleri ve koruma devreleri gibi devreler ayrıca tasarlanmak durumunda kalınmamıştır. Bunun dışında IPM'lerin sürülmesi için besleme devresi ile SSİ ile IPM arasında yalıtımın sağlanması için optokuplör devresi tasarlanmıştır. IPM sürücü beslemesi için M57140-01 DA – DA dönüştürücü entegresi kullanılmıştır. Bu entegre, IPMleri sürmek için tasarlanmıştır. $20 V_{DA}$ girişe karşılık çıkışta 4 adet şasele birbirinden ve giriş geriliminden farklı $15 V_{DA}$ elde edilmiştir. Bu çıkışlardan üçü üst kol IPM sürücülerinin her birinin beslenmesinde, kalan bir çıkış ise alt kolların için sürücü beslenmesinde kullanılmaktadır. Bu dönüştürücüdeki yalıtım hem prime sekonder arasında hem de sekonderler arasındadır. Üst kol IGBT ler için olan besleme çıkışlarında sağlanan akım 30 mA iken alt kolların üçü için ortak besleme akımı 100 mA' dir. Bu entegreye ait uygulama devresi Şekil 6.5' de verilmektedir.



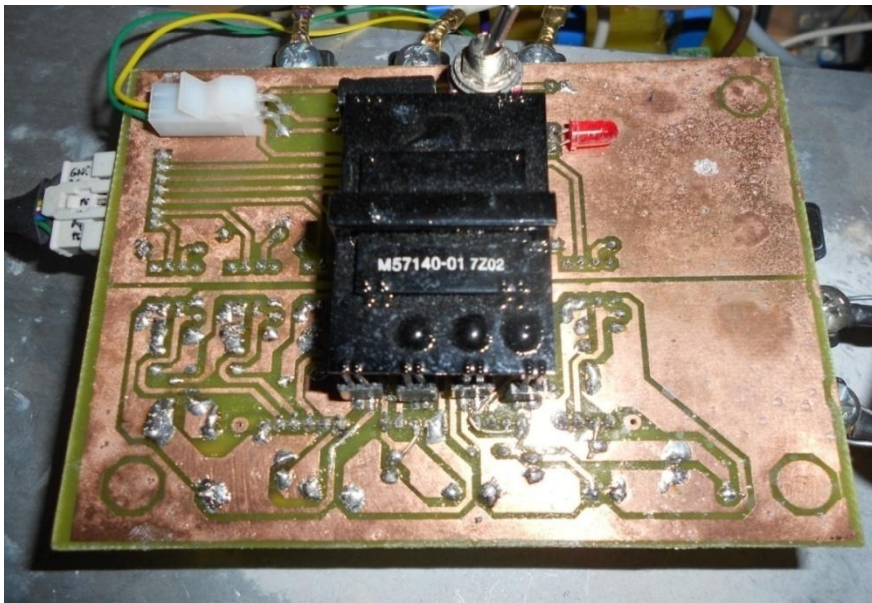
Şekil 6.5. M57140-01 uygulama devresi

Genellikle IPM yalıtımlarında kullanılmak üzere üretilmiş yüksek hızlı HCPL 4506 optokuplör entegresi denetim sinyallerinin yalıtımında kullanılmıştır. Yalıtım devresinin genel blok şeması Şekil 6.6' da görülmektedir.



Şekil 6.6. IPM yalıtım devresi genel blok şeması

IPM ile SSİ arasında yalıtımın sağlanması için kullanılan yalıtım devresi ile IPM sürücü besleme devresi aynı kart üzerinde ve IPM ile yalıtım devresi arasındaki yolları kısa tutmak adına kart direk IPM üzerine takılacak şekilde tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen IPM ara birim devresi fotoğrafı Resim 6.10'da görülmektedir.

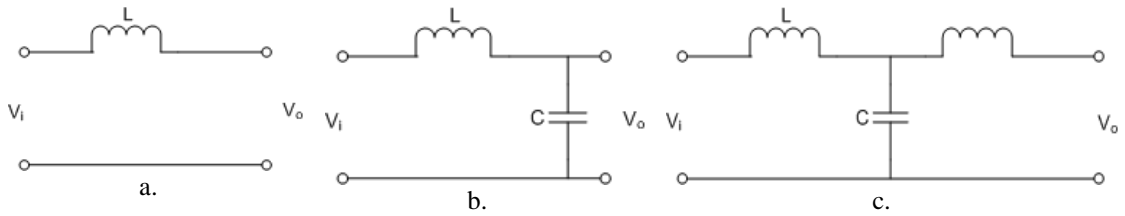


Resim 6.10. IPM arabirim devresinin genel görüntüsü

6.2.4. LC filtre devresi tasarımı

Pasif filtreler, eviricide oluşan harmoniklerin azaltılmasını sağlamakta ve pasif devre elemanlarından oluşmaktadır. Pasif harmonik filtreler, gerilimdeki harmonikleri ve akım bozulmalarını azaltmak için kullanılmaktadır. Özellikle şebeke bağlantılı eviricilerde oluşan akım harmonikleri eğer şebekeye aktarılacak olursa, aynı baraya bağlı hassas yükler bundan olumsuz yönde etkilenecek ve istenmeyen durumlar ortaya çıkacaktır.

Hat filtreleri üç alt gruba ayrılmaktadır. Bu filtre çeşitleri Şekil 6.7’de görülmektedir.



Şekil 6.7. Pasif filtre çeşitleri. a. L filtre, b. LC filtre, c. LCL filtre

L filtresi, 1. Derece bir filtredir ve tüm frekans boyunca zayıflatma oranı 20 dB / decadedir. Bu filtrede, etkili bir harmonik bastırımı için yüksek frekans gereklidir. LC filtre ikinci dereceden bir filtredir ve harmoniği bastırma oranı 40 dB / decadedir. Anahtarlama frekansının bileşenlerinin bastırılmasında L filtreden daha etkindir. Bunu paralel olarak bağlanan düşük reaktanslı kondansatör sağlamaktadır. Rezonans frekansı Eş. 6.1 ile bulunmaktadır. Bu filtre, rezistif yüklerin çalıştırıldığı kesintisiz güç kaynağı (KGK) devrelerinde kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen tez çalışmasında iki yükten biri olan rezistif yük için LC filtre kullanılmıştır. Gerçekleştirilen LC filtre devresi Resim 6.11’ de görülmektedir.

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (6.1)$$

Filtre tasarımında ilk karar verilecek değer rezonans frekansıdır. Rezonans frekansının seçiminde Eş. 6.2 dikkate alınmalıdır.

$$10f_e \leq f_r \leq f_{sw}/2 \quad (6.2)$$

Yukarıdaki eşitliğe göre rezonans frekansı evirici frekansının 10 katından büyük, veya eşit, anahtarlama frekansının yarısından küçük veya eşit seçilmelidir. Buna göre rezonans frekansı 3250 Hz olarak belirlenmiştir.

LCL filtresi, evirici anahtarlama harmoniklerini, L ve LC filtrelerinden daha iyi bastırmaktadır. LCL filtre, özellikle şebeke etkileşimli eviricilerde tercih edilmektedir. Şebeke endüktansı sabit değildir. Dolayısıyla LC filtre kullanıldığında şebeke endüktansı değiştiğinde rezonans frekansı da değişmektedir [37]. Bu yüzden LCL filtre tercih edilmektedir.

Referans değerlerin elde edilmesinin ardından tasarım için gerekli bobin ve kondansatör değerleri belirlenmektedir. Bu referans değerler aşağıdaki eşitlikler kullanılarak elde edilebilmektedir.

$$S_{REF} = S_n \quad (6.3)$$

$$U_{REF} = U_e \quad (6.4)$$

$$f_{REF} = f_e \quad (6.5)$$

$$I_{REF} = S_{REF}/U_{REF} \quad (6.6)$$

$$Z_{REF} = U_{REF}^2/S_{REF} = U_{REF}/I_{REF} \quad (6.7)$$

U_{REF} , gerilimin referans değerini, f_{REF} frekansın, I_{REF} akımın, Z_{REF} ise empedansın referans değerini belirlemektedir. Bu referans değerleri filtre tasarımında kullanılan değişkenlerdir. Eşitliklerde geçen U_e ve f_e sırasıyla eviricinin gerilimi ve frekansdır. Referans empedans değerleri belirlendikten sonra L_{REF} ve C_{REF} Eş. 6.8 ve Eş. 6.9 ile elde edilmektedir.

$$L_{REF} = Z_{REF}/2\pi f_{REF} \quad (6.8)$$

$$C_{REF} = 1/2\pi f_{REF} Z_{REF} \quad (6.9)$$

Filtrede kullanılan kondansatörün kapasitesinin seçimi güç faktörü için önemlidir. Filtre kondansatörü C_{REF} değerinin %5'ine yakın bir değer olarak seçilmelidir [37].

Bu eşitlikler kullanılarak tasarlanan LC filtrede kullanılan bobinin endüktans değeri 6,7 mH kondansatörün kapasite değeri ise $6 \mu F$ olarak bulunmuştur.



Resim 6.11. LC filtre devresinin fotoğrafı

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE YORUMLANMASI

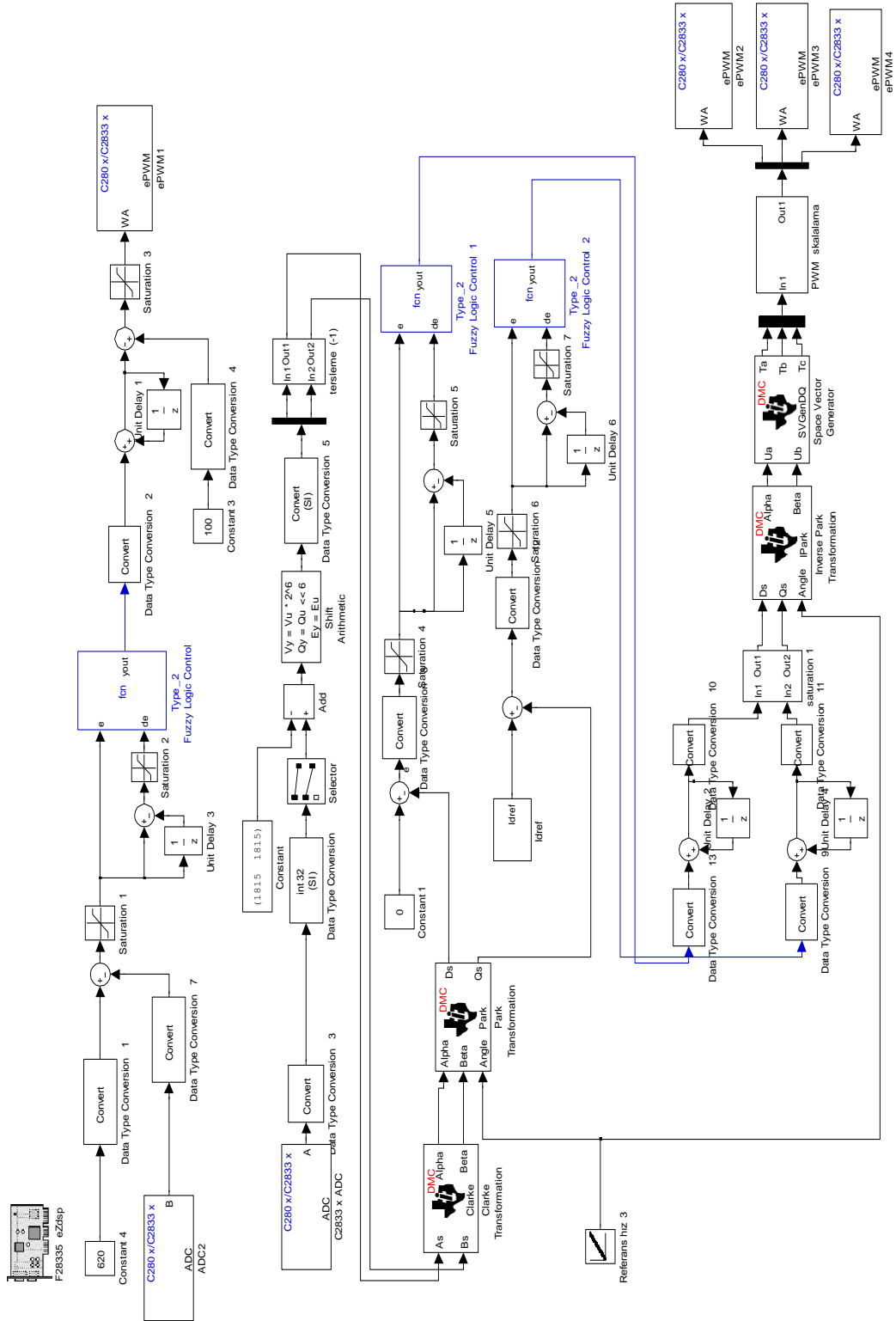
FV sistemde bulunan iki ayrı devre için (DA – DA dönüştürücü ve üç fazlı evirici) gerçek zamanlı MATLAB / Simulink ve Target Support Package TC2 toolboxları kullanılarak gerçekleştirilen modellerin, eZdsp TMS320F28335 kiti üzerinden Code Composer Studio programı ile derlenip işlemciye gömülmesi sonucunda, iki ayrı yük tipi için deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu yüklerden ilki rezistif yük olan reostalar ikincisi ise üç fazlı motordur. Deney sonuçları Fluke marka akım pensleri ve Pintek marka diferansiyel gerilim propları kullanılarak Picoscope 3423 ve Fluke 434 güç analizörü ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Işınım ve sıcaklık bilgileri gerçekleştirilen veri kartıyla RS232 seri iletişim protokolü kullanılarak bilgisayar ortamına alınmıştır.

İşlemciye gömülen tüm sistem modeli Şekil 7.1' de görülmektedir.

DA – DA dönüştürücü bağımsız olarak 3 ayrı denetleme algoritması ile (PI, tip – 1 BMD, aralıklı tip – 2 BMD) rezistif yükte çalıştırılmış ve en iyi sonucun aralıklı tip – 2 BMD ile elde edildiği görülmüştür.

Sonraki aşamada dönüştürücü ve evirici bir arada çalıştırılarak 1,11 kW gücünde rezistif yüklerle deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada da PI, tip – 1 BMD ve aralıklı tip – 2 BMD algoritmaları ile karşılaştırmalı olarak sonuçlar elde edilmiştir.

En son aşamada ise 250 W değerinde güce sahip üç fazlı motor kullanılarak FV sistem endüktif yük ile de çalıştırılmıştır.



Şekil 7.1. MATLAB / Simulink’de hazırlanan FV sistem yazılımı gömülü modeli

7.1. DA – DA Yükselten Tip Dönüştürücünün Deneysel Sonuçları

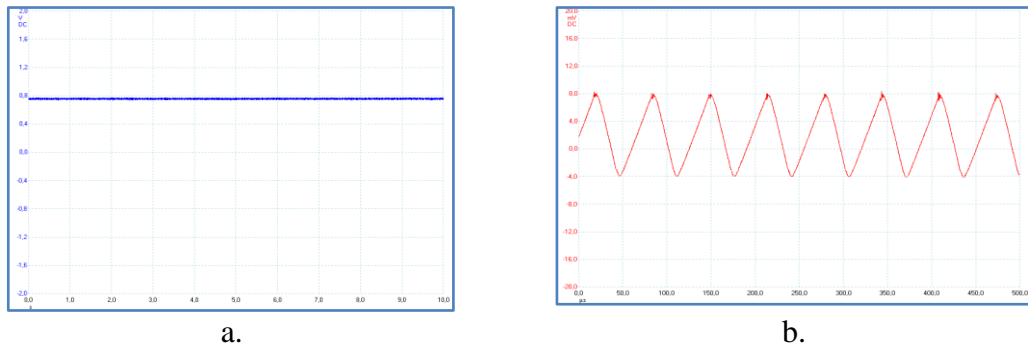
Denetim performansını doğrulamak için DA – DA dönüştürücü bağımsız olarak çalıştırılmıştır. Dönüştürücü, PI, tip – 1 BMD ve aralıklı tip – 2 BMD ile denetlenerek sonuçlar alınmıştır.

7.1.1. Denetleyici performanslarının karşılaştırılması

Aralıklı tip – 2 BMD' nin denetim etkinliğini göstermek için karşılaştırmalı çalışmalar yapılmıştır. PI denetleyici, MATLAB / Simulink' de bulunan Target Support Package TC2 kütüphanesinden hazır olarak kullanılmışken, tip – 1 ve tip – 2 BMD için MATLAB kodları yazılmış ve Embedded MATLAB Function bloğuna gömülmüştür.

Eviriciden bağımsız çalıştırılan dönüştürücüde yapılan deneyler kalıcı hal ve yük değişimindeki geçici hal için yapılmıştır. Aşım, oturma zamanı ve yük değişimi sırasındaki sistem cevabı değerlendirilmiştir.

Deneysel sırasında FV panelin sağladığı gerilim ve akım sinyalleri Şekil 7.2' de görülmektedir.

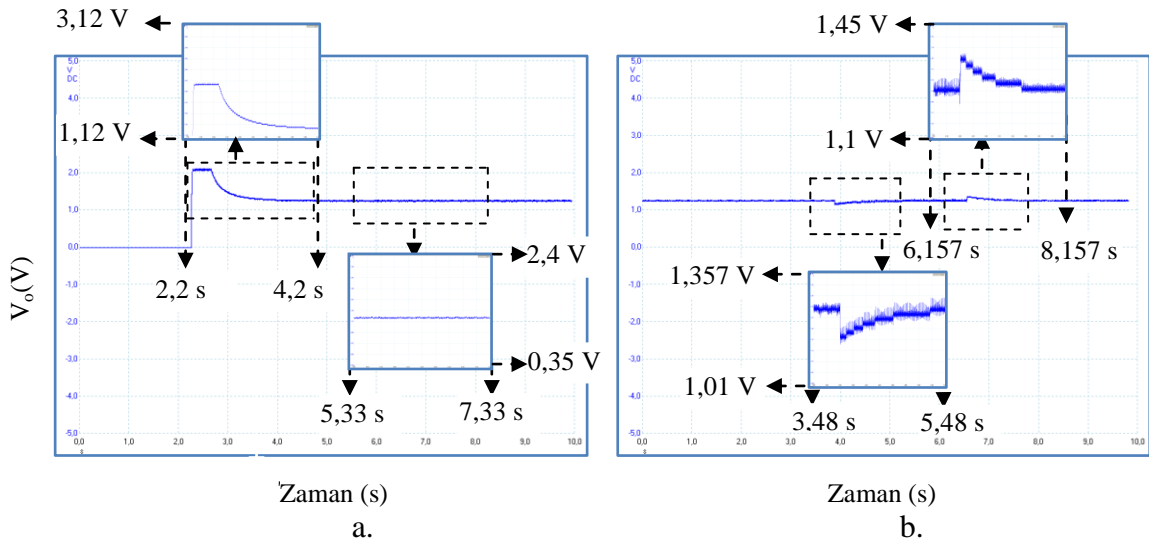


Şekil 7.2. Deneysel sırasında FV panelden sağlanan gerilim ve akım sinyalleri

- a. FV panel gerilimi
(farksal gerilim probu x 500 kademesinde, her bir dikey kare 200 V ve sapma miktarı 2 karedir.)
- b. FV panelden çekilen akım
(akım probu 1mV / 1A kademesindedir.)

PI denetleyici ile denetlenmiş DA – DA dönüştürücünün aşım ve oturma zamanı ile kalıcı halde oluşan dalgacık miktarı Şekil 7.3.a' da görülmektedir. Oturma süresi,

1,752 saniye, aşım miktarı % 64 ve en büyük dalgacık genliği 14 V olarak bulunmuştur. PI denetleyicinin geçici durum analizi için, çıkış yükü 3,88. saniyede 770Ω 'dan 180Ω 'a düşürülmüştür. 6,56. saniyede ise tekrar 770Ω 'a çıkarılmıştır. Bu durumda sistem cevabı Şekil 7.3.b' de görülmektedir. Yük 770Ω 'dan 180Ω 'a düşürüldüğünde, regülasyon için geçen süre 1,378 saniye ve gerilim değişim miktarı % 8,8 olarak bulunmuştur. Yükün tekrar 770Ω 'a çıkarılması sırasında gerilim ayarlaması için geçen süre 1 saniye ve değişim miktarı da %8,75'dir.



Şekil 7.3. PI denetleyicili DA – DA dönüştürücü deneysel sonuçları

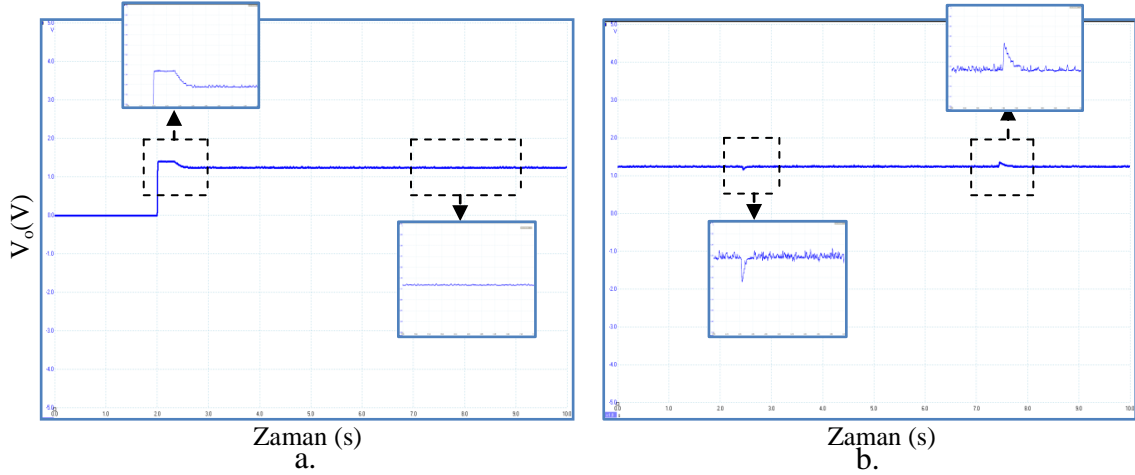
a. Geçici ve kalıcı durumlarda yükseltilen tip dönüştürücünün çıkış gerilimi

b. Yük değişimi sırasındaki çıkış gerilimi

(Tüm durumlarda farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 500 V 'dur.) (Ölçüm Zamanı: 02.01.2012 Saat: 11:45:42, $G = 683,79 \text{ W/m}^2$, $T = 17^\circ \text{C}$.)

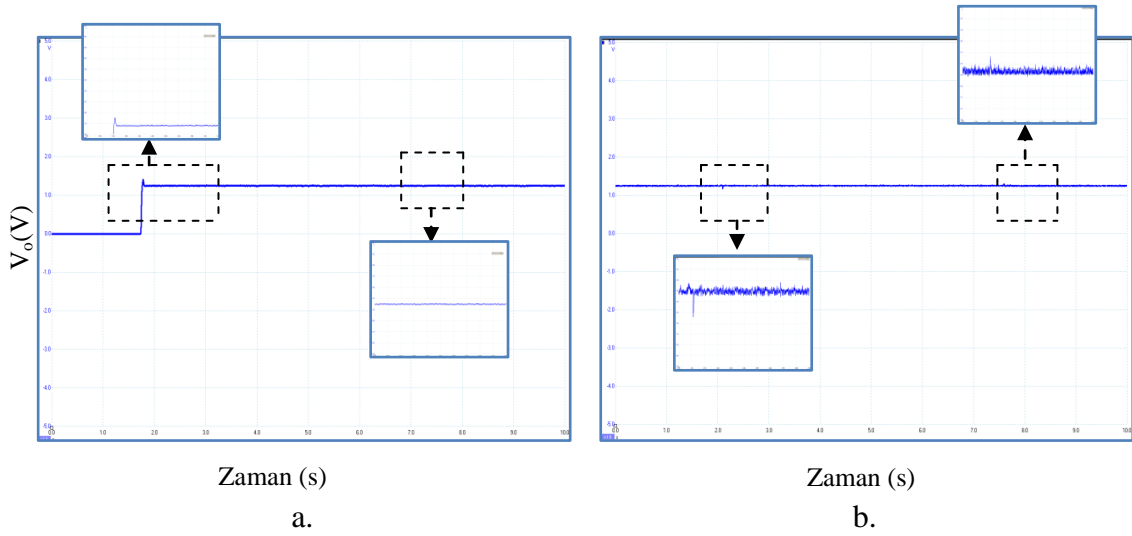
Tip – 1 BMD ile denetlenmiş DA – DA dönüştürücünün aşım ve oturma zamanı ile kalıcı halde oluşan dalgacık miktarı Şekil 7.4.a' da görülmektedir. Oturma süresi, 0,5 saniye, aşım miktarı % 11 ve en büyük dalgacık genliği 8,5 V olarak bulunmuştur. Tip – 1 BMD' nin geçici durum analizi için, çıkış yükü 2,44. saniyede 770Ω 'dan 180Ω 'a düşürülmüştür. 7,44. saniyede ise tekrar 770Ω 'a çıkarılmıştır. Bu durumda sistem cevabı Şekil 7.4.b' de görülmektedir. Yük 770Ω 'dan 180Ω 'a düşürüldüğünde, regülasyon için geçen süre 85 milisaniye ve gerilim değişim miktarı % 6,32 olarak bulunmuştur. Yükün tekrar 770Ω 'a çıkarılması sırasında gerilim ayarlaması için geçen süre 157 milisaniye ve değişim miktarı da %8,96'dır. Şekil

7.3' deki büyütme skalası Şekil 7.4 ve Şekil 7.5 için aynen uygulanmıştır. Şekiller x ekseninde 2 s için büyütülmüştür.



Şekil 7.4. Tip – 1 BMD denetleyicili DA – DA dönüştürücü deneysel sonuçları
 a. Geçici ve kalıcı durumlarda yükseltilen tip dönüştürücünün çıkış gerilimi
 b. Yük değişimi sırasındaki çıkış gerilimi
 (Tüm durumlarda farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 500 V'dur.) (Ölçüm Zamanı: 15.10.2011 Saat: 11:56:17, $G = 710 \text{ W/m}^2$, $T = 17^\circ\text{C}$)

Tip – 2 BMD ile denetlenmiş DA – DA dönüştürücünün aşım ve oturma zamanı ile kalıcı halde oluşan dalgacık miktarı Şekil 7.5.a' da görülmektedir. Oturma süresi, 52 milisaniye, aşım miktarı % 8,4 ve en büyük dalgacık genliği 4,5 V olarak bulunmuştur. Tip – 2 BMD' nin geçici durum analizi için, çıkış yükü 2,1. saniyede 770Ω 'dan 180Ω 'a düşürülmüştür. 7,6. saniyede ise tekrar 770Ω 'a çıkarılmıştır. Bu durumda sistem cevabı Şekil 7.5.b' de görülmektedir. İlk yük değişiminde, regülasyon için geçen süre 8 milisaniye ve gerilim değişim miktarı % 5,5 olarak bulunmuştur. Yükün tekrar 770Ω 'a çıkarılması sırasında gerilim ayarlaması için geçen süre 12 milisaniye ve değişim miktarı da % 3,2 olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.5. Tip – 2 BMD denetleyicili DA – DA dönüştürücü deneysel sonuçları
 a. Geçici ve kalıcı durumlarda yükselten tip dönüştürücünün çıkış gerilimi
 b. Yük değişimi sırasındaki çıkış gerilimi
 (Tüm durumlarda farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 500 V'dur.). (Ölçüm Zamanı: 02.01.2012 Saat: 12:01:23, $G = 727 \text{ W/m}^2$, $T = 17^\circ\text{C}$)

Belirsizlik ve doğrusal olmayan durumlar içeren DA – DA dönüştürücünün denetimi için gerçekleştirilen deneylerde, tip – 2 BMD' nin etkinliği alınan ölçümlerden açıkça görülmektedir. Oturma zamanı, aşım ve dalgacık genliği ile geçici durumda sistem tepkileri Çizelge 7.1' de toplu olarak verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere oturma zamanını, aşım miktarını ve geçici durum süresini iyileştirmek için tip – 2 BMD başarılı bir şekilde kullanılabilir.

Çizelge 7.1. DA – DA dönüştürücünün denetim performansının algoritmalara göre kıyaslanması

Algoritmalar	Oturma Zamanı	Aşım Miktarı	En Büyük Dalgacık Genliği	Yükün Azaltılması		Yükün Arttırılması	
				Tepki Süresi	Gerilim Değişim Miktarı	Tepki Süresi	Gerilim Değişim Miktarı
PI	1,752 s	%64	14 V	1,378 s	%8,50	1 ,000 s	%8,75
Tip- 1BMD	0,500 s	%11	8,5 V	0,085 s	%6,32	0,157 s	%8,62
Tip- 2 BMD	0,052s	%8,5	4,5 V	0,008 s	%5,5	0,012 s	%3,20

7.2. FV Sistemin Rezistif Yük ile Çalıştırılması

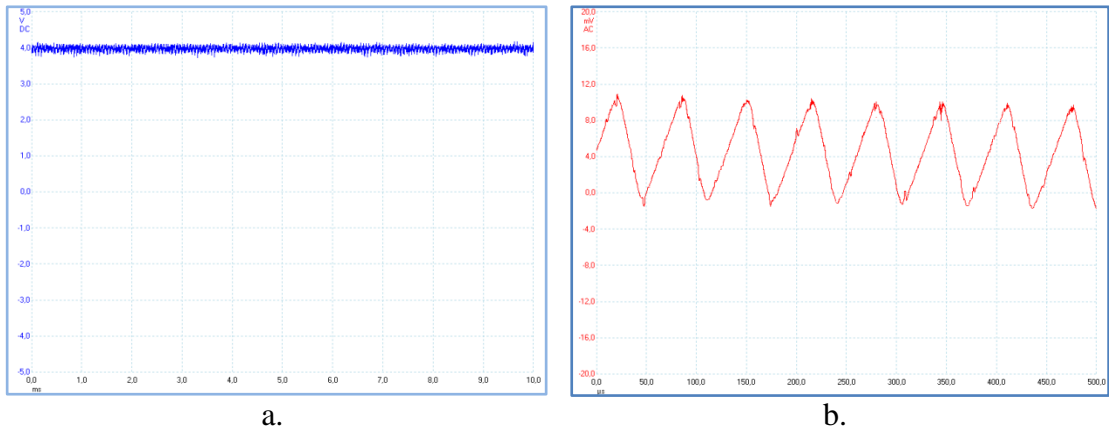
FV sistemin çıkışına rezistif bir yük olan reostalar bağlanarak sistem performansı test edilmiştir. DA – DA dönüştürücü ve üç fazlı evirici PI, tip – 1 BMD ve aralıklı tip –

2 BMD ile denetlenmiş ve DA – DA dönüştürücünün çıkış gerilimi ile IGBT’ nin kollektör emiter gerilimi her üç algoritma için verilmiştir. Üç fazlı eviricinin ise akım ve gerilimleri, THD değerleri ve güç ölçüm sonuçları her üç algoritma için de verilmiştir. Ölçümlerin alınmasında Picoscope 3423 ile Fluke 434 güç analizörü kullanılmıştır.

7.2.1. Denetleyici performanslarının karşılaştırılması

FV sistemde, çevresel şartlardan kaynaklanan değişimler, güç elektroniği devrelerindeki doğrusal olmayan yapılar ile sensör okumalarından kaynaklanan belirsizlikler aralıklı tip – 2 BMD ile modellenmekte ve etkin bir denetim, yapılan karşılaştırmalı çalışmalarla doğrulanmaktadır.

Yapılan deneylerin tek günde ve belli bir saatte yapılamamış olmasına rağmen ışınımın yaklaşık olarak 550 W/m^2 ve sıcaklığın 30^0 C olduğu sırada FV sistem çalışırken, panelden sağlanan akım ve gerilim sinyalleri Şekil 7.6’ da görülmektedir.



Şekil 7.6. Deneyle sırasında FV panelden sağlanan gerilim ve akım sinyalleri

a. FV panel gerilimi

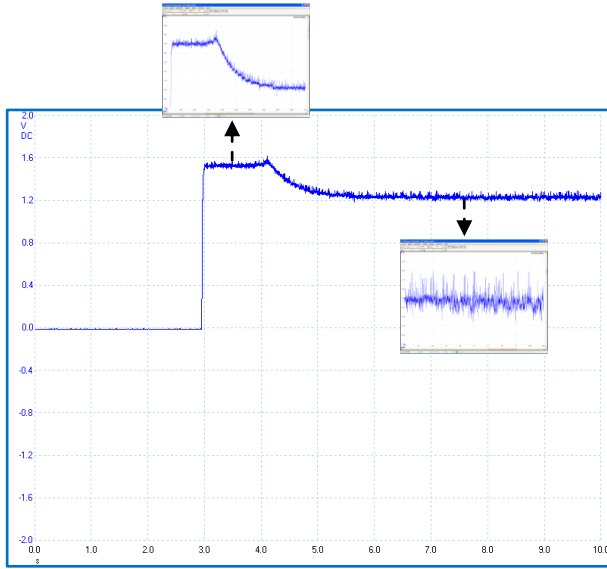
(farksal gerilim probu x 100 kademesinde, her bir dikey kare 100 V ve sapma miktarı 4 karedir.)

b. FV panel akımı (akım probu 1mV / 1A kademesindedir.)

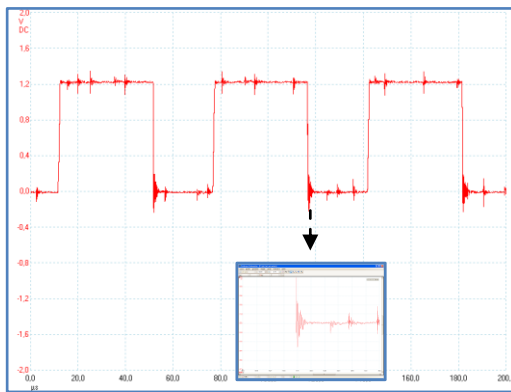
FV Sistemin ilk kademesi olan DA – DA dönüştürücünün denetim performansları

DA – DA dönüştürücü panel gerilimini 620 V DA sabit bara gerilimine dönüştürmektedir. PI denetleyici ile denetlenmiş FV sistemin ilk kademesi olan DA – DA dönüştürücünün aşım miktarı ve oturma zamanı ile kalıcı halde oluşan dalgacık

miktarı Şekil 7.7’ de görülmektedir. Oturma süresi, 2,63 saniye, aşım miktarı % 29 ve en büyük dalgacık genliği 82 V olarak bulunmuştur. Şekil 7.8’ de PI ile denetimi sırasında DA – DA dönüştürücüdeki IGBT’ nin kollektör – emiter gerilimi görülmektedir. Anahtarlama sırasında oluşan spikelerin ortalama değeri 98 V olarak bulunmuştur. Bunun azaltılması için sönümlendirme devresi tasarlanmış ancak panelden çekilen akımı arttırdığı için kullanılamamıştır.

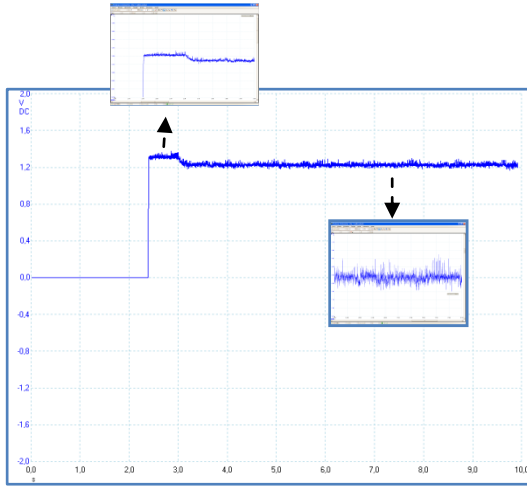


Şekil 7.7. FV sistemin ilk kademesi olan DA – DA dönüştürücünün PI denetimli çıkış gerilimi
(Farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 200 V’ a karşılık gelmektedir.) (Ölçüm Zamanı: 15.12.2011 Saat: 12:46:16, $G = 540,22 \text{ W/m}^2$, $T = 30^\circ \text{C}$)

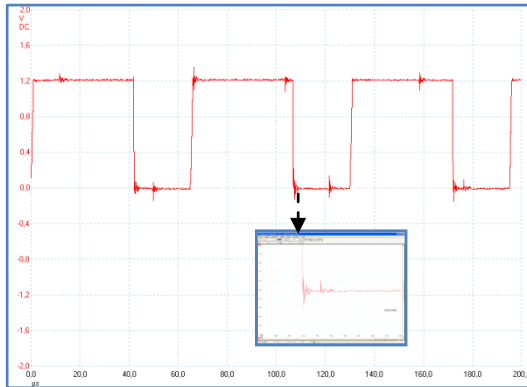


Şekil 7.8. FV sistemin ilk kademesi olan PI denetimli DA – DA dönüştürücüdeki IGBT kollektör – emiter gerilimi
(Farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 200 V’ a karşılık gelmektedir.)

Tip – 1 BMD ile denetlenmiş FV sistemin ilk kademesi olan DA – DA dönüştürücünün aşım miktarı ve oturma zamanı ile kalıcı halde oluşan dalgacık miktarı Şekil 7.9’ da görülmektedir. Oturma süresi, 731 mili saniye, aşım miktarı % 7 ve en büyük dalgacık genliği 39,5 V olarak bulunmuştur. Şekil 7.10’ da tip – 1 BMD ile denetimi sırasında DA – DA dönüştürücüdeki IGBT’ nin kollektör – emiter gerilimi görülmektedir. Anahtarlama sırasında oluşan spikelerin ortalama değeri 58 V olarak bulunmuştur.

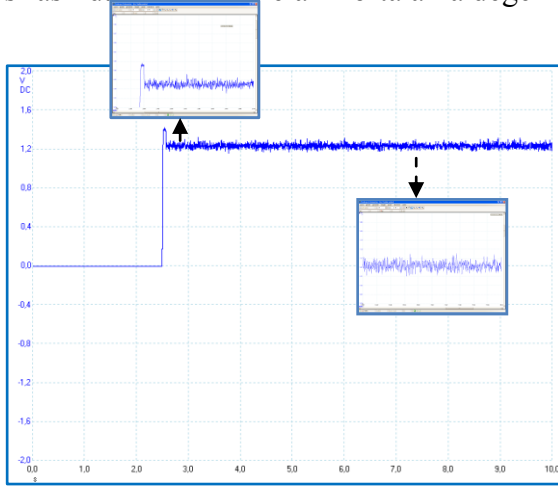


Şekil 7.9. FV sistemin ilk kademesi olan DA – DA dönüştürücünün tip – 1 BMD denetimli çıkış gerilimi
(Farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 200 V’ a karşılık gelmektedir.) . (Ölçüm Zamanı: 15.12.2011 Saat: 11:53:31, $G = 508,58 \text{ W/m}^2$, $T = 24^\circ \text{C}$)

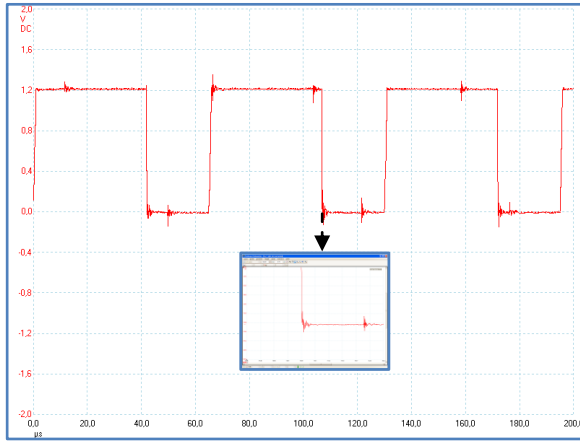


Şekil 7.10. FV sistemin ilk kademesi olan tip – 1 denetimli DA – DA dönüştürücüdeki IGBT kollektör – emiter gerilimi
(Farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 200 V’ a karşılık gelmektedir.)

Tip – 2 BMD ile denetlenen DA – DA dönüştürücünün aşım miktarı ve oturma zamanı ile kalıcı halde oluşan dalgacık miktarı Şekil 7.11’ de görülmektedir. Oturma süresi, 73 mili saniye, aşım miktarı % 6,7 ve en büyük dalgacık genliği 42 V olarak bulunmuştur. Şekil 7.12’ de tip – 2 BMD ile denetimi sırasında DA – DA dönüştürücüdeki IGBT’ nin kollektör – emiter gerilimi görülmektedir. Anahtarlama sırasında oluşan spikeların ortalama değeri 61 V olarak bulunmuştur.



Şekil 7.11. FV sistemin ilk kademesi olan DA – DA dönüştürücünün aralıklı tip – 2 BMD denetimli çıkış gerilimi
(Farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 200 V’ a karşılık gelmektedir.) (Ölçüm Zamanı: 15.12.2011 Saat: 13:10:31, $G = 552,39 \text{ W/m}^2$, $T = 33^\circ\text{C}$)



Şekil 7.12. FV sistemin ilk kademesi olan aralıklı tip – 2 denetimli DA – DA dönüştürücüdeki IGBT kollektör – emiter gerilimi
(Farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 200 V’ a karşılık gelmektedir.)

FV sistem rezistif yük ile çalıştırıldığında, sistemin ilk kademesi olan DA – DA dönüştürücünün aşım miktarı, oturma süresi ve dalgacık miktarı gibi performans ölçütleri üç denetim algoritmasına göre Çizelge 7.2’ de görülmektedir.

Çizelge 7.2. Rezistif yük altında, bir bütün olarak çalıştırılan sistemin ilk kademesi olan DA – DA dönüştürücü performans ölçütleri

Denetim Yöntemi	DA – DA Dönüştürücü		
	Aşım miktarı (%)	Oturma Zamanı (s)	Dalgacık miktarı (V)
PI Denetleyici	% 29	2,63	82
Tip – 1 BMD	%7	0,731	39,5
Tip – 2 BMD	%6,7	0,073	42

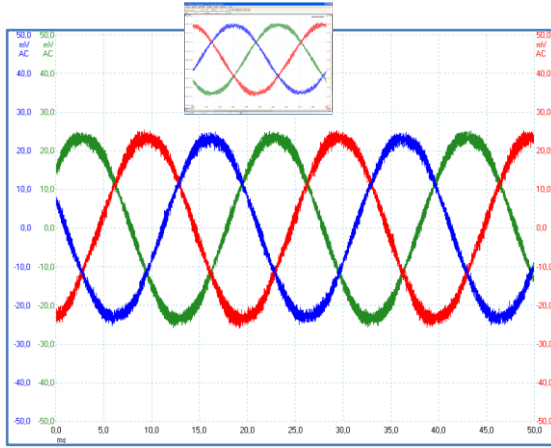
Sistem cevabı tip – 2 BMD ile %97 oranında hızlandırılmıştır. Aşım miktarı %77 oranında azaltılmıştır. Bu sonuçlar tip – 2 BMD’ nin DA – DA dönüştürücü denetimindeki etkinliğini ortaya koymaktadır.

FV Sistemin ikinci kademesi olan üç fazlı eviricinin denetim performansları

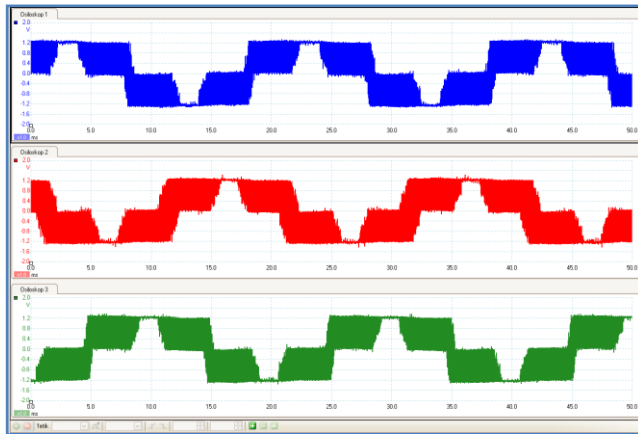
FV sistemin çıkışına rezistif yük olarak reostalar bağlanmıştır. Her bir faza bağlanan reosta 370 W değerindedir. FV sistem çıkışına bağlanan yükün toplam gücü 1,11 kW olmaktadır. Gerçekleştirilen tez çalışmasında, eviricide, akım ve gerilim sinyalleri Picoscope ile güç ve harmonik bilgileri de Fluke 434 güç analizörü ile elde edilmiştir.

PI ile gerçekleştirilen denetimde Şekil 7.13’ de üç fazlı evirici akımları görülmektedir. Bu akımların faz farkları ile frekans bilgileri hesaplanarak elde edilmiştir. Öncelikle sinyalin başlangıç ve bitiş saniyeleri farkıyla periyot elde edilmiş ve 1/ periyot işlemiyle de frekans bulunmuştur. Böylece frekans değeri 49,58 Hz olarak elde edilmiştir. Eviricide ± 1 Hz’ lik bir değişim IEEE-929 (IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Residential and Intermediate Photovoltaic System) standardına göre kabul edilebilmektedir. Faz farkının bulunması için ise önce iki fazın başlangıç noktaları arasındaki süre farkı bulunmuş sonra da bir periyotluk sürenin taradığı açının 360° olduğu bilgisiyle orantı kurularak faz farkı PI denetleyicili evirici için $117,48^\circ$ olarak bulunmuştur. Şekil 7.14’ de

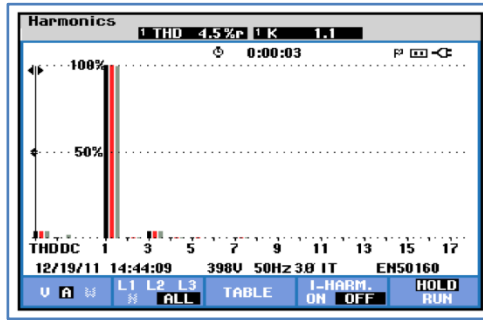
evirici gerilimleri görülmektedir. PI denetleyicide, akım harmoniği % 4,5 gerilim harmoniği ise % 4,3 olarak elde edilmiştir. Bu değerler Şekil 7.15.a ve Şekil 7.15.b’ de görülmektedir. Bu iki değer de IEEE-929 (IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Residential and Intermediate Photovoltaic System) ile belirlenen en yüksek THD ‘nin %5 olması şartını sağlamaktadır. Eviricinin güç değerleri de Şekil 7.15.c’ de görülmektedir. Güç faktörü 0,93 olarak elde edilmiştir. IEEE – 929 standardına göre güç faktörünün en az 0,90 olması şartının da gerçekleştirilen FV eviricide sağlandığı görülmektedir.



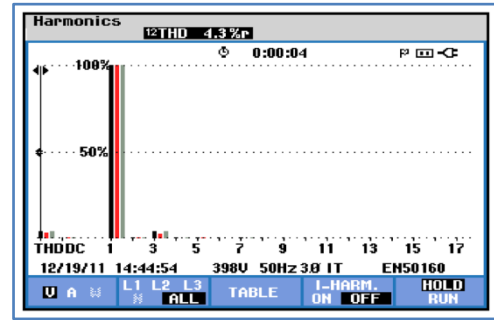
Şekil 7.13. PI ile denetlenen üç fazlı eviricinin çıkış akımları (akım probu 10 mV/ 1A kademesinde)



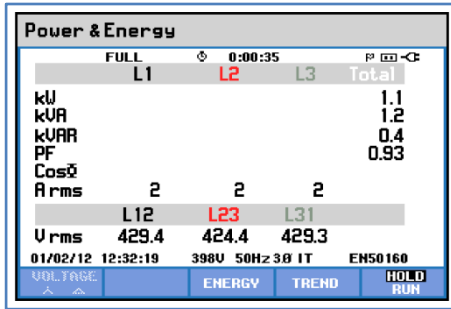
Şekil 7.14. PI ile denetlenen üç fazlı eviricinin çıkış gerilimleri (Farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 200 V’ a karşılık gelmektedir.)



a.



b.

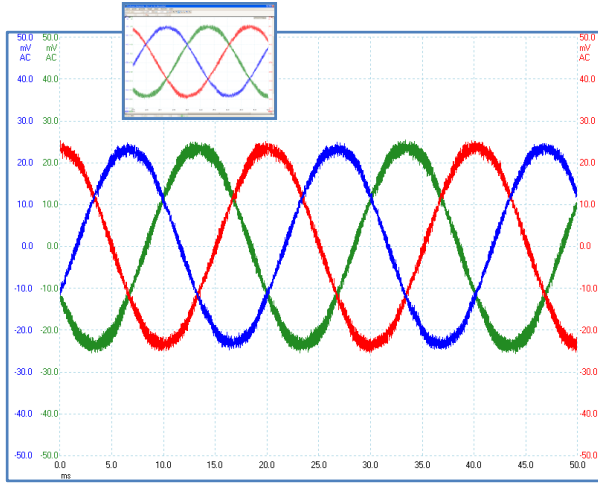


c.

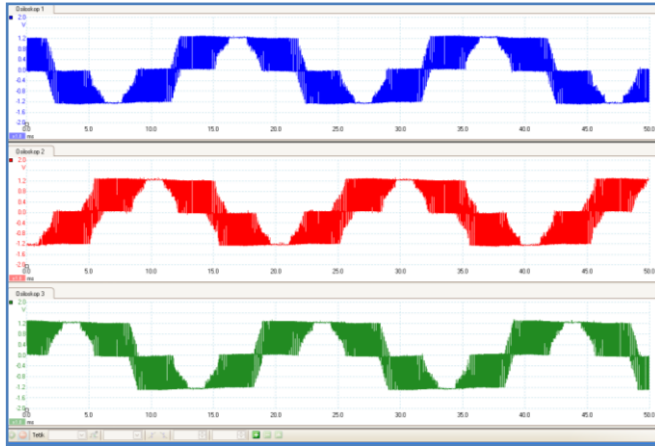
Şekil 7.15. PI ile denetlenen üç fazlı eviricinin THD ve güç değerleri

- Evirici akımları THD değeri
- Evirici gerilimleri THD değeri
- Evirici güç değerleri ve güç faktörü

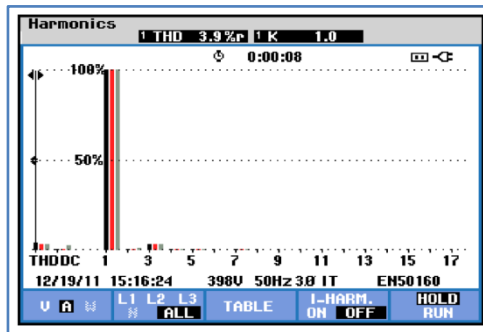
Tip – 1 BMD ile gerçekleştirilen denetimde ölçülen üç fazlı evirici akımları Şekil 7.16’ da görülmektedir. Yukarıda bahsedilen yolla yapılan hesaplama sonucunda bu sinyalin frekans değeri 49,98 Hz olarak bulunmuştur. Faz farkı ise 118,275° olarak hesaplanmıştır. Şekil 7.17’ de evirici gerilimleri görülmektedir. Şekil 7.18.a’ da tip – 1 BMD denetleyici ile denetlenen evirici akımlarının THD grafiği görülmektedir. Bu değer % 3,9 olarak elde edilmiştir. Gerilim harmoniği ise Şekil 7.18.b’ de görüleceği gibi %3,9 olarak bulunmuştur. Tip – 1 BMD ile denetlenen eviricinin güç değerleri Şekil 7.18.c’ de görülmektedir. Güç faktörü 0,93 olarak elde edilmiştir.



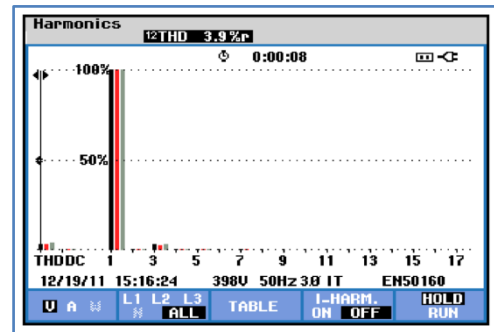
Şekil 7.16. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin çıkış akımları (akım probu 10 mV/ 1A kademesinde)



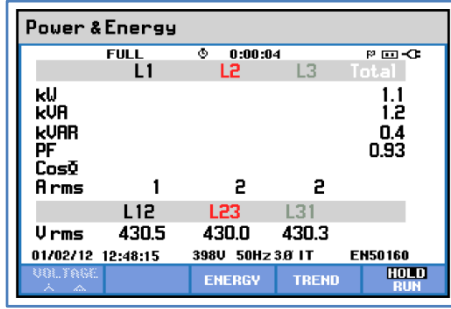
Şekil 7.17. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin çıkış gerilimleri (Farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 200 V' a karşılık gelmektedir.)



a.



b.

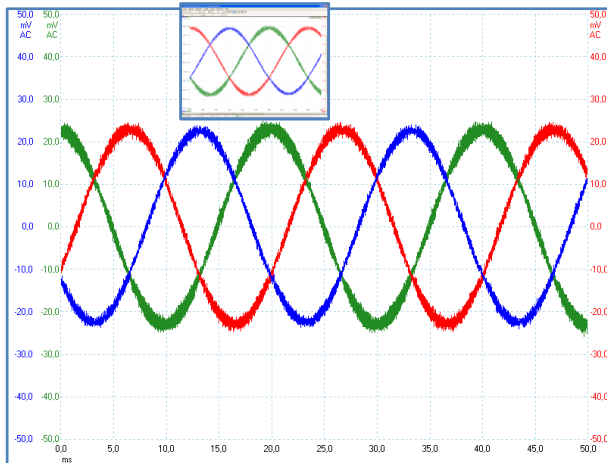


c.

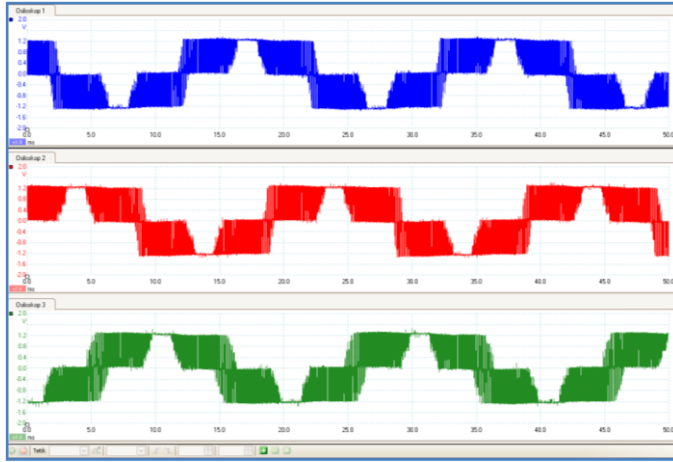
Şekil 7.18. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin THD değerleri

- Evirici akımları THD değeri
- Evirici gerilimleri THD değeri
- Evirici güç değerleri e güç faktörü

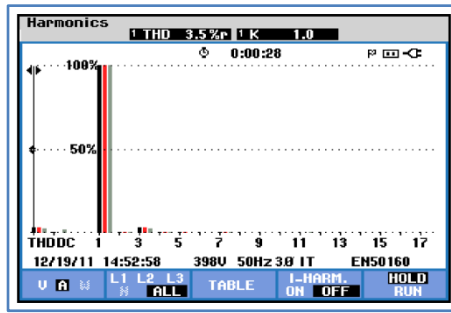
Tip – 2 BMD ile gerçekleştirilen denetimde ölçülen üç fazlı evirici akımları Şekil 7.19’ da görülmektedir. Yapılan hesaplama sonucunda bu sinyalin frekans değeri 49,98 Hz olarak bulunmuştur. Faz farkı ise 119,95° olarak hesaplanmıştır. Şekil 7.20’ de evirici gerilimleri görülmektedir. Şekil 7.21.a’ da tip – 2 BMD denetleyici ile denetlenen evirici akımlarının THD grafiği görülmektedir. Bu değer % 3,5 olarak elde edilmiştir. Gerilim harmoniği ise % 3,7 olarak bulunmuştur. Güç faktörü 0,93 olarak bulunmuştur.



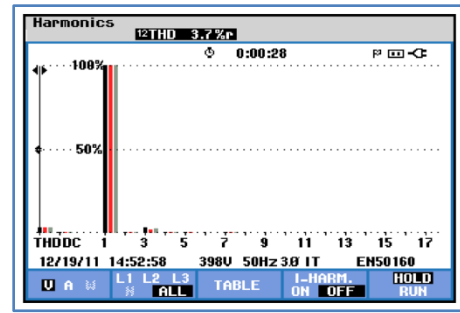
Şekil 7.19. Tip – 2 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin çıkış akımları (akım probu 10 mV/ 1A kademesinde)



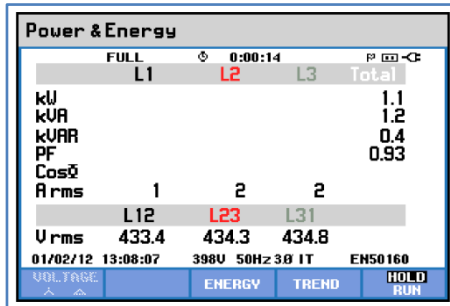
Şekil 7.20. Tip – 2 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin çıkış gerilimleri (Farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 200 V' a karşılık gelmektedir.)



a.



b.



c.

Şekil 7.21. Tip – 2 BMD ile denetlenen üç fazlı eviricinin THD ve güç değerleri

- Evirici akımları THD değeri
- Evirici gerilimleri THD değeri
- Evirici güç değerleri ve güç faktörü

PI, tip – 1 BMD ve tip – 2 BMD ile denetlenen FV sistemin rezistif yük altında çalıştırılması durumunda, ikinci kademe olan üç fazlı eviricinin performans ölçütleri Çizelge 7.3' de görülmektedir.

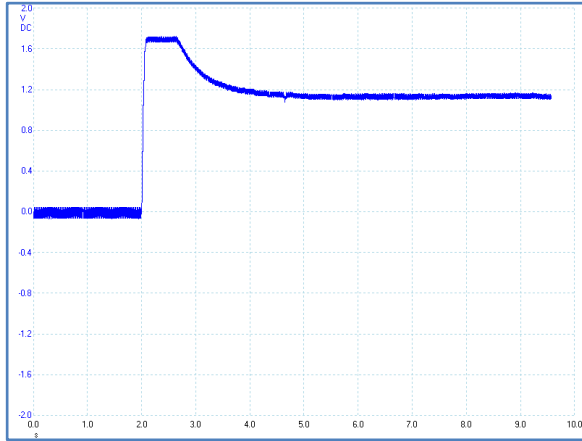
Çizelge 7.3. FV sistem rezistif yük ile çalıştırıldığında ikinci kademe olan üç fazlı eviricinin performans ölçütleri

Denetim Yöntemi	Akım Harmoniği (% THD)	Gerilim Harmoniği (% THD)	Frekans (Hz)	Faz Açısı (°)
PI Denetleyici	% 4,5	% 4,3	49,58	117,48 °
Tip – 1 BMD	% 3,9	% 3,9	49,98	118,275 °
Tip – 2 BMD	% 3,5	% 3,7	49,98	119,95 °

Güç sistemlerindeki yüksek harmonik bozulmalar (THD), iletim hatlarında kayıp, ısınma, motor ve transformatörde ısınma ve yalıtım, sonuçta da enerji kesintileri ve yüksek onarım maliyetine sebep olmaktadır. Bu yüzden THD' nin azaltılması evirici için önemli bir performans ölçütüdür. Çizelge 7.3' de görüldüğü gibi, tip – 2 BMD ile akım ve gerilimdeki harmonikler azaltılmıştır. Frekans ve faz açısı da tip – 2 BMD ile şebeke değerlerine en yakın şekilde (50 Hz ve 120°) elde edilmiştir.

7.3. FV Sistemin Üç Fazlı Motor ile Çalıştırılması

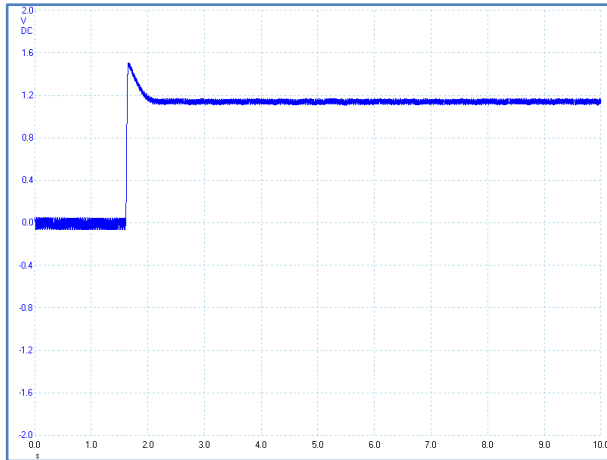
FV sistemi farklı tipteki yüklerle çalıştırmak için, sistem çıkışına endüktif bir yük olan 250 W değerinde 3 fazlı motor bağlanmıştır. FV sistemin ilk kademesi olan DA – DA dönüştürücü çıkış geriliminde, PI, tip – 1 BMD ve aralıklı tip – 2 BMD için geçici durum analizi yapılmıştır. Karşılaştırmalı olarak çıkış gerilimi PI, tip – 1 BMD ve aralıklı tip – 2 BMD' ye göre sırasıyla Şekil 7.22, Şekil 7.23 ve Şekil 7.24' de verilmiştir. PI ile denetimde % 49 aşım miktarı ile 2,37 s oturma süresi elde edilmiştir.



Şekil 7.22. Endüktif yük altında DA – DA dönüştürücünün PI denetimli çıkış gerilimi

(Farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 200 V' a karşılık gelmektedir.) (Ölçüm Zamanı: 15.10.2011 Saat: 11:41:15, $G = 795.73 \text{ W/m}^2$, $T = 33^\circ\text{C}$)

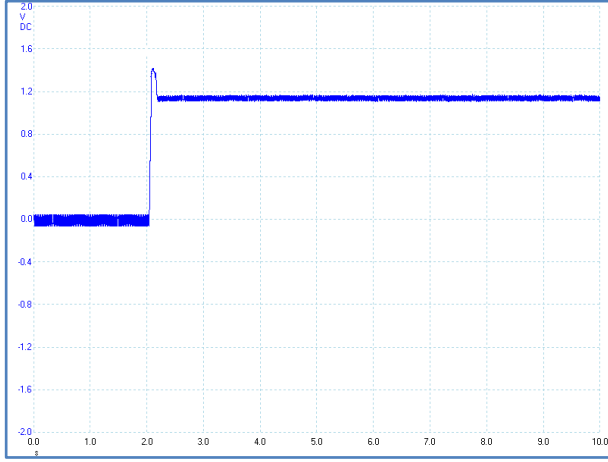
Tip – 1 BMD ile gerçekleştirilen denetim sonucunda aşım miktarı % 30 ve oturma süresi de 0,458 s olarak bulunmuştur.



Şekil 7.23. Endüktif yük altında DA – DA dönüştürücünün tip – 1 BMD'li çıkış gerilimi

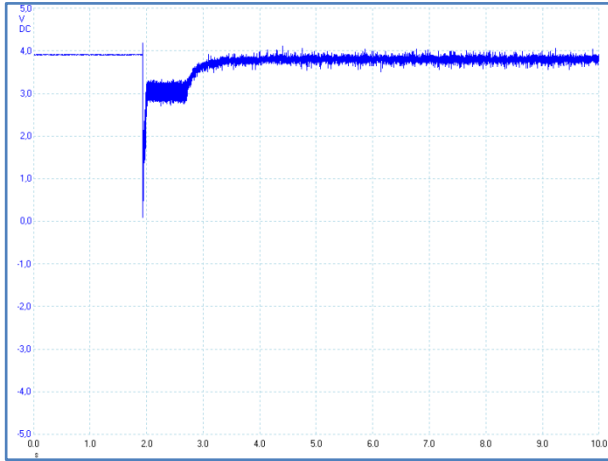
(Farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 200 V' a karşılık gelmektedir.) (Ölçüm Zamanı:15.10.2011 Saat: 11:54:54, $G = 781.13 \text{ W/m}^2$, $T = 36^\circ\text{C}$)

Tip – 2 BMD ile gerçekleştirilen denetim sonucunda aşım miktarı % 22 ve oturma süresi de 0,047 s olarak bulunmuştur.

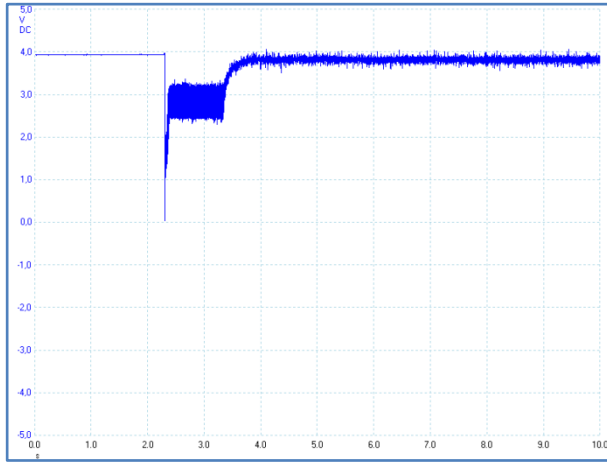


Şekil 7.24. Endüktif yük altında DA – DA dönüştürücünün aralıklı tip – 2 BMD denetimli çıkış gerilimi
(Farksal gerilim probu x500 konumundadır. Her bir dikey kare 200 V' a karşılık gelmektedir.) (Ölçüm Zamanı: 15.11.2011 Saat: 11:57:20, $G = 800 \text{ W/m}^2$, $T = 36^\circ\text{C}$)

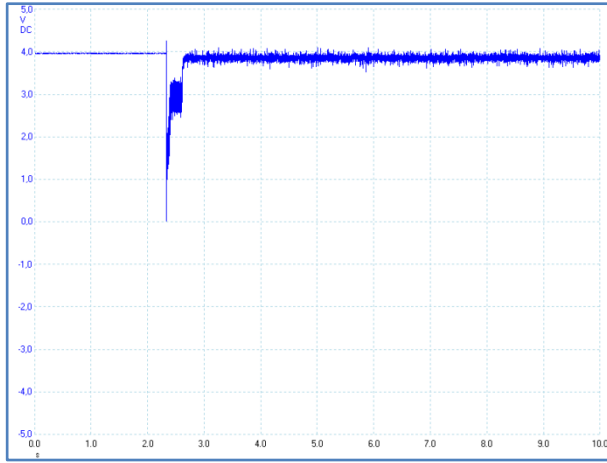
Panel gerilimi test sonuçları PI için Şekil 7.25, tip – 1 BMD için Şekil 7.26 ve tip – 2 BMD için Şekil 7.27' de görülmektedir.



Şekil 7.25. PI ile denetlenen FV sistemin panel gerilimi
(Farksal gerilim probu x100 konumundadır. Her bir dikey kare 100 V' a karşılık gelmektedir.)



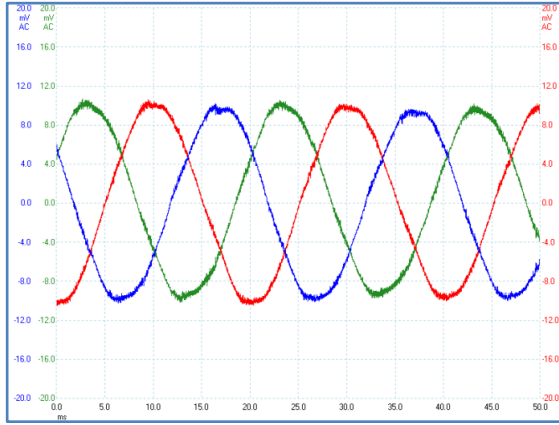
Şekil 7.26. Tip – 1 BMD ile denetlenen FV sistemin panel gerilimi
(Farksal gerilim probu x100 konumundadır. Her bir dikey kare 100 V' a karşılık gelmektedir.)



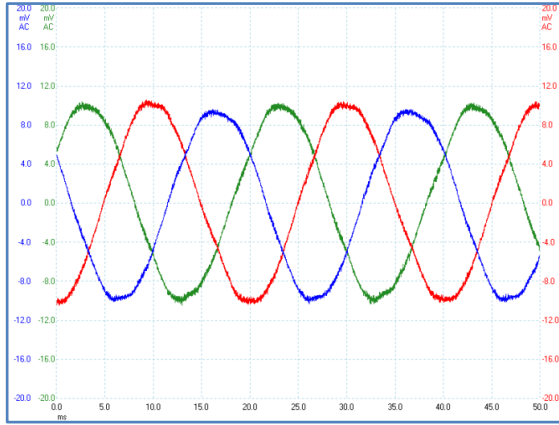
Şekil 7.27. Tip – 2 BMD ile denetlenen FV sistemin panel gerilimi
(Farksal gerilim probu x100 konumundadır. Her bir dikey kare 100 V' a karşılık gelmektedir.)

Endüktif yük altında üç fazlı eviricinin denetim performansları

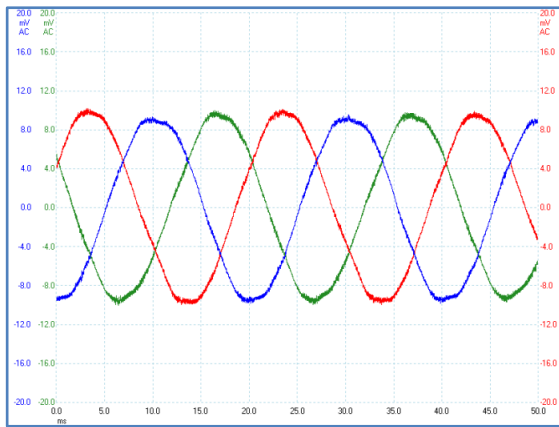
FV sistemin motoru çalıştırması sırasında üç fazlı eviricinin PI, tip – 1 BMD ve tip – 2 BMD algoritmaları ile denetiminde elde edilen üç fazlı akım sinyalleri sırasıyla Şekil 7.28, Şekil 7.29 ve Şekil 7.30' da görülmektedir. Endüktif yükün çalıştırılması sırasında oluşan THD değerleri sırasıyla PI, tip – 1 BMD ve tip – 2 BMD için Şekil 7.31, Şekil 7.32 ve Şekil 7.33' de görülmektedir.



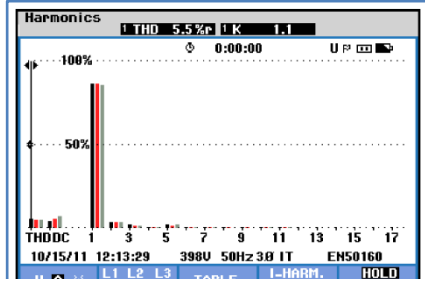
Şekil 7.28. PI denetimli evirici çıkış akımları
(Akım propları 10mV/1A kademesinde)



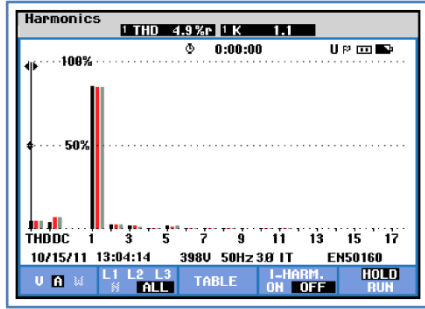
Şekil 7.29. Tip 1 BMD denetimli evirici çıkış akımları
(Akım propları 10mV/1A kademesinde)



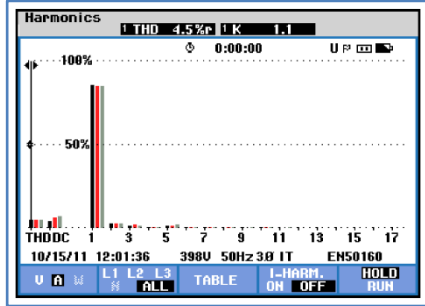
Şekil 7.30. Tip 2 BMD denetimli evirici çıkış akımları
(Akım propları 10mV/1A kademesinde)



Şekil 7.31. PI ile denetlenen üç fazlı akımların THD grafiği



Şekil 7.32. Tip – 1 BMD ile denetlenen üç fazlı akımların THD grafiği



Şekil 7.33. Tip – 2 BMD ile denetlenen üç fazlı akımların THD grafiği

8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, iki kademeli bir FV sistem tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiş ve bu sistem PI, tip – 1 BMD ve aralıklı tip – 2 BMD ile denetlenmiştir. Gerçekleştirilen FV sistem, DA – DA dönüştürücü, üç fazlı gerilim kaynaklı evirici, LC çıkış filtresi, akım ve gerilim algılayıcı kartları, veri kartı ve eZdsp TMS320F28335 SSİ kitinden oluşmaktadır. Uygulama sırasında daha hızlı ilerlemek ve karşılaşılabilecek sorunları önceden belirleyip çözüm sağlamak amacıyla sistemin öncelikle benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu benzetim çalışmaları, MATLAB, Simulink, Simpower araçları ile yapılmıştır. Denetim işlemlerini gerçekleştiren algoritmalar PI dışında, diğer algoritmalar (tip – 1 BMD ve aralıklı tip – 2 BMD) MATLAB kodları kullanılarak geliştirilmiştir.

Güneş panellerinden elde edilen enerjinin kullanılabilir hale gelmesi için güç devrelerine ihtiyaç vardır. Hem doğru akım hem de alternatif akım yüklerinin çalıştırılabilmesi için DA-DA dönüştürücü ve evirici tasarımı ve uygulaması yapılmıştır.

Yapılan denetim işlemlerinin etkinliğinin gözlemlenebilmesi için Picoscope 3423 ve Fluke 434 güç analizörü kullanılarak DA – DA dönüştürücü ve üç fazlı eviricinin çıkış sinyalleri bilgisayar ortamına alınmıştır.

Öncelikle sistemin benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu sayede denetim algoritmalarının etkinliği test edilmiş ve uygulama sırasında denetleyiciler gerçekleştirilirken, değiştirilmesi gereken parametreler daha hızlı bir şekilde düzenlenebilmiştir. Benzetim işlemlerinin ardından güç ve uygunlaştırma devreleri gerçekleştirilmiş ve PI, tip – 1 BMD ve aralıklı tip – 2 BMD kullanılarak en uygun denetim algoritması belirlenmiştir.

Güç devrelerinin doğrusal olmayan yapısı ve FV panellerin çevre şartlarından etkilenmesi ile ortaya çıkan belirsizliklerin denetleyici sisteminde ifade edilmesi PI ile mümkün olamamaktadır. Bu yüzden tip – 1 BMD geliştirilerek bu belirsizlikler giderilmeye çalışılmıştır. Ancak güç devreleri çalışırken ortaya çıkan parazitik etkiler okuma hatalarına dolayısıyla sistemde yanlış modellemelere sebep olmaktadır.

Bunun ortadan kaldırılabilmesi için aralıklı tip – 2 BMD geliştirilmiş ve belirsizlikler ortadan kaldırılmıştır.

Çizelge 8.1’ de FV sistemin denetiminde kullanılan denetim algoritmaları ve bunların sonuçları hem DA – DA dönüştürücü hem de üç fazlı gerilim kaynaklı evirici için gösterilmektedir. DA – DA dönüştürücüde, aşım miktarı, oturma süresi ve dalgacık miktarı algoritmalara göre karşılaştırılmışken, üç fazlı eviricide de frekans, faz açısı ve THD değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 8.1. FV sistemin algoritmalara göre uygulama sonuçları

Denetim Yöntemi	DA – DA Dönüştürücü			Üç Fazlı Evirici			
	Aşım miktarı (%)	Oturma Zamanı (s)	Dalgacık miktarı (V)	Akım Harmoniği (% THD)	Gerilim Harmoniği (% THD)	Frekans (Hz)	Faz Açısı (°)
PI Denetleyici	%29	2,63	82	%4,5	%4,3	49,58	117,48 °
Tip – 1 BMD	%7	0,731	39,5	%3,9	%3,9	49,98	118,275 °
Tip – 2 BMD	%6,7	0,073	42	%3,5	%3,7	49,98	119,95 °

Çizelge 8.1’ deki değerler incelendiğinde evirici için tüm değerlerin uluslar arası standartlara uygun olduğu görülmektedir. Denetim algoritması olarak tip – 2 BMD devrelerdeki belirsizliklerin modellenmesinde en iyi başarıyı sağlamıştır.

Yapılan kaynak taramasında, DA – DA yükselten tip dönüştürücü için yüksek güçte tip – 2 BMD ile denetlenen bir DA – DA dönüştürücü uygulamasına rastlanamamıştır. Düşük güçlü (5W) düşüren tip DA – DA dönüştürücünün tip – 2 BMD ile denetimi için Lin ve diğerlerinin yaptığı uygulama çalışmasında, oturma süresi 45 ms olan ve hiç aşım olmayan bir çıkış gerilimi elde edilmiştir [23]. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında ise DA – DA dönüştürücünün tip – 2 BMD ile denetiminde aşım miktarı %8,5, oturma süresi ise 52 ms olarak elde edilmiştir (Bkz. Çizelge 7.1). Atacak ve Bay’ın yaptığı benzetim çalışmasında, yükselten tip dönüştürücü için tip – 2 BMD kullanılmış ve hiç aşımsız, 1,3 ms oturma süresine sahip, çıkış yükünün azaltılması sırasında çıkış gerilimini toparlanma süresi 0,7 ms,

yükün arttırılması durumunda da 0,68 ms toparlanma süresine sahip bir çıkış gerilimi sağlanmıştır [13]. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında ise, yükün azaltılması durumundaki sistemin toparlanma süresi 8 ms, arttırılması durumundaki süre de 12 ms olarak elde edilmiştir.

Üç fazlı evirici için ise tip – 2 BMD, evirici giriş gerilimin regülasyonunda kullanılmış olmasına rağmen [39], akımların regülasyonunda tip – 2 BMD kullanımına rastlanamamıştır. Bu açıdan, gerçekleştirilen tez çalışması, güç elektroniği devrelerinde tip – 2 BMD’ nin en iyi şartları sağladığını ortaya koyması sebebiyle literatüre önemli bir katkı sağlayacaktır.

Tez çalışmasının gerçekleştirilmesi sırasında en büyük sorun, FV sistem çalışırken oluşan elektromanyetik girişimde (EMI) yaşanmıştır. Güç dönüştürücülerinin yüksek anahtarlama frekanslarında çalıştırılması sırasında, iletim hatlarında devre performansını olumsuz yönde etkileyen elektromanyetik radyasyon yayılımları oluşmaktadır. Yayılan ve iletilen EMI olarak adlandırılan bu girişimlerin azaltılması için çeşitli yöntemler gerçekleştirilmiştir. Güç dönüştürücülerinin baskı devrelerinin tasarımı sırasında iletim hatlarının kısa tutulması, hatların dik bir açıyla döndürülmesi yerine yuvarlak veya yumuşak geçişli olarak döndürülmesi, özellikle PWM sinyallerini taşıyan hatların anahtarların gate ucuna çok yakın tutulması ve devrelerin ekranlanması sağlanmıştır. Ayrıca güç devrelerinin bağlı olduğu hat ile FV panellerin topraklamasının sağlanması da EMI’ yi azaltan yollardan biri olmuştur. eZdsp F28335 kiti bilgisayar ile USB üzerinden bağlanmaktadır. Bu da sistem çalışırken EMI’ den dolayı ani kopmalar yaşanmasına sebep olmuştur. Bu sorunun aşılması için, kit, tasarlanan bir Faraday kafesine yerleştirilmiş, ayrıca USB kablosu ekranlı olarak seçilmiştir. Ekranlı seçilen bu kablo ferit bir nüveye sarılarak girişimlerin daha da azaltılması sağlanmıştır. Eleman seçimi de EMI için önemli bir konudur. Sistemde bulunan algılayıcılarda kullanılan OPAMPlar da EMI Hardened özelliği bulunan OPAMPlar (LMV832) olarak belirlenmiştir. Tezde kullanılan işlemcinin besleme geriliminin düşük olması (3,3 V) devrelerin tasarımı daha da zorlaştırmıştır. Bu durum kayıpları azaltırken malzeme seçimini de zorlaştırmıştır. Güç devrelerinde yalıtım ayrıca özenilmesi gereken bir durumdur. İyi bir yalıtım

sağlanamazsa sistemde ciddi sorunlar oluşmaktadı. Bu yzden algılayıcılar yalıtımlı olarak tasarlanmış bu da pahalı sensrlerin kullanılmasını gerekli kılmıştır. Ayrıca olçümler alınırken farksal prop kullanılması gerekliliği de maliyeti arttıran diğer bir faktör olmuştur.

Ada modlu çalışan bu eviricinin, şebeke bağlantısının yapılabilmesi için gerekli şartları sağladığı Çizelge 8.1' de görölmektedir. Bu yzden FV sistemin ürettiği enerjinin boşa gitmemesi için eviriciyi şebekeye bağlamak ve bunu da en yüksek gücü izleyerek gerçekteşirmek önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Dinçer, F., “Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli - ekonomik analizi ve AB ülkeleri ile karşılaştırmalı değerlendirme” , *KSU. Journal of Engineering Sciences*, 14 (1): 8-17 (2011).
2. Kjaer, S. B., Pederson, J. K., Blaabjerg, F., “A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 41(5): 1292 – 1306 (2005).
3. Jain, S., Agarwal, V., “A single-stage grid connected inverter topology for solar PV systems with maximum power point tracking”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 22(5): 1928 – 1940 (2007).
4. Calaisa, M., Agelidisb , V. G., Dymondc , M. S., “A cascaded inverter for transformerless single-phase grid-connected photovoltaic systems”, *Renewable Energy*, 22: 255 – 262 (2001).
5. Armstrong, M., Atkinson, D. J., Johnson, C. M., Abeyasekera, T. D., “Auto-calibrating DC link current sensing technique for transformerless, grid connected, H-bridge inverter systems”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 21(5): 1385 – 1393 (2006).
6. Hamrouni, N., Jraidi, M., Chérif, A., “New control strategy for 2-stage grid-connected photovoltaic power system”, *Renewable Energy*, 33: 2212–2221 (2008).
7. Nichols, S., Huang, J., Ilic, M., Casey, L., Prestero, M. “Two-Stage PV power system with improved throughput and utility control capability”, *IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply*, Waltham, 110 – 115 (2010).
8. Ho, B. M. T., Chung, H. S. H.,” An integrated inverter with maximum power tracking for grid-connected PV systems”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 20(4): 953 – 962 (2005).
9. Asiminoaei, L., Teodorescu, R., Blaabjerg, F., Borup, U., “Implementation and test of an online embedded grid impedance estimation technique for PV inverters”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 52(4): 1136 – 1144 (2005).
10. Kang, F. S., Park, S. J., Cho, S. E., Kim, J. M.,” Photovoltaic power interface circuit incorporated with a buck-boost converter and a full-bridge inverter”, *Applied Energy*, 82: 266–283 (2005).
11. Kerekes, T., Teodorescu, R., Rodríguez, P., Vázquez, G., Aldabas, E., “A new high-efficiency single-phase transformerless PV inverter topology”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58 (1): 184-191 (2011).

12. Wu, T. F., Chang, C. H., Lin, C., Kuo, C. L., “Power loss comparison of single- and two-stage grid-connected photovoltaic systems” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 26(2): 707 -715 (2011).
13. Atacak, İ., Bay, Ö F., “A type-2 fuzzy logic controller design for buck and boost DC–DC converters”, *Journal of Intelligent Manufacturing* 10.1007(S108450100).
14. Demirtaş, M., Sefa, İ., Irmak, E., Çolak, İ., “Güneş enerjili sistemler için mikrodenetleyici tabanlı DA/DA yükselten dönüştürücü” *Gazi Üniversitesi Mühendislik. Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(3): 719-728 (2008).
15. So, W. C., Tse, C. K., Lee, Y. S., “Development of a fuzzy logic controller for DC/DC converters: design, computer simulation, and experimental evaluation”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 11(1): 24 – 31 (1996).
16. Gupta, T., Boudreaux, R. R., Nelms, R. M., Hung, J. Y., “Implementation of a fuzzy controller for DC – DC converters using an inexpensive 8 – b microcontroller”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 44(5): 661 – 669 (1997).
17. Bay, Ö. F., Deperlioglu, Ö., Elmas, Ç., “Fuzzy control of DC - DC converters based on user friendly design”, *International Journal of Electronics*, 90(7): 455-458 (2003).
18. Guo, L., Hung, J. Y., Nelms, R. M., “Evaluation of DSP-based PID and fuzzy controllers for DC–DC converters”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(6): 2237 – 2248 (2009).
19. Hagraş, H., “A hierarchical type-2 fuzzy logic control architecture for autonomous mobile robots”, *IEEE Trans. Fuzzy Systems*, 12: 524–539 (2004).
20. Salim, O. M., Zohdy, M. A., Dorrah, H. T., Kamel, A. M., “Application of hyper – fuzzy logic in field oriented control of induction machines”, *Proceedings of 14th International Middle East Power Systems Conference*, Mısır, 356 – 363 (2010).
21. Tushir, M., Srivastava, S., “Type – 2 fuzzy logic controller implementation for tracking control of DC motor”, *International Journal of Computer Network and Security*, 3(1): 34 – 41 (2010).
22. Sarhan, G. M., Elkousy, A. A., Hagraş, A. A., Saad, S. M., “Adaptive control of shunt active power filter using interval type – 2 fuzzy logic controller”, *Proceedings of 14th International Middle East Power Systems Conference*, Mısır, 253 – 259 (2010).
23. Lin, P. Z., Hsu, C. F., Lee, T. T., “Type-2 fuzzy logic controller design for buck DC-DC converters”, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Reno, 365 – 370 (2005).

24. Peng, F. Z., "Z-source inverter", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 39(2): 504 – 510 (2003).
25. Bahrani, B., Kenzelmann, S, Rufer, A.," Multivariable-PI-based dq current control of voltage source converters with superior axis decoupling capability", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(7): 3016-3026 (2011).
26. Lorduy, A.,Lazaro, A.,Barrado, A.,Fernandez, C.,Quesada, Lucena, C., "Simplified synchronous reference frame control of the three phase grid connected inverter", *25th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Palm Springs, 1026-1033 (2010).
27. Carnieletto, R., Ramos, D. B., Simoes, M., Farret, F. A., "Simulation and analysis of dqFrame and P plus resonant controls for voltage source inverter to distributed generation", *10th Brazilian Power Electronics Conference*, Brezilya, 634-639 (2009).
28. Norum, L., Sulkowski, W., Aga, L. A., "Compact realisation of PWM-VSI current controller for PMSM drive application using low cost standard microcontroller", *IEEE PESC'92*, Spain, 680–685 (1992).
29. Liyong, Y., Yinghong, L., Yaai, C., Zhenxi, L., "A novel fuzzy logic controller for indirect vector control induction motor drive", *Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Çin, 24 – 28 (2008).
30. Yang, B., Wu, X., He, X., "An improved DSP-based control strategy with predictive current control and fuzzy voltage control for grid - connected voltage source inverters" *34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics*, Orlando, 2296 – 2300 (2008).
31. Tzou, Y. Y., Ho, L. H., Ou, R. S., "Fuzzy control of a closed-loop regulated PWM inverter under large load variations", *Industrial Electronics, Control, and Instrumentation*, Maui, (1):267 – 272 (1993).
32. Tzou, Y. Y., Lin, S. Y., " Fuzzy-tuning current-vector control of a three-phase PWM inverter for high-performance AC drives", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 45 (5): 782 – 791 (1998).
33. Uddin, M. N., Radwan, T. S., Rahman, M. A.," Performances of fuzzy-logic-based indirect vector control for induction motor drive", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 38(5): 1219 – 1225 (2002).
34. Uddin, M. N., Radwan, T. S., Rahman, M. A.," Fuzzy-logic-controller-based cost-effective four-switch three-phase inverter-fed IPM synchronous motor drive system", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 42(1): 21 - 30 (2006).

35. Torrico, J.A., Bim, E., “Fuzzy logic space vector current control of three-phase inverters”, *IEEE 31st Annual of Power Electronics Specialists Conference*, İrlanda, 147 – 152 (2000).
36. Rukonuzzaman, M., Nakaoka, M., “Space voltage vector modulation based voltage source inverter with fuzzy logic current controller”, *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology*, Hindistan, 272 – 277 (2000).
37. Altın, N., “Bulanık sinirsel denetimli şebeke etkileşimli evirici tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1 – 7 (2009).
38. Lin, W. C., Chen, C. S., “Self-adaptive interval type-2 neural fuzzy network control for PMLSM drives”, *Expert Systems with Applications*, 38: 14679–14689 (2011).
39. Barkati, S., Berkouk, E. M., Boucherit, M. S., “Application of type-2 fuzzy logic controller to an induction motor drive with seven-level diode-clamped inverter and controlled infeed” *Electr Eng.*, 90:347–359 (2008).
40. İnternet: Solar Market Research and Prices, “Module Pricing” <http://solarbuzz.com/facts-and-figures/retail-price-environment/module-prices> (2011).
41. İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) “Türkiye’de Güneş Enerjisi” www.eie.gov.tr (2010).
42. Markvart, T., “Solar Electricity 2nd Edition”, *John Wiley & Sons*, Chichester, 1 – 2 (2003).
43. Luque, A., Hegedus, S., “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering”, *Wiley*, ABD, 701 – 704 (2003).
44. Bay, Ö. F., Özarslan, M., “Modeling and simulation of grid connected – three phase two stage photovoltaic system”, *International Journal of Electrical Energy Systems*, 1(2): 55 – 63 (2009).
45. Chomsuwan, K., Prisuwana, P., Monyakul, V., “Photovoltaic grid-connected inverter using two-switch buck-boost converter”, *IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE*, 1527 – 1530 (2002).
46. Patcharapraprakiti, N., Premrudeepreechacharn, S., Sriuthaisiriwong, Y., “Maximum power point tracking using adaptive fuzzy logic control for grid-connected photovoltaic system”, *Renewable Energy*, 30, 1771 - 1788, 2005.

47. Meza, C., Biel, D., Negroni, J., Guinjoan, F.,” Boost – buck inverter variable structure control for grid – connected photovoltaic systems with sensorless MPPT”, *IEEE ISIE*, Dubrovnik, 657 – 662 (2005).
48. Huang, S.J. Pai, F.S., “Design and operation of grid-connected photovoltaic system with power-factor control and active islanding detection”, *Generation, Transmission and Distribution IEE Proceedings*, 148 (3), 243 – 250, 2001.
49. Kaundinya, D. P., Balachandra, P., Ravindranath, N. H., “Grid-connected versus stand-alone energy systems for decentralized power—A review of literature”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 2041 – 2050 (2009).
50. Mohan, N., Undeland, T. M., Robbins, W. P., “Güç Elektroniği Çeviriciler, Uygulamalar ve tasarım 2. Basımdan çeviri”, Tunay, N., Gökaşan, M., Boğoysan, S., *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 242 – 243 (2003).
51. Atacak, İ., “Sinirsel bulanık mantık denetleyicili kesintisiz güç kaynağı tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 28 – 30 (2005).
52. Kulaksız, A.A.,” Maksimum güç noktası izleyicili ve UVM inverterli fotovoltaik sistemin yapay sinir ağları tabanlı kontrolü”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 65 – 67 (2007).
53. Asker, M. E., Özdemir, M., Bayındır, M. İ.,” Sinüsoidal DGM ile uzay vektör DGM yöntemlerinin karşılaştırmalı incelemesi”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, (2009).
54. Kim, S., K., Jeon, J., H., Cho, C., H., Kim, E., S., Ahn, J., B., “Modeling and simulation of a grid-connected PV generation system for electromagnetic transient analysis”, *Solar Energy*, 83 (5): 664-678 (2009).
55. Qingrong, Z., Liuchen, C., “Improved current controller based on SVPWM for three-phase grid-connected voltage source inverters”, *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Brezilya, 2912-2917 (2005).
56. Dejjia, Z., Zhengming, Z., Eltawil, Z., Liqiang, M. Y., “Design and control of a three – phase grid – connected photovoltaic system with developed maximum power point tracking”, *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, Texas, 973-979 (2008).
57. Özarslan, M., GUNT RT 512 Sıvı seviye denetim cihazının bulanık mantık denetleyici ile denetimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü*, Ankara, 14 – 16 (2005).

58. Atacak, İ., Bay, Ö. F., “Bulanık mantık denetimli seri aktif güç filtresi kullanarak harmonik gerilimlerin bastırılması”, *Journal Fac. Eng. Arch. Gazi Univ*, 19(2): 205-215 (2004).
59. Zadeh, L. A., “Fuzzy sets”, *Inform Contr*, 338–353 (1965).
60. Zadeh, L. A., “The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—1”, *Information Sciences*, 8: 199–249 (1975).
61. Mendel, J. M., Wu, D., “Perceptual Computing Aiding People in Making Subjective Judgments IEEE Press”, *Wiley*, United States of America, (2010).
62. Mendel, J. M., “Uncertain Rule – Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions”, *Prentice Hall PTR*, United States of America, 66 – 69 (2001).
63. Wu, H., Mendel, J. M., “Uncertainty bounds and their use in the design of interval type – 2 fuzzy logic systems”, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10(5): 622 – 639 (2002).
64. Wu, D., Tan, W. W., “A Simplified type – 2 fuzzy logic controller for real – time control”, *ISA Transactions*, 45(4): 503 – 516 (2006).
65. Castillo, O., Melin, P., “Type – 2 Fuzzy Logic: Theory and Applications”, *Springer*, Meksika, 41 – 45 (2008).
66. Karnik, N. N., Mendel, J. M., “Centroid of a type-2 fuzzy set”, *Information Sciences*, 132: 195–220 (2001).
67. Kesler ,S., “Bilezikli asenkron makinaların bilezikleri üzerinden bulanık mantık tabanlı hız denetiminin TMS320F2812 DSP ile gerçekleştirilmesi”, , Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 25 36 (2008).

EKLER

EK – 1. KD180GH-2P kodlu güneş panelinin teknik veri sayfası

KD180GH-2P

High efficiency multicrystal photovoltaic module

**EXAMPLES OF APPLICATION**

- Grid-connected systems, for e.g.
 - Residential solar power systems
 - Public and industrial solar power systems
- Solar power stations

**CUTTING-EDGE TECHNOLOGY**

Exhaustive research work, continuous further development of production processes and highly automated production enable polycrystalline Kyocera solar modules to attain an exceptional standard of quality and markedly high levels of efficiency.

The integrated Kyocera high-performance solar cells with a standard size of 15.6 cm x 15.6 cm achieve over 16 % efficiency, guaranteeing an extremely high annual yield of energy from the photovoltaic system.

To protect against the harshest weather conditions, the cells are embedded between a reinforced glass covering (hailstorm resistance complying with IEC 61215 ed. 2, tested by TÜV) and EVA foil, and are sealed with a PET foil backing. The laminate is set in a sturdy aluminum frame which is easy to assemble.

The junction box on the module backside is equipped with bypass diodes that eliminate the risk of the individual solar cells overheating (hot spot effect). Many series-connected photovoltaic modules can be easily wired using pre-assembled solar cables and multi-contact plugs.

Kyocera manufactures all the components at its own production sites – without buying in semi-finished products – to ensure consistently high product quality.

TUVdotCOM Service: Internet platform for tested quality and service
 TUVdotCom-ID: 0000022509
 IEC 61215 ed. 2, IEC 61730 and Safety Class II
 Kyocera is ISO 9001 and ISO 14001 certified and registered.



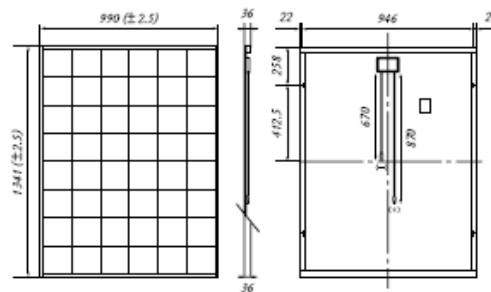
**KYOCERA
SOLAR**

We care!

EK – 1 (Devam)

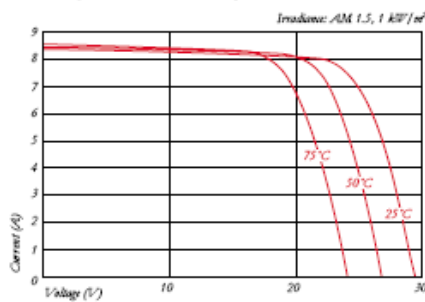
SPECIFICATIONS

in mm

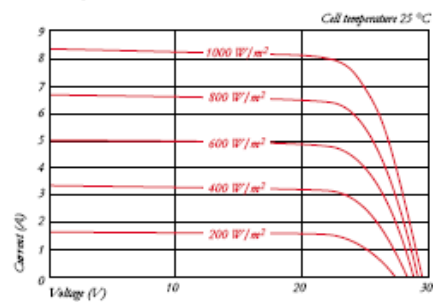


ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics at various cell temperatures



Current-Voltage characteristics at various irradiance levels



ELECTRICAL PERFORMANCE

PV Module Type	KD180CH-2P	
At 1000 W/m ² (STC)*		
Maximum Power	[W]	180
Maximum System Voltage	[V]	1000
Maximum Power Voltage	[V]	23.6
Maximum Power Current	[A]	7.63
Open Circuit Voltage (V _{OC})	[V]	29.5
Short Circuit Current (I _{SC})	[A]	8.35
At 800 W/m ² (NOCT)**		
Maximum Power	[W]	127
Maximum Power Voltage	[V]	20.8
Maximum Power Current	[A]	6.1
Open Circuit Voltage (V _{OC})	[V]	26.5
Short Circuit Current (I _{SC})	[A]	6.8
NOCT	[°C]	49
Power Tolerance	[%]	+5 / -5
Maximum Reverse Current I _r	[A]	15
Series Fuse Rating	[A]	15
Temperature Coefficient of V _{OC}	[V/°C]	-1.06x10 ⁻³
Temperature Coefficient of I _{SC}	[A/°C]	5.01x10 ⁻³
Temperature Coefficient of Max. Power	[W/°C]	-8.28x10 ⁻³
Reduction of Efficiency (from 1000 W/m ² to 200 W/m ²)	[%]	5.8

DIMENSIONS

Length	[mm]	1341 (±2.5)
Width	[mm]	990 (±2.5)
Depth / incl. Junction Box	[mm]	36
Weight	[kg]	16.5
Cable	[mm]	(+)-870 / (-)-870
Connection Type		MC PV-KBT3 / MC PV-KST3
Junction Box	[mm]	100x108x15
IP Code		IP65

GENERAL INFORMATION

Performance Guarantee	10 ^{***} / 20 years ^{****}
Warranty	2 years

CELLS

Number per Module	48
Cell Technology	multicrystal
Cell Shape (square)	156x156
Cell Bonding	3 busbar

* Electrical values under standard test conditions (STC) irradiance of 1000 W/m² direct AM 1.5 and cell temperature of 25 °C
 ** Electrical values under normal operating cell temperature (NOCT) irradiance of 800 W/m² direct AM 1.5, wind speed of 1 m/s and ambient temperature of 30 °C
 *** 10 years or 80% of the nominally specified power P under standard test conditions (STC)
 **** 20 years or 80% of the nominally specified power P under standard test conditions (STC)

Your local Kyocera dealer:

**KYOCERA
SOLAR**

We care!

KYOCERA Fin ceramics GmbH
Solar Division
Fritz-Mueller-Str. 107
73730 Eßlingen/Germany
Tel: +49 (0)711-93 93 49 99

EK – 2. Deneysel verilerin elde edilmesi sırasında kaydedilen ışınlm ve sıcaklık bilgileri ve grafikleri

Çizelge EK 2.1. 02.01.2012 tarihinde kaydedilensıcaklık ve ışınlm bilgileri

Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	İşınım (W / m ²)
11:44:04	6	17	678.93
11:44:14	6	17	678.93
11:44:24	6	17	676.49
11:44:34	5	17	681.36
11:44:44	5	17	681.36
11:44:53	5	17	683.79
11:45:03	5	17	686.23
11:45:13	5	17	688.66
11:45:23	5	17	686.23
11:45:32	5	17	683.79
11:45:42	5	17	683.79
11:45:52	5	17	683.79
11:46:02	5	17	686.23
11:46:12	5	17	686.23
11:46:21	5	17	683.79
11:46:31	5	17	681.36
11:46:41	5	17	688.66
11:46:51	5	17	695.96
11:47:00	5	17	695.96
11:47:10	5	17	688.66
11:47:20	5	17	686.23
11:47:30	5	17	683.79
11:47:40	5	17	683.79
11:47:49	5	17	683.79
11:47:59	5	17	686.23
11:48:09	5	17	686.23
11:48:19	5	17	683.79
11:48:28	5	17	717.86
11:48:38	5	17	712.99
11:48:48	5	17	710.56
11:48:58	5	17	710.56
11:49:07	5	17	710.56
10:49:17	5	17	710.56
11:49:27	5	17	720.29
11:49:37	5	17	720.29
11:49:46	5	17	727.59
11:49:56	5	17	727.59
11:50:06	5	17	725.16
11:50:16	5	17	722.73

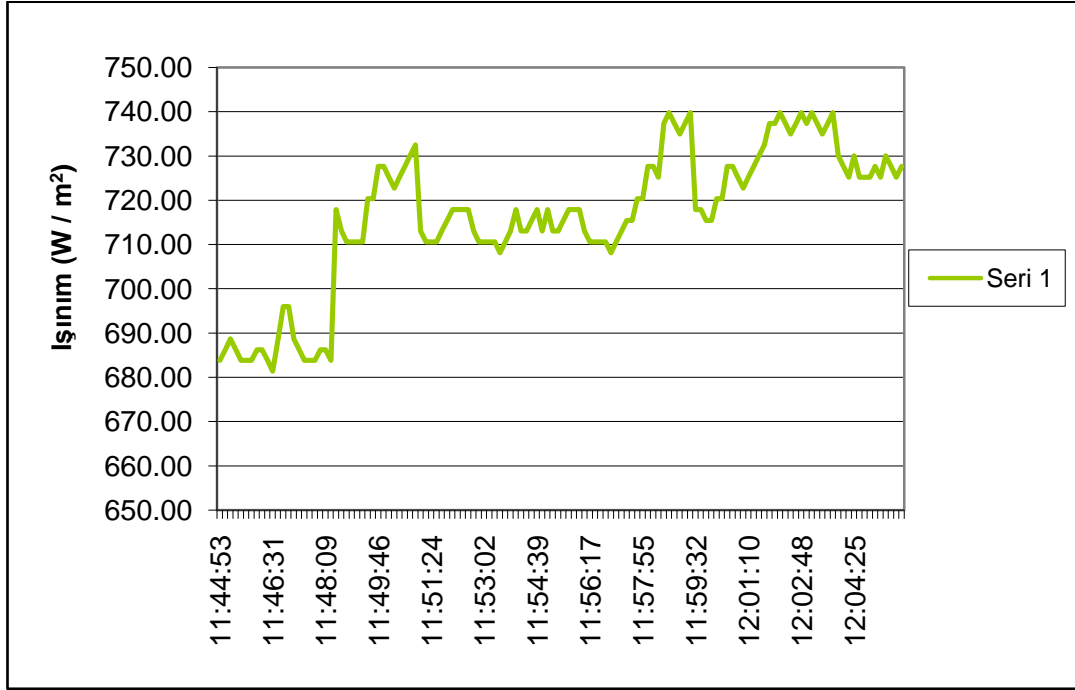
EK – 2 (Devam)

Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Işınım (W / m ²)
11:50:25	5	17	725.16
11:50:35	5	17	727.59
11:50:45	5	17	730.03
11:50:55	5	17	732.46
11:51:04	5	17	712.99
11:51:14	5	17	710.56
11:51:24	5	17	710.56
11:51:34	4	17	710.56
11:51:43	4	17	712.99
11:51:53	4	17	715.43
11:52:03	4	17	717.86
11:52:13	4	17	717.86
11:52:22	4	17	717.86
11:52:32	4	17	717.86
11:52:42	4	17	712.99
11:52:52	4	17	710.56
11:53:02	4	17	710.56
11:53:11	4	17	710.56
11:53:21	4	17	710.56
11:53:31	4	17	708.13
11:53:41	4	17	710.56
11:53:50	4	17	712.99
11:54:00	4	17	717.86
11:54:10	4	17	712.99
11:54:20	4	17	712.99
11:54:30	4	17	715.43
11:54:39	4	17	717.86
11:54:49	4	17	712.99
11:54:59	4	15	717.86
11:55:09	4	17	712.99
11:55:18	4	17	712.99
11:55:28	4	17	715.43
11:55:38	5	17	717.86
11:55:48	5	17	717.86
11:55:57	5	17	717.86
11:56:07	5	17	712.99
11:56:17	5	17	710.56
11:56:27	5	17	710.56
11:56:36	6	17	710.56
11:56:46	6	17	710.56
11:56:56	17	102	708.13
11:57:06	6	15	710.56
11:57:16	6	17	712.99

EK – 2 (Devam)

Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Işınım (W / m ²)
11:57:25	6	17	715.43
11:57:35	6	17	715.43
11:57:45	6	18	720.29
11:57:55	6	18	720.29
11:58:04	6	18	727.59
11:58:14	5	18	727.59
11:58:24	5	18	725.16
11:58:34	5	18	737.33
11:58:43	5	18	739.76
11:58:53	5	18	737.33
11:59:03	5	18	734.89
11:59:11	5	18	737.33
11:59:22	5	18	739.76
11:59:32	5	18	717.86
11:59:42	5	18	717.86
11:59:52	5	18	715.43
12:00:01	5	18	715.43
12:00:11	5	18	720.29
12:00:21	5	18	720.29
12:00:31	5	18	727.59
12:00:41	5	18	727.59
12:00:50	5	18	725.16
12:01:00	5	18	722.73
12:01:10	5	18	725.16
12:01:20	5	18	727.59
12:01:29	4	18	730.03
12:01:39	4	18	732.46
12:01:49	4	18	737.33
12:01:59	4	17	737.33
12:02:09	4	17	739.76
12:02:18	4	17	737.33
12:02:28	4	17	734.89
12:02:38	4	17	737.33
12:02:48	4	17	739.76
12:02:57	4	17	737.33
12:03:07	4	17	739.76
12:03:17	4	17	737.33
12:03:27	4	17	734.89
12:03:36	4	17	737.33
12:03:46	4	17	739.76
12:03:56	5	17	730.03
12:04:15	5	17	725.16
12:04:25	5	17	730.03

EK – 2 (Devam)



Şekil EK 2.1 02.01.2012 tarihli ışı nım değ erleri

Çizelge EK 2.2. 15.12.2011 tarihinde alınan sıcaklık ve ışı nım bilgileri

Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Işınım (W / m ²)
11:51:04	13	24	518.32
11:51:14	12	24	513.45
11:51:24	12	24	518.32
11:51:34	12	24	520.75
11:51:43	12	24	223.87
11:51:53	12	24	220.25
11:52:03	12	24	221.22
11:52:13	12	24	200.36
11:52:22	12	24	240.91
11:52:32	12	24	200.22
11:52:42	12	24	250.93
11:52:52	12	24	240.33
11:53:01	12	24	230.45
11:53:11	12	24	513.45
11:53:21	12	24	513.45
11:53:31	12	24	508.58
11:53:40	12	24	513.45
11:53:50	12	24	513.45

EK – 2 (Devam)

Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Işınım (W / m ²)
11:54:00	12	24	511.02
11:54:10	12	24	515.88
11:54:20	12	24	513.45
11:54:29	12	24	511.02
11:54:39	12	24	508.58
11:54:49	12	24	513.45
11:54:59	12	24	506.15
11:55:08	12	24	511.02
11:55:18	12	25	513.45
11:55:28	12	25	511.02
11:55:38	12	25	511.02
11:55:47	12	25	508.58
11:55:57	12	25	511.02
11:56:07	12	25	511.02
11:56:17	12	25	513.45
11:56:27	12	25	513.45
11:56:36	12	25	515.88
11:56:46	11	25	515.88
11:56:56	11	25	515.88
11:57:06	11	25	513.45
11:57:15	12	25	311.48
11:57:25	12	25	343.45
11:57:35	12	25	374.22
11:57:45	12	25	350.25
11:57:54	12	25	508.58
11:58:04	12	25	508.58
11:58:14	12	25	506.15
11:58:24	12	25	508.58
11:58:34	12	25	511.02
11:58:43	12	25	511.02
11:58:53	11	25	518.32
11:59:03	11	25	520.75
11:59:13	11	25	518.32
11:59:22	12	25	515.88
11:59:32	12	25	513.45
11:59:42	12	25	518.32
11:59:52	12	25	515.88
12:00:02	11	25	515.88
12:00:11	11	25	518.32

EK – 2 (Devam)

Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Işınım (W / m ²)
12:00:31	11	25	515.88
12:00:41	11	25	518.32
12:00:50	12	25	511.02
12:01:00	12	25	508.58
12:01:10	11	25	511.02
12:01:20	11	25	511.02
12:01:30	12	25	506.15
12:01:39	12	25	508.58
12:01:49	12	25	508.36
12:01:59	12	25	450.25
12:02:09	12	25	330.47
12:02:18	12	25	348.22
12:02:28	12	25	380.85
0.545509	12	25	380.85
12:02:48	12	25	385.22
12:02:57	12	25	392.12
12:03:07	12	25	392.25
12:03:17	12	25	394.88
12:03:27	12	25	373.69
12:03:36	12	25	378.22
12:03:46	12	25	378.58
12:03:56	12	25	515.88
12:04:06	12	25	515.88
12:04:15	12	25	516.02
12:04:25	12	25	516.04
12:04:35	12	25	516.1
12:04:45	12	25	516.16
12:15:49	14	27	516.22
12:15:59	14	27	516.28
12:16:08	14	27	516.34
12:16:18	14	27	450.85
12:16:28	14	27	470.25
12:16:37	14	27	473.66
12:16:47	14	27	474.25
12:16:57	14	27	478.22
12:17:07	14	27	478.22
12:17:17	14	27	523.18
12:17:26	14	27	523.18

EK – 2 (Devam)

Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Işınım (W / m ²)
12:17:36	14	27	528.05
12:17:46	14	27	525.62
12:17:56	14	27	525.62
12:18:05	14	27	528.05
12:18:15	14	27	525.62
12:18:25	14	27	528.05
12:18:35	15	27	528.05
12:18:44	15	27	528.05
12:18:54	15	27	528.05
12:19:04	15	27	525.62
12:19:14	15	27	525.62
12:19:24	15	27	528.05
12:19:33	15	27	530.49
12:19:43	15	27	532.92
12:19:53	15	27	530.49
12:20:03	15	27	537.79
12:20:12	15	27	542.65
12:20:22	15	27	535.35
12:20:32	15	27	535.35
12:20:42	15	28	535.35
12:20:52	15	28	535.35
12:21:01	15	28	528.05
12:21:11	15	28	528.05
12:21:21	15	28	528.05
12:21:31	15	28	528.05
12:21:40	15	28	537.79
12:21:50	15	28	537.79
12:22:00	15	28	537.79
12:22:10	15	28	537.79
12:22:19	15	28	535.35
12:22:29	15	28	537.79
12:22:39	15	28	542.65
12:22:49	15	28	542.65
12:22:59	15	28	542.65
12:23:08	15	28	537.79
12:23:18	14	28	540.22
12:23:28	14	28	540.22
12:23:38	14	28	537.79

EK – 2 (Devam)

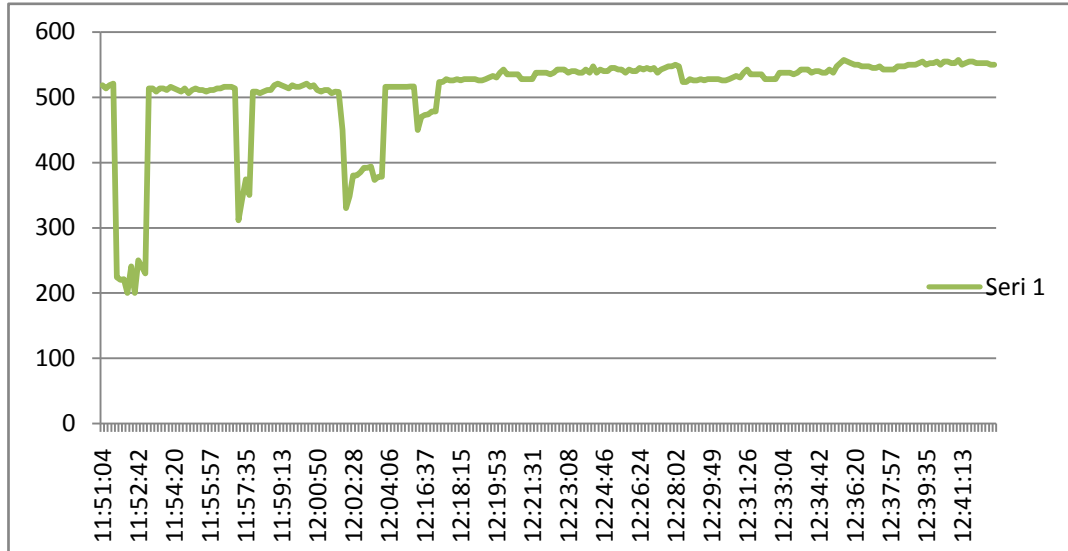
Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Işınım (W / m ²)
12:23:47	14	28	537.79
12:23:57	15	28	542.65
12:24:07	15	28	537.79
12:24:17	15	28	547.52
12:24:26	14	28	537.79
12:24:36	15	28	542.65
12:24:46	15	28	540.22
12:24:56	15	28	540.22
12:25:06	15	28	545.09
12:25:15	15	28	545.09
12:25:25	15	28	542.65
12:25:35	15	28	542.65
12:25:45	15	28	537.79
12:25:54	15	28	542.65
12:26:04	15	28	540.22
12:26:14	15	28	540.22
12:26:24	15	28	545.09
12:26:34	15	28	542.65
12:26:43	15	28	545.09
12:26:53	15	28	542.65
12:27:03	15	28	545.09
12:27:13	15	28	537.79
12:27:22	15	28	542.65
12:27:32	15	28	545.09
12:27:42	15	28	547.52
12:27:52	15	28	547.52
12:28:02	15	28	549.95
12:28:11	15	28	547.52
12:28:21	15	28	523.18
12:28:31	15	28	523.18
12:28:41	15	28	528.05
12:28:50	15	28	525.62
12:29:00	15	28	525.62
12:29:10	15	28	528.05
12:29:20	15	29	525.62
12:29:29	15	29	528.05
12:29:49	15	29	528.05
12:29:59	15	29	528.05

EK – 2 (Devam)

Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Işınım (W / m ²)
12:30:08	15	29	528.05
12:30:18	15	29	525.62
12:30:28	14	29	525.62
12:30:38	14	29	528.05
12:30:47	14	29	530.49
12:30:57	14	29	532.92
12:31:07	14	29	530.49
12:31:17	14	29	537.79
12:31:26	14	29	542.65
12:31:36	14	29	535.35
12:31:46	14	29	535.35
12:31:56	15	29	535.35
12:32:06	14	29	535.35
12:32:15	14	29	528.05
12:32:25	14	29	528.05
12:32:35	14	29	528.05
12:32:45	14	29	528.05
12:32:54	14	29	537.79
12:33:04	14	29	537.79
12:33:14	14	29	537.79
12:33:24	14	29	537.79
12:33:34	14	29	535.35
12:33:43	14	29	537.79
12:33:53	13	29	542.65
12:34:03	13	29	542.65
12:34:13	14	29	542.65
12:34:22	14	29	537.79
12:34:32	14	29	540.22
12:34:42	14	29	540.22
12:34:52	14	29	537.79
12:35:01	14	29	537.79
12:35:11	14	29	542.65
12:35:21	14	29	537.79
12:35:31	14	29	547.52
12:35:41	14	29	552.39
12:35:50	14	29	557.25
12:36:00	14	29	554.82
12:36:10	14	29	552.39

EK – 2 (Devam)

Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Işınım (W / m ²)
12:36:20	14	29	549.95
12:36:29	14	29	549.95
12:36:39	14	29	547.52
12:36:49	14	29	547.52
12:36:59	14	29	547.52
12:37:08	14	30	545.09
12:37:18	14	30	545.09
12:37:28	14	30	547.52
12:37:38	14	30	542.65
12:37:47	14	30	542.65
12:37:57	14	30	542.65
12:38:07	15	30	542.65
12:38:17	15	30	547.52
12:38:27	14	30	547.52
12:38:36	14	30	547.52
12:38:46	14	30	549.95
12:38:56	14	30	549.95
12:39:06	14	30	549.95
12:39:15	14	30	552.39
12:39:25	14	30	554.82
12:39:35	14	30	549.95
12:39:45	14	30	552.39
12:39:55	14	30	552.39
12:40:04	14	30	554.82
12:40:14	14	30	549.95
12:40:24	14	30	554.82
12:40:34	14	30	554.82
12:40:43	15	30	552.39
12:40:53	14	30	552.39
12:41:03	14	30	557.25
12:41:13	14	30	549.95
12:41:22	14	30	552.39
12:41:32	14	30	554.82
12:41:42	14	30	554.82



Şekil EK 2.2. 15.12.2011 tarihli ışınım değerleri

Çizelge EK 2.3. 15.10.2011 tarihinde alınan sıcaklık ve ışınım bilgileri

Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Işınım (W / m ²)
11:36:29	24	33	854.13
11:36:39	23	33	854.13
11:36:49	23	33	854.13
11:36:59	23	33	856.57
11:37:08	23	33	856.57
11:37:18	23	33	859.00
11:37:28	23	33	856.57
11:37:38	23	33	786.00
11:37:48	23	33	851.70
11:37:57	24	33	854.13
11:38:07	24	33	856.57
11:38:17	24	33	849.27
11:38:27	24	33	844.40
11:38:36	24	33	846.83
11:38:46	24	33	844.40
11:38:56	23	33	841.97
11:39:06	23	33	844.40
11:39:15	23	33	846.83
11:39:25	23	33	844.40
11:39:35	23	33	844.40
11:39:45	24	33	837.10
11:39:55	24	33	834.67
11:40:04	24	33	834.67
11:40:14	24	33	815.20
11:40:24	24	33	734.89

EK – 2 (Devam)

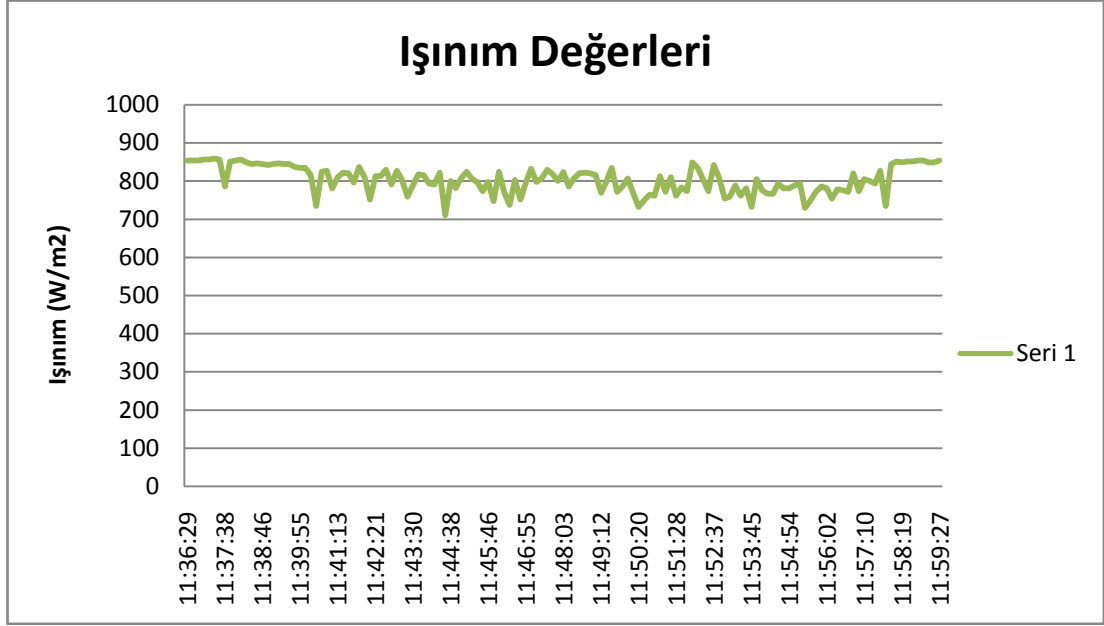
Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Işınım (W / m ²)
11:40:34	24	33	824.93
11:40:43	24	33	827.36
11:40:53	24	33	781.13
11:41:03	24	33	764.10
11:41:13	24	33	810.33
11:41:23	24	33	822.50
11:41:32	24	33	820.06
11:41:42	24	33	795.73
11:41:52	24	33	837.10
11:42:02	24	34	810.33
11:42:11	25	34	751.93
11:42:21	25	34	812.76
11:42:31	25	34	812.76
11:42:41	25	34	829.80
11:42:50	25	34	790.86
11:43:00	25	34	827.36
11:43:10	24	34	803.03
11:43:20	25	34	758.80
11:43:30	25	34	788.43
11:43:39	25	34	817.63
11:43:49	25	34	815.20
11:03:59	25	34	793.30
11:44:09	25	34	790.86
11:44:18	25	34	822.50
11:44:28	25	34	710.56
11:44:38	25	34	800.60
11:44:48	25	34	781.56
11:44:58	25	35	807.90
11:45:07	25	35	824.93
11:45:17	25	35	805.46
11:45:27	25	35	798.16
11:45:37	25	35	773.83
11:45:46	25	35	798.16
11:45:56	25	35	747.06
11:46:06	25	35	824.93
11:46:16	25	35	771.40
11:46:25	25	35	737.33
11:46:35	25	35	803.03
11:46:45	25	35	751.93
11:46:55	25	35	795.73
11:47:05	25	35	832.23
11:47:14	25	35	798.16

EK – 2 (Devam)

Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Işınım (W / m ²)
11:47:24	25	35	807.90
11:47:34	35	34	807.92
11:47:44	25	35	378.70
11:47:53	25	35	800.60
11:48:03	26	35	823.36
11:48:13	26	35	786.00
11:48:23	26	35	807.90
11:48:33	26	35	820.06
11:48:42	26	35	822.50
11:48:52	25	35	820.06
11:49:02	25	36	815.20
11:49:12	25	36	768.96
11:49:21	25	36	798.16
11:49:31	25	36	834.67
11:49:41	25	36	771.40
11:49:51	25	36	786.00
11:50:00	25	36	776.03
11:50:10	25	36	768.96
11:50:20	25	36	732.46
11:50:30	24	36	749.49
11:50:40	24	36	764.10
11:50:49	24	36	761.66
11:50:59	24	36	812.76
11:51:09	24	36	771.40
11:51:19	25	36	810.33
11:51:28	24	16	761.66
11:51:38	24	36	783.56
11:51:48	24	36	773.83
11:51:58	24	36	849.27
11:52:07	24	36	834.67
11:52:17	23	36	805.46
11:52:27	23	36	773.83
11:52:37	23	36	841.97
11:52:47	22	36	807.90
11:52:56	22	36	754.36
11:53:06	22	36	759.23
11:53:16	21	36	788.43
11:53:26	21	36	761.66
11:53:35	21	36	781.13
11:53:45	21	36	732.46
11:53:55	20	36	805.46
11:54:05	21	36	776.26

EK – 2 (Devam)

Saat	Panel Sıcaklığı (°C)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Işınım (W / m ²)
11:54:15	21	36	766.53
11:54:24	21	36	766.53
11:54:34	21	36	793.30
11:54:44	21	36	781.13
11:54:54	21	36	781.13
11:55:03	21	36	788.43
11:55:13	21	36	793.30
11:55:23	22	36	730.03
11:55:33	22	36	749.49
11:55:42	22	36	771.40
11:55:52	22	36	786.00
11:56:02	23	36	781.13
11:56:12	23	36	754.36
11:56:22	23	36	778.70
11:56:31	23	36	778.63
11:56:41	23	36	771.40
11:56:51	24	36	820.06
11:56:01	24	36	773.83
11:57:10	24	36	805.46
11:57:20	24	36	800.60
11:57:30	24	36	793.30
11:57:40	24	36	827.36
11:57:50	24	36	734.89
11:57:59	24	36	844.40
11:58:09	24	36	851.70
11:58:19	24	36	849.27
11:58:29	25	36	851.70
11:58:38	25	36	851.70
11:58:48	25	36	854.13
11:58:58	25	36	854.13
11:59:08	25	36	849.27
11:59:17	25	36	849.27
11:59:27	25	37	854.13



Şekil EK 2.3. 15.10.2011 tarihli ışınım değerleri

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZARSLAN YATAK, Meral
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 25.01.1979 Mecitözü
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 202 85 87
 Faks : 0 (312) 212 00 59
 e-mail : ozarlanm@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniv /Elektronik ve Bilgisayar Eğt Böl.	2005
Lisans	Gazi Üniv /Elektronik ve Bilgisayar Eğt Böl.	2002
Lise	İzmir Çınarlı Anadolu Teknik Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2002	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- 1.Özarlan, M., Bay, Ö. F., “GUNT RT 512 Sıvı Seviye Denetim Cihazının Bulanık Mantık Denetleyicisi İle Denetimi”, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı Tok06* TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Ankara, 56 – 61 (2006).
2. Özarlan, M., Kubat, B., Bay, Ö. F., “İnformatik Dersinin İnternete Dayalı Öğretimi İçin Web Tabanlı İçeriğinin Geliştirilmesi ve Üretilmesi”, *6th International Educational Technology Conference IETC06*, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti GaziMagusa, (2006).
- 3.Özarlan, M., Kubat, B., Bay, Ö. F., “Uzaktan Eğitim İçin Entegre Ofis Dersi"nin Web Tabanlı İçeriğinin Geliştirilmesi ve Üretilmesi”, *Akademik Bilişim 2007* Dumlupınar Üniversitesi Kütahya 159 – 166 (2007).

- 4.Özarıslan Yatak, M., Bay, Ö. F., “Şebeke Etkileşimli Üç Fazlı İki Kademeli Fotovoltaik Sistem Modeli ve Simülasyonu “,*Nükleer ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Konferansı NUYEK2009*,Ankara, (2009)
- 5.Bay, Ö. F., Özarıslan, M., “Modeling and Simulation of Grid Connected three Phase two Stage Photovoltaic System”, *International Journal of Electrical Energy Systems*, 1(2), pp. 55-63, (2009).
6. Özarıslan Yatak, M., Bay, Ö. F., “Fuzzy Control of a Grid Connected Three Phase Two Stage Photovoltaic System”, *III International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (IEEE POWERENG 2011)*, Malaga, İspanya, (2011).

Projeler

1. GUNT RT 512 Sıvı Seviye Kontrol Cihazının Geliştirilmesi , Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu, No: 07/2004-05, Araştırmacı, 2004 (**Tamamlandı**).
2. Yazılım Geliştirmede Endüstriyel Uygulamalar, Leonardo Da Vinci, No: TR/04/A/F/EX1-022, Yararlanıcı, 2005 (**Tamamlandı**).
3. Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemler İçin Adaptif Bir İnvörtör Tasarımı ve Uygulaması, Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu (Kapsamlı BAP), No:07/2007-32, Araştırmacı,2011(**Tamamlandı**).
4. Fotovoltaik Sistemlerin Verimliliğinin Arttırılması için Bir Düzenek Oluşturulması, Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu, No: 07/2011 – 15, Araştırmacı, (Devam Ediyor)

Hobiler

Yemek yapma, sinema, müzik