

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ *FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ TABANLI DİNAMİK GERİLİM
DÜZENLEYİCİ TASARIMI**

DOKTORA TEZİ

Elektrik Yük. Müh. Ömer Özgür GENCER

Anabilim Dalı: Elektrik Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Semra ÖZTÜRK

KOCAELİ, 2006

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ TABANLI DİNAMİK GERİLİM
DÜZENLEYİCİ TASARIMI**

DOKTORA TEZİ

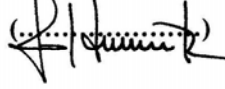
Elektrik Yük. Müh. Ömer Özgür GENCER

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.09.2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 11.10.2006

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Semra ÖZTÜRK



Üye

Prof. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR



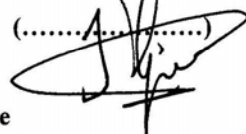
Üye

Prof. Dr. Sezgin ALSAN



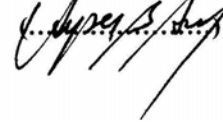
Üye

Prof. Dr. İrfan GÜNEY



Üye

Yrd. Doç. Dr. Ayşen BAŞA ARSOY



KOCAELİ, 2006

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Enerji sistemlerinde güç kalitesinin bozulmasında önemli bir etken sistemde yer alan güç elektroniği devreleridir. Güç kalitesi bozulmalarının önlenmesinde de yine güç elektroniği tabanlı sistemlerden yararlanılmaktadır. Günümüzde maliyeti en yüksek ve oluşma sıklığı en büyük güç kalitesi bozulması olan gerilim düşmelerinin önlenmesinde Dinamik Gerilim Düzenleyici (D.G.D) sistemler tercih edilmektedir.

Gerilim düşmelerinden özellikle hassas yüklerin etkilenmemesi için kullanılan geleneksel D.G.D'lerde, dışarıdan bir gerilim kaynağı ile düşme miktarına göre şebeke gerilimi kompanze edilmektedir. Bu tasarımın maliyeti oldukça yüksektir. Bu tip sistemlerde, gerilim düşmesinin başlangıç ve bitiş anları ile düşme miktarının algılanmasında çeşitli sinyal işleme teknikleri kullanılır. Fakat hatanın geç algılanması, dönüşümler için uzun işlem sürelerinin gerekli olması, sinyallerin frekans bileşenlerinin zamana bağlı bilgilerinde belirsizlikler olması bu tekniklerin zayıf yanlarıdır.

Bu tezin amacı sözü edilen problemleri ortadan kaldıracak yeni bir Dinamik Gerilim Düzenleyici tasarlamak ve gerçekleştirmektir.

Bu amaçla gerilim düşmelerinin başlangıç ve bitiş anları ile düşme miktarının algılanmasında Dalgacık Dönüşümü yöntemi kullanılan bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın, programlanabilir güç kaynağı ile şebekede oluşturulan gerilim düşmelerini hızla algıladığı gösterilmiştir. Tasarlanan güç dönüştürücü devresi ile dışarıdan bir gerilim kaynağına ihtiyaç duyulmadan yük gerilim ve akımının, gerilim düşmesi sırasında sabit kalması sağlanmıştır.

Böyle bir çalışmaya yönelmemi sağlayan ve hazırlanması sırasında büyük anlayış, yardım ve destek gördüğüm Sayın hocam Prof. Dr. Semra ÖZTÜRK'e, tez çalışmamın yönlendirilmesinde bilgilerini ve yardımlarını benimle paylaşan Sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Tarık ERFİDAN ve arkadaşım Öğr. Gör. Satılmış ÜRGÜN'e, öğrenim hayatım boyunca beni her zaman desteklemiş olan aileme teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	ix
SİMGELER.....	x
ÖZET	xii
İNGİLİZCE ÖZET	xiv
1. ELEKTRİK ENERJİSİNDE KALİTE KAVRAMI.....	1
2. GÜÇ KALİTE PROBLEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	8
2.1 Kısa Süreli Gerilim Değişimleri (Voltage Variations).....	8
2.1.1 Gerilim yükselmesi (Swell)	9
2.1.2 Kesinti (Interruption)	10
2.1.3 Gerilim düşmesi (Voltage Sag).....	11
2.2 Uzun Süreli Gerilim Değişimleri.....	12
2.2.1 Aşırı gerilim (Overvoltage).....	12
2.2.2 Düşük gerilim (Undervoltage)	13
2.3 Geçici Olaylar (Transients)	14
2.3.1 Darbeli geçici olaylar	14
2.3.2 Salımlı geçici olaylar	15
2.4 Gerilim Dengesizliği (Voltage Unbalance)	18
2.5 Dalga Şekli Bozukluğu	19
2.5.1 DC bileşen.....	19
2.5.2 Harmonikler	19
2.5.2.1 Triplen harmonikler	22
2.5.2.2 İnterharmonikler.....	22
2.5.3 Çentik (Notch)	23
2.5.4 Elektriksel gürültü (Noise).....	24
2.6 Gerilim Dalgalanması (Voltage Fluction)	24
2.7 Güç Frekans Değişimleri (Power Frequency Variations).....	25
3. GÜÇ SİSTEMLERİNDE GERİLİM DÜŞMESİ.....	27
3.1 Büyük Yüklerin Neden Olduğu Gerilim Düşmeleri.....	29
3.2 Dağıtım Devresindeki Arızalardan Kaynaklanan Gerilim Düşmeleri.....	30
3.3 Gerilim Düşmelerinin Sınıflandırılması	32
3.3.1 Gerilim sınıflandırılması ile ilgili bir örnek.....	34
3.4 Cihazların Duyarlılığı	38
3.4.1 Cihaz duyarlılığının özellikleri	40
3.4.2 Besleme devresindeki gerilim düşmelerinin özellikleri.....	42
4. GERİLİM DÜŞMESİNİN ÖNLENMESİNDE GÜÇ ELEKTRONİĞİ TABANLI YÜKSEK GÜÇLÜ KOMPANZASYON YÖNTEMLERİ.....	45
4.1 Giriş	45
4.2 Tristör Tabanlı Kompanzatorler	46
4.3 Denetimli Gerilim Dönüştürücüleri.....	48

4.4	Paralel Bağlı V.S.C.....	50
4.4.1	Gerilim/Reaktif güç kontrolü.....	51
4.4.2	Yedeklemeli güç kaynağı.....	53
4.4.3	Aktif filtreleme.....	54
4.5	Seri Bağlı V.S.C.....	55
4.5.1	İletim sistemlerinde seri bağlı V.S.C.....	56
4.5.2	Dağıtım sistemlerinde seri bağlı V.S.C.....	58
4.6	Hibrit Dönüştürücüler.....	64
4.7	Enerji Depolama Birimleri.....	65
4.7.1	Kondansatör.....	66
4.7.2	Bataryalar.....	67
4.7.3	Süper kapasitörler.....	67
4.7.4	Süperiletken magnetik enerji depolama birimi (SMES).....	68
4.7.5	Redüktörlü sistemler.....	69
5.	DİNAMİK GERİLİM DÜZENLEYİCİLER.....	70
5.1	Giriş.....	70
5.2	D.G.D'nin Çalışma Prensibi.....	72
5.3	Geleneksel D.G.D Tasarımı.....	76
5.4	Gerilim Düşümü Algılama Yöntemleri.....	78
5.4.1	Gerilimin tepe değerinin izlenmesi.....	79
5.4.2	Gerilim genliği ve faz açısının vektörel kontrolü ile izlenmesi.....	79
5.4.3	Her bir fazın vektörel olarak izlenmesi.....	83
5.4.4	Her bir fazda Fourier Dönüşümü yapmak.....	83
5.4.5	Her bir fazda dalgacık dönüşümü yapmak.....	83
5.5	Gerilim Kompanzasyonu Yöntemleri.....	83
5.5.1	Fark gerilim kompanzasyonu (F.G.K).....	84
5.5.2	Sabit faz Kompanzasyonu (S.F.K).....	85
5.5.3	İleri faz Kompanzasyonu (İ.F.K).....	87
5.6	Gerilim Kompanzasyon Yöntemleri ile İlgili Bir Örnek.....	89
6.	DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ.....	91
6.1	Dalgacık Sinyali.....	93
6.2	Haar Dalgacık Dönüşümü.....	98
6.3	Çoklu Çözünürlük Analizi (Ç.Ç.A).....	103
6.4	Daubechies Dalgacık Dönüşümü.....	106
6.5	Dalgacık Dönüşümü Uygulamaları.....	110
6.6	Güç Kalitesi Problemlerinin Analizinde D.D'nün Kullanımı.....	111
7.	DİNAMİK GERİLİM DÜZENLEYİCİNİN MODELLENMESİ ve BENZETİMİ.....	113
7.1	Tek Fazlı D.G.D Modeli.....	113
7.2	Üç Fazlı D.G.D Modeli.....	122
7.3	Tasarlanan Bir Fazlı D.G.D Modelinde Gerilim Kompanzasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	124
8.	GELİŞTİRİLEN D.G.D TASARIMI.....	127
8.1	AC/AC Dönüştürücü Devresi Tasarımı.....	131
9.	GERİLİM DÜŞMESİNİN DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE ALGILANMASI.....	135
9.1	Gerilim Düşümünün Algılanmasında D.D Kullanılarak Yapılan Çalışmalar.....	135
9.2	Gerilim Düşümü Başlangıç, Bitiş Anları İle Düşme Miktarının D.D ile Belirlenmesi İçin Geliştirilen Yöntem.....	139

10. GERÇEKLENEN DİNAMİK GERİLİM DÜZENLEYİCİ TASARIMI ve DENEYLERİ	152
10.1 Gerilim Düşmesinin D.G.D ile Kompanze Edilmesi.....	159
11. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	163
KAYNAKLAR	166
EK A. GÜÇ KAYNAĞI TEKNİK ÖZELLİKLERİ.....	183
EK B. DEVRE ŞEMALARI.....	184
EK C. MPLAB PROGRAM KODU.....	188
KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER.....	192
ÖZGEÇMİŞ	194

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Güç sistemlerinde karşılaşılan gerilim bozulmalarının sıklığı	2
Şekil 2.1: Tek faz toprak arızasında meydana gelen gerilim yükselmesi	10
Şekil 2.2: Arıza sonucu oluşan gerilim kesintisi.....	10
Şekil 2.3: Gerilimde oluşan düşme	11
Şekil 2.4: Aşırı gerilim oluşması.....	13
Şekil 2.5: Düşük gerilim oluşması	13
Şekil 2.6: Yıldırım ile oluşan darbeli geçici olayların dalga şekli	15
Şekil 2.7: Kondansatörlerin enerjilendirilmesiyle oluşan salınımlı geçici olayların akım dalga şekli	15
Şekil 2.8: Kondansatör enerjilendirme sonucu oluşan düşük frekanslı geçici olaylar	16
Şekil 2.9: Ferro-rezonans ile oluşan düşük frekans salınımlı geçici olaylar.....	17
Şekil 2.10: Bir fiderde oluşan gerilim dengesizliği.....	18
Şekil 2.11: Gerilim sinyalinin harmonik bileşenlerinin bir periyotta gösterimi	20
Şekil 2.12: Bir A.H.D'nin giriş akımının dalga şekli ve harmonik spektrum	22
Şekil 2.13: Bir fazlı bir dönüştürücünün gerilim dalga şekli	24
Şekil 2.14: Elektriksel gürültü	24
Şekil 2.15: Bir ark fırını tarafından oluşturulan gerilim dalgalanması	25
Şekil 2.16: Güç frekansı değişimleri.....	25
Şekil 3.1: Gerilim düşümü oluşma sebeplerinin dağılımı.....	29
Şekil 3.2: Gerilim düşmelerinin şebekede dağılımı	31
Şekil 3.3: Gerilim düşmelerinin şebeke gücüne ve hata noktasında uzaklığına göre değişimi.....	31
Şekil 3.4: Örnek iletim sistemi.....	35
Şekil 3.5: Ölçülen (a) faz-nötr gerilimleri (b) bunların efektif değerleri	36
Şekil 3.6: Hesaplanan (a) simetri bileşenleri, (b) gerilim karakteristik değeri ve (c) PN faktörünün değişimi	37
Şekil 3.7: CBEMA eğrisi	38
Şekil 3.8: ITIC eğrisi.....	39
Şekil 3.9: ANSI eğrisi	39
Şekil 3.10: Gerilim düşmelerinin maliyeti.....	42
Şekil 3.11: Tipik besleme devresindeki gerilim düşmesinin ITIC eğrisi ile karşılaştırılması	43
Şekil 4.1: (a) Statik Seri Kompanzator (S.V.C) (b) Tristör Kontrollü Seri Kapasitör(T.C.S.C)	47
Şekil 4.2: İki seviyeli denetimli güç dönüştürücü.....	49
Şekil 4.3: Üç seviyeli denetimli güç dönüştürücü.....	49
Şekil 4.4: Paralel bağlı V.S.C	50
Şekil 4.5: AC şebekeye bağlı V.S.C'nin akım ve gerilim fazör diyagramı	51
Şekil 4.6: S.V.C ve STATCOM'un gerilim-akım karakteristiği	52
Şekil 4.7: Kesintisiz güç kaynağı prensip şeması	54
Şekil 4.8: Seri bağlı V.S.C	56

Şekil 4.9: Seri bağlı V.S.C'nin basitleştirilmiş modeli ve gerilim-akım faz bileşenleri	57
Şekil 4.10: Güç sistemine seri bağlı V.S.C-Dinamik Gerilim Düzenleyici	60
Şekil 4.11: Kritik yükü kompanze eden D.G.D'nin şebekeye bağlantısını gösteren örnek sistem	63
Şekil 4.12: Hibrit dönüştürücünün yapısı	64
Şekil 4.13: V.S.C'nin DC tarafında kullanılan enerji depolama birimi ile ilgili bir örnek.....	66
Şekil 5.1: D.G.D'nin temel yapısı.....	73
Şekil 5.2: D.G.D'nin çalışma durumları (a) Sistemin tek hat şemasında gösterimi (b) Faz atlaması olan bir gerilim düşümü sırasındaki fazör diyagramlar	74
Şekil 5.3: Bekleme (a) ve arıza (b) durumlarında transformatör bağlantıları	75
Şekil 5.4: Geleneksel D.G.D tasarımı	77
Şekil 5.5: Vektörel gerilim kontrol şeması	80
Şekil 5.6: Faz açısı atlaması olmayan üç faz dengeli gerilim düşümünde dq bileşenleri ile gerilim düşmesinin algılanması.....	81
Şekil 5.7: Faz açısı atlaması olmayan üç faz dengeli gerilim düşümünde dq bileşenleri ile gerilim düşmesinin algılanması.....	82
Şekil 5.8: Fark gerilim kompanzasyonu fazör diyagramı	85
Şekil 5.9: Aynı faz gerilim kompanzasyonu fazör diyagramı.....	86
Şekil 5.10: İleri Faz Kompanzasyonu fazör diyagramı.....	88
Şekil 5.11: Farklı gerilim kompanzasyon yöntemlerinde D.G.D'nin üreteceği gerilimler.....	89
Şekil 5.12: Farklı gerilim kompanzasyon yöntemlerinde D.G.D'nin üreteceği aktif güçler.....	90
Şekil 6.1: Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü	92
Şekil 6.2: Orijinal sinyal ve farklı bileşen toplamındaki işlenmiş sinyal.....	93
Şekil 6.3: Dalga ve dalgacıklara ait bazı örnekler.....	95
Şekil 6.4: Ölçeklenmiş sinüs işareti	96
Şekil 6.5: Ölçeklenmiş dalgacık işareti.....	97
Şekil 6.6: Kaydırılmış dalgacık işareti.....	98
Şekil 6.7: (a) $f(x)$ fonksiyonu, (b) $f(x)$ fonksiyonunun 1. derece Haar dönüşümü	99
Şekil 6.8: (a) Örnek sinyal (b) Örneğin 2 seviyeli Haar dönüşümü (c) Örnek sinyalin kümülâtif enerji değişimi (d) Haar dönüşümünün kümülâtif enerji değişimi.....	100
Şekil 6.9: Bir fonksiyona dalgacık dönüşüm işlemi algoritması.....	105
Şekil 6.10: 10. seviyeden Haar fonksiyonu sonucu oluşan sinyal	105
Şekil 6.11: Şekil 6.7'deki sinyale Haar ÇÇA uygulanması. (a) A katsayıları (b) D katsayıları	106
Şekil 6.12: (a) İşlenmemiş f sinyali (b) f sinyalinin D_2 dönüşümü	107
Şekil 6.13: (a) 5 ve 6. seviyeden ölçekleme sinyalleri (b) 5 ve 6. seviyeden dalgacıklar	109
Şekil 6.14: 10 seviyeden Daub4 Ç.Ç.A'den elde edilen (a) A değerleri (b) D değerleri	110
Şekil 6.15: IEEE konferans ve dergilerinde D.D. ile ilgili yapılan yayınların yıllara göre dağılımı	111
Şekil 6.16: Güç sistemlerinde D.D ile ilgili yapılan çalışmaların dağılımı [179]....	112
Şekil 7.1: MATLAB/Simulink'de yapılan bir fazlı D.G.D modeli.....	114
Şekil 7.2: 0.06 saniye süren gerilim düşmesinde şebeke, yük ve D.G.D gerilimleri114	
Şekil 7.3: Gerilim ve akımın anlık değişimleri	115

Şekil 7.4: Gerilim düşümünü algılayıcı bölümü	116
Şekil 7.5 Gerilim düşümü algılayıcı bölümü (a) Şebeke geriliminin faz açısı, (b)Referans geriliminin faz açısı, (c) Algılayıcı çıkış sinyali	117
Şekil 7.6: 3 Level Inverter bloğu	118
Şekil 7.7: PWM Generator bloğu.....	118
Şekil 7.8: <i>Pulse</i> n blokları	119
Şekil 7.9: Üç fazlı IGBT bloğunun tetikleme sinyalleri	120
Şekil 7.10: Dönüştürücü çıkış gerilimi ve filtrelenen D.G.D gerilimi	121
Şekil 7.11: Filtre devresi	121
Şekil 7.12: Üç fazlı D.G.D'nin MATLAB modeli	122
Şekil 7.13 Üç fazlı D.G.D modelinde Kaynak gerilimi, Yük gerilimi, D.G.D'nin üreteceği gerilim, Yük akımı	123
Şekil 7.14: Güç faktörü ölçüm bloğu tasarımı	124
Şekil 7.15: Şebeke gerilimi faz açısının değişimi	125
Şekil 8.1: Geliştirilen D.G.D tasarım	127
Şekil 8.2: Şebeke, yük ve D.G.D gerilimlerinin fazör gösterimi	128
Şekil 8.3: Doluluk oranının dönüştürme oranı ve gerilim düşme genliğine bağlı değişimi	130
Şekil 8.4: Dönüştürme oranına göre kompanze edilebilecek gerilim düşmesinin değişimi	130
Şekil 8.5: Bir endüstriyel tesiste ölçülen gerilim düşmeleri	131
Şekil 8.6: Tasarlanan tek fazlı D.G.D	132
Şekil 8.7: D.G.D'nin geçiş modunda çalışması	133
Şekil 8.8: D.G.D'nin işlem modunda çalışması	133
Şekil 8.9: Gerilim düşmesi sırasında D.G.D'de üretilen gerilim	134
Şekil 9.1: Çoklu çözünürlük analizi yapılmış gerilim sinyalleri ve dalgacıkların standart sapmaları	137
Şekil 9.2: Çeşitli bozulmalarda standart sapmanın değişimi	137
Şekil 9.3: Gerilim düşme miktarı ve süresine bağlı olarak standart sapmadaki değişim	138
Şekil 9.4: Çeşitli güç kalitesi bozulmalarında dalgacık fonksiyonlarının enerji dağılımları	139
Şekil 9.5: Parseval enerji fonksiyonu kullanarak gerilim düşmesinin analizi	141
Şekil 9.6: Gerilim düşmesi 90 ⁰ olduğunda elde edilen sonuçlar.....	142
Şekil 9.7: Enerji fonksiyonlarındaki standart sapmaya göre gerilim düşme miktarının belirlenmesi	143
Şekil 9.8: Gerilim düşmesi sırasında dalgacık bileşenlerinin davranışı	144
Şekil 9.9: (a) 64 noktada örneklenmiş saf sinüs sinyali (b) 1. seviye Daub ₄ katsayısı	145
Şekil 9.10: (a) Herhangi bir anda düşme oluşmuş sinüs sinyali (b) Bu sinyale ait 1. seviye Daub ₄ katsayısı	146
Şekil 9.11: Farklı anlarda oluşan gerilim düşümü sonrası elde edilen enerji fonksiyonları	147
Şekil 9.12: %0-%50 gerilim düşmesinde D1 ₁ 'e bağlı olarak düşme miktarını gösteren fonksiyonun Üstel Regresyon Analizi ile bulunması.....	148
Şekil 9.13: (a) Gerilim sinyalinin 2 farklı bölümde incelenmesi (b) Bunlara ait enerji fonksiyonları	150
Şekil 9.14: A ve B bölgelerine ait regresyon analizi.....	151
Şekil 10.1: D.D tabanlı D.G.D tasarım şeması	152

Şekil 10.2: Sıfır geçiş (a) devre şeması (b) çıkış dalga şekli	153
Şekil 10.3: Bir periyotta mikrodnetleyici tarafından örneklenen gerilim	154
Şekil 10.4: Mikrodnetleyici programı akış şeması.....	155
Şekil 10.5: (a) A bölgesinde ölçülen ve hesaplanan kritik değerler (b) B bölgesinde ölçülen ve hesaplanan kritik değerler	156
Şekil 10.6: Şebeke geriliminde oluşan düşmelerde algoritmanın performansı.....	156
Şekil 10.7: Gerilim düşmesi ve dsPIC'in cevabı.....	157
Şekil 10.8. (a) 15^0 (b) 30^0 (c) 45^0 (d) 60^0 de (A bölgesi) oluşan gerilim düşmeleri ve dsPIC'in cevabı	158
Şekil 10.9. (a) 105^0 (b) 120^0 (c) 135^0 (d) 150^0 de (B bölgesi) oluşan gerilim düşmeleri ve dsPIC'in cevabı	159
Şekil 10.10: Şebeke geriliminde oluşan .%50 oranındaki düşme	160
Şekil 10.11: Şebeke geriliminde oluşan .%50 düşmede mikrodnetleyicinin cevabı	160
Şekil 10.12: Şebeke geriliminde oluşan .%50 düşmede yük gerilimi.....	160
Şekil 10.13: Şebeke geriliminde oluşan .%50 düşmede yük gerilimi ve yük akımı	161

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1: Kısa Süreli Gerilim Değişimleri	9
Tablo 2.2: Uzun Süreli Gerilim Değişimleri.....	12
Tablo 2.3: Diğer gerilim bozulmaları.....	14
Tablo 3.1: Değişik endüstriyel işletmelerde gerilim kesinti ve düşmesinin etkileri [91]	28
Tablo 4.1: AC güç sistemlerinde gerilim kompanzasyon sistemlerinin işlevleri.....	65
Tablo 4.2: Enerji depolama birimlerinin birbirine göre avantaj ve dezavantajları	69
Tablo 5.1: Gerilim düşmelerine karşı geliştirilen sistemler ve özellikleri.....	72
Tablo 7.1: D.G.D modelindeki parametreler	114
Tablo 7.2: Gerilim kompanzasyon yöntemine göre elde edilen gerilim, akım ve aktif güç değerleri.....	125

SİMGELER

A	:Amper
m	:Gerilim Düşme Miktarı (%)
F	:Farad
H	:Harmonik Derecesi
H	:Henry
p.u	:Birim Değer
V	:Volt

Kısaltmalar

AC	:Alternative Current
S.F.K	:Sabit Faz Kompanzasyonu
ASD	:Adjustable Speed Drive
ASVC	:Advanced Static Var Compensator
CBEMA	:Computer Business Equipment Manufacturer Association
DC	:Direct Current
D.D	:Dalgacık Dönüşümü
D.G.D	:Dinamik Gerilim Düzenleyici
DSP	:Digital Signal Processor
dsPIC	:Digital Signal Controller
DVR	:Dynamic Voltage Restorer
FACTS	:Flexible AC Systems
F.D	:Fourier Dönüşümü
GTO	:Gate Turn-Off Thyristor
HV	:High Voltage
HVDC	:High Voltage Direct Current
IEEE	:Institute of Electrical and Electronic Engineering
IGBT	:Insulated Gate Bipolar Transistor
IGCT	:Integrated Gate Commutated Thyristor
ITIC	:Information Technology Industry Council
İ.F.K	:İleri Faz Kompanzasyonu
K.Z.F.D	:Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
LV	:Low Voltage
MOS	:Metal-Oxide-Semiconductor
MOSFET	:Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor
MV	:Medium Voltage
NPC	:Neutral Point Clamped
PLC	:Programmable Logic Controller
PLL	:Phase-Locked-Loop
PWM	:Pulse-Width Modulation
rms	:Root Mean Square
S.F.K	:Sabit Faz Kompanzasyonu

SMES	:Superconducting Magnetic Energy Storage
SPFC	:Series Power Flow Controller
SPWM	:Sinusoidal Pulse-Width Modulation
SSSC	:Static Synchronous Series Compensator
STATCOM	:Static Synchronous Compensator
STATCON	:Static Condenser
SVC	:Static Var Compensator
TCR	:Thyristor Controlled Reactor
TCSC	:Thyristor Controller Series Capacitor
TSC	:Thyristor Switched Capacitor
UPFC	:Unified Power Flow Controller
UPS	:Uninterruptible Power Supply
VSC	:Voltage-Source Converter

DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ TABANLI DİNAMİK GERİLİM DÜZENLEYİCİ TASARIMI

Ömer Özgür GENCER

Anahtar Kelimeler: Güç Kalitesi, Gerilim Düşmesi, Dinamik Gerilim Düzenleyici, Dalgacık Dönüşümü, AC/AC Dönüştürücü, Dspic Mikrodenetleyici.

Güç sistemlerinde enerjinin sürekli ve belirlenen nitelikte olması istenir. Güç kalitesi olarak tanımlanan ve bu koşullarda oluşan bozulmalar özellikle hassas yüklerin çalışmasını engellemekte, bazı işletmelerde üretimde kesintilere neden olmaktadır.

Gerilim düşmesi, güç sistemlerinde en sık karşılaşılan güç kalitesi bozulmasıdır. Çok sayıda güç elektroniği tabanlı sürücü devreler ve kontrol sistemlerini içeren işletmeler ile yarıiletken üretim tesisleri, kâğıt fabrikaları gerilim düşmelerinden en fazla etkilenen tüketicilerdir. İşletmede kesintiye uğramasından dolayı bu arızaların maliyeti oldukça yüksektir. Dolayısıyla hassas cihazlar açısından gerilim düşmesinin önlenmesi oldukça önemlidir.

Gerilim düşmesinin önlenmesi için geliştirilen birçok yöntem vardır. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılanı, kesintisiz güç kaynakları ile düşme anında sistemin tamamen şebekeden ayrılıp dışarıdan bir güç kaynağından beslenmesidir. Bu konuda yapılan çalışmalar sonucunda yeni bir gerilim düşümü kompanzasyon sistemi olan Dinamik Gerilim Düzenleyiciler (D.G.D) geliştirilmiştir. Güç elektroniği tabanlı bu kompanzator, hassas yükler ile şebeke arasına bağlanır. Güç sisteminde oluşan bir arıza sonucu gerilimde bir düşme oluştuğunda D.G.D aktif ve reaktif güç kompanzasyonu yaparak hassas yüklerin gerilim düşmesinden etkilenmemesini sağlar. D.G.D'nin boyutlandırılması kompanze edilecek yükün büyüklüğüne, gerilim düşmenin süresi ve genliğine bağlıdır.

Gerilim düşmesinin etkilerinin önlenmesinde ilk adım, gerilim düşmesinin oluşma sıklığının, hangi sürede oluştuğunun ve hangi genlikte oluştuğunun belirlenmesidir. Gerilim düşmesinin başlangıç, bitiş anları, düşme miktarı, düşme süresi ve faz atlamaının belirlenmesinde kullanılan bazı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin çoğu sinyal işleme tekniklerine dayanmaktadır.

Bu çalışmada yeni bir D.G.D tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla önce D.G.D ile genel bilgiler verilmiş, mevcut tasarımların özellikleri ve geliştirilebilecek yönleri ele alınmıştır.

İlk olarak dışarıdan bir DC kaynak içeren D.G.D modeli MATLAB/Simulink programı ile tek fazlı ve üç fazlı olarak tasarlanmış, kurulan modelde farklı gerilim kompanzasyon yöntemleri karşılaştırılmıştır.

Daha sonra dışarıdan bir gerilim kaynağı içermeyen özel bir D.G.D tasarımı sunulmuştur. Bu tasarımda gerilim düşmesinin başlangıç, bitiş noktaları ile gerilim düşme miktarının belirlenmesi için bir algoritma geliştirilmiştir. Farklı frekans aralıklarındaki dalgacık sinyallerinin zamana bağlı değişimin veren Ayrık Dalgacık Yöntemi, geliştirilen algoritmanın temelini oluşturmaktadır. Geliştirilen algoritmanın performansının denemesi amacıyla mikroişlemci tabanlı bir sinyal işleme deney düzeneği hazırlanmıştır. Genliği ve süresi ayarlanabilen gerilim sinyali programlanabilir AC güç kaynağından elde edilmiştir. Farklı miktar ve sürelerde oluşturulan gerilim düşmelerinde geliştirilen algoritma denenmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Dışarıdan bir gerilim kaynağına gerek duymayan AC/AC dönüştürücü devresi ile yük geriliminin düşme anında sabit kalması sağlanmıştır. AC/AC dönüştürücü devresinin tasarımı ile en az sayıda yarıiletken eleman ve basit bir kontrol devresi gerçekleştirilmiştir.

DESIGN OF WAVELET TRANSFORM BASED DYNAMIC VOLTAGE RESTORER

Ömer Özgür GENCER

Keywords: Power Quality, Voltage Sag, Dynamic Voltage Restorer, Wavelet Transform, AC/AC Converter, Dspic Microcontroller.

We expect our AC power lines to provide continuous power without interruption and always within certain limits. Most of the time they do; however, we do experience many types of AC power line failures or disturbances which can cause an AC drive or other critical loads to shut down.

Voltage sags are the most severe type of power quality disturbances. Power electronic motor drives and other advanced control equipment found, for example, in paper mills and semiconductor plants are particular susceptible to voltage sags. The financial consequences of disturbances can be extremely high if they result in plant trips and consequent failure of a continuous process. As a result, it is very important to mitigate the impacts of voltage sags on the sensitive equipment.

There are several mitigation solutions available to reduce the severity of voltage sags. Installing the uninterruptable power supply is one of the most common solutions. Since the demand for more efficient mitigation solutions is rising a new device called the Dynamic Voltage Restorer (DVR) has been developed. It is a power electronic based converter installed at the interface of the customer equipment and the point of electricity supply. When a fault occurs, the DVR injects active and reactive power for the restoration of voltage sag. The size of the DVR could be overestimated if it is justified according to the maximum load demand or the most severe voltage sag to be mitigated.

To mitigate the impacts of voltage sags in the most cost effective manner, the severity of voltage sags at a point of interest needs to be determined. There tends to be no one particular preferred method to detect sags, especially if sag depth and phase shift information are required along with start and end times. There are, however, a selection of standard signal processing techniques that can be used to detect the start and end of a voltage sag and/or the associated dip depth and phase shift.

This thesis presents a general description and the operating principles of the DVR, followed by a new design of this custom power device. An innovative modeling technique useful for the design of a dynamic voltage restorer with an external DC power source for distribution systems is presented. A new algorithm to detect the starting, end points and the magnitude of voltage sags is proposed. The Discrete Wavelet Transform is used to detect fast changes in the voltage signals, which allows time localization of differences frequency components of a signal with different frequency wavelets. A digital signal microprocessor-based hardware system is used to test proposed algorithm in real-time with dsPIC. The algorithm is demonstrated via case studies. The injected voltage is applied to critical load over an AC/AC converter without an external power supply. The output voltage can be varied in a continuous manner. The designed system has a cost benefit in the reduction of number of switches and the control logic.

1. ELEKTRİK ENERJİSİNDE KALİTE KAVRAMI

Elektrik enerjisi, kullanılması en rahat, tedariki en kolay, en ekonomik, en temiz ve çok yönlü kullanılmaya elverişli bir enerji türüdür. Elektrik enerjisi olmadan bugünkü uygarlığın varlığı ve devamı düşünülemez. Dolayısıyla elektrik enerjisinin kalite sorunu, üzerinde sürekli çalışılması gereken bir konu olarak görülmektedir [1].

Güç kalitesi açısından ideal bir çalışmada gerilim kaynağı, her zaman kullanıma hazır, gerilim ve frekans değerleri toleranslar içinde değişen, tamamen gürültüsüz ve sinüs eğrisi şeklinde dalga formuna sahip bir kaynaktır. Dolayısıyla güç kalitesi aslında gerilim kalitesi sorunudur [2].

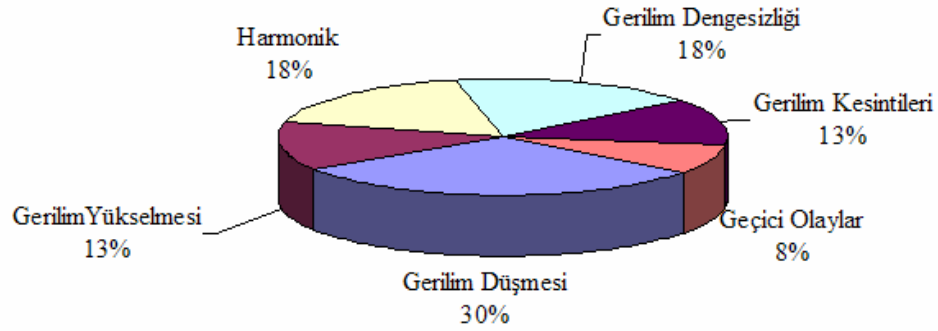
Günümüzde, endüstriyel ve ticari etkinliklerin yürütülmesinde kaliteli enerji temini son derece büyük önem taşımaktadır. Güç kalitesi sorunu, yakın geçmişe kadar elektrik dağıtım şebekesi şirketlerinin kontrolünde kalmıştır. Elektrik ve elektronik sektöründe meydana gelen hızlı gelişmeler paralelinde 90'lı yıllardan bu yana, değişken hızlı sürücü devreleri (variable speed drivers) ve anahtarlama modundaki (switched-mode) güç kaynakları gibi doğrusal olmayan yük kullanımının yaygınlaşması sonucunda, önemi gittikçe artmaktadır. Dolayısıyla tüketiciler açısından; ideal güç kalitesinden sapmanın hangi ölçüde izin verileceği, kullanılan cihazların tipleri ve kullanıcının kendi ihtiyaçlarına olan bakış açısı gibi birçok faktöre bağlı olarak değişebilmektedir [3,4].

Elektrik enerjisinde kalite bozuklukları şu dört başlık altında incelenmektedir [5]:

- Gerilim düşmesi/yükselmesi
- Harmonik bozulma
- Gerilim Kesintileri
- Geçici olaylardır.

Dağıtım şebekesinde gerilim düşmesi, yükselmesi ve kırışması en sık karşılaşılan gerilim bozulmalarıdır. Şekil 1.1’de A.B.D’deki endüstriyel tesislerin karşılaştıkları güç kalitesi problemleri ve bunların oluşma sıklığı gösterilmiştir [6].

Şekil 1.1’den de görüleceği gibi en sık karşılaşılan gerilim kalitesi problemi gerilim düşmesidir. Bunun ardından gerilim dengesizliği ve harmonikler gelmektedir.



Şekil 1.1: Güç sistemlerinde karşılaşılan gerilim bozulmalarının sıklığı

Bu problemlerin her birinin nedeni diğerinden farklı olup, bazı problemler birleşik şebeke üzerinde çalışan tüm tüketicileri etkiler. Örneğin, ana dağıtım sisteminde oluşan bir arıza gerilim düşmesine yol açarak diğer tüketicileri etkileyebilir. Arızanın büyüklüğüne göre çok daha fazla sayıda tüketici etkilenebilir veya bir tüketiciye ait arıza aynı alt sistemden beslenen diğer tüketicilerin hepsinde geçici etkiler yaratabilir [7–10]. Harmonikler gibi müşterinin kendi tesisinden kaynaklanan bazı problemler dağıtım sistemine yayılarak başka tüketicileri etkileyebilir [11]. Dolayısıyla güç kalitesi problemlerinin, şebeke açısından global bir sorun olduğu söylenebilir [12].

Elektrik dağıtımını yapan kuruluşlar, kaliteli enerji isteyen kullanıcıların maliyetlere katlanarak kalitenin kendileri tarafından temin edilmesi gerektiğini savunmaktadırlar [13]. Geniş bir kullanıcı kesimini besleyecek kaliteli elektrik enerjisinin üretilmesi ve kullanıcılara sunulması, yüksek yatırım harcamaları gerektirir; dolayısıyla sınırlı sayıdaki müşterilerin ihtiyacına cevap verebilir ve ekonomik olmayabilir. Enerji dağıtım şebekesinden beslenen herhangi bir müşterinin, mevcut sosyal ve yasal çerçeve içerisinde bu hakkını kullanmasında teknik olarak bazı sorunlar ortaya

çıkabilir. Örneğin, tesisat ile ilgili kazıların yapılması sırasında yeraltı kabloları zarar görebilir, şiddetli rüzgâr ve dondurucu soğuklar gibi hava şartları havai hatlarda tamiri zor ve masraflı arızalara yol açabilir. Bu nedenlerden dolayı, elektrik enerjisinin istenilen kalitede istenilen noktalara ulaştırılması için gerekli işlemlerin yapılması çoğunlukla müşterinin kendi sorumluluğundadır. Bu şekilde elde edilen elektriğin kalitesi bağımsız bir tedarikçi tarafından verilen elektriğin kalitesinden daha yüksek olacaktır [14–17].

Elektrik enerjisinin teminindeki kalite problemlerinin etkilerini ortadan kaldırmak veya azaltmak için mevcut mühendislik çözümleri yanında, bu alanda yeni gelişmeler de bulunmaktadır. Dolayısıyla, kullanıcıların çözümler, avantajlar ve maliyetler konusunda bilgilendirilmeleri gerekmektedir [15,16].

