

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞEBEKE BAĞLANTISIZ FV-YP BİRLEŞİK SİSTEMLERİ İÇİN ANAHTARLAMALI
BİR GÜÇ VE GERİLİM DÜZENLEYİCİ

Göksu GÖREL

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK LİSANS (ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ)"
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30.04.2013
Tezin Savunma Tarihi : 27.05.2013

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail H. ALTAŞ

Trabzon 2013

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Göksu Görel tarafından Hazırlanan

ŞEBEKE BAĞLANTISIZ FV-YP BİRLEŞİK SİSTEMLERİ İÇİN ANAHTARLAMALI
BİR GÜÇ VE GERİLİM DÜZENLEYİCİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü yönetim kurulunun 27/ 05 / 2013 gün ve 1489 sayılı kararıyla
oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri üyeleri

Başkan : Prof. Dr. İsmail H. ALTAŞ

Üye : Doç. Dr. Mustafa ULUTAŞ

Üye : Doç. Dr. Halil İ. OKUMUŞ

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans programı çerçevesinde gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada, güneş pili ve yakıt pili kullanarak değişik yüklere aktarılan gücün kalitesini arttırmak için bir Anahtarlama Güç Filtresi önerilmiş ve klasik uygulamalar ile karşılaştırmaları yapılmıştır. İki kısımdan oluşan üç çevrimli hata toplayıcısına bağlı denetleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Denetleme için klasik PI ve Bulanık Mantık Denetleyici kullanılmıştır.

Bu çalışmanın sonuca ulaşması süresinde yol gösteren, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ'a vermiş olduğu destekten dolayı çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın amacına ulaşması için değerli fikirlerini paylaştığınız Sayın Prof. Dr. Adel M. SHARAF'a da (New Brunswick Üniversitesi, Kanada, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü emekli öğretim üyelerinden) teşekkürlerimi iletmek isterim.

Son olarak beni bugüne kadar yalnız bırakmayan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, sevgili babam Mustafa GÖREL'e, sevgili annem Nesrin GÖREL'e, sevgili teyzem Elife AYDIN'a ve sevgili kardeşim Göksel GÖREL'e sevgi ve saygılarımı sunarım.

Göksu GÖREL
Trabzon 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Şebeke Bağlantısız FV-YP Birleşik Sistemleri İçin Anahtarlama Bir Güç ve Gerilim Düzenleyici” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof Dr. İsmail H. ALTAŞ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 27/05/2013

Göksu Görel

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Güneş Pilleri.....	3
1.2.1. Giriş.....	3
1.2.2. Elektrik Akımının Oluşması.....	4
1.2.3. Fotovoltaik Güneş Pili Karakteristikleri.....	5
1.2.4. Güneş Pilinin Eşdeğer Devre Modeli.....	7
1.2.5. I-V Karakteristiğinin Değişen Çalışma Sıcaklığı ve Gün Işığı Seviyeleri İçin Yeniden Belirlenmesi.....	8
1.3. Yakıt Pilleri.....	10
1.3.1. Çalışma Sistemi.....	11
1.3.2. Yakıt Pili Avantaj ve Dezavantajları.....	12
1.3.3. Polimer Elektrolit Membranlı Yakıt Pilinin Elektriksel Olarak Modeli	13
1.4. Fotovoltaik Güneş Pili – Yakıt Pili Birleşik Sistemler.....	14
1.4.1. Şebeke Bağlantılı FV-YP sistemleri.....	15
1.4.2. Şebeke Bağlantısız FV-YP sistemleri.....	16
1.5. Statik Kompanzator.....	17
1.5.1. Eviriciler (Inverter).....	17
1.5.1.1. Yarım Köprü Evirici	17
1.5.1.2. Tam Köprü Evirici	18
1.5.2. Doğrultucular.....	19

1.5.2.1.	Yarım Dalga Denetimli Doğrultucu	19
1.5.2.2.	Tam Dalga Denetimli Doğrultucu (Köprü Tipi)	21
1.5.3.	Kıyıcılar.....	22
1.5.3.1.	Alternatif Akım Kıyıcılar.....	22
1.5.3.2.	Doğru Akım Kıyıcılar.....	23
1.5.3.2.1.	Giriş.....	23
1.5.3.2.2.	DA-DA Çevirici Kontrolü.....	24
1.5.3.2.3.	Çevirici Topolojileri.....	26
1.5.3.2.3.1.	Alçaltıcı Çeviriciler.....	26
1.5.3.2.3.2.	Yükseltici Çeviriciler.....	28
1.5.3.2.3.3.	Alçaltıcı-Yükseltici Çeviriciler.....	29
1.5.3.2.3.3.1.	Tek Anahtarlama Alçaltıcı-Yükseltici Çeviriciler.....	29
1.5.3.2.3.3.2.	Çift Anahtarlama Alçaltıcı-Yükseltici Çeviriciler.....	30
1.5.4.	Filtreleme Üniteleri.....	31
1.5.4.1.	Pasif Filtreleme Üniteleri.....	32
1.5.4.2.	Aktif Filtreleme Üniteleri.....	33
1.5.4.2.1.	Seri Aktif Filtre.....	33
1.5.4.2.2.	Paralel Aktif Filtre.....	33
1.5.4.3.	Toplam Harmonik Bozulma.....	33
1.5.5.	Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri.....	34
1.5.5.1.	Statik Kompanzatör.....	35
1.5.5.2.	Tristör Kontrollü Seri Kapasite.....	36
1.5.5.3.	Statik Senkron Seri Kompanzatör.....	37
1.5.4.3.	Birleştirilmiş Güç Akış Denetleyici.....	38
1.6.	Kontrol Mekanizmaları.....	38
1.6.1.	Açık Çevrimli Kontrol Sistemi.....	39
1.6.2.	Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemi.....	39
1.6.3.	PID Denetleyiciler.....	40
1.6.4.	Bulanık Denetleyiciler.....	40
1.6.4.1.	Üyelik Fonksiyonları.....	41
1.6.4.2.	Bulanık Mantık Denetleyici(BMD).....	42

1.6.4.2.1.	Giriş.....	42
1.6.4.2.2.	Bulanık Önermeler.....	42
1.6.4.2.3.	Bulanık İşlemcinin Kısımları.....	43
1.6.4.2.3.1.	Bulanıklaştırma Bloğu.....	43
1.6.4.2.3.2.	Bulanık Kural Tabanı.....	44
1.6.4.2.3.3.	Bulanık Sonuçlandırma.....	44
1.6.4.2.3.4.	Durulaştırma Bloğu.....	44
1.6.4.3.	Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM).....	45
1.6.4.3.1.	Gerilim Kontrollü Darbe Gerilim Modülasyonu.....	47
1.6.4.3.2.	Akım Kontrollü Darbe Gerilim Modülasyonu.....	47
1.7.	Gerilim Regülasyonu ve Güç Sürekliliği.....	48
1.8.	Yükler.....	49
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	50
2.1.	Giriş.....	50
2.2.	Güneş Pilinin Modellenmesi.....	51
2.3.	Yakıt Pilinin Modellenmesi.....	53
2.4.	Anahtarlama Güç Filtresi.....	53
2.4.1.	AGF'nin Çalışma Durumları.....	55
2.4.2.	AGF'nin Denetimi.....	57
2.5.	Hibrid Üç Çevrimli Hata Toplayıcısı.....	58
2.6.	STATCOM'un Modellenmesi.....	62
2.7.	TCSC'nin Modellenmesi.....	63
2.8.	PI Denetleyici Modellenmesi.....	65
2.9.	Bulanık Mantık Denetleyici Modellenmesi.....	65
2.10.	Sistemde Kullanılan Yüklerin Modellenmesi.....	68
3.	BULGULAR.....	69
4.	İRDELEME.....	77
5.	SONUÇLAR.....	78
6.	ÖNERİLER.....	79
7.	KAYNAKLAR.....	80

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ŞEBEKE BAĞLANTISIZ FV-YP BİRLEŞİK SİSTEMLERİ İÇİN ANAHTARLAMALI
BİR GÜÇ VE GERİLİM DÜZENLEYİCİ

Göksu GÖREL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof Dr. İsmail H. Altaş
2013, 83 Sayfa

Son yıllarda teknoloji ve buna bağlı elektrikli cihazların artması, enerji ihtiyacındaki artış ve sınırlı miktarlarda konvansiyonel enerji kaynaklarının tükeneceği endişesi insanoğlunu farklı ve yeni kaynakları bulmaya doğru itmiştir. Mevcut kaynakların doğa ve insanlara verdiği zararların azaltılmasına yönelik çalışmalar, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin daha da fazla artmasına yol açmıştır. Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından önemli ikisi olan Güneş ve Hidrojen enerjisi ele alınmıştır.

Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri ve Güneş Pilleri günümüzdeki enerji ihtiyacını önemli ölçüde azaltmaya aday bir yenilenebilir enerji sistemidir. Yakıt Pilleri ise mevcut çevre sorunlarını çözerek enerji ihtiyacına çözüm oluşturacağı düşünülmektedir. Yakıt pilleri sessiz ve daha verimli çalışmakta olup doğa ve insanlar için zararlı atık üretmezler. Bu sistemler yakıt olarak yeryüzünde birçok bileşiğin yapısında var olan hidrojen maddesini kullanmaktadır.

Bu tezde birleşik yenilenebilir güç üretim sistemleri araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar kapsamında gerilim dalgalanmalarına bağlı olarak ortaya çıkan güç iletimi ve gerilim kararlılığı problemlerini gidermek için bir Anahtarlama Güç Filtresi (AGF) önerilmiştir. Oluşturulan AGF'nin yanında, filtreleme kontrol işleminde kullanılan yeni hibrid dinamik üç çevrimli hata toplamına bağlı bir denetleyici yapısı meydana getirilmiştir. Dinamik hata sinyali, Bulanık Mantık (BM) Denetleyici kullanılarak en aza indirilmiştir ve PI denetleyici ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca önerilen AGF, klasik Esnek Alternatif Akım İletim sistemleri (FACTS) olan Statik Kompanzator (STATCOM) ve Tristör Kontrollü Seri Kondansatör (TCSC) ile karşılaştırılmıştır. Oluşturulan AGF, STATCOM, TCSC sistemleri ile PI ve BM denetleyicileri MATLAB/SİMULİNK Simpower ortamında modellenerek benzetimler yapılmış ve performansları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Güneş Pilleri, Yakıt Pilleri, Gerilim Kararlılığı, Anahtarlama Güç Filtresi, STATCOM, TCSC, FACTS, BMD, Üç Çevrimli Hata Toplayıcı

Master Thesis

SUMMARY

A POWER AND VOLTAGE COMPENSATOR FOR UTILITY INDEPENDENT PV-FC
HYBRID SYSTEMS

Göksu GÖREL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Program

Supervisor: Prof. İsmail H. ALTAŞ

2013, 83 Pages

Due to technological developments the use of electrical devices has been increased last decades resulting in a high power demand in power industry. Besides the environmental facts and the concerns on the limited amount of the conventional energy sources have pushed the researchers to study and work on alternative energy sources such as renewable sources.

Solar energy and photovoltaic (PV) solar cells are one of the candidates to be used as a renewable alternative energy source. Hydrogen Fuel Cells (HFC) are considered as another alternative energy source lately. Although it is not as popular as PV solar or wind energy it is assumed to be one of the promising energy sources in future. Therefore both PV solar and hydrogen fuel cells are studied in this thesis as the renewable green energy sources.

A hybrid green power generated systems consisting of both PV and HFC is designed and used to supply power to various type loads. In order to stabilize voltage magnitude and keep the power quality in standardized limits, a switched power filter (SPF) is proposed and controlled using a modified fuzzy logic controller (FLC). A three-loop dynamic error summer is also modified for the control algorithm here and used to include the effects of the changes in sunlight, temperature and also loads.

The results obtained from the proposed SPF and modified FLC are compared for those of obtained from conventional compensator such as Static Compensator (STATCOM) and Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC). All SPF, STATCOM and TCSC are controlled with FLC and classic PI controllers and simulation studies are carried out in Matlab/Simulink/Simpower environment for model and system validation.

Key Words: Fotovoltaic Solar Cells, Fuel Cells, Voltage Stability of Power Quality, Power Transmission, Switching Power Filter, STATCOM, TCSC, FACTS, Fuzzy Logic Controller, Three-Loop Error Collector

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Fotonların silikondaki elektron hareketi oluşturması..... 4
Şekil 1.2.	FV pil panelinin doğrudan doğruya ayarlanabilen bir yüke bağlanması.. 5
Şekil 1.3.	FV pillerin seri-paralel bağlanması ile oluşturulan panel..... 6
Şekil 1.4.	Güneş pilinin Akım-Gerilim (I-V) karakteristiği..... 7
Şekil 1.5.	Güneş pilinin en basite indirgenmiş eşdeğer devresi..... 7
Şekil 1.6.	Yakıt pilinin yapısı..... 11
Şekil 1.7.	PEM yakıt pili eşdeğer devre modeli..... 14
Şekil 1.8.	Şebeke bağlantılı bir sistem modeli 15
Şekil 1.9.	Şebeke bağlantılı bir sistemin durumları..... 16
Şekil 1.10.	Şebeke bağlantısız sistem modeli..... 16
Şekil 1.11.	Basit bir yarım köprü evirici modeli..... 18
Şekil 1.12.	Basit bir tam dalga evirici modeli..... 18
Şekil 1.13.	Basit bir tam dalga evirici çalışma durumları..... 19
Şekil 1.14.	Basit bir yarım dalga denetimli doğrultucu devre modeli..... 20
Şekil 1.15.	Basit bir yarım dalga doğrultucu çalışma durumları..... 20
Şekil 1.16.	Basit bir tam dalga denetimli doğrultucu devre modeli..... 21
Şekil 1.17.	Basit bir tam dalga doğrultucu çalışma durumları..... 22
Şekil 1.18.	Basit bir AA kıyıcı devre modeli..... 22
Şekil 1.19.	Basit bir AA kıyıcı dalga şekli..... 23
Şekil 1.20.	DA-DA çeviricili sistem..... 24
Şekil 1.21.	Basit bir anahtarlama DA-DA çeviricisi devresi..... 24
Şekil 1.22.	Basit bir anahtarlama DA-DA çeviricisi iletim ve kesim süreleri..... 25
Şekil 1.23.	Darbe Genişlik Modülasyonu karşılaştırma işaretleri..... 26
Şekil 1.24.	Alçaltıcı çevirici devresi..... 27
Şekil 1.25.	Alçaltıcı çeviricide akım-gerilim değişimi..... 27
Şekil 1.26.	Yükseltici çevirici devresi..... 28
Şekil 1.27.	Alçaltıcı-Yükseltici çevirici devresi..... 30
Şekil 1.28.	Alçaltıcı-Yükseltici çeviricide akım-gerilim değişimi..... 30

Şekil 1.29.	Çift anahtarlama Alçaltıcı-Yükseltici çevirici devre modeli.....	31
Şekil 1.30.	Basit bir pasif filtre örneği.....	32
Şekil 1.31.	STATCOM'un genel yapısı.....	35
Şekil 1.32.	Tristör Kontrollü Seri Kapasite genel Yapısı.....	37
Şekil 1.33.	Statik Senkron Seri Kompanzatör genel yapısı.....	37
Şekil 1.34.	Birleştirilmiş Güç Akış Denetleyicisi.....	38
Şekil 1.35.	Açık çevrimli kontrol sistemlerinin öğeleri.....	39
Şekil 1.36.	Kapalı çevrimli kontrol sistemi.....	39
Şekil 1.37.	PID denetimli kontrol sistemi.....	40
Şekil 1.38.	Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı.....	43
Şekil 1.39.	DGM'de t_{on} ve t_{off} sürelerinin gösterimi.....	45
Şekil 1.40.	Gerilim kontrollü DGM blok seması.....	47
Şekil 1.41.	Basit güç iletim şeması.....	48
Şekil 1.42.	Motor yükü, doğrusal yük ve doğrusal olmayan yüklerin tek hat şeması	49
Şekil 2.1.	Kurulan sistemin tek hat şeması.....	50
Şekil 2.2.	Kurulan sistemin Simulink modeli.....	51
Şekil 2.3.	DA-DA çevirici kullanılarak değişken sıcaklık ve radyasyon değerli Güneş Pili Matlab/Simulink Modeli	52
Şekil 2.4.	Güneş pili sıcaklık seviyesi(T_X) ve radyasyon seviyesi(S_X) ile bunlara bağlı panel gerilim(V_{FV}) değeri değişimi.....	52
Şekil 2.5.	PEM tipi yakıt pilinin Simulink DA-DA çevirici kullanılarak Ortamında modellenmesi.....	53
Şekil 2.6.	Anahtarlama güç filtresi tek hat şeması.....	54
Şekil 2.7.	Anahtarlama güç filtresi Simulink modeli.....	54
Şekil 2.8.	AGF'nin $S_B = S_C = 1$ ve $S_A = 0$ anındaki durumu.....	56
Şekil 2.9.	AGF'nin $S_B = S_C = 0$ ve $S_A = 1$ anındaki durumu.....	56
Şekil 2.10.	AGF için Anahtarlama sinyallerinin üretildiği alt kısım.....	57
Şekil 2.11.	PWM tarafından üretilen S_A , S_B ve S_C anahtarlama sinyalleri.....	58
Şekil 2.12.	Üç çevrimli e_{tA} hata toplayıcısı.....	59
Şekil 2.13.	Üç çevrimli e_{tB} hata toplayıcısı.....	61
Şekil 2.14.	STATCOM için Anahtarlama sinyallerinin üretildiği alt kısım.....	62
Şekil 2.15.	STATCOM'un Simulink	62

Şekil 2.16.	PWM tarafından üretilen S_A , S_B , S_C ve S_D anahtarlama sinyalleri.....	63
Şekil 2.17.	TCSC'nin Simulink modeli.....	64
Şekil 2.18.	PWM tarafından üretilen S_A ve S_B anahtarlama sinyalleri.....	64
Şekil 2.19.	TCSC için anahtarlama sinyallerinin üretildiği alt kısım.....	64
Şekil 2.20.	BMD üçgen üyelik Fonksiyonları.....	66
Şekil 2.21.	BMD üçgen üyelik Fonksiyonları simulink modeli.....	66
Şekil 2.22.	BMD'nin giriş ve çıkış blokları.....	67
Şekil 2.23.	Bulanıklaştırma ve Durulaştırma işlemi simulink modeli.....	67
Şekil 2.24.	Sistemde kullanılan yüklerin Simulink modeli.....	68
Şekil 3.1.	BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TSCS'nin A barasındaki Gerilim dalgalanmalarına etkisi.....	69
Şekil 3.2.	BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TSCS'nin 0.88-9 saniyeleri arasındaki A barasındaki gerilim dalgalanmalarına etkisi.....	70
Şekil 3.3.	BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TSCS'nin 0-0.3 saniyeleri arasındaki Y barasındaki gerilim dalgalanmalarına etkisi.....	70
Şekil 3.4.	BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TSCS'nin Y barasındaki Aktif Güç değişimlerine etkisi.....	71
Şekil 3.5.	BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TSCS'nin Y barasındaki Gerilimin başlangıç(0-0.3sn) değişimlerine etkisi.....	72
Şekil 3.6.	BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TSCS'nin Y barasındaki Gerilim dalgalanmalarına etkisi.....	73
Şekil 3.7.	BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TSCS'nin A barasındaki Gerilimin başlangıç değişimlerine etkisi.....	73
Şekil 3.8.	BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TSCS'nin Y barasındaki Akımın 0.6-1 saniyeleri arasındaki değişimlerine etkisi.....	74
Şekil 3.9.	BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TSCS'nin Y barasındaki Akımın 0-0.5 saniyeleri arasındaki değişimlerine etkisi.....	75
Şekil 3.10.	PI denetleyici ile DVR, STATCOM ve TSCS'nin Y barasındaki gerilimin 0.6-1 saniyeler arasındaki değişimlerine etkisi.....	75
Şekil 3.11.	PI denetleyici ile DVR, STATCOM ve TSCS'nin Y barasındaki gerilimin 0-0.5 saniyeleri arasındaki değişimlerine etkisi.....	76
Şekil 3.12.	BMD ve PI ile denetlenmiş DVR'nin Y barası geriliminin üzerindeki etkisi.....	76

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. AGF modellenirken kullanılan büyüklükler.....	58
Tablo 2.2. STATCOM modellenirken kullanılan büyüklükler.....	63
Tablo 2.3. TCSC’de kullanılan Büyüklükler.....	65
Tablo 2.4. PI denetleyici parametreleri.....	65
Tablo 2.5. BMD Kural Tablosu.....	65

SEMBOLLER DİZİNİ

N_s	Seri bağı güneş pili sayısı
N_p	Paralel bağı güneş pili kol sayısı
I_{panel}	Güneş pili panel akımı
V_{panel}	Güneş pili panel gerilimi
P_{panel}	Güneş pili panel gücü
I_{kd}	Kısa devre akımı
V_{ad}	Açık devre gerilimi
I_m	Maksimum panel akımı
V_m	Maksimum panel gerilimi
P_m	Maksimum panel gücü
k	Boltzman sabiti
T_{pil}	Referans çalışma sıcaklığı
I_{pil}	Güneş pili panel çıkış akımı
e	Hata
de	Hatadaki Değişim
T	Periyot süresi
D	Duty oranı
R	Aktif Güç
Q	Reaktif güç
x	Bağlantı transformatörünün kaçak reaktansı
B_{AA}, B_A	Alternatif akım barası
B_{DA}, B_D	Doğru akım barası
B_{Hat}	Hat barası
$B_{Yük}, B_Y$	Yük barası
V_{pil}	Güneş pili panel çıkış gerilimi
P_{pil}	Güneş pili panel çıkış gücü
I_{FV}	Foto akım
I_0	Diyot ters doyma akımı

e	Elektron yükü
R_s	Eşdeğer devrenin seri direnci
R_{SH}	Eşdeğer devrenin paralel direnci
I_{ph}	Foto akım
I_D	Diyot akımı
A	Eğri uydurma faktörü
f	Fonksiyon
T_x	Değişken ortam sıcaklığı
T_a	Referans ortam sıcaklığı
C_{TV}	Sıcaklık akım katsayısı
C_{TI}	Sıcaklık gerilim katsayısı
β_T	Sıcaklık nedeniyle pil geriliminde meydana gelen değişimlerin eğimlerini
γ_T	Sıcaklık nedeniyle pil akımında meydana gelen değişimlerin eğimlerini
C_{SV}	Güneş ışığındaki değişimin gerilime etkisi
C_{SI}	Güneş ışığındaki değişimin akıma etkisi
S_{pil}	Referans güneş radyasyon seviyesi
S_x	Farklı zamanlardaki farklı güneş radyasyon seviyesi
α_s	Güneş radyasyon seviyesindeki değişimin pil çalışma sıcaklığında meydana getireceği değişime ait katsayı
ΔT_{pil}	Pil sıcaklığındaki değişim
V_{Xpil}	Fotovoltaik pilin yeni çıkış gerilimi
I_{XFV}	Fotovoltaik pilin yeni foto akımı
$^{\circ}K$	Kelvin sıcaklık birimi
$^{\circ}C$	Santigrat sıcaklık birimi
η	Verim
η_i	İdeal verim
η_g	Gerçek verim
η_v	Voltaja göre verim
η_{akt}	Aktivasyon kayıpları
η_{ohm}	Direnç kayıpları
η_{kons}	Konsantrasyon kayıpları

η_{conc}	Konsantrasyon kayıpları
R_{pil}	Elektrolit pil direnci
ΔH	Yararlı enerjinin reaksiyon sonucu ortaya çıkan kimyasal enerjiye
V_{cell}	Pem tipi yakıt hücresi gerilimi
V_{out}	Çıkış gerilimi
V_C	Kondansatör gerilimi
$r(t)$	Referans giriş işareti
$u(t)$	Denetleyici çıkışı
$c(t)$	Sistem çıkışı
$e(t)$	Hata işaretidir
$\mu_{A(x)}$	Üyelik fonksiyonu
t_{on}	Anahtarlama açma süresi
t_{off}	Anahtarlama kapama süresi
$V_{kontrol}$	Kontrol Gerilimi
T_s	Toplam iletim-kesim süresi
I_L	Bobin Akımı
I_D	Diyot Akımı
V_x	Diyot uçlarında oluşan gerilim değeri
V_{in}	Giriş gerilim değeri
AA	Alternatif akım
AGF	Anahtarlama Güç Filtresi
BMD	Bulanık Mantık Denetleyici
CO	Karbonmonoksit
C	Kondansatör
D	Diyot
DGM	Darbe Genişlik Modülasyonu
DA	Doğru akım
FACTS	Esnek Alternatif Akım İletim Sistemi
GP	Güneş paneli
I	Akım

V	Gerilim
I-V	Akım-Gerilim
UPFC	Birleştirilmiş Güç Akış Denetleyicisi
PEMYP	Polimer elektrolit membranlı yakıt pilleri
PWM	Pulse Width Modulation
PI	Proportional-Integral
PID	Proportional-Integral-Derivative
SDGM	Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonu
SSSC	Statik Senkron Seri Kompanzatör
SVC	Gerilim Kaynaklı Çevirici
TCSC	Tristör Kontrollü Seri Kompanzatör
YP	Yakıt pili

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Enerjinin kullanılması, eski zamanlardan günümüze kadar, insanlığın temel ihtiyaçlarından biri olarak gelmiş ve sanayi devriminden sonra farklı ve ileri bir boyut kazanarak ülkeler arası siyasi, sosyal ve ekonomik güç dengelerinde belirleyici bir faktör olarak, teknolojinin ve sanayileşmenin bir ölçütü olarak karşımıza çıkmaktadır. Üretimin artması ve buna paralel olarak insan nüfusundaki artma elektrik ve enerjinin daha fazla elde edilmesi için farklı düşüncelere ulaşmayı zorunlu kılmaktadır. Mevcut enerji kaynakları olan petrol, doğalgaz, kömür ve barajlardan üretilen elektrik enerjisi kaynaklarının kısıtlı olduğu ve yakın gelecekte dünya ülkeleri ve sanayileri karşısında yetersiz kalacağı gerçeğinin anlaşılmasından sonra ilk olarak tehlikeli ve birçok zararı olan nükleer enerji için adımlar atılmaya başlandı. Fakat bu enerjinin insanlar için var olan tehlikelerine çözüm bulunamayışı ve kitle imha silahlarını üretmek için elverişli bir imkân oluşturması gelişmiş dünya ülkelerini alternatif enerji kaynaklarını bulmaya itmektedir. Bu alternatif enerji kaynaklarının şu anki ihtiyaca bir çözüm oluşturabilmesinin haricinde gelecekte de oluşabilecek sorunlara karşı çözüm üretebilir esneklikte olması son derece önemlidir. Bu yüzden sürdürülebilir özellikte kaynakların bulunmasına yönelik ar-ge faaliyetleri önem kazandı. Bu alternatif ve sürdürülebilir enerji kaynaklarından olan Dalga, Güneş, Rüzgâr, Hidrojen Yakıtı, Jeotermal Enerjisi gibi göze ilk çarpan kaynaklar bilim adamları tarafından azımsanmayacak derecede ilgi odağı haline dönüşmektedir.

Birden fazla alternatif enerji sistemlerinin yer aldığı hibrid yenilenebilir enerji sistemleri için literatürde pek çok çalışma yer almaktadır. Bunların arasında güneş, rüzgâr ve yakıt pili enerji kaynaklarının yer aldığı sistemler ön sırada bulunmaktadır. Bu sistemler iki farklı şekilde tasarlanmaktadır. Bunlardan birincisi şebekeden bağımsız sistemlerdir. İnsanların, elektrik enerjisinin ulaşamadığı yaşam bölgelerine, tarım arazilerine veya küçük adalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat her iki tasarımda da insanların karşısına bazı sorunlar çıkmaktadır. Bunların başında gerilim süreksizliği sorunu gelmektedir. Bu sorunu alt seviyelere indirmek için değişik filtre ve kontrol algoritmaları oluşturulmuştur. [1] nolu kaynakta güneş ve rüzgâr hibrit sistemlerindeki güç kalitesi sorununa Fuzzy-PID

kontrol yöntemiyle yaklaşmıştır. Bu sayede sistemde yerleşik halde modellenmesi yapılmış batarya gurubunun daha iyi bir etki gösterdiği gözlenmiştir. Şebekeden bağımsız olarak kurulan bu sistemler bahçeler, kaldırım aydınlatması, konut dışı gibi kırsal alanlarda ki aydınlatmalarda kullanılmaktadır. [2] nolu kaynakta bu gibi alanlarda kullanılan güneş rüzgâr güç sistemlerinde oluşan düşük gerilim sorununa yeni bir elektronik balast tasarlanmıştır. Tasarlanan bu modelle sadece güneş ve rüzgâr değil yakıt pili gibi diğer yenilenebilir özellikli kaynaklarla da kullanılabilir. Rüzgâr, Güneş ve Yakıt pili birleşik şebekeden bağımsız olarak kurulan [3] nolu çalışmada elektroliz yoluyla elde edilen hidrojenin uzun süre depolanabilmesi sayesinde daha sağlıklı bir enerji yönetimi sağlanmıştır. Bu çalışma yapılırken farklı rüzgâr seviyeleri ve farklı gün ışığı sıcaklık seviyelerindeki değişimler dikkate alınarak sisteme etkileri gözlenmiştir. [4] nolu çalışmada Rüzgâr türbini ve Yakıt pili karma enerji üretim sisteminden beslenen yüklerin üzerindeki gerilim genliğinin denetimi yapılmıştır. Faz kilitlemeli çevrim tekniği ile frekans 50Hz'de ve PI denetleyiciyle de gerilim tek faz 220V, üç faz için ise 380 V değerinde tutulmaya çalışılmıştır. [5] ve [6] nolu çalışmalarda şebekeden bağımsız sistemlerde yüklerin üzerindeki gerilim kararlılığının ve verimin sağlandığı bir tasarım gerçekleştirilmiştir. [7] nolu çalışmada mikro yenilenebilir rüzgâr güç sistemlerinde gerilim kararlılığı ayarlanırken bulanık sonuçlandırma destekli bir güç filtresi önerilmekte ve yük üzerindeki güç kalitesini arttıran bir kontrol algoritması oluşturulmuştur. [8] nolu çalışmada gerilim kontrolü için klasik Esnek Alternatif Akım İletim Sistemi (FACTS) elemanı olan Statik Kompanzatorün (STATCOM) kullanıldığı rüzgâr enerji sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemde Gerilim Kaynaklı Çevirici (SVC) üzerinden, dağıtım sistemine harmonik ve reaktif güç azaltıcı bir etki uygulanmaktadır. Bu etki farklı rüzgâr hızı oluşturan iklim koşulları ve değişik yükler için de düzenlenmiştir. Kontrollü bir Kompanzatorün yaklaşık %8 kadar bara gerilimlerinde daha az harmonik bozulma elde edilmiştir. [9] nolu çalışmada aktif güç kontrolü ile şebekelerdeki reaktif güç değerini en aza indirmek için PI ve bulanık mantık denetleyiciler ile kontrol edilmiş bir filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Üç fazlı olarak gerçekleştirilen bu filtre sayesinde yükün alternatif akım kaynağından çektiği reaktif gücü ve onun üzerine bindirdiği akım harmonikleri bastırılmıştır. [10] nolu çalışmada ise bir fazlı alternatif akım kaynağı kullanılarak doğrusal olmayan yüklerin beslenmesi esnasında yükte oluşan bozucu harmoniklerin azaltılması için düşük maliyetli anahtarlamalı modüleli bir güç filtresi Sharaf ve Chalet tarafından önerilmiştir. Kontrol stratejisi laboratuvar ortamında test edilmekte ve yük üzerindeki harmonikler oldukça

azaltılmaktadır. DGM anahtarlamalı, modifiyeli güç filtre kompanzatorü kullanılarak gerçekleştirilen hem gerilim genliği hem de reaktif güç kontrolü bir çalışma ise [11] de verilmektedir. PI türü denetleyici kullanılan sistemde ihtiyaç duyulan hata sinyali üç çevrimli dinamik hata toplayıcı tarafından oluşturulmaktadır. Benzetimde reaktif gücün yok edilemediği ve dalgalı bir eğri oluşturduğu görülmektedir. [12] nolu çalışmada şebeke bağlantılı bir sistemden bahsedilmiştir. Bu sistemde rüzgâr ve güneş yenilenebilir kaynaklarından oluşmuş olan hibrit güç sisteminden elde edilen güç ilk önce yük üzerinde harcanmak üzere yüke gönderilmiştir. Eğer yükün ihtiyacının olmadığı bir zaman var ise bu durumda da mevcut sisteme bağlı bulunan batarya guruplarını şarj etmek kullanılmıştır. Bu iki durum da söz konusu olmadığında üretilen elektrik enerjisi ana şebekeye satılmak üzere gönderilen bir model gerçekleştirilmiştir. Sistemde var olan rüzgâr türbünü, güneş paneli, evirici, çevirici ve yük gurupları mikro-kontrolör sayesinde yaparak verimli bir hibrit yenilenebilir güç sistemi tasarlanmıştır.

Bu tez çalışmasında kurulan sistemin, diğer yenilenebilir enerji sistemlerinden farklı olarak güneş pili enerji kaynağı ile yakıt pili enerji kaynağı tek bir ortak Doğru Akım (DA) barada birleştirilip evirici vasıtasıyla Alternatif Akım (AA) doğrusal, doğrusal olmayan ve motor yüklerinden oluşan karma yük grubunun beslemesi yapılmıştır. Tek bir ortak barada kaynakların toplanması gerçekleştirilirken değişken hava koşullarından kaynaklı güneş pili enerji sisteminin gerilim değerindeki değişimleri sabitleyecek bir alçaltıcı yükseltici çevirici kullanılmıştır. AA yüklerin beslemesini gerçekleştirmek için yeni bir hibrit Anahtarlamalı Güç Filtresi (AGF) tasarlanarak gerilim, aktif ve reaktif güç kontrolü yapması amaçlanmıştır. Tasarlanan bu filtrenin denetlenebilmesi için yine hibrit üç çevrimli hata toplayıcısından üretilen hata değeri ile PI ve BMD kontrolörü ile denetlenmiştir. Önerilen AGF'nin klasik FACTS cihazları olan Tristör Kontrollü Seri Kompanzator (TCSC) ve STATCOM ile performansları karşılaştırılmıştır.

1.2. Güneş Pilleri

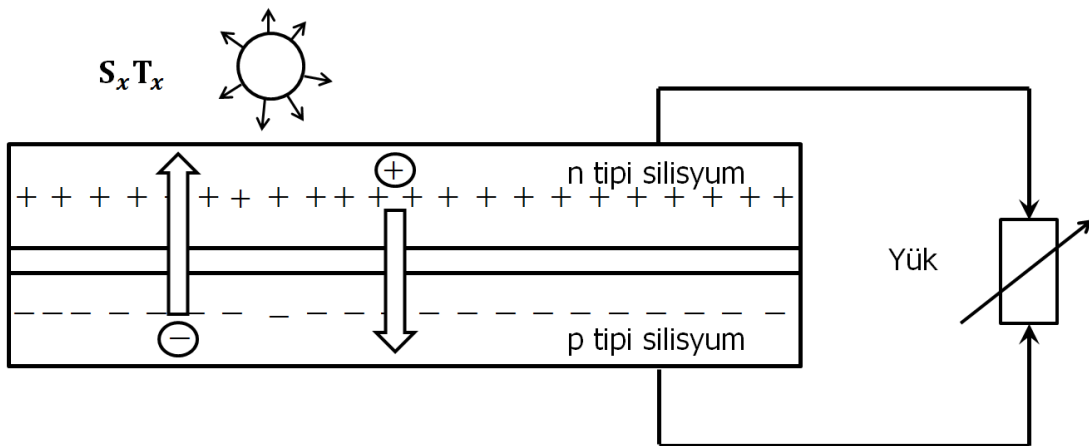
1.2.1. Giriş

Kendini yenileyebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisini direk olarak elektrik enerjisine dönüştürebildikleri için güneş pilleri yeni bir üretim aracı olarak gittikçe önem kazanmaktadır. Sonuçta güneş pilleri ile ilgili araştırmalar zamanla artarak devam ederken her gün yeni projeler uygulanmaktadır. Güç talebine bağlı olarak parçalar

birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan Mega Watt'lara kadar sistem oluşturulur. Fotovoltaik piller, elektrik şebekesinin olmadığı, yerleşim yerlerinden uzak yerlerde ekonomik açıdan uygun olarak kullanılabilir. Bu yüzden ve istenen ölçüde kurulabilmeleri nedeniyle genellikle sinyalizasyon, sulama, kırsal kesimin elektrik ihtiyacının karşılanması vb. uygulamalarda yer almaktadır. Güneş pilleri algıladıkları ışın enerjisinden eşit sayıda pozitif ve negatif yükler oluşturarak güneş enerjisini direkt olarak kullanılabilir faydalı elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Yüzen kısımları kare, dikdörtgen, daire şeklinde şekillendirebilecek farklılıkta olabilir. Oluşturulan pozitif ve negatif yükler fotovoltaik ve fotoakım meydana getirmek üzere ayrıştırılırlar. Negatif (elektronlar) ve pozitif (delikler) yükleri ayrıştırmak için en uygun malzemeler Silikon, Bakır-Kadmium Sülfat ve Galyum-Arsenit gibi yarıiletkenler olup, fotovoltaik güneş pillerinin üretiminde en fazla bunlar kullanılırlar. [13]

1.2.2. Elektrik Akımının Oluşması

Plakalardan oluşan ve kendi halinde doğal olan parçalar birleştirildiğinde, birleşme kesitinde "n" tip katmanının içindeki elektronlar "p" katmanının içindeki pozitif boşlukları dolduracaktır. Elektronlar "n" tip katman, elektronunu "p" tipe gönderdiğinden, birleşme noktasında "+" alan oluşacak, diğer taraftaki "p" tip elektron aldığından "-" alan oluşturacaktır.



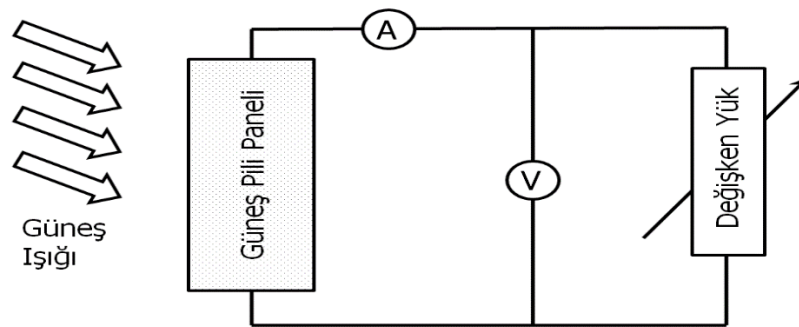
Şekil 1.1. Fotonların katmanlardaki elektron hareketi oluşturması

Güneş ışığının içindeki foton denilen enerji bu birleşmiş malzemeye yansıdığında, elektronları serbest bıraktıracaktır. Serbest kalan elektronların yeri de boş kalacaktır. Ancak bu hareket yapışma alanı yakınında oluyorsa elektronlar “n” tipe, boşluklarda “p” tipe geçecektir. Ama bu iki parça bir iletkenle birbirine bağlanırsa, elektronlar tekrar eski yerine, deliklerde eski yerine döneceklerdir.[14] Potansiyel fark temel prensibinden dolayı bu elektron hareketinden akım, elektrik alanından dolayı da voltaj elde edilir. Bu döngü ışık olduğu sürece devam eder. Şekil 1.1.’de elektronların silikonda yapmış olduğu hareket görülmektedir.

1.2.3. Fotovoltaik Güneş Pili Karakteristikleri

Bir Fotovoltaik güneş pilinin elektriksel özelliklerini belirlemek için bu pilin akım ve geriliminin değişken yükten ne ölçüde etkilendiğini gözlemleyebilmek gerekir. Bu amaçla Şekil 1.2.’de verilen bağlantı kullanılabilir. Bu şekilde, FV pil paneli üzerinden ayarlanabilen bir yüke doğrudan bağlanmıştır. Günün belirli bir saatinde, gün ışığı ve ortam sıcaklığındaki değişmelerin ihmal edilebilecek kadar az olduğu kabul edilir. Yük açık konumdan uçlarının kısa devre olduğu konuma kadar ayarlanırken, ampermetre ve voltmetredeki değerler her yük kademesi için kaydedilip grafik olarak çizilir. Sonuçta Şekil 1.4.’de verilen Akım-Gerilim (I-V) karakteristiği elde edilebilir.

Fotovoltaik panel sistemleştirilirken, gerekli çıkış gerilimini elde etmek için yeterli sayıda “ N_s adet” pil seri bağlanırken, gerekli akımı elde edebilmek için de pillerin seri bağlanmasıyla meydana gelen yeterli sayıda “ N_p adet” kol paralel bağlanır. Bu durum Şekil 1.3.’de daha açık olarak verilmektedir.



Şekil 1.2. FV pil panelinin doğrudan doğruya ayarlanabilen bir yüke bağlanması

Sonuç olarak, Şekil 1.2.' da verilen güneş pili paneli ve elektrik devresi kullanılarak yapılan ölçümler, bu güneş pili panelinin akım ve gerilimini verir. Eğer panelin akımı I_{panel} , gerilimi de V_{panel} ile gösterilirse, paneli oluşturan her bir pilin akım ve gerilimi sırasıyla,

$$I_{pil} = \frac{I_{panel}}{N_p} \quad (1.1)$$

$$V_{pil} = \frac{V_{panel}}{N_s} \quad (1.2)$$

Bağlantıları kullanılarak belirlenir. Panel çıkış gücü;

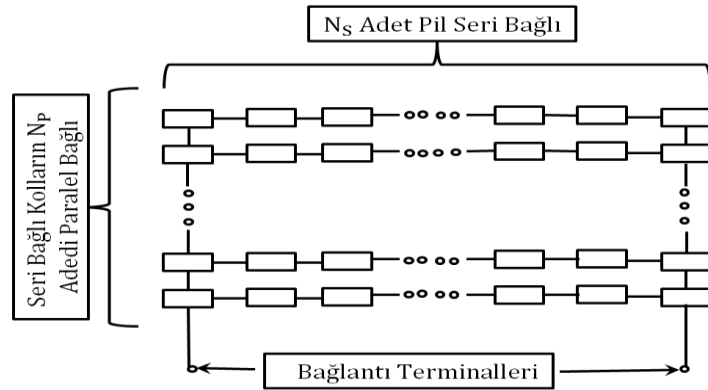
$$P_{panel} = V_{panel} * I_{panel} \quad (1.3)$$

Olarak elde edilirken, bir tek pilin gücünde;

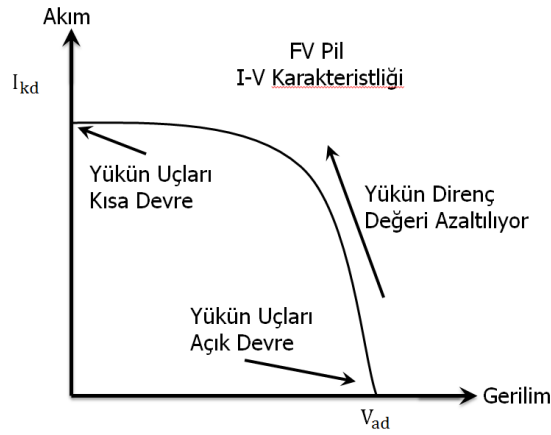
$$P_{pil} = V_{pil} * I_{pil} = \frac{V_{panel}}{N_s} * \frac{I_{panel}}{N_p} = \frac{P_{panel}}{N_p * N_s} \quad (1.4)$$

Bağlantısı kullanılarak belirlenebilir.

Sonuç olarak yukarıda verilen denklemlerden ve Şekil 1.4.'deki elde edilen grafikten de anlaşılacağı gibi, bir güneş pilin ya da panelin akım ve gerilimden herhangi biri ya da her ikisi birden sıfırken, çıkış gücü de sıfırdır.



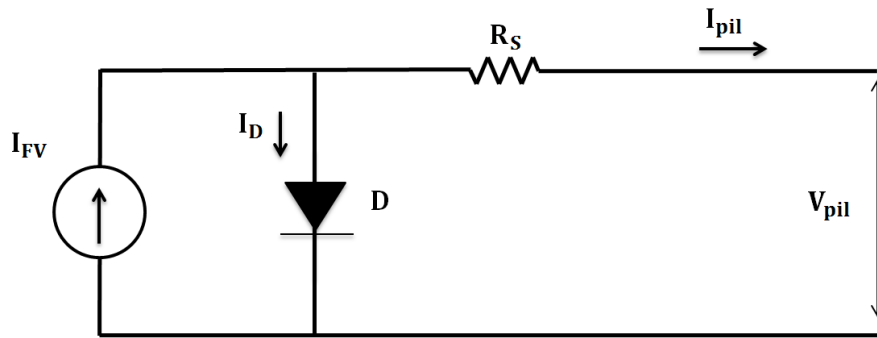
Şekil 1.3. FV pillerin seri-paralel bağlanması ile oluşturulan panel.



Şekil 1.4. Güneş pilinin Akım-Gerilim (I-V) karakteristiği

1.2.4. Güneş Pilinin Eşdeğer Devre Modeli

FV güneş pilinin benzetimini gerçekleştirebilmek için bir devre modeli gerekmektedir. 1960'lı yıllardan günümüze kadar değişik modellemeler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.5. Güneş pilinin en basite indirgenmiş eşdeğer devresi

FV güneş pilinin benzetimini gerçekleştirebilmek için bir devre modeli gerekmektedir. 1960'lı yıllardan günümüze kadar değişik modellemeler gerçekleştirilmiştir. Güneş pilinin genel statik eşdeğer devre modelindeki seri ya da paralel olarak birleştirilen FV hücreleri üzerindeki değişken ışık şiddeti ve sıcaklığa bağlı olması gerçekleştirilecek modelin değişimlere cevap verecek bir dinamiğe sahip olmalıdır. Böyle bir dinamiğe sahip bir model gerçekleştirmek uzun süredir araştırmacılar tarafından

önemini koruyan bir konu olmaktadır. 1960'lı yıllardan günümüze kadar değişik modellemeler gerçekleştirilmiştir. Bir FV güneş pilinin en basite indirgenmiş eşdeğer devresi Şekil 1.5.'de gösterilmektedir. Şekil 1.5.'de FV güneş pili bir akım kaynağı (I_{FV}) ile temsil edilmektedir.[16] Bu akım kaynağı gün ışığı sayesinde gelen fotonların etkisi ile elde edilen elektrik akımını akım kaynağı olarak göstermektedir. I_D , FV güneş pilinde oluşan ters doyma akımını, R_S direnci ise P-N noktasındaki ısı kayıpları temsil etmektedir. Şekil 1.5'deki devreden elde edilecek olan çıkış gerilimi Denklem (1.5)'da gösterilmektedir.

$$V_{pil} = \frac{A \cdot k \cdot T_{pil}}{e} \ln \left(\frac{I_{FV} + I_0 - I_{pil}}{I_0} \right) - R_S \cdot I_{pil} \quad (1.5)$$

Burada;

I_{pil} : FV güneş pilinin çıkış akımı (A)

I_0 : D diyodunun ters doyma akımı (A)

I_{FV} : Fotoakım, Işık seviyesi ve P-N birleşim noktası sıcaklığının fonksiyonu (A)

V_{pil} : FV güneş pilinin çıkış gerilimi (V)

R_S : Eşdeğer seri direnci (Ω)

E : Elektron Yüğü (C)

K : Boltzmann sabiti (J/°K)

T_{pil} : Referans çalışma sıcaklığı (°K)

1.2.5. I-V Karakteristiğinin Değişen Çalışma Sıcaklığı Ve Gün Işığı Seviyeleri İçin Yeniden Belirlenmesi

Güneş panelinin bulunduğu ortamın sıcaklığı ve güneş radyasyonu seviyesi değişince, paneldeki FV pillerin çalışma sıcaklığı T_{pil} de değişerek yeni bir fotoakımı ve yeni bir çıkış gerilimi oluşturur. FV pillerin çalışma sıcaklığı, güneş radyasyonu seviyesi ve ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişir. Değişken ortam sıcaklığı T_x pilin çıkış gerilimi ve fotoakımını etkiler. Bu etkiler pil modelinde sırasıyla sıcaklık gerilim ve akım katsayıları Denklem (1.6) ve (1.7)'de C_{TV} ve C_{TI} ile gösterilmektedir.

$$C_{TV} = 1 + \beta_T \cdot (T_a - T_x) \quad (1.6)$$

$$C_{TI} = 1 + \frac{\gamma_T}{S_{pil}} * (T_x - T_a) \quad (1.7)$$

Burada T_a test sırasında bilinen referans ortam sıcaklığını temsil etmektedir. T_x Farklı zamanlardaki farklı ortam sıcaklıklarını temsil eder. β_T ve γ_T katsayıları ise sırasıyla sıcaklık nedeniyle pil gerilimi ve akımında meydana gelen değişimlerin eğimlerini temsil etmektedirler. Bu β_T ve γ_T katsayıları FV pil tipine bağlı olarak değişir ve deneysel olarak belirlenirler. Normalde β_T 0,004 ile 0,006 arasında, γ_T ise 0,02 ile 0,1 arasında değerler alır. [17] [18]

Gün boyunca ortam sıcaklığı önemli ölçüde değişmese de, güneş radyasyonu seviyesi, günışığı miktarı ve havanın bulutluluk durumuna bağlı olarak etkin biçimde değişerek FV pilin fotoakımını ve çalışma sıcaklığını, dolayısıyla da çıkış gerilimini etkiler. Bu etkiler çıkış gerilimi için C_{SV} fotoakım için ise C_{SI} ile verilmekte ve sırasıyla Denklem (1.8) ve (1.9) ile tanımlanmaktadır.

$$C_{SV} = 1 + \beta_T * \alpha_s (S_x - S_{pil}) \quad (1.8)$$

$$C_{SI} = 1 + \frac{\gamma_T}{S_{pil}} * (S_x - S_{pil}) \quad (1.9)$$

Burada, S_{pil} referans güneş radyasyon seviyesi olarak kullanılan günışığı şiddetidir. S_x ise farklı zamanlardaki farklı güneş radyasyon seviyelerini temsil etmektedir. α_s , güneş radyasyon seviyesindeki değişimin pil çalışma sıcaklığında meydana getireceği değişime ait bir katsayı olup Denklem (1.10) ile tanımlanır.

$$\alpha_s = \frac{\Delta T_{pil}}{S_x - S_{pil}} = \frac{T_{pil} - T_a}{S_x - S_{pil}} \quad (1.10)$$

α_s nin değeri, aynı özelliklere sahip olmayan FV piller için farklıdır ve deneysel olarak belirlenir. Ancak bu değer genellikle 0.3 ile 0.4 °C cm²/mW arasındadır.

Yukarıda verilen düzeltme katsayıları C_{TV} , C_{TI} , C_{SV} ve C_{SI} kullanılarak FV pilin yeni çıkış gerilimi V_{Xpil} ve yeni fotoakımı I_{XFV} , yeni çalışma sıcaklığı T_x ve yeni güneş radyasyonu seviyesi S_x için Denklem (1.11) ve (1.12)'de görüldüğü gibi hesaplanır;

$$V_{Xpil} = C_{TV} * C_{SV} * V_{pil} \quad (1.11)$$

$$I_{XFV} = C_{TI} * C_{SI} * I_{FV} \quad (1.12)$$

Burada, C_{TV} ve C_{TI} Denklem (1.6) ve (1.7) de verildiği gibi ortam sıcaklığındaki değişimi ifade eder. Sırasıyla pil gerilimi ve akımı üzerindeki etkilerini, C_{SV} ve C_{SI} ise Denklem (1.8) ve (1.9) de görüldüğü gibi, güneş radyasyonu seviyesindeki artış veya azalış sırasıyla pil gerilimi ve akımı üzerindeki etkilerini temsil ederler. Bu ifadelerdeki V_{pil} ve I_{FV} ise referans alınan pil çalışma sıcaklığı ve güneş radyasyonu seviyelerindeki pil çıkış gerilimi ve fotoakımının değerleridir. Kısa devre sırasında diyotun I_0 ters doyma akımı, I_{FV} fotoakımına kıyasla çok küçüktür ve göz ardı edilebilir. Dolayısıyla I_{FV} fotoakımı, I_{kd} kısa devre akımına eşit alınabilir. [18] [19]

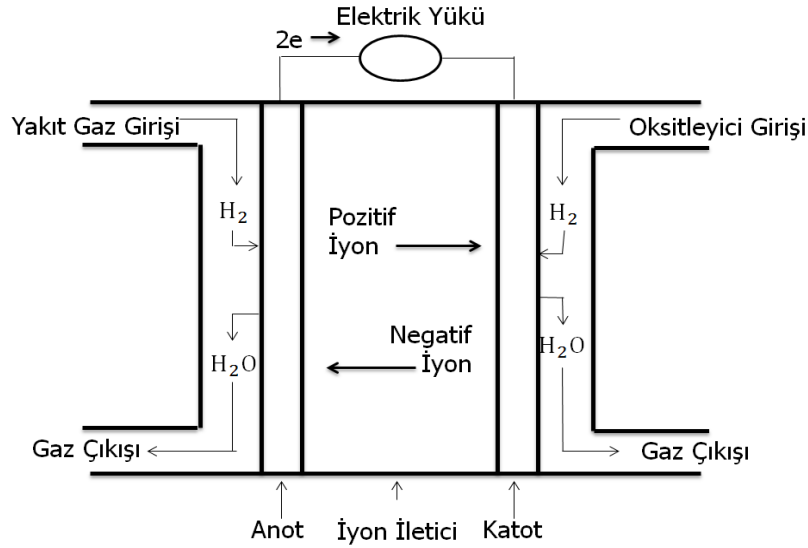
1.3. Yakıt Pilleri

Yakıt pillerinde kimyasal enerji, ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüşümü olmadan, direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürülür ve bu sayede elektrokimyasal enerji dönüştürücüler olarak adlandırılır. Bu nedenle diğer enerji üreticiden farklılık gösterir. Yaşanan kimyasal süreçte içten yanmalı motorlarda olduğu gibi yanma evresi olmadığından temiz enerji kaynağıdır. Çevreye zararı olan atık maddeler oluşturmazlar.[18] Bunun yanında, elektrik enerjisinin yüksek verimlilik ile elde edilmesine olanak sağlarlar. Hidrojeni yakıt olarak kullanması yakıt hücrelerinin veriminin yüksek, çevre dostu ve güvenli olması yakıt hücreleriyle olan çalışmaların artmasını sağlamıştır. Güneş pilleri, gündüz gece zaman dilimine ve mevsimlere göre değişen ışık şiddetine bağlı olarak elektrik üretmesi ve benzer biçimde bir rüzgâr türbininin üreteceği elektrik enerjisi de, rüzgâr hızına dolayısıyla iklim şartlarına bağlı olması yakıt pili sistemlerini farklı kılmaktadır. Yakıt pilleri iklim şartlarından bağımsız olarak, ihtiyacın olduğu yerde kesintisiz biçimde enerji üretimine olanak sağlayabilmektedirler. [21] Dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynakları içinde özel bir yere sahiptir. Bu nedenlerle yakıt hücreleri ile ilgili olarak, hızla artan bir biçimde, araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bağımsız ve dağıtık biçimde enerji üretimine olanak sağlayan yakıt

hücreleri, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de giderek önem kazanacak ve geniş uygulama alanları bulacaktır

1.3.1. Çalışma Sistemi

Çok basit bir temel çalışma prensibine sahip olan yakıt pillerinin ilk gösterimi 1839'da William Grove tarafından yapılmıştır. Yakıt pilleri yakıt ve oksitleyicinin reaksiyonundan meydana gelen kimyasal enerjiyi doğrudan elektrona dönüştüren elektrokimyasal bir cihazdır. Yakıt pilinin yapısı, Şekil 1.6.'da görüldüğü gibi ortada bir elektrolit ve elektrolit ile temas halinde gözenekli anot ve katottan oluşmaktadır. Herhangi bir yakıt pilinde gaz yakıtlar anot kısmından oksitleyici gazlar ise katot kısmından enjekte edilir. Anotta yükseltgenme yani elektron bırakma reaksiyonları katotta ise indirgenme yani elektron alma reaksiyonları gerçekleşir. Sonuç olarak su ve ısı oluşur. Elde edilen suyun kimyasal potansiyeli hidrojen ve oksijenin kimyasal potansiyellerinin toplamından düşüktür.



Şekil 1.6. Yakıt pilinin yapısı

Sonuçta bu olay gerçekleştiğinden dolayı toplam kimyasal potansiyel farkı hidrojen ve oksijende su oluşması yani reaksiyonun gerçekleşmesi yönünde başlamayı zorlayan bir

güç oluşturmaktadır. Elektrokimyasal reaksiyonlar elektrotlarda meydana oluşur ve bir elektrik akımı ortaya çıkar. [25]

1.3.2. Yakıt Piliinin Avantaj ve Dezavantajları

Yakıt Pilleri herhangi bir herhangi bir fiziksel bir yere yerleştirilebilir özelliği olduğu için coğrafi sınır tanımaksızın kullanılabilir. Bu da yakıt pillerini yüksek verimli ve temiz olduğundan doğa ve çevresel problemlerin çözülmesi ve enerji güvenliğinin sağlanmasında bir çözüm sunabilir.

Başlıca avantajları;

- ❖ Sabit bir sıcaklıkta çalışırlar ve yüksek sıcaklıkta çalışanları kojenerasyon uygulamaları için uygundur,
- ❖ Boyuttan bağımsız olduğundan dolayı küçük yakıt pili santralleri büyükleri ile aynı verimlerde çalışırlar,
- ❖ Hareketli parçanın az olması sebebiyle servis süresi azdır sürekli bir gözetleme gerekmez,
- ❖ Sessiz çalışır,
- ❖ Her türlü sıcak ve soğuk ortamda kullanılabilir,
- ❖ Yakıt esnekliğine sahiptir,
- ❖ Diğer sistemlere göre yüksek verime sahiptir,
- ❖ Fosil yakıtlarla kullanıldığında dahi çok düşük emisyon özellikleri verir,
- ❖ Doğrudan enerji dönüşümü sağlar,
- ❖ Kısmi yüklemelerde yüksek verim sağlar,
- ❖ Yerleştirme kolaylığı vardır,
- ❖ Hızlı çalışma avantajına sahiptir.

Başlıca dezavantajları ise;

- ❖ Enerji endüstrisi için tanınmayan bir teknolojidir,
- ❖ Altyapı eksik durumdadır.
- ❖ Yeni bir teknoloji olması sebebiyle maliyetler yüksektir.

1.3.3. Polimer Elektrolit Membranlı Yakıt Pili Elektriksel Olarak Modeli

Polimer Elektrolit Membranlı (PEM) Yakıt Pillerinde elektrolit iyon değişim membranıdır. Bu membran su ile ıslatıldığında çok iyi bir proton iletici haline gelir. Düşük sıcaklıklarda çalışır, yüksek güç yoğunluğuna sahiptir ve otomobiller gibi hızlı ilk çalışma gerektiren yerlerde kullanılabilir. [21] Bir yakıt pili yüksek derecede non-lineer yapıya sahiptir ve akım yoğunluğu, hücre sıcaklığı, membran nemliliği ve reaktant kısmi basıncı gibi değişik faktörlere bağlıdır. Bir yakıt hücresinin gerilimi akım artışıyla azalır. Hücre gerilimi (V_{cell}); herhangi bir durumda Denklem (1.13) ile bulunur. Bir hücre yüke güç verdiği zaman yüksüz gerilimi (E); gerilim düşümü olarak adlandırılan aktivasyon (V_{act}); omik (V_{ohm}) ve konsantrasyon (V_{conc}) aşırı gerilimleri tarafından azaltılır. [22] [23] PEM yakıt pili eşdeğer devre modeli Şekil 1.7’de gösterilmektedir.

$$V_{cell} = E - V_{act} - V_{ohm} - V_{conc} \quad (1.13)$$

$$V_{out} = V_{cell} * N_{cell} = E - V_{act} - V_{ohm} - V_{conc} \quad (1.14)$$

elde edilir. Buradaki aktivasyon gerilim düşümü ve aktivasyon direnci ile omik gerilim düşümü ve omik direnç;

$$V_{act} = \frac{RT}{azF} \ln \left(\frac{I}{I_0} \right) = T * [a + b \ln(I)] \quad (1.15)$$

$$R_{act} = \frac{V_{act}}{I} = \frac{T*b \ln(I)}{I} \quad (1.16)$$

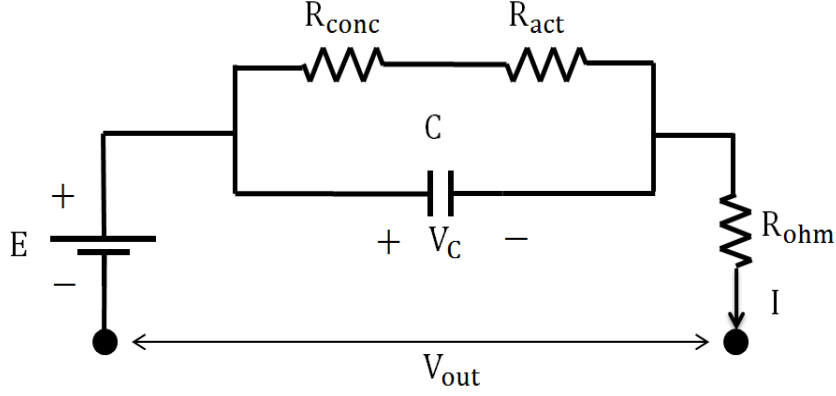
$$V_{ohm} = V_{ohm,a} + V_{ohm,membran} + V_{ohm,c} = I * R_{ohm} \quad (1.17)$$

$$R_{ohm} = R_{ohm0} + k_{RI} * I + k_{RI} * T \quad (1.18)$$

Konsantrasyon gerilim düşümü ve konsantrasyon direnci ise (1.19) ve (1.20) denklemleri ile elde dilmektedir.[24][26]

$$V_{conc} = -\frac{RT}{zF} \ln \left(1 - \frac{I}{I_{limit}} \right) \quad (1.19)$$

$$R_{\text{conc}} = \frac{V_{\text{conc}}}{I} = -\frac{RT}{zFI} \ln \left(1 - \frac{I}{I_{\text{limit}}} \right) \quad (1.20)$$



Şekil 1.7. PEM yakıt pili eşdeğer devre modeli

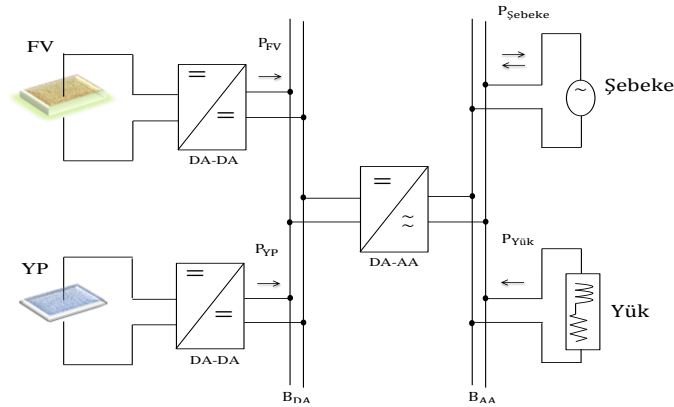
1.4. Fotovoltaik Güneş Pili – Yakıt Pili Birleşik Sistemler

Enerji talebindeki hızlı artış daha fazla elektrik santral ihtiyacını doğurmaktadır. Gelişen ve her geçen gün daha da büyüyen sanayi artan talep ile birlikte ciddi sorunlar ortaya çıkarmıştır. Bu olumsuzlukları azaltmak ve verimli bir enerji üretimi sağlamak için alternatif kaynaklara yönelilmektedir. Bu alternatif kaynakların başında Fotovoltaik güneş pili ve yakıt pili birleşik elektrik üretim santralleri gelmektedir. Fakat FV santrallerin sadece yıl boyunca sıcak ve güneşli zaman dilimlerinde kullanılabilir olması bu sistemlerin en büyük dezavantajlarından birisidir. Büyük güçlü enerji sistemlerinde, küçük güçlü sistemleri gibi enerjinin depolanamaması diğer önemli bir dezavantajdır. Bu dezavantajları ortadan kaldırmak için ikinci bir alternatif kaynağa ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada en etkili çözüm YP enerji sistemleridir. Bu sayede gece vakitlerinde veya gün ışığının ve sıcaklığının yetersiz olduğu zamanlarda elektrik yüklerinin enerjisiz kalmaması sağlanabilmektedir. [27] Enerji ihtiyacına etkili bir alternatif sunan FV-YP birleşik sistemleri şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır.

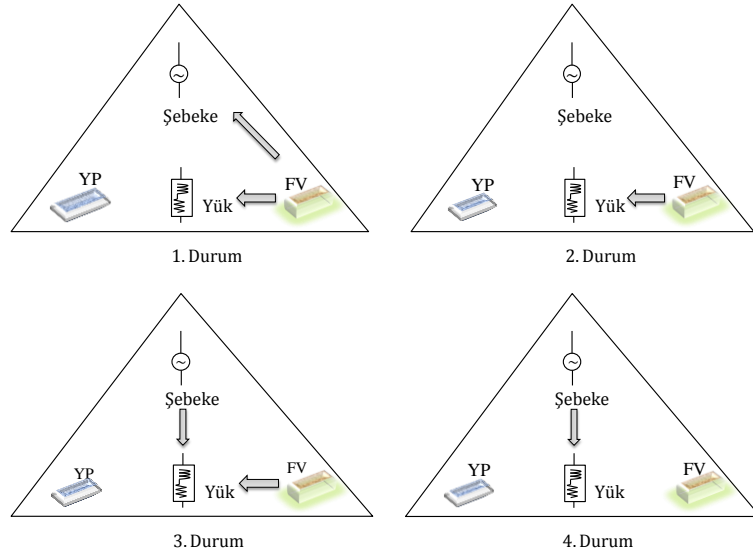
1.4.1. Şebeke Bağlantılı FV-YP sistemleri

Şebeke bağlantılı bir sistemin gösterildiği Şekil 1.8.'de gösterilmektedir. Güç aktarımı oklar ile belirtilen bu sisteme Fotovoltaik güneş pili ve yakıt pili enerji sistemlerinin ortak bir DA bara üzerinden şebeke bağlantıları bulunmaktadır. Şebeke bağlantılı bu sistemde karşılaşılan en büyük sorunlardan birisi güç akış kontrol yönteminin nasıl yapıldığıdır. Bu sorunu 4 farklı durum şeklinde gösterilir.

1. Durum: $P_{FV} > P_{yük}$. Bu durumda FV sistemden elde edilen enerji ile yüklerin beslemesi yapıldıktan sonra fazla enerji şebekeye aktarılır.
2. Durum: $P_{FV} = P_{yük}$. Bu durumda şebeke üzerinde yüklere güç iletimi yapılmaz. FV sistem yüklerin enerji ihtiyacını karşılayabilir seviyededir. Şebeke bağlantısı pasif haldedir.
3. Durum: $P_{FV} < P_{yük}$. FV sistemin yetersiz kaldığı bu durumda, şebeke üzerinden yüklere enerji beslemesi sağlanır.
4. Durum: $P_{FV} = 0$. FV sisteminde herhangi bir arıza meydana geldiğinde, bakım yapılması gerektiğinde yüke güç aktarımı sıfır olacağına yükler için enerji şebeke bağlantısı üzerinden sağlanır.



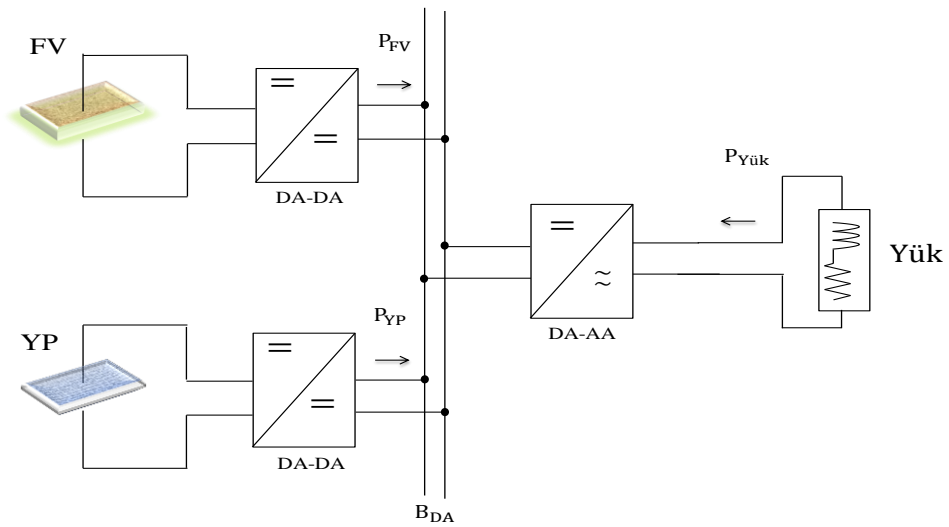
Şekil 1.8. Şebeke bağlantılı bir sistem modeli



Şekil 1.9. Şebeke bağlantılı bir sistemin durumları

1.4.2. Şebeke Bağlantısız FV-YP sistemleri

Şebekeden bağımsız enerji sistemleri birden fazla enerji kaynağı ve en az bir enerji depolayabilme özelliği olan bir kaynaktan oluşur. Şekil 1.10'da FV-YP birleşik enerji sisteminin modeli gösterilmektedir.



Şekil 1.10. Şebeke bağlantısız sistem modeli

Bu sistem modelinde karşılaşılan problemler aşağıda verilmiştir.

- Yükleri üzerindeki enerji kalitesi FV güneş pili ve dönüştürücüler üzerinden elde edilen enerjiye bağlı olduğu için bu sistemlerde karşılaşılan en büyük sorun gerilim düzensizliğidir.
- FV güneş sistemindeki elektrik enerjisinin iklim koşullarına bağlı olması gerilimin düzensiz olma ihtimalinin yüksek tutmaktadır.
- Şebeke bağlantısı olmadığından yükler üzerindeki ani güç değişikliklerine hızlı cevap verebilme kapasite sorunları meydana gelmektedir.
- Şebekeden bağımsız sistemlerde karşılaşılan diğer bir sorun ise, FV ve YP sistemlerindeki gücü ortak bir Doğru Akım (DA) barasına aktarmak için kullanılan DA-DA çeviricilerin ve DA'nin Alternatif Akıma (AA) dönüştürülmesinde kullanılan doğrultucuların oluşturmuş oldukları harmonik ve bozucu etkilerdir.

1.5. Statik Transformatörler

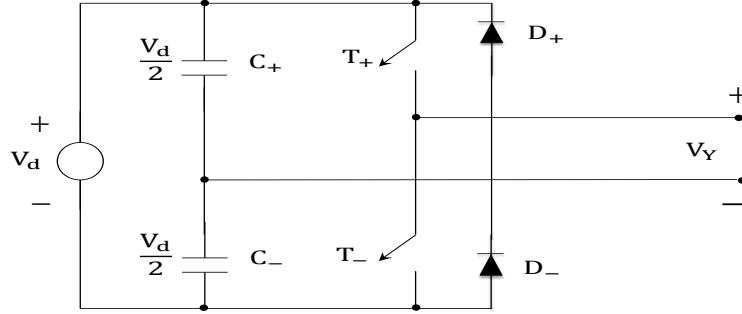
1.5.1. Eviriciler (Inverter)

Evirici, DA-AA dönüştürücü veya doğru akım kaynağından alternatif akım ile beslenen bir yüke güç aktarımı yapan dönüştürücüdür. Bu tip statik güç dönüştürücüleri güç anahtarlama elemanlarından meydana gelir ve Kesintisiz Güç Kaynakları (KKGK), endüksiyonla ısıtma ve alternatif akım motor sürücüleri gibi endüstriyel sistemlerde kullanılır. Girişine DA kaynağının yanı sıra, yakıt pili ve fotovoltaik güneş pili gibi yenilenebilir kaynaklar uygulanabilir. Bir fazlı eviricilerin çalışma prensibi yarım dalga ve tam dalga isimleri altında iki şekilde açıklanır.

1.5.1.1. Yarım Köprü Evirici

Bir fazlı eviricilerin çalışması yarım dalga evirici olarak basit bir şekilde yapılmaktadır. Gerilimin yüke bağlı değişiminin önlenmesi için anahtarların alternatif akımın her bir alternansındaki iletimde kalma süreleri ayarlanabilir. Anahtarlar darbe genişlik modülasyonu (DGM) yöntemi ile denetlenerek çıkış gerilimi daha kolay bir

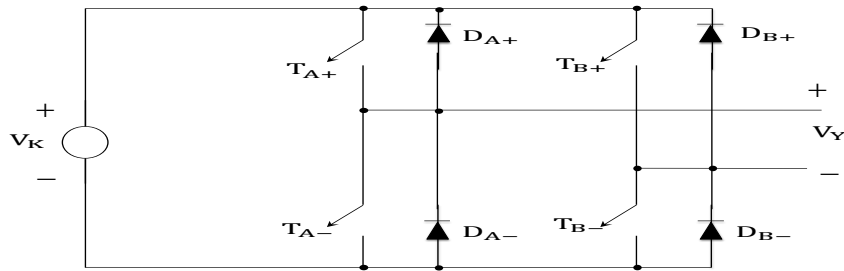
şekilde de oluşturulabilir. Şekil 1.11.'de yarım dalga eviricinin güç anahtarlama elemanlarıyla birlikte gösterilmektedir.



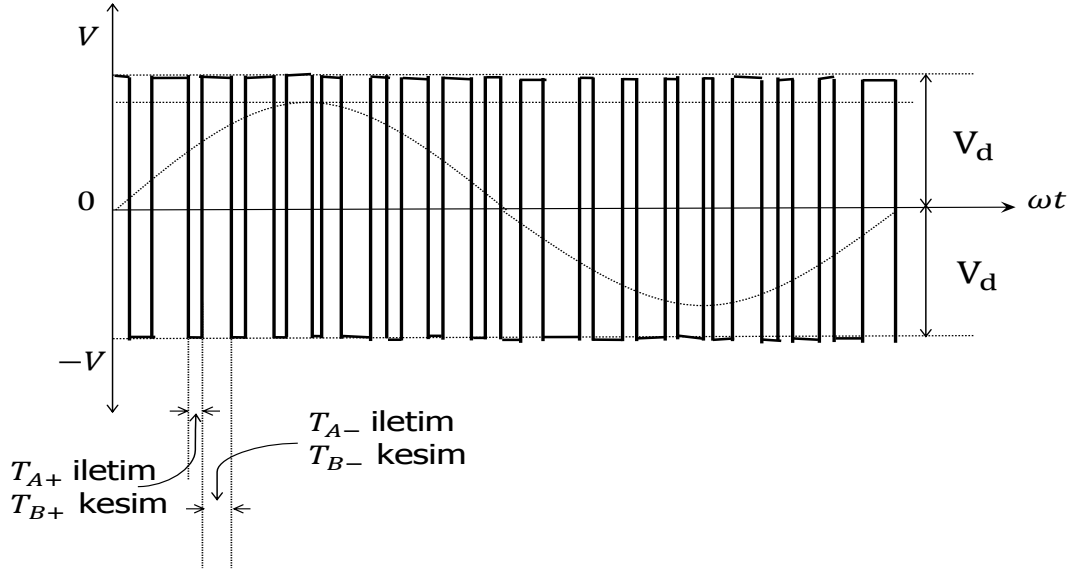
Şekil 1.11. Basit bir yarım köprü evirici modeli

1.5.1.2. Tam Dalga Evirici (Köprü)

Tam dalga eviricide bir adet DA kaynak ve dört adet anahtar elemanı bulunur. Şekil 1.12'de ki çalışma sürecinde T_{A+} ve T_{B-} anahtarları aynı zamanda kapanır. $V_K(V_d)$ kaynak akımı yük üzerine akmaya başlar ve kapanan anahtarlar üzerinden akan akım V_Y 'nin pozitif değerini sağlar. Yarım dalganın sonucunda T_{A+} ve T_{B-} anahtarları açılır ve T_{B+} ve T_{A-} anahtarları kapanır ve kaynak akımı yük üzerinden ilk duruma göre tersi bir yönde akarak kaynağa geri döner. Bu sürecin bir periyotluk zaman dilimi içerisindeki gerçekleşmiş iletim ve kesim durumları Şekil 1.13.'de gösterilmiştir. T_{A+} ve T_{B-} anahtar grubu ile T_{B+} ve T_{A-} anahtar grubu birbirlerinin tersi olacak şekilde anahtarlmalıdır. Bu durum çift yönlü anahtarlmalı DGM olarak adlandırılır.



Şekil 1.12. Basit bir tam dalga evirici modeli



Şekil 1.13. Basit bir tam dalga evirici çalışma durumları

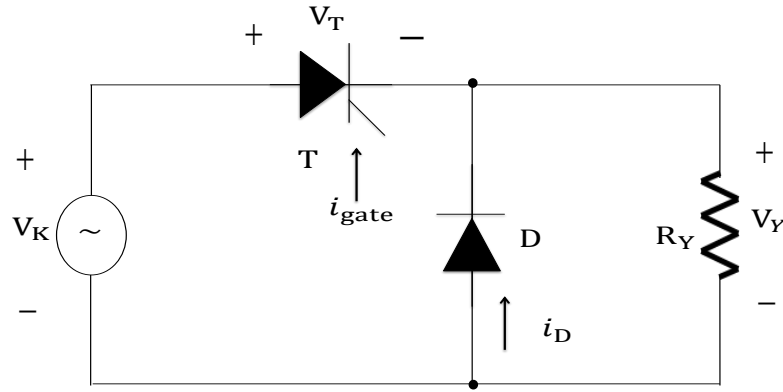
1.5.2. Doğrultucular

AA gerilimi DA gerilime dönüştüren güç elektroniği sistemleridir. Güç elektroniği devreleri olarak doğrultucular denetimli ve denetimsiz olarak ikiye ayrılır. Diyot kullanıldığında denetimsiz, Tristör gibi elemanlar ile anahtarlandığında ise denetimli doğrultucu olarak isimlendirilir. AA giriş geriliminin periyoduna göre tristörlerin periyodik olarak tetiklenmesi (ateşlenmesi) sağlanmalıdır. Akümülatör doldurma devreleri veya motor sürme sistemleri gibi bazı uygulamalarda DA geriliminin kontrol edilebilir olması gerektiğinden anahtarlama işlemi tristörler tarafından yapılmaktadır. Ateşleme açısı (α), devrede söz konusu denetimli eleman tristörün ne kadar açı sonra tetiklendiğidir. Doğrultucuların tetikleme durumları ve basit çalışma şekilleri aşağıda gösterilmektedir.

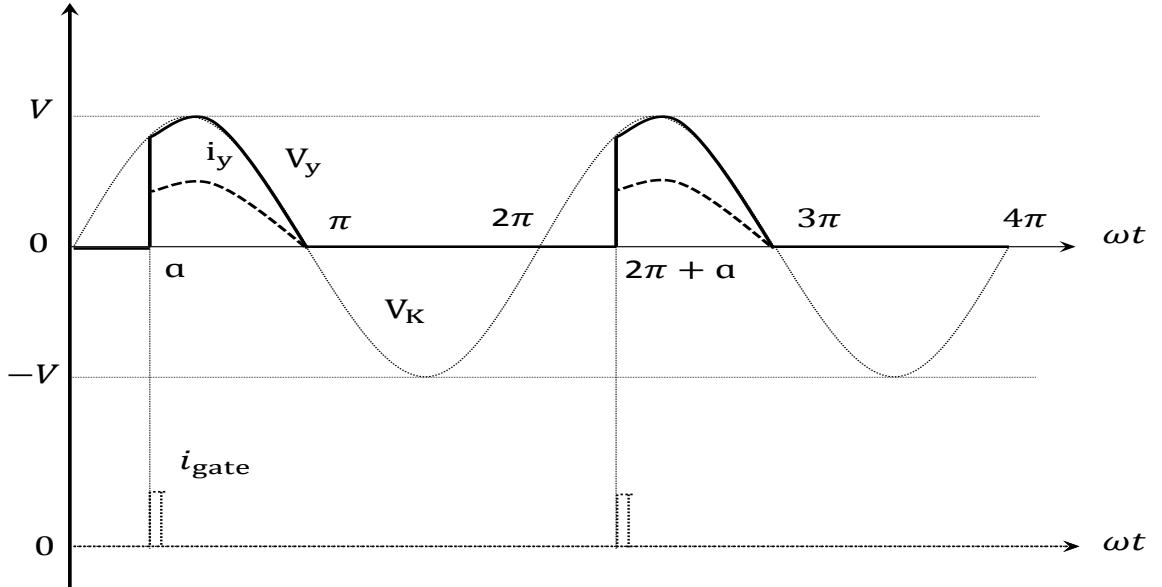
1.5.2.1. Yarım Dalga Denetimli Doğrultucu

Şekil 1.14.'de V_K kaynağı bir tristör üzerinden yük direncine bağlanmıştır. V_K 'nin pozitif yarı periyodunda tristöre kısa süreli bir kapı darbesi uygulandığı $\omega t = \alpha$ ana kadar akım sıfırdır. Tristörün iletme geçmesiyle $V_Y = V_K$ olur. Pozitif yarı periyodun geri kalan kısmında dalga şekli AA dalga şeklini izler ve $\omega t = \pi$ olduğu anda sıfır olur. Daha sonra

tristör V_K 'nin negatif yarı periyodu süresinde akım akışını engeller. Akım yeni bir kısa süreli kapı darbesi uygulandığı $\omega t = 2\pi + \alpha$ anına kadar sıfır değerinde kalır. İletimle birlikte bir sonraki dalga şekline ilişkin periyot başlar. α 'yı ayarlayarak yük gerilimi olan V_Y 'nin ortalama değeri kontrol edilir. D diyodu komutasyon diyodunu ifade etmektedir. Komutasyon diyodu, endüktif yüklerde gerilimin negatife düşmesini engeller. Şekil 1.15.'de basit bir yarım dalga doğrultucu çalışma durumları gösterilmektedir.



Şekil 1.14. Yarım dalga denetimli doğrultucu devre modeli

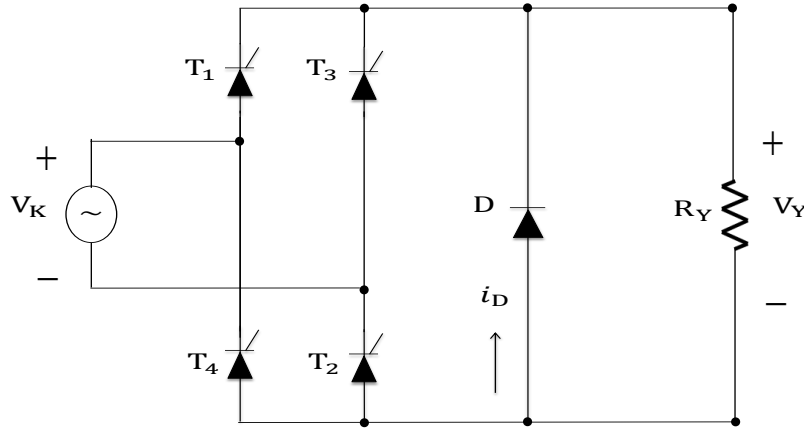


Şekil 1.15. Basit bir yarım dalga doğrultucu çalışma durumları

$$V_{Y_{ort}} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V \sin(\omega t) d(\omega t) \quad (1.21)$$

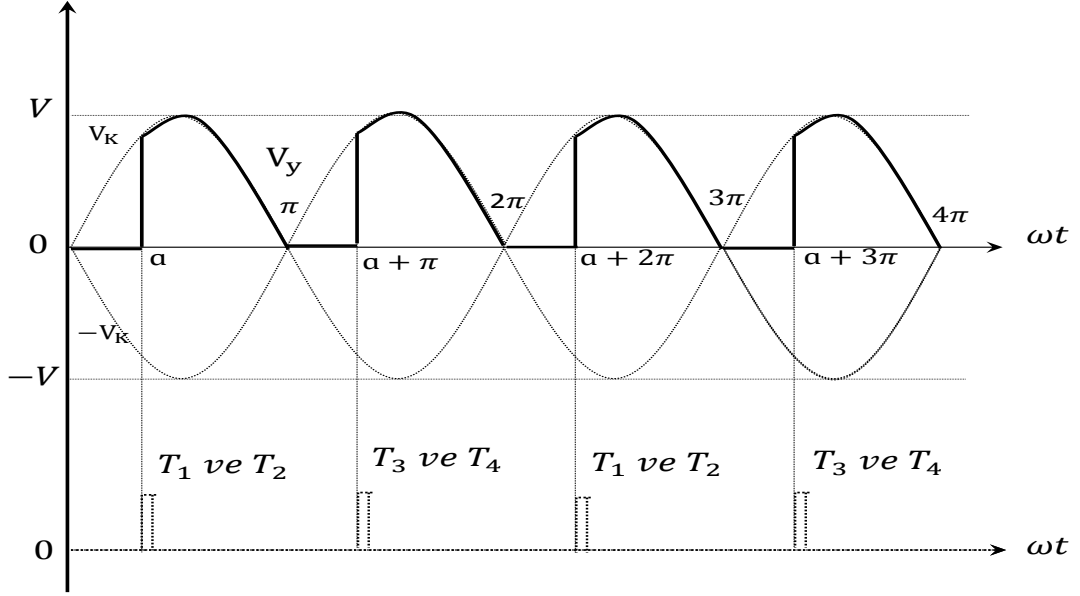
1.5.2.2. Tam Dalga Doğrultucu (Köprü Tipi)

En çok kullanılan doğrultucu türüdür. Özellikle güç sistemlerinde kullanılmaktadır. İki adet yarım dalga doğrultucununun bağlanmasıyla oluşur. Şekil 1.16.'daki görülen devrede T_1 ve T_2 ile T_3 ve T_4 birlikte tetiklendiği için beraber ilettime geçerler.



Şekil 1.16. Basit bir tam dalga doğrultucu devre modeli

Şekil 1.16'da ki tristörlerde T_1 ve T_2 , $\omega t=0$ anına kadar kesim durumundadır. $\omega t=\alpha$ anında ilettime geçerek V_K 'nin pozitif yarı periyodu R_Y üzerine etki etmeye başlayacaktır. $\omega t=\pi$ anına gelindiğinde V_K 'nin pozitif yarı periyodu son bulacağından T_1 ve T_2 tristörleri kesime gidecektir. $\omega t=\pi+\alpha$ anına gelindiğinde T_3 ve T_4 tristörleri tetiklenerek V_K 'nin negatif yarı periyodu süresinde akımın, yükün pozitif uçlarından akması sağlanır. α 'yı ayarlayarak yük gerilimi olan V_Y 'nin ortalama değeri kontrol edilir. D diyodu komutasyon diyodunu ifade etmektedir. Komutasyon diyodu, endüktif yüklerde gerilimin negatife düşmesini engeller.[28] Şekil 1.17.'de Bu sürecin iki periyotluk zaman dilimi içerisindeki gerçekleşmiş dalga durumları gösterilmiştir

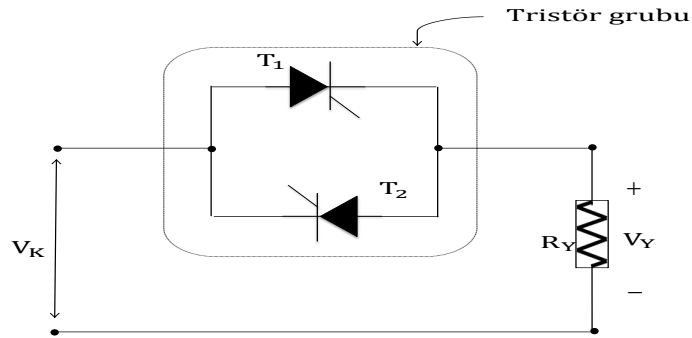


Şekil 1.17. Basit bir tam dalga doğrultucu çalışma durumları

1.5.3. Kıyıcılar

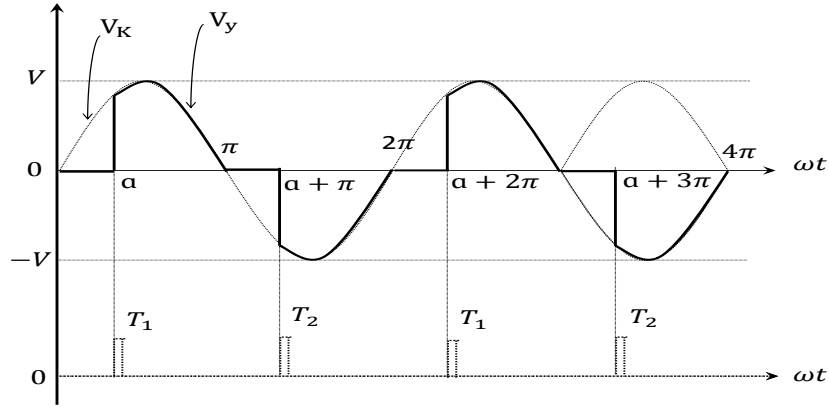
1.5.3.1. Alternatif Akım Kıyıcılar

Herhangi bir Alternatif Akım yük geriliminin frekansını değiştirmeden gerilim ve akımın etkin değerini denetlemek için kullanılan statik transformatörlerdir. Genellikle birbirlerine ters bağlı iki adet tristör grubu ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 1.18.'de gösterilen tristör grubunun yerine iki adet tristörün ters bağlanmasıyla oluşan bir adet triyak da kullanılabilir.



Şekil 1.18. Basit bir AA kıyıcı devre modeli

Temel olarak bir AA gerilimin sıfır noktaları ile pozitif ve negatif aralıklarını algılayarak ayarlanabilen α kontrol açısı sayesinde, biri diğerinin tersi olacak şekilde 2 sinyal üretilir. Pozitif sinyal T_1 elemanına ve negatif sinyal T_2 elemanına verilir. Şekil 1.18'deki Temel AA kıyıcı devre şemasında, V_K gerilimini algılandıktan sonra, bu gerilimin pozitif ve negatif yarı periyotlarında olmak üzere 2 sinyal üretilmekte, bu sinyallerden pozitif olanı T_1 ve negatif olanı T_2 tristörünün tetiklenmesinde kullanılmaktadır. Bu tetiklemeler sonucunda oluşan dalga şekli Şekil 1.19.'da gösterilmektedir.

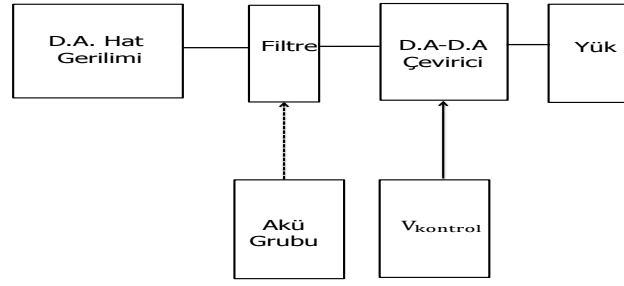


Şekil 1.19. Basit bir AA kıyıcı dalga şekli

1.5.3.2. Doğru Akım Kıyıcılar

1.5.3.2.1. Giriş

DA-DA Kıyıcılar(Çeviriciler), ayarlanmış anahtarlamalı güç kaynaklarında ve doğru akım motor sürücü uygulamalarında kullanılmaktadır. Hat başı bara gerilim kaynaklarında genellikle ayarsız doğru gerilim bulunmaktadır. Bunun neticesinde giriş kısmında hat gerilimlerinde meydana gelen değişimlerden dolayı iniş-çıkış olayları meydana gelir. Anahtarlamalı DA-DA çeviriciler, ayarsız DA girişin, istenilen gerilim değerinde ve kontrollü bir şekilde DA çıkışına vermek için kullanılır.

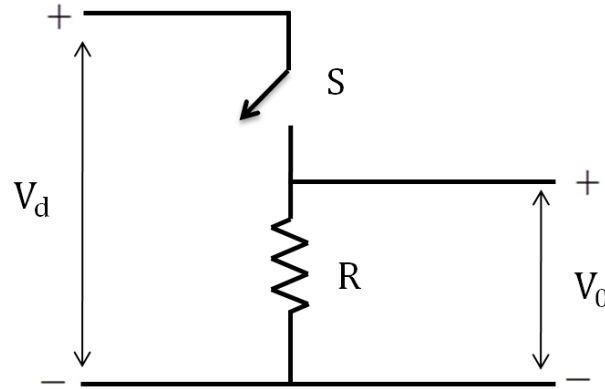


Şekil 1.20. DA-DA çeviricili sistem

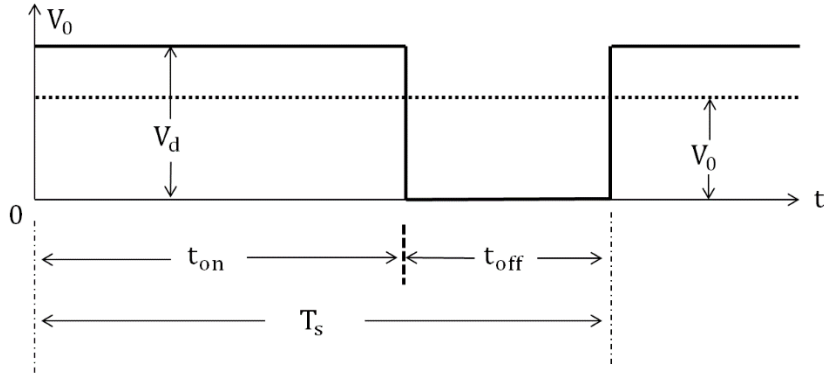
Çeviriciler incelenirken, çeviricilerin sürekli çalışma halinde oldukları kabul edilir. Bu çeviricilerin farklı bir şekilde uygulaması olarak ise, eğer DA-DA çevirici bir DA motorunu besliyorsa, bu devrenin yük modeli motor sargılarının endüktansı ve direnci ile seri bağlı bir doğru gerilim kaynağı ile gösterilir.

1.5.3.2.2. DA-DA Çevirici Kontrolü

DA-DA çeviricilerde, çıkış doğru gerilimi öyle denetlenmelidir ki giriş gerilimi ve çıkış yükü değişse bile, çıkış geriliminin ortalaması istenen sınırlar içerisinde yer almalıdır. Anahtarlamalı DA-DA çeviriciler doğru akımı bir seviyeden farklı bir seviyeye dönüştürmek için bir veya daha fazla anahtarlama elemanı kullanır. Elde edilen çıkış gerilimi bu anahtarların iletimde ve kesimde olduğu sürelerin kontrol edilmesiyle ayarlanır. [28]



Şekil 1.21. Basit bir anahtarlama DA-DA çeviricisi devresi



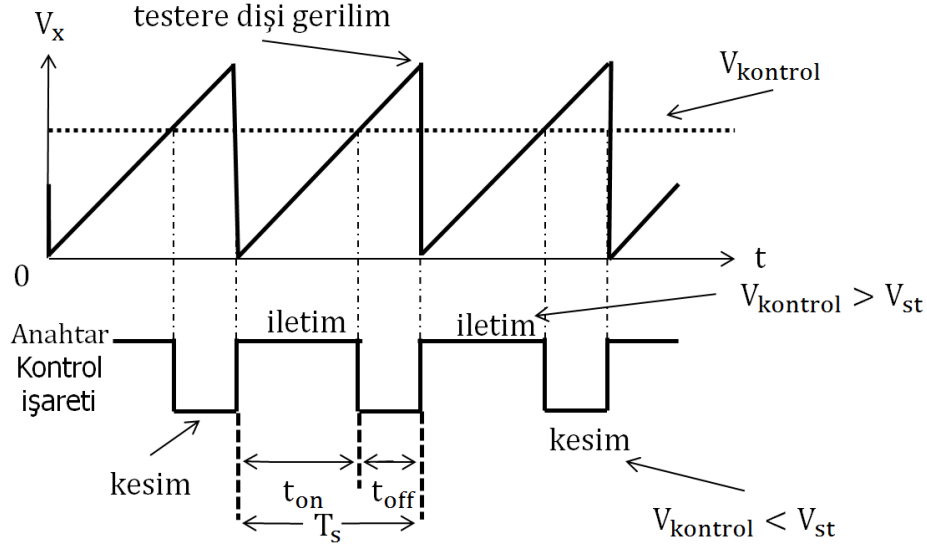
Şekil 1.22. Basit bir anahtarlama DA-DA çeviricisi iletim ve kesim süreleri

Şekil 1.22' daki v_0 'ın ortalama değeri t_{on} ve t_{off} sürelerine bağlıdır. Çıkış gerilimini denetleme yöntemlerinden biri anahtarlamaı sabit frekansta yapmaktır. Anahtarın iletim zamanını ayarlayarak ortalama çıkış gerilimini denetlemektir. Darbe Genişlik Modülasyonu anahtarlamaı denilen bu yöntem sayesinde anahtar çalışma oranı (D) değiştirilir. D çalışma oranı anahtarın iletimde olduğu sürenin anahtarlama periyoduna oranıdır.

Sabit anahtarlama frekansındaki DGM ile anahtarlamaı, anahtarın iletimde ya da kesimde olduğu süreyi belirleyen anahtar kontrol işareti Şekil 1.23.'de gösterilmiştir. Şekildeki tekrarlayan dalga işaret seviyesindeki $v_{kontrol}$ kontrol geriliminin karşılaştırılmasıyla elde edilir. Kontrol işaret gerilimi, gerçek çıkış gerilimi ile istenen çıkış gerilimi arasındaki farkın kuvvetlendirilmesiyle elde edilir.

Testere dişi şeklinde gösterilen ve tepe değeri sabit olan periyodik dalganın frekansı, anahtarlama frekansını oluşturur. DGM ile bu kontrol yapılmasında bu frekans sabit tutularak birkaç kilohertz ile birkaç bin kilohertz arasındaki bir değere ayarlanabilir. Anahtarlama zamanı ile karşılaştırıldığında oldukça yavaş değişen kuvvetlendirilmiş hata işareti, testere dişli dalga şeklinden büyük olduğu zaman anahtar kontrol işareti üreterek anahtarı iletme başlatır. Aksi durumda anahtar kesimdedir. $v_{kontrol}$ ve testere dişli dalga şeklinden anahtar çalışma oranı Denklem (1.22) şeklinde gösterilir

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} = \frac{v_{kontrol}}{V_{st}} = \frac{V_0}{V_d} \quad (1.22)$$



Şekil 1.23. Darbe Genişlik Modülasyonu karşılaştırma işaretleri

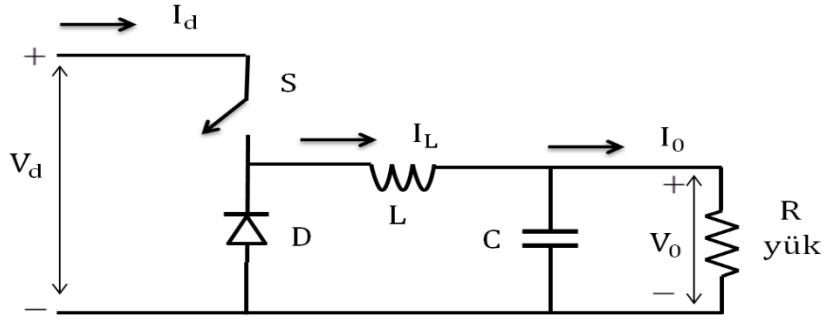
1.5.3.2.3. Çevirici Topolojileri

Çevirici uygulamalarına baktığımızda güç kaynakları ve hemen hemen bütün DA motor sürücü uygulamalarında kullanıldığını görebiliriz. Tipik bir yakıt hücresi ve güneş paneli uygulamaları içerek micro enerji iletim beslemelerinde ideal olmayan güç kaynakları olası bir sonuçtur. Bu sonuç doğrultusunda ise DA-DA çeviriciler farklı topolojiler ortaya çıkmıştır. Kimisi çok sık kullanılmakla beraber, öznel kullanım alanlarına sahip çeviricilerde mevcuttur. Bunlardan bazıları ve yaygın kullanılanların detaylı prensipleri gösterilmiştir.

1. Alçaltıcı Çeviriciler
2. Yükseltici Çeviriciler
3. Alçaltıcı-Yükseltici Çeviriciler
4. Cuk Çeviriciler
5. Tam Köprü Çeviriciler.

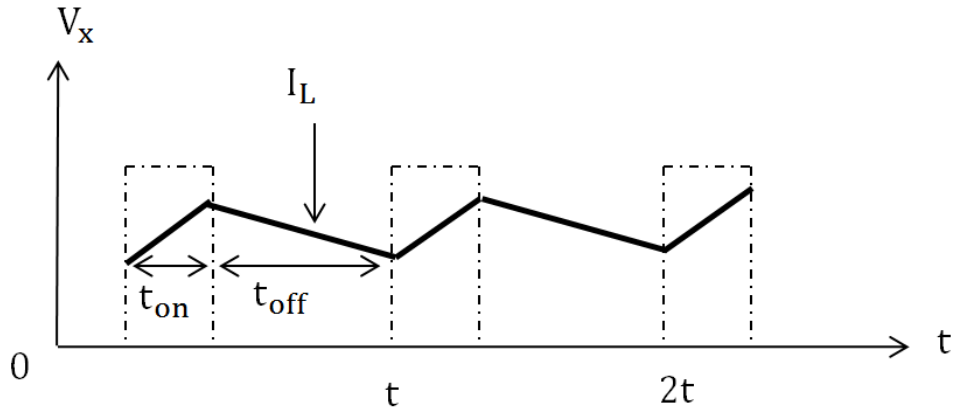
1.5.3.2.3.1. Alçaltıcı Çeviriciler

Alçaltıcı çeviriciler, giriş geriliminden daha düşük bir ortalama çıkış gerilimi üreten dönüştürücülerdir.



Şekil 1.24. Alçaltıcı çevirici devresi

Yukarıdaki devrede S anahtarı iletimde iken V_d gerilimi endüktans ve kondansatör grubunun uçlarına uygulanır. Bu gerilim I_L akımını artırır. S anahtarı kesim konuma geçtiğinde ise akım D diyot üzerinden akmaya devam eder ve azalmaya başlar. Anahtarın kapalı olduğu süre boyunca diyotun uçları arasındaki gerilim değeri V_x 'tir. V_o ise ortalama çıkış gerilimini ifade etmektedir. Sürekli akım olduğunda I_L akımı sifıra inmeden anahtar tekrar açık konuma getirilir. V_x geriliminin ortalama değeri anahtarın açık kaldığı süreye bağlıdır.



Şekil 1.25. Alçaltıcı çeviricide akım-gerilim değişimi

Şekil 1.24'de yer alan devrenin gerilim akım gerilim değişimi ifade edilirse;

$$V_x - V_o = L \frac{di}{dt} \quad (1.23)$$

$$di = \int_{on} (V_x - V_o) + \int_{off} (V_x - V_o) dt \quad (1.24)$$

Kararlılık durumu göz önüne alındığında T periyodu ilk ve son anlardaki akım değeri değişmeyecektir. Gerilimler arasında basit bir ilişki kurmak için anahtarlama elemanı ve diyotun uçları arasındaki gerilim değeri yok kabul edilerek sağlıklı bir anahtarlama yapıldığı sonucuna varılır. Anahtarın açık olduğu anda $V_x = V_{in}(V_d)$, kapalı olduğu anda $V_x = 0$ 'dır. Buradan da;

$$(V_x - V_o)t_{on} - V_o t_{off} = 0 \quad (1.25)$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (1.26)$$

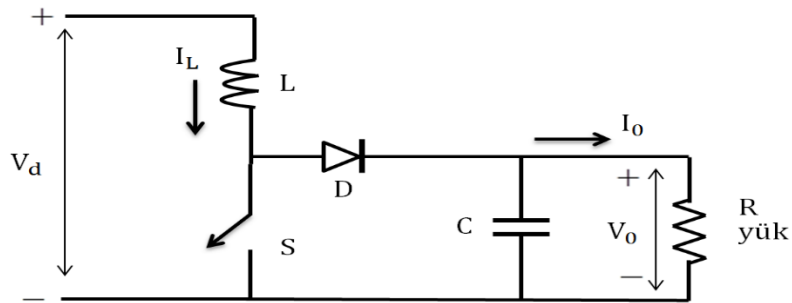
$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (1.27)$$

$$V_o = D * V_{in} \quad (1.28)$$

Burada D, çalışma oranını, V_o ve V_{in} giriş ve çıkış gerilimlerini ifade etmektedir.

1.5.3.2.3.2. Yükseltici Çeviriciler

Yükseltici çeviriciler, giriş geriliminden daha yüksek seviyede çıkış gerilimi veren dönüştürücülerdir. Bu tür çeviriciler en yaygın olarak çıkış gerilimi ayarlı DA güç kaynaklarında ve DA motorlarının geri kazanımla frenlenmesinde kullanılır.



Şekil 1.26. Yükseltici çevirici devresi

Yukarıdaki şekilde anahtar iletme geçince diyot ters kutuplanır ve çıkış devresi girişten ayrılır. Bu esnada girişten endüktansa gerilim uygulanır. Anahtar kesime gidince, devrenin çıkışına hem girişten hem de endüktanstan enerji gider. Sürekli çalışma durumunda endüktans geriliminin bir periyot boyunca integrali sıfır olmalıdır;

$$t_{on} + t_{off} = T_s \quad (1.29)$$

$$V_d t_{on} + (V_d - V_o) t_{off} = 0 \quad (1.30)$$

Her iki tarafı T_s 'e bölerek ve birimleri düzenleyerek;

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{T_s}{t_{off}} = \frac{1}{1-D} \quad (1.31)$$

Elde edilir. Devredeki kayıplar ihmal edildiğinde Denklem (1.31) elde edilir.

$$V_d * I_d = V_o * I_o \text{ ve } \frac{I_o}{I_d} = (1 - D) \quad (1.32)$$

1.5.3.2.3.3. Alçaltıcı-Yükseltici Çeviriciler

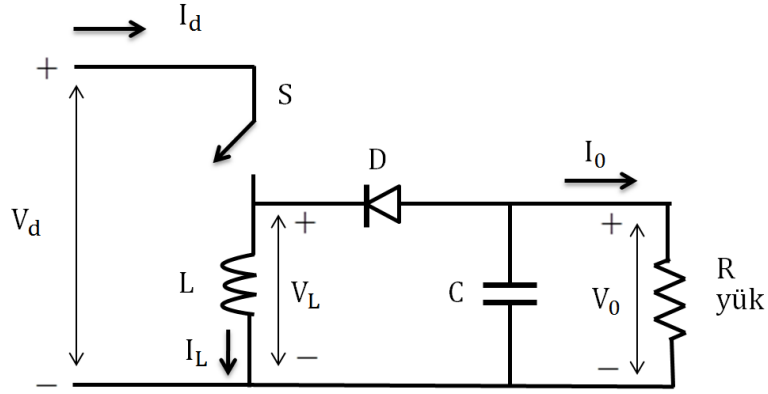
1.5.3.2.3.3.1. Tek Anahtarlamalı Alçaltıcı-Yükseltici Çeviriciler

Alçaltıcı-Yükseltici çevirilerin en yaygın olarak kullanım yerleri, giriş uçlarına göre ters kutuplu çıkış gerektiren ve çıkış geriliminin giriş geriliminden yüksek ya da düşük olduğu ayarlı DA güç kaynaklarıdır.

Bu tip çevirici, alçaltıcı ve yükseltici çevirilerin ardı ardına bağlanmalarıyla elde edilir.[29] Sürekli durumdaki çıkış değerlerinin giriş değerlerine oranı, ardı ardına bağlı iki çeviricinin çevirme oranları çarpımıdır. Buradan Denklem (1.22) ve (1.31) ile;

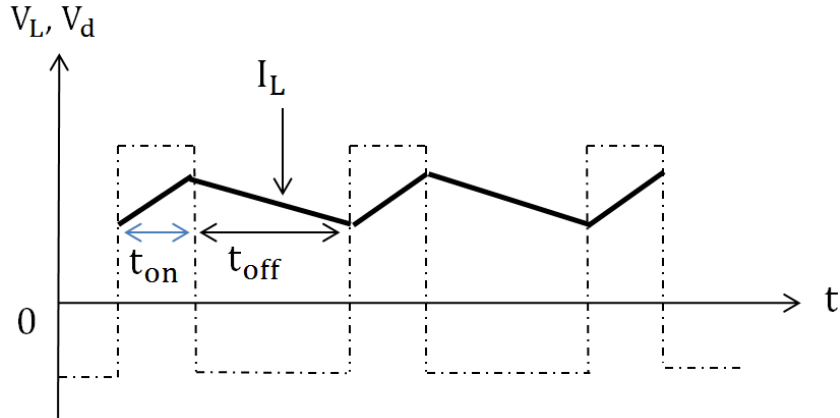
$$\frac{V_o}{V_d} = D \frac{1}{1-D} \quad (1.33)$$

Elde edilir.



Şekil 1.27. Alçaltıcı-Yükseltici çevirici devresi

Denklem (1.33) ile ifade edildiği gibi çıkış gerilimi giriş geriliminden çalışma oranı D ile belirlenen frekanslar sayesinde düşük ya da yüksek olabilir.

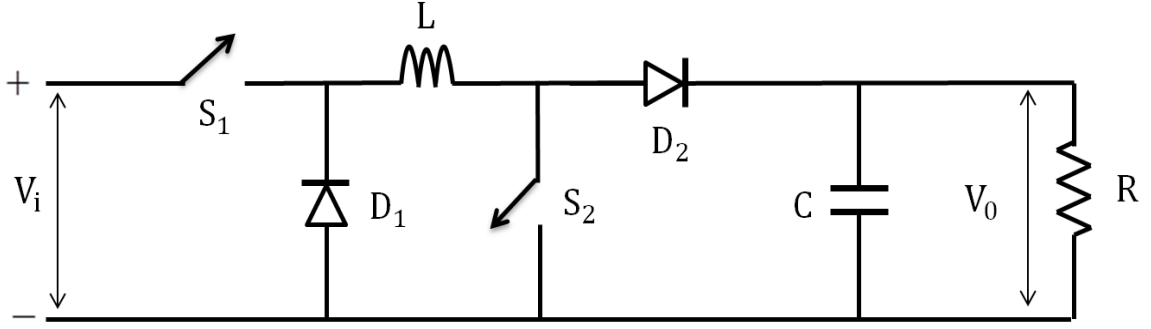


Şekil 1.28. Alçaltıcı-Yükseltici çeviricide akım-gerilim değişimi

1.5.3.2.3.3.2. Çift Anahtarlamalı Alçaltıcı-Yükseltici Çeviriciler

Tek anahtarlamalı alçaltıcı yükseltici çeviricilere göre çıkış gerilimindeki bileşenler, bobin akım dalgalanması ve kondansatör akımı daha düşük olduğundan çift anahtarlamalı alçaltıcı yükseltici kullanılarak bobin ve kondansatör değerlerini azaltılabilmektedir. Aşağıdaki şekilde gösterilen çift anahtarlamalı alçaltıcı yükseltici devresinde doğrudan güç aktarımını sağlayabilmek için iki anahtar benzer kontrol sinyali kontrol edilmelidir. Şekil

1.29.'da görüldüğü gibi giriş geriliminin çıkış referans geriliminden düşük olduğu durumda yükseltici modunda, giriş geriliminin çıkış geriliminden yüksek olduğu durumda ise alçaltıcı modunda çalışacaktır. V_i giriş gerilimini, V_0 ise çıkış gerilimini ifade etmektedir. [31]



Şekil 1.29. Çift anahtarlamalı Alçaltıcı-Yükseltici çevirici devre modeli

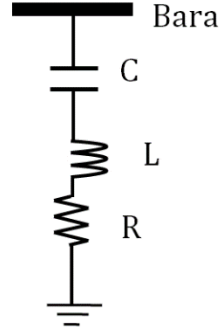
Bu çalışmadan iki çift anahtarlamalı alçaltıcı yükseltici kullanılarak güneş radyasyon seviyesi ve sıcaklığındaki artma ve azalmaların sonucunda değişen güneş pili gerilim değerini sabit bir değerde tutarak ortak DA baraya iletmektedir.

1.5.4. Filtreleme Üniteleri

Enerji sistemlerinin başlangıcından beri doğrusal olmayan elemanlar ve yükler bulunmaktadır. Bütün AA sistemlerinde yer alan transformatörler ideal çalışma koşullarının dışına çıktığı zaman doğrusal olmayan bir eleman gibi davranış gösterir. Ayrıca eviriciler ve doğrultucular gibi statik güç dönüştürücüleri de ideal akım ve gerilim dalga biçimlerinden farklı frekans ve genliğe sahip dalgalar üretmektedir. Temel dalga dışındaki dalgalara bozucu etki yapan unsura harmonik adı verilir. Bu harmonikler zamanla artan bir şekilde güç sistemlerini etkilemekte, ideal gerilim değerini bozmakta ve güç kesintileri oluşturmaktadır. Harmoniklerin bozucu etkilerini engellemek için alınabilecek en etkili yöntem ise filtreleme üniteleridir. Harmonik akımların ve gerilimlerin yüke geçmesini engellemeye çalışan bu sistemler Pasif Filtreler ve Aktif filtreler diye iki ana kısımda incelenmektedir.

1.5.4.1. Pasif Filtreleme Üniteleri

Pasif filtreler, gerilim kaynağı ile yükler arasına bağlanan ve temel frekans dışındaki bileşenleri azaltmaya çalışan, seri bağlı kondansatör (C), endüktans (L) ve omik direnin (R) bileşimidir. Basit bir yapıya sahip olan bu filtrelerdeki hedef, azaltılmak istenen istenen bozucu etkiye sahip harmonik bileşen frekansında rezonansa gelecek şekilde elemanların değerlerini belirlemektir. Pasif filtrelerin önemli dezavantajları bulunmaktadır. Bunların en başında sistemde yaşanabilecek akım ve gerilim değişikliklerine yanıt verebilecek uygunlukta olmamasıdır. Bu değişikliklerle beraber, kullanılma süresine, yıpranmasına ve sıcaklık şartlarına bağlı olarak tekrar düzenlenip kurulması gerekmektedir.



Şekil 1.30. Basit bir pasif filtre örneği

Bozucu etki ve harmoniklerin söndürülmesinde sanayide en yaygın olarak kullanılan pasif filtre tipi Şekil 1.30.'de gösterilmektedir. Bant Geçiren Filtre olarak bilinen bu yapıda oluşan filtre empedansı Denklem (1.34)'de gösterilmektedir. Spesifik bir frekanslardaki bozucu akım için bir kısa devre yaparak bu akımın hattan uzaklaştırılmasını sağlar. Filtrenin frekans ayarı ise Denklem (1.35) kullanılarak elde edilebilir.

$$Z_{filtre} = R + j [\omega L - 1 / (\omega C)] \quad (1.34)$$

$$F_{filtre} = 1 / (2\pi(\sqrt{LC})) \quad (1.35)$$

1.5.4.2. Aktif Filtreleme Üniteleri

Aktif filtreler şebeke üzerindeki bozucu etkiler ve harmonikleri ölçer ve bu harmoniklerin tersi fazında etki üretmeye çalışarak asıl harmonik etkileri azaltmaya çalışır. Paralel ve seri aktif filtre olarak iki temel şekilde tasarlanırlar.

1.5.4.2.1. Seri Aktif Filtre

Seri Aktif Filtreler bir güç dönüştürücüsü üzerinden sisteme seri bağlanır. Bu tür filtreler ile gerilime bağlı dalgalanmalar, dengesizlikler ve regülasyon olayları engellenir.

1.5.4.2.2. Paralel Aktif Filtre

Paralel olarak güç sistemine bağlanan bu filtreler ilk olarak şebekeden aldıkları harmonikli akımları ve gerilimleri tanımlar. Daha sonra tanımlanan bu akımlar ile aynı genliğe sahip fakat ters fazdaki akımlar sisteme dâhil ederek akım dengesizliklerini düzeltmeye çalışır. Bu tür filtreler doğrusal olmayan yükler için kullanılır ve reaktif güç kompanzasyonu sağlar.

1.5.4.3. Toplam Harmonik Bozulma

Enerji sistemine ait temel dalga dışındaki dalgalara bozucu etki yapan unsur olan harmoniklerin sınırlandırılmasını amaçlayan standartlarda çok yaygın olarak kullanılan Toplam Harmonik Bozulma (THD), akım ve gerilim değerleri için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Gerilim ve akım için THD değerleri Denklem (1.36) ve Denklem (1.37)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$THB_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (1.36)$$

$$THB_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (1.37)$$

Burada kullanılan semboller:

THB_V : Gerilimdeki toplam harmonik bozulma

THB_I : Akımdaki toplam harmonik bozulma

V_n : Devreye uygulanan gerilimin, n . mertebedeki harmoniğinin etkin değeri

I_n : Devreden geçen akımın, n . mertebedeki harmoniğinin etkin değeri

V_1 : Devreye uygulanan gerilimin temel frekanstaki etkin değeri

I_1 : Devreden geçen akımın temel frekanstaki etkin değeri şeklindedir.

Enerji sistemlerinde oluşan harmonik sorunlarının ilk belirtisi kompanzasyon sisteminde oluşan arızadır. Bu sorunların başında ise aşırı akımlar gelmektedir. Diğer bir problem ise geriliminin tepe değerinin oluşturduğu yalıtım zorlanmasıdır.[44] Temel bileşendeki kapasitif reaktans (X_C) n . harmonik mertebesindeki değeri Denklem (1.38)'de gösterilmektedir.

$$X_{C_n} = \frac{X_C}{n} \quad (1.38)$$

Bu durumda harmonik mertebesi büyüdükçe kapasitif reaktans küçülür. Böylece harmonik frekanslarındaki kondansatörlerin daha yüksek akım çekmesi ve aşırı yüklenmeleri sonucunu ortaya çıkartır. n . harmonik değerinde V_n harmonik gerilimi altında kondansatörün çektiği akım Denklem (1.39)'de gösterilmektedir.

$$I_n = \frac{V_n}{X_{C_n}} = n\omega CV_n \quad (1.39)$$

1.5.5. Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri

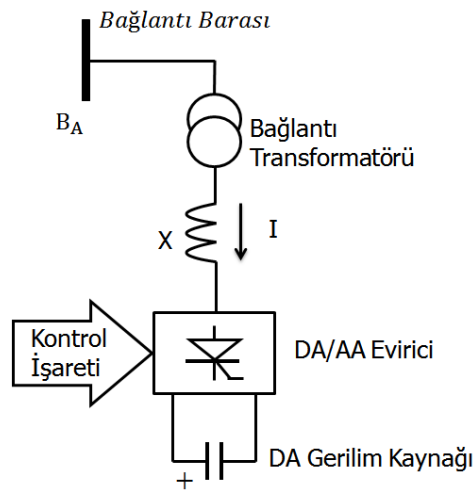
Günümüzdeki birçok güç iletim sistemi, üretim merkezleri ve kullanıcılar tarafından oluşturulan yük merkezleri arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Yenilenebilir ve küçük ölçekli üretim sistemlerinin ve yük çeşitliliği gibi etkenlerin gittikçe artan iletim bir eğilimde olması iletim sistemlerinde değişik sorunlara yol açmaktadır. Özellikle AA ile iletimde bu sorunlar kendini daha da çok göstermektedir. AA sistemlerindeki güç akışı

Ohm Yasasına göre ve iletilen güç miktarının net olarak bulunamayacağı tezine göre bu yapıya Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (FACTS) adı verilmiştir. FACTS elemanlarının temelinde gerilim, empedans, faz açısı ve şebeke topolojisi gibi etkenleri kontrol etmek için güç elektroniği cihazların sisteme denetlenerek eklenmesi yer almaktadır. Bu şekilde güç sistemi daha esnek, güvenli ve ekonomik biçimde kullanılabilir.

1.5.5.1. Statik Kompanzator

İleri FACTS cihazı olarak bilinen statik kompanzatorlar, güç sisteminden reaktif akım çekecek şekilde kontrol edilen ve bir DA enerji depolama elemanı ile üç fazlı sistem arasına bir evirici bağlanarak yapılan kontrolörüdür. STATCOM iletim hattına paralel olarak bağlanmaktadır. STATCOM iletim hattından kontrollü bir reaktif akım çekerek bağlantı noktasında iletim hattının gerilimini düzenlemektedir. Bu işlem STATCOM'un esas fonksiyonudur. [31] [32]

Şekil 1.31.'de STATCOM'un genel yapısı görülmektedir. Genel yapısı verilen basit bir STATCOM kontrolörünün içerisinde; bir bağlantı transformatorü, gerilim kaynaklı inverter ve enerji depolama elemanından oluşmaktadır. DA kaynak elemanı oldukça küçük bir kondansatör olduğundan STATCOM sadece reaktif güç alış verişini yapabilir. [33] [9]



Şekil 1.31. STATCOM'un genel yapısı

Güç aktarımı STATCOM'un bağlı olduğu bara gerilim değeri ile eviricinin çıkış gerilimi arasındaki faz farkı ayarlanarak kontrol edilebilir. AA / DA eviricinin çıkış gerilimi (V_0), bara geriliminden (V) ileri fazda olacak şekilde kontrol edilirse, evirici kendi doğru gerilim enerji deposundan sisteme aktif güç sağlar. Eğer Evirici çıkış gerilimi bara geriliminden geri fazda olursa, şebekeden aktif güç çekecektir.

$$Q = \frac{V}{X}(V - V_0 \cos\varphi) \quad (1.40)$$

Statcom'un ürettiği veya tükettiği reaktif güç miktarı Denklem (1.40) ile bulunur. Sisteme verdiği veya aldığı aktif güç miktarı ise;

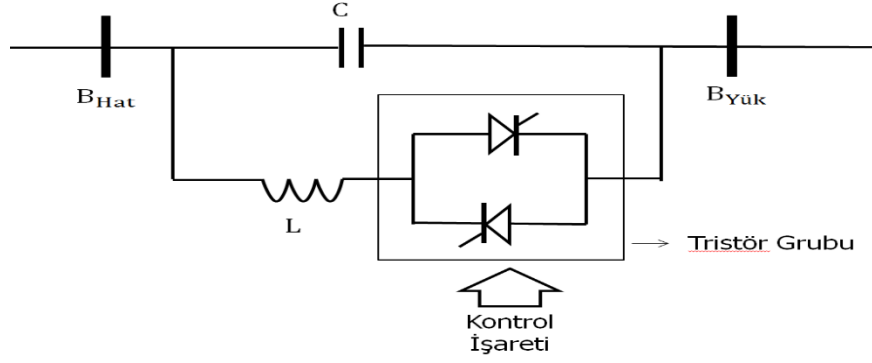
$$P = \frac{V V_0}{X} \sin\varphi \quad (1.41)$$

Şeklinde elde edilir. Burada (x) bağlantı transformatörünün kaçak reaktansını ifade etmektedir. [35]

1.5.5.2. Tristör Kontrollü Seri Kapasite

Tristör Kontrollü Seri Kapasite (TCSC) yapı olarak TSSC ile benzerlik taşımaktadır. TCSC, iletim hattına kontrollü bir şekilde kapasitif reaktans ilave etmek için kullanılan bir kompanzatör yapısıdır. Tristörlerin iletim açısı 180° iken reaktör tamamen devre dışı durumdadır. FACTS cihazları içerisinde, TCSC'ler güç akış kontrolü ve güç sistemlerinde güvenilirliği arttırmada önemli yere sahiptir. Tristörler simetrik olarak 90° ile 180° arasında tetiklenerek TCSC reaktansını X_L ile X_C arasında değiştirmektedir. α açısı ile tetiklenen anahtarlama elemanları $\alpha=180^\circ$ durumunda maksimum kapasitif reaktif özellikli güç çekilir. TCSC'ün eşdeğer reaktansı, X_L ile X_C 'nin paralel toplamından elde edilir. Denklem (1.42) de elde edilen TCSC'in eşdeğer reaktansında r_x , X_L/X_C 'ye eşit olup, kompensasyon durumunun endüktif ve kapasitif çalışma durumuna göre belirlenir.[45]

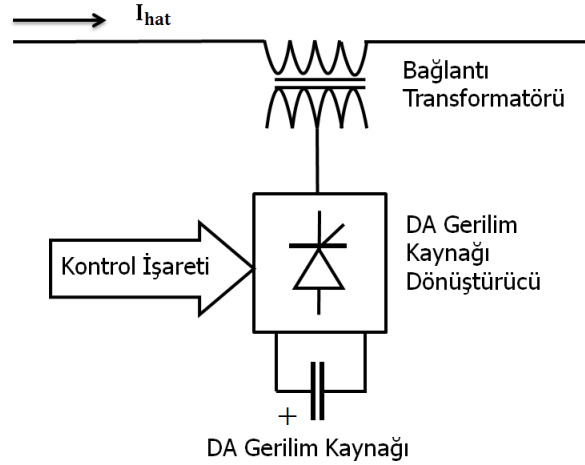
$$X_{TCSC} = X_C \frac{\pi/r_x}{\sin 2\alpha - 2\alpha + \pi(2 - 1/r_x)} \quad (1.42)$$



Şekil 1.32. Tristör Kontrollü Seri Kapasite genel Yapısı

1.5.5.3. Statik Senkron Seri Kompanzator

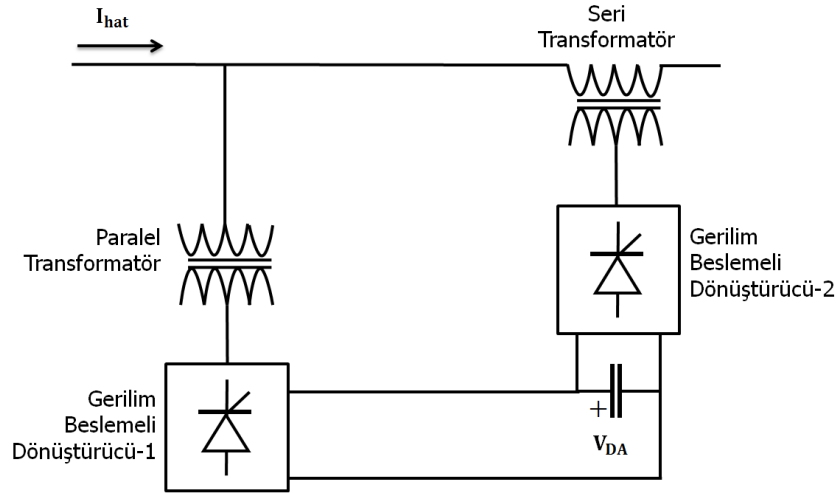
Enerji iletim hatlarında oluşan gerilim düşümü Statik Senkron Seri Kompanzator (SSSC) ile kontrol edilebilmektedir. Çalışması, hattın reaktansının bir transformatör ve kondansatör yardımıyla bir dönüştürücü üzerinden azaltılmasıdır. Sonuçta hattın akan etkin güç akımı kontrol edilebilir. [21]



Şekil 1.33. Statik Senkron Seri Kompanzator genel yapısı

1.5.5.4. Birleştirilmiş Güç Akış Denetleyici

Birleştirilmiş Güç Akış Denetleyicisi (UPFC), FACTS ailesinin önemli özelliklere sahip bir üyesidir. Herhangi bir temel yapıya sahip Statik Senkron Seri Kompanzator ve Statik Kompanzatorün işlevlerini bir bir güç elemanı üzerinde toplandığında meydana UPFC gelmektedir. UPFC'ler ile aktif ve reaktif güç denetlenebilmektedir. En gelişmiş FACTS cihazı olan UPFC'lerin genel özellikleri; gerilim regülasyonu, seri kompanzasyon, faz değiştirme ve hızlı bir şekilde hat üzerinde var olan aktif ve reaktif güç akışını kontrol edebilmesidir.[36]



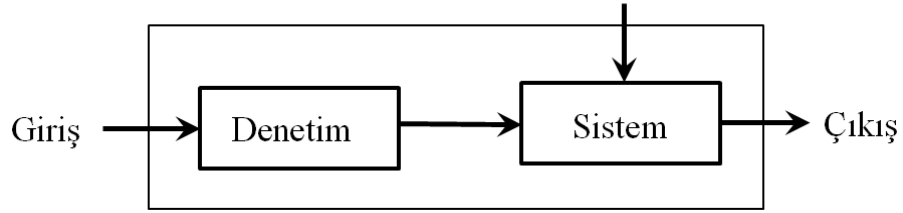
Şekil 1.34. Birleştirilmiş Güç Akış Denetleyicisi

1.6. Kontrol Mekanizmaları

Klasik kontrol sistemleri açık çevrim ve kapalı çevrim kontrol sistemlerinden meydana gelir. Kontrol sisteminin amacı sistemin değişkenlerini, belirli durumlarını istenen aralıkta gözlemlemek ve istenen denetleme işlemini uygulayarak sistemi istenen şekilde çalıştırmaktır. Aynı aşamada yapılan hatanın minimuma indirgenebilmesi kontrol kalitesi ve doğruluğu açısından önemlidir. Sistemlerde bir giriş ve bir çıkış olmak üzere temelde iki işareti bulunur. Bu işaret sistemin istenen kontrol değeridir. Ayrıca algılayıcı ve ölçü aletleri ile dış ortamdan alınan verilerde sisteme dâhil edilebilir.

1.6.1. Açık Çevrimli Kontrol Sistemi

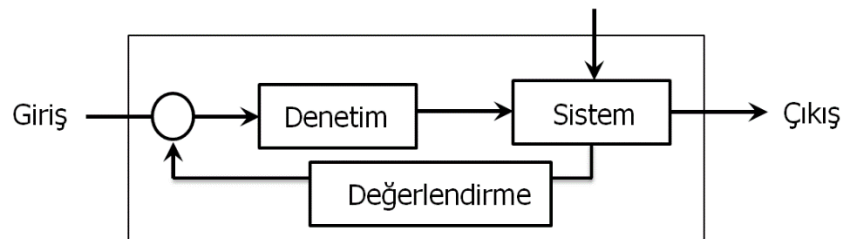
Kontrol edilen fiziksel büyüklüğün kontrol sistemine etkisinin olmadığı sistemlerdir. Bu sistemler kritik davranış koşullarını yerine getiremezler. Oldukça ekonomik sistemlerdir. Ancak hassas değildirler. Bu tür açık çevrimli kontrol sistemlerine basit ve ekonomik olmaları nedeniyle, çok sayıda karmaşık olmayan uygulamalarda rastlamak mümkündür. Mekanizma, denetleyici ve kontrol edilen sistem olmak üzere iki kısma ayrılırlar.[37]



Şekil.1.35. Açık çevrimli kontrol sistemlerinin öğeleri

1.6.2. Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemi

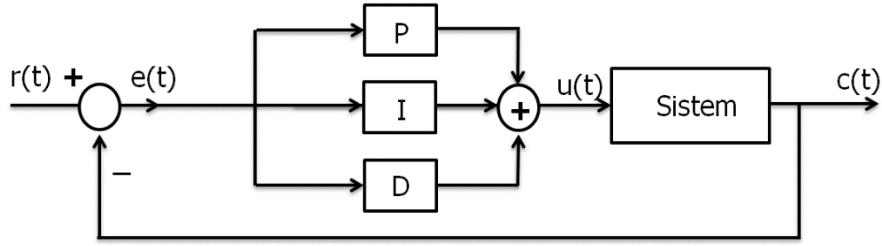
Sistem çıkışından girişine bir bağlantının oluşturulması ya da geri beslemesi, açık çevrimli kontrol sistemlerinin hatasız ve iyi kontrolü için gerekli olan bir unsurdur. Hatası az bir kontrol elde etmek için, kontrol edilen işaret geri beslenmeli ve referans işaretle karşılaştırılmalı, giriş-çıkış işaretleri farkı ile orantılı bir sürücü işaret, hatayı gidermek üzere, sisteme uygulanmalıdır. Burada tanımlandığı üzere bir veya daha çok geri besleme yoluna sahip bir sisteme kapalı çevrimli sistem denir. Şekil 1.36. 'de kapalı çevrimli sistemin yapısı görülmektedir. [47]



Şekil 1.36. Kapalı çevrimli kontrol sistemi

1.6.3. PID Denetleyiciler

PID denetleyici basitleştirilmiş kontrol sisteminin blok diyagramı Şekil 1.39. 'da görülmektedir.



Şekil 1.37. PID denetimli kontrol sistemi

Burada $r(t)$ referans giriş işareti, $u(t)$ denetleyici çıkışı, $c(t)$ sistem çıkışı ve $e(t)$ hata işaretidir. Bu hata işareti referans giriş ile sistem çıkış işareti arasındaki fark değeri elde edilerek bulunmaktadır. Bir PID denetleyici için $u(t)$ denetim sinyalinin sürekli zamanda Denklem (1.43) daki gibi yazılması mümkündür. [38]

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{e(t)}{dt} \right] \quad (1.43)$$

Aynı denetleyicinin sahip olduğu transfer fonksiyonu bağlantısı s domeninde Denklem (1.44) deki gibidir.

$$\text{Sistem} = \frac{u(s)}{e(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (1.44)$$

1.6.4. Bulanık Denetleyiciler

Günlük hayatta rastgele kullandığımız birçok terim genellikle bulanık bir yapıya sahiptir. Bir şeyi tanımlarken, bir olayı açıklarken, komut verirken ve daha birçok durumda

kullandığımız sözel veya sayısal ifadeler bulanıklık içerir. Bu terimlere örnek olarak; yaşlı, genç, uzun, kısa, sıcak, soğuk, ılık, bulutlu, parçalı bulutlu, güneşli, hızlı, yavaş, çok, az, biraz, fazla, çok az, çok fazla gibi daha pek çok sözel terim gösterilebilir. İnsanlar bir olayı anlatıp, bir durum karşısında karar verirken bu tür kesinlik ifade etmeyen terimler kullanır. Kişinin yaş durumuna göre ona yaşlı, orta yaşlı, genç, çok yaşlı ve çok genç denir, Yolun kayganlık ve rampa durumuna göre arabanın gaz veya fren pedalına biraz daha yavaş veya biraz daha hızlı basılır. Çalışılan odanın ışığı yetersiz ise onu biraz artırılır, yeterinden fazla ise biraz azaltılır. Bütün bunlar insan beyninin belirsiz ve kesinlik içermeyen durumlarda nasıl davrandığına ve olayları nasıl değerlendirip, tanımlayıp, komut verdiğiine dair birer örnektir. Bulanık mantığın ve bu mantık kurallarını kullanan bulanık küme teorisinin Lotfi'A, Zadeh tarafından geliştirilip 1965 tarihli makalesinde yayınlanmasından sonra belirsizlik içeren sistemlerin incelenmesi yeni bir boyut kazanmıştır.1965'de ortaya atılmasına rağmen, bulanık küme kavramı ancak 1970'li yılların ikinci yarısından sonra kullanılmaya başlanmıştır. Bunda özellikle Zadeh'in 1965'deki ilk makalesinden daha fazla etkili olan ve bulanık mantığın belirsizlik içeren sistemlere uygulanabilirliğini açıklayan makaleleri etkili olmuştur. 1980'li yılların ikinci yarısından sonra Japonların ürünlerinde bulanık mantığı kullanmalarıyla da hız kazanarak günümüzdeki doruk noktasına gelmiştir. Artık hemen her alanda bulanık mantık uygulamalarına rastlamak mümkündür. [39]

Bulanık Mantık (BM) matematiksel eşitlikler yerine sözel terimlere dayanan bir sistemin işlevsel kanunlarını ifade etmek üzere tasarlanmış bir yöntemdir. Pek çok sistem kesin matematik modellemesi yapılamayacak kadar karmaşıktır. Bunun nedeni bu sistemlerin lineer olmamasıdır. Fakat bulanık mantığın sözel ifadelerle dayalı olması böyle bir sistemin belirleyici özelliklerini tanımlayıcı elverişli bir yöntem sunar. Böylece kontrol edilecek sistem hakkında bilgi olmamasına rağmen sistem kontrol edilebilir. Bu sözel ifadeler, genelde mantıksal önermeler formundadır. [40]

1.6.4.1. Üyelik Fonksiyonları

Bulanık denetleyici tasarımcıları değişik üyelik fonksiyonlarını kullanarak farklı denetleyiciler tasarlamaktadırlar. Yapılan tasarıma göre uygun üyelik fonksiyonunun seçimi önemlidir. Üçgen, yamuk, gaussian, çan, cauchy, sinüsoid ve sigmoid gibi üyelik fonksiyonları bulunmaktadır. Bu çalışmada doğrusal değişimli olduğu için üçgen biçimli

üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Aşağıda bu üyelik fonksiyonuna ait eşitlikler görülmektedir.

$$\mu_{A(x)} = \max\left(\min\left(\frac{x-x_1}{x_T-x_1}, \frac{x_2-x_1}{x_2-x_t}\right), 0\right) \quad (1.45)$$

$$\tan\theta = \frac{1}{x_T-x_1} = \frac{\mu_{A(x)}}{x-x_1} \quad (1.46)$$

1.6.4.2. Bulanık Mantık Denetleyici (BMD)

1.6.4.2.1. Giriş

İyi bir kontrol sistemi denetlenecek sistemin matematiksel modelinin uygunluğuna bağlıdır. İyi bir model kaliteli bir kontrol sistemi için çok önemlidir. Oysaki gerçek dünyada karşılaşılan sistemlerin çoğu doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Bu nedenle doğru matematiksel modellerinin çıkartılması zordur. Bu klasik kontrol sistemlerinde yapılan denetleyici ile bu sistemleri kontrol etmek zordur. İstenilen verim alınamadığı gibi zaman zaman çok pahalıya da mal olmaktadır. Bu tür sistemleri klasik kontrol teknikleri yerine bulanık mantık denetleyici kullanarak kontrol etmek gerekir. Bulanık mantık kontrolde sistemin matematiksel modeline ihtiyaç yoktur. Bulanık kontrol sistemlerinin tercih edilme nedenleri kısaca şöyledir;

- ❖ Sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duymaz.
- ❖ Sistemin doğrusal olması ya da olmaması önemli değildir.
- ❖ Bulanık denetleyici ile sistem daha esnek çalışır. Sisteme müdahale etmeden yazılımı değiştirerek farklı şekillerde sistem kontrolü sağlanabilir.
- ❖ Pek çok kereler klasik kontrol sistemlerinden çok daha iyi sonuç verirler.
- ❖ Kontrol yazılım ile gerçekleştirildiği için kontrol sistemlerinde kullanılan diğer kontrol teknikleri de eklenerek daha karışık kontrol uygulamaları donanımdan bağımsız olarak gerçekleştirilebilir ve daha verimli çalışırlar.

1.6.4.2.2. Bulanık Önergeler

Büyükklüklerin sözel ifadeleridir. “*eğer.....ise*” yapısında ifadelerden oluşur.

Tek öneri:

Eğer A ise B \Rightarrow A ise B dir.

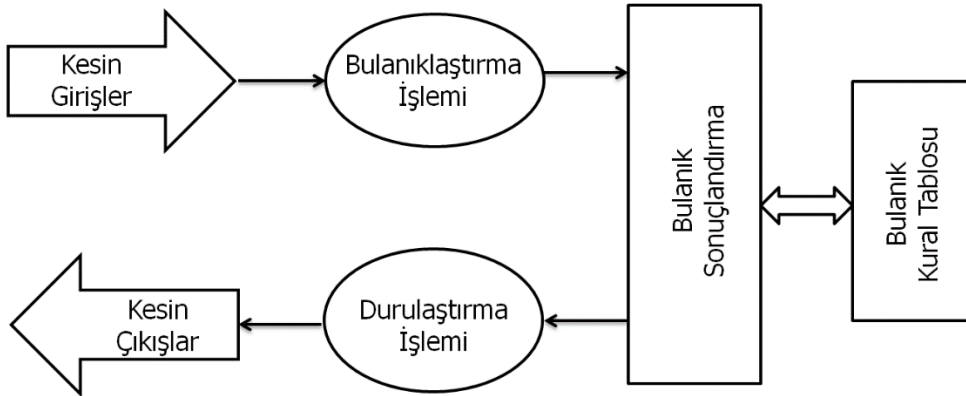
Birden fazla öneri:

Eğer A ise B değilse C \Rightarrow A ise B dir, değilse C dir.

1.6.4.2.3. Bulanık İşlemcinin Kısımları

Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı Şekil 1.38'deki gibidir. Temel olarak dört bölümden oluşur;

- ❖ Bulanıklaştırma bloğu
- ❖ Bulanık kural tabanı
- ❖ Bulanık Sonuçlandırma
- ❖ Durulaştırma bloğu



Şekil 1.38. Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı

1.6.4.2.3.1. Bulanıklaştırma Bloğu

Gerçek işaretler bu birimde bulanıklaştırılır. Yani giriş işaretleri sözel olarak “*az, çok az, fazla, çok fazla...*” ifade edilirler. Sayısal işaretleri bulanıklaştırmak için üyelik

fonksiyonlarından “*üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonu, gaussian üyelik fonksiyonu, çan biçimli üyelik fonksiyonu...*” yararlanılır. [7]

1.6.4.2.3.2. Bulanık Kural Tabanı

Kural tabanı ve veri tabanından oluşur. Bilgi ve düşüncelerin sözel ifadelerle temsil edilip saklandıkları bir birimdir. Bulanık verilerin saklandığı bir depo görevi gördüğünden aslında bulanık işlemcinin en önemli birimidir. “*eğer.....ise*” koşul cümleleri ile oluşturulan kurallar bulanık verilerin saklanmasını temin etmektedir. Bu bulanık veriler gözlem sonuçları ile birleştirildiğinde ortaya bir sonuç çıkar. Yani gözlemlerle elde edilen bir veri daha önce kurallar dizisinde depolanmış verilerle birlikte kullanılıp yeni sonuç ve kararlar alınabilmektedir.

1.6.4.2.3.3. Bulanık Sonuçlandırma

Kurallara bağlı olarak elde edilen koşullardan gerekli sonuçların çıkarıldığı bölümdür. Burada kurallara bağlı olarak elde edilen pek çok sonuç birleştirilerek tek bir sonuca indirgenir. Burada *mamdani, larsen, tsukamoto, sugeno*, gibi sonuçlandırma metotları kullanılmaktadır. *Mamdani* ve *larsen* metotlarında alanlar hesaplanırken *sugeno* ve *tsukamoto* metotlarında ağırlıklı ortalamalar hesaplanmaktadır.

1.6.4.2.3.4. Durulaştırma Bloğu

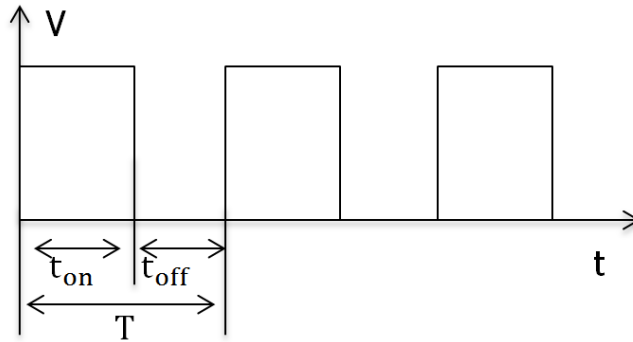
Çıkarım motorunda elde edilen sonuç bulanıktır. Bu değer sisteme uygulanabilmesi için kesin bir sayısal değere çevrilmesi gerekir. Yapılan işlem bulanık ifadeden kesin ifadeye dönüşüm işlemidir. Farklı şekillerde berraklaştırma işlemi yapılabilir. En çok kullanılan metotlar en büyüklerin ortası, ağırlık merkezi yöntemi, ortalama merkezi yöntemi ve iki bölümlü alan yöntemi metotlarıdır. [40]

1.6.4.3. Darbe Genişlik Modülasyonu

Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation - PWM) belli frekanstaki bir sinyalin çalışma oranının başka bir giriş sinyali ile kontrol edilmesi olayına denir. Diğer bir deyişle eviricideki anahtarlama elemanlarının her dalga için anahtarlama sürelerinin ayarlanmasına, her dalgadaki tetikleme anlarının artırılmasıyla ve azaltılmasıyla oluşan işaretlerin denetlenmesine darbe genişlik modülasyonu denir. Bu yöntemde giriş gerilimi ve çıkış yükü değişse bile çıkış geriliminin ortalaması istenen değerde tutulabilir. Mevcut yöntemlerden biri anahtarlama frekansını (DGM'nin periyodunu) $T = t_{on} + t_{off}$ sabit tutmak ve anahtarın t_{on} süresini değiştirerek, ortalama çıkış gerilimini istenilen düzeyde ayarlamaktır. Bu yöntem sabit frekans yöntemi olarak tanımlanır. Şekil 1.39.'da ayarlanan t_{on} süresinin T periyot süresine oranı anahtar çalışmasındaki darbe periyot oranıdır ve duty (D) olarak tanımlanır.

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (1.47)$$

Diğer bir kontrol yöntemi ise değişken frekans yöntemidir. Bu yöntemde DA eviricinin frekansı yani periyodu değiştirilir. Bu değişim sırasında t_{on} veya t_{off} sabit tutulabilir. Darbe/Periyot oranını kontrol eden bu yöntem frekans modülasyon yöntemi olarak anılır.



Şekil 1.39. DGM'de t_{on} ve t_{off} sürelerinin gösterimi

Frekans modülasyonu ile darbe genişlik modülasyonu karşılaştırıldığında şu dezavantajlara sahiptir.

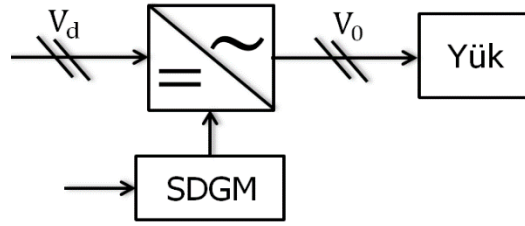
- ❖ Frekans modülasyonunda çıkış gerilimini kontrol edebilmek için DA kıyıcı frekansı geniş bir alan içerisinde değiştirilmelidir. Böyle bir geniş frekans değişikliği içinde filtre oluşturmak oldukça zordur.
- ❖ Geniş frekans bandında yeterli filtre sağlanamayacağından çeşitli işaretler ile istenmeyen parazitlerin ortaya çıkma ihtimali yüksektir.
- ❖ DA kıyıcının kesimde olduğu t_{off} süresinin uzun tutulması yük akımının sürekliliğini engelleyen bir durum oluşturur. Bu da DA kıyıcılarında motor akımının kesintili olmasına neden olur. Böyle bir çalışma motorun sarsıntılı çalışmasına neden olacağından istenmeyen bir durum ortaya çıkar. Bu durumda DGM yöntemi frekans modülasyon yönteminden daha iyidir.

Kare dalga eviricilerde, giriş geriliminin DGM tekniği kullanılmadan ayarlanması ile yapılan uygulamalarda anahtarlama güçlükleri meydana gelir. Çünkü anahtarlama için gerekli olan söndürme kondansatörlerinin gerilimi, doğrudan evirici girişindeki DA gerilim ile orantılıdır. Doğru akım ara devresinin küçük gerilimlerde dahi tam yük akımını söndürebilmek için anahtarlama düzenlerinin oldukça büyük seçilmeleri gerekir. Bu durum ise evirici devrelerine ek maliyetler yükler. Bu sorunları ortadan kaldırmanın bir yöntemi de doğrultucudan sağlanan DA geriliminin DGM yöntemiyle kesilerek çıkışta elde edilen gerilimin temel bileşenlerinin evirici içerisinde kontrol edilmesidir. Diğer bir deyişle evirici girişindeki DA gerilimi değiştirmeksizin, evirici çıkış geriliminin DGM yöntemiyle ayarlanmasıdır.

Ayrıca bir periyot içinde anahtarlama elemanları birçok kez uygun darbe periyot oranı değerlerinde uygulanarak harmonik bastırma işlemlerinde uygulanabilir. Bu yöntemin en olumsuz özelliği doğrultucudan sağlanan doğru gerilimden tam olarak faydalanılamamasıdır. Bu olumsuzluk, faz gerilim dalgasına fazlar arası gerilim üzerinde bozucu etkisi olmayan bir miktar ilave etmekle azaltılabilir. Bunun sebebi 3. harmonikler sistemin 3 fazlı olması nedeniyle fazlar arası gerilimde bastırılmış olacaktırlar. Bunun sonucu olarak DA kaynak geriliminden daha fazla faydalanma imkânı sağlanır. DGM kontrolünde iki yaklaşım söz konusudur. Kontrol sistemi, gerilim kontrollü DGM ya da akım kontrollü DGM kontrol metodlarından oluşur. Literatürde gerilim kontrollü DGM açık döngü kontrol tekniği, akım kontrollü DGM ise kapalı döngü kontrol tekniği olarak da adlandırılır.

1.6.4.3.1. Gerilim Kontrollü Darbe Gerilim Modülasyonu

Açık kontrol tekniğinde bir referans giriş gerilimi alınarak sistemin sürekliliği gerçekleştirilir. Bu teknikte alınan giriş referans gerilimi işaretin farklı bir üçgen dalga işareti ile karşılaştırılması sonucu taşıyıcı temelli DGM (PWM) oluşur. Referans işaret olarak bir sinüs dalgası kullanıldığı için SDGM biçiminde de tanımlanmaktadır. [36]



Şekil 1.40. Gerilim kontrollü DGM blok seması

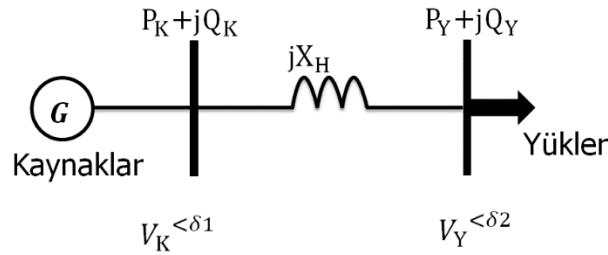
1.6.4.3.2. Akım Kontrollü Darbe Gerilim Modülasyonu

Bu kontrol metodu aynı zamanda kapalı döngü DGM kontrol tekniği diye de adlandırılır ve stator vektör akımı için ya da stator akı vektörü için bir geri döngü kontrol yapılarak gerçekleştirilir. Akım kontrollü DGM, geleneksel gerilim kaynaklı DGM'ye kontrol çıkış akımı sağlamak amacıyla akım-düzenleme (ayarlama) döngülerinin eklenmesi ile oluşturulur. Bu kontrol tekniği lineer olmayan yükler için yeterince hızlıdır.

Akım kontrolü değişik formlarda olabilir. Genellikle sinüzoidal bir referans akım dalga şekli üretilir ve bu dalga motorun gerçek ölçülen akımı ile birlikte karşılaştırıcıyı besler. Eğer motorun faz akımı, referans akım değerinden daha pozitif ise üst kısımdaki elemanlar kesime, alt kısımdaki elemanlar ilettime geçerek motorun akımının azalması sonucunu doğurur. Karşılaştırıcı ölü bant "histerisiz" genişliği vardır. Bu bant eviricinin anahtarlama başlamadan önceki izin verilen referans akım ile gerçek akımı arasındaki farkı belirler. Böylece gerçek akım, referans akımı, faz gecikmesi ve önemli hata büyüklüğü olmadan izler. Üç fazlı sistemlerde, genellikle her faz için ayrı akım kontrolü vardır. Evirici bacağındaki anahtarlamanın başarısı için anahtarlar arasında gecikme oluşturan standart harici bir devreye ihtiyaç vardır.

1.7. Gerilim Regülasyonu ve Güç Sürekliliği

Güç sürekliliği, bir enerji sisteminin normal işletme koşullarında çalıştığı sürede bozucu bir etkiye maruz kaldığında yeni bir denge noktasına ulaşma kabiliyeti olarak tanımlanır. Gerilim kararlılığı ise normal işletme koşullarında veya bozucu etki sonrası sistemdeki tüm baralarda gerilimlerin belli bir değerde tutulabilmesi yeteneğidir. Analiz amacıyla gerilim kararlılığını iki alt grupta sınıflamak yararlı olur. Bunlardan ilki büyük bozulma gerilim kararlılığıdır. Örnek olarak sistem arızaları, üretim kaybı gibi olaylar büyük bir bozucu etki sonrası sistemin gerilimlerinin kontrol edilebilmesi yeteneğidir. İkinci alt grup olan küçük bozulma gerilim kararlılığı ise yükteki azalma ve artmalardaki hızlı değişimler gibi küçük bozucu etki sonrası sistemin gerilimlerinin kontrol edilebilmesi durumudur.[46] Bu tez çalışmasında küçük bozulma gerilim kararlılığı üzerinde durulup bunlara çözüm yöntemleri ileri sürülmüştür. Şekil 1.41.'de hat zerinden basit bir güç iletim şeması görülmektedir.



Şekil 1.41. Basit güç iletim şeması

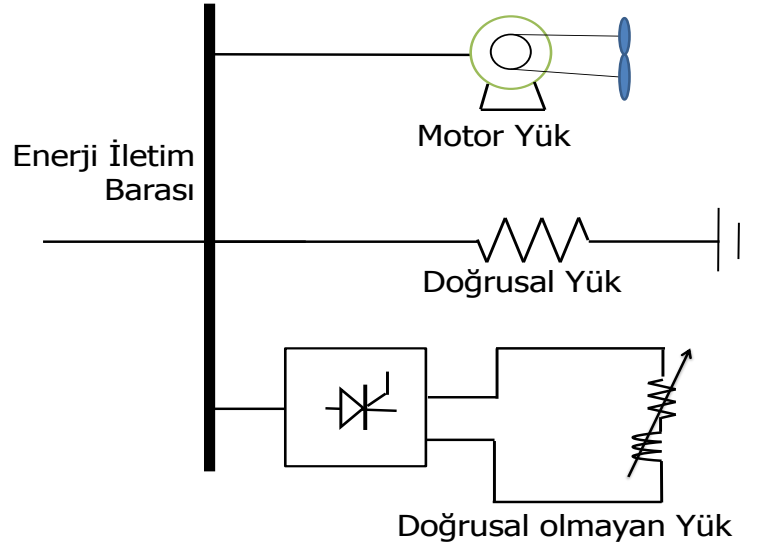
Güç sürekliliği analizi, Bu tez çalışmasında da kullanıldığı gibi Kaynaklar-Yükler basit modeli temel kavramları açıklamak için kullanılabilir.

$$P_Y = \frac{V_K * V_Y}{X_H} * \sin \delta \quad (1.48)$$

Burada P_Y ve Q_Y yüklere ait toplam aktif ve reaktif gücü P_K ve Q_K kaynaklara ait aktif ve reaktif gücü V_K ve V_Y kaynak ve yük baralarına ait gerilim genliklerini δ_K ve δ_Y ise kaynak ve yük baralarına ait gerilim açılarını, X_H hat reaktansını ifade etmektedir.

1.8. Yükle

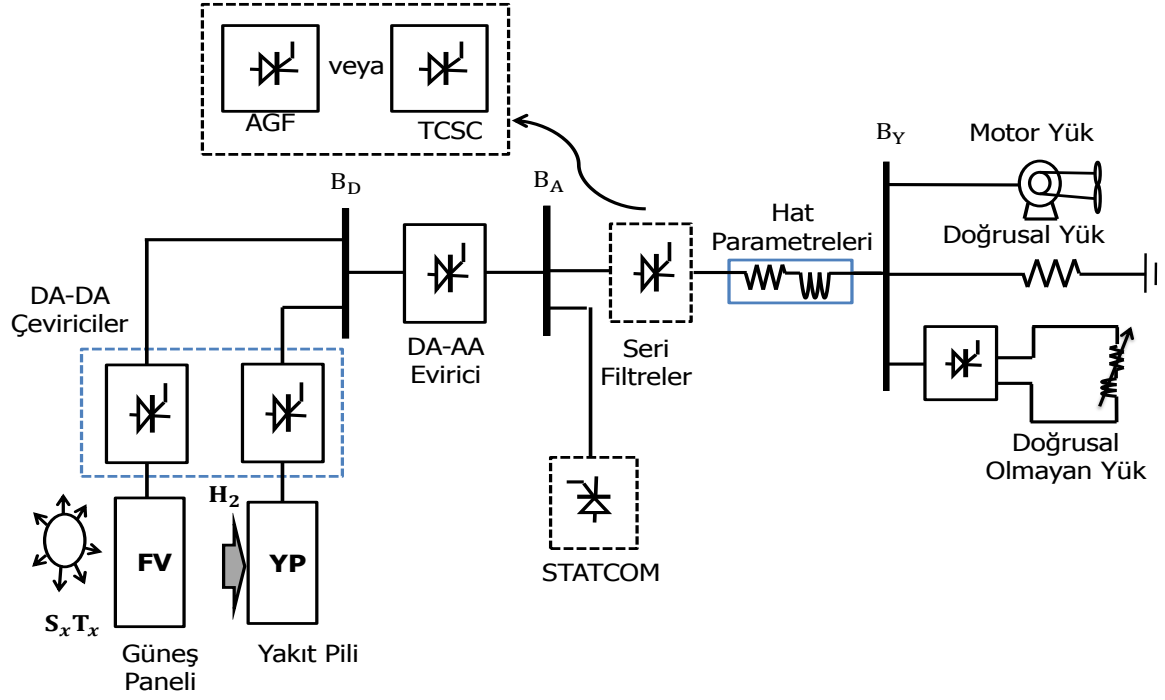
Mevcut teknolojik gelişmelerle beraber hassas ve kritik öneme sahip elektriksel yüklerin artması bu yükler, gerilimin kalitesi ve güç sürekliliğinin önemini arttırmıştır. Farklı yükler, farklı gerilim değişmelerine değişik davranış karakteri gösterebilir. Bu tez çalışmasında üç farklı karakteristiğe sahip yük kullanıldı. Bunlardan ilki sabit R-L yüküdür. Bu sabit yüklerle örnek olarak yaygın olarak kullanılan aydınlatma sistemleri, ısıtma sistemler ve ark ocakları verilebilir. Zamana bağlı olarak R-L değerinde değişiklik olan ve sinüsoidal gerilimde bozucu etki bırakan doğrusal olmayan yükler enerji iletim sistemlerinde değişik alanlarda kullanılmaktadır. Non-lineer yük olarak da anılırlar. Üçüncü tip yük olarak, günümüzde çok geniş bir kullanım alanı olan ve sabit güç alması gereken asenkron motorlardır. Büyük ve küçük ev aletlerinin yanı sıra çok yüksek güçlü olarak endüstri kullanım yerleri de mevcuttur.



Şekil 1.42. Motor yükü, doğrusal yük ve doğrusal olmayan yüklerin tek hat şeması

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

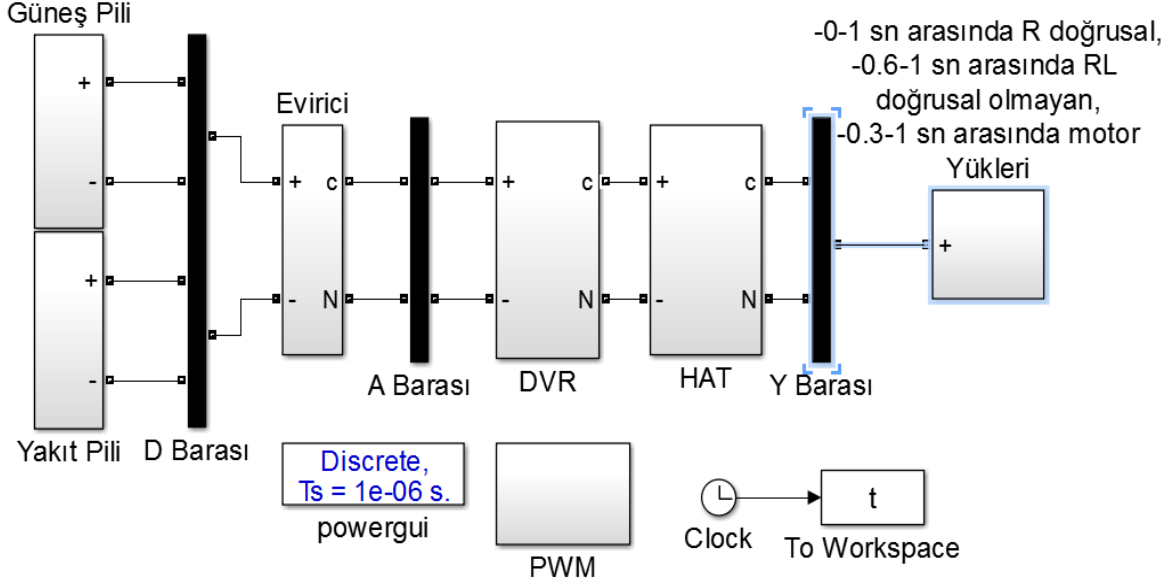
2.1. Giriş



Şekil 2.1. Kurulan sistemin tek hat şeması

Kurulan sistem şebekeden bağımsız olarak çalışan bir sistemdir. Sistemin Şekil 2.1.'de gösterilen tek hat şemasındaki gibi güneşten elde edilen enerji ile yakıt pillerinden elde edilen enerji ile motor yükünü, doğrusal yükleri ve doğrusal olmayan yükleri beslemektedir. Güneş panelinden üretilen değişken değere sahip gerilim anahtarlama DA-DA çeviricisi ile sabit bir değerde tutularak B_D barasında yakıt pillerinden üretilen gerilim ile birleşmektedir. Bu barada elde edilen doğru gerilim DA-AA eviricisi üzerinden alternatif gerilime dönüştürülerek B_A barasında iletim hattına verilecek olan kaynak gerilim değerine ulaşılmaktadır. İletim hattından önce ve B_A barasından sonra filtre grupları sisteme sırasıyla dâhil edilmiştir. Bu filtre sistemlerinden birisi olan Anahtarlama Güç Filtresi (AGF/DVR) bu tezin ana konusudur. Şekil 2.2'de kurulmuş

olan enerji iletim sistemine DVR dahil edilerek yapılan Matlab/Simulink benzetim modeli görülmektedir.

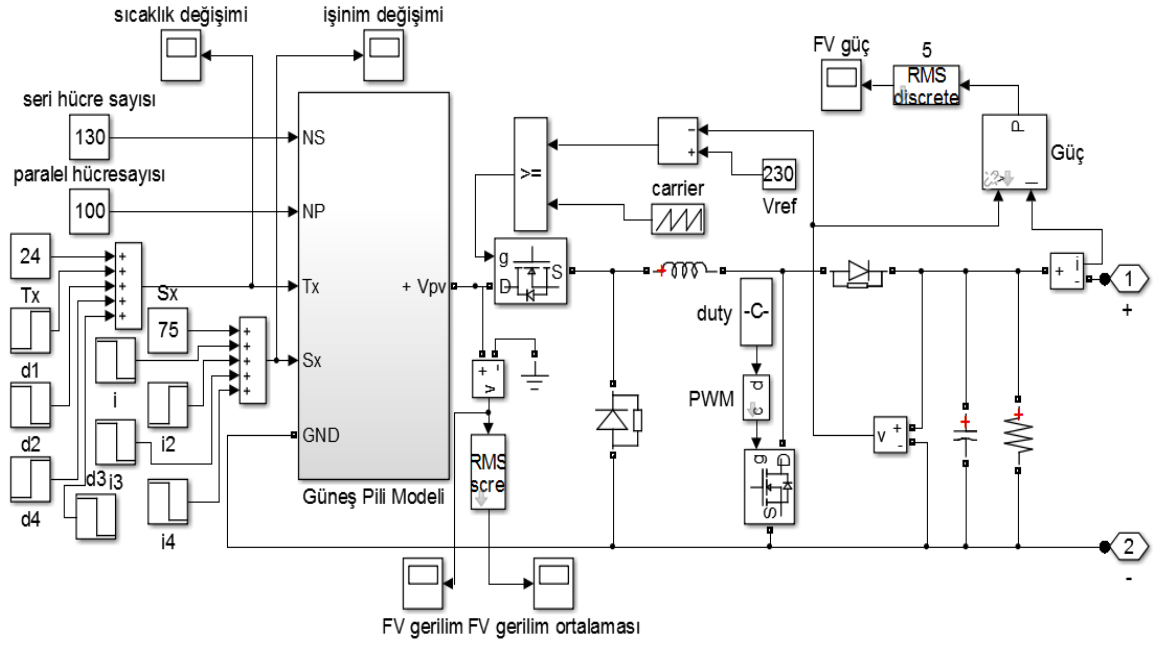


Şekil 2.2. Kurulan sistemin Simulink modeli

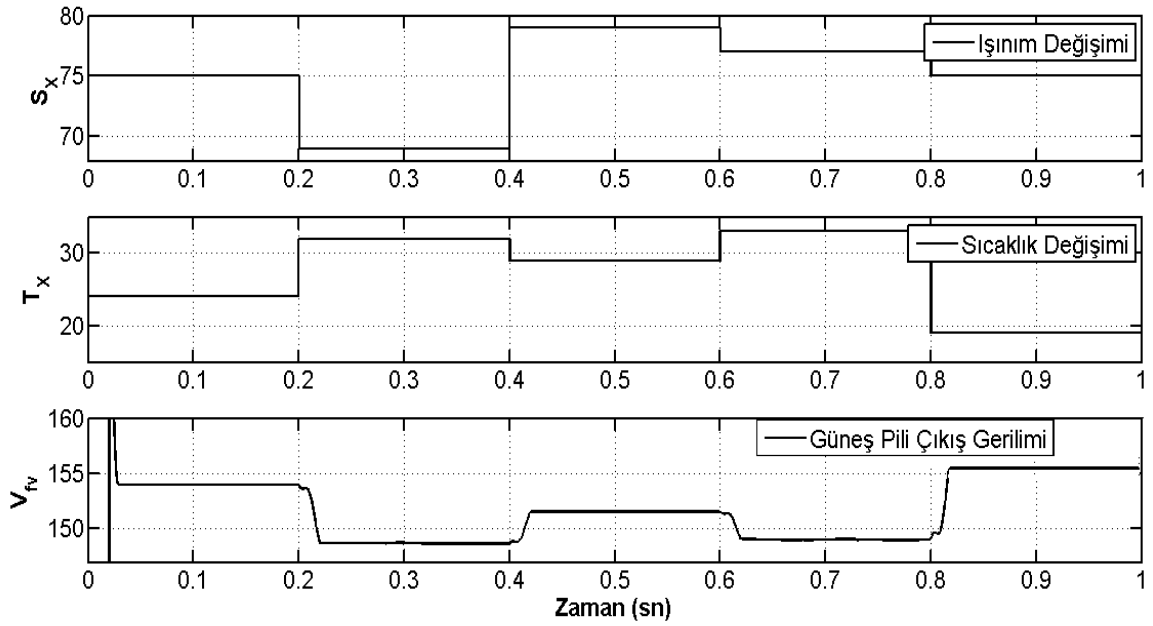
2.2. Güneş Pili Modellemesi

Literatürde kullanılan en yaygın güneş pili eşdeğer modeli Şekil 1.5.'de verilen bir akım kaynağı ile temsil edilen yapıdır. Denklem (1.5)'de ifade edilen V_{pil} eşitliği bu çalışmada kullanılan güneş pili modelinin Matlab/simulink ortamında modellenmesinde referans denklem olarak faydalanılmıştır. Bölüm 1.2.'de detaylı matematiksel modellemesi gerçekleştirilen güneş pilinin Matlab/simulink ortamında modellenmesinin ana bloğu Şekil 2.3.'de gösterilmektedir. Sistemde kullanılan güneş panelinin sıcaklık değeri 19 °C ile 34 °C arasında güneş radyasyon değeri ise 69 mW/cm^2 ile 79 mW/cm^2 arasında değişmektedir. Şekil 2.4.'de güneş panelinin sıcaklık ve radyasyon değerlerinin benzetim programı çalıştığı zaman boyunca değişimleri gösterilmiştir.

Fotovoltaik güneş panelindeki sıcaklık ve radyasyon seviyelerinin değişmesine bağlı olarak panelden üretilen gerilim değeri doğru orantılı olarak değişmeye uğrayacaktır. Benzetim programının çalıştırıldığı 1 saniyelik süre boyunca güneş panelinden elde edilen gerilim seviyesi değerindeki değişim (V_{FV}) Şekil 2.4.'de gösterilmiştir.



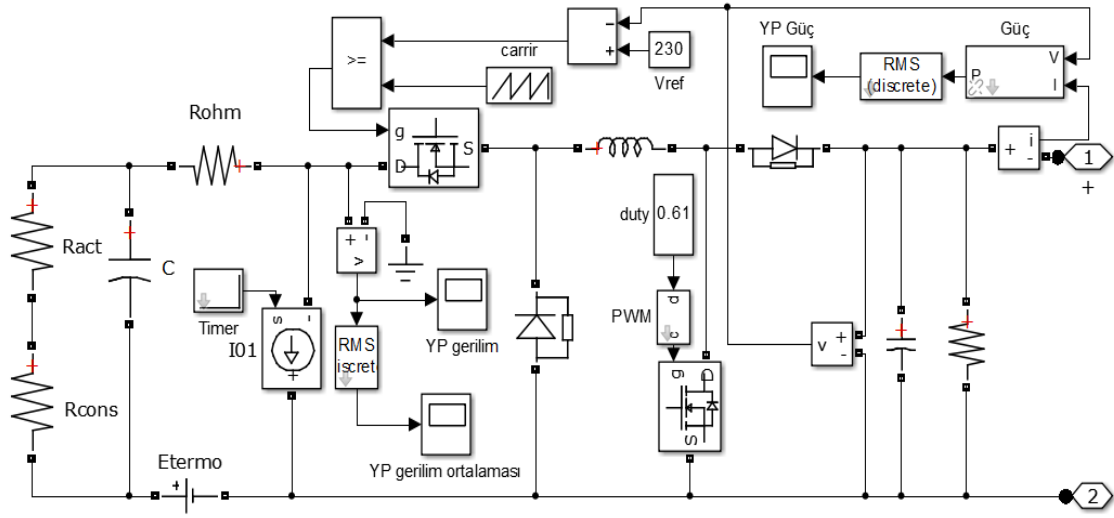
Şekil 2.3. DA-DA çevirici kullanılarak değişken sıcaklık ve radyasyon değerli Güneş Pili Matlab/Simulink Modeli



Şekil 2.4. Güneş pili sıcaklık seviyesi (T_x) ve radyasyon seviyesi (S_x) ile bunlara bağlı panel gerilim (V_{FV}) değeri değişimi

2.3. Yakıt Pilinin Modellenmesi

PEM tipi yakıt pilinin literatürde dinamik modellemesine yönelik değişik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmadan elektrik devre modelinden yola çıkılarak basit bir yakıt pili modeli kullanılmıştır. Bu modelleme gerçekleştirilirken [20-26] numaralı makalelerden yararlanılmıştır. Şekil 2.5.'de PEM tipi yakıt pilinin Simulink ortamında modellenmesi ve B_D barasına bağlanmadan önceki DA-DA çevirici gösterilmektedir.

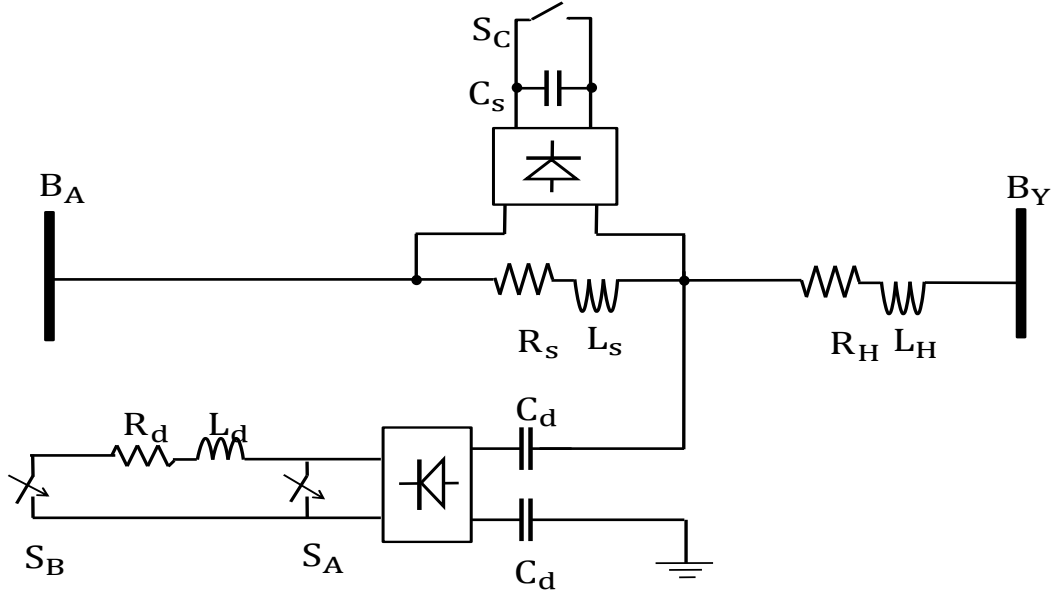


Şekil 2.5. PEM tipi yakıt pilinin Simulink DA-DA çevirici kullanılarak Ortamında modellenmesi

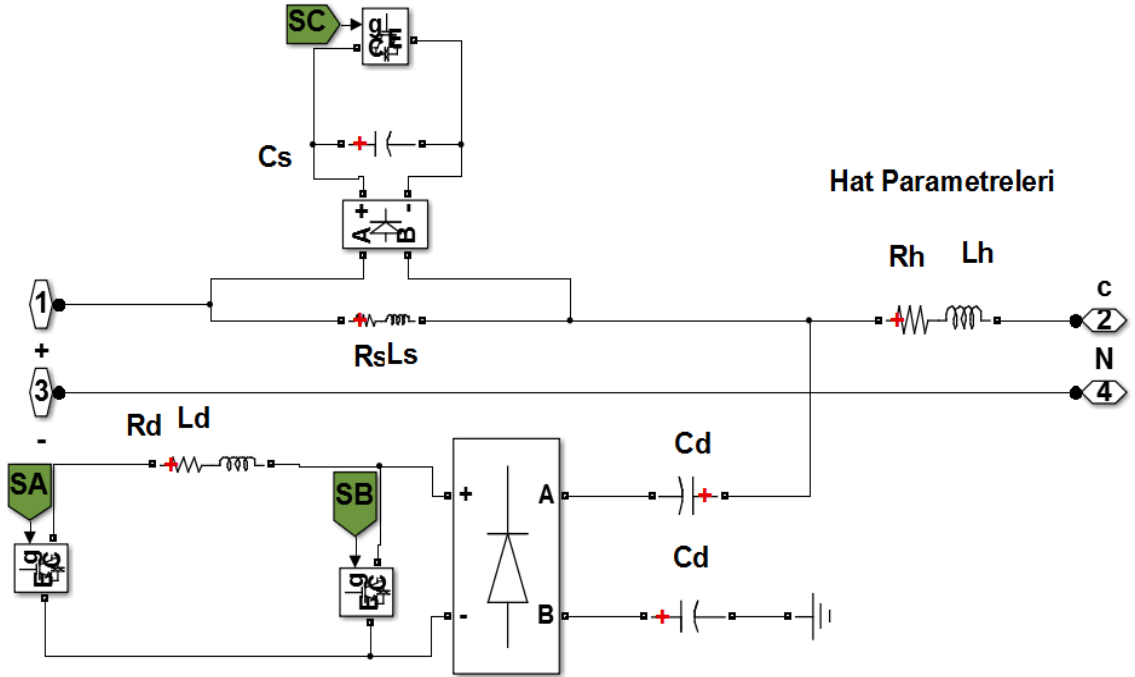
2.4. Anahtarlama Güç Filtresi

Bu tezdeki yapılan çalışmanın ana konusu olan Anahtarlama Güç Filtresinin (AGF/DVR) tek hat şeması Şekil 2.6.'da gösterilmektedir. Şekil 2.2.'de ki Kurulan sistemin Matlab/Simulink şemasında kapalı hali gösterilen DVR, B_A ve B_Y barasına bağlanan hattın arasına yerleştirilmiştir. Tek hat şemasında gösterilen C_S kondansatörü seri kompanzasyon amacı ile sisteme bulunmaktadır. C_S kondansatörü hatta bağlanan baralar arasındaki dönüşüm reaktansını azaltır, reaktif güç kaybını önler ve iletilen maksimum gücü yükseltir. Bunlarının yanında C_S kondansatörünün asıl hedefi hattın kaynaklı etkileri azaltmasıdır. Gerilim kontrolü için pek kullanılmayan seri kapasitörler reaktif güç dengesine ve gerilim değerinin dengelenmesine katkıda bulunurlar. C_S kondansatörü S_C

anahtar elemanı ile kontrol edilir. S_C anahtarı iletimde iken C_S kondansatörü kısa devre olur ve R_S ve L_S direnç ve bobin değerleri ile birlikte seri kompanzasyon etkisizleşir.



Şekil 2.6. Anahtarlamalı güç filtresi tek hat şeması



Şekil 2.7. Anahtarlamalı güç filtresi Simulink modeli

S_A ve S_B anahtarları üzerinden devreye bağlanan C_d kondansatörler ise yükler üzerindeki oluşan endüktif etkiyi kontrol etmek için yerleştirilmiştir. S_A ve S_B anahtarları biri diğerinin tersi olacak şekilde anahtarlanmaktadır. S_A anahtarı iletimde iken devreye kapasitif bir filtre bağlı etkisi gösterir fakat S_B anahtarları iletime geçinde R_d ve L_d ile birlikte kapasitellik kontrol edilerek hat üzerindeki aktif ve reaktif güç ayarlanmış olur. Şekil 2.7.'de Anahtarlamalı Güç Filtresinin Simulink modeli görülmektedir.

2.4.1. AGF Çalışma Durumları

1. *Durum*: Bu durum S_B ve S_C 'nin iletimde, S_A 'nın ise kesimde olduğu durumdur. Anahtarlamalı güç filtresi 1.Durum'da sadece Bant Geçiren paralel pasif filtre konumundadır. Şekil 2.8.'de 1. Durum gösterilmektedir. Bu konumdaki durumda Anahtarlamalı Güç Filtresinin Temel frekansta ve ayarlandığı harmonik frekansı dışındaki etkin filtre empedansı denklem takımları Denklem (2.1) - (2.3)'de gösterilmektedir.

$$Z_{filtre_{1.DURUM}} = R_d + j [X_{Ld} - X_{Cd}] \quad (2.1)$$

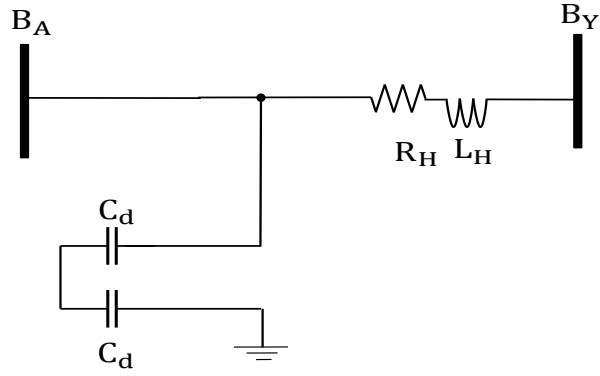
$$Z_{filtre_{1.DURUM}} = R_d + j [\omega L_d - 1/(\omega C_d)] \quad (2.2)$$

$S_B = S_C = 1$ ve $S_A = 0$ konumunda oldukları durumda oluşacak filtre empedansı;

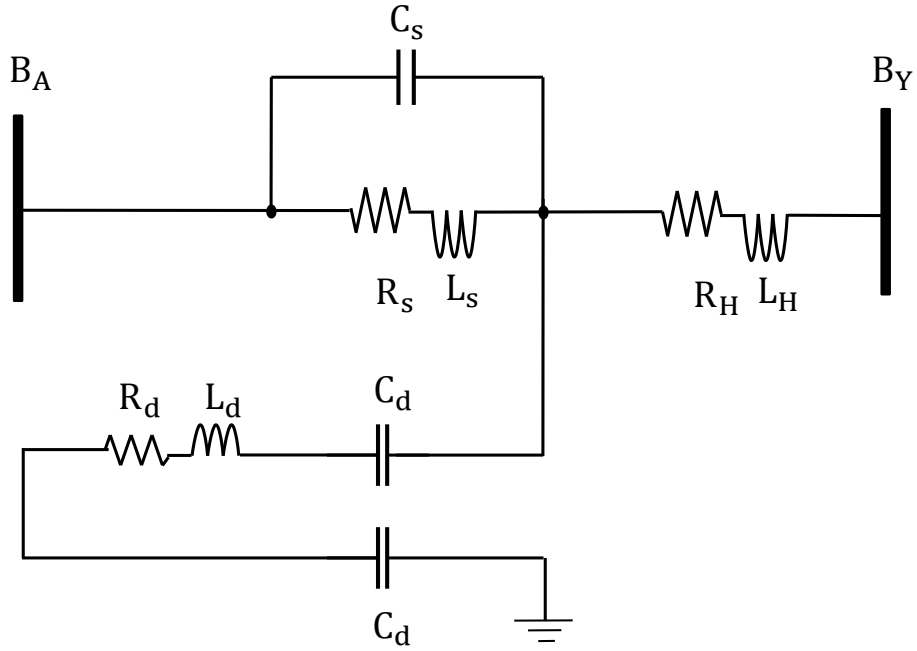
$$Z_{filtre_{1.DURUM}} = R_i - j [1/(\omega C_d)] \quad (2.3)$$

$$\omega = 2\pi F_n \quad (2.4)$$

Burada R_i , endüktans ve kapasitansta oluşan iç direnci, F_n , ise n . harmonikteki frekans değerini temsil etmektedir. Benzetim çalışması yapılırken R_d , L_d , R_s , L_s , C_d ve C_s değerleri iletim hattı parametreleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Böyle durumdaki genelde endüktif karakterli olduğundan belirli noktalarda gerilim düşümü meydana gelir. AGF'nin 1. Durumunda paralel kapasitörler reaktif güç üretirler ve geriliminin normal seviyesine yükselmesine yardımcı olurlar.



Şekil 2.8. AGF'nin $S_B = S_C = 1$ ve $S_A = 0$ anındaki durumu

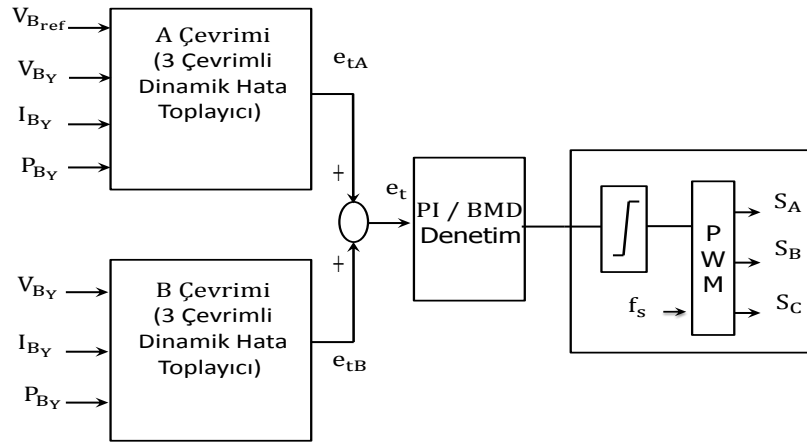


Şekil 2.9. AGF'nin $S_B = S_C = 0$ ve $S_A = 1$ anındaki durumu

2. *Durum*: Bu durumda ise S_B ve S_C 'nin kesimde, S_A 'nın ise iletimde olduğu durumdur. Şekil 2.9.'da 2. Durum gösterilmektedir. Anahtarlamalı güç filtresi 2.Durum'da hem seri kompansezyon amacı ile seri pasif filtre hemde bant geçiren paralel pasif filtre konumundadır. 1. Durumdaki bozucu etki azaltılmasının yanında seri kompansezyon ile hattın toplam empedansı da dengelemeye çalışılmaktadır.

2.4.2. AGF Denetimi

AGF'nin içerisinde bulunan S_A , S_B ve S_C anahtarları ile R_d , L_d , R_s , L_s , C_d ve C_s elemanları kontrol edilmektedir. Bu anahtarlama sinyallerinin üretildiği alt sistem Şekil 2.6.'de gösterilmiştir. Birinci üç çevrimli hata toplayıcısı ile elde edilen e_{tA} hatası ile ikinci üç çevrimli hata toplayıcısı ile elde edilen e_{tB} hatalarının toplanmasıyla elde edilen e_t toplam hata değeri Denklem (2.5) ifade edilmektedir. Elde edilen e_t hatası PI veya BMD denetleyicilerine aktarılarak hata değerinin sifıra yaklaştırılması sağlanmaktadır. PI veya BMD denetleyiciler elde edilen hata değerini sifıra yaklaştırarak PWM'in anahtarlama elemanlarına göndereceği sinyalleri üretmektedir. Bu anahtarlama sinyalleri ile yük üzerindeki gerilim değerini limitler arasında tutulmakta ve reaktif güç kontrolü yapılmaktadır. AGF modellenirken kullanılan büyüklükler Tablo 2.1.'de verilmiştir. Kullanılan bu değerler AGF'nin 1. Durum denklemleri ve 2. Durumdaki oluşan filtre takımlarının Hat parametrelerine uygunluğu göz önüne alınarak seçilmiştir. Bu değerler için birçok denemeden sonra uygun sonuçlar elde edilmiştir.

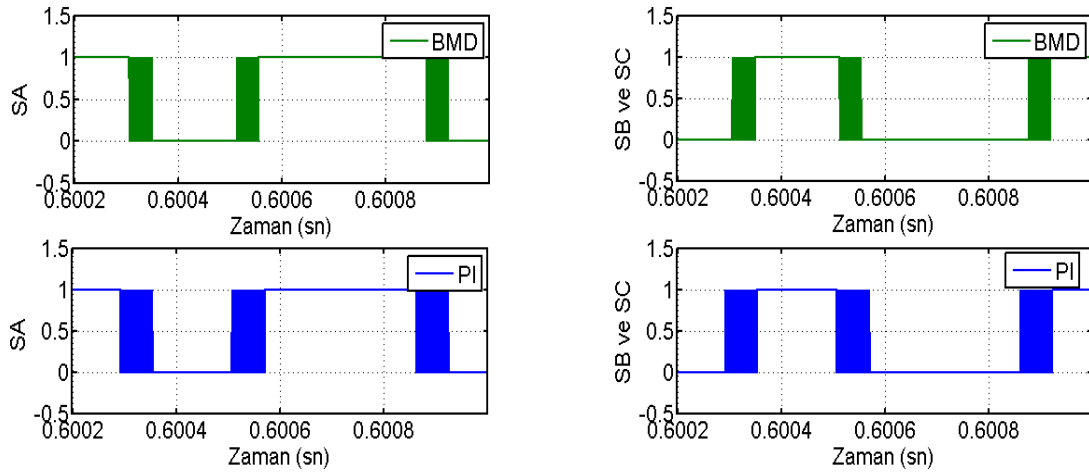


Şekil 2.10. AGF için Anahtarlama sinyallerinin üretildiği alt kısım.

$$e_t(k) = e_{tA}(k) + e_{tB}(k) \quad (2.5)$$

Tablo 2.1. AGF modellenirken kullanılan büyüklükler

AGF Parametreleri	
C_s	5000 μ F
C_d	500 μ F
L_d	1mH
R_d	4 Ω
R_s	0.2 Ω
L_s	0.3mH
f_s	250hz

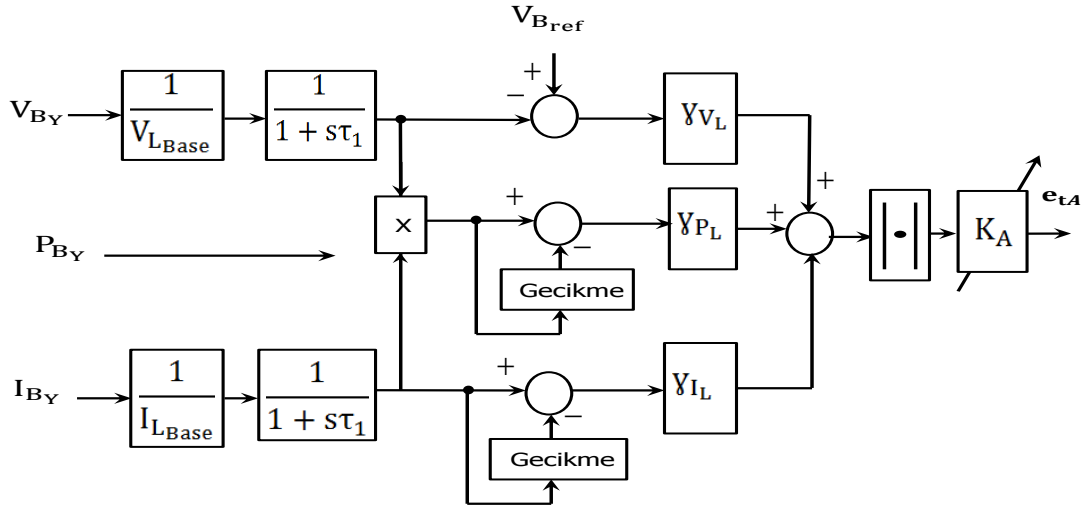
Şekil 2.11 PWM tarafından üretilen S_A , S_B ve S_C anahtarlama sinyalleri

2.5. Hibrit Üç Çevrimli Hata Toplayıcı

Bu tez çalışmasında önerilen Hibrit üç çevrimli hata toplayıcısı A ve B bölümleri olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bu iki kısım ayrı ayrı gerilim, akım ve güç hatalarının toplamı ile hata işaretleri üretmektedir. K_A ve K_B çevrimlerinde üretilen e_{tA} ve e_{tB} hata değerlerinin toplanmasıyla toplam hata değeri olan e_t elde edildiğinden bahsedilmiştir.

1. *A Kısım* – *Üç Çevrimli Hata Toplayıcısı*: Sistemin B_Y barasından alınan gerilim değeri referans (taban) değerine bölünerek birim (pu) değeri elde edilir. Daha sonra bir alçak filtreden geçirilir. Elde edilen işaret 1 pu değeri ile kıyaslanır. Elde edilen değer gerilim katsayısı ile çarpılır. Buradan çıkan gerilim hata değeri toplanmak üzere toplama noktasına gönderilir. Sistemin B_Y barasından alınan akım değeri referans (taban) değerine

bölünerek birim (pu) değer elde edilir. Daha sonra bir alçak filtreden geçirilir. Daha sonra bu işaret $t_1 = 5\text{ms}$ 'lik bir gecikme ile bir önceki değeri ile kıyaslanır. Daha sonra bu değer bir akım katsayısı ile çarılır. Buradan alınan akım hatası da yine toplanmak üzere toplama noktasına gönderilir.



Şekil 2.12. Üç çevrimli e_{tA} hata toplayıcısı

Akım ve gerilim değerleri taban değere bölünüp alçak filtreden geçirildikten sonra gücün etkin değeri elde edilir. Güç için $t_2 = 0.1\text{s}$ 'lik'lik bir gecikmeyle bir önceki değerle kıyaslama yapılır. Çıkan sonuç bir güç kuvvetlendiricisi ile çarpılıp toplanmak üzere toplama noktasına gönderilir. Toplama noktasına gönderilen gerilim, akım ve güç değerleri toplanarak mutlak ifadesi alınır. Son olarak değişken K_A katsayısı ile çarpılıp e_{tA} toplam hata değeri elde edilmiş olur.

$$e'_v(k) = V_{Byref}(k) - \frac{V_{By}(k)}{V_{Bybase}} * \left(\frac{1}{1+s\tau_1} \right) \quad (2.6)$$

$$e'_i(k) = \frac{I_{By}(k)}{I_{Bybase}} * \left(\frac{1}{1+s\tau_2} \right) - \left(\frac{I_{By}(k)}{I_{Bybase}} * \left(\frac{1}{1+s\tau_2} \right) \right)_{t_1 \text{ Gecikme}} \quad (2.7)$$

$$e'_p(k) = \frac{I_{By}(k) * V_{By}(k)}{I_{Bybase} * V_{Bybase}} * \left(\frac{1}{1+S\tau_3} \right) - \left(\frac{I_{By}(k) * V_{By}(k)}{I_{Bybase} * V_{Bybase}} * \left(\frac{1}{1+S\tau_3} \right) \right)_{t_2 \text{ Gecikm.}} \quad (2.8)$$

$$e_v(k) = e'_v(k) * \gamma_{vl} \quad (2.9)$$

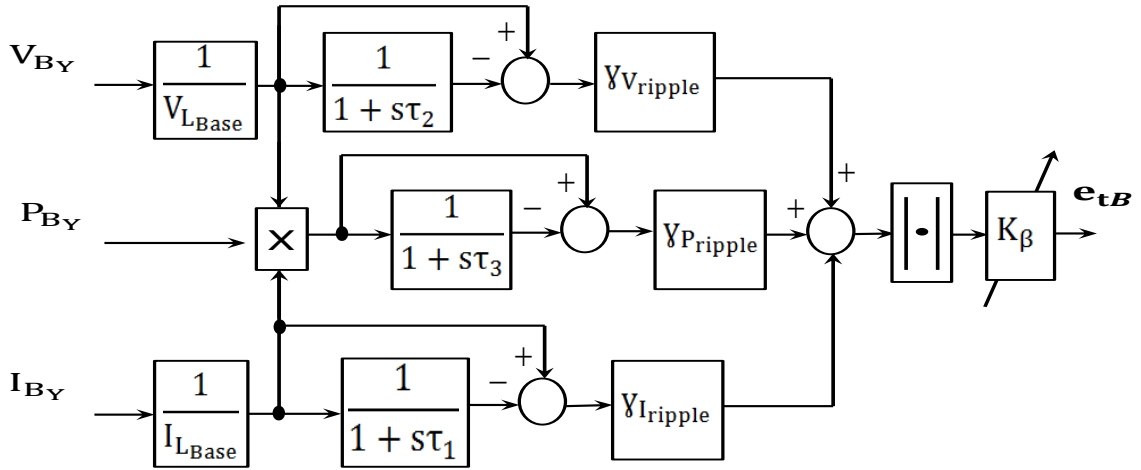
$$e_i(k) = e'_{vi}(k) * \gamma_{il} \quad (2.10)$$

$$e_p(k) = e'_p(k) * \gamma_{pl} \quad (2.11)$$

$$e_{t_A}'(k) = e_v(k) + e_i(k) + e_p(k) \quad (2.12)$$

$$e_{t_A}(k) = e_{t_A}'(k) * K_A \quad (2.13)$$

2. *B Kısmı Üç Çevrimli Hata Toplayıcısı*: Üç çevrimli e_{t_A} hata toplayıcısında olduğu gibi sistemin B_Y barasından alınan gerilim değeri referans (taban) değerine bölünerek birim (pu) değer elde edilir. Daha sonra bir alçak filtreden geçirilir. Elde edilen sonuç bir önceki değeriyle kıyaslanır ve gerilim katsayısı ile çarılır. Bu çarpım sonucu oluşan hata değeri toplanmak üzere toplama noktasına gönderilir. Aynı şekilde sistemin B_Y barasından alınan akım değeri referans (taban) değerine bölünerek birim (pu) değer elde edilir. Daha sonra bir alçak filtreden geçirilir. Elde edilen sonuç bir önceki değeriyle kıyaslanır ve akım katsayısı ile çarılır. Bu çarpım sonucu oluşan hata değeri toplanmak üzere toplama noktasına gönderilir. Taban ifadeleri bulunan akım ve gerilim değerleri çarpılarak alçak bir filtreden geçirilir. Bir önceki değeri ile kıyaslanan sinyal bir güç kuvvetlendiricisi ile çarpılıp toplanmak üzere toplama noktasına gönderilir. Toplama noktasına gönderilen gerilim, akım ve güç değerleri toplanarak mutlak ifadesi alınır. Son olarak değişken K_B katsayısı ile çarpılıp e_{t_B} toplam hata değeri elde edilmiş olur.

Şekil 2.13. Üç çevrimli e_{tB} hata toplayıcısı

$$e'_v(k) = \frac{V_{By}(k) - V_{By}(k) * \left(\frac{1}{1+s\tau_2}\right)}{V_{Bybase}} \quad (2.14)$$

$$e'_i(k) = \frac{I_{By}(k) - I_{By}(k) * \left(\frac{1}{1+s\tau_2}\right)}{I_{Bybase}} \quad (2.15)$$

$$e'_p(k) = \frac{I_{By}(k) * V_{By}(k)}{I_{Bybase} * V_{Bybase}} - \frac{I_{By}(k) * V_{By}(k)}{I_{Bybase} * V_{Bybase}} * \left(\frac{1}{1+s\tau_3}\right) \quad (2.16)$$

$$e_v(k) = e'_v(k) * \gamma_{vripple} \quad (2.17)$$

$$e_i(k) = e'_{vi}(k) * \gamma_{iripple} \quad (2.16)$$

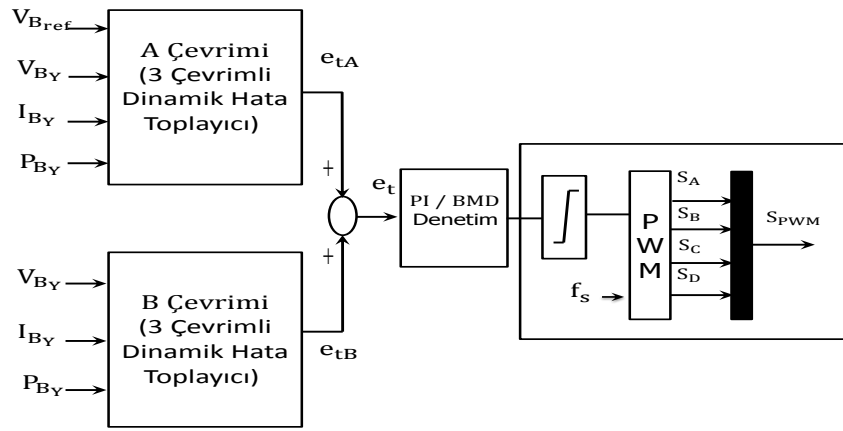
$$e_p(k) = e'_p(k) * \gamma_{pripple} \quad (2.19)$$

$$e_{tB}'(k) = e_v(k) + e_i(k) + e_p(k) \quad (2.20)$$

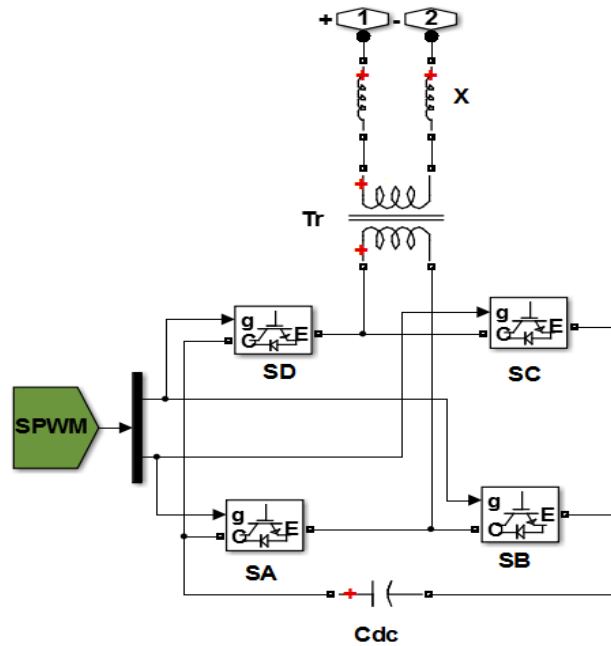
$$e_{tB}(k) = e_{tB}'(k) K_B \quad (2.21)$$

2.6. STATCOM'un Modellenmesi

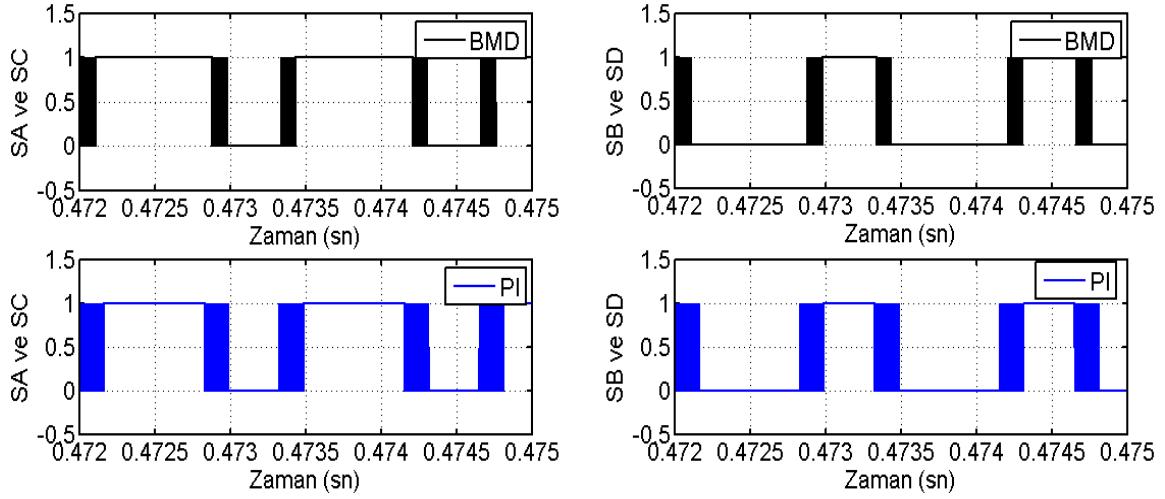
Statik Kompanzator modellenmesi yapılırken bir adet bağlantı transformatörü, bu bağlantı transformatöründe ki kaçak reaktans ifade eden R_x ve L_x direnç ve bobin elemanları, gerilim kaynağını ifade eden C_{dc} kondansatörü ve bu gerilim kaynağını dönüştürmek üzere yerleştirilmiş olan bir adet evirici kullanılmıştır. STATCOM'un Matlab/simulink ortamında modellenmesinde kullanılan genel yapısı Şekil 1.33.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.14. STATCOM için Anahtarlama sinyallerinin üretildiği alt kısım.



Şekil 2.15 STATCOM Simulink modeli



Şekil 2.16 PWM tarafından üretilen S_A , S_B , S_C ve S_D anahtarlama sinyalleri

Tablo 2.2.'de STATCOM modellenirken kullanılan büyüklükler

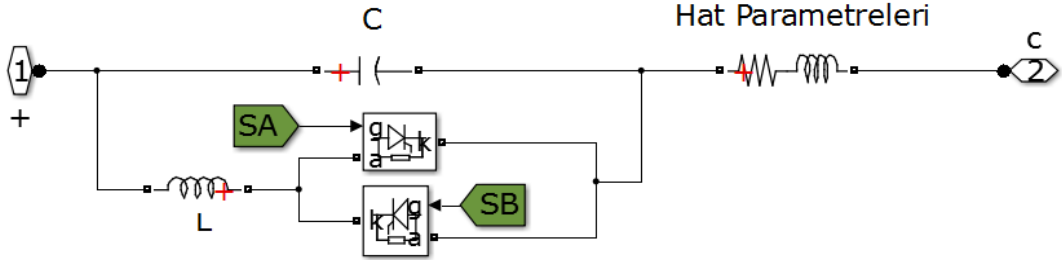
STATCOM Parametreleri	
C_k	500 μ F
L_k	1mH
R_k	4 Ω
a(Trf)	1
R_{on} (IGBT)	0.001 Ω
R_s (IGBT)	100k Ω
C_s (IGBT)	inf
f_s	250hz

Şekil 1.33.'da gösterilen kontrol işaretleri STATCOM için anahtarlama sinyallerinin üretildiği alt kısımda elde edilir. Referans bara olan $B_{Yük}$ 'den alınan anlık akım ve gerilim değerleri ile üretilen e_t hatası denetleyiciye gönderilir. Denetleyicinin çıkışındaki PWM üretici sayesinde DA/AA evirici kontrollü bir şekilde anahtarlama yapılır. STATCOM modellenirken kullanılan büyüklükler Tablo 2.2.'de verilmiştir.

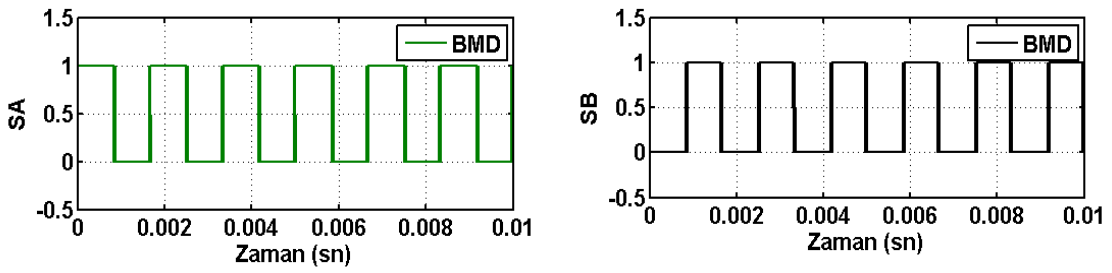
2.7. TCSC'nin Modellenmesi

Tristör Kontrollü Seri Kompanzator'un Matlab/simulink ortamında benzetimi yapılırken Şekil 1.32.'deki basit modeli referans alınarak modellenmiştir. Buradaki Tristörler Şekil 2.19.'da görülen alt sistemde üretilen anahtarlama süreleri kontrol edilir.

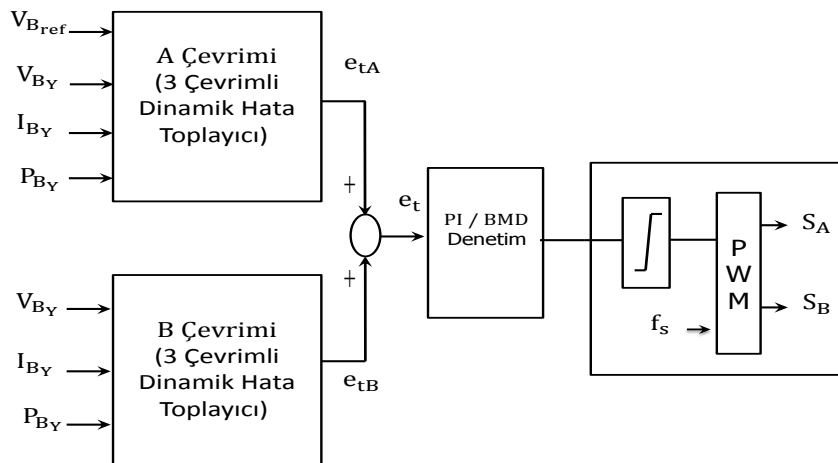
Buradaki S_A anahtarı S_B anahtarının tersi olacak şekilde tetiklenir. S_A ve S_B anahtarının BMD kullanılarak elde edilmiş örnek anahtarlama süreleri Şekil 2.18’de gösterilmektedir. TSCS’nin modellenmesinde kullanılan büyüklükler Tablo 2.3.’de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. TCSC Simulink Modeli



Şekil 2.18 PWM tarafından üretilen S_A ve S_B anahtarlama sinyalleri



Şekil 2.19. TCSC için anahtarlama sinyallerinin üretildiği alt kısım

Tablo 2.3. TCSC’de kullanılan Büyüklükler

TCSC Parametreleri	
C	800 μ F
L	1 mH
R	3 Ω
f_s	250hz

2.8. PI Denetleyici Modellenmesi

Kurulan sistemde kullanılmış olan PI türü denetleyicinin parametreleri Tablo 2.4.’de gösterilmiştir. Bu parametreler e_t hatasını en optimum bir şekilde kontrol ederek PWM göndermektedir. PI denetleyici parametre değerleri birçok denemenin sonunda en ideal değerler bulunarak belirlenmiştir.

Tablo 2.4. PI denetleyici parametreleri

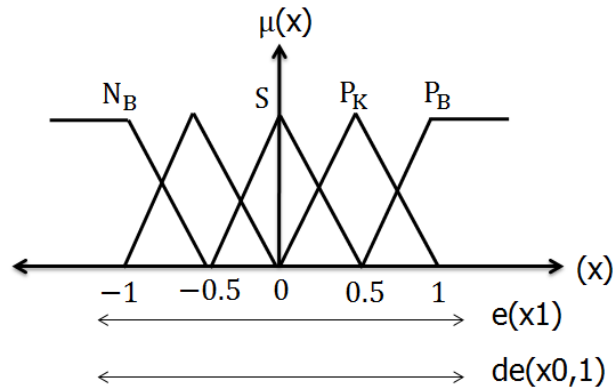
P	0.15
I	0.7

2.9. Bulanık Mantık Denetleyici Modellenmesi

Kurulan sistemde denetleyici olarak kullanılan Bulanık Mantık Denetiminin içyapısı Matlab/Simulink ortamında üçgen üyelik fonksiyonları simulink modeli, bulanıklaştırma işlemi simulink modeli, kuralların işlendiği kısmın simulink modeli, durulaştırma işleminin simulink modeli ve giriş-çıkış değişkenlerinin yer aldığı kısmın olarak modelleme gerçekleştirilmiştir. Bu gerçekleştirme yapılırken [19] numaralı kaynaktan yararlanılmıştır.

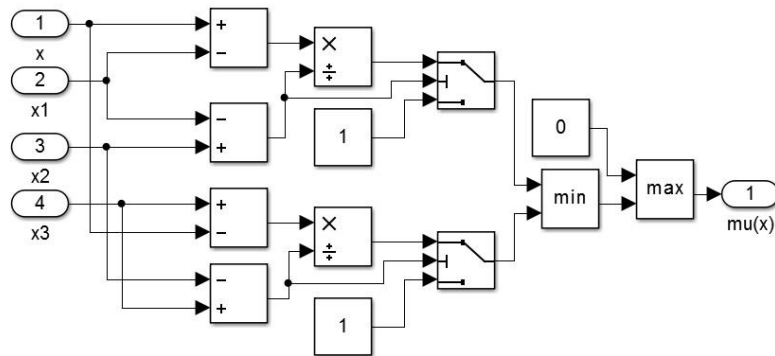
Tablo 2.5. BMD Kural Tablosu

de e	NB (Negatif Büyük)	NK (Negatif Küçük)	S (Sıfır)	PK (Pozitif Küçük)	PB (Pozitif Büyük)
NB	NB	NB	NK	NK	S
NK	NB	NK	NK	S	PK
S	NK	NK	S	PK	PK
PK	NK	S	PK	PK	PB
PB	S	PK	PK	PB	PB



Şekil 2.20. BMD üçgen üyelik Fonksiyonları

Bulanık Mantık Denetiminde girilen kesin değerlerin bulanıklaştırılmasında kullanılan üçgen üyelik fonksiyonlarının şekli görülmektedir. Giriş üzerinden elde edilen üyelik değerlerinin minimum değerleri alınarak bütün kurallar için ağırlık çarpanları belirlenir.

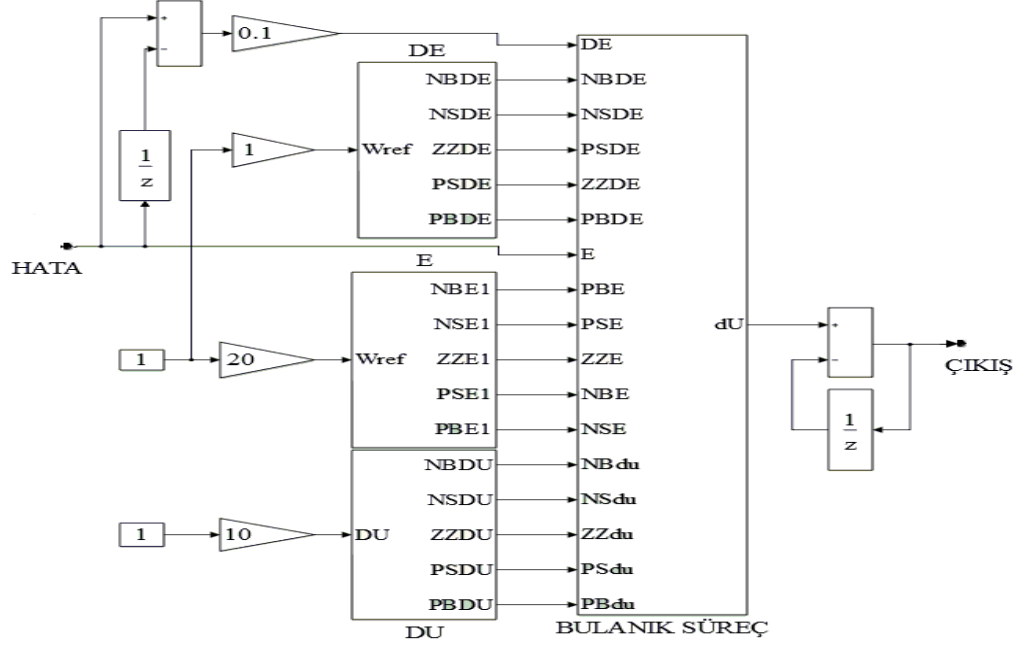


Şekil 2.21. BMD üçgen üyelik Fonksiyonları simulink modeli

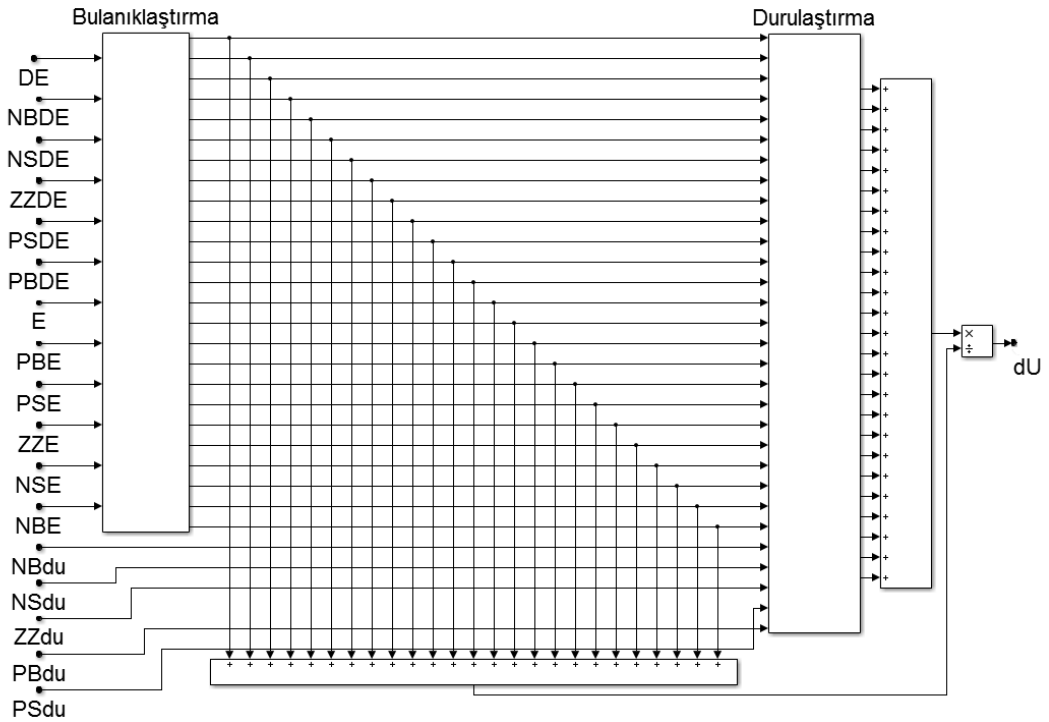
Giriş bölümünün 1.6. bölümünde gösterilen Denklem (1.45-1.46)'da ki üçgen üyelik fonksiyon eşitliğinin Simulink modeli Şekil 2.21'de gösterilmiştir.

Bulanıklaştırma kısmında belirlenen ağırlık çarpanları daha sonra kuralların yer aldığı durulaştırma kısmına gönderilir. Bu kısımda kesin değerler ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak bulunur. BMD kontrolörünün çıkışı bu kesin değerlerdir. Şekil 2.22.'de gösterilen simulink modelinde BMD'nin giriş ve çıkış blokları ile toplam hata ve bu

hatadaki değişimden nasıl denetleme işlemi yapıldığı belirtilmiştir. Son kısımda ise BMD'nin sisteme olan etkisinin bir integral alıcısının etkisine benzetilmiştir.



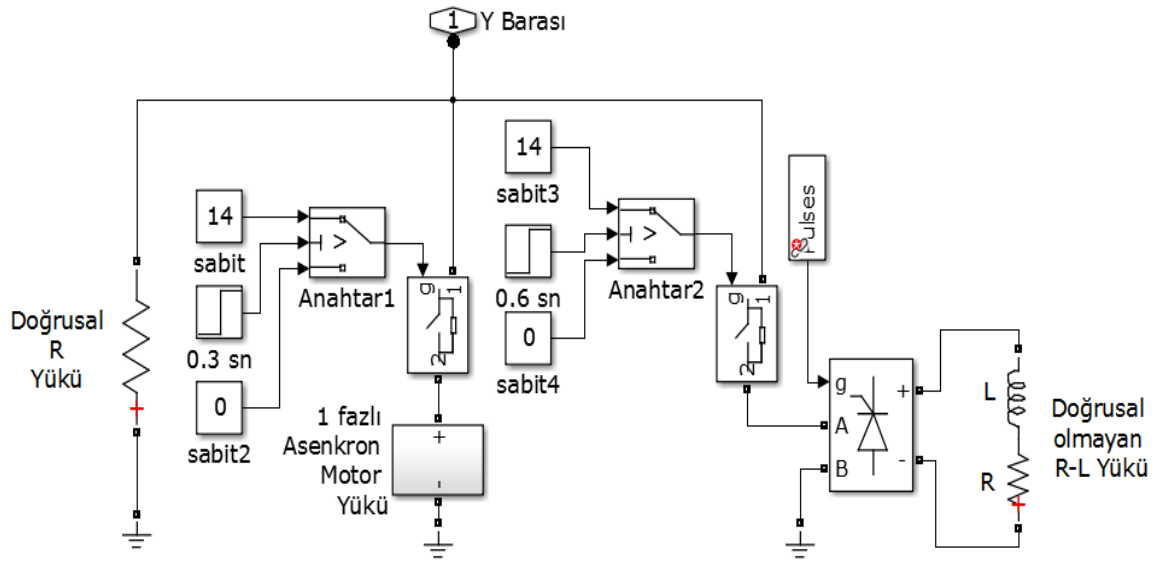
Şekil 2.22. BMD'nin giriş ve çıkış blokları



Şekil 2.23. Bulanıklaştırma ve Durulaştırma işlemi simulink modeli

2.10. Sistemde Kullanılan Yüklerin Modellenmesi

Sistemde benzetim süresi boyunca 4KW'lık doğrusal R yükü, 0.3-1 saniyeleri arasında yaklaşık 500W değerinde motor yükü ve 0.6-1. saniyeler arasında sisteme dâhil olan 300W-400Var değerinde doğrusal olmayan ve sisteme aşırı bozucu etki yapan R-L yükleri kullanılmıştır. Yüklerin Matlab/Simulink ortamındaki benzetimi ve anahtarlama elemanları Şekil 2.24'de gösterilmiştir.

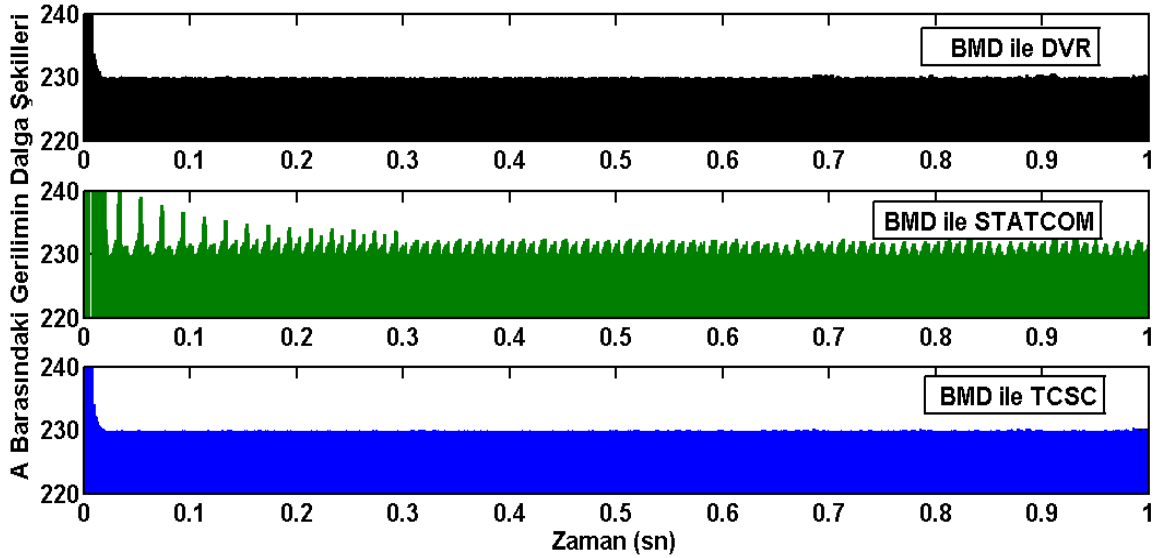


Şekil 2.24 Sistemde kullanılan yüklerin Simulink modeli

3. BULGULAR

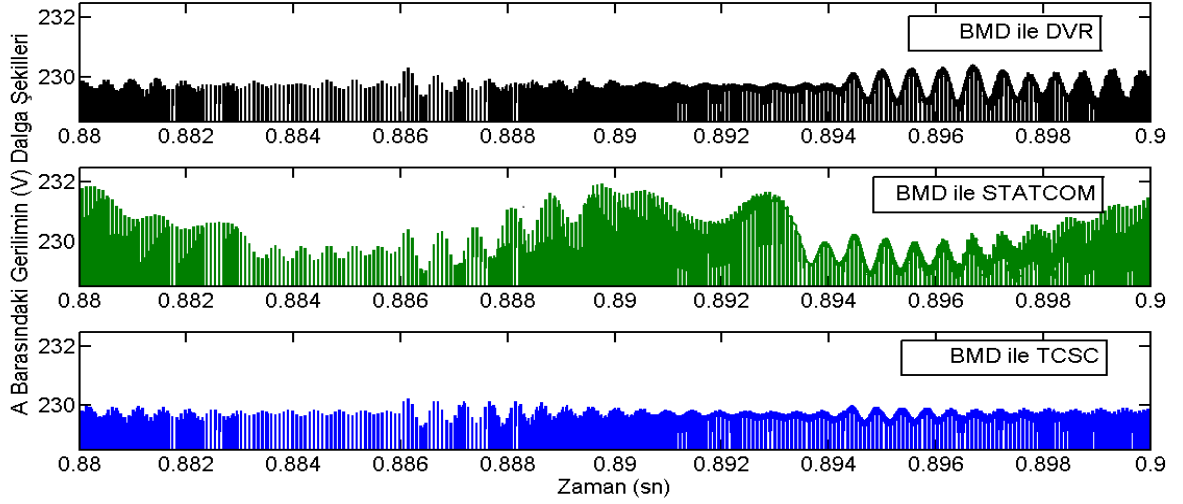
Bu tez çalışmasında Şekil 2.1.'deki gibi kurulan sistemde değişken ısınım ve radyasyon seviyeleri altında çalışan güneş pili ve yakıt pili ile birlikte doğrusal, doğrusal olmayan ve notor yükleri beslenerek PI ve BMD denetleyicili benzetim sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen bu sonular ile DVR, STATCOM ve TCSC'nin karşılaştırmaları yapılmıştır. Ayrıca BMD ile PI türü denetleyicilerin sonuçları da karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar elde edilirken DVR için Şekil 2.11, STATCOM için Şekil 2.16 ve TCSC için ise Şekil 2.18'deki anahtarlama sinyalleri kullanılmıştır. Bu anahtarlama sinyalleri ise DVR için Tablo 2.1, STATCOM için tablo 2.2 ve TCSC için ise Tablo 2.3'deki değerler referans alınmıştır.

Bulanık Mantık Denetleyici ile çalıştırılan sistemin A barasındaki, yani işletim hattından önceki baradaki gerilim değerleri Şekil 3.1'de görülmektedir. Burada başlangıç anında STATCOM yerleştirilmiş sistemin özellikle başlangıç anında DVR ve TCSC'ye göre daha düzensiz bir gerilim karakteri oluşturduğu görülmektedir.



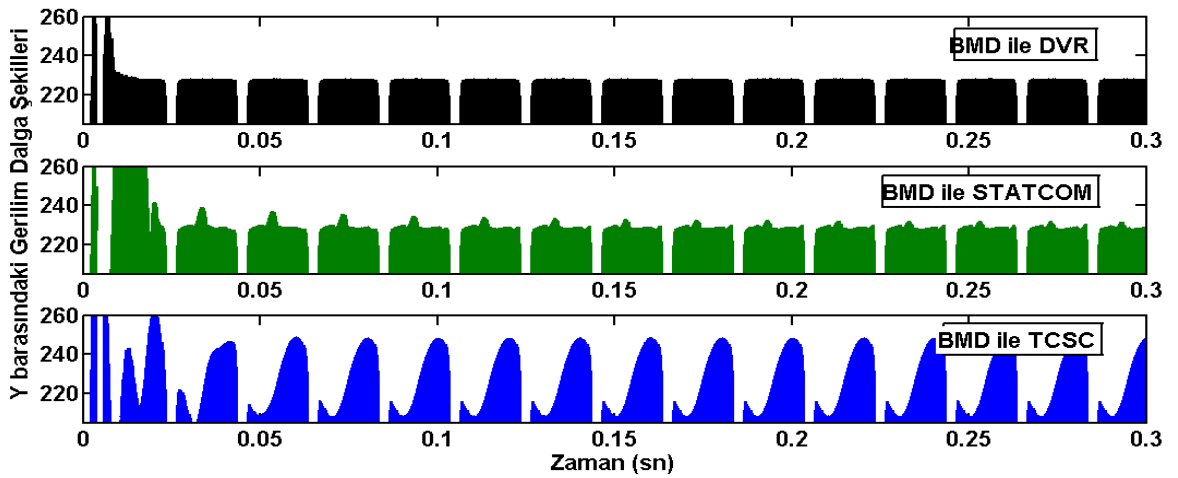
Şekil 3.1 BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TSCS'nin A barasındaki Gerilim dalgalanmalarına etkisi

Bulanık Mantık Denetleyici ile çalıştırılan sistemin A barasındaki gerilim dalga şekillerinin yük olarak doğrusal, doğrusal olmayan ve motor yükünün bağlanmış olduğu 0.88-0.9. saniyeler arasındaki dalga şekilleri Şekil 3.2’de görülmektedir. Yük karakterine bağlı olarak DVR ve TCSC’nin STATCOM’a göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.



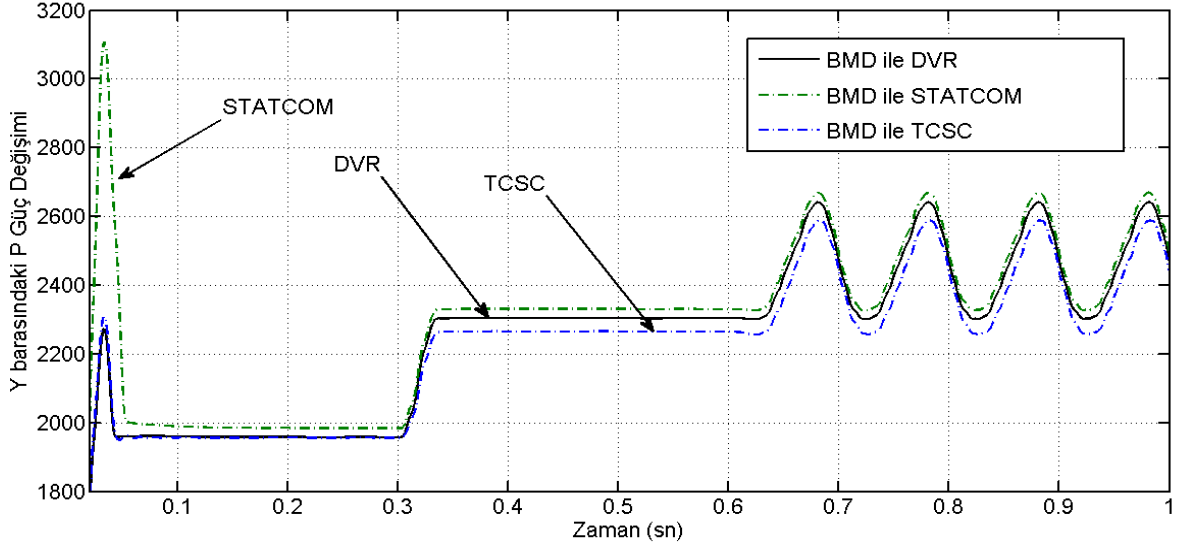
Şekil 3.2 BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TCSC’nin 0.88-9 saniyeleri arasındaki A barasındaki gerilim dalgalanmalarına etkisi

Yük üzerine etki edecek gerilimin oluştuğu Y barasında gerilimlerin değişimleri Şekil 3.3’de gösterilmektedir. Bu tez çalışmasında önerilen DVR ile elde edilen gerilim dalgasının TCSC ve STATCOM’a göre daha düzenli olduğu görülmektedir.



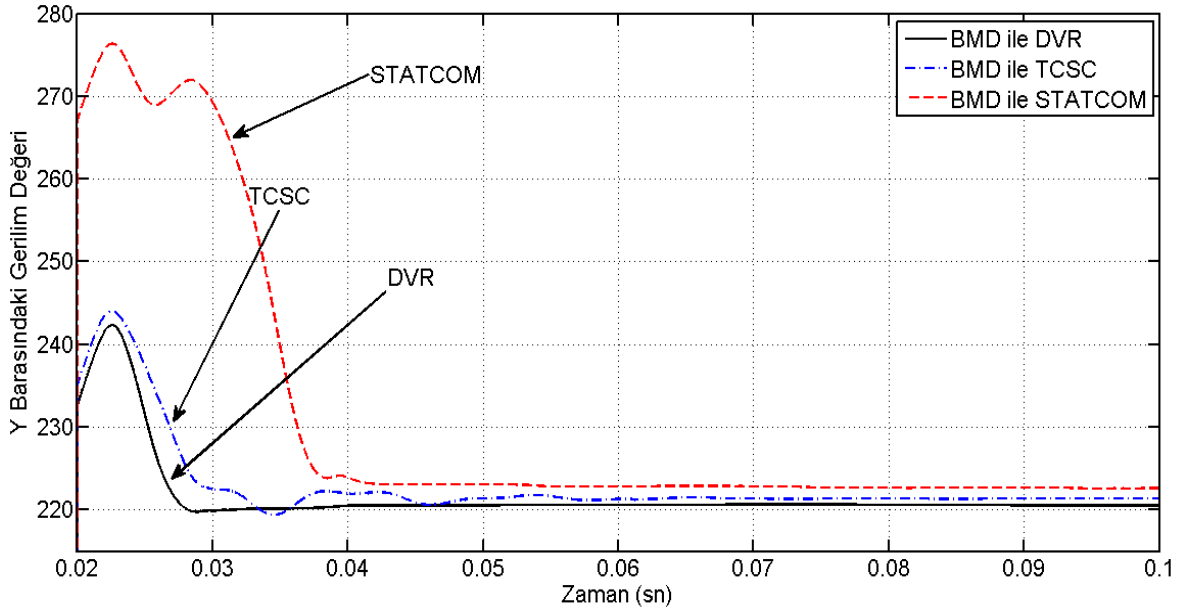
Şekil 3.3 BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TCSC’nin 0-0.3 saniyeleri arasındaki Y barasındaki gerilim dalgalanmalarına etkisi

Y barasındaki Aktif Gücün simülasyon programının çalıştırıldığı süre boyunca ki değişimi Şekil 3.4’de görülmektedir. Bu şekilde, başlangıç çalışma anındaki akım ve gerilimin dengesiz aktarılması sonucu güç değerindeki ani değişimler görülmektedir. DVR ve TCSC, STATCOM’a göre daha düzenli bir gerilim vermektedir.



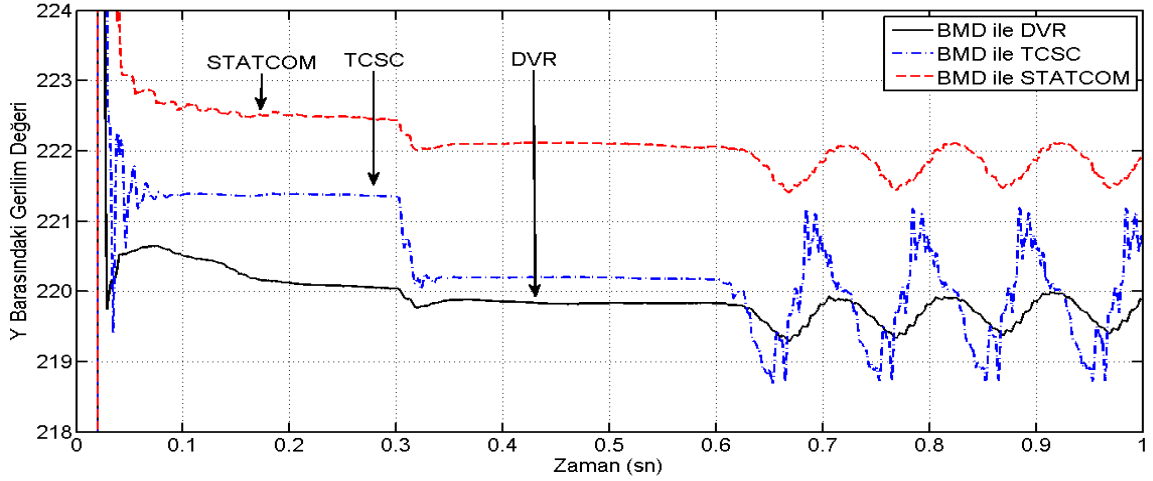
Şekil 3.4 BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TCSC'nin Y barasındaki Aktif Güç değişimlerine etkisi

Bu tez çalışmasının en önemli amacı olan gerilim düzensizliğinin azaltılması ve en ideal gerilim değeri ile yüklerin beslemesi, önerilen filtre sistemi ile diğer klasik sistemlere göre daha başarılı sonuçları verdiği Şekil 3.5’de görülmektedir. Yük üzerindeki istenen gerilim değeri olan 220V seviyesine tam oturma sağlayan sistem bu tez çalışmasında önerilen BMD ile denetlenen DVR filtre sistemidir. İlk çalışma zamanında ise yine diğer klasik FACTS sistemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.



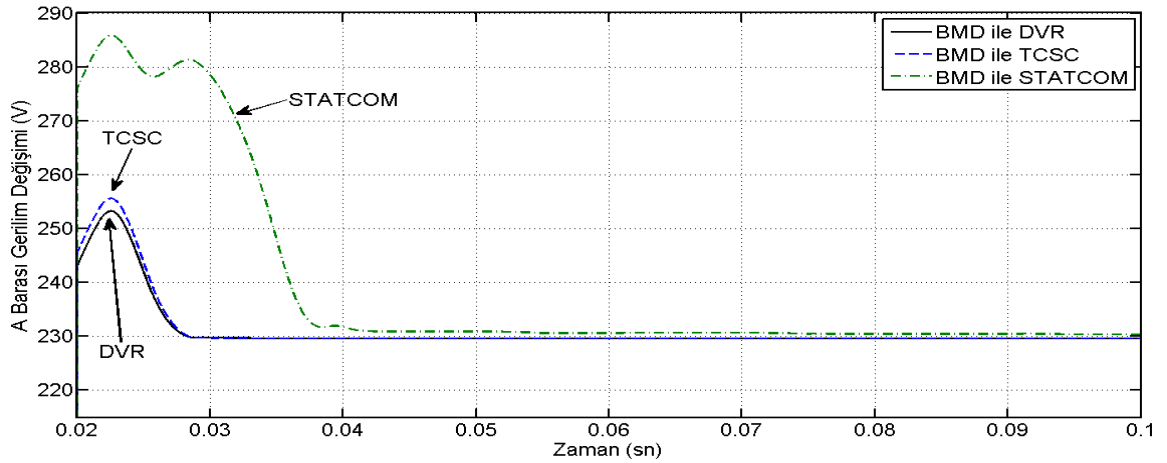
Şekil 3.5 BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TCSC'nin Y barasındaki Gerilimin başlangıç(0-0.3sn) değişimlerine etkisi

Yükler üzerine uygulanan gerilin etkin değerindeki dalgalanmalar Şekil 3.6'da görülmektedir. BMD ile denetlenerek elde edilen bu sonuçlara göre TCSC yapısına sahip bir enerji sisteminde yükler üzerine yapılan besleme diğer iki sisteme göre daha kötü durumdadır. Bu durum yüklerin içerisinde doğrusal olmayan yüklerin bulunduğu 0.6-1 saniyeler arasında daha açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca TCSC'deki başlangıç salınımı daha fazla olduğu görülmektedir. STATCOM ve TCSC'de 0.3. saniyede sisteme dahil edilen motor yükünden dolayı oluşan gerilim düşümü önerilen DVR filtre sistemine göre daha fazladır. Yükler için olumsuzluk içerek bu aşırı gerilim düşümü BMD-DVR sistemi ile en aza indirilmiştir.



Şekil 3.6 BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TCSC'nin Y barasındaki Gerilim dalgalanmalarına etkisi

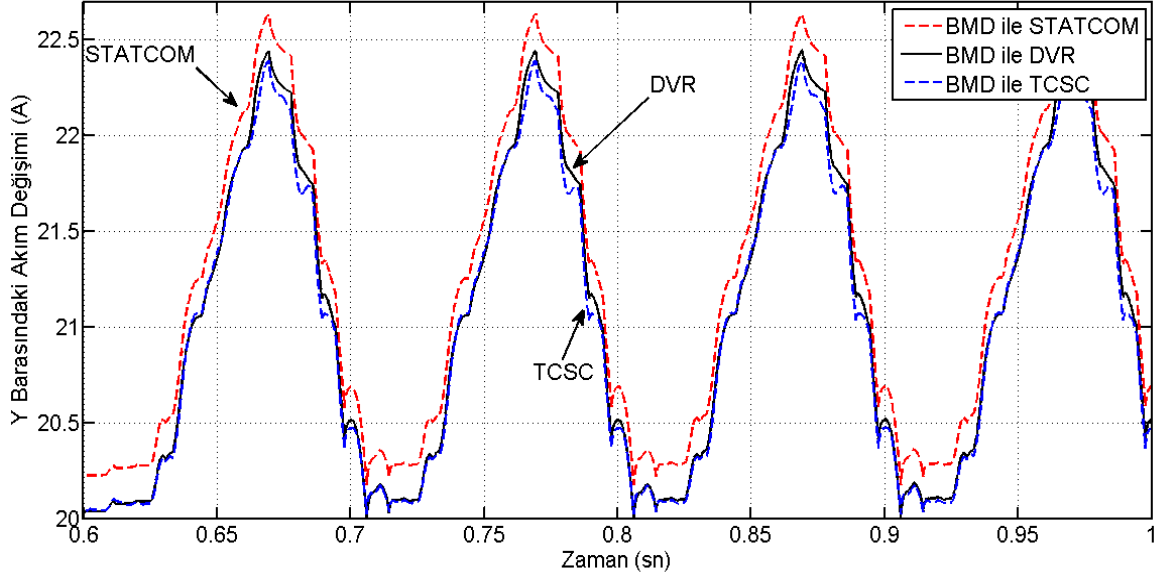
Güneş ve Yakıt pillerinin kullanıldığı bu sistemde kaynak barası görevini gören A barasındaki başlangıç gerilimlerinin dalga şekilleri DVR, STATCOM ve TCSC için Şekil 3.7'de görülmektedir. En iyi sonucu verdiği görülen DVR, 254V ani bir salınım gerçekleştirmektedir. Aynı anda TCSC, 256V'luk bir salınım gerçekleştirirken, STATCOM ise 295V'luk bir istenmeyecek büyüklükte bir salınım gerçekleştirmektedir.



Şekil 3.7 BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TCSC'nin A barasındaki Gerilimin başlangıç değişimlerine etkisi

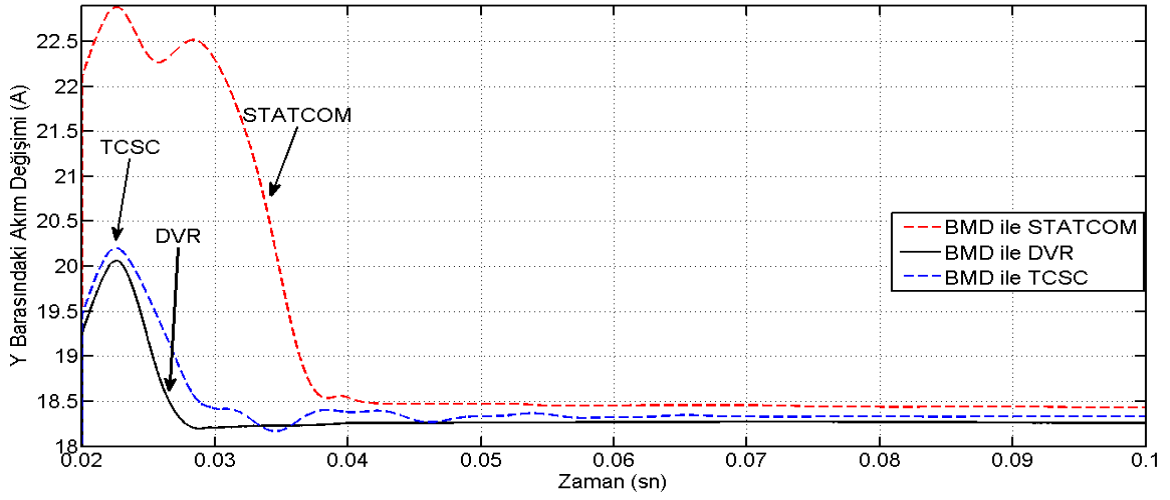
Doğrusal olmayan yüklerin Y barasındaki akıma yapmış olduğu etki Şekil 3.8'de görülmektedir. Burada DVR ve TCSC yapıları STATCOM'dan daha az bir akım seviyesi

elde etmişlerdir. Çok kısa süreli akım salınımları ise DVR yapısında daha az görülmektedir.



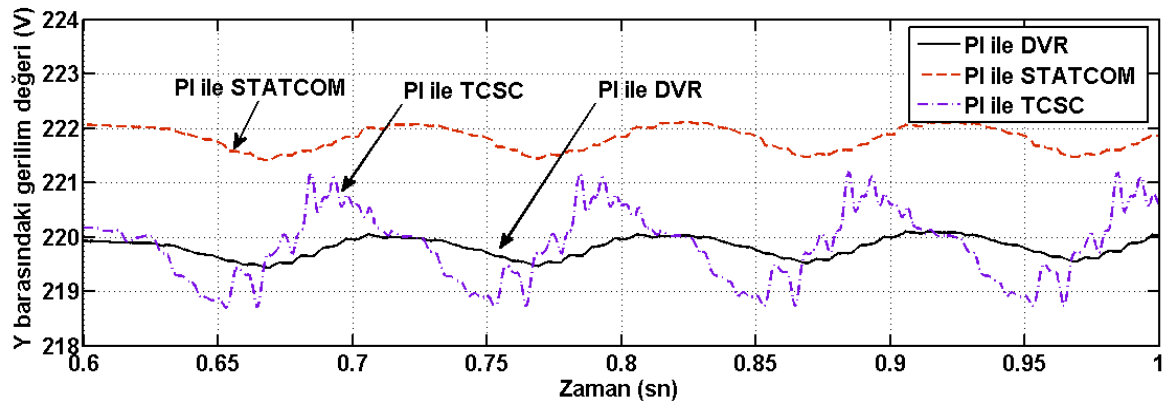
Şekil 3.8 BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TCSC'nin Y barasındaki Akımın 0.6-1 saniyeleri arasındaki değişimlerine etkisi

Y barasındaki akımın başlangıç anından 0.1. saniyeye kadar olan değişimleri Şekil 3.9'da görülmektedir. 0.05. saniyeye kadarki süreçte STATCOM kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada akımın 23A'lık seviyelere kadar çıktığı görülmektedir. TCSC'nin 20.2A ve DVR'nin ise en tepe akım seviyesi olarak 20A'lık seviyeye ulaştığı görülmektedir. Ayrıca TCSC akım seviyesinin sabitlenme süresi DVR ve STATCOM yapılarına göre fazladır. Bu yükler için uygun değildir. Yükleri için en ideal durum akım değerleri açısından DVR sistemi olduğu anlaşılmaktadır.



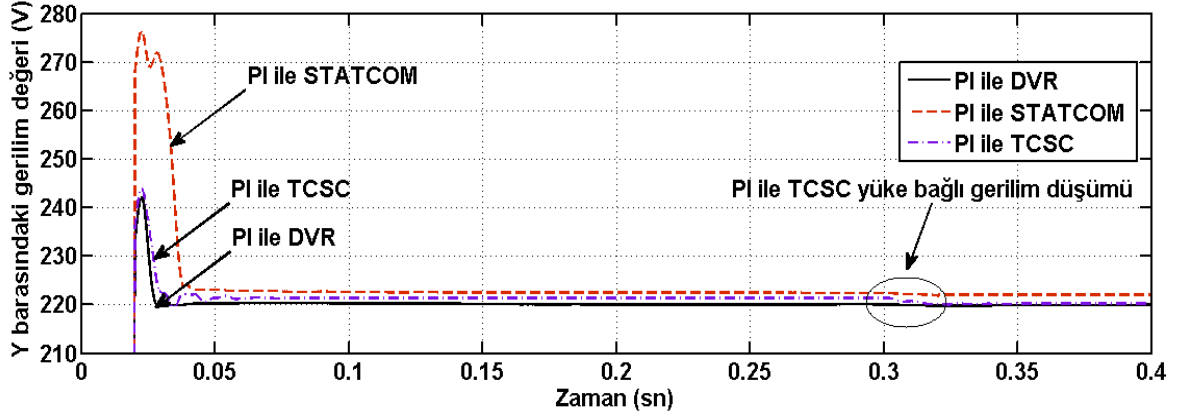
Şekil 3.9 BMD denetleyici ile DVR, STATCOM ve TCSC'nin Y barasındaki Akımın 0-0.5 saniyeleri arasındaki değişimlerine etkisi

Klasik PI denetleyici kullanılarak yükler üzerine uygulanan gerilin etkin değerindeki dalgalanmalar Şekil 3.10'da görülmektedir. Bu sonuçlara göre TCSC yapısına sahip bir enerji sisteminde yükler üzerine yapılan besleme diğer iki sisteme göre daha kötü durumdadır. Harmik ve bozucu etkiye sahip olan bu dalgalanmalar hassas yükler için istenmeyen bir durumdur. STATCOM ise istenen gerilim değeri olan 220V'luk değerinden daha fazla bir değer etrafında salınım yapmaktadır. Bu durum yüklerin içerisinde doğrusal olmayan yüklerin bulunduğu 0.6-1 saniyeler arasında daha açık bir şekilde görülmektedir.



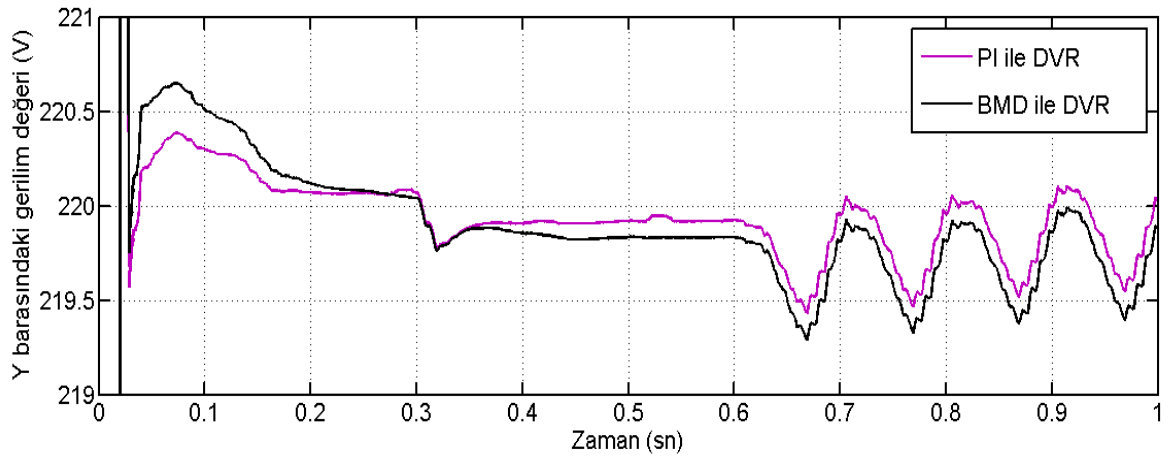
Şekil 3.10 PI denetleyici ile DVR, STATCOM ve TCSC'nin Y barasındaki gerilimin 0.6-1 saniyeler arasındaki değişimlerine etkisi

PI denetleyici ile elde edilen başlangıç anı değerleri Şekil 3.11’de görülmektedir. Önerilen DVR filtre sistemi ile yapılan simülasyonda başlangıç anında ve yüklerin değiştiği anlardaki gerilim sabitliği diğer klasik sistemlere göre daha başarılı sonuçlar olarak sağlanmıştır.



Şekil 3.11 PI denetleyici ile DVR, STATCOM ve TCSC'nin Y barasındaki gerilimin 0-0.5 saniyeleri arasındaki değişimlerine etkisi

Şekil 3.12’de DVR’nin hem BMD ile hemde PI denetleyici ile elde edilmiş olan Y barası etkin gerilim değerleri görülmektedir. Burada PI denetleyici ile elde edilen gerilim değeri 0.2V daha yüksek seviyededir.



Şekil 3.12. BMD ve PI ile denetlenmiş DVR'nin Y barası geriliminin üzerindeki etkisi

4. İRDELEME

Sistemde 4KW'lık doğrusal R yükü, 300W-400Var değerinde doğrusal olmayan yükler ve 500W değerinde motor yükleri sırasıyla 0-1 saniye, 0.6-1 saniye ve 0.3-1 saniye aralıklarında sisteme bağlı kalarak sonuçlar elde edilmiştir. Doğrusal olmayan yüklerin sisteme dâhil olduğu zaman boyunca klasik FACTS cihazları yüklere sürekli ve güvenilir bir gerilim değerini sağlamada zayıf kaldığı görülmektedir. Y barasındaki akım değerinin ise doğrusal ve motor yüklerin olduğu zaman diliminde yaklaşık 21A'lık bir seviye kısa bir sürede ulaşıp sabit kaldığı görülmektedir. Fakat sisteme 300W-400Var değerinde doğrusal olmayan R-L yükü bağlandığında, STATCOM filtre grubu bağlı olduğu durumda daha yüksek akım seviyelerine ulaştığı, TCSC seri filtre grubu varken de dalgalanmanın aşırı olduğu görülmektedir. AGF bloğu bağlı olduğunda ise hem referans akım değerinde hem de kabul edilebilir ölçüde bir salınım gerçekleştirdiği görülmektedir. Dolayısıyla AGF'li sistem klasik FACT sisteme göre daha iyi çalışmaktadır.

Sistemin yük kısmına değişik ve doğrusal olmayan yükler ilave edildiğinde bu yükler için gerilim kararlılığı ve güç iletimi için önerilen AGF bloğunun yanında STATCOM ve TCSC kompanzasyon sistemleriyle de çalıştırılarak farklarına bakılmaktadır. Şebekeden bağımsız olarak çalışan bu sistemin sistemde var olan fotovoltaik sistem ve yakıt pili sistemlerinden elde edilen güce uygun bir yük seçilmesi zorunluluğunu getirmiştir. Aşırı motor yükleri ve doğrusal olmayan yükler dahil edildiğinde sistem kararsızlaşmaktadır. Gerilim değerlerinde, AGF'nin B_Y barasındaki nominal çalışma gerilimi üzerindeki olumlu etkisi B_A barasında da kendisini göstermektedir. İlk çalışma anında STATCOM 280V gibi çok yüksek seviyelere çıkmaktadır. Bu durum hassas yükler için tehlike oluşturacak bir durumdur. AGF, bu durumu minimuma indirerek sağlıklı bir gerilim düzenlemesi oluşturmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında güneş enerji panellerinden ve yakıt pillerinden enerji elde etme konusu üzerinde çalışılmıştır. Üretilen elektrik enerjisi ile tek fazlı doğrusal, doğrusal olmayan ve motor yükleri beslenmiştir. Enerji elde edilirken iklim koşullarıyla beraber güneş sıcaklık değeri ve güneş radyasyon değerlerinin değişimi göz önüne alınarak güneş pilinin modellenmesi yapılmıştır. Güneş panellerinden değişken koşullarda sabit bir gerilim elde etmek için bir alçaltıcı-yükseltici çevirici kullanılmıştır. Yakıt pili ve güneş pilinden elde edilen gerilim değerleri bir evirici vasıtasıyla alternatif gerilime dönüştürülmüştür. Böylece modellenmiş olan değişken yüklerin beslemesi sağlanmaktadır. Üretilen enerjinin yüklerle aktarılması sırasında temiz ve gerilim değerinin istenen düzeyde olması hedeflenmiştir. Bunu sağlamak için iki adet üç çevrimli hata toplayıcısı kullanılmıştır. Bu hata toplayıcısı ile beraber önerilen Anahtarlamalı Güç filtresi yöntemi kullanılmıştır. Bu şekilde yük üzerindeki gerilim değerinin ve güç iletiminin istenilen aralıkta kalması sağlanmaktadır. Ayrıca yüksek değerli ve salınım oranı fazla olan yükler kullanıldığı zaman sistemin dengelenmesinde zorlandığı görülmüştür.

Sistemin denetlenmesi ise klasik PI ve BMD mekanizmaları kullanılmıştır. BMD, PI denetleyiciler ile karşılaştırıldığında insan kabiliyetlerine dayanan bir sistem olmasından dolayı karmaşık sistemlerde daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Sistemde kullanılan BMD 5 kurallıdır. Sistem 7 kurallı BMD kullanılarak da denenmiştir. Fakat 5 kurallı BMD'den farklı sonuçları vermediği ve sistemi önemli ölçüde yavaşlattığı gözlenmiştir.

Sistemde kullanılan AGF bloğu ile STATCOM ve TCSC güç iletim cihazları da kullanılmıştır. Enerji iletimi noktasında BMD denetimli her iki sisteminde önerilen AGF'ye göre daha başarısız sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

6. ÖNERİLER

Bu çalışmada BMD ve PI denetleyiciler kullanılarak önerilen sistemin performansı incelenmektedir. Enerji kalitesini, güç aktarımını ve gerilim kararlılığını sağlamak için daha farklı kontrol yöntemleri kullanılabilir. Bulanık mantık denetleyiciye ilave olarak yapay sinir ağları, karınca kolonisi ve genetik algoritma da kullanılabilir.

Esnek Alternatif Akım İletim Sistemlerinden karşılaştırılan AGF, STATCOM ve TCSC mekanizmalarının performansları Birleştirilmiş Güç Akış Denetleyicisi ve Statik Senkron Seri Kompanzator ile de karşılaştırılarak daha geniş kapsamlı bir değerlendirme yapılabilir. Bu sayede toplam harmonik bozulması etkisi standartlara daha uygun hale getirilmesi için değişik filtre yöntemleri geliştirilebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Zhang, F., Shi, Q., Wang, Y. and Wang, F., Simulation Research on Wind Solar Hybrid Power System Based on Fuzzy-PID Control, International Conference on Electrical Machines and Systems, October 2007, Seoul, Korea, Proceeding 338-342.
2. Dos Reis, F.S., Lima, J.C.M., Tonkoski, R., Souza, R.R.N., Ale, J.V., Pellissari, F.P., Ferreira, F.A.L., Kruse, A.B., Boattini, O.D., Islam, S. and Nayar, C., A Low Voltage Electronic Ballast Designed For Hybrid Wind-Solar Power Systems, Industrial Electronics(ISIE), June 2007, Vigo, Spain, Proceeding 3066-3071.
3. Caisheng Wang. and Nehrir, H., Power Management of A Stand-alone Wind/Photovoltaic/Fuel-cell Energy System, IEEE Transactions on Energy Conversion, September 2008, Pittsburgh PA, USA, Proceeding 957-967.
4. Mengi, O. Ö. ve Altaş İ. H., Fotovoltaik Güneş Panellerinden Beslenen Yükler Üzerindeki Gerilim Genliği Denetimi, EVK'09 - 3. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Mayıs 2009, Kocaeli, Bildiriler Kitabı 18-22.
5. Sharaf, A., M., Aljankawey, A., S. and Altas I., H., Dynamic Voltage Stabilization of Stand-Alone Wind Energy Schemes, Electrical Power Conferences, October 2007, Montreal, Que, Proceeding 14-19.
6. Sharaf, A., M., Aljankawey, A. and Altas, I., H., A Novel Voltage Stabilization Control Scheme for Stand-alone Wind Energy Conversion Systems, International Conference on Clean Electrical Power, May 2007, Capri, Proceeding 514-519.
7. Yanmaz, K., Altas, I. H. and Sharaf, A., Application of Fuzzy Reasoning Based Power Filter and Dynamic Voltage Regulator for Single Phase Micro Wind Power Generation Systems, Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA) 2012 International Symposium , July 2012, Turkey Trabzon, Proceeding 1-5.
8. Sharaf, A., Wang, W. and Altas, I., H., Novel STATCOM Controller for Reactive Power Compensation in Distribution Networks with Dispersed Renewable Wind Energy, Electrical and Computer Engineering Conference, April 2007, Fredericton, Proceeding 1582-1585.
9. Atacak, İ., Duran, F. ve Bay, Ö. F., Bulanık-PI Denetimli Üç Fazlı Paralel Aktif Güç Filtresinin Tasarımı, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Mayıs 2009, Türkiye Karabük, Bildiri numarası 606, Bildiriler Kitabı 1-6.

10. Sharaf, A., M. and Chalet, R., A low cost on-off modulated power filter for single phase motorized loads, IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Canada, 1998, Proceeding-2 862-865.
11. Sharaf, A., Wang, W. and Altas, I., H., A Novel Modulated Power Filter Compensator for Distribution Networks with Distributed Wind Energy, International Journal of Emerging Electric Power Systems, 8, 3 (2007) 1-20
12. Çolak, İ., Bayındır, R., Sefa, İ. and Demirtaş, M., Design Of A Hybrid Energy Power System Using Solar And Wind Power, 2nd International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, September 2004, Tebriz Persian, Proceeding 776-778.
13. Altaş, İ. H., Fotovoltaik Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri, Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 47 (1998) 66-71.
14. Hersch, P. and Zweibel, K., Basic Photovoltaic Principles And Methods, U.S. Department of Energy by the Midwest Research Institute, 1982.
15. Datta, M., Senjyu, T., Yona, A. and Funabashi, T., A fuzzy Based Method For Leveling Output Power Fluctuations Of Photovoltaic-Diesel Hybrid Power System, Renewable Energy, 36, 6 (2011) 1693-1703.
16. Applebaum, J., The Quality Of Load Matching In A Direct-Coupling Photovoltaic System, IEEE Transactions on Energy Conversion, 2, 4 (1987) 534-541
17. Altaş, İ. H., Fotovoltaik Güneş Pilleri: Eşdeğer Devre Modelleri ve Gün Işığı İle Sıcaklığın Etkileri, Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 46 (1998) 86-91.
18. Altas, I. H. and Sharaf, A. M., A fuzzy Logic Power Tracking Controller For A Photovoltaic Energy Conversion Scheme, Electric Power Systems Research, 25 (1992) 227-238.
19. Altas, I. H. and Sharaf, A. M., A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment, Clean Electrical Power ICCEP '07. International Conference, 2007, Capri, Proceeding 341- 345.
20. Gencoglu, M. T. and Ural, Z., Design Of A PEM Fuel Cell System For Residential Application, International Journal of Hydrogen Energy, 34 (2009) 5242-5248
21. Ural, Z., Gümüş, B. ve Gençoğlu, M.T., Bir Pem Yakıt Pili Sisteminin MATLAB ile Modellenmesi, YEKSEM'07 IV.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Ekim 2007, Gaziantep, Bildiriler Kitabı 106-112.
22. Xiao, Y. and Agbossou, K., Interface Design and Software Development for PEM Fuel Cell Modeling based on Matlab/Simulink Environment, Software Engineering WRI World Congress, 2009, Xiamen, Proceeding 318-322.

23. Wang, C., Nehrir, M. H., and Shaw, S., Dynamic Models And Model Validation For PEM Fuel Cells Using Electrical Circuits, IEEE Transactions on Energy Conversion, 20, 2 (2005) 442-451.
24. Jia, J., and Wang, Y., Matlab / Simulink Based-study on PEM Fuel Cell and Battery Hybrid System, 2008 10th Intl. Conf. on Control, Automation, Robotics and Vision Hanoi, 17–20 December 2008, Vietnam, Proceeding 2108-2113.
25. Bordallo, C. R., García, C., Brey, C., and Maza, J. M., Dynamic Model And Simulations Of A PEM Fuel Cell For Residential Applications, International Conference On Renewable Energies And Power, 2007, Sevilla, Spain, Proceeding 345
26. Samosir, A. S., Anwari, M. and Yatim, A. H. M., A Simple PEM Fuel Cell Emulator Using Electrical Circuit Model, International Power and Energy Conference, 2010, Singapore, Proceedings, 881- 885.
27. Sharaf, A. M., Altas, I. H. and Ozkop, E., A Novel Multi-Loop PID Controller for Photovoltaic-Grid Interface DC Energy Utilization Farm, International Conference on Renewable Energies and Power Quality, 2009 Valencia-Spain, Proceeding 336.
28. Sahin, M. E. and Okumus, H. I., A Fuzzy-Logic Controlled PV Powered Buck-Boost DC-DC Converter For Battery-Load System, Innovations in Intelligent Systems and Applications, 2012, Trabzon, Proceedings 1-5.
29. Ertay, M. M. ve Yıldız, A. B., Buck Dönüştürücü Devresinin Durum Değişkenleri Yöntemi İle Analizi, 6. International Advanced Technologies Symposium, May 2011, Elazığ, Proceedings 293-293.
30. Garip, İ., Altın, N. ve Sefa, İ., Çift Anahtarlmalı Buck-Boost Çevirici Benzetimi, Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi, 2, 4 (2009) 385-393.
31. Schauder, C., Vector Analysis And Control Of Advanced Static Var Compensators, AC and DC Power Transmission, 1991, London, Proceedings 266- 272.
32. Ertay, M. M. ve Aydoğmuş, Z., Statcom İle Bir Enerji İletim Sisteminde Gerilim Kontrolü, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21 (2010) 91-105.
33. Deniz, E., Tuncer, S. ve Gençoğlu, M. T., Üç Seviyeli Diyot Kenetlemeli İnverterli Statcom Kullanarak Bir Dağıtım Sisteminde Gerilim Regülasyonu, IATS'09 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 2009, Karabük, Proceedings 1036.
34. Kara, A. ve Yalçınöz, T., Esnek AC İletim Sistemlerinde Kullanılan Cihazlar ve TCR, SVC, TSR yapılı Paralel Kompanzatörlerin Yük Gerilimlerine Etkisinin

Matlab Ortamında İncelenmesi, 2. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, Kasım 2005, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 138-147.

35. Çötelli, R. ve Aydoğmuş, Z., DGM-Statcom İle Reaktif Güç Kompanzasyonu, Politeknik Dergisi, 10, 2 (2007) 123-128.
36. Murali, D. and Rajaram, M., Active and Reactive Power Flow Control using FACTS Devices, International Journal of Computer Applications, 9, 8 (2010) 45-50.
37. Kuo, B. C., Otomatik Kontrol Sistemleri, Literatür Yayınları, 7. Basım. 2005.
38. Ogata, K., Modern Control Engineering, 4th Edition, Prentice Hall, 2001.
39. Altaş, İ. H., Bulanık Mantık: Bulanıklık Kavramı, Otomasyon Dergisi, 62 (1999) 80-85.
40. Altas, I., H. and Sharaf, A. M., A Generalized Direct Approach for Designing Fuzzy Logic Controllers in Matlab/Simulink GUI Environment, International Journal of Information Technology and Intelligent Computing, 4, 1 (2007) 1-27.
41. Yanmaz, K., Altas, I. H. and Sharaf, A., Application of Fuzzy Reasoning Based Power Filter and Dynamic Voltage Regulator for Single Phase Micro Wind Power Generation Systems, Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA) 2012 International Symposium , July 2012, Trabzon, Proceedings 1-5.
42. Gelen, A. ve Yalçınöz, T., Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC) ve Tristör Anahtarlama Reaktör –Tabanlı Statik Var Kompanzatorün'nin (TSR-TABANLI SVC) PI İle Kontrolü, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 24, 2 (2009) 237-244.
43. Bose, K. B., Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall, USA, 2002.
44. Kakilli, A., Tunçalp, A. ve Suçlu., Mert, Harmoniklerin Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemlerine Etkilerinin İncelenmesi ve Simülasyonu, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 20, 1 (2008) 109-115.
45. Eminoğlu, U., Herdem, S. ve Yalçınöz, T., Anahtarlama Paralel ve Seri Kompanzatorlerin Enerji İletim Sistemlerinde Gerilim / Akım ve Güç Akışına Etkisinin İncelenmesi, Elektrik – Elektronik – Bilgisayar mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, 2003, İstanbul, Bildiri Kitabı, Sayfa 35-35.
46. Kundur, P., Power System Stability and Control, McGraw-Hill Education, 1994.
47. Yüksel İ., Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri, Ankara, 2001.

ÖZGEÇMİŞ

22.11.1984 tarihinde Trabzon'da doğdu. Liseyi Sürmene Endüstri Meslek Lisesi'nde tamamladı. 2001 yılında Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Öğretmenliği bölümünü kazandı. 2006 yılında lisans eğitimini tamamladı. Eylül 2008'de, bir yıl Yabancı Dil Eğitimini tamamladıktan sonra, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Aralık 2009'da Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. Bu görevine halen devam etmektedir. Orta derecede İngilizce bilmektedir.