Kullanıcılar, ihtiyaç duydukları kalitede elektrik enerjisi elde etmek için yapılması gereken yatırıma karar verebilmelidirler. Güç kalitesi nedeniyle oluşan kısa süreli bir kesintinin maliyeti bazen bir saatlik bir kesintinin maliyeti kadar hatta daha fazla olabilir. Kesinti maliyetleri konusunda tedarikçi kuruluşlar sağlayamadıkları elektrik enerjisinin maliyetini, tüketiciler ise üretim kaybı sonucu uğradıkları gelir kaybının maliyetini dikkate almaktadırlar. Kısa süreli bir enerji kesintisinde, fatura edilemeyen elektrik enerjisinin maliyeti yanında, üretim kaybı ve tüketicinin uğradığı zararın maliyeti de çok yüksektir [17].

Genel olarak uzun süreli kesintilerin tedarikçilerden kaynaklandığı düşünülebilir, ancak bu kesintiler sistemde kullanılan cihazlardan, iletkenlerden ve çeşitli bağlantılardan kaynaklanabilirler. İstenilmeyen durumların ortaya çıkmasını engelleyici teknikleri içeren dikkatli hazırlanmış tasarımlar, olumsuz etkileri en aza indirebilir. Amaç; arıza noktalarını belirleyerek engelleyici cihazlar kullanmak veya alternatif besleme imkânları tesis ederek arızaya rağmen işlemin sürekliliğini sağlamaktır. Bu şekilde tasarlanan sistemlerin bakımı daha kolaydır ve mutlaka daha iyi sonuçlar alınır. Kesintilere yol açacak durumları önleyici tasarımların başlangıç aşamasında gerçekleştirilmesi çok önemlidir. Kısa ve uzun süreli güç kesintilerine karşı yedek generatör ve UPS sistemleri, kesintileri önleyici tasarımın vazgeçilmez unsurlardır [18,19].

Güç kalitesindeki bozulmalarda gerilim düşmeleri ve kesintilerin büyük çoğunluğu iletim ve dağıtım sistemlerinden kaynaklanmaktadır ve enerji sağlayıcının sorumluluğu altındadır. Harmonik problemlerinin sorumluluğu ise hemen hemen tümüyle tüketiciye aittir. Tesisatlardaki güç kalitesi problemlerin nedeni genellikle harmonik akımlardır; bir tesisatta oluşan harmonik akımlar ortak bağlantı noktasına geri dönerek besleme empedansına ulaştığında bir harmonik gerilim oluştururlar. Bu gerilim bozulması veya en azından bu oluşumun bazı bileşenleri, sistemin her tarafına dağılarak tüm iletim sistemindeki elemanların; örneğin transformatörlerin, lineer olmayan özelliklerinden kaynaklanan harmonik gerilim bozulmaları ile birleşirler. Harmonik akımın sınırlanması kaydıyla, belirli aralıktaki gerilim harmoniklerine izin verilmektedir. Bu sınırlamalar ile ilgili birçok uluslararası uygulama mevcuttur [20]. Harmonik kaynağının saptanması zor olduğundan tüketiciler genellikle tedarikçileri sorumlu tutarlar. Aslında, harmonik problemlerinin tesisat dışı nedenlerden kaynaklanması durumu son derece enderdir, problemlerin hemen hemen her zaman tesisatta kullanılan cihazlardan ve uygulamalardan kaynaklandığı görülmüştür [11,21].

Geçici gerilim bozulmaları, kaynak akımının bir çevriminden çok daha kısa süren yüksek frekanslı yük anahtarlamaları, dağıtım sistemindeki yıldırım darbeleri ve tüketici bölgesinde veya aynı devre üzerinde yer alan diğer bölgelerdeki reaktif güç anahtarlamaları bu bozuklukların önemli nedenleridir [22–23]. Geçici olayların şiddeti tesisatta ve tesisata bağlı cihazlarda ciddi hasar yaratacak seviyede, örneğin mega volt düzeyinde olabilir. Geçici olaylar bilgi işlem sistemlerinde, veri bozulmalarından dolayı karışıklıklara neden olurlar. Bu nedenle, elektrik sağlayıcılar ve telekomünikasyon firmaları geçici etkilerin meydana gelmesini ve müşteri sistemlerine yayılmasını önlemek için bazı çalışmalar sürdürmektedirler [24–30].

Elektrik enerjisinde kalite problemleri tasarımcılar açısından son derece önemlidir [31]. Bilindiği gibi, gerilim düşmesinin belli bir cihaz üzerindeki etkisini somut olarak saptamak oldukça kolaydır. Zor olan; yeni müşterilerin devreye girmesi ve cihaz ilave ve değişimleri nedeniyle ortaya çıkan gerilim düşmelerinin besleme sisteminin hangi noktasında meydana geleceğini bilmektir [32–34]. Harmonik gerilim bozukluğu karşısında cihaz hassasiyetini ve cihazın yarattığı harmonik akım

bozukluğunun ölçülmesi için ihtiyaç duyulan verilerin elde edilmesi kolay değildir. En önemli sorun, güç kaynağı ile kullanılan cihaz arasındaki uyum ile ilgilidir [35].

Gerilim değişimi ile harmonik gerilim bozukluğunun limitlerini ve cihazların arızasız çalışabileceği asgari sınırları belirleyen bazı uluslararası standartlar mevcuttur [20]. Bu standartlarda, besleme devresindeki gerilim sapması ile harmonik gerilim bozukluğuna ait limitler yer almaktadır. İdeal olarak bu limitler arasında bir güvenlik aralığının (güvenlik bandının) bulunması gerekir. Ancak, besleme devresi kalitesinin sürekliliğinin ölçümünde besleme limitleri, kesin rakamlar yerine istatistik verilere dayalı olasılıklar şeklinde belirlenmiştir [21].

Elektrik enerjisinde kalitenin garanti altına alınması, başlangıç aşamasında iyi tasarım, etkin ve uygun cihaz seçimi, tedarikçi ile işbirliği, sürekli kontrol ve dikkatli bakım gerektirmektedir. Diğer bir ifade ile bütünlük ilkesine dayalı bir yaklaşım içerisinde güç kalitesi geliştirme prensipleri uygulamaktadır.

Güç sistemlerinde en sık karşılaşılan ve maliyeti en yüksek olan güç kalitesi problemi olan gerilim düşmelerinin çözümü için birçok çalışma yapılmıştır [36–52]. Bu çalışmalar çoğunluğu gerilimi kompanze ve kontrol etme yöntemleri ile hata algılama teknikleri ve kullanılan elemanların boyutlandırılması ile ilgilidir. Günümüzde gerilim kompanzasyonu için en yeni yöntem Dinamik Gerilim Düzenleyici kullanımıdır.

Bu çalışmanın amacı, şebekede oluşabilecek bir gerilim düşmesi sırasında, yük geriliminin sabit kalmasını sağlayacak mevcut sistemlerden farklı ve üstünlüklere sahip bir Dinamik Gerilim Düzenleyici gerçekleştirmektir. Bu amaçla tasarlanan sistemde, gerilim düşümlerini algılamada son yıllardaki en güncel sinyal işleme yöntemi olan Dalgacık Dönüşümü'nden yararlanılmıştır. Gerilim düşmesi karakteristik büyüklüklerinden düşme miktarı ve düşme süresi, geliştirilen yöntem ile belirlenebilmektedir. Algılanan düşme miktarına göre kompanze edilecek gerilim değeri belirlenmekte ve dışarıdan bir gerilim kaynağı kullanılmaksızın güç elektroniği tabanlı dönüştürücü sistemi ile yük gerilimi sabit tutulmuştur. Kontrol birimi olarak 16 bitlik dsPIC Mikrodenetleyici kullanılmıştır.

Tezin 1. bölümü elektrik enerjisinde kalite kavramı ile ilgili genel bilgiler içermektedir.

Tezin 2. bölümünde şebekede karşılaşılan güç kalitesi bozulmaları ile ilgili tanımlar verilmiştir. Bu problemlerin karakteristik büyüklükleri ile sınıflandırılması yapılmıştır.

3. Bölümde gerilim düşmesi problemi ayrıntılı olarak ele alınmıştır. İletim ve dağıtım sistemlerinde oluşan gerilim düşmelerinin sebepleri, etkileri ve sınıflandırılması incelenmiştir.

4. Bölümde güç elektroniği tabanlı gerilim düşmesi kompanzasyon yöntemleri açıklanmıştır.

5. Bölüm, Dinamik Gerilim Düzenleyiciler, gerilimi kompanze etme yöntemleri ve bu sistemlerde kullanılan hata algılama yöntemleri ile ilgili bilgiler içermektedir.

6. Bölümde gerilim düşmesini algılama yönteminde kullanılan bir sinyal işleme yöntemi olan Dalgacık Dönüşümü ile ilgili teorik bilgiler verilmiştir.

7. Bölümde MATLAB programı yardımıyla yapılan tek fazlı ve üç fazlı Dinamik Gerilim Düzenleyici tasarımı verilmiştir. 5. Bölümde açıklanan gerilim kompanzasyon yöntemleri, tasarlanan modelde denenmiştir.

8. Bölümde gerilimi kompanze etmek için geliştirilen ve dışarıdan bir gerilim kaynağına ihtiyaç duymayan dönüştürücü devre tasarımı ele alınmıştır.

9. Bölümde ise gerilim düşümünün Dalgacık Dönüşümü ile algılanması ile ilgili olarak yapılan çalışmalar incelenmiş, bunların pratik uygulama olanakları olup olmadığı değerlendirilmiştir. Ayrıca gerilim düşmesi başlangıç ve bitiş anları ile düşme miktarının belirlenmesi için geliştirilen algoritma bu bölümde verilmiştir.

10 Bölümde tasarlanan Dinamik Gerilim Düzenleyicinin şebeke geriliminde ve programlanabilir güç kaynağında oluşturulan gerilim düşme deneylerindeki performansı gösterilmiştir.

11. Bölümde elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve bu konuda gelecekte yapılması düşünülen çalışmalardan verilmiştir.

2. GÜÇ KALİTE PROBLEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Elektrik güç sistemlerinde ortaya çıkan kalite problemlerinin farklı kaynaklarda çeşitli sayıda sınıflara ayrılmış olduğu görülür. Bu çalışmada yapılan sınıflandırma ise güç kalite problemlerinin tanımları ve karakteristikleri göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Bazı bozukluklar şebekeden kaynaklanırken, bazıları da bağlı olan yükün kendi özelliklerinden dolayı meydana gelmektedir. Buna göre, güç kalitesi problemleri 1. Bölümde verilen sınıflandırma genişletilerek süre ve özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [5,53,54]:

- Kısa süreli gerilim değişimleri
- Uzun süreli gerilim değişimleri
- Geçici olaylar
- Gerilim dengesizliği
- Dalga şekli bozukluğu
- Gerilim dalgalanması
- Güç frekans değişimleri

2.1 Kısa Süreli Gerilim Değişimleri (Voltage Variations)

Kısa süreli gerilim değişiminin sınırları I.E.E.E 1159 Standardı'na göre nominal gerilimin efektif değerinde 0,5 periyot (güç frekansı periyodunun yarısı) ile 1 dakika arasında süren gerilim değişimleri olarak tanımlanmıştır [20].

Değişimin süresine bağlı olarak kısa süreli gerilim değişimleri Tablo 2.1'de gösterildiği gibi ani, anlık ve geçici olmak üzere üç çeşittir. Gerilimdeki bu değişimlerin nedenleri arasında şebeke yetersizliği, şebekede görülen kısa devre arızaları ve arıza sonucunda ortaya çıkan anahtarlamalar, yıldırım, yüksek başlangıç akımlarına ihtiyaç duyan büyük yüklerin enerjilendirilmeleri ve aşırı yüklenme

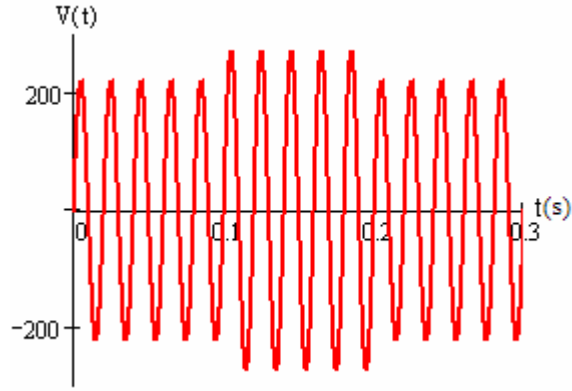
sayılabilir. Sistem koşulları ve arıza yerine bağlı olarak gerilimde düşme (sags), yükselme (swells) veya kesintiler (interruptions) oluşabilmektedir [5].

Tablo 2.1: Kısa Süreli Gerilim Değişimleri

Bozulma						
Tipi	Gerilim Yükselmesi		Kesinti		Gerilim Düşmesi	
	Süresi	Gerilim Değişimi	Süresi	Gerilim Değişimi	Süresi	Gerilim Değişimi
Ani	0,5-30 periyot	1,1-1,8 p.u	0,5-30 periyot	<0,1 p.u	0,5-30 periyot	0,1-0,8 p.u
Anlık	30 periyot - 3 s	1,1-1,8 p.u	0,5-3 s	<0,1 p.u	30 periyot - 3 s	0,1-0,8 p.u
Geçici	3 s-1 dk	1,1-1,8 p.u	3 s-1 dk	<0,1 p.u	3 s-1 dk	0,1-0,8 p.u

2.1.1 Gerilim yükselmesi (Swell)

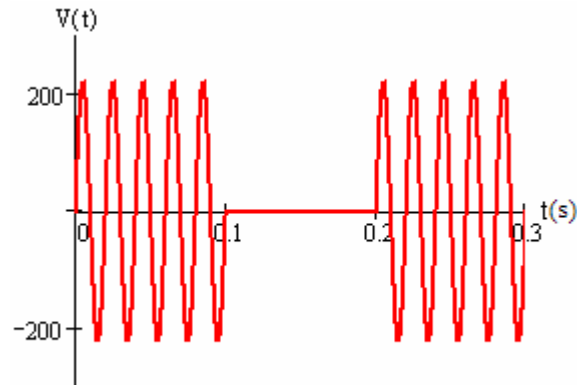
Nominal gerilimin veya akımın efektif değerinin 1,1 p.u ile 1,8 p.u arasında değişen, 0,5 periyot ile 1 dakika arasında süren gerilim artışları gerilim yükselmesi olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda ani aşırı gerilim (momentary overvoltage) olarak da bilinmektedir. Gerilim yükselmeleri genellikle sistem arızaları, büyük yüklerin anahtarlanmaları veya kondansatör gruplarının enerjilendirilmeleri sonucu oluşmaktadır. Simetrik olmayan toprak arıza ve kısadevresi esnasında arızasız fazlarda geçici gerilim artışları oluşur. Gerilim düşmeleri kadar yaygın olmamakla beraber yükselme süresi ve kalıcı gerilim parametreleri ile karakterize edilir. Arıza koşullarında görülen gerilim yükselmesinin ciddiyeti sistem empedansına, arızanın yerine ve topraklamaya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu tip kalite problemleri cihaz donanımlarının aşırı ısınmadan dolayı düzgün çalışmamasına neden olmaktadır. Şekil 2.1’de tek faz-toprak arızasında oluşan gerilim yükselmesi görülmektedir [55-58].



Şekil 2.1: Tek faz toprak arızasında meydana gelen gerilim yükselmesi

2.1.2 Kesinti (Interruption)

Kesinti, besleme geriliminin veya yük akımının, bir dakikayı aşmamak koşuluyla, efektif değerinin 0,1 p.u değerinin altına düşmesi olarak tanımlanmaktadır. Aşırı ısınmaya bağlı olarak devre kesicilerinin açması, yıldırım ve sistem arızaları olası kesinti nedenleri arasında gösterilebilir. Gerilimin, nominal değerinin %10'undan daha düşük değerlerde kaldığı süre kesinti süresi olarak adlandırılır. Kesintinin süresi cihazların bozulmaları veya bağlantı kopukluğu gibi nedenlerden dolayı düzensizlik gösterebilir. Sistemdeki bir arızadan ötürü oluşan kesintinin süresi sistemdeki koruma cihazlarının cevap verme zamanı ile belirlenmektedir [59]. Şekil 2.2, bir arıza sonucu oluşan ani kesintiyi göstermektedir.



Şekil 2.2: Arıza sonucu oluşan gerilim kesintisi

2.1.3 Gerilim düşmesi (Voltage Sag)

Gerilim düşmelerinin çeşitli uluslararası standartlara göre tanımı şu şekildedir:

- IEEE 1159 Standardı'na göre gerilim düşmesinin tanımı [60];

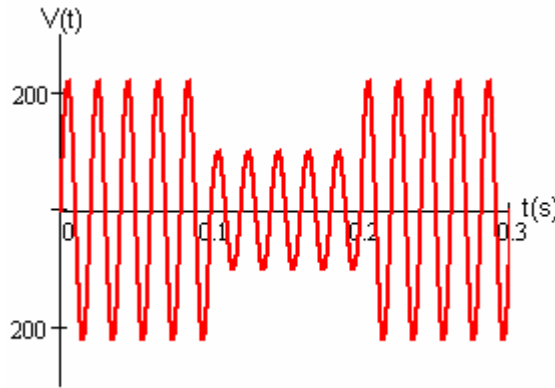
Nominal gerilimin efektif değerinin %10'u ile %90'ı arasında 0,5 periyot ile 1 dakika arasında süren gerilim düşmesi.

- IEC 61000-2-8 Standardı'na göre ise [61];

Elektrik sistemindeki herhangi bir noktada gerilimin kısa süreyle, aniden belirlenen eşik değerinin altına düşüp tekrar eski halini alması.

Genel olarak gerilim düşmeleri kısa devre arızalarının belirmesi, tesisatta veya aynı sistemdeki başka tesisatlarda aşırı akımların oluşması nedeniyle meydana gelen, “süre” ve “kalıcı gerilim” parametrelerini içeren iki boyutlu elektromagnetik bir rahatsızlıktır.

Şekil 2.3'de 220 V'luk nominal gerilimde oluşan %55'lik bir gerilim düşmesi sonucu gerilimin zamana bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 2.3: Gerilimde oluşan düşme

Gerilim düşmeleri konut ve endüstriyel yükleri en fazla etkileyen ve ticari güç kalitesi problemlerindedir. Gelişi güzel oluştuklarından önceden tahmin edilmeleri zordur.

Dağıtım sistemindeki arızalar, yükün ani olarak artması, yıldırım darbeleri veya endüksiyon motorları (asen kron motorlar) gibi büyük yüklerin enerjilendirilmeleri gerilim düşmesi nedenleri arasında sayılabilir. Örneğin; bir yüksek gerilim iletim sisteminde yıldırımdan dolayı meydana gelen arıza sonucu gerilimde oluşan düşmeler %50'lere ulaşır ve 4 ile 7 periyot sürebilir [62-68].

2.2 Uzun Süreli Gerilim Değişimleri

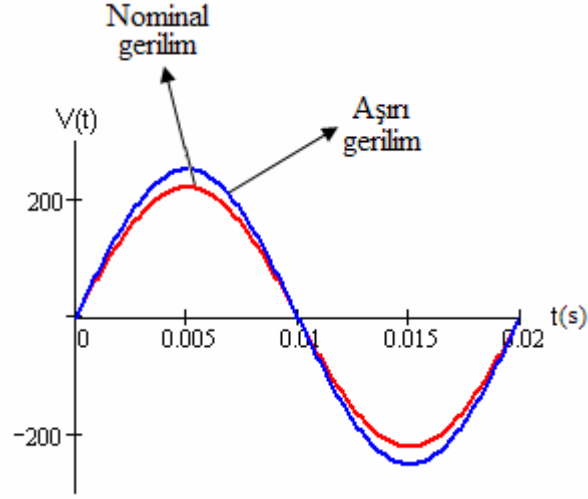
Bir dakikadan uzun süren aşırı gerilimler ve düşük gerilimler uzun süreli gerilim değişimleri olarak bilinirler. Güç sistem frekansında, nominal gerilimin RMS değerindeki bir dakikadan daha uzun süreli gerilim değişimleri olarak tanımlanırlar. Sistem arızalarından değil, genel olarak anahtarlama işlemleri ve sistemdeki yük değişimlerinden dolayı meydana gelmektedirler. Tablo 2.2'de uzun süreli gerilim değişimleri ve süreleri görülmektedir [5].

Tablo 2.2: Uzun Süreli Gerilim Değişimleri

Tipi	Süresi	Gerilim Değişimi
Kesinti	>1dk	0 p.u
Gerilim Düşmesi	>1dk	0,8 - 0,9 p.u
Gerilim Yükselmesi	>1dk	1,1 - 1,2 p.u

2.2.1 Aşırı gerilim (Overvoltage)

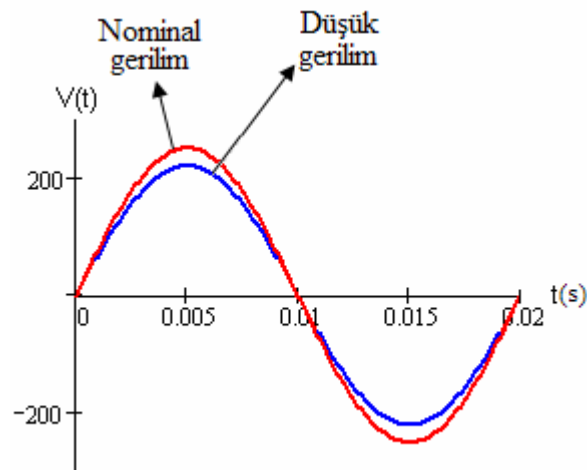
Güç sistem frekanslı alternatif gerilimin efektif değerinin bir dakikadan daha uzun süre ile 1,1 p.u değerini aşması olarak tanımlanır. Bu tip güç kalite problemleri büyük yüklerin devreden çıkarılması, kondansatör gruplarının enerjilendirilmesi veya transformatör kademelerinin yanlış seçilmesi ile ortaya çıkarlar. Sistemin gerilim regülasyonuna karşı zayıf olması veya gerilim kontrollerinin yetersizliği de aşırı gerilimlerin nedenleri arasındadır. Aşırı ısınmadan dolayı cihaz donanımlarının çalışmalarına etki ederler. Şekil 2.4'de, bir aşırı gerilim gösterilmektedir [69].



Şekil 2.4: Aşırı gerilim oluşması

2.2.2 Düşük gerilim (Undervoltage)

Güç sistem işletme frekanslı alternatif gerilim efektif değerinin bir dakikadan daha uzun süre ile 0,9 p.u değerinin altına inmesi olarak tanımlanır. Büyük yüklerin devreye alınması, kondansatör gruplarının sistemden çıkarılmaları veya aşırı yüklenmiş devreler sonucunda görülen düşük gerilimlerin en önemli etkisi sistem çökmesidir (shutdown). Şekil 2.5’de düşük gerilim dalga şekli gösterilmektedir [5,33].



Şekil 2.5: Düşük gerilim oluşması

2.3 Geçici Olaylar (Transients)

Geçici olaylar, darbeleri (impulsive) ve salınımlı (oscillatory) olmak üzere iki başlığa ayrılırlar. Tablo 2.3’de akım veya gerilim dalga şeklindeki geçici olayların özelliklerini göstermektedirler [5,33].

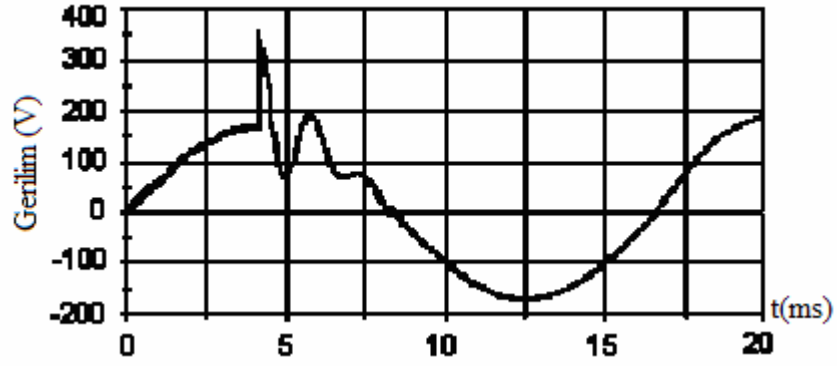
Tablo 2.3: Diğer gerilim bozulmaları

Tipi	Süresi	Gerilim Değişimi
Gerilim Dengesizliği	Sürekli hal	%0,5-2
Dalga Şekli Bozukluğu		
DC Bileşen	Sürekli hal	%0-0,1
Harmonikler	Sürekli hal	%0-20
İnterharmonikler	Sürekli hal	%0-2
Çentik	Sürekli hal	
Elektriksel Gürültü	Sürekli hal	%0-1
Gerilim Dalgalanması	Geçici	%0,1-7
Güç Frekans Değişimleri	<10s	

2.3.1 Darbeleri geçici olaylar

Darbeleri geçici olaylar; kararlı haldeki gerilimde, akımda veya her ikisinde ani ve tek yönlü olarak gerçekleşen değişimlerdir. Genellikle, yükseliş ve sönüş zamanları ile anlık frekansları yardımıyla ölçülürler [33].

Yıldırım, darbeleri geçici olayların en önde gelen nedenlerindedir. Dalga şekilleri işletme frekanslı işaretlere göre çok hızlı bir şekilde değişebilir ve yüksek frekanslarda gerçekleştiğinde karakteristiği, güç sisteminin farklı bölümlerine göre değişiklik gösterir [70].

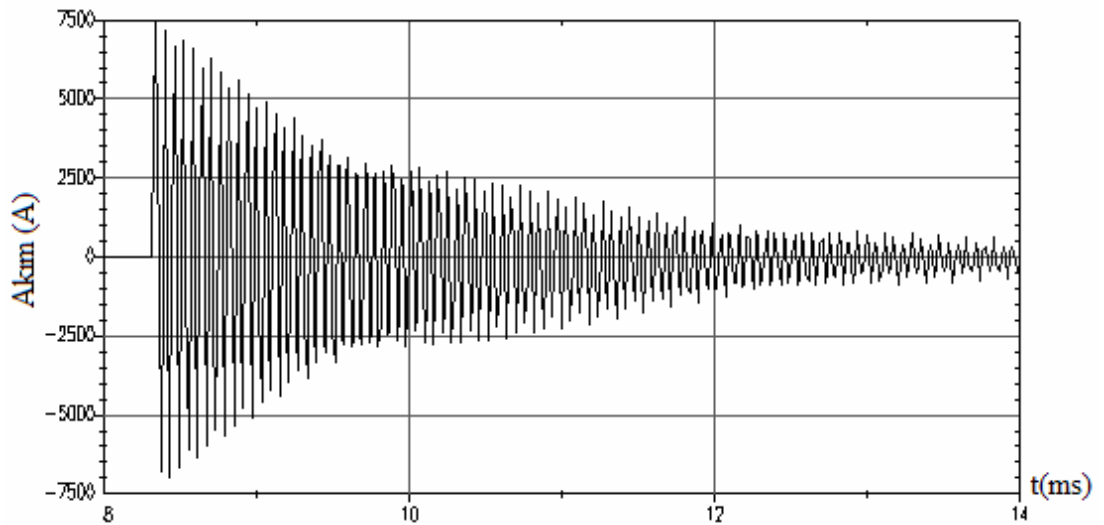


Şekil 2.6: Yıldırım ile oluşan darbeli geçici olayların dalga şekli

2.3.2 Salımlı geçici olaylar

Salımlı geçici olaylar, kararlı haldeki gerilimde, akımda veya her ikisinde ani olarak meydana gelen pozitif ve negatif polariteye sahip değişimlerdir. Ani gerilim veya akım değeri çok hızlı işaret değiştirir (Şekil 2.7). Salımlı geçici olaylar süre, büyüklük ve ana frekansları ile karakterize edilirler. Ana frekans yüksek, orta ve düşük frekans olmak üzere üç alt-sınıfa ayrılmıştır.

Ardışıl bağlı kondansatörlerin enerjilendirilmeleri, salımlı geçici akımlar üretirler ve orta frekans olayları arasında sayılırlar (Şekil 2.7). Orta frekanslı geçici olaylar, bir sistemin darbeli geçici olaylara verdiği karşılık sonucu da oluşabilir.



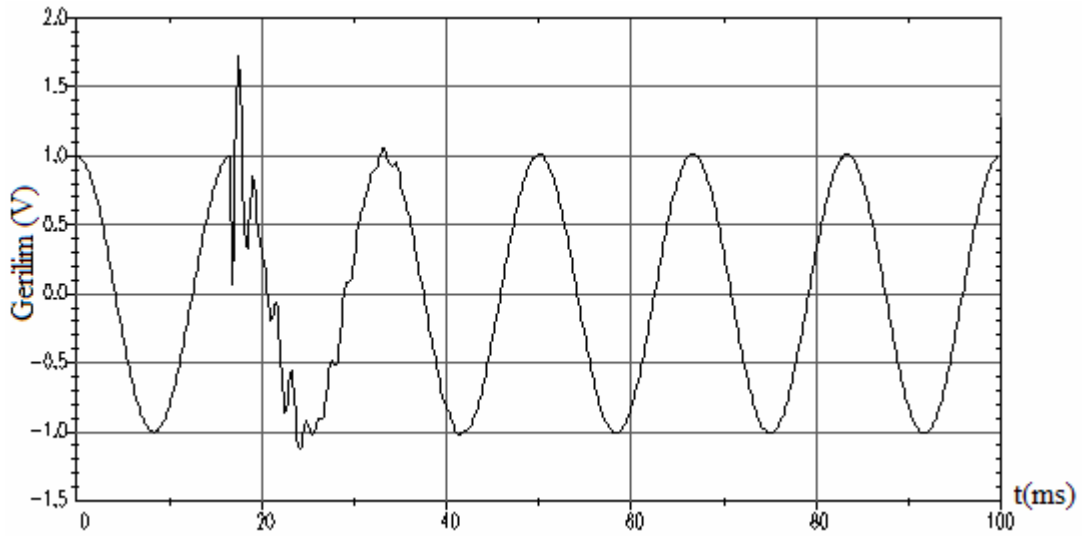
Şekil 2.7: Kondansatörlerin enerjilendirilmesiyle oluşan salımlı geçici olayların akım dalga şekli

Kondansatör gruplarının anahtarlanması, güç faktörü düzeltme amaçlı yapılan günlük işlemlerden biridir. Çoğu ağır endüstriyel yükler, örneğin endüksiyon motorları ve ark fırınları, düşük güç faktörlerinde çalışırlar. Ağır endüktif yükler hatlarda kayıpların artışına neden olan aşırı yüksek akımların akmasına yol açarlar. Ayrıca cihazların hasar görmesi ve işlem kontrol cihazlarının devre dışı kalması gibi etkilere de neden olurlar.

Kondansatör grupları enerji depolayarak sistem güvenliğini yükseltirler. Güç kaybındaki düşme ve gerilim profilindeki iyileşmeler ancak sistemdeki yükün değişimine göre dinamik olarak kontrol edilen kondansatör grupları ile sağlanabilir.

Genel olarak, kondansatör gruplarının toplam reaktif kapasitesi normal bir güç dağıtım sisteminin yaklaşık %50'si kadardır. Geçici olayların büyüklüğünü ve karakteristiklerini etkileyen faktörler, kaynak yeterliliği, iletim hatları, iletim sistemlerindeki kondansatör grupları ve anahtarlama elemanlarıdır. Ön direnç ve senkron kapama, kondansatör anahtarlaması ile oluşan geçici olayları azaltma yöntemlerinden bazılarıdır [71].

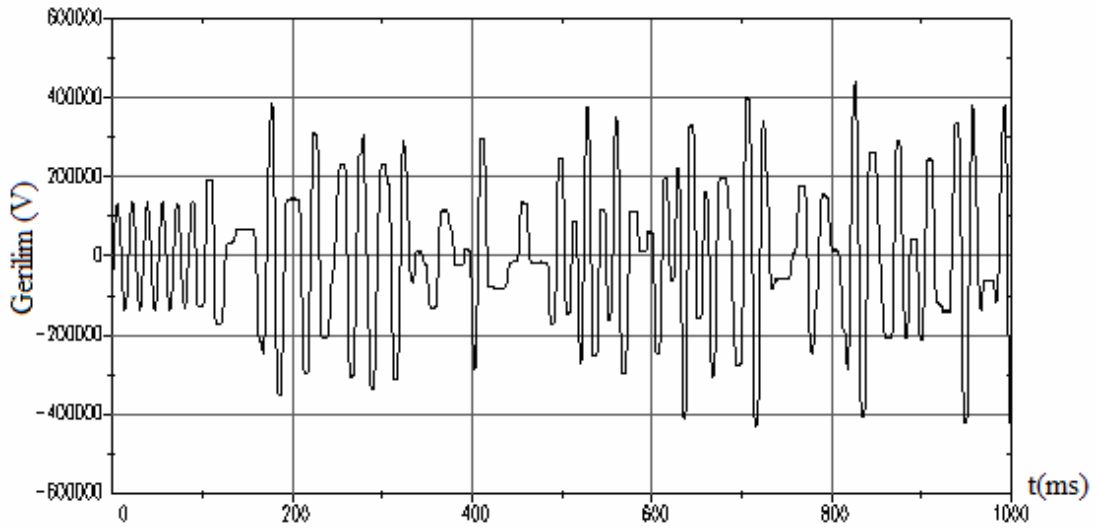
Şekil 2.8, bir dağıtım sisteminde, kondansatörlerin enerjilendirilmeleri sonucu oluşmuş düşük frekanslı salınım yapan geçici olayları göstermektedir. Alt-iletim sistemlerinde ve dağıtım sistemlerinde bu tip olaylarla karşılaşılabilir [72].



Şekil 2.8: Kondansatör enerjilendirme sonucu oluşan düşük frekanslı geçici olaylar

Bir kondansatör grubunun enerjilendirilmesi esnasında kondansatör geriliminin aniden değişmesi mümkün değildir. Sistem geriliminin aniden sıfıra doğru düşmesi veya çok yükselmesi ile sonuçlanabilir ve nihayetinde 50 Hz dalga şekli üzerine salınımlı bir geçici yerleşmiş olur. Anahtarlama anındaki sistem geriliminin ani değerine bağlı olarak oluşan gerilimin tepe değeri normal gerilim tepe değerinin iki katına çıkabilir. Tipik bir dağıtım sistemindeki kondansatör anahtarlamasına bağlı aşırı gerilimler 300 Hz - 1 kHz geçici frekanslı olarak 1,1-1,6 p.u değerlerinde değişmektedir [73].

Dağıtım sistemlerinde frekansı 300 Hz'den küçük salınım yapan geçici olaylar da mevcuttur. Bunlar daha çok ferro-rezonans ve transformatör enerjilendirme ile ilişkilidir. Şekil 2.9, yüksüz bir transformatörün ferro-rezonansından kaynaklanan düşük frekanslı bir geçici olayı göstermektedir [74].



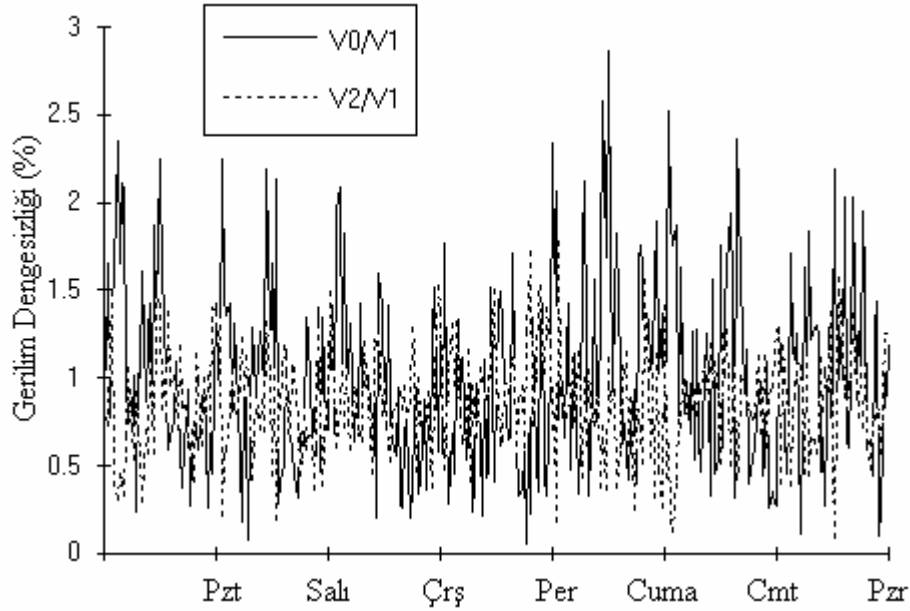
Şekil 2.9: Ferro-rezonans ile oluşan düşük frekans salınımlı geçici olaylar

Geçici aşırı yüksek gerilimleri sınırlamak için yaygın olarak uygulanan yöntemlerden bazıları şunlardır [75-77]:

- Alternatif akım giriş ucuna seri bir reaktör yerleştirmek
- Dağıtım sistemlerinde statik var kompensatörleri (S.V.C) kullanmak.

2.4 Gerilim Dengesizliği (Voltage Unbalance)

Üç fazlı bir güç sisteminde akım ve gerilim dalga şekillerinin genlikleri eşit ve her faz arasında 120^0 faz farkı bulunuyorsa bu sistem dengelidir denir. Genlik ve faz açısındaki oluşan farklılık sistemin dengesiz olarak anılmasına neden olur. Elektrik enerjisi kalite problemlerinden olan gerilim dengesizliği (voltage unbalance), dengesiz gerilim genliğinin dengeli durumdaki bir faza ait gerilim genliğine oranı olarak belirlenir ve yüzde olarak ifade edilir. Üç fazlı kondansatör gruplarının bir fazının devreden çıkması gerilim dengesizliğine neden olur. %5'ten büyük gerilim dengesizlikleri hassas cihazlarda arızalanmalara yol açarlar [5].



Şekil 2.10: Bir fiderde oluşan gerilim dengesizliği

Şekil 2.10 bir fiderden alınan ölçüme göre bu oranların bir haftalık değişimlerini göstermektedir [14]. Gerilim dengesizliği simetri bileşenler yardımıyla da ifade edilebilir. Buna göre, negatif bileşenin sıfır bileşene oranı veya sıfır bileşenin pozitif bileşene oranı dengesizlik oranının belirlenmesinde kullanılabilir.

2.5 Dalga Şekli Bozukluğu

Dalga şekli bozuklukları beş ana başlık altında toplanabilir. Bunlar; DC bileşen, harmonikler, interharmonikler, çentik ve elektriksel gürültü olarak sıralanırlar. Ana frekanstan sapma oranına göre karakterize edilirler [5, 78].

2.5.1 DC bileşen

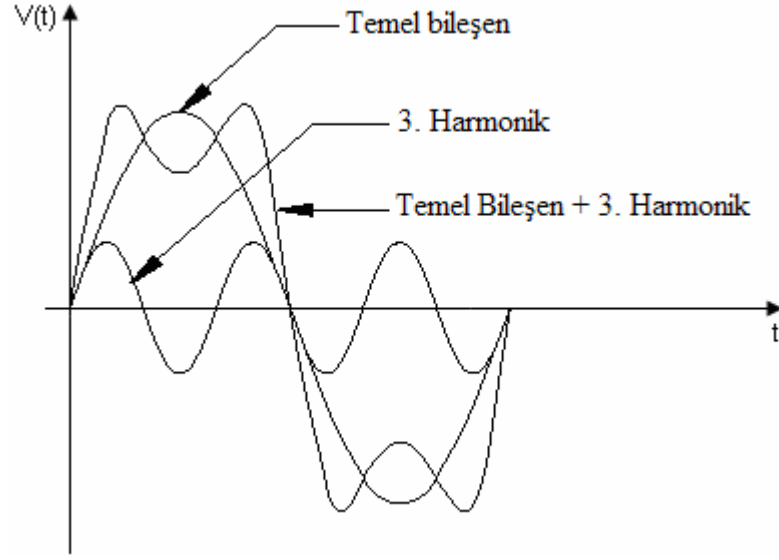
DC bileşen, alternatif akım güç sisteminde doğru akımın veya gerilimin varlığı olarak tanımlanabilir. Yarım dalga doğrultmanın etkisiyle oluşabilirler. Alternatif akım şebekelerinde bulunan doğru akım bileşeninin zararlı etkileri olabilir. Bu tip rahatsızlıklar ısınmada ek artışlara ve transformatörlerin yıpranmasına neden olurlar [5].

2.5.2 Harmonikler

Günümüzde harmonikler hem elektrik üreticisi hem de tüketici için büyük bir problem haline gelmiştir. Harmonikler şebeke frekansının tam katlarında ve sinüs eğrisi şeklindeki yüksek frekanslı dalga şekilleridir. Harmonikler akım ve gerilim harmonikleri olarak adlandırılır ve elektronik yükler tarafından oluşturulan harmonik akımlar harmonik gerilimlerin ortaya çıkmasına neden olurlar. Bu tip lineer olmayan yükler besleme sisteminden bozuk dalga şekline sahip bir akım çekerler. Akımdaki bozukluğun miktarı, yükün gücüne, yükün özelliğine ve yükün bağlı olduğu noktanın kısadevre gücüne bağlı olarak değişir [78].

Şekil 2.11'de bozuk dalga şekline sahip gerilim sinyalini oluşturan temel ve 3. harmonik bileşenleri görülmektedir.

Bir dağıtım sisteminde üretilen harmonikler sistem gerilimini bozar ve besleme kaynağına doğru ilerler. Kaynağın gücü sistem gerilim dalga şeklinin bozulma miktarını etkiler. Harmonik akımların oluşturduğu ek ısı kayıpları dağıtım sisteminin verimliliğine olumsuz yönde bir etki yapar.



Şekil 2.11: Gerilim sinyalinin harmonik bileşenlerinin bir periyotta gösterimi

Elektrik ark fırınları gibi endüstriyel yükler ve deşarj lambaları harmonik bozulmaya neden olan diğer etkenlerdir. Harmoniklerin güç sistemindeki etkileri arasında veri karışıklığı ve kaybı, hassas cihazlarda oluşan aşırı ısınma veya tahribat ve kondansatör gruplarının aşırı yüklenmesi sayılabilir. Ayrıca yüksek frekanslı harmonikler yakındaki haberleşme sistemlerinde parazit oluştururlar.

Periyodik bir işaret, Fourier analizi yöntemiyle ana frekans ve ana frekansın tam katları olan harmonik bileşenlerine ayrıştırılabilir.

$$\begin{aligned}
 F(t) &= F_0 + \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t) \\
 &= \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=2}^{\infty} [a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t]
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Buradaki sabitler:

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos(n\omega t) \, d(\omega t) \quad n=0,1,2,\dots, \infty
 \tag{2.2}$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos nwt \, d(wt) \quad n=0,1,2,\dots, \infty \quad (2.3)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \sin nwt \, d(wt) \quad n=0,1,2,\dots, \infty \quad (2.4)$$

Harmonik bozulmanın ölçülmesi için Toplam Harmonik Bozulma (T.H.B) tanımlanır. Gerilim ve akım için toplam harmonik bozulma miktarları şu şekilde hesaplanır:

$$U_{THB} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \quad I_{THB} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.5)$$

Burada,

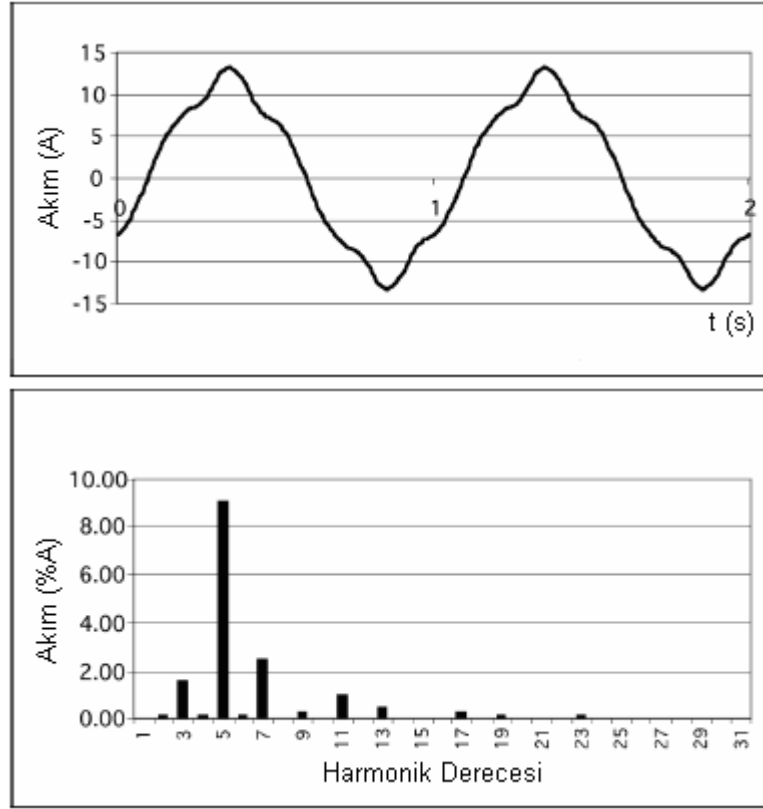
- U_{THB}, I_{THB} : Gerilim ve akım toplam harmonik bozulma miktarı
 U_1, I_1 : Temel frekanslı gerilim ve akım efektif değerleri
 U_n, I_n : Harmonik frekanslı gerilim ve akım efektif değerleri
 n : tam sayı ($n \geq 2$)

Harmonik bileşenleri içeren gerilim ve akımın efektif değerleri:

$$U_{RMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2} = U_1 \sqrt{1 + T.H.B^2} \quad (2.6)$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} = I_1 \sqrt{1 + T.H.B^2} \quad (2.7)$$

eşitlikleri ile verilir. Şekil 2.12'de ayarlanabilir bir hız sürücüsünün (A.H.S) giriş akım dalga şekli görülmektedir [79]. Harmonik bozulma kabul edilebilir bir seviyede sınırlandırılabilir. Burada önerilen harmonik bozulma sınırları, bir kullanıcı için izin verilen maksimum akım bozulmalarını belirtmektedir [80,81].



Şekil 2.12: Bir A.H.D'nin giriş akımının dalga şekli ve harmonik spektrum

2.5.2.1 Triplen harmonikler

Triplen harmonikler “ $3n$ ” harmonikleri tek katlarıdır. Üç fazlı yükler, örneğin AC/DC sürücüler ve kesintisiz güç kaynakları (Uninterruptible Power Supplies-UPS) bu tip harmoniklerin oluşma nedenleri arasında yer alırlar. Nötr bağlantılı transformatörler, yıldız bağlı taraftaki tek fazlı yükleri beslerken aşırı ısınma eğilimi gösterirler. Bunun nedeni ise yıldız bağlı tarafta üç ve üçün tek katları olan harmoniklerin varlığıdır [82].

2.5.2.2 İnterharmonikler

IEC-61000-2-1'e göre interharmonikler, harmonikler yanında temel bileşenin frekansının tam katlarında olmayan periyodik dalgalardır. Bunlar geniş bir spektrumda görülebilirler [83-86].

Aşağıda interharmoniklerin matematiksel ifadeleri yer almaktadır.

Harmonik $f = h * f_1$ (h tamsayı) > 0

DC $f = 0$ Hz (h = 0)

İnterharmonik $f \neq h * f_1$ (h tamsayı) > 0

Alt- harmonik $f > 0$ Hz ve $f < f_1$

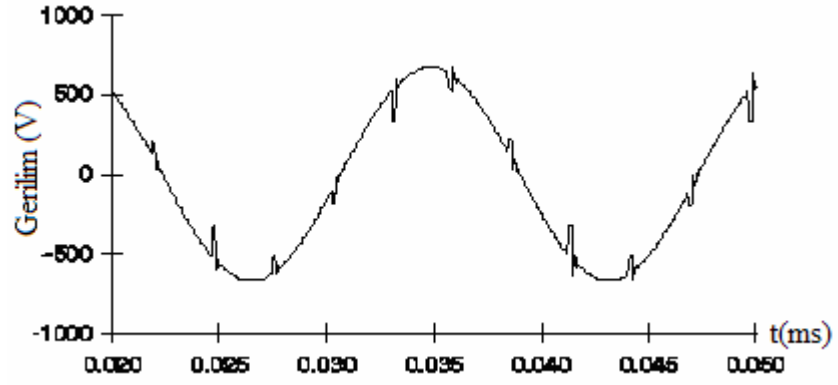
İnterharmoniklerin oluşma nedenleri arasında endüksiyon motorları (asenron motorlar), statik frekans dönüştürücüleri ve arklı cihazlar sayılabilir. Harmoniklerde olduğu gibi ısınmaya neden olurlar. Özellikle temel frekanstan endüksiyon motorların stator sargılarında güç kayıplarının oluşmasını sağlarlar [87-89].

Harmoniklerin yarattığı olumsuz etkileri azaltma yöntemlerinden bazıları şunlardır:

- Yüklerin oluşturulduğu harmoniklerin azaltılması,
- Kullanıcı güç faktörlerinin düzeltilmesi,
- Yüke, mümkün olduğunca yakın izolasyon transformatörler yerleştirilmesi,
- Filtre kullanarak besleme devresinden harmonik akımların arındırılması,
- Gerilim bozulmasını en aza indirmek için düşük empedanslı güç kaynakları seçilmesi.

2.5.3 Çentik (Notch)

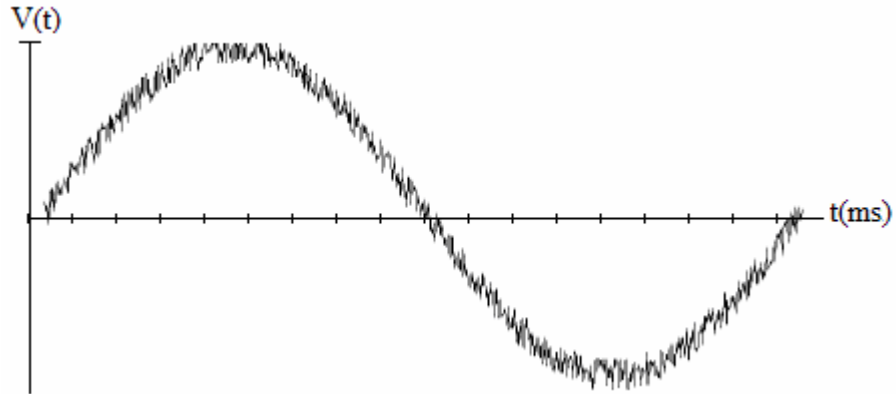
Çentik, güç elektroniği elemanlarının normal çalışması ile oluşan gerilim dalga şekli bozukluğudur. Periyodik olarak görülürler. Frekansları çok yüksek değerlere ulaşabileceği için harmonik analizi için kullanılan cihazlar ile ölçümlerini yapmak mümkün olmayabilir [33]. Şekil 2.13'de bir fazlı dönüştürücü geriliminin çentikli dalga şekli görülmektedir.



Şekil 2.13: Bir fazlı bir dönüştürücünün gerilim dalga şekli

2.5.4 Elektriksel gürültü (Noise)

Gürültü, elektriksel sinyallerin istenilmeyen şekilde bozukluğa uğraması olarak tanımlanabilir. Öyle ki oluşan rahatsızlığın frekansı temel frekansın yanında çok büyük değerler (200 kHz'e kadar) alabilir [5]. Şekil 2.14'de gürültülü gerilim dalga şekli görülmektedir.

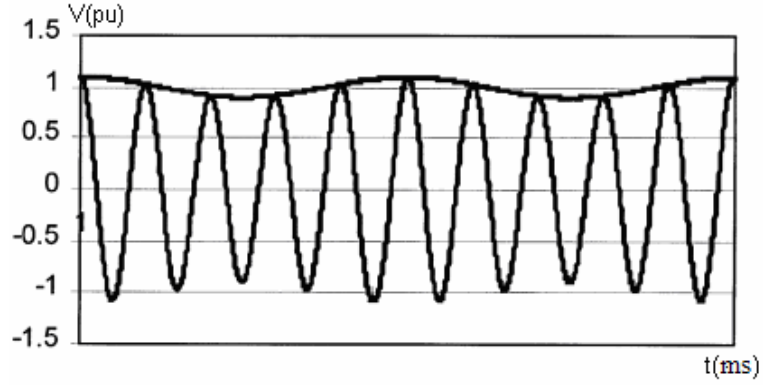


Şekil 2.14: Elektriksel gürültü

2.6 Gerilim Dalgalanması (Voltage Fluction)

Gerilimin alt ve üst zarf eğrileri arasında büyüklüğü 0,9 p.u ile 1,1 p.u değerlerini aşmadan yapmış olduğu salınımlar gerilim dalgalanması olarak adlandırılır. Sistemdeki yükün değişmesi sonucu gerilimde meydana gelen dalgalanmalar da bu tip kalite problemlerindedir. Gerilim dalgalanmaları efektif değerleriyle ölçülürler

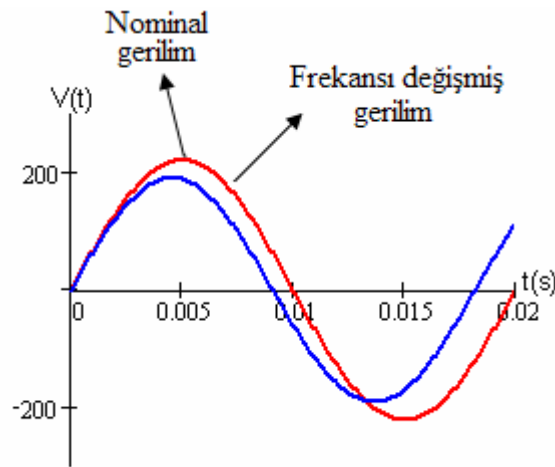
ve nominal gerimin efektif değerine oranı olarak verilirler. İletim ve dağıtım sistemlerinde görülen gerilim dalgalanmalarının nedenleri genellikle ark fırınlarıdır. Şekil 2.15’de bir ark fırınının çalışması esnasında oluşan gerilim dalgalanması görülmektedir [33].



Şekil 2.15: Bir ark fırını tarafından oluşturulan gerilim dalgalanması

2.7 Güç Frekans Değişimleri (Power Frequency Variations)

Güç sisteminin temel frekansının nominal değerindeki değişimler güç frekansı değişimleri olarak tanımlanırlar. Sistemi besleyen generatörlerin dönüş hızı güç sistem frekansını belirlemekte etkin rol oynar. Frekans kaymasının süresi ve büyüklüğü yükün karakteristiklerine ve üretim kontrol sisteminin yk değişikliklerine verdiği yanıtı bağlıdır. Yük ve üretim değiştiğinde frekansta küçük oynamalar belirir [5].



Şekil 2.16: Güç frekansı değişimleri

Frekans değişimlerine neden olarak, enerji iletim sistemindeki arızalar, büyük yüklerin devreden çıkması veya büyük bir generatörün sisteme bağlanması gibi nedenler gösterilebilir. Frekans değişimleri genel olarak sistemden izole edilmiş bir generatör tarafından beslenen yüklerden kaynaklanır. Yükteki ani değişimlere verilen yanıt, frekansa duyarlı cihazların izin verdiği dar bant-aralığında olmaz ise sistemde veri kaybı, karışıklık ve cihaz hasarları baş gösterir.

3. GÜÇ SİSTEMLERİNDE GERİLİM DÜŞMESİ

Günümüzde değişken hız denetleme devreleri, programlanabilir kontrolörler, optik cihazlar gibi güç elektroniği düzenekleri içeren devrelerin gerilim bozulmalarına duyarlılığı yüksektir. Bu devrelerin arızalanmasına neden olan güç kalitesi problemleri ise çoğunlukla gerilim düşmesi, gerilim dalgalanması ve harmoniklerdir [5].

Gerilim düşmesi en sık karşılaşılan ve çok kısa süreli olan güç kalitesi bozulmalardır. Gerilim düşmesi meydana geldiğinde cihazlar normal çalışmasına çoğunlukla devam edemez, kapanır veya bilgisayar tabanlı cihazlar çalışmasına baştan başlar. Endüstriyel tüketiciler için gerilim düşmesi ve gerilim kesintisinin etkileri benzerdir. Gerilim düşmesinin oluşma sıklığı, gerilim kesintilerine göre çok yüksek olduğu için güç sistemlerinde önemi daha fazladır. Birleşik şebekede kilometrelerce uzakta meydana gelen bir arıza diğer tüketicilerin geriliminde bir değişime neden olabilir. Bu nedenle gerilim düşmesi, şebekede global bir sorundur.

Gerilim düşmesi nedeniyle endüstriyel işletmeler büyük zararlara uğradığı belirlenmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır [9,90]:

- İskoçya'da bulunan bir kâğıt fabrikasında genliği %10, süresi 100 ms'den fazla olan gerilim düşmeleri ile karşılaşmıştır. [4,44] Gerilim düşmeleri en çok kâğıt rulolarını saran motorların hız kontrol devrelerini etkilemiştir. Sürücülerin koruma devreleri açma komutu vermiş, kâğıt rulolar kopmuştur. Bu arızalar nedeniyle kâğıt yapım tesisi 4 ila 8 saat süresince devre dışı kalmıştır.
- Genliği %27 olan 105 ms süreli bir gerilim düşmesi, İsveç Çelik Fabrikası'nda 3,6 kW'lık bir fanın tamamen devre dışı kalmasına neden olmuştur. İşletme bu fan önemli bir faktör olduğu için, işletme iki gün süresince faaliyetlerini durdurmuştur.

- Bir Amerikan yarıiletken fabrikası, genliği %25, süresi 100 ms olan gerilim düşmelerinden dolayı binlerce dolar zarar ettiğini, bozulmanın giderilmesi için geçen sürede zararın yine binlerce dolar olduğunu ileri sürmüştür. 300 ms'den daha kısa bir gerilim düşmesinden sonra geçen düzeltme süresi 1 ila 3 saat arasında değişmektedir [3].

Gerilim düşmesinin işletmelerde neden olduğu etkileri, genelleştirmek mümkün değildir. Örneğin iki kâğıt fabrikasında meydana gelen bir gerilim düşmesi, buralarda kullanılan elektriksel donanımların gerilim düşmesine karşı duyarlılığı farklı olacağından, farklı etkileri yapabilir. Tablo 3.1'de gerilim kesintileri ve gerilim düşmelerinin kırk büyük işletme incelenmesi ile elde edilen sonuçlar görülmektedir [91]. Bu tabloda gösterilmeyen fakat gerilim değişimlerinden en fazla etkilenen sektör ise yarıiletken üretim tesisleridir.

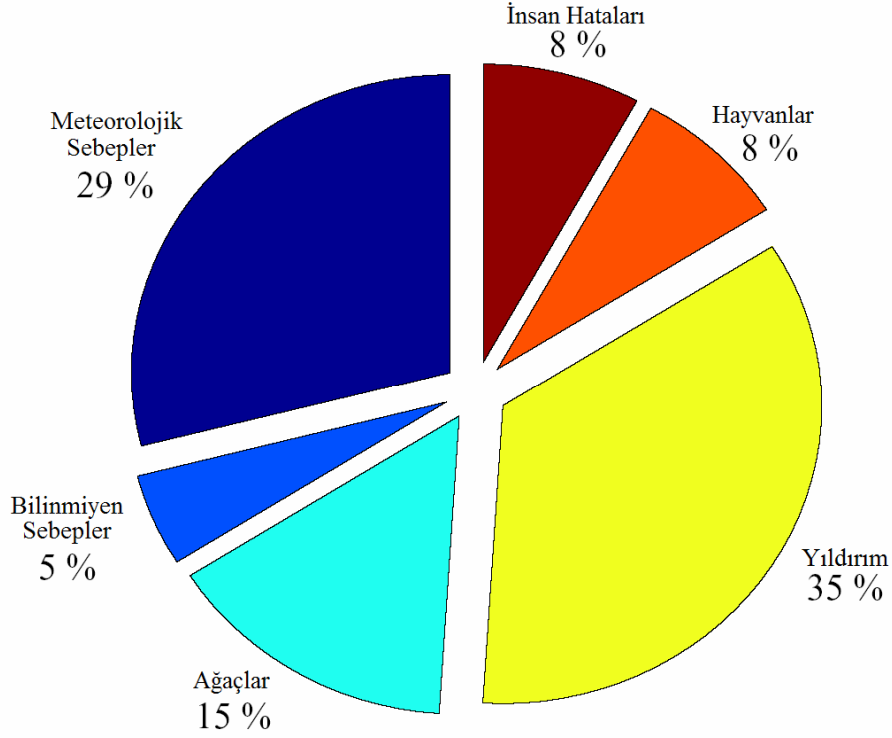
Tablo 3.1: Değişik endüstriyel işletmelerde gerilim kesinti ve düşmesinin etkileri [91]

		Gerilim düşmesinin etkisi		
		Etki	Az	Orta
Gerilim kesintisinin etkisi	Az	Elektroliz Öğütücü	Metal işleri Endüstriyel gazlar Fiber üretimi	Çelik sarma Alüminyum sarma
	Yüksek	Eritme fırını Çimento fırını Ark kaynağı Yiyecek işletmeleri	Kâğıt Cam Otomobil	Kimyasal Plastik

İşletmeler, karşılaştıkları gerilim düşmelerinin süre ve genliklerini belirleyebilen cihazlar kullanarak, bu problem ile ilgili verilere sahip olabilirler. Bu bilgilere dayanarak da arızaların giderilmesi, kullandıkları elektriksel donanımın duyarlılığını artırılması veya gerilimi kompanze edebilecek sistemlerin kullanılması ile ilgili kararlar verebilirler. Bu sayede üretimlerinde kesintiye neden olan arızaların önüne geçilebilir.

Gerilim düşme nedenlerini farklı olabilir. Şekil 3.1'de A.B.D iletim ve dağıtım sisteminde karşılaşılan gerilim düşme nedenleri ile ilgili yapılan istatistiksel bir çalışma

sonuçları verilmiştir [90]. Buna göre endüstriyel tesislerin devre dışı kalmasına neden olan gerilim düşmeleri çoğunlukla yıldırım darbeleri ve meteorolojik sebepler nedeniyle olmaktadır.



Şekil 3.1: Gerilim düşümü oluşma sebeplerinin dağılımı

3.1 Büyük Yüklerin Neden Olduğu Gerilim Düşmeleri

Büyük yükler devreye alındığında başlangıç akımı, normal çalışma akımının birkaç katından daha fazla olabilir. Tesisat besleme devresi ve kablo donanımı normal çalışma akımına göre ölçülendirildiğinden, yüksek başlangıç akımı hem besleme sisteminde hem de tesisatta gerilim düşmesine neden olur. Meydana gelen etkinin şiddeti, dağıtım sisteminin ne kadar 'sağlam' olduğuna, diğer bir ifade ile ortak birleşme noktasındaki (Point of Common Coupling:PCC) empedansın ne kadar küçük olduğuna ve tesisattaki kablo donanımının empedansına bağlıdır. Yüksek başlangıç akımlarından kaynaklanan gerilim düşmeleri, dağıtım sistemindeki arızaların yol açtığı gerilim düşmelerine kıyasla daha az olup daha uzun sürelidir.

(Genel olarak bir saniyeden daha kısa olmamakla birlikte bir saniyeden birkaç on saniyeye kadar sürebilir [92]).

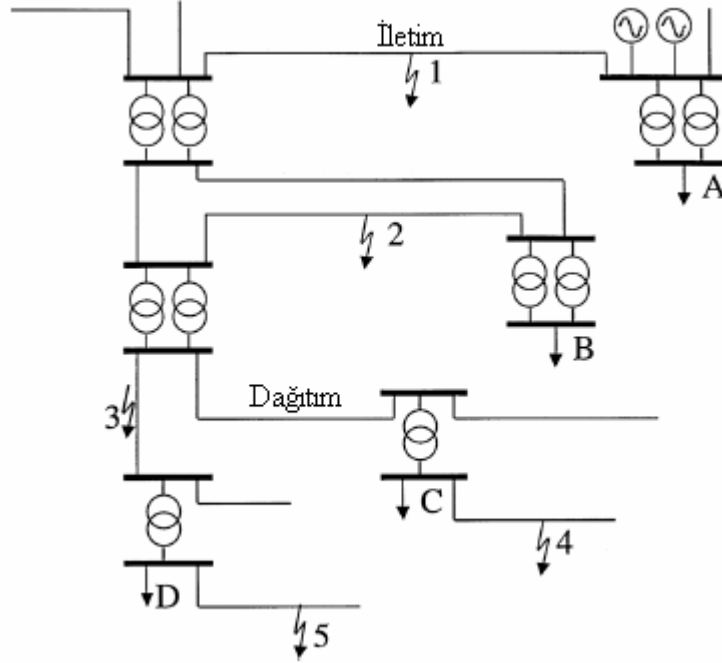
Dâhili kablolardaki aşırı yüksek dirençten kaynaklanan tesisat problemlerini çözüme ulaştırmak kolaydır. Büyük yüklerin, uygun gerilim seviyesinde girişe (PCC veya besleme transformatörü sekonder devresine) direkt olarak bağlanması gerekir. Problemin PCC empedansından kaynaklanması halinde - örneğin besleme çok ‘zayıf’ olduğunda – ilave önlem alınmasına gerek vardır. Çözüm olarak, kullanılmakta olan cihazların uygun olması kaydıyla, sisteme başlama akımını daha düşük bir değerde (ancak oldukça uzun bir süre) tutan basit bir starter ilave edilebilir. Düşük empedanslı bağlantı için enerji sağlayıcı firma ile temasa geçmek ikinci bir çözüm yoludur; ancak bu çözüm, bölgedeki dağıtım sisteminin coğrafyasına bağlı olarak fazla masraflı olabilir. Gerilim küçülmesinin kaynağı kontrol altına alınmadığı takdirde, giderilmesi için başka cihazlara ihtiyaç duyulacaktır. Geleneksel servo kontrollü mekanik stabilizatörler, elektronik kumandalı kademe değiştiricileri ve dinamik gerilim düzenleyicileri bu maksatla kullanılması uygun cihazlardır [93].

3.2 Dağıtım Devresindeki Arızalardan Kaynaklanan Gerilim Düşmeleri

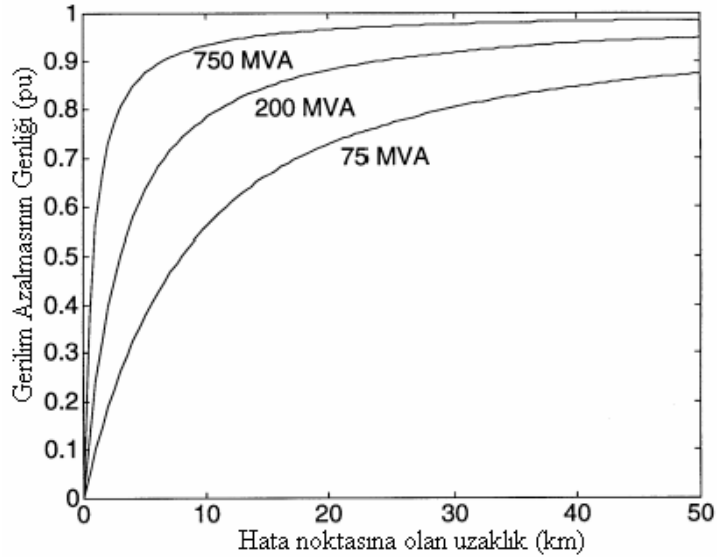
Besleme sistemi oldukça karmaşıktır. Sistemin herhangi bir yerinde meydana gelen bir arıza nedeniyle başka bir devrede oluşan gerilim düşmesinin derecesi, dağıtım sisteminin yapısına, göreceli olarak arızanın ve ortak birleşme noktasındaki yük ve generatörlerin kaynak empedanslarına bağlı olarak değişir. Şekil 3.2’de buna ilişkin bir örnek gösterilmiştir [33].

Şekil 3.2’deki sistemde, 1-5 arızaları, A-D yüklerinin gerilim seviyesini etkileyecektir. Örneğin 1 arızası oluşmasıyla bağlı bulunduğu baradaki ve alt gerilim seviyesinde bulunan baradaki gerilim genliğinin azalmasına yol açacaktır. Gerilimlerdeki düşme miktarlar şebeke parametrelerine, kısadevrenin tipine, süresine ve uzaklığına bağlı değişir. Üst gerilim seviyelerindeki hatalardan tüm alt gerilim seviyesindeki yükler etkilenirken, alt gerilim seviyesindeki hatalardan üst gerilim seviyesindekiler daha az etkilenir.

Şebekenin gücüne ve hata noktasına olan uzaklığa bağlı olarak gerilim düşümleri Şekil 3.3'deki gibi değişecektir. Buna göre yük kaynağına 'yakınlaştıkça' gerilim düşmeleri daha düşük şiddette olacaktır.



Şekil 3.2: Gerilim düşmelerinin şebekede dağılımı



Şekil 3.3: Gerilim düşmelerinin şebeke gücüne ve hata noktasında uzaklığına göre değişimi

Gerilim düşmelerinin süresi, arızanın koruyucu devreler tarafından algılanıp yalıtılma zamanına bağlı olarak değişir. Genel olarak birkaç yüz milisaniye mertebesindedir. Arızalar geçici olabilir; örneğin, gerilim hattının üzerine bir ağaç dalı düşebilir ve ortaya çıkan arıza çok kısa zamanda giderilebilir. Koruyucu cihazların devreyi tamamen kesmesi halinde, arıza ortadan kaldırılıncaya kadar devreden beslenen tüm müşteriler enerji kesintisi ile etkileneceklerdir. Otomatik devre kapaticıların kullanılması kolaylık sağlar, ancak otomatik kapaticılar düşmelerin sayısında artışa neden olurlar. Bir otomatik devre kapaticı, koruyucu cihazların çalışmaya başlamasından çok kısa bir zaman (bir saniyeden daha kısa) sonra devreyi kapatmak için harekete geçer. Şayet arıza giderilmiş ise otomatik devre kapaticı işlevini tamamlayacak ve tekrar enerji akışı başlayacaktır. Bu durumda, yukarıda belirtildiği gibi, kesinti noktası ile otomatik devre kapaticısı arasındaki yüklerde %100, diğer yüklerde ise -arıza ile arızanın giderilmesi arasında- daha küçük ve daha kısa süreli düşümler meydana gelecektir. Otomatik devre kapaticı devreyi tekrar kapattığında arıza giderilmemişse, koruyucu cihazlar tekrar çalışmaya başlayacak ve otomatik devre kapaticıdaki program gereği işlem tekrar etmeye çalışacaktır. Otomatik devre kapaticısının, arızalı devreyi her kapatmasında gerilim düşmeleri meydana gelir ve hattın beslenen diğer müşteriler ardı ardına oluşan seri gerilim düşmeleri ile karşılaşılırlar. Tesisat performansı kısmen belli esaslara bağlanmış İngiltere gibi bazı ülkelerin elektrik piyasalarında, tipik olarak bir dakikayı geçen kesintiler dikkate alınarak, dakika üzerinden ortalama ‘müşteri kayıp zamanı’ belirlenmektedir. Gerilim seviyesinin düşme oranına karşı devre kesicilerin hassasiyetinin azaltılması kesintilerin azalmasına neden olmuş; fakat kaliteden ödün verilmiştir [94].

3.3 Gerilim Düşmelerinin Sınıflandırılması

Kaynaklarda gerilim düşmeleri, gerilimin şebeke frekansındaki nominal değerinden 0,1 ila 0,9 p.u. arasında 10 ms-1 dk arasındaki düşmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlamadan gerilim düşmesi karakteristik büyüklüklerinin genlik ve süre olduğu anlaşılmaktadır. Süre, genellikle koruma elemanlarının hatayı temizleme zamanıdır.

Tek fazlı bir sistem için, yukarıdaki tanım uygulanabilir ve gerilim düşmesini sınıflandırmak kolaydır. Eğer incelenen noktada büyük güçlü bir asenkron makine bağlı ise, asenkron makineler hata akımlarını dolayısıyla gerilim düşmesinin genliği daha büyük olabilmektedir. Hatanın temizlenmesi sırasında asenkron makine sistemden reaktif güç çekerek hata sonrası gerilim düşmelerin devamına neden olacaktır [62,63] Bu düşmeler birkaç dakika sürebilir ve düşük gerilim rölelerinin açması ile sonuçlanır.

Gerilim düşmelerini sınıflandırırken aşağıdaki durumlar göz ardı edilmemelidir:

- Oluşan hataların çoğu tek fazlı dengesiz arızalardır. Hatanın güç sisteminde herhangi bir noktaya olan etkisi, aradaki eşdeğer empedans ve transformatörlerin bağlantı şekline bağlıdır.
- Hata sonrası her bir fazın, hata öncesi durumuna dönme süreleri farklı olabilir.
- Fazlardaki en düşük gerilim 0,9 p.u değerinin altına inebilir.
- Avrupa'da tercih edildiği gibi, orta gerilim sistemi doğrudan topraklanmamış ise faz-nötr ve faz-faz gerilimlerinde gerilim düşmesi sürence farklılık ve faz kayması görülebilir.

Gerilim düşmesinin sınıflandırılmasında genellikle en düşük gerilimin en uzun süre ile meydana geldiği faz incelenir. Amerika gibi orta gerilim sistemleri doğrudan topraklanmış ülkelerde gerilim düşmesi sırasında faz-nötr veya faz- faz gerilimleri arasında belirgin bir fark yoktur.

Üç fazlı dengesiz gerilim düşmelerinin tüm hata türlerinin ve transformatör bağlantı gruplandırmalarına göre sınıflandırılması [64-66] kaynaklarında yapılmıştır. Buna göre geliştirilen yöntemde simetrik bileşenler kullanılmaktadır. Pozitif ve negatif bileşen empedansları eşit kabul edilerek çözüm kolaylaştırılmıştır. Hata sırasında gerilim vektörlerindeki faz farkının hesaplanması hatanın çeşidinin belirlenmesini sağlamaktadır [65].

Asenkron makinelerin ağırlıklı olarak kullanıldığı yüklerde gerilim düşmesi sırasında, pozitif ve negatif sıra empedanslar birbirine eşit değildir. Bu durumda yeni

bir parametre olarak gerilim düşmesinin sınıflandırılmasında, “pozitif-negatif bileşen faktörü” (PN faktörü) kullanılmıştır. Normal yüklerde bu faktör bire yakın, motor ağırlıklı yüklerde ise daha düşük değerdedir [66].

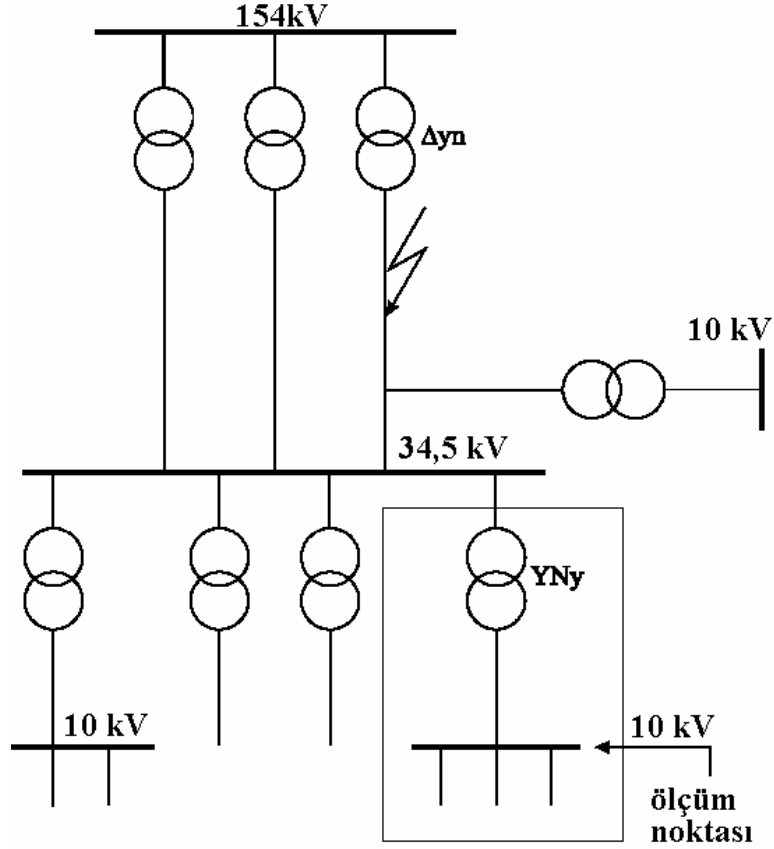
Kısadevreler, genellikle orta veya yüksek gerilim sistemlerinde meydana geldiği ve transformatör bağlantı gruplarının en az biri üçgen olduğu için, analizlerde sıfır bileşen kullanılmamaktadır.

3.3.1 Gerilim sınıflandırılması ile ilgili bir örnek

Gerilim düşmesi sınıflandırması ile ilgili bir örnek olarak sıklıkla gerilim düşmesi problemi yaşanan bir iletim sisteminden alınan ölçüm sonuçları incelenmiştir (Şekil 3.4).

Örnek dağıtım sisteminde 34,5 kV’luk havai hatta tek faz toprak arızası meydana gelmiştir. Bunun sonucu olarak kaydedilen dengesiz gerilim düşmeleri Şekil 3.5 (a)’da görülmektedir. Gerilim düşmesi 0,12 s’de başlamakta ve 0,37 s sürmektedir. Her bir faz gerilimin efektif değerlerindeki değişim Şekil 3.5 (b)’deki gibi elde edilmiştir. Buradan görüldüğü gibi B fazı gerilim düşmesinden en fazla etkilenmiş, A fazı hemen hemen hiç etkilenmemiştir. En düşük efektif değere göre sınıflandırıldığı zaman bu gerilim düşmesinin %67 genliğinde, 0,27 s süreli olduğu söylenebilir.

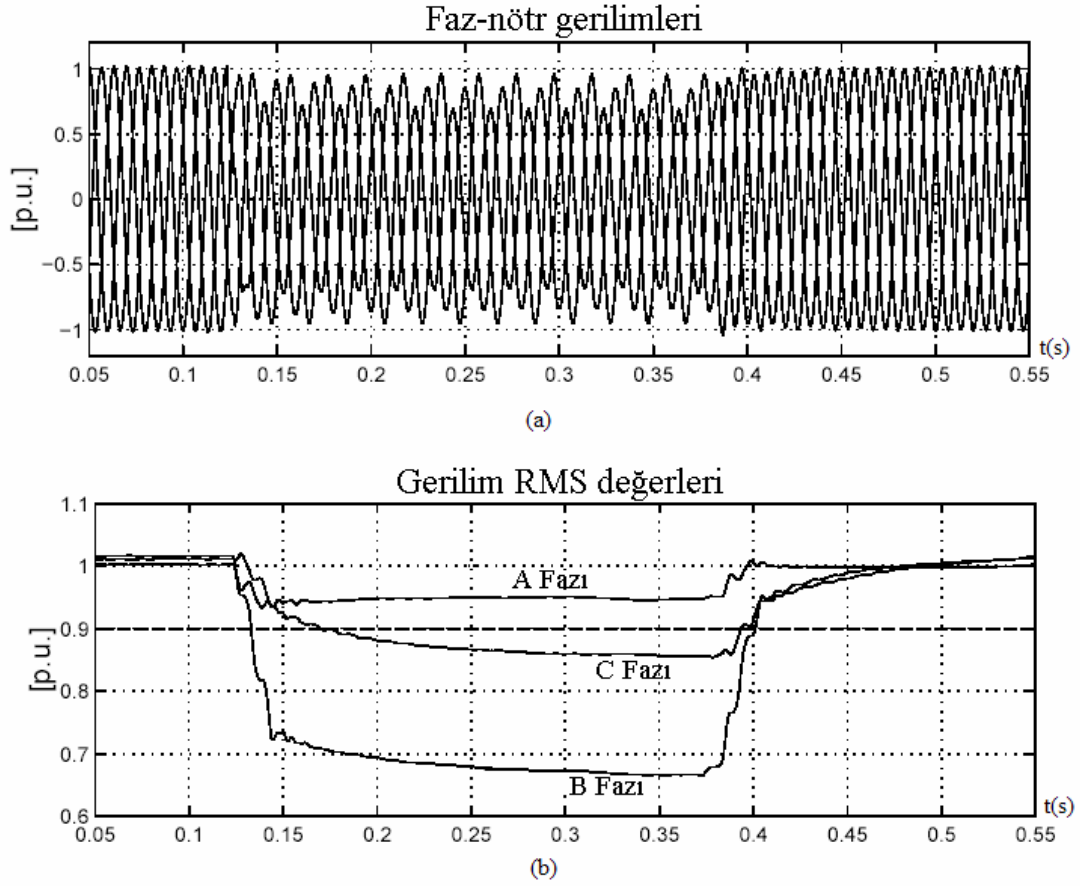
Gerilimin pozitif ve negatif bileşenleri ise Şekil 3.6 (a)’daki gibi değişmektedir. Buna göre gerilim düşümü sırasında pozitif bileşen en düşük 0,82 p.u değerine düşerken negatif bileşen 0,12 değerine kadar çıkmaktadır. Transformatörün 10 kV tarafı bir empedans üzerinden topraklandığı için arıza sırasında %5,5 oranında bir sıfır bileşen oluşmaktadır (Şekil 3.6 (b)). Fakat sıfır bileşen genellikle transformatörlerin bağlantı grubundan dolayı alçak gerilim tarafında görülmez.



Şekil 3.4: Örnek iletim sistemi

Örnek sistemde 34,5 kV'luk hattın B fazında oluşan tek faz toprak kısıadevresi sonucu diğer fazlardaki gerilimin genliği ve faz açısında küçük miktarda değişim olmaktadır.

B fazının geriliminin p.u. olarak değişimi ve P.N-katsayısının değişimi Şekil 3.6 (c)'de görülmektedir. Buna göre gerilimin 0,7 p.u karakteristik değeri, 0,82 p.u pozitif ve 0,12 p.u negatif bileşenlerin farkına yaklaşık olarak eşittir. Fakat bu yaklaşım sadece gerimin negatif bileşeni pozitif bileşenden daha küçük olduğunda ve faz açısı değişimi 60° 'nin altında olduğu durumlarda geçerlidir. Bir faz-toprak kısıadevrelerinde genellikle pozitif ve negatif bileşendeki düşme miktarları eşit olmaktadır.

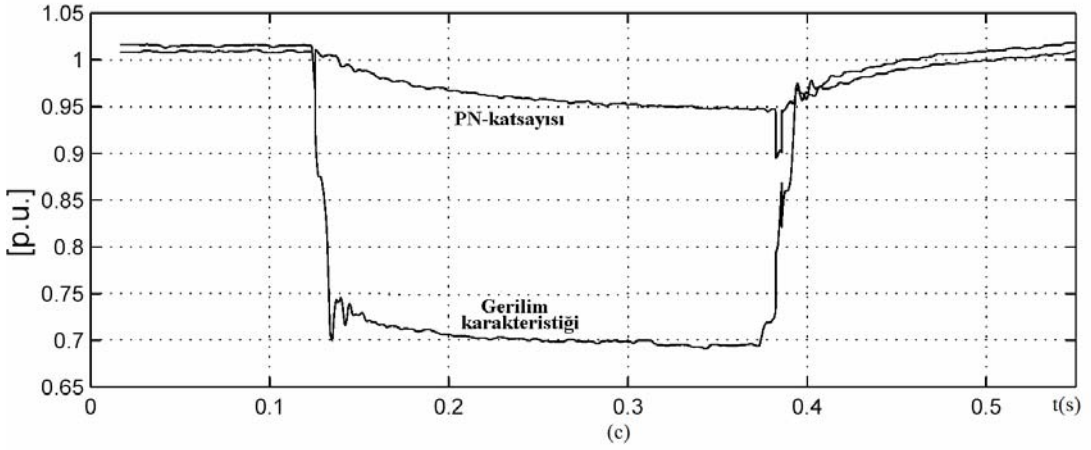
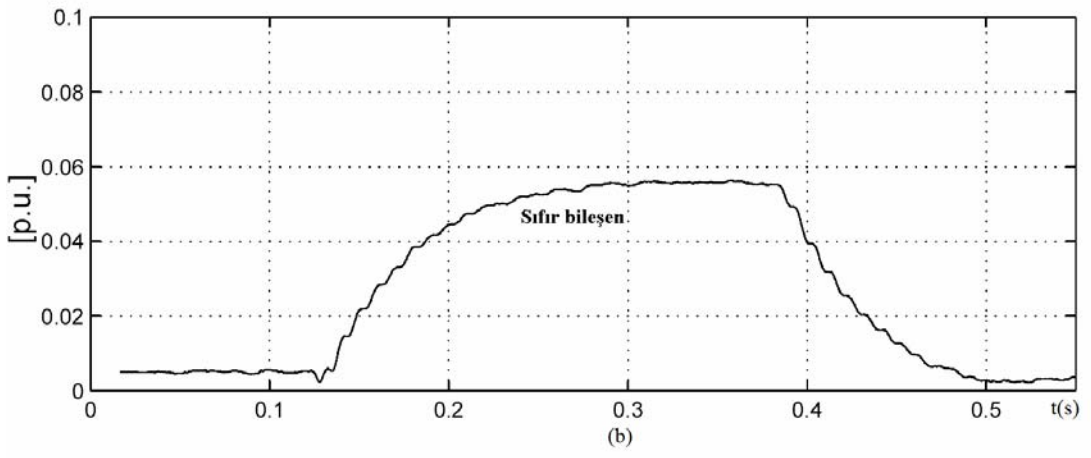
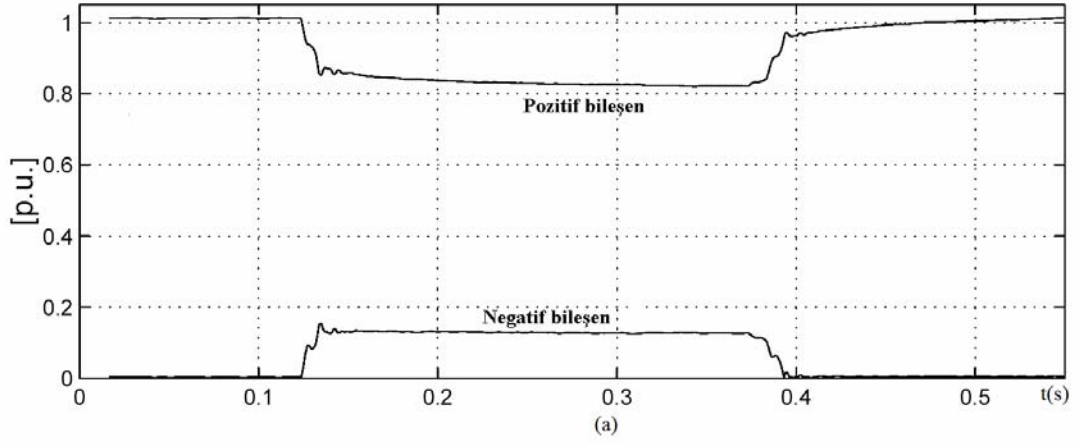


Şekil 3.5: Ölçülen (a) faz-nötr gerilimleri (b) bunların efektif değerleri

P.N katsayısı, arıza sırasında pozitif ve negatif bileşen empedansları arasındaki farkı temsil etmektedir. Ele alınan örnekte bu değer 0,95 p.u olarak hesaplanmış olup gerilimin pozitif ve negatif bileşen gerilimleri genliklerinin toplamına yaklaşık olarak eşit olduğu görülmüştür.

Gerili fazör bileşenlerinin analizi ile gerilim düşmesi sırasında oluşması muhtemel bir faz açığı değişimi belirlenebilmektedir. Faz açığı değişimleri özellikle asenkron motorların moment ve hızlarını önemli oranda etkilemektedir. Bu örnekte düşme esnasında A fazı geriliminde 10^0 'lik bir değişim olmuştur.

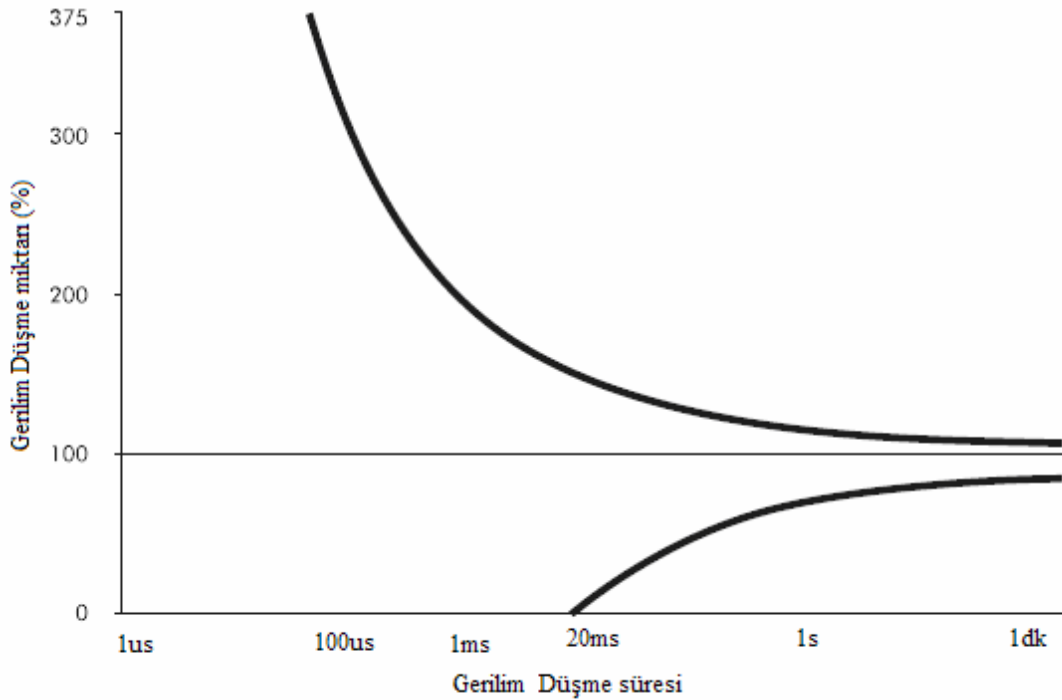
Bir enerji dağıtım sistem için gerilim düşme sınıflandırılması sistemin koruma elemanlarının boyutlandırılması açısından oldukça önemlidir.



Şekil 3.6: Hesaplanan (a) simetri bileşenleri, (b) gerilim karakteristik değeri ve (c) PN faktörünün değişimi

3.4 Cihazların Duyarlılığı

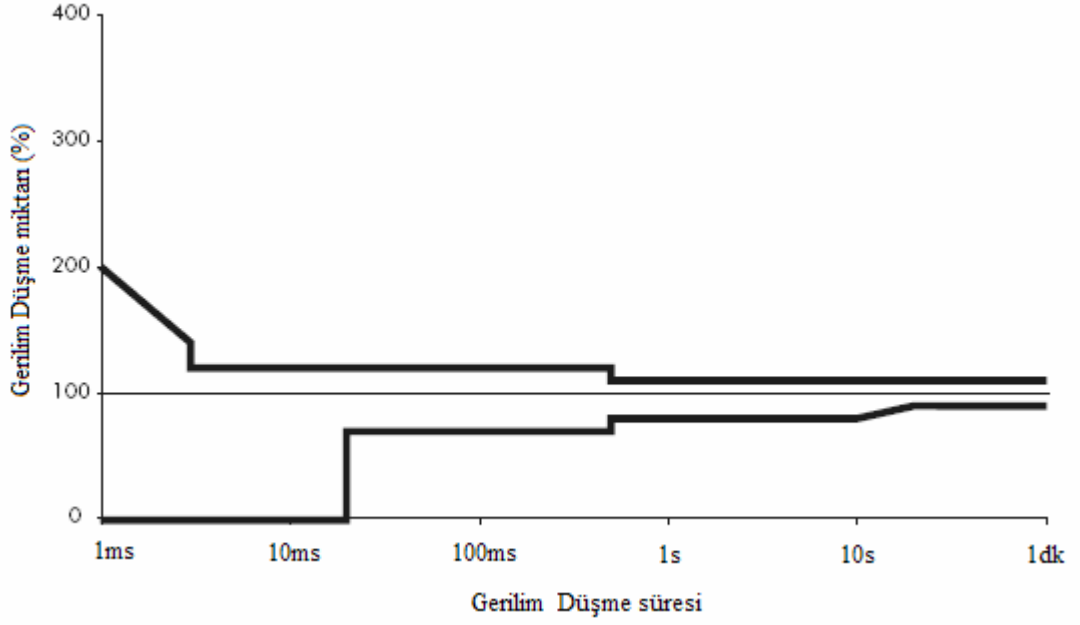
Günümüzde bilgisayarlar, gerek kişisel bilgisayar ve bilgi işlem terminali gerekse işlem kontrolörü olarak tüm iş alanlarında kullanılmaktadır. Bilgisayarlar veri işlemleri ve haberleşme fonksiyonları (e-mail, bilgi iletişim, vs. sistemleri gibi) için vazgeçilmez cihazlardır. Bilgisayarların ilk kullanılmaya başlanması ile birlikte gerilim düşmeleri (ve diğer güç kalite problemlerinin çoğu) ortaya çıkmaya başlamış ve tesisatlarda yoğun ve masraflı çalışmalar gerektiren beklenmedik arızalarla karşılaşmıştır. Bu dönemlerde yapılan çalışmalar sonucunda Şekil 3.7’de verilen Bilgisayar ve Bilişim Cihazları Birliği (Computer and Business Equipment Association (CBEMA)) eğrisi geliştirilmiştir. Devam eden çalışmalar paralelinde bu eğri daha da geliştirilerek Information Technology Industry Council (ITIC) eğrisi (Şekil 3.8) oluşturulmuş ve ITIC eğrisinin bir versiyonu olan IECC eğrisi (Şekil 3.9) ANSI tarafından IEEE 446 olarak standardize edilmiştir [60].



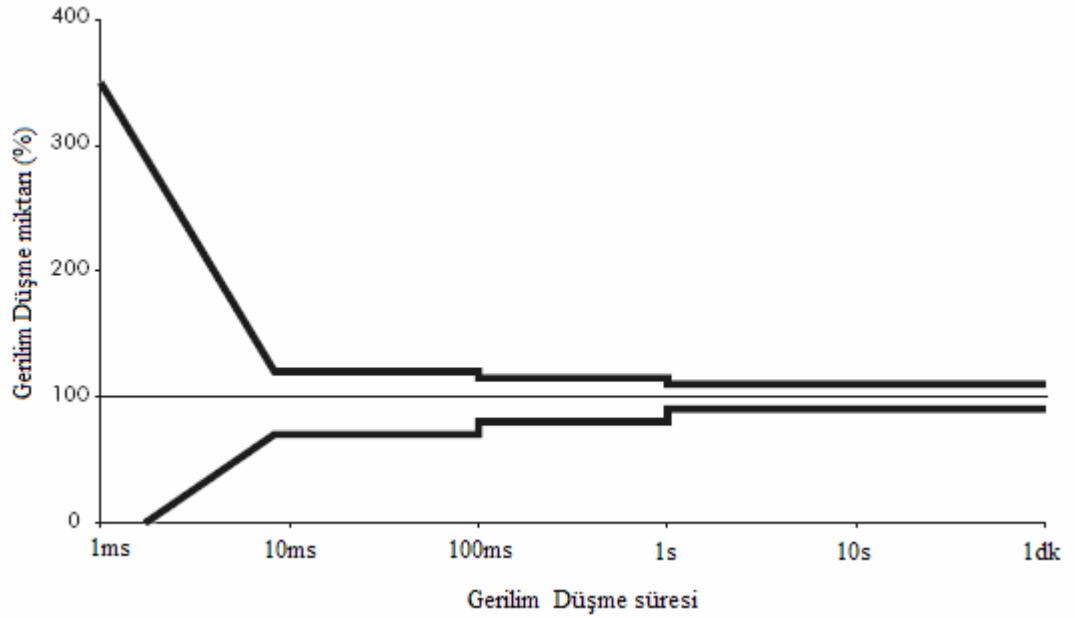
Şekil 3.7: CBEMA eğrisi

Bu şekillerde, bir olayı süre ve besleme anma gerilim değişimi olarak grafiklendirilmiş olup eğriler cihazların hiçbir kesinti ve veri kaybı olmadan

çalışmaya devam edebilecekleri bölgeleri gösterilmektedir. Gerilim düşmeleri açısından alt limitlerinin önemi büyüktür. Çizgiler, sistemin çalışmasını engelleyen ve engellemeyen gerilim oynamalarının sınırlarını göstermektedir.



Şekil 3.8: ITIC eğrisi



Şekil 3.9: ANSI eğrisi

İdeal anlamda, besleme sistemi performansını gösteren tüm cihazlara uyumlu tek bir eğri söz konusudur. Gerçekte ise, kullanılmakta olan cihazların büyük çoğunluğu standart eğrilerin birine veya diğerine uyum göstermekte, fakat besleme sisteminde ise performans açısından böyle bir uyumdan söz etmek mümkün olamamaktadır.

3.4.1 Cihaz duyarlılığının özellikleri

Kişisel bilgisayarlar (PC) ve programlanabilir kontrol üniteleri (PLC) gibi elektronik cihazlarda, dalga şeklinin tepelerini düzelter ve dolayısıyla kısa süreli düşmelere karşı sisteme esneklik kazandıran bir yedek kondansatör düzeni bulunur. Yedek düzen ne kadar büyük olursa depolanan kondansatör gerilimi ile sistemdeki gerilim dönüştürücülerinin çalışması için gerekli minimum gerilim arasındaki fark da büyük olur ve sistemin esnekliği artar. Tasarımcılar maliyet, ağırlık ve boyuttan tasarruf etmek için, kondansatörleri daima minimum gerilim ve maksimum yüke göre seçmektedirler. Gerilim düşmelerine karşı yüksek esneklik sağlamak üzere kondansatörlerin çok daha büyük seçilmesi gerekir, örneğin, sorun yaratmadan bir dönüşüm periyodunu geçiştirmek için en az iki kat, bir saniyelik bir süreyi geçiştirmek için de 100 kat daha büyük kapasitör gereklidir. Gerilim düşmesine karşı sistemin etkilenmeden uzun süre çalışabilmesi için minimum giriş geriliminin mümkün olduğu kadar düşük tutulması bir başka tasarım stratejisi olabilir. Geniş gerilim aralığında çalışan cihazların tasarımında, ister istemez, bu yaklaşım benimsenmektedir. 230V'luk bir devrenin etkilenme süresi, 110V'luk bir devreninkinden çok daha uzundur. Gerilim düşmesine karşı dayanıklı bir güç devresinin kurulmasında teknik bir problem yoktur, fakat kullanıcıların girişimde bulunması ve üretici firmalar yönünden maliyet yüksek olduğu için konu üzerinde pek durulmamaktadır. Ancak, bir saniyelik düşmelere karşı dayanıklı bir PC veya PLC'nin maliyeti, bir saniyelik düşmelerin meydana gelmesini önlemek için dağıtım sisteminde yapılması gereken harcamaya kıyasla çok daha düşüktür.

Gerilim düşmelerinin değişken hızlı sürücülere zarar vermesini önlemek için, genel olarak, gerilim anma değerinin %15-%30 altına kadar düşmesi halinde devreyi kesen düşük gerilim algılayıcıları kullanılır [95-100].

Asenkron motorlarındaki atalet, motor yavaşladığında enerji üreterek kısa süreli gerilim düşmesi sırasında yükün beslenmesine yardımcı olur. Ancak, motor tekrar devreye girdiğinde bu enerjinin tekrar kazanılması söz konusu olacak ve şayet motor yavaşlaması sırasında hız %95'in altına kadar düşmüşse motor yol verme akımına yakın daha fazla akım çekecek ve birçok motorun devreye girmesi halinde başka problemler ortaya çıkabilecektir [101-103].

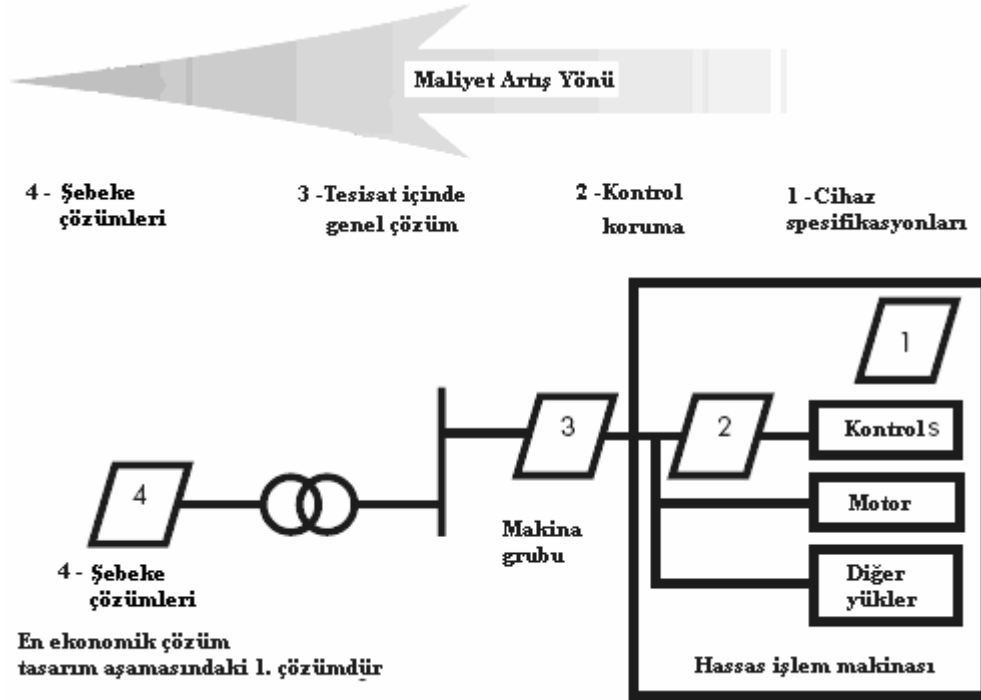
Röleler ve kontaktörler de gerilim düşmelerine karşı hassastırlar ve zaman zaman sistemin en zayıf halkası olabilirler. Bir gerilim düşmesi sırasında, kalıcı gerilimin sistemi etkileyebilecek en küçük seviyeye kadar düşmemesine rağmen belli bir röle veya kontaktörün devre dışı kaldığı durumlarla karşılaşmıştır. Gerilim düşmeleri karşısında bir kontaktörün davranışı sadece kalıcı gerilim seviyesine ve süresine bağlı değildir. Önemli olan gerilim düşmesinin dalga şeklinin hangi noktasında meydana geldiğidir ve tepe noktasında düşmelerinin etkisi daha az olur.

Isınmış sodyum buharlı lambaların gerilim değişimine karşı duyarlılığı soğuk durumdaki lambalardan çok daha yüksektir. Sıcak olan bir lamba gerilim düşmelerinden sonra tekrar yanmayabilir. Yaklaşık %2 kadar çok az bir gerilim düşmesi uzun zaman kullanılmış eski bir lambanın sönmeye neden olurken, yeni bir lambanın sönmeye neden olabilecek bir gerilim düşmesi %45 oranında daha yüksek olmaktadır.

Elektrik tesisatlarında kullanılan cihazların ve sistemlerin çoğunda yukarıda sözü edilen sorunlar ortaya çıkabilir ve gerilim düşmesi durumunda problemler yaşanır. Şekil 3.10'da görüleceği gibi bir tesisatın veya elektrik sisteminin bütününe kapsayan bir seri önlemler almak yerine gerilim düşmelerine karşı dayanıklı, güvenilirliği yüksek cihaz kullanılması daha ekonomik bir seçim olmaktadır. Görüldüğü gibi, çözüm için yapılacak olan harcamanın maliyeti cihazlardan tesisat ve alt yapıya doğru gittikçe önemli ölçüde yükselmektedir [104].

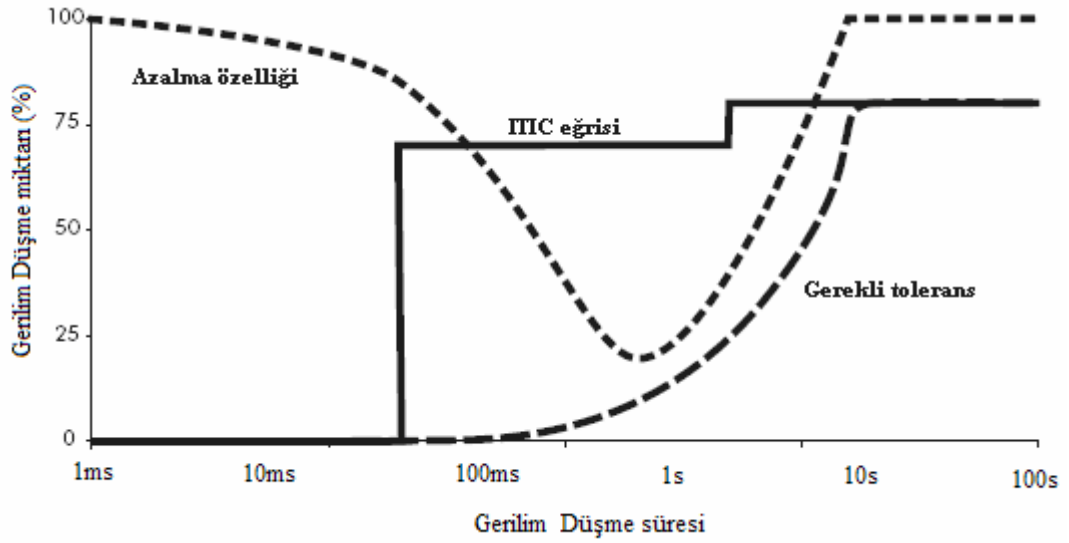
3.4.2 Besleme devresindeki gerilim düşmelerinin özellikleri

Gerilim düşmelerinin meydana gelme olasılığı ve şiddeti, tesisat bölgesindeki dağıtım sisteminin özelliklerine bağlıdır. Bazı ülkelerde, belli bölgeleri kapsayan sınırlı çalışmalar yapılmış olmasına rağmen bölgesel olarak gerilim düşmelerini gösterir istatistiksel bilgiler maalesef mevcut değildir. Bu yüzden önlemlerin tesisatın hangi bölgesinde yapılmasının daha uygun olacağı konusunda seçim yapmak kolay olmaz. Gerilim düşmelerine karşı geliştirilen çözümler cihaz düzeyinden şebeke düzeyine kadar genişletilebilir. Ancak maliyet bu oranda artar (Şekil 3.10) [105].



Şekil 3.10: Gerilim düşmelerinin maliyeti

Yapılan çalışmalar, besleme devresinden kaynaklanan gerilim düşme sürelerinin, cihaz toleransları ile ilgili olarak yukarıda verilen eğrilerin gösterdiği sürelerden daha uzun olduğunu göstermiştir. Şekil 3.11’de tipik bir besleme devresindeki düşmelerin süresi ve şiddeti ITIC grafiği ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.11: Tipik besleme devresindeki gerilim düşmesinin ITIC eğrisi ile karşılaştırılması

Herhangi bir tesisatta kullanılması düşünülen cihazların seçiminden önce besleme devresinde karşılaşılan karakteristik sorunların incelenmesi son derece önemlidir. Karşılaşılması olası problemlere karşı cihaz seçiminin tasarım aşamasında yapılması en ekonomik yaklaşım olmakta, problemlerin nitelikleri ve nicelikleri hakkında önceden bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Uygulamalarda göz ardı edilen en ekonomik yaklaşım budur.

Geleneksel yaklaşımda, ilave cihazlar kullanılarak gerilim düşmeleri sırasında yükün desteklenmesine çalışılmaktadır. Bilişim teknolojisi cihazları gibi düşük yükler için kesintisiz güç kaynakları (K.G.K) gerilim düşmeleri yanında kısa süreli kesintilere karşı etkin olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlarda enerji kaynağı olarak genellikle şarj edilebilir bir batarya kullanıldığından etkinlikleri kısa sürelidir. Enerji kaynağı, sistemin veri kaybına uğramadan normal bir şekilde devreden çıkmasına imkân sağlar, ancak tekrar devreye girme süresini geciktirir. Bazı durumlarda yedek generatör devreye girinceye kadar gerekli enerjiyi üretmek üzere K.G.K kullanılmaktadır [105].

Yüksek miktarda kalıcı gerilimin olduğu uzun süreli küçük düşmeler için elektro-mekanik ve elektromagnetik cihazların kullanıldığı çeşitli otomatik gerilim regülasyon teknolojileri geliştirilmiştir. Bu sistemler, enerji depolanması söz konusu

olmadığından aşırı yüksek ve aşırı düşük gerilimlerin oluştuğu uzun süreli olaylarda kullanılırlar [106].

Büyük yük değişimlerinin veya çok büyük gerilim oynamalarının söz konusu olduğu durumlarda Dinamik Gerilim Düzenleyicileri (D.G.D) kullanılır. D.G.D yük devresine seri bağlanır ve gerilimin eksik olan kısmını üretir; örneğin gerilim %70'e düştüğünde D.G.D eksik olan %30 gerilimi sağlayacaktır. Ağır-hizmet bataryaları, süper kondansatörler veya yüksek hız volanları gibi diğer enerji depolama şekillerinin kullanıldığı D.G.D'lerin yük besleme süreleri kısadır. D.G.D'ler uzun süreli aşırı yüksek ve aşırı düşük gerilimin düzeltilmesinde kullanılamazlar [107-110].

Gerilim düşmelerini önlemek üzere besleme sisteminin performansını yükseltmek çok masraflıdır ve her durumda mümkün olmaz. Yüksek masraflara katlanmayı gerektiren özel durumlarda, birbirinden bağımsız iki ayrı devre halinde çiftli besleme sistemine karar verilebilir.

Uygulamaların çoğunda, gerilim düşmelerinin etkisini azaltmak üzere beslenecek yükün tipine göre seçilen cihazlar kullanılmaktadır.

Gerilim düşmelerine karşı gerekli esnekliğe sahip cihazların belirlenmesi ve temin edilmesi gelecekte en ekonomik çözüm olacaktır.

4. GERİLİM DÜŞMESİNİN ÖNLENMESİNDE GÜÇ ELEKTRONİĞİ TABANLI YÜKSEK GÜÇLÜ KOMPANZASYON YÖNTEMLERİ

4.1 Giriş

1990'ların başında alçak gerilim sistemlerinde güç elektroniği uygulamaları yaygınlaşmaya başlamıştır. Orta ve yüksek gerilim sistemlerinde talep artışı paralelinde yapılması gereken geliştirme ve genişletme çalışmaları yüksek akım ve gerilim değerlerinde çalışmaya uygun yarıiletken elemanların, seri ve paralel güç dönüştürücülerinde birleşik bir yapıda kullanımını gerekli kılmıştır.

Günümüzde güç devrelerinde, anahtarlama hızları 1 kHz'e kadar çıkabilen yalıtımlı kapılı transistörler (Insulated Gate Bipolar Transistors-IGBT) kullanılmaktadır. IGBT'lerin kayıpları MOSFET'lere göre düşüktür. Hız bakımından normal tristörlerden daha hızlı, fakat MOSFET'lerden daha yavaş olmasına rağmen kayıpları her iki elemandan daha azdır. Kapı devresinin kesim şartı sağlanmasa bile ters bağlanmış tristör etkisi IGBT'nin iletme girmesini engeller.

Kapı söndürmeli tristörler (Gate Turn-Off Thyristors-GTO), 1–20 MVA'e kadar yüksek güçlerdeki uygulamalarda kullanılabilir. Fakat GTO'ların kullanımında bazı zorluklar mevcuttur. Bunlardan en önemlisi yüksek anahtarlama kayıpları nedeniyle oluşan anahtarlama frekans sınırlandırmasıdır. Yeni geliştirilen denetimli kapı söndürmeli tristör (Integrated Gate Commutated Thyristor-IGCT) teknolojisi ile tristörlerin, IGBT'lere benzer bir kapı söndürme özelliğini göstermesi sağlamaktadır. Yakın bir gelecekte IGCT'lerin, GTO'ların yerini alacağı öngörülmektedir. IGCT'ler ile tasarlanmış orta gerilim sürücü devreleri [40,111]'de uygulanmıştır.

Günümüz teknolojisinde yüksek güç uygulamalarda (MVA düzeyinde) IGBT ve GTO'lar kullanılmaktadır [112].

İletim ve dağıtım sistem performansını arttırmak için, güç elektroniği tabanlı modern kompanzasyon sistemleri olan Esnek İletim Sistemi (Flexible AC Transmission Systems-F.A.C.T.S) [37,38] ve Bölgesel Güç (Custom Power) sistemleri [17,18] geliştirilmiştir. Çalışma mantıkları benzer olmasına karşın, kullanım amaçları ve ekonomik boyutları farklıdır. F.A.C.T.S sistemleri ile iletim sistemdeki güç akışı kontrolü yapılır ve iletim hatlarının termal sınırlar içerisinde çalışması sağlanır. Temel amaç gerilim, empedans ve faz açısında kararlılığının sürekliliğidir. Bölgesel Güç sistemlerinin kullanım amacı ise güç akışında kalitenin ve güvenilirliğin sağlanmasıdır. Hızlı cevap süreleri bu tür cihazların en önemli özellikleridir.

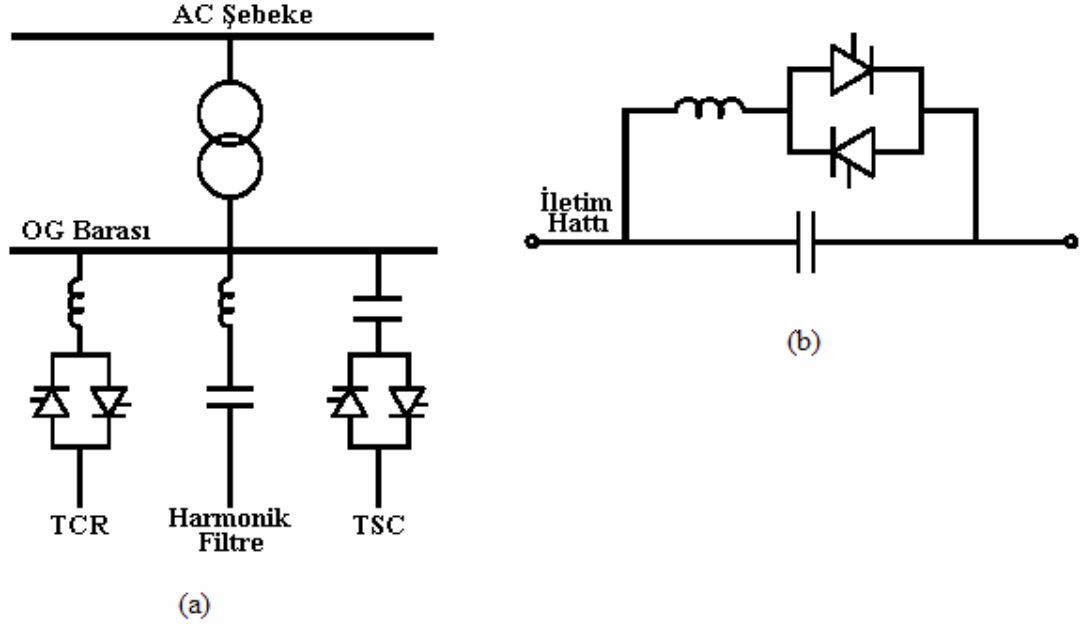
F.A.C.T.S, güç elektroniği tabanlı kompanzasyon sistemlerini içerirken, Bölgesel Güç sistemlerinde bunların yanında, hatalarda hızlı anahtarlama yapacak anahtarlama düzenleri mevcuttur.

4.2 Tristör Tabanlı Kompanzatorler

İletim ve dağıtım sistemlerinde en çok bilinen modern kompanzasyon yöntemi, şebekeye paralel bağlı tristörlerle kontrol edilen Statik Güç Kompanzasyonu'dur (Static Var Compensator-S.V.C) [35]. Bu kompanzatorler ark fırınları gibi yükün hızlı değiştiği sistemlerde kullanılmak üzere geliştirilen gerilim kontrol düzenekleridir. Geleneksel S.V.C'ler Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, Tristör Kontrollü Reaktör (Thyristor Controlled Reactor-T.C.R), Tristör Kontrollü Kondansatör (Thyristor Switched Capacitor-T.S.C) ve harmonik filtre devresinden oluşur. Dağıtım sistemlerinde genellikle bir trafo üzerinden değil, doğrudan orta gerilim barasına bağlanırlar. S.V.C, kontrol açısından, değişken süseptans olarak düşünülebilir. İyi bir anahtarlama düzen ayarı ile T.C.R ve T.S.C'nin tam kapasitif veya tam endüktif çalışması sağlanabilir.

S.V.C'lerin güç sistemlerinde gerilim düzenleme, geçici hal kararlılığında iyileşme, iletim kapasitesini artırma gibi faydaları vardır. Yüksek güçlü S.V.C'lerde kondansatör ve bobinler için geniş alanlara gerek olması, düşük frekanslarda sistemin eşdeğer endüktansı ile S.V.C kapasitelerinin rezonansa girme riski ve S.V.C'den

sağlanabilecek en büyük akım değerinin, bağlandığı baranın gerilimine bağlı olması bu sistemlerin zayıf yanlarıdır.



Şekil 4.1: (a) Statik Seri Kompanzator (S.V.C) (b) Tristör Kontrollü Seri Kapasitör(T.C.S.C)

S.V.C'ler F.A.C.T.S'in özel bir türü olarak düşünüldüğünden, Bölgesel Güç Sistemi olarak değerlendirilmez. Bölgesel Güç Sistemi uygulamalarında hızlı cevap verebilecek kapasitörlere ihtiyaç vardır. Bu amaçla yüksek frekanslardaki anahtarlamalar için zorlamalı söndürme tekniği kullanılır. Bu teknik S.V.C'ler de henüz kullanılmamaktadır.

Şekil 4.1 (b)'de Tristör Kontrollü Seri Kompanzasyon sistemi (Thristor Controlled Series Capacitor-T.C.S.C) görülmektedir. Seri kompanzasyon miktarının tristörlerin iletim açılarının değiştirilmesi ile kontrol edilmesi, iletim hattı taşıma kapasitesi artırımında en basit ve ekonomik yöntemdir [113,114]. Şebeke ile generatörün elektromekanik sistemi arasında oluşabilecek senkronaltı rezonans tehlikesi uygun bir kontrol algoritması ile önlenabilmektedir [113]. Ayrıca güç sistemlerinde oluşan düşük frekanslı salınımların da önüne geçilebilmektedir [114].

4.3 Denetimli Gerilim Dönüştürücüleri

Denetimli gerilim dönüştürücülerin alçak ve orta gerilimde kullanımı oldukça yaygındır. Asenkron motorlar genellikle alçak gerilimde kullanılır ve IGBT içeren hızlı anahtarlamalı sürücü devreleri ile kontrol edilirler. Bu sürücü devreleri Gerilim Kaynaklı Dönüştürücü (Voltage Source Converter-V.S.C) içerir.

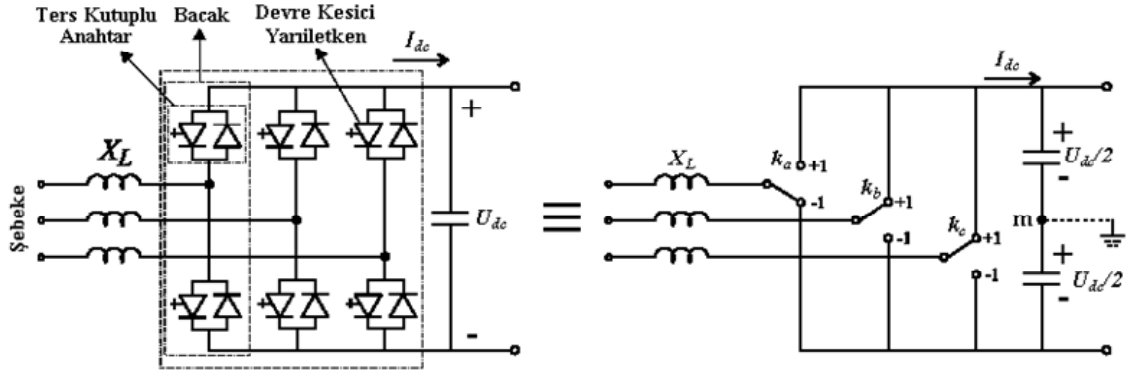
Uygulamada en sık karşılaşılan denetimli dönüştürücü gerilim dönüştürücü devresi Şekil 4.2’de görülen iki seviyeli dönüştürücüdür. DC gerilimin polaritesi sabit iken, akımın yönü (I_{dc}) değiştirilerek güç akışı ayarlanmaktadır. Dolayısıyla anahtarlama elemanı, akımı her iki yönde de anahtarlayabilmeli, kesim kapasitesi olmalı ve ters yönlü paralel diyotlar içermelidir.

Dönüştürücünün her bir bacağında, kontrollü yarıiletkenlerden biri pozitif veya negatif periyotta iletimde, diğeri kesimde olmalıdır. Çıkış gerilimi AC şebekeye mutlaka bir reaktör veya trafo üzerinden bağlanmalıdır.

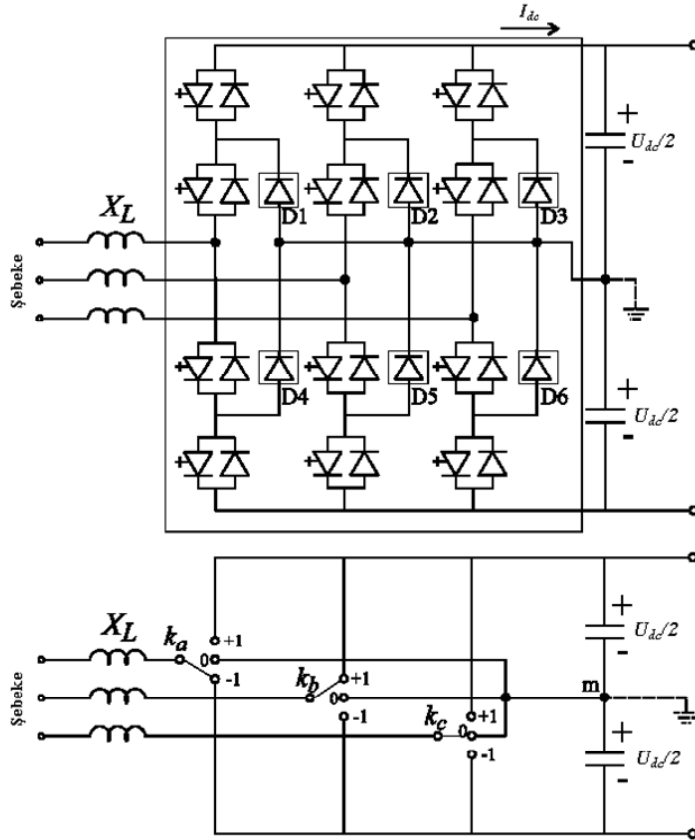
Genellikle DC tarafa, gerilimi sabit tutmak için bir kondansatör bağlanır. Kapasitörün büyüklüğü dönüştürücüyü fazla etkilemez, dolayısıyla çoğu uygulamada küçük güçlü kondansatörler kullanılmaktadır.

Üç seviyeli dönüştürücüler uygulamada “nötr noktası topraklı dönüştürücü” (Neutral Point Clamping-N.P.C) olarak adlandırılır [115]. N.P.C dönüştürücü Şekil 4.3’de görülmektedir. Burada kondansatörün kullanılması ile çıkış geriliminde oluşabilecek çift katlı harmoniklerin de önüne geçilmektedir [43].

N.P.C’nin iki seviyeli dönüştürücüye göre üstünlüğü her bir kontrollü yarıiletkenin daha düşük frekanslarda anahtarlanması, dolayısıyla kesime girmek için daha uzun süreye sahip olmasıdır. Bu, özellikle hızlı değişim gösteren yüklerde (ark fırınları gibi) önem taşımaktadır [116,25]. N.P.C’nin en önemli dezavantajı, fazla sayıda eleman içermesidir.



Şekil 4.2: İki seviyeli denetimli güç dönüştürücü



Şekil 4.3: Üç seviyeli denetimli güç dönüştürücü

3 seviyeli dönüştürücüye benzer şekilde, çıkış harmonik bozulması düşük, “n seviyeli” çok katlı dönüştürücü yapılması mümkündür. Fakat kullanılan eleman sayısı çok fazla olacağından ekonomik bir çözüm olmayacak ve kontrol mantığının çok dikkatli ayarlanması gerekecektir.

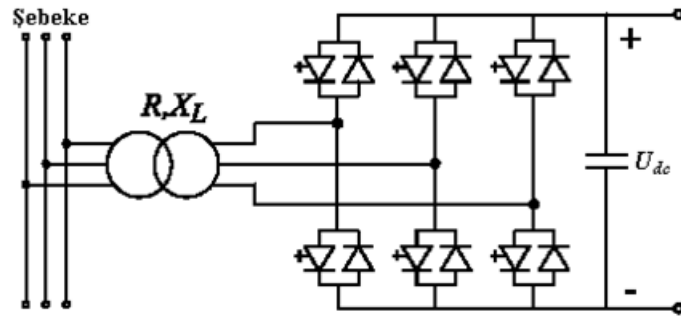
Çok seviyeli gerilim dönüştürücüler AC şebekeye bir transformatör üzerinden seri, paralel veya her ikisinin oluşturduğu hibrit konfigürasyon ile bağlanabilmektedir

4.4 Paralel Bağlı V.S.C

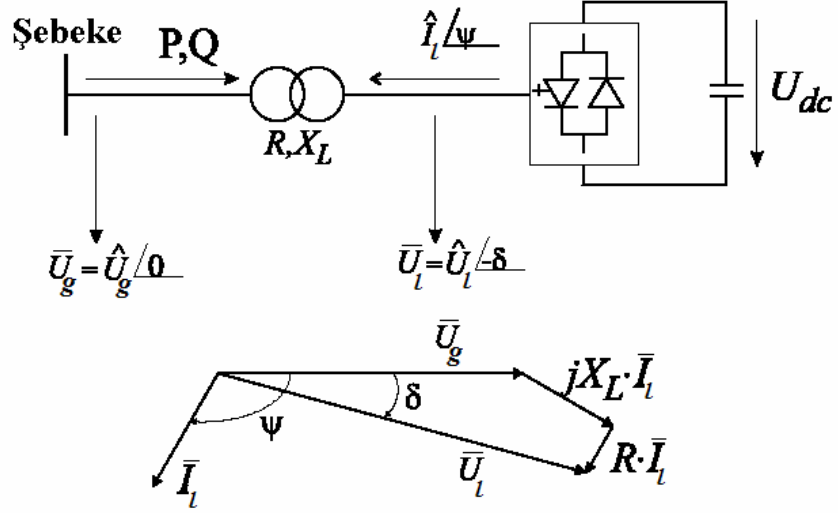
Orta ve alçak gerilim uygulamalarında, kontrol elemanlarının karakteristik değerlerine bağlı olarak V.S.C'ler şebekeye transformatör olmadan sadece bir reaktör ile bağlanabilir. Bu durumda iki seviyeli dönüştürücüde kondansatör ikiye ayrılmalıdır. Bu kapasitörlerde anlık eşit gerilim oluşmasının önlemek için de ek kontrol düzenekleri oluşturulmalıdır.

İletim hatlarında kullanılacağı zaman, paralel V.S.C'ler Şekil 4.4.'de görüldüğü gibi sisteme bir trafo üzerinden bağlanmalıdır. Transformatörün kaçak reaktansı 0,1-0,2 p.u kadar ve direncinden daha büyük olmalıdır.

Paralel dönüştürücünün çıkış gerilimi ve faz açısı (\hat{u}_l ve δ) Şekil 4.5'de görüldüğü gibi kontrol edilebilmektedir.



Şekil 4.4: Paralel bağlı V.S.C



Şekil 4.5: AC şebekeye bağlı V.S.C'nin akım ve gerilim fazör diyagramı

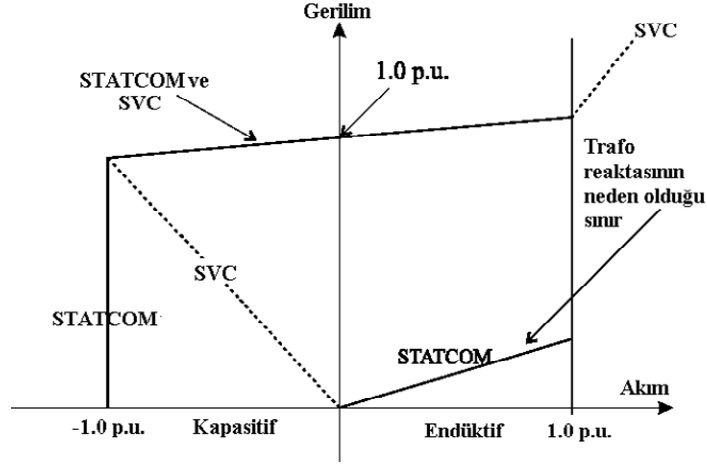
Paralel bağlı V.S.C'ler çeşitli amaçlar için aşağıdaki şekillerde kullanılabilir.

4.4.1 Gerilim/Reaktif güç kontrolü

Literatürde gerilim veya reaktif güç kontrolü yapan şebekeye paralel bağlı V.S.C'ler, Statik Senkron Kompanzator (Static Synchronous Compensator-STATCOM), Geliştirilmiş Reaktif Kompanzasyon (Advanced Static Var Compensator-A.S.V.C) ve Statik Kondansatör (Static Condensator-STATCON) sistemleri olarak tanımlanmıştır. Burada "Statik" terimi, kompanzasyon sisteminin herhangi bir hareketli parçası olmayan, yarıiletken güç elektroniği elemanlarından oluştuğunu belirtmektedir. "Senkron" terimi ise, ideal bir senkron makinenin temel fonksiyonu gibi, temel frekans değerinde belirlenen gerilimi ürettiği için kullanılmaktadır [29,45].

Geleneksel S.V.C ile STATCOM'un en önemli farkı, Şekil 4.6'da görülen gerilim-akım karakteristiğindedir. Zorlamalı söndürmeli kapı devresi içeren STATCOM AC şebekede reaktif akım verebilmektedir. Geleneksel S.V.C'de ise ayarlı süseptans değeri ile (kesikli çizgi), kapasitif akım AC gerilime göre lineer olarak değişmektedir.

Şekil 4.5'deki fazör diyagramındaki faz bileşenlerinin tepe değerleri kullanılarak V.S.C'nin bağlantı noktasındaki aktif ve reaktif güç bileşenleri:



Şekil 4.6: S.V.C ve STATCOM'un gerilim-akım karakteristiği

$$P = \frac{3 \hat{u}_g \hat{u}_l}{2 X_L} \sin \delta \quad (4.1)$$

$$Q = \frac{3 \hat{u}_g (\hat{u}_g - \hat{u}_l \cos \delta)}{2 X_L} \quad (4.2)$$

Bu eşitliklerde, transformatör direnci, reaktansına göre çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir.

Reaktif güç akışı, çıkış gerilimi (\hat{u}_{inj}) ile değişir. Bu gerilimin kontrolü ise anahtarlama yöntemine göre, iki farklı şekilde yapılabilir:

- Darbe Genlik Modülasyonu: hızlı anahtarlama frekansı ile DC bara gerilim sabittir ve modülasyon katsayısı değiştirilir.
- Bir yarıiletken her bir periyotta bir kez anahtarlanır ise DC bara gerilimi ile çıkış geriliminin oranı sabit kalır. Dolayısıyla DC bara gerilimi dönüştürücü çıkış geriliminin kontrolü için değiştirilir.

Anahtarlama algoritmasına bağı olarak üç fazda ani olarak değişen reaktif gücün kontrolü büyük güçlü reaktör ve kapasitörler kullanmadan sağlanabilir [30].

Şekil 4.5'dan görüleceği gibi, AC bara gerilimi ile dönüştürücü çıkış gerilimi arasındaki faz açısı (δ), aktif güç akışının yönünü belirler. $\delta > 0$ ise, güç akışı AC taraftan DC tarafa doğru olacaktır.

STATCOM, anma gerilim değerinde bir akım kaynağı olarak çalıştırılması durumunda senkron kompanzatöre benzer şekilde çalışır. Fakat temel farklılıkları şunlardır:

- Senkron kompanzatörün elektriksel ataleti kondansatör büyüklüğüne bağı olarak STATCOM'a göre çok fazladır.
- Senkron kompanzatör geçici hallerde şebekeye hızla aktif güç verebilir. STATCOM'da bunu yapmak için çok büyük güçlü DC kondansatör veya enerji depolama birimi gereklidir.

Gerilim düşmeleri ve kesintilerinin büyük genliklerde olduğu dağıtım sistemlerinde, V.S.C'ler gerilim kontrolörü olarak verimli olmazlar. Ancak V.S.C'nin sağlayacağı akım, yük akımından daha büyük olursa ihtiyaca cevap verecek şekilde kullanılabilir. Fakat V.S.C, hızlı yük değişimlerinin olduğu ortak bağlantı noktalarında, gerilim düşme ve yükselmelerine karşı yeterli gerilim kontrolünü sağlar. Dağıtım sistemlerinde kullanılanlar, D-STATCOM olarak adlandırılır.

4.4.2 Yedeklemeli güç kaynağı

STATCOM'un DC tarafına bir enerji depolama birimi bağlanırsa, aktif güç kontrolü de mümkündür. Bu durumda aktif güç sınırı, dönüştürücünün gücü olacaktır. Bu durumda paralel bağı V.S.C, Şekil 4.7'deki Kesintisiz Güç Kaynağı gibi çalışacaktır. Şebeke geriliminde bir bozulma saptandığında, yük paralel dönüştürücü tarafından beslenecektir.

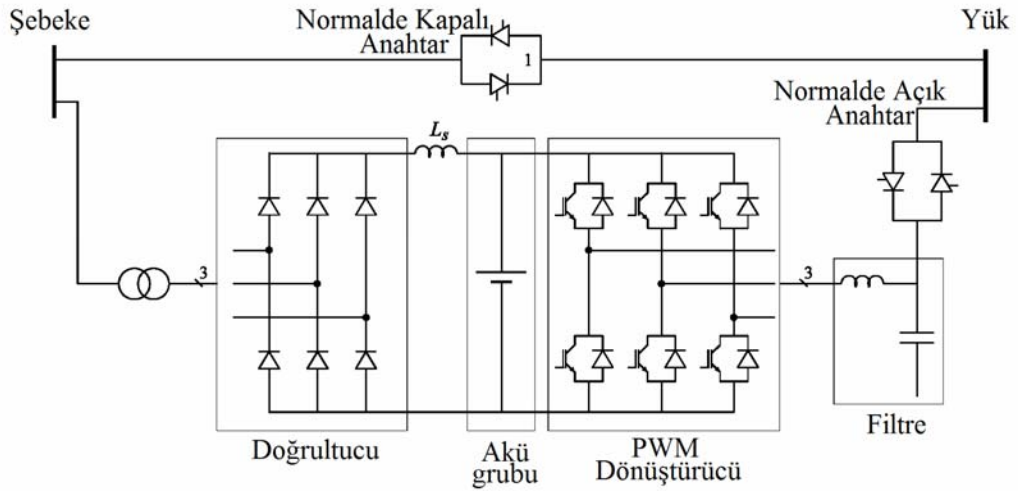
DC taraftaki enerji depolama biriminin kapasitesi:

$$E_{paralel} = S_{yük} \Delta t \cos \phi \quad (4.3)$$

olur. Burada

- $S_{yük}$ ve $\cos \phi$ kompanse edilen yükün gücü ve güç faktörü,
- Δt , dönüştürücünün kompanse edeceği hatanın süresidir.

Örneğin 2 MVA gücünde, $\cos \phi = 0,9$ olan bir yükü $\Delta t = 100$ ms olan bir hatada karşılamak için $E = 180$ kJ olan bir enerji depolama birimine ihtiyaç duyulmaktadır. Kesinti ve büyük genlikli gerilim düşmelerini karşılamak için Δt süresi atıkça enerji depolama biriminin kapasitesi ve boyutları artacaktır. Bu durumda sistem uygulanabilir bir çözüm değildir.



Şekil 4.7: Kesintisiz güç kaynağı prensip şeması

4.4.3 Aktif filtreleme

V.S.C, temel harmonik frekansına ek olarak, diğer harmonik frekanslarında da çıkış gerilimi verebilmektedir. Bu durumda lineer olamayan yüklerin (örneğin tristör

gruplarından oluşan hız kontrolörlerinin) neden olduğu gerilim harmoniklerinin kompanze edilmesinde kullanılabilir.

Sistemden harmonikli akım çekilmesi, harmonik gerilimlerinin oluşmasına neden olur. Bu harmonikler pasif filtreleme yöntemleri ile önlenir. Pasif filtreler üretilen harmonik frekanslarının sabit olduğu sistemlerde kullanıma uygundur. Filtre tasarımında sisteme eklenebilecek yükler de göz önüne alınmalıdır. Pasif filtreler, sistemde düşük frekanslı rezonansla neden olmaktadır.

Paralel aktif filtreler ile değişik frekanslardaki harmonikler yok edilebilmektedir. Burada çok hızlı anahtarlama gerektiğinden, günümüzde (5-10 kHz) kVA gücündeki yüklere kadar kullanımı mevcuttur.

Daha önce açıklandığı gibi, V.S.C, DC tarafında herhangi bir enerji depolama birimine gerek duymadan küçük bir kondansatör ile reaktif güç üreterek veya tüketerek gerilim kontrolü sağlamaktadır. Ayrıca yük açısı da kontrol edilebildiği için şebekeden yüke sadece aktif güç akışı sağlanır.

V.S.C aktif filtre olarak çalıştırıldığında, temel harmonik gerilimi yanında diğer harmonik bileşenli gerilimleri şebekeye verilerek lineer olmayan yüklerin neden olduğu gerilim bozulmaları önlenir.

4.5 Seri Bağlı V.S.C

Seri V.S.C, Şekil 4.8'de görüldüğü gibi iletim hattına veya dağıtım fiderine bir transformatör ile bağlanır.

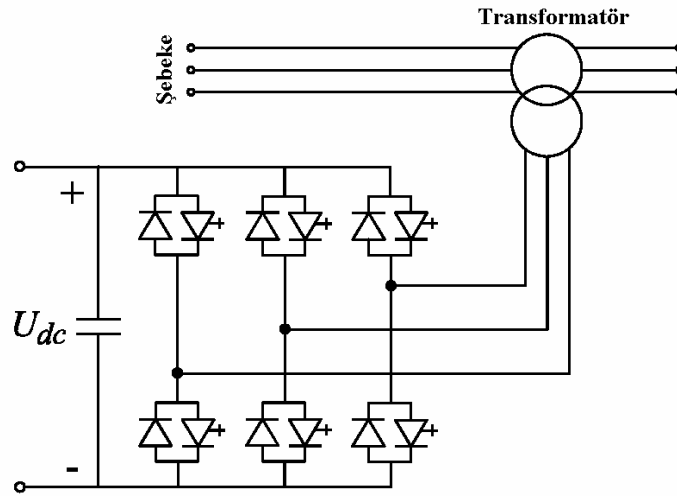
Seri bağlı V.S.C, paralel bağlı V.S.C gibi genliği ve açısı kontrol edilebilen çıkış gerilimi üretir. Sadece reaktif güç akışının kontrol edilmesi için V.S.C çıkış gerilimi, hat akımı ile ortogonal olmalıdır. Bu yüzden, eğer DC tarafta bir enerji depolama birimi yoksa çıkış geriliminin faz açısı hat akımına bağlı olarak sınırlandırılır. Seri dönüştürücü için yapılan aktif güç dengesi, aynı DC baraya bağlı paralel V.S.C ile de

sağlanabilmektedir. Bu sayede aktif güç seri dönüştürücü üzerinden akacak ve AC şebekeye paralel V.S.C ile dönecektir.

İletim ve dağıtım sistemlerindeki uygulama farklılıklarından dolayı seri V.S.C'ler ayrı ele alınacaktır.

4.5.1 İletim sistemlerinde seri bağlı V.S.C

İletim sistemlerinde seri bağlı V.S.C, genellikle Statik Senkron Seri Kompanzator (Synchronous Series Compesator-S.S.S.C) veya Seri Güç Akış Kontrolörü (Series Power Flow Controller-S.P.F.C) olarak adlandırılır [76]. Bu kompanzatorün temel görevi, iletim hattından akan aktif ve reaktif güç akışını düzenlemektir. Şekil 4.9'da bununla ilgili basitleştirilmiş model ve fazör diyagramı görülmektedir. Seri V.S.C, genliği (u_{inj}) ve fazı (σ) ayarlanabilen bir güç kaynağı olarak modellenmiştir. Bu sayede iletilen aktif ve reaktif güç akışı izin verilen sınırlar içinde tutulabilmektedir.



Şekil 4.8: Seri bağlı V.S.C

Bu sistemde hat akımı:

$$\bar{I} = \frac{\bar{u}_g + \bar{u}_{inj} - \bar{u}_l}{j \cdot X_L} = \frac{\bar{u}_{inj} \sin \sigma + \bar{u}_l \sin \theta}{X_L} - j \frac{\bar{u}_g + \bar{u}_{inj} \cos \sigma - \bar{u}_l \cos \theta}{X_L} \quad (4.4)$$

olacaktır. Sistemden çekilen görünür güç:

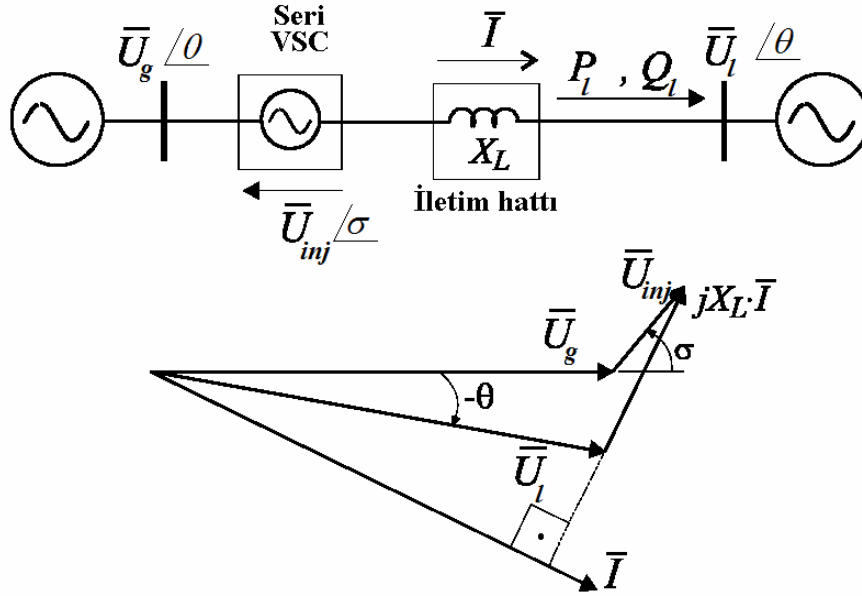
$$S_l = P_l + jQ_l = \overline{u_l} \overline{I}^* \quad (4.5)$$

olurken, hat sonundan çekilen aktif ve reaktif bileşenler ise:

$$P_l = \frac{u_g u_l}{X_L} \sin \theta + \frac{u_{inj} u_l}{X_L} \sin(\theta + \sigma) \quad (4.6)$$

$$Q_l = -\frac{(u_l - u_g \cos \theta) u_l}{X_L} \sin \theta + \frac{u_{inj} u_l}{X_L} \cos(\theta + \sigma) \quad (4.7)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.



Şekil 4.9: Seri bağlı V.S.C'nin basitleştirilmiş modeli ve gerilim-akım faz bileşenleri

(4.6) denklemi, seri V.S.C'nin şebekeye vereceği aktif gücün sadece ürettiği gerilimin genliği ve faz açısına (u_{inj} , σ) değil; aynı zamanda hat başı ve hat sonu arasındaki faz açısına (θ) da bağlı olduğunu göstermektedir. (4.7) eşitliğinde ilk terim seri V.S.C bağlanmadan önceki durumu, ikinci terim ise seri V.S.C'nin reaktif güce katkısını göstermektedir.

Aktif güç sağlamak için seri V.S.C'nin DC tarafında bir enerji depolama birimi kullanmanın maliyeti oldukça yüksektir. Bu yüzden hat akımı ve gerilim arasındaki 90^0 faz açısı (4.6) denkleminin ikinci tarafını sıfır yapacağından S.S.S.C'nin kontrolü sınırlı olur.

Yukarıdaki sınırlama söz konusu olduğunda S.S.S.C bir Tristör Kontrollü Seri Kapasitör gibi çalışır. Fakat şebekeye verilen gerilim ters polarize edildiğinde S.S.S.C endüktif kompanzasyon da yapabilmektedir. Ayrıca verilebilecek gerilimin en büyük değeri hat akımına da bağlı değildir. Dolayısıyla S.S.S.C dönüştürücünün yapısı ile sınırlı olarak, değeri ayarlanabilen endüktif ve kapasitif endüktans olarak düşünülebilir. Tam endüktif çalışma özellikle uzak bölgelerde oluşan kısadevre durumları için kullanışlıdır. Seri V.S.C'de empedans ayarı herhangi bir pasif eleman kullanılmadığından yapıldığında, seri kompanzasyon nedeniyle oluşan senkronaltı rezonans tehlikesi yoktur.

Burada açıklanan üstünlüklerine rağmen maliyet açısından S.S.S.C ile T.C.S.C maliyeti hemen hemen eşittir. S.S.S.C'nin pratik uygulaması çok azken, T.C.S.C'nin birçok uygulaması mevcuttur. Bu koşullarda T.S.C.S modern seri kompanzasyon yöntemi olarak önümüzdeki yıllarda da geçerliliğini koruyacaktır.

4.5.2 Dağıtım sistemlerinde seri bağlı V.S.C

Dağıtım sistemlerinde, seri bağlı V.S.C son birkaç yıla kadar lineer olmayan yüklerin neden olduğu gerilim harmoniklerini yok etmek amacıyla aktif filtre olarak kullanılmıştır. Bu tür aktif filtreler çoğunlukla alçak gerilim tarafında, V.S.C'nin boyutlarının küçülterek yüksek frekanslardaki harmonikleri filtrelemek için bir pasif filtre ile birlikte kullanılırlar [116,117].

Son on yılda dağıtım sisteminde, özellikle gerilim düşmelerini önlemek için seri V.S.C sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu düzenleyiciler genel olarak "Dinamik Gerilim Düzenleyici" olarak adlandırılmaktadır. Dinamik Gerilim Düzenleyiciler, adından da anlaşılacağı gibi, özellikle hassas yüklerin şebeke

geriliminde oluşan kısa süreli gerilim düşmelerinden etkilenmeden çalışmasını sürdürmesi için, Şekil 4.10'dan da görüleceği gibi gerekli gerilimi üreten kompanzatorlardır. Hızlı anahtarlama devreleri (1-2 kHz) kullanılarak yükün gerilim düşmesi, yükselmesi veya faz kaymasından etkilenmemesi sağlanır. Bu amaçla kâğıt, yarıiletken, yiyecek fabrikalarında yapılan bazı pratik uygulamalar mevcuttur [4, 47, 48].

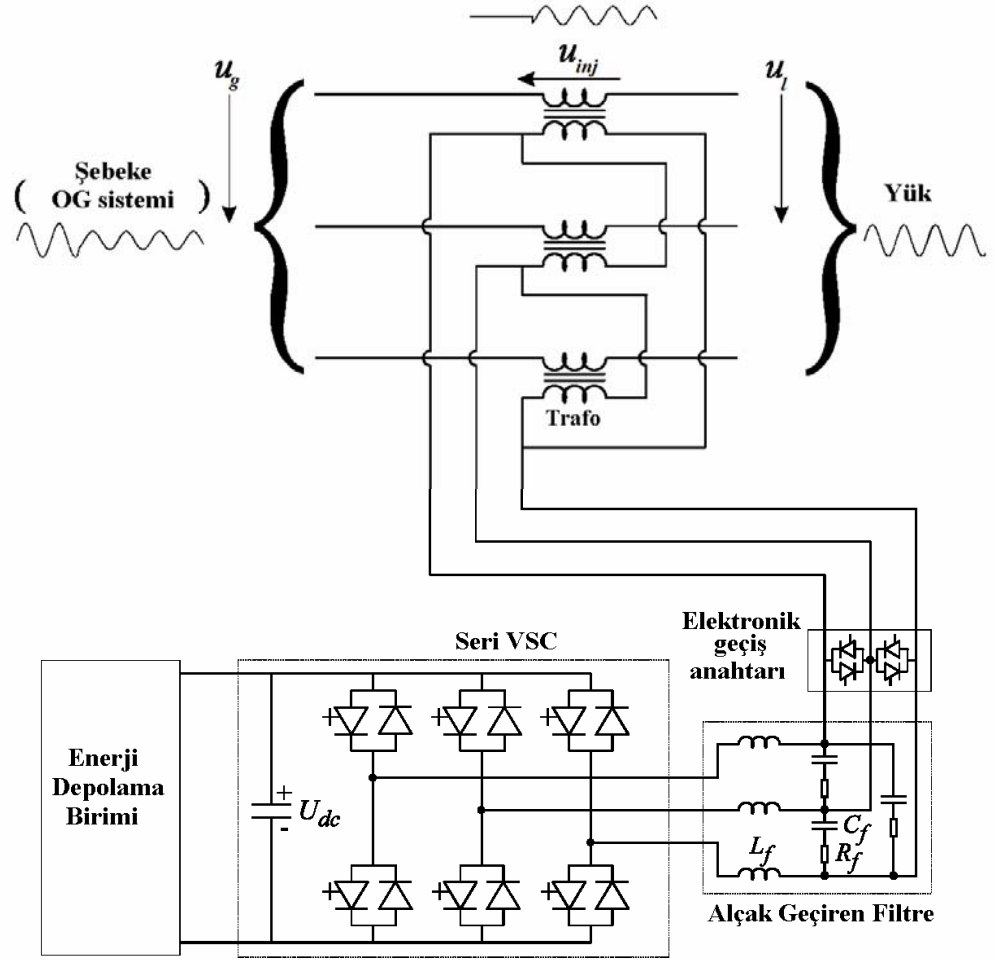
Güç sistemlerinde en sık karşılaşılan güç kalitesi problemi olan gerilim düşmelerinde gerilimin genliği genellikle en fazla %30 düşmekte ve bu durum 100–500 ms arasında sürmektedir. Bu tür bir problemi önlemek için UPS sistemlerinin kullanılması çok büyük ve gereksiz bir maliyet gerektirmektedir.

İletim hatlarında seri V.S.C'lerin, kullanılma amacı güç akışı kontrolü iken, alçak gerilimde temel amaç gerilimi sabit tutmak olduğu için gücü de ayrıca sabit tutacaktır. Bunun anlamı, hata sırasında yükün ihtiyaç duyacağı gücün seri V.S.C tarafından karşılanacağıdır. Bu yüzden bir enerji depolama birimi kaynak olarak DC tarafa bağlanır. D.G.D'nin gücü 2-10 MVA arasında ve gerilim düşmesinin çok kısa süreli bir olay olması nedeniyle, enerji depolama biriminin kullanılması pratik olarak mümkündür.

Enerji depolama biriminin gücü paralel dönüştürücüdeki gibi (4.1) denklemi ile bulunabilir. Buradaki tek fark, seri V.S.C devreye girdiğinde, şebeke gerilimi tamamen devre dışı kalmamıştır ve yükü kısmen beslemeye devam eder. Bu yüzden enerji depolama biriminin vereceği enerji:

$$E_{seri} = k S_{yük} \Delta t \cos \phi = k P_{yük} \Delta t \quad (4.8)$$

olarak bulur. Burada k katsayısı D.G.D'nin gerilim kapasitesidir. Bu katsayının bir olması, D.G.D'nin şebeke geriliminde gerilim sağlayabildiğini gösterir (ani gerilim kesintilerinin önlenmesi). Gerçek uygulamalarda bu katsayı 0,3 ila 0,5 arasında değişir.



Şekil 4.10: Güç sistemine seri bağlı V.S.C-Dinamik Gerilim Düzenleyici

Gerilim düşmelerinde, D.G.D'nin ihtiyaç duyduğu enerji depolama biriminin gücünün hesaplanması için, hangi tip arızaları, ne kadar süre ve hangi genlikte kompanze etmesi gerektiği belirlenmelidir. Şekil 4.11'da bununla ilgili hesaplamaların yapılabileceği bir sistem görülmektedir. Besleme hattında sadece D.G.D'nin şebekeye bağlantı transformatörünün kaçak reaktansı mevcuttur. Bu transformatörün dönüştürme oranı, DC taraftan sisteme verilebilecek en yüksek gerilim değerine göre seçilmiştir.

Orta Gerilim (O.G) hattından beslenen diğer paralel sistemlerden birinde bir arıza olduğunda, O.G barasında, diğer yükleri de etkileyecek bir gerilim düşümü meydana gelecektir. Bu durumda sistemin analizinde, gerilimde faz atlamalarını da hesaba

katmak için fazör değerler kullanılmalıdır. Referans eksen ise, genliği ve açısı sabit tutulmaya çalışılan yük gerilimi olmalıdır.

Güç sistemlerinde arızalar genellikle simetrik olmadığından D.G.D kontrol sistemi her bir fazı ayrı denetlemelidir. Buna göre, seri V.S.C'nin vereceği aktif gücü hesaplarken sadece gerilimin pozitif bileşenleri hesaba katılır. Çünkü dengesiz gerilim düşümlerinde D.G.D şebekeye negatif bileşenli gerilimler de verir. Dolayısıyla yük, orta gerilimde oluşan dengesiz bir gerilim düşmesinden etkilenmez. Dengeli yüklenmede, I_l akımı her fazda aynıdır. Dengeli fider akımı ile dengesiz seri gerilimin çarpımından, D.G.D'nin ürettiği güç ikinci harmonik bileşenleri içerecektir. Bu güç DC kapasitörden yarım periyotta alınır ve bir sonraki yarı periyotta geri verilir.

Şekil 4.10'da görülen sistemde u_g şebeke gerilimi u_s değerine düştüğünde V.S.C'nin vereceği u_{inj} gerilimi hesaplayalım. Sistem yük gerilimini sabit tutmak için (1 p.u) tasarlanmış olduğundan, gerilim dengesi:

$$\begin{aligned} \overline{u_g} - jX_t \overline{I_l} + \overline{u_{inj}} &= \overline{u_l}^{1.0 \text{ p.u}} \\ \overline{u_s} (\cos \sigma + j \sin \sigma) - jX_t I_L (\cos \phi + j \sin \phi) + \overline{u_{inj}} &= 1.0 \end{aligned} \quad (4.9)$$

olarak yazılabilir. Burada X_t p.u. olarak transformatörün kaçak reaktansdır.

Şebeke gerilimindeki düşmeyi kompanze ederek yük gerilimini sabit tutacak dönüştürücü çıkış gerilimi:

$$\overline{u_{inj}} = (1.0 - u_s \cos \sigma - X_t I_L \sin \phi) + j(X_t I_L \cos \phi - u_s \sin \sigma) \quad (4.10)$$

şekilde hesaplanır.

Kullanılan yarıiletken elemanların kayıpları ihmal edildiğinde, dönüştürücünün DC tarafından alınacak aktif güç:

$$P_{DC} = \Re\left(\overline{u_{inj} I_l^*}\right) \quad (4.11)$$

eşitliğinde (4.10) denklemini kullanarak:

$$P_{DC} = \overbrace{I_l \cos \phi}^{P_{yük}} - u_s I_l \cos(\sigma - \phi) = P_{yük} \left(1 - \frac{u_s \cos(\sigma - \phi)}{\cos \phi}\right) \quad (4.12)$$

elde edilir.

Güç sistemlerindeki yüklerin çoğunluğu reaktif güç çektiklerinden ($\phi < 0$), faz açısının ($\sigma < 0$) negatif olması DC taraftan çekilecek aktif gücün değerini azaltır. Fakat orta gerilimde şebeke gerilim ve akımı yaklaşık aynı fazdadır. Buna göre gerilim düşümü sırasında şebekeden iletilen aktif güç gerilimde faz atlaması olmaması durumunda daha büyük olacaktır.

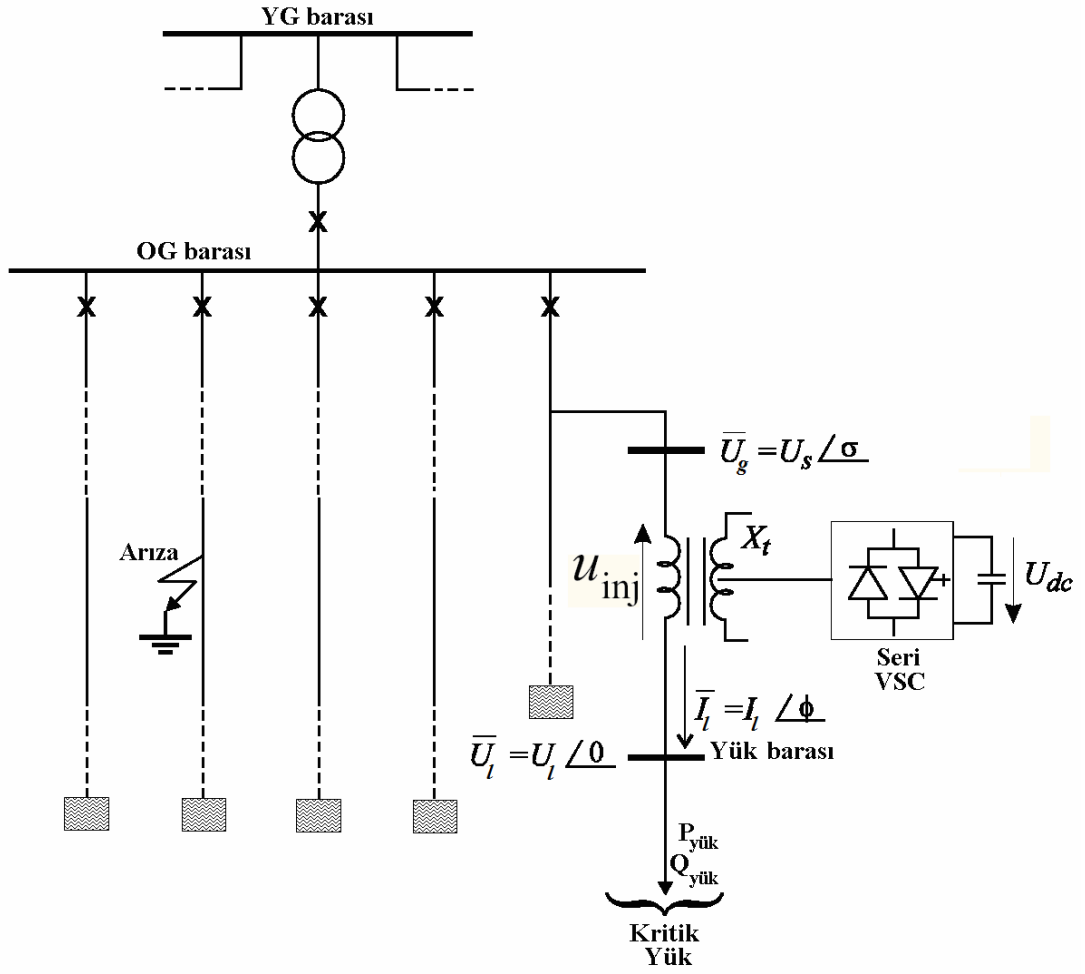
Pratikte (4.12) denklemindeki, $\left(1 - \frac{u_s \cos(\sigma - \phi)}{\cos \phi}\right)$ ifadesi 0 ile 1 arasında değer alır.

Yani DC taraftan alınan aktif güç, yükün aktif gücünden daha küçük değerdedir.

(4.12) denklemine göre gerilim bileşenleri Şekil 3.6'daki gibi değişen bir sistem için $u_s=0,82$ p.u, $\sigma=-8^\circ$, $\cos \phi=0,8$ (endüktif) ve $P_{yük}=8$ MW olduğunda ihtiyaç duyulan DC aktif gücün büyüklüğü:

$$P_{DC} = 8MW \cdot \left(1 - \frac{0,82 \cos(-8^\circ + 37^\circ)}{0,8}\right) = 0,828 \text{ MW}$$

olarak hesaplanır.



Şekil 4.11: Kritik yükü kompanze eden D.G.D'nin şebekeye bağlantısını gösteren örnek sistem

Bu örnekte gerilim düşümünün sabit olduğu varsayılmıştır. Fakat bu durum şebekede nadiren görülür. Gerilimin pozitif bileşeni gerilim düşmesi sırasında fazla değişmemektedir (Şekil 3.6). 270 ms süren gerilim düşmesi sırasında D.G.D'nin vereceği enerji:

$$E_{DC} = 0,828 \text{ MW} \cdot 0,27 \text{ s} = 223 \text{ kJ}$$

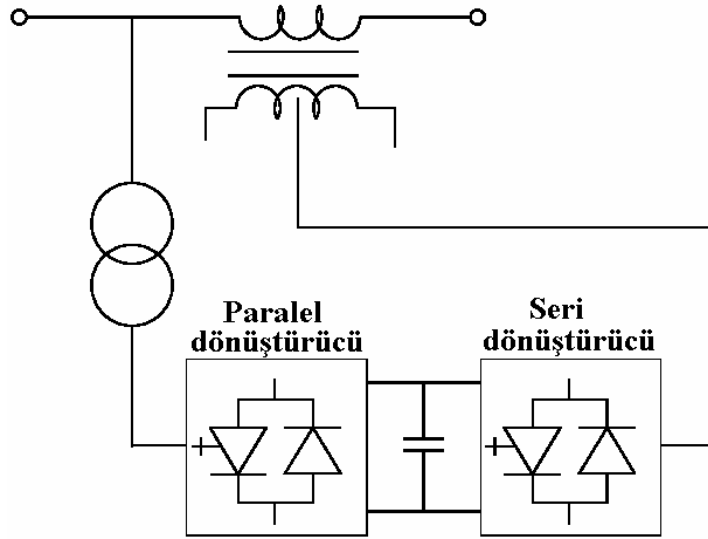
olur. Bu enerji 100 ms süreli genliği %50 değerine düşmüş üç faz dengeli kısa devredeki enerjinin (400 kJ) yarısı kadardır.

D.G.D tasarımı yapılırken sistemden birçok ölçüm alınması gereklidir. Literatürden, 1800 kJ'a kadar kondansatörün kullanılan D.G.D uygulamaları vardır [50].

4.6 Hibrit Dönüştürücüler

Hibrit dönüştürücüler, seri ve paralel gerilim dönüştürücünün birleştirilmiş halidir (Şekil 4.12) Paralel dönüştürücü ve seri dönüştürücünün bir ucu aynı baraya bağlanmıştır. Hibrit dönüştürücüler güç iletimi sistemlerinde Birleştirilmiş Güç Akış Kontrolörü (Unified Power Flow Controller-U.P.F.C) [51,118], güç dağıtım sistemlerinde ise Güç Hattı Kontrolörü (Power Line Controller) olarak tanımlanır [26,105].

Her iki dönüştürücü tipinde de denetim tetikleme ve temel kontrol işlemini seri dönüştürücünün yaptığı varsayılmaktadır. Bu güç akış kontrolü ile iletim ve dağıtım sistemlerindeki gerilim düşmelerini önlenir. Bu uygulamalarda paralel dönüştürücünün anahtarlama frekansı düşürülerek anahtarlama kayıpları azaltılabilir.



Şekil 4.12: Hibrit dönüştürücünün yapısı

Paralel dönüştürücünün temel görevi dönüştürücüler arasındaki aktif güç akışını ayarlamaktır. Seri dönüştürücüden sisteme veya sistemden seri dönüştürücüye aktif güç akışı paralel dönüştürücü ile yapılır. Bu işlem için DC bara gerilimi sabit tutulurken paralel dönüştürücü akımı aktif bileşenini ayarlar.

İletim sistemlerinde hibrit dönüştürücü kullanıldığında, paralel dönüştürücü ayrıca reaktif güç kontrolü de yapar. Bu sayede bağlı bulunduğu noktanın gerilim kontrolü mümkün olur. Bu işlem Birleştirilmiş Güç Akış Kontrolü olarak bilinir.

Dağıtım sistemlerinde hibrit dönüştürücü seri kompanzatörünün temel kullanılma amacı şebekedeki arıza durumlarında bara gerilimini sabit tutmaktır. Paralel dönüştürücünün gerilim kontrolünde etkisi yoktur.

Hibrit dönüştürücünün en önemli dezavantajı, yapısında bulunan iki zorlamalı komitasyon devresinin maliyetidir. Günümüz güç iletim sistemlerinde, yalnız bir UPFC uygulaması vardır [119,120]. Fakat dağıtım sisteminde gerilim düşmeleri için hibrit dönüştürücünün seri kısmının kullanıldığı sistemler mevcuttur. Bu tip hibrit sistemlerde genellikle paralel kısım yerine kontrolsüz doğrultucu devreleri kullanılmaktadır. Seri dönüştürücünün hızlı cevap vermesi göz önüne alındığında gerilim düşmesi sırasında DC gerilimdeki düşme daha yavaş olur.

Dinamik Gerilim Düzenleyicilerin güç sistemlerinde yaygın olarak kullanılmasıyla, hibrit dönüştürücülerin kullanımı azalacaktır. Seri ve paralel V.S.C'lerin Tablo 4.1'de özetlenmiştir.

Tablo 4.1: AC güç sistemlerinde gerilim kompanzasyon sistemlerinin işlevleri

V.S.C tipi	Dağıtım sistemi	İletim Sistemi
Seri	Gerilim düşmeleri ve dengesizliklerini önleme, harmonik süzme	Güç akış kontrolü
Paralel	Aktif filtre, gerilim kırışmasının önlenmesi, yük dengeleme	Reaktif güç/gerilim kontrolü

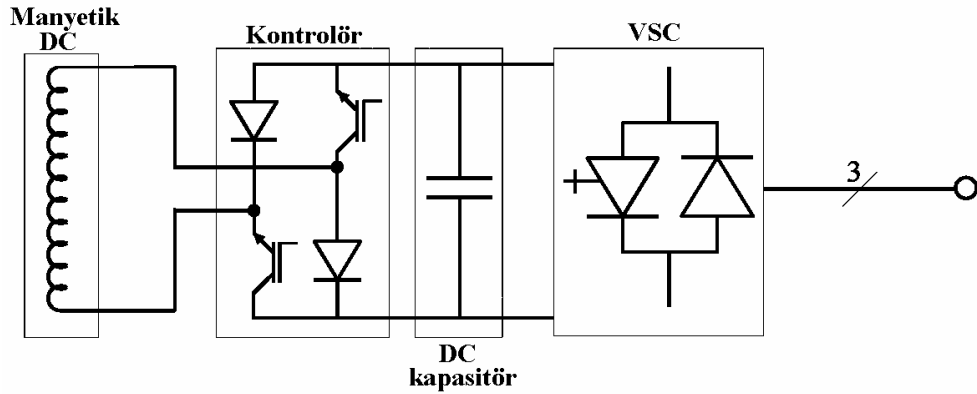
4.7 Enerji Depolama Birimleri

Daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi, paralel dönüştürücüler yeterli enerji depolama birimine sahip ise dışarıdan bir gerilim kaynağı olarak çalışabilirler. Seri dönüştürücüler de gerilim düşmelerini kompanze etmek için enerji depolama birimlerine ihtiyaç duyarlar. Ayrıca enerji depolama birimi olan değişken hız kontrol

devreleri, büyük gerilim düşmelerinde de çalışmaları devam ederler. Dolayısıyla enerji depolama birimlerinin geliştirilmesi, gerilim düşmesi ve kesintiler gibi güç kalitesi problemlerinin hem sistem hem de ekipman düzeyinde ele alınan çözümlerinde büyük önem taşımaktadır.

Bu bölümde çeşitli enerji depolama birimleri boyut, kapasite ve korunacak yükün tipi gibi ölçütlere göre incelenecektir.

Enerji depolama birimi, kullanılan dönüştürücünün tipine (seri-paralel) göre sisteme ya doğrudan ya da bir kondansatör ile bağlanır. Bununla ilgili bir örnek Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Kontrolörün anahtarlama açısının ayarlanması ile DC gerilim seviyesi şebekede ihtiyaç duyulan miktara ayarlanır. Burada güç elektroniği sisteminin maliyeti önemlidir. Şekil 4.13’deki sistemde MJ düzeyinde gerekli enerjiyi magnetik depolama biriminde saklamak için büyük magnetik akım gereklidir. Dolayısıyla kontrolörün anahtarlama elemanları bu akımlarda çalışabilecek şekilde boyutlandırılacaktır.



Şekil 4.13: V.S.C'nin DC tarafında kullanılan enerji depolama birimi ile ilgili bir örnek

4.7.1 Kondansatör

Dinamik Gerilim Düzenleyicilerde enerji depolama birimi olarak genellikle kondansatörler kullanılırlar. Bunun temel sebebi gerilim düşmesi sırasında gerekli enerjinin saklanabilmesi ve PWM anahtarlama sisteminin çalışmasını etkileyebilecek çok yüksek gerilimlere neden olmamasıdır. Şebekeye seri bağlantı transformatörünün

dönüştürme oranı mümkün olan minimum DC gerilimde, maksimum bara gerilimini sağlayacak şekilde seçilir. Örneğin D.G.D'nin 4 MW gücündeki bir yükteki %50 genlikli 300 ms süreli simetrik gerilim düşmesine karşı koruduğunu varsayalım. Denklem (4.8)'e göre seri dönüştürücünün vermesi gereken enerji miktarı 600 kJ'dür. DC bara gerilimi 5 kV ise, şebekeye gerilim verildikten sonra bu gerilim PWM anahtarlamasını etkilemeden 2,5 kV'a düşebilir. Bu durumda gerekli kapasite değeri:

$$E_{DC} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \left[(5 \text{ kV})^2 - (2,5 \text{ kV})^2 \right] = 600 \text{ kJ}$$

Olup buna karşı gelen kapasite değeri $C = 6400 \mu\text{F}$ olarak bulunur. Bu kapasite değeri, 32 adet 2000 μF 'lık kondansatör kullanılarak elde edilebilir.

Paralel dönüştürücü uygulamalarındaki gibi, ihtiyaç duyulan enerji miktarı arttıkça kapasite değerinin de artırılması gereklidir. Örneğin 3 saniyelik bir enerji kesintisinde aynı sistemi kompanze etmek için 640 adet kondansatör kullanılması gerekli olacaktır. Dolayısıyla kullanışlı bir yöntem değildir.

4.7.2 Bataryalar

En çok bilinen enerji depolama birimi kurşun-asit bataryalardır. Yüksek enerji depolama kapasiteleri vardır. Buradaki temel problem bataryaların yüksek güçlü olmamasıdır. Yüksek güçlü bataryaların boyutları çok büyük olduğundan kurulumu için geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca ömürlerinin uzun olmaması ve yüksek maliyetleri dezavantajlarıdır. Dolayısıyla bataryalar daha çok düşük güç gerektiren; örneğin elektrikli araç uygulamalarında kullanılmak için daha uygundur.

4.7.3 Süper kapasitörler

Süper kapasitörler literatürde ultra veya çift katmanlı kapasitör olarak da bilinen elektrokimyasal yüksek güçlü depolama birimleridir. Özellikleri açısından elektrolit

kapasitör ve bataryalar arasında yer alırlar. Daha az bakım gerektirmektedirler ve ömürleri bataryalara göre daha uzundur.

Süper kapasitörler elektrikli ve hibrit araba uygulamalarında yüksek verimli çalışırlar. Bu teknolojinin geliştirilmesinin temel amacı düşük gerilimlerde ve yüksek kapasite değerlerinde enerji depolanmasıdır. Bu yüzden orta gerilim sistemlerindeki V.S.C devrelerinde kullanılmaya elverişli değildir.

4.7.4 Süperiletken magnetik enerji depolama birimi (SMES)

Süperiletken teknolojisini yüksek sıcaklıkta çalışılabilen malzemelerdeki gelişme ile ortaya çıkmıştır. Örneğin yeraltı kablolarında, hata akım sınırlayıcılarda, transformatörlerde ve süperiletken enerji depolama birimlerinde uygulamaları vardır [88].

Süperiletken magnetik enerji depolama sistemlerinde, teorik olarak direnci sıfır olan büyük değerli bobinler kullanılır. MJ düzeyinde büyük güçler depolanabilir.

Gerilim düşme ve kesintileri gibi güç kalitesi problemlerinin çözümünde kullanılan az sayıda SMES uygulaması pratikte mevcuttur [121]. Bu uygulamalarda büyük endüstriyel tesislerde düşük sıcaklıkta çalışan süperiletken kullanılmıştır [122]. Altı SMES ünitesinin gerilim kararlılığı sağlamak için kullanıldığı dağıtım sistemleri de vardır [123]. Bu altı SMES biriminin yaklaşık maliyeti ise 4 milyon dolardır. Bu üniteler normal işletmede sadece reaktif güç kontrolü yapmaktadır. Hata sonucu sistemin kararlılığında bir bozulma olduğunda SMES hızlı bir şekilde aktif güç kontrolü yaparak hatanın temizlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu işlem bazı kaynaklarda Dağıtılmış Üretim (Distributed Generation-DG) alternatifi olarak gösterilmektedir.

Süperiletken malzemenin maliyetinin çok yüksek olması nedeniyle günümüzde kullanımını oldukça enderdir. Verimli bir süperiletken malzemenin maliyeti 10\$/kA'i geçmemesi gerekirken bugün için maliyetler bunun çok üzerinde olmaktadır. Fakat SMES üniteleri uzun ömürleri nedeniyle en verimli enerji depolama birimleridir.

Bataryalara göre sisteme cevap süreleri çok daha kısadır. Özellikle yüksek sıcaklıklı süperiletken teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak SMES, enerji depolama sistemleri arasında önemli bir yer edinecektir [165].

4.7.5 Redüktörlü sistemler

Redüktörlü enerji depolama sistemlerinde kolaylıkla elektrik enerjisine çevrilebilen kinetik enerjiden yararlanır. Saklanan enerjinin yoğunluğu genellikle düşüktür. Ayrıca sabit ve hareketli parçalarındaki kayıplar büyüktür.

Redüktörlerin genel uygulamalarında, sabit-düşük hızda dönen bir metal bölümü vardır. Depolanan enerji redüktörün ağırlığı ile doğru orantılı fakat dönüş hızının karesi ile ters orantılıdır. Dolayısıyla hızın artırılmasının enerji yoğunluğuna büyük etkisi olacaktır [124].

Enerji depolama birimleri ile ilgili bir karşılaştırma Tablo 4.2’de verilmiştir. Burada tüm yöntemlerin üstünlükleri ve zayıf yanları görülmektedir. Tablodaki bilgiler bugünün teknolojisine göre verilmiştir [166].

Tablo 4.2: Enerji depolama birimlerinin birbirine göre avantaj ve dezavantajları

Enerji Depolama Birimi	Enerji Saklama Yöntemi	Üstünlükleri	Zayıf Yanları
Bataryalar	Kimyasal	Düşük maliyet, geniş uygulama alanı, yüksek enerji yoğunluğu (10-100 W.h/kg)	Bakım gerektirir, ömürleri kısa, cevap süreleri uzun, çevreye zararlı maddeler kullanıyor
Elektrolit Kapasitör	Elektriksel	Geniş uygulaması, kısa cevap süreleri	Sınırlı enerji yoğunluğu (<0,1 W.h/kg)
Süper Kapasitör	Elektrokimyasal	Orta enerji yoğunluğu (1-10 W.h/kg)	Elektrolit kapasitörlere göre uzun cevap süreleri, düşük gerilimde çalışmaları
Redüktör	Mekanik	Yüksek güç yoğunluğu	Yüksek güç kaybı, bakım gerektirir
SMES	Magnetik	Kısa cevap süresi, yüksek verim	Çok yüksek maliyet

5. DİNAMİK GERİLİM DÜZENLEYİCİLER

Güç sistemlerinde gerilim bozulmaları, özellikle gerilim düşmeleri mikroişlemci tabanlı cihazlara sahip işletmelerde büyük problemlere neden olmaktadır. Son zamanlarda gerilim bozulmalarının belirlenmesi, ölçülmesi ve yok edilmesi için birçok çalışma yapılmaktadır. Güç elektroniği devrelerindeki gelişmelerle birlikte gerilim kalitesi problemlerinin çözümünde yüksek performanslı gerilim düzenleyici devreler geliştirilmiştir.

5.1 Giriş

Güç sistemlerinde “Güvenilirlik” rekabetçi yapıdaki üretim birimleri ve tüketicileri için oldukça önemlidir. Günümüzde iletim ve dağıtım sistemlerinde güvenilirlik çok yüksek seviyelere ulaşmasına karşın, bozucu etkiler tamamen yok edilememiştir. Modern elektronik devreler, bu bozucu etkilere karşı geleneksel elektro-mekanik cihazlara göre daha hassas olduklarından, işletmelerde enerji kesintilerine neden olabilmekte; bunun sonucunda önemli maddi kayıplar oluşmaktadır.

Elektrik dağıtım sistemlerinde meydana gelen bir arıza sonucunda birçok tüketicide gerilim düşmeleri oluşmakta ve çoğu kez maliyeti yüksek problemlere neden olmaktadır. Gerilim düşmeleri, sistemde kesintilere neden olmazsa bile, özellikle hassas endüstriyel cihazların (P.L.C’ler, bilgisayarlar, hassas dönüştürücüler, bazı deşarj lambaları) çalışmalarını engelleyecek düzeyde olabilmektedir. Gerilim düşmelerinin nedenleri temel olarak iki bölümde incelenebilir. Bunlar:

- İletim veya dağıtım sistemindeki arızalar,
- İşletmelerde oluşan problemler (büyük güçlü motorların devreye girmesi)

İletim veya dağıtım sistemlerinde oluşan hataların neden olduğu gerilim düşmeleri daha nadir oluşsa da diğerine göre daha büyük sorundur. Bunun çözümü için

şebekedeki arızaların azaltılması, hata temizlenme sürelerini kısaltılması, sistemin yapısı (kısa devre gücü) geliştirilmesi gereklidir. Bir diğer çözüm ise gerilim düşmeleri süresince sistemin ihtiyacı olan gerilim sağlayabilecek dışarıdan bir kaynağın bulunmasıdır.

İşletmelerde oluşan problemler daha yaygın olarak oluşmakta ve bunların en aza indirilmesi için çeşitli önlemler alınmaktadır. Örneğin büyük güçlü motorların devreye girmesinden dolayı oluşan gerilim düşmeleri, bu motorların ayrı hatlar ile veya ayrı güç kaynakları ile beslenmesi, yumuşak yol verici devreleri kullanarak çalıştırılması ile çözülmektedir.

Alçak gerilim ve orta gerilim seviyelerinde oluşan gerilim düşmelerine karşı geliştirilmiş bazı çözüm yöntemleri mevcuttur. Bu sistemlerden bazıları enerji depolama sistemlerini kullanmaktadır. Modern gerilim düzenleyiciler ise enerji depolama sistemlerine ihtiyaç olmadan, güç elektroniği devreleri tabanlı sistemlerdir. Bu tür çözümler, seri gerilim kaynağı bir trafo üzerinden şebekeye bağlıdır. Tablo 5.1'de gerilim düşmelerine karşı, kullanılan sistemler ve özellikleri olarak görülmektedir [125].

Dinamik Gerilim Düzenleyiciler (D.G.D), güç sistemlerinde meydana gelen hatalardan kaynaklanan gerilim düşümü ve yükselmesine karşı işletmeleri korumak için geliştirilmiştir. D.G.D temel kullanım amacı, hata sonucunda oluşan düşük veya yüksek gerilimi kompanze ederek, devre kesicilerin açmasına engel olarak işletmede enerji kesintilerini önlemektedir.

Güç kalitesinden, özellikle gerilim düşmelerinden dolayı enerji kesintilerinin yaşandığı işletmelerde, enerji analizörleri yardımıyla bozuklukların nedenleri hakkında fikir sahibi olunabilir. Analizörden alınan verilerle sistemin yapısı göz önünde tutularak yukarıda açıklanan gerilim düzeltme yöntemlerinden birisi seçilebilir.

Elektrik enerji sistemlerinde, güç kalitesi sorununun çözümünde önemli bir yere sahip ve geliştirilmeye açık olan Dinamik Gerilim Düzenleyici sistemler, bu çalışmanın temel konusunu oluşturmaktadır.

Tablo 5.1: Gerilim düşmelerine karşı geliştirilen sistemler ve özellikleri

Cihaz	Gerilim	Faz	Güç	Açıklama
Bobin	KG	1	<100 VA	Düşük güç katsayısı ile çalışan röle ve magnetik devrelerde kullanılır. Sistem korumasızdır.
Sabit Gerilim Transformatörleri	KG, AG	1	<10 kVA	Büyük boyutlarda seçilirler. Hacimleri büyüktür ve verimsizdirler. 480 V: 120 V olanları kullanılmaktadır.
Kondansatörlü UPS'ler	KG	1	<5 kVA	Gerilim düşmesinde bir kesintideki gibi çalışır. Düzeltme oranı depolanan enerji ile sınırlıdır. Kare dalga çıkış sinyali verir.
Endüstriyel depolama tabanlı UPS'ler	KG	1	0,1-10 kVA	Akü ömrü kısadır. Düzenli bakım gerektirir.
Endüstriyel depolama tabanlı UPS'ler	AG, OG	3	0.5-2 MVA	Yüksek maliyetli ve düşük verimlidirler. Jeneratörlerin devreye girmesi için 15 s süre için kullanılırlar. Düzenli bakım gerektirir.
Güç elektroniği tabanlı düzenleyiciler	KG, AG	1,3	250 VA – 3 MVA	Maliyeti düşüktür. Ani kesintilerde enerji devamlılığı sağlar Depolama cihazlarına ihtiyaç duymaz, daha uzun sürelilik çözüm için gerekebilir. Verimleri yüksek ve kompakt yapıdadır. PC ağırlıklı sistemler için uygundur.
Transformatörlü gerilim düzenleyiciler (D.G.D)	AG, OG	1,3	2-10 MVA	Gerilim düzeltme kapasitesi maliyetini ve tasarımını etkiler. Kesintilere karşı etkisizdir. OG uygulamalarında sadece enerji girişlerinde kullanılır. Trafo sargıları devamlı akım taşıdığında verimleri düşer.

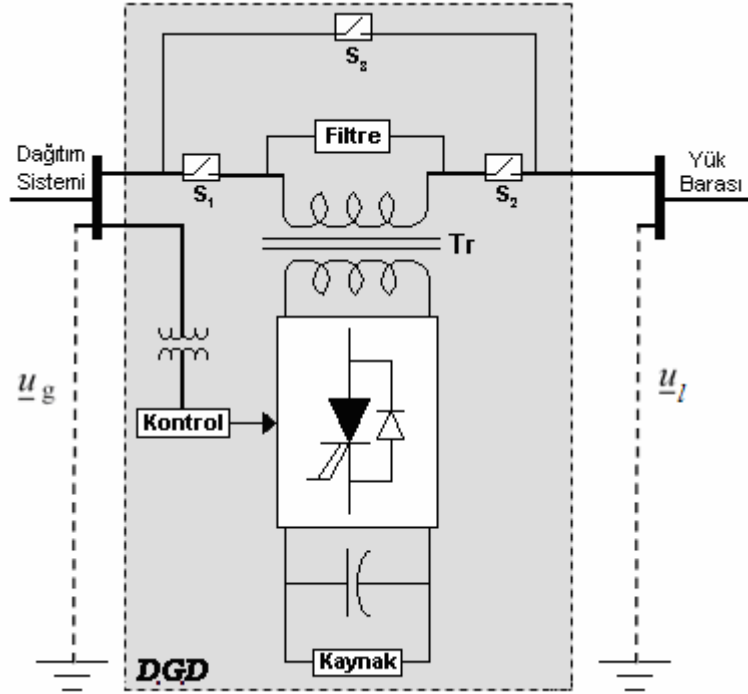
KG: kontrol gerilimi, 120-240V, AG: alçak gerilim, 208-408V, OG: orta gerilim, 2300-6900V

5.2 D.G.D'nin Çalışma Prensibi

Enerji sistemlerinde bir noktanın geriliminin sabit tutulması amaçlandığında, çoğunlukla kondansatörler, modern sistemlerde ise Statik Güç Kompanzatorler kullanılmaktadır. Bu düzenler, sistemin eşdeğer empedansını değiştirerek, gerilimi sabit tutarlar. İletim veya dağıtım sistemlerinde, kısa devre hatalarının neden olduğu gerilim düşmelerinin önüne geçilmesinde ise reaktif güç kontrolü yanında, aktif güç

kontrolü de yapabilen ayarlı gerilim kaynakları, Dinamik Güç Düzenleyici sistemlere ihtiyaç vardır.

Şekil 5.1’de bir D.G.D sistemlerin temel bileşenleri görülmektedir. Buna göre D.G.D, bir arıza sırasında oluşan gerilim düşümünü önlemek için gerekli gerilimini üretecektir. D.G.D ile her bir fazın gerilimi ayrı ayrı denetlenerek yük uçlarındaki gerilim sabit tutulmakta, sistemin hatadan etkilenmemesi sağlanmaktadır. Dolayısıyla D.G.D, sistemde oluşan geçici durumlar sırasında bir gerilim kaynağı olarak çalışmaktadır.

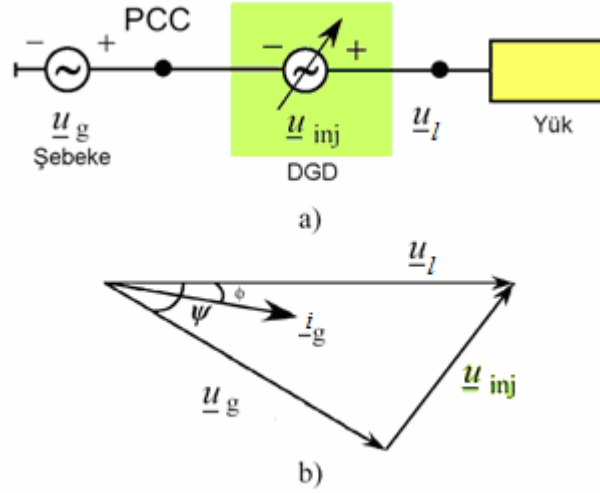


Şekil 5.1: D.G.D'nin temel yapısı

D.G.D gerilim düşmesi sırasında eşdeğer bir güç kaynağı olarak çalışır ve gerilim düşüm miktarı kadar gerilimi (u_{inj}) istenilen faz açısında şebekeye verir. Gerilim yükselmesi sırasında ise ters kutuplu bir gerilim kaynağı olarak çalışır ve yük geriliminin sabit kalması sağlar.

D.G.D'ler gerilim düşme/yükselmesini kompanze etmek için şebekeye verilecek/çekilecek aktif ve reaktif güç miktarı da ayarlarlar. Şekil 5.2.(a)'da

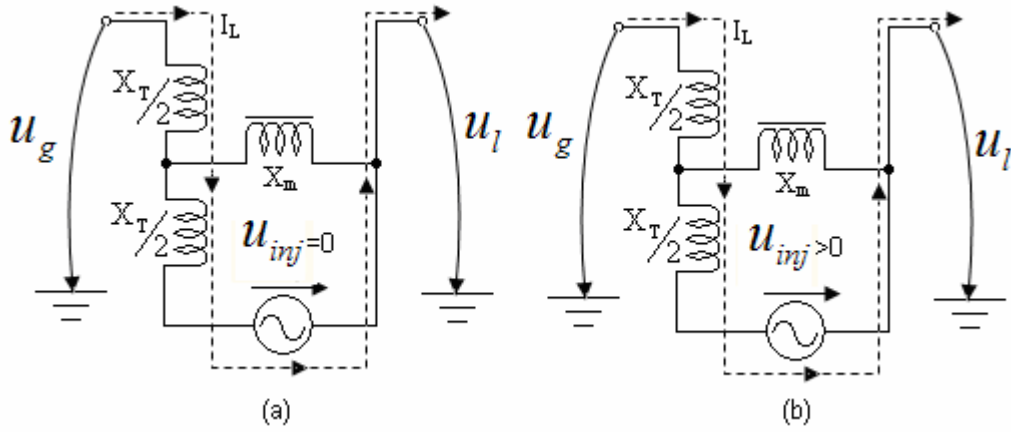
görüldüğü gibi gerilim düşmesi sırasında \underline{u}_{inj} gerilimini \underline{u}_g şebeke gerilimine ekleyerek \underline{u}_l yük geriliminin değişmemesini sağlamaktır. Şekil 5.2.(b)'de buna ilişkin fazör diyagramı görülmektedir.



Şekil 5.2: D.G.D'nin çalışma durumları (a) Sistemin tek hat şemasında gösterimi (b) Faz atlaması olan bir gerilim düşümü sırasındaki fazör diyagramları

Pratik uygulamalarda, ekonomik bir D.G.D, hata sırasında sadece gerilimin pozitif ve negatif bileşenlerini kompanse etmek üzere tasarlanır. Bu tasarım, dağıtım sistemlerinde genellikle transformatörlerin primer taraflarında üçgen bağlantı tercih edilmesinden dolayıdır. Depolanabilir enerji D.C gerilim kaynağı ile dönüştürücü devresi arasında kullanılan kapasite, D.G.D'nin gerilim düşmesi ve yükselmesi anlarında güç üretmesi veya tüketmesinde tampon görevi görür.

Şebeke geriliminde bir düşme olmadığı durumda, D.G.D'nin bara geriliminin izlenmesi dışında bir işlevi yoktur. Dolayısıyla D.G.D'lerin daha verimli kullanımları için, daha ayrıntılı çalışılmalıdır. Bu çalışmalar şebekeye bağlanmak için kullanılan trafonun çeşitli tasarım yöntemleri ile kayıplarının azaltılması ve gelişmiş elektronik devreler kullanması üzerinde yoğunlaşmaktadır.



Şekil 5.3: Bekleme (a) ve arıza (b) durumlarında transformatör bağlantıları

Şekil 5.3. (a)'da, D.G.D'nin şebeke bağlantı transformatörünün beklemeye alındığı durumda, düşük gerilim sargılarının dönüştürücü üzerinden kısa devre edildiği görülmektedir. Bunu sağlamak için, dönüştürücü devresindeki anahtarlama düzeni anahtarlama yapmamaktadır.

Bekleme durumunda transformatör, sekonderi kısa devre edilmiş bir akım trafosu gibi düşünülebilir. Dolayısıyla D.G.D tarafından şebekeye verilen gerilim sıfırdır. Bu konumda herhangi bir anahtarlama yapılmadığından, sadece dönüştürücü devresindeki yarıiletkenlerde bir kayıp söz konusudur. Bu kayıp, günümüzde kullanılan IGBT teknolojisi sayesinde oldukça düşük değerlerdedir.

D.G.D'lerin güç sistemlerinde alternatifleri ferrorezonans trafoları, Servo varyak sistemleri ve Kesintisiz Güç Kaynakları'dır. (K.G.K). Ferrorezonans trafolarının ve servo varyak sistemleri verimleri düşük olduğundan tercih edilmeyen sistemlerdir. K.G.K'ler ise; büyük güçlü uygulamalarda, yüksek maliyetleri, büyük hacimleri ve düşük elektriksel verimleri nedeniyle kullanışlı değildir. D.G.D'lerde kullanılan elemanlar, kompanze edilecek sisteme göre boyutlandırılırlar. Dolayısıyla, 1 MVA gücündeki bir D.G.D'nin maliyeti, aynı güçteki eşdeğer bir K.G.K'nin maliyetinin %20'si kadar olmaktadır. Fakat bunun yanında K.G.K. sistemleri uzun süreli enerji gereksinimlerinde, sahip olduğu enerji depolama cihazları nedeniyle daha kullanışlıdır [126].

D.G.D'lerin kapasiteleri, hata sırasındaki gerilim düzeltme oranları güçleri ile belirlenirler. D.G.D'nin gücü, yükün gücünü ve bir miktarda aşırı yüklenmeyi karşılayacak şekilde seçilir. Gerilimin düzeltme oranı ise, yükün hatalara karşı hassasiyetine ve bu sırada oluşan gerilim düşmelerinin genliğine bağlıdır. Örneğin bir sistemde çoğunlukla %30 oranında bir gerilim düşümü oluyorsa ve sistemin toleransı %10 oranındaysa, %20 veya üstündeki bir düzeltme kapasiteli D.G.D bu sistem için uygun olacaktır. D.G.D'ler pratik uygulamalarında genellikle %15, %20, %30 oranlarında gerilim düzeltme kapasiteli uygulamaları vardır.

5.3 Geleneksel D.G.D Tasarımı

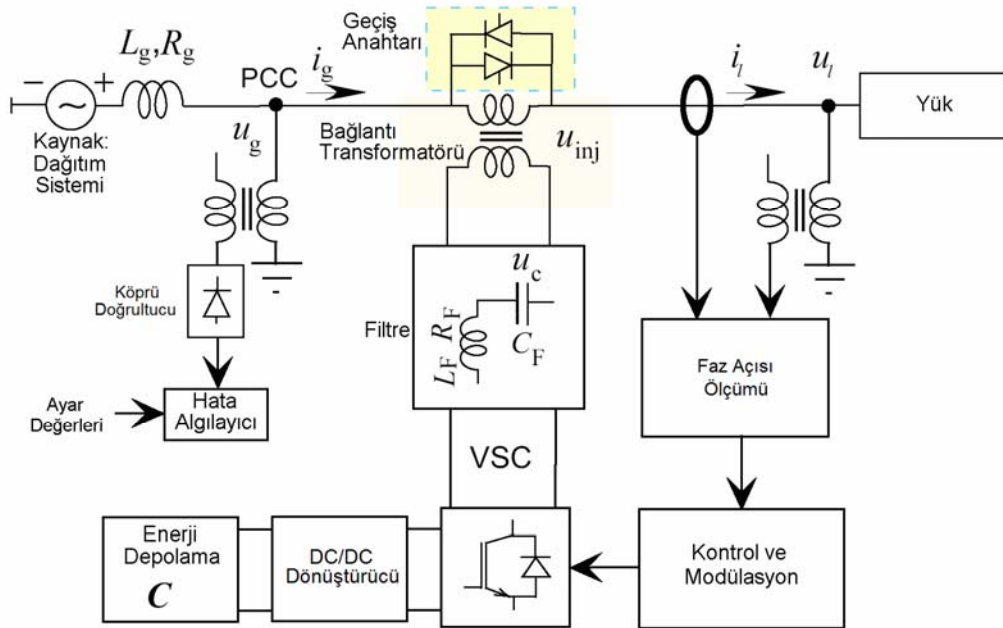
Günümüzde D.G.D tasarımında dışarıdan bir gerilim kaynağı veya kondansatör/endüktans grupları kullanılmaktadır [126-134]. Şekil 5.4'de bu maliyeti yüksek tasarımda gerilim dönüştürücünün, kontrol ve modülasyon birimi, çıkış filtresi, bağlantı transformatörü, enerji depolama birimi ve geçiş anahtarından oluştuğu görülmektedir. İstenilen örnekleme zamanlarında, ölçülen şebeke gerilimi ve yük akımı bilgileri, hata algılama biriminin girişleridir. Bu bilgilerle önceden belirlenen değerleri arasında bir fark belirlendiğinde, kontrol ve modülasyon bölümüne gerekli sinyal gönderilir. Kontrol birimi üretilen gerilim miktarını belirler. Gerilim bilgisi modülasyon kısmının temel girişidir ve gerilim dönüştürücü bölümü için gerekli tetikleme sinyallerini bu bilgiyi değerlendirerek gönderir. Enerji depolama birimi gerilimi sabitlemek için gerekli aktif güç verilmesi/çekilmesi işlemi yapar.

Hata algılandıktan sonra üretilen gerilimin genliği yine hata algılama biriminde "Ayar Değeri" ile karşılaştırılır ve DC/DC dönüştürücüye bu bilgi gönderilir. Enerji depolama birimindeki DC gerilim, ihtiyaç duyulan seviyeye DC/DC dönüştürücü ile düşürülür ve V.S.C (DC/AC Dönüştürücü) birimine iletilir. D.G.D'nin üreteceği gerilimin (gerilim düşmesi sırasında oluşabilecek faz atlamalarını da içeren) faz açısı Güç Faktörü Ölçüm biriminde hesaplanır. V.S.C'ye tetikleme sinyali üreten Kontrol ve Modülasyon birimi yükün faz açısına göre, kompanzasyon yöntemini de göz önüne alınarak, üreteceği tetikleme sinyallerinde

gerekli kaymayı yapar. V.S.C biriminde PWM tekniği kullanılarak AC'ye çevrilen sinyal, Filtre birimine iletilir.

Gerilim dönüştürücü ve bağlantı transformatörü arasına bağlanan filtre devesi ile çıkış geriliminin toplam harmonik bozulma miktarı düşürülmeye çalışılır. Ayrıca bu bölümde ani gerilim değişimlerinin kontrolü sağlanır. Geçiş anahtarı ise normal işletme durumunda uçları kısıadevre iken, bir gerilim düşmesi esnasında uçlarını açık devre yapar ve D.G.D'nin devreye girmesini sağlar. Böylece bağlantı transformatöründe güç kaybı oluşmasını önler.

Gerilimdeki hatanın temizlenip nominal değerine yükselmesi Hata Algılayıcı birim durumu süratle sezer ve Geçiş Anahtarını devreye sokar. Aynı zamanda DC/DC dönüştürücünün giriş devresi açılır ve D.G.D tamamen devre dışı bırakılır.



Şekil 5.4: Geleneksel D.G.D tasarımı

D.G.D'nin geliştirilmesi ile ilgili olarak literatürde yer alan çalışmalar şunlardır:

- Hata algılama biriminin geliştirilmesi: Bir arıza anında yük geriliminin bundan etkilenmemesi için gerilim düşümünün hızla algılanması gereklidir. Bu amaçla

yapılan çalışmalarda çeşitli yöntemler ile D.G.D'nin arızayı en kısa sürede algılanması sağlanmıştır [135–140].

- D.C/D.C ve V.S.C güç dönüştürücü birimlerinin geliştirilmesi: Bu birimlerde kullanılan yarıiletken devre elemanlarının sürücü devrelerinin çeşitli yöntemlerle (örneğin yumuşak anahtarlama) kullanarak kayıpları düşürülmüş, verimleri yükseltilmiştir. Bunun yanında farklı darbe üretim yöntemleri de denenmiştir [141–143].
- Filtre tasarımı: V.S.C biriminde üretilen gerilimdeki harmonik bozulmaları en aza indirecek filtre devrelerinin tasarımı yapılmıştır [144].
- D.C kaynak: Farklı D.C gerilim kaynaklarının D.G.D birimlerinde performansı incelenmiştir [145–147].
- Geçiş anahtarı: Çeşitli tipteki geçiş anahtarlarının D.G.D birimlerinde kullanımı gösterilmiştir [148].
- Kontrol ve Modülasyon biriminin geliştirilmesi: Farklı kompanzasyon yöntemleri denenerek D.C gerilim kaynağının en verimli şekilde kullanımı sağlanmıştır [149–153].
- D.G.D arıza olmadığı durumda sistemde var olan gerilim harmonik bozulmaları önlemek için aktif filtre olarak kullanılması denenmiştir [154,155].
- D.G.D'nin bağlantı transformatörünün seçimi ve boyutlandırılması ile ilgili deneyler yapılmıştır.
- Bağlantı transformatörü içermeyen D.G.D tasarımı yapılmıştır [155].
- Dışarıdan D.C gerilim kaynağı kullanılmayan D.G.D tasarımı yapılmıştır.
- D.G.D'de kullanılan birimlerin boyutlandırılması ve kullanılan eleman sayısının en aza indirilmesi için çalışılmıştır [159].

5.4 Gerilim Düşümü Algılama Yöntemleri

Gerilim düşmesinin miktarı başlangıç, bitiş anları ve faz açısı değişimi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Çoğunluğunda işaret işleme yöntemlerinin kullanıldığı başlıca teknikler şunlardır [160]-[164]:

- Gerilimin tepe değerinin izlenmesi;

- Gerilimin genliğinin ve açısının vektörel kontrol ile izlenmesi;
- Her bir fazın vektörel olarak izlenmesi;
- Her bir fazda Fourier dönüşümü kullanmak;
- Her bir fazda Dalgacık Dönüşümü kullanmak.

Vektör kontrolü dışındaki yöntemler üç fazlı güç sisteminde her bir faza ayrı ayrı uygulanmaktadır.

5.4.1 Gerilimin tepe değerinin izlenmesi

Gerilim düşümü algılama yöntemleri arasında en basit yöntem gerilimin tepe değerinin veya anlık değerinin izlenmesidir. Bu yöntemde öncelikle referans olması için gerilimin sıfırdan geçişinin algılanması gerekir. Bu nokta yakalandıktan sonra, örnekleme zamanına bağlı olarak sırayla olması gereken referans değer ile ölçülen değer karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucunda aradaki fark belirlenen değer altına düştüğünde (örneğin %5) D.G.D gerilimi kompanze etmek ile görevlendirilir.

Bu yöntemde gerilim düşmesinin genliği, başlangıç ve bitiş anlarının belirlenmesi kolaydır. Fakat faz açısındaki bir değişimin belirlenmesi için referans gerilim ile ölçülen değer karşılaştırması mümkün olduğu kadar küçük aralıklarda yapılmalıdır. Örneklemeler, değerlendirmede gürültülerin etkisini göz ardı etmek için yarım periyot aralıklarla yapılabilir.

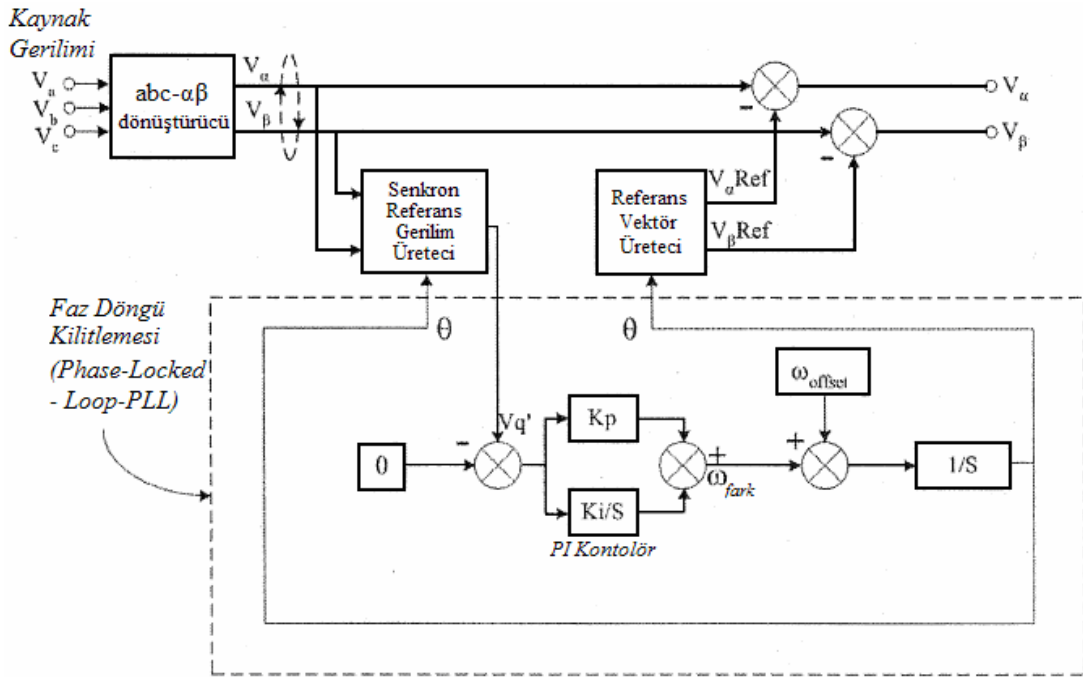
5.4.2 Gerilim genliği ve faz açısının vektörel kontrolü ile izlenmesi

Özellikle gerilimin azalması sırasında faz açısı atlaması olduğu durumların belirlenmesinde oldukça kullanışlıdır.

Şekil 5.5’de görülen kontrolör “Faz Döngü Kilitlemesi” (Phase Locked Loop-PLL) olarak tanımlanmaktadır. θ açısı, V_s referans vektörünü üretmek için kullanılmaktadır. Kaynak ve referans vektörü arasındaki fark, D.G.D’nin yük gerilimini kompanze etmek için şebekeye vereceği gerilim miktarını (D.G.D’nin çıkışında kullanılan dönüştürücü devresinin tetikleme açısını değiştirerek)

belirleyecektir. Dönüştürücü devrelerinde bu tip tetikleme tipine Uzak Vektör Darbe Genlik Modülasyonu (Space Vector Pulsewidth Modulation- SVPWM) denilmektedir.

Şekil 5.5'de abc fazlarındaki kaynak gerilimleri, α - β dönüşümü ile ortogonal hale getirilir. Bu sayede üç faz gerilimi, ortogonal bileşenleri V_α ve V_β olan bir faza dönüştürülür.



Şekil 5.5: Vektörel gerilim kontrol şeması

abc / α - β dönüşümünü sağlayan eşitlik

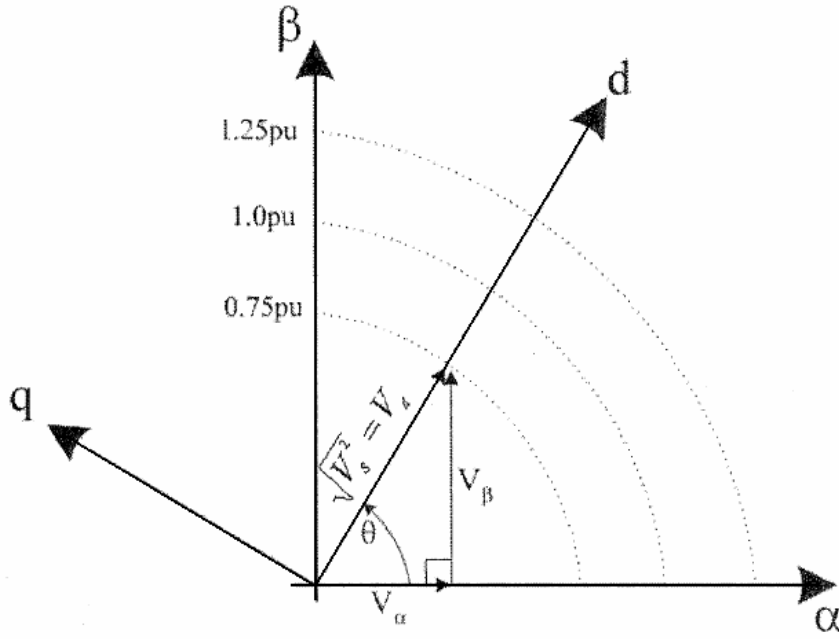
$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -0,5 & -0,5 \\ 0 & 0,866 & -0,866 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

şeklindedir.

α - β / dq dönüşümü ise

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

denklemleri ile sağlanır.



Şekil 5.6: Faz açısı atlaması olmayan üç faz dengeli gerilim düşümünde dq bileşenleri ile gerilim düşmesinin algılanması

Şekil 5.6'da üç faz dengeli gerilim düşümünde dq gerilim vektörleri görülmektedir. Burada V_d gerilim düşmesinin genliğini, V_q ise faz açısındaki değişmeyi göstermektedir. Eğer gerilim düşümü sırasında bir açı değişimi yoksa V_s referans gerilimi:

$$|V_s| = V_d = \sqrt{V_d^2 + V_q^2} \quad (V_q=0) \quad (5.3)$$

olarak bulunur. Bu durumda,

$$|V_a| = |V_b| = |V_c| = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^{-1} V_d \quad (5.4)$$

olur.

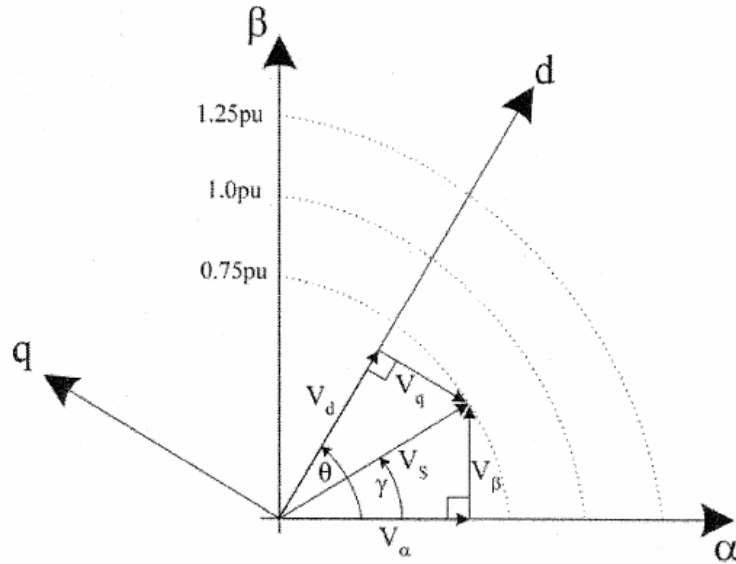
Bu durum, tespiti en kolay gerilim düşmesidir. V_d veya $\sqrt{V_d^2 + V_q^2}$ 'nin izlenmesi ile gerilimdeki bir değişim anlık olarak belirlenebilir. Eğer gerilim düşmesi üç faz dengeli olarak gerçekleşirse (5.3) ve (5.4) denklemi geçersiz olacaktır.

Bu durumda:

$$|V_s(\theta)| = |V_a| = |V_b + 120^\circ| = |V_c + 240^\circ| \quad (5.5)$$

olur.

Dengesiz bir gerilim düşmesinde, α - β / dq gerilim bileşenleri Şekil 5.7'deki gibi olacaktır. Dengesiz kaynak gerilimi hem negatif hem de pozitif bileşenler içermektedir (transformatör bağlantısından dolayı sıfır bileşenin olmadığı varsayılmaktadır).



Şekil 5.7: Faz açısı atlaması olmayan üç faz dengeli gerilim düşümünde dq bileşenleri ile gerilim düşmesinin algılanması

5.4.3 Her bir fazın vektörel olarak izlenmesi

Bu yöntem öncekinin benzeridir. Aralarındaki fark her bir faza ayrı ayrı uygulanmasıdır. Faz açısındaki değişim hızla algılanmasına rağmen gerilim düşme miktarı doğrudan algılanamaz. Dolayısıyla sadece açı değişim bilgisi gereken sistemlerde kullanılması uygundur.

5.4.4 Her bir fazda Fourier Dönüşümü yapmak

Bu yöntemde her bir faz gerilimine Fourier Dönüşümü yapılır. Özellikle 5. ve 7. harmonik bileşen içeren gerilim bilgisinin genlik-frekans dönüşümü yapılmasında oldukça kullanışlıdır. Oluşabilecek hatalardan arındırmak için yüksek frekanslı bileşenler filtrelenerek sadece temel harmonik frekanslı sinyal izlenir. Fakat bu işlem verilerin işlenmesinde zaman gecikmesine neden olabilir. Örnekleme zamanları göz önüne alınarak yapılan “Pencerelenmiş Hızlı Fourier Dönüşümü (Windowed Fast Fourier Transform-W.F.F.T) ile zaman domeninde frekans bileşenlerinin değişimi elde edilebilir.

5.4.5 Her bir fazda dalgacık dönüşümü yapmak

Güç sistemlerinde Dalgacık Dönüşümünün kullanılması giderek yaygınlaşan bir yöntemdir [164]. Bu yöntem ile kaynak gerilimindeki bir değişim hızla algılanabilir. Pencerelenmiş Hızlı Fourier Dönüşümü’nden farkı ise zaman domeninde çalışılması ve değişken pencereleme aralığı kullanılmasıdır. Gerilim düşmesinin başlangıç ve bitiş anları, faz açısı değişimi gibi anlık olayların belirlenmesinde kullanılabilir.

5.5 Gerilim Kompanzasyonu Yöntemleri

Yük gerilimini, hata öncesi değerinde tutmak için D.G.D’nin bir miktar aktif güç vermesi gerekebilir. Bu aktif güç dışarıdan bir enerji depolama birimi veya bir kondansatör tarafından karşılanır. Bu dışarıdan kaynağın gücü, gerilim düşmesini karşılama miktarına ve süresine bağlıdır. Gerilim düşmesini önleme sırasında aktif güç ihtiyacı düşürülürse, dışarıdan kaynağın gücü ve maliyeti düşer.

Gerekli olan aktif güç miktarı birçok etkene bağlıdır. Bunlardan en önemlileri şunlardır:

- Gerilim düşme karakteristiği (genlik, süre ve faz atlama durumu)
- Yük karakteristiği (istenilen güç ve güç faktöründe olması)

Gerilim düşmeleri stokastik olması nedeniyle, D.G.D üretilecek gerilimin genliği ve açısını hesaplar ve yük gerilimini sabit tutmak için gerekli gerilimi şebekeye verir. Eğer gerilim düşmesi, D.G.D'nin karşılayabileceğinden fazla ise, verilecek gerilimin D.G.D sınırları içerisinde kalması aktif gücün ve faz kaymasının kontrolü ile sağlanır.

D.G.D'nin optimal çalıştırılması için üç farklı kontrol yöntemi mevcuttur [151]. Bunlar:

- Fark Gerilim Kompanzasyonu
- Sabit Faz Kompanzasyonu
- Faz Kazanç Kompanzasyonu

5.5.1 Fark gerilim kompanzasyonu (F.G.K)

Fark Gerilim Kompanzasyonun da, D.G.D'nin üreteceği gerilim (\underline{u}_{inj}), şebeke gerilimi (\underline{u}_g) ile yük gerilimi (\underline{u}_l^*)'nin vektörel farkına eşittir. Bu kompanzasyon yönteminde yük gerilimin genliği ve fazı Şekil 5.2'de görüldüğü gibi sabit kalır. Güç kalitesi açısından bakıldığında en iyi kompanzasyon yöntemidir. Şekil 5.8'de akım vektörü referans olarak alınmıştır. ϕ , yük açısı ve sistemin güç faktörüdür. δ , şebeke geriliminin faz farkıdır. Bu büyüklüklere göre üretilen gerilimin aktif ve reaktif bileşenleri:

$$u_{cq} = \left| \underline{u}_l^* \right| \cos(\phi) - \left| \underline{u}_g \right| \cos(\delta) \quad (5.6)$$

$$u_{cd} = - \left| \underline{u}_l^* \right| \sin(\phi) + \left| \underline{u}_g \right| \sin(\delta) \quad (5.7)$$

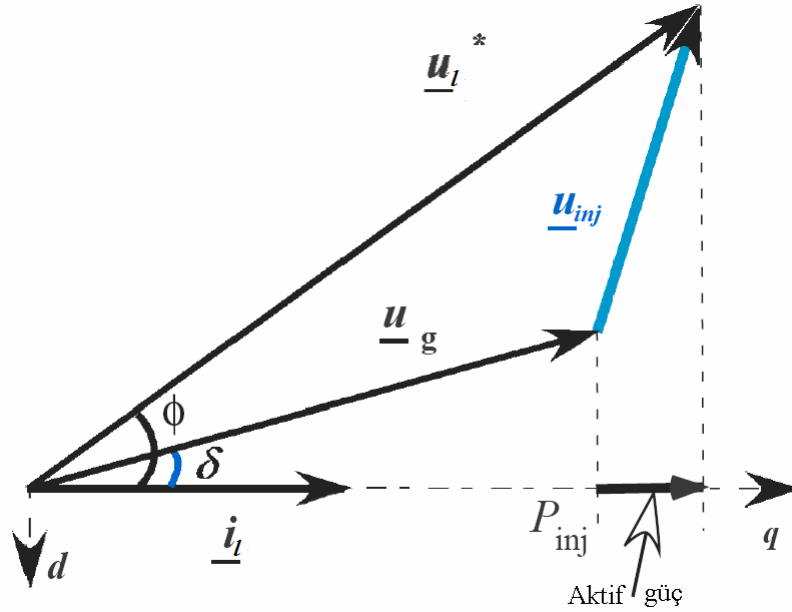
olarak elde edilir.

Üretilcek olan gerilimin değeri ise:

$$|\underline{u}_{inj}| = \sqrt{|\underline{u}_{cd}|^2 + |\underline{u}_{cq}|^2} = \sqrt{|\underline{u}_l|^2 + |\underline{u}_g|^2 - 2|\underline{u}_l^*||\underline{u}_g|\cos(\phi - \delta)} \quad (5.8)$$

olacaktır.

Aktif güç ihtiyacı olmadan ($\underline{u}_{cq}=0$) sadece reaktif güç vererek kompanzasyonun sağlanması ancak $\cos(\phi) = \frac{|\underline{u}_g|}{|\underline{u}_l^*|}\cos(\delta)$ olduğunda gerçekleşir.



Şekil 5.8: Fark gerilim kompanzasyonu fazör diyagramı

5.5.2 Sabit faz Kompanzasyonu (S.F.K)

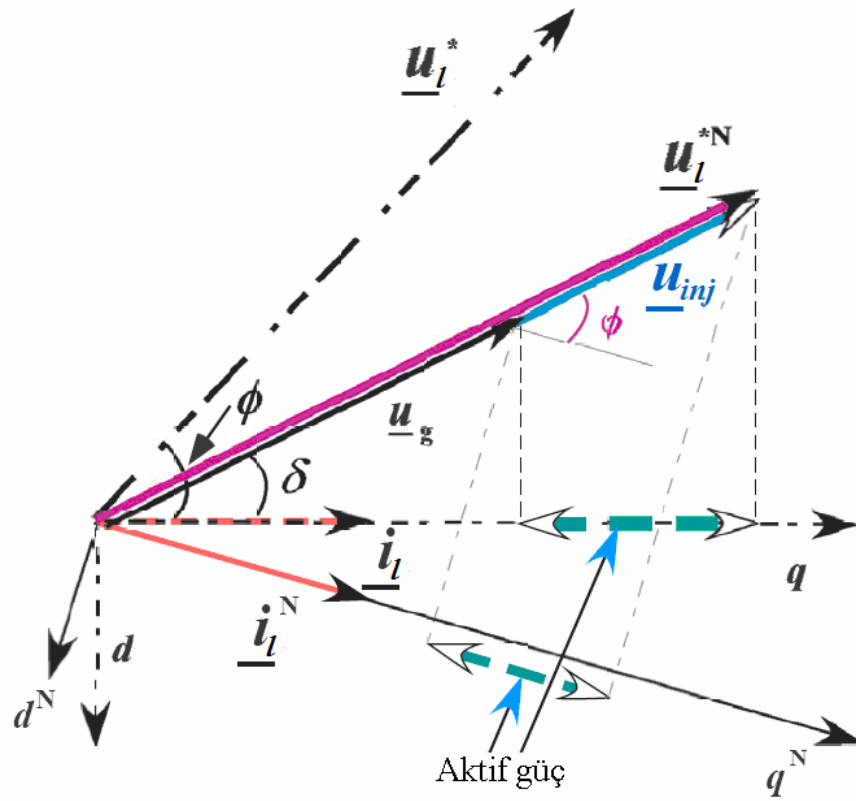
Sabit faz kompanzasyon yöntemi uygulandığında, gerilim düşmesi sırasında yük gerilimi ile şebeke geriliminin faz açıları arasındaki fark sabit tutulur. Dolayısıyla gerilim düşmesi sırasında şebeke geriliminin açısında oluşan değişiklik aynı miktarda yük açısında da olacaktır. Şekil 5.9'daki gibi akım eksenini referans olarak alındığında,

yük açısı kadar dönecektir. Dolayısıyla şebekeye verilecek gerilim ve aktif güç hesaplanırken bu yeni d^N ve q^N eksenlerine göre olacaktır ve aktif güç akışı Şekil 5.9'dan görüldüğü gibi düşecektir. Yük ve şebeke gerilimlerinin açıları arasındaki fark gerilim düşmesi sırasında sabit kalacağından D.G.D'nin vermesi gereken gerilim de en az olacaktır.

Üretilecek gerilimin d - ve q - bileşenleri:

$$u_{cd} = (|\underline{u}_g| - |\underline{u}_l|) \sin(\phi) \quad (5.9)$$

$$u_{cq} = (|\underline{u}_l| - |\underline{u}_g|) \cos(\phi) \quad (5.10)$$



Şekil 5.9: Aynı faz gerilim kompanzasyonu fazör diyagramı

5.5.3 İleri faz Kompanzasyonu (İ.F.K)

Enerji depolama biriminin boyutunun küçültmek amacıyla “İleri Faz Kompanzasyonu” yöntemi geliştirilmiştir. Burada faz kazancı, gerilim düşmesi sırasında yüke verilen gerilimin faz açısının belirlenen değere değiştirilmesi anlamındadır. Dolayısıyla yükün faz açısı da değişecektir. Bazı yük tiplerinde bu durum sorunlara neden olabilir.

Yükün güç faktörünün sabit olması gereken durumda, gerilimin faz açısı belli bir miktar değiştiğinde, yük akımının açısı da güç faktörünü sabit tutmak için o oranda değişecektir. Buna göre, sisteme verilen aktif gücü en aza indirmek için yük akımı fazörü genliği sabit boyutunda sabit yarıçaplı bir daire içerisinde hareket edecektir. Gerilim düşmesi başladığı andaki çalışma noktası, gerilim düşmesi süresince değişecek, böylece iletilen aktif güç aynı kalacaktır. Faz atlaması olan bir gerilim düşmesi ile karşılaşıldığında D.G.D gerilim kompanzasyonu için bu faz değişiminden yararlanacaktır. İleri faz kompanzasyonunun kullanılabilirliğini sınırlayan bir faktör ise D.G.D'nin üretebileceği gerilim genliğinin sınıridir. Şekil 5.10'da İleri Faz Kompanzasyon yöntemine ait fazör diyagramı görülmektedir. Burada, D.G.D'nin gerilim düşmesi sırasında verdiği u_c gerilimi ile şebeke gerilimi arasında β açısı vardır. Yük açısının değişmesi ile D.G.D'nin ürettiği gerilimin genliği ve açısı değiştiğinde β açısı da β_N değerini alacaktır. Bu değer:

$$\beta_N = -\delta + \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin(\phi) - d \cdot \cos(\phi)}{\cos(\phi) - d \cdot \sin(\phi)} \right\} \quad (5.11)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada,

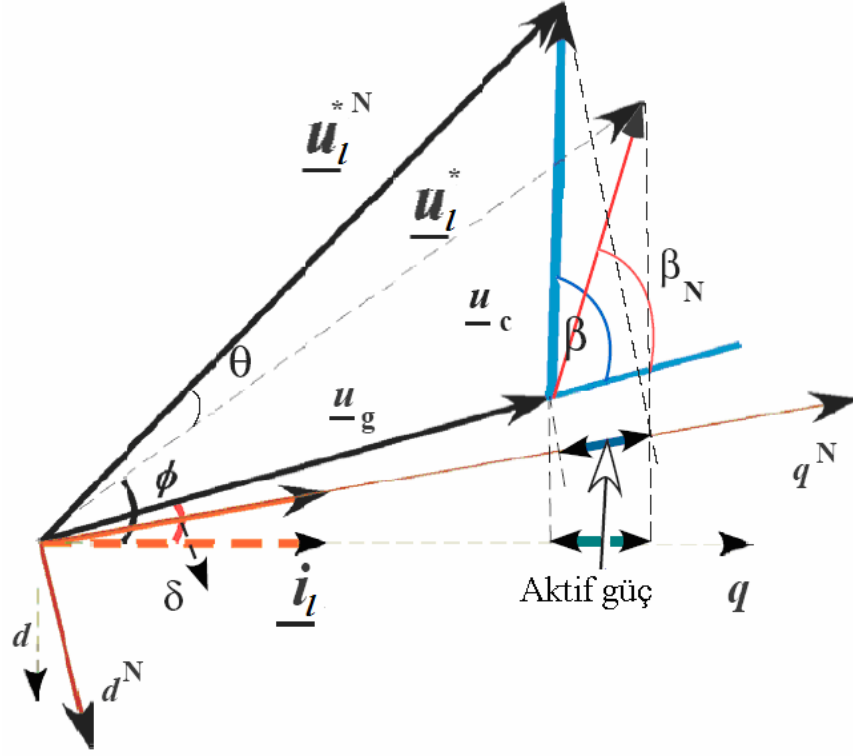
$$d = \frac{|u_g|}{|u_l|} \quad (5.12)$$

orandır.

β açısındaki değişme nedeniyle şebeke geriliminin fazına bağlı olarak

$$\theta = \beta - \sin^{-1}\{d \sin(\beta)\} + \delta - \phi \quad (5.13)$$

bulunur.



Şekil 5.10: İleri Faz Kompanzasyonu fazör diyagramı

Bu durumda D.G.D'nin ürettiği gücün d ve q bileşenleri:

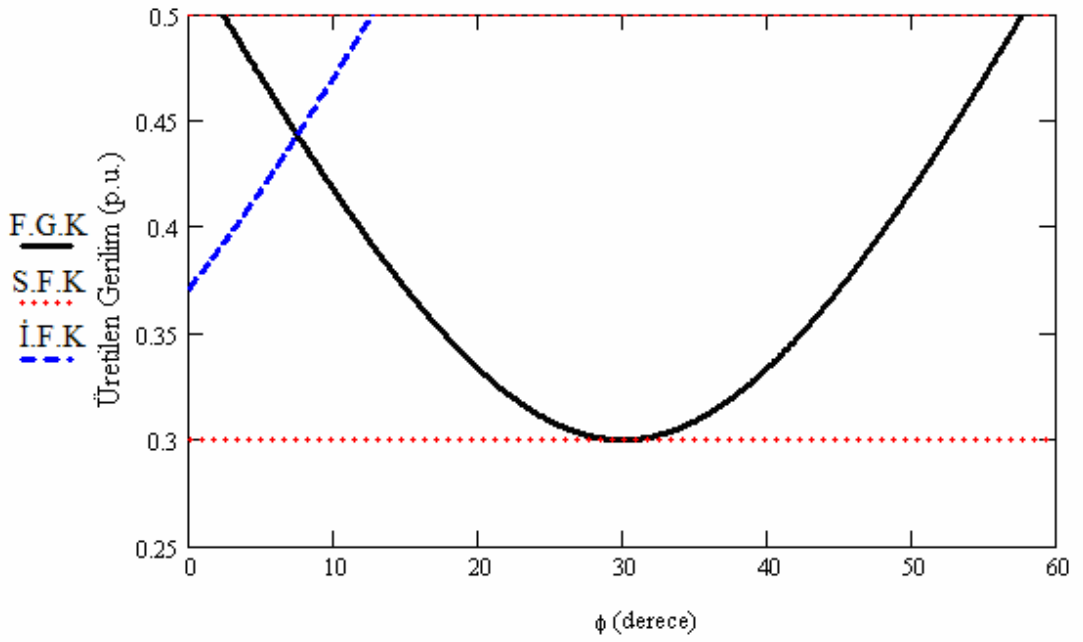
$$u_{cd} = -\|u_l\| \sin(\phi) + \|u_g\| \sin(\delta - \theta) \quad (5.14)$$

$$u_{cq} = \|u_l\| \cos(\phi) - \|u_g\| \cos(\delta - \theta) \quad (5.15)$$

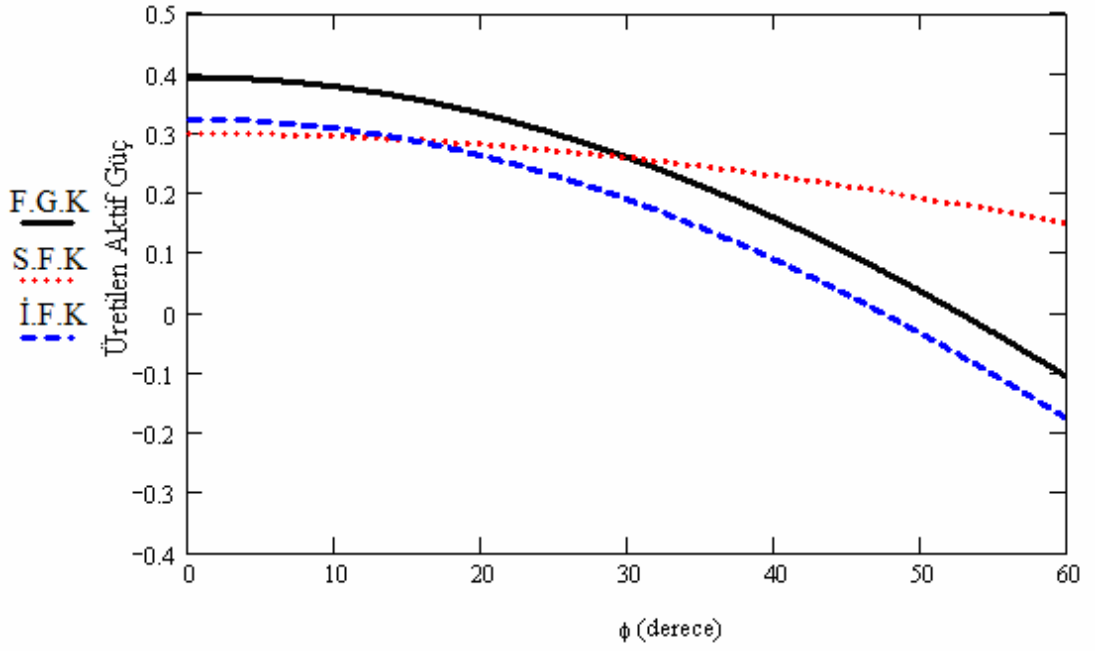
şeklindedir.

5.6 Gerilim Kompanzasyon Yöntemleri ile İlgili Bir Örnek

Değişik güç faktörlerinde (ϕ), farklı kompanzasyon yöntemlerinin etkisini göstermek için örnek olarak, şebekede genliği 0,7 p.u. ve 30^0 faz kayması olan ve bir gerilim düşmesi oluşması sırasında, D.G.D'nin üretmesi gereken gerilimler ve aktif güçler tüm kompanzasyon durumları için incelenmiştir. Üretilecek gerilimin en büyük değeri 0,5 p.u. olarak sınırlandırılmıştır. Bu durumda D.G.D'nin üreteceği gerilimler Şekil 5.11'de görülmektedir.



Şekil 5.11: Farklı gerilim kompanzasyon yöntemlerinde D.G.D'nin üreteceği gerilimler



Şekil 5.12: Farklı gerilim kompanzasyon yöntemlerinde D.G.D'nin üreteceği aktif güçler

Şekil 5.12'de ise farklı gerilim kompanzasyon yöntemlerinde ϕ açısına bağlı olarak D.G.D'nin şebekeye verebileceği aktif gücün değişimi gösterilmiştir. İleri Faz kompanzasyonu yöntemi için θ açısı $\pi/4$ alınmıştır. Yukarıdaki şekillere göre büyük güç faktöründeki yüklerde ($\cos\phi > 0,98$) Sabit Faz Kompanzasyon tekniği yönteminde şebekeye verilen aktif güç ve gerilimin genliği en düşük olmaktadır. Güç faktörü düştükçe her üç kompanzasyon tekniğinde de gerekli aktif güç miktarı artmaktadır. Ancak en düşük aktif güç ihtiyacı İleri Faz Kompanzasyon yönteminde olmaktadır. Öte yandan, bu kompanzasyon yönteminde, ϕ açısı arttıkça şebekeye uygulanacak olan gerilimin genliğinin arttığı görülmektedir.

6. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ

Sinyallere uygulanan matematiksel dönüşümler, sinyallerden daha fazla bilgi almak için yapılır. Zaman domeninde incelenen bir sinyal “ham sinyal”, dönüşümü yapılarak incelenen ise “işlenmiş sinyal” olarak isimlendirilir. Pratikte birçok sinyal, örneğin bir ölçü aletinin ölçtüğü sıcaklık bilgisi, ham bilgidir ve zamanın bir fonksiyonudur. Zaman domeninde analiz yapıldığında sinyalin zaman-genlik ifadesi elde edilir. Fakat birçok uygulamada bu bilgi yetersiz kalmaktadır. Çoğu durumda sinyale ait frekans tayfı gerekmektedir. Frekans tayfı ile sinyalde bulunan frekans bileşenleri belirlenebilmektedir [167].

Günümüzde birçok sinyal dönüşüm yöntemi mevcuttur. Her birinin, birbirine karşı üstün ve zayıf olduğu yanlar ve bu özelliklerine göre uygulama alanları vardır. Bunların arasında en çok bilineni ise Fransız matematikçi Joseph Fourier tarafından 1807’de ortaya konulan ve frekans domeninde analiz için mühendislikte sıkça kullanılan Fourier Dönüşümü’dür (F.D). Buna göre zamana göre frekans bileşenleri değişmeyen durağan fonksiyonlar, temel trigonometrik fonksiyonların toplamı şeklinde ifade edilebilmektedir. Böylece sinyalde hangi frekans bileşenlerin olduğu bilinmektedir. Fakat bu bileşenlerin ne zaman olduğu bilgisi ise mevcut değildir. Dolayısıyla F.D durağan sinyallerin analizinde iyi sonuçlar vermektedir. Çünkü durağan sinyallerin frekans bileşenleri zamana bağlı olarak değişim göstermez [168].

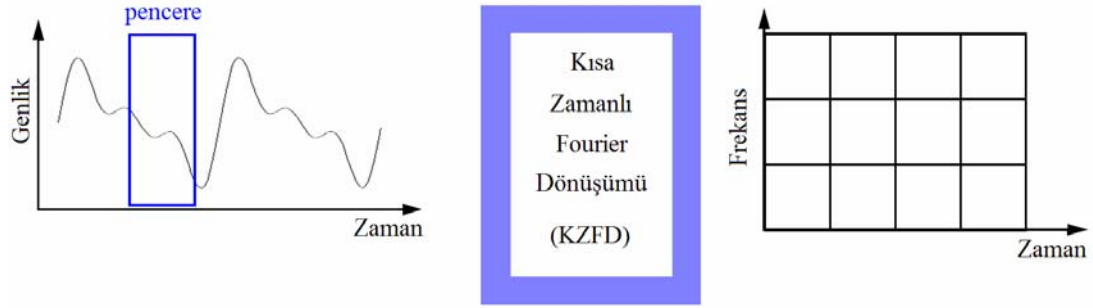
Fourier analizinde periyodik bir sinyal çeşitli harmoniklerin toplamı olarak

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos kx + b_k \sin kx) \quad (6.1)$$

şekilde ifade edilir. Burada $\cos kx$ ve $\sin kx$ harmonik bileşenleri temsil etmektedir.

1946’da Gabor tarafından “Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü” (K.Z.F.D)’nü bulmasıyla sinyalin frekans bileşenlerinin zamana bağlı değişimlerini elde etmek

mümkün olmuştur. K.Z.F.D'deki temel mantık, zaman sınırlı pencereler kullanılarak işareti bölümlere ayırmak ve her bölüm için ayrı ayrı analiz gerçekleştirmektir (Şekil 6.1). Böylece genlik-zaman domeninden frekans-zaman domenine geçilebilmektedir [168]. Cooley ve Tukey 1965'de "Hızlı Fourier Dönüşümü" algoritmasını gerçekleştirmişlerdir [169].



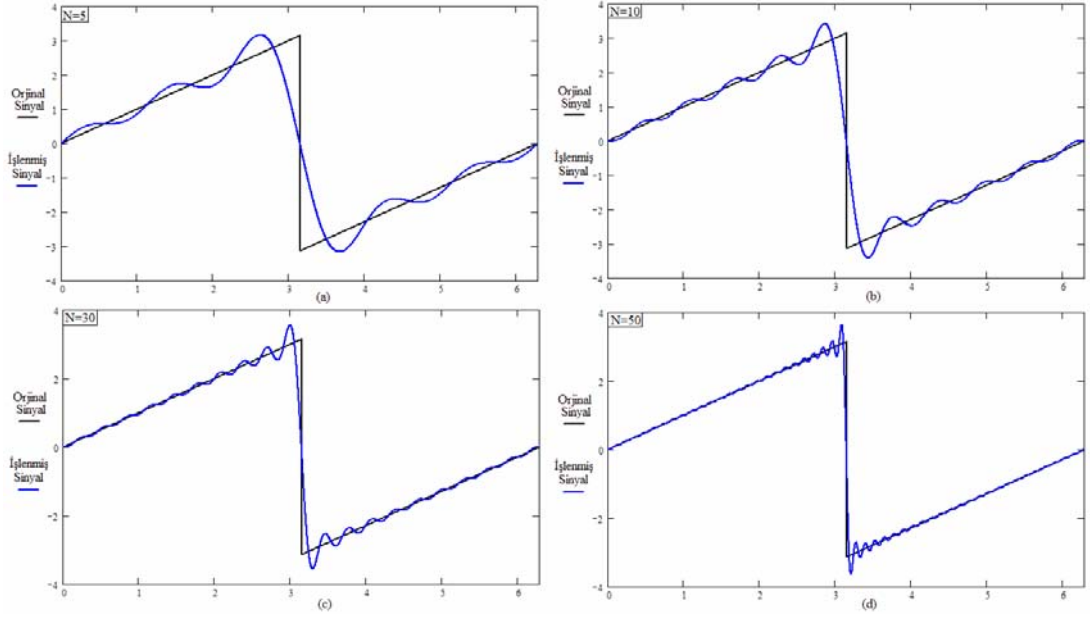
Şekil 6.1: Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü

Şekil 6.2'de periyodik bir sinyal ve farklı Fourier bileşen ($N=5, 10, 30, 50$) toplamları sonucunda elde edilen işlenmiş sinyaller görülmektedir. Bileşen sayısı arttıkça orijinal sinyale yaklaşılmaktadır. Fakat 50 bileşende bile aradaki fark oldukça büyüktür.

1980'lerin ikinci yarısında Dalgacık Dönüşümü (D.D) uygulamalı matematikçiler tarafından ortaya atılmıştır. Jeolojik verilerin analizinde A. Grossmann, J. Morlet ve ekibi D.D'nü kullanmışlardır. Fakat D.D'nün yaygın olarak kullanılması,

- Daubechies'in günümüzde veri sıkıştırma, gürültü süzme, güç kalitesi problemleri, uzay çalışmaları v.b. gibi birçok disiplinde geniş uygulama alanı bulan dalgacık ailesini geliştirmesi [170],
- S. Mallat ve Y. Meyer tarafından sürekli sinyal analizinden ayrık analize geçilerek çoklu çözünürlük analizini gerçekleştirilmesi [171-172].

ile büyük ivme kazanmıştır.



Şekil 6.2: Orijinal sinyal ve farklı bileşen toplamındaki işlenmiş sinyal

Bu gelişmeler matematik biliminin yanında mühendislik dallarını da oldukça etkilemiştir. Frekans domeni analizinde sıkça kullanılmıştır. Bu sayede sinyaller hem frekans hem de zaman domeninde incelenebilmiş, sinyallerin zaman-frekans değişimleri elde edilebilmiştir. Dolayısıyla D.D, K.Z.F.D'nün alternatifi olarak düşünülebilir. Şekil 6.1'de görüldüğü gibi zaman-frekans çözünürlüğü, analiz pencerelerinin genişliği ile sınırlandırılmıştır. Eğer geniş pencere seçilirse iyi frekans bilgisi fakat düşük zaman bilgisi elde edilir. Pencere daraltılırsa iyi zaman, kötü frekans bilgisi sağlanır [169-171].K.Z.F.D'nün zayıf olduğu nokta Heisenberg Belirsizlik İlkesi ile açıklanabilir. Bu ilke esas olarak hareketli bir cismin moment ve konumu ile ilgilidir. Dolayısıyla bir sinyalin zaman-frekans bilgisi ile ilgili olarak da kullanılabilir. Buna göre çözünürlük istenildiği kadar küçük seçilemez ve sınırlandırılmıştır.

6.1 Dalgacık Sinyali

Dalgacıklar, veriyi farklı frekans bileşenlerine ayıran ve sonra kendi ölçekleriyle eşleştirilmiş bir çözünürlüğe sahip bileşenler üzerinde çalışan matematiksel fonksiyonlardır. Sinyalin süreksizliklere ve keskin, tepe değerlere sahip olduğu fiziksel durumları incelemeye, geleneksel Fourier metotların göre üstünlüklere

sahiptir. Dalgacık dönüşümü, fonksiyonları farklı frekanstaki bileşenlerine ayıran ve ayrı ayrı her bileşen üzerinde çalışmamıza izin veren bir araçtır [173].

Dalgacık dönüşümü birçok farklı alana uygulanabilen bir yöntem olup, bunlar arasında uygulamalı matematik, sinyal işleme teknikleri, ses ve görüntü sıkıştırma teknikleri başta gelmektedir.

Dalgacık dönüşümü ile Fourier dönüşümünün temel farkı, Fourier dönüşümünde işaretin global temsili verilirken, dalgacık dönüşümünde işaretin yerel (hem zaman hem de frekansta) temsili verilir. Bu yüzden güç kalitesi bozulmaları gibi geçici bozucu olayların analizinde oldukça uygundur. Bu nedenlerle, bu çalışmada yeni bir D.G.D tasarımında, D.G.D'nin devreye girmesini sağlayacak arızanın algılanmasında D.D kullanılması uygun bulunmuştur.

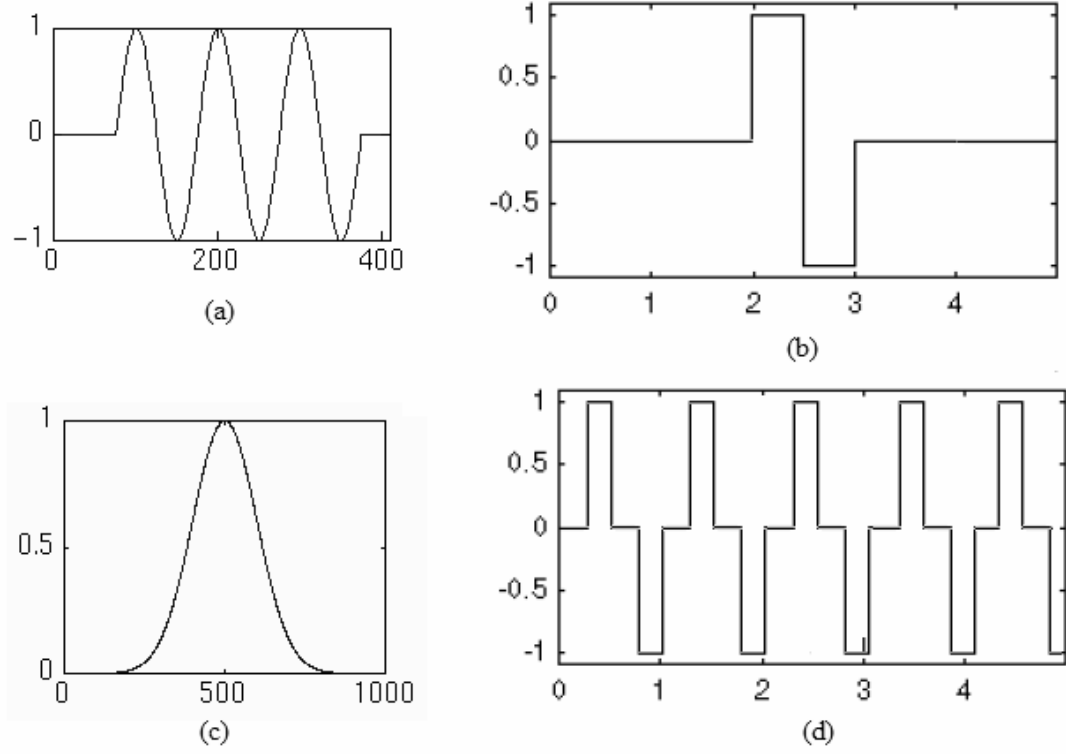
Dalgacık, kısa süreli dalga olarak düşünülebilir ve salınım yapan dalgaya benzer özellik gösterir. Enerjisi zaman ekseninde belirli bölgelerde yoğunlaşmıştır. Dalgacık teorisi, durağan olmayan sinyallerin zaman ve frekans analizi için yardımcı bir tekniktir. Bu teori bir takım temel fonksiyonlar kullanılarak sinyal bileşenlerine ayırır. İşlemlerin gerçekleşmesi için [174]:

- Dalga salınımlı ve süreksiz olmalıdır,
- Hızla sıfıra düşmelidir,
- Ortalama değeri sıfır olmalıdır.

Şekil 6.3'deki fonksiyonlar incelendiğinde, 6.3(a) ve 6.3(b) de görülen sinyaller dalgacık olarak nitelendirilebilirken, 6.3 (c) ve 6.3 (d) de görülen sinyaller için aynı şey söylenemez. 6.3(a) ve 6.3(b)'deki fonksiyonlar salınımlı ve hızla sıfıra düşmektedir. 6.3(c)'de görülen fonksiyon sıfıra düşmekte ama salınımlı değildir. 6.3(d) deki fonksiyon ise salınımlı fakat süreklidir. Dolayısıyla bunlar dalgacık olarak kullanılamaz.

Dalgacık temel fonksiyonlarının önemli özelliklerinden biri ölçekleme, diğeri kaydırma parametresidir.

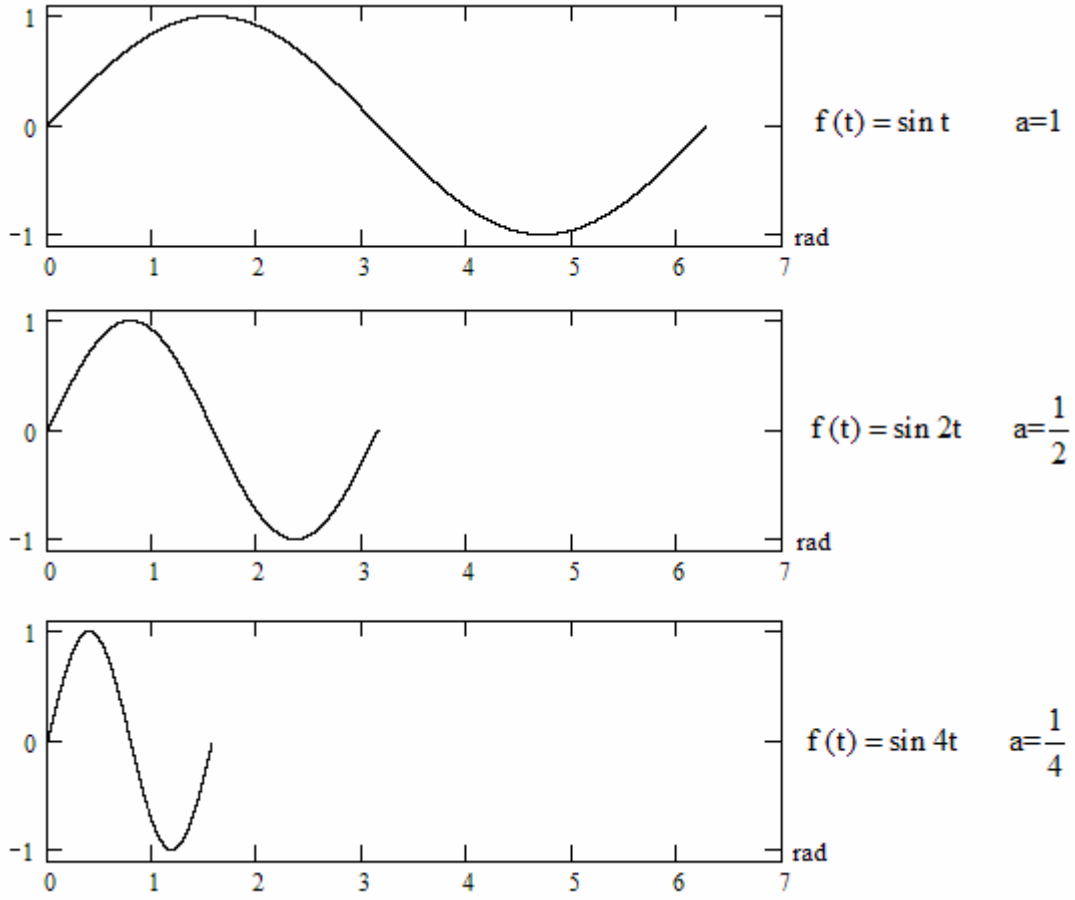
Bir dalgacığın ölçekleme oranı a sinyalin sıkıştırılması anlamına gelir. Örneğin Şekil 6.4’de sinüs işareti farklı a değerleri için elde edilebilir.



Şekil 6.3: Dalga ve dalgacıklara ait bazı örnekler

Veriye bakmak için kullanılan ölçek de dalgacık analizinde özel bir rol oynar. Dalgacık algoritmaları, veriyi farklı ölçek veya çözünürlüklerde işler. Geniş bir pencereden bir işarete bakılırsa, büyük özellikler, küçük bir pencereden bakılırsa, küçük özellikler fark edilir. Dalgacıkları ilginç ve aynı zamanda yararlı kılan bu özelliktir.

Ölçek küçültüldükçe dalgacık daha fazla sıkıştırılır. Şekil 6.4’de ölçeklenmiş dalgacıklar görülmektedir. Büyük ölçek kullanıldığında küçük değişimler algılanamadığı görülmektedir.

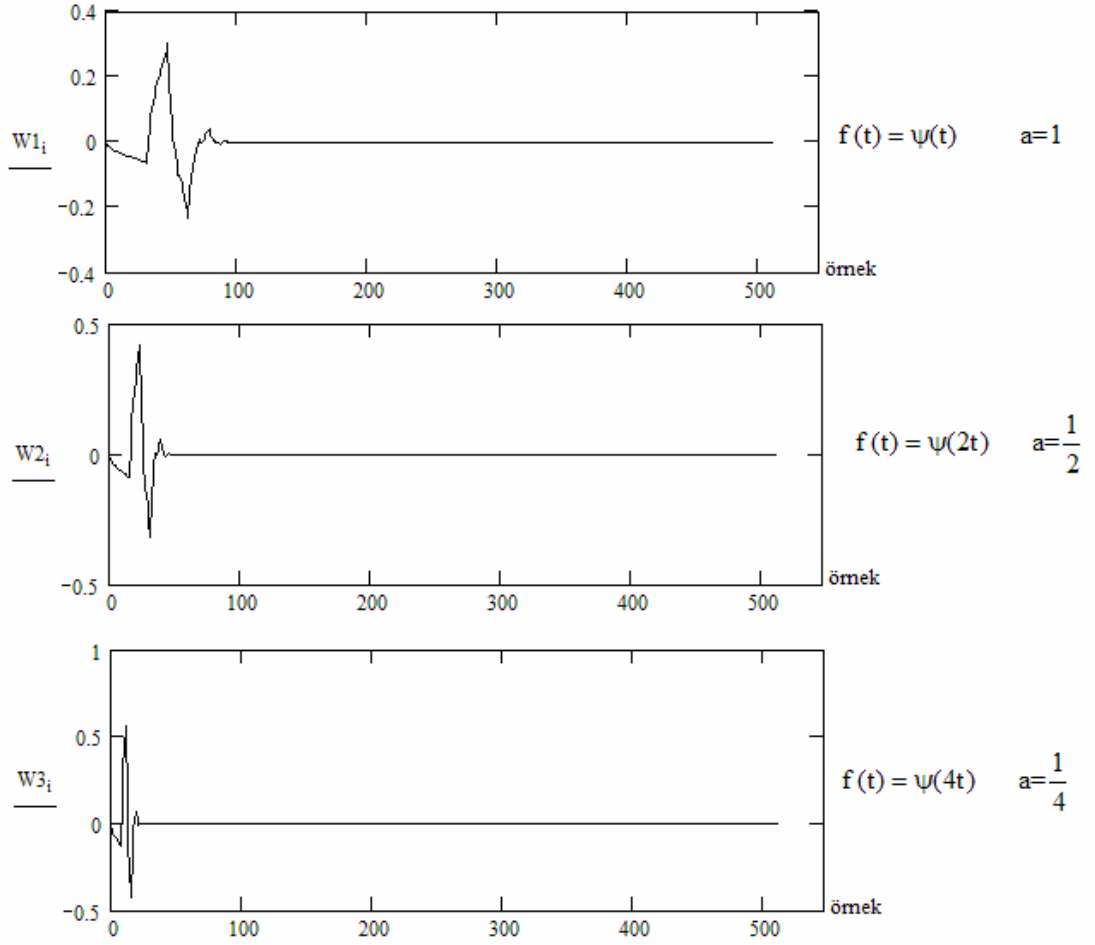


Şekil 6.4: Ölçeklenmiş sinüs işareti

Şekil 6.3 ve 6.4'de görüldüğü gibi dalga veya dalgacık sinyallerinin ölçekleme parametresi, sinyalin frekansı ile ters orantılı değişmektedir.

Bir dalgacığın kaydırılması ise, $\psi(t)$ fonksiyonun ötelenerek $\psi(t-k)$ haline gelmesidir. (Şekil 6.5).

Dalgacık analizinin temel hedefi, incelenen sinyalin özellikleri ile ilgili olarak yeterli ve faydalı bilgiler verecek olan ana dalgacık fonksiyonunu oluşturmaktır. Bu işlem oldukça zordur. Fakat dalgacık fonksiyonlarının birkaç özelliğinden yararlanarak hangi dalgacığın kullanımının daha uygun olduğuna karar verilebilir. En iyi dalgacık tipi, uygulamanın özelliğine göre seçilmiş olanıdır.

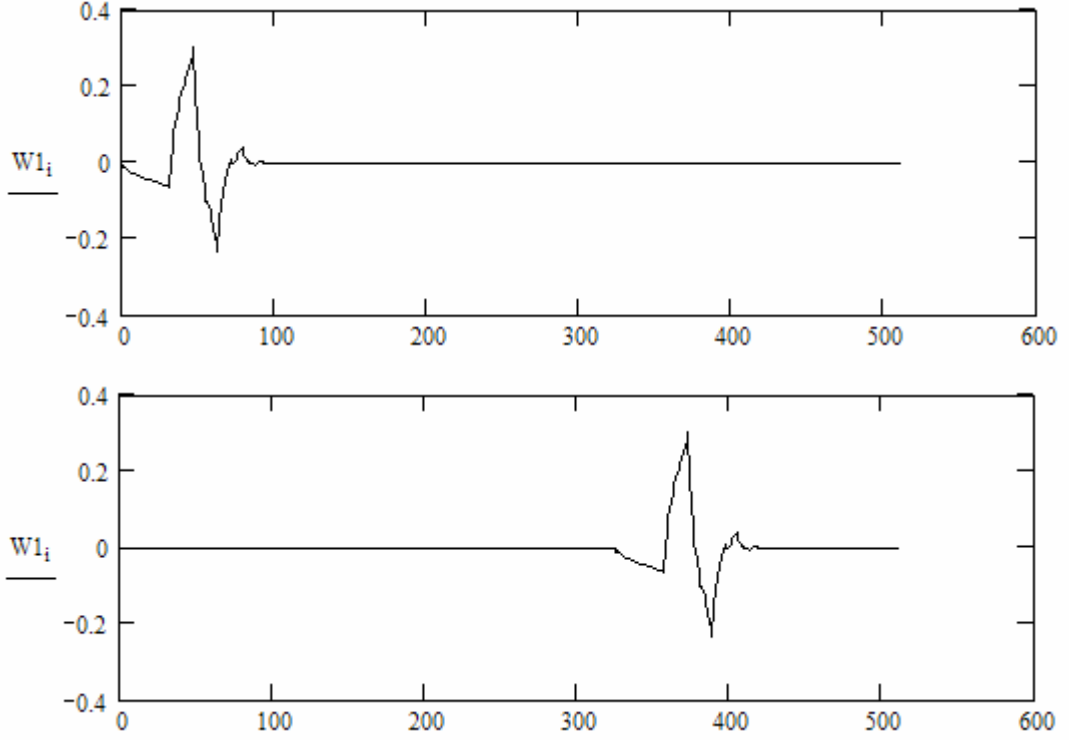


Şekil 6.5: Ölçeklenmiş dalgacık işareti

Günümüzde geliştirilmiş birçok dalgacık tipi vardır. Bunların başlıcaları şunlardır [175]:

- Haar dalgacık
- Daubechies dalgacık
- Coiflet dalgacık
- Symlet dalgacık
- Biortogonal dalgacık
- Gaussian dalgacık

Bunların en yaygın olarak kullanılan Haar ve Daubechies ana dalgacıkları ayrıntılı olarak incelenecektir.



Şekil 6.6: Kaydırılmış dalgacık işareti

6.2 Haar Dalgacık Dönüşümü

En basit dalgacık olan Haar dalgacık, genellikle görüntü işlemede kullanılır. Bunun yanında, matematik uygulamalarında ve haberleşme alanlarında da kullanılmıştır [175].

Haar dalgacığının temeli Haar dönüşümüne dayanır. Haar dönüşümü bir sinyalin ard arda gelen verilerinin, ortalama ve farkının hesaplanmasıyla yeni bir sinyal oluşturma işlemidir. Buna göre, N adet örnekten oluşmuş herhangi bir f fonksiyonu iki parçaya bölünür. Bu parçalar a “yaklaşım” ve d “ayrıntı” olarak adlandırılır. a ve d değerleri ise:

$$a_m = \frac{f_{2m-1} + f_{2m}}{\sqrt{2}} \quad (6.2)$$

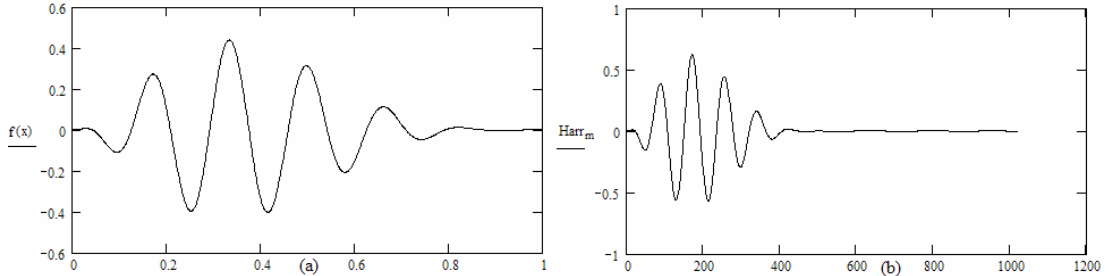
$$d_m = \frac{f_{2m-1} - f_{2m}}{\sqrt{2}} \quad (6.3)$$

biçiminde hesaplanır. Hesaplanan bu değerlere göre oluşturulan fonksiyonda ilk $N/2$ adet değer a bileşenlerinden, geriye kalan $N/2$ bileşen ise d bileşenlerinden meydana gelir ve $f \xrightarrow{H_1} (a^1 | d^1)$ şeklinde gösterilir. Buna göre f fonksiyonu

$$f = \left(\frac{a_1 + d_1}{\sqrt{2}}, \frac{a_1 - d_1}{\sqrt{2}}, \frac{a_2 + d_2}{\sqrt{2}}, \frac{a_2 - d_2}{\sqrt{2}}, \dots, \frac{a_{N/2} + d_{N/2}}{\sqrt{2}}, \frac{a_{N/2} - d_{N/2}}{\sqrt{2}} \right) \quad (6.4)$$

şeklindedir.

Örneğin Şekil 6.7 (a)'da görülen $f(x) = 20x^2(1-x)^4 \cos 12\pi x$ fonksiyonunda 1. seviyeden Haar Dönüşümü yapıldığında Şekil 6.7 (b)'deki değişim elde edilir. Burada (b)'deki sinyalden (a)'daki sinyal elde etmek için (6.4) denklemini kullanılabilir. Buna göre her bir ölçekleme noktasının arasına dalgacık değerleri sırasıyla yerleştirilir.



Şekil 6.7: (a) $f(x)$ fonksiyonu, (b) $f(x)$ fonksiyonunun 1. derece Haar dönüşümü

Şekil 6.7'den de görüleceği gibi, $f(x)$ fonksiyonunun Haar dönüşümünden elde edilen dalga $f(x)$ fonksiyonun sıkıştırılmış hali olarak düşünülebilir. d bileşenleri 0'a çok yakındır. Bu sayede veri sayısı yarıya indirilmiş fakat sinyal kaybedilmemiştir. İşlem devam ettirilip üst seviyelerdeki a ve d bileşenleri bulunup fonksiyon daha da sıkıştırılabilir.

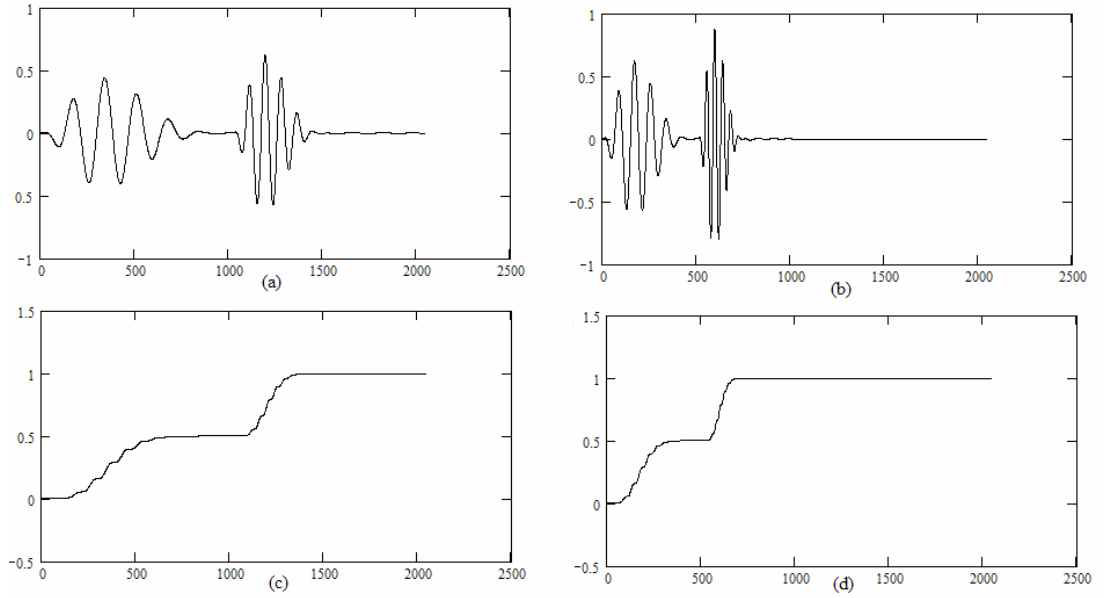
Fonksiyonun enerji seviyesi:

$$\varepsilon = f_1^2 + f_2^2 + \dots + f_n^2 \quad (6.5)$$

kümülatif enerji seviyesi ise şu şekilde hesaplanır:

$$\varepsilon_f = \frac{f_1^2}{\varepsilon} + \frac{f_1^2 + f_2^2}{\varepsilon} + \frac{f_1^2 + f_2^2 + f_3^2}{\varepsilon} + \dots + 1 \quad (6.6)$$

Şekil 6.8 (a)'da görülen sinyale, 2 seviyede Haar dönüşümü yapıldığında Şekil 6.8 (b)'deki fonksiyon elde edilir. Bunlara ait kümülatif enerji değişimleri ise Şekil 6.8 (c) ve (d) deki gibidir.



Şekil 6.8: (a) Örnek sinyal (b) Örneğin 2 seviyeli Haar dönüşümü (c) Örnek sinyalin kümülatif enerji değişimi (d) Haar dönüşümünün kümülatif enerji değişimi

1. seviyeden herhangi bir sinyal ile ($f = f_1, f_2, \dots, f_N$) Haar dalgacık fonksiyonunun ($g = g_1, g_2, \dots, g_N$) skaler çarpımından,

$$f \cdot g = f_1 g_1 + f_2 g_2 + \dots + f_N g_N \quad (6.7)$$

Fonksiyonu elde edilir. Bu fonksiyon yardımıyla 1. seviyeden Haar fonksiyonun d bileşenleri:

$$\begin{aligned}
d_1 &= \frac{f_1 - f_2}{\sqrt{2}} = f.W_1^1 \\
d_2 &= \frac{f_3 - f_4}{\sqrt{2}} = f.W_2^1 \\
&\vdots \\
d_m &= f.W_m^1 \\
m &= 1, 2, \dots, N/2
\end{aligned} \tag{6.8}$$

şeklinde elde edilir. Bu eşitlikteki “ W ” değerleri d bileşenine ait dalgacık sinyalleri olup 1. seviyeden Haar dalgacığı için:

$$\begin{aligned}
W_1^1 &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{-1}{\sqrt{2}}, 0, 0, \dots, 0 \right) \\
W_2^1 &= \left(0, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{-1}{\sqrt{2}}, 0, 0, \dots, 0 \right) \\
&\vdots \\
W_{N/2}^1 &= \left(0, 0, \dots, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{-1}{\sqrt{2}} \right)
\end{aligned} \tag{6.9}$$

olarak tanımlanır.

Haar dalgacık fonksiyonunun özellikleri şunlardır:

- Her dalgacık fonksiyonunun enerji seviyesi 1’dir.
- Enerji seviyeleri arasındaki $(\pm 1/\sqrt{2})$ fark vardır.
- Tüm seviyelerin ortalama değerleri 0’dır.
- Her birinin dalga şekilleri aynıdır.
- Temel W_1^1 dalgacığına göre diğer dalgacıklar 2’nin katları şeklinde kaydırılmıştır

1.seviyeden Haar fonksiyonunda yaklaşım sinyali a değerleri:

$$\begin{aligned}
a_1 &= \frac{f_1 + f_1}{\sqrt{2}} = f \cdot V_1^1 \\
a_2 &= \frac{f_3 + f_4}{\sqrt{2}} = f \cdot V_2^1 \\
&\vdots \\
a_m &= f \cdot V_m^1 \\
m &= 1, 2, \dots, N/2
\end{aligned} \tag{6.10}$$

olarak bulunabilir.

(6.10) eşitliğinde yer alan “ V ” çarpanı, a yaklaşım sinyaline ilişkin bir fonksiyondur ve 1. seviyeden Haar dönüşümü için:

$$\begin{aligned}
V_1^1 &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0, 0, \dots, 0 \right) \\
V_2^1 &= \left(0, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0, 0, \dots, 0 \right) \\
&\vdots \\
V_{N/2}^1 &= \left(0, 0, \dots, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right)
\end{aligned} \tag{6.11}$$

olarak tanımlanır.

2. seviyeden Haar Dönüşümü için V ve W değerleri ise

$$\begin{aligned}
V_1^2 &= \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0, 0, \dots, 0 \right) & W_1^2 &= \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{-1}{2}, \frac{-1}{2}, 0, 0, \dots, 0 \right) \\
V_2^2 &= \left(0, 0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0, 0, \dots, 0 \right) & W_2^2 &= \left(0, 0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{-1}{2}, \frac{-1}{2}, 0, 0, \dots, 0 \right) \\
&\vdots & &\vdots \\
V_{N/2}^2 &= \left(0, 0, \dots, 0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right) & W_{N/2}^2 &= \left(0, 0, \dots, 0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{-1}{2}, \frac{-1}{2} \right)
\end{aligned} \tag{6.12}$$

biçiminde hesaplanabilir.

6.3 Çoklu Çözünürlük Analizi (Ç.Ç.A)

Herhangi bir sinyal Haar dönüşümü kullanarak ölçekleme ve dalgacık fonksiyonun skaler çarpımı olarak ifade edildiği gibi, aynı sinyal bileşenleri kullanarak Haar fonksiyonunun tersi de alınabilir. Düşük çözünürlükte sinyaller ile çok yüksek çözünürlükte olan bir sinyalin toplamından bir dalganın bütünü nasıl oluşturulabilir. Yapılan bu işlem Çoklu Çözünürlük Analizidir. Ç.Ç.A işlemi dalgacık dönüşümünün temel işlemi olarak bilinir [176].

Bu yöntemde sinyal farklı frekans ve çözünürlükte analiz edilebilmektedir. K.Z.F.D'deki gibi her bir bileşen eşit pencereler ile değil farklı boyutlardaki pencereler ile bileşenler belirlenir.

Ç.Ç.A yüksek frekanslarda zaman bilgisinin iyi, frekans çözünürlüğünün zayıf; düşük frekanslarda zaman bilgisinin zayıf, frekans çözünürlüğünün iyi olması istenilen uygulamalar için kullanışlı bir yöntemdir. Ç.Ç.A formülasyonunda ikinci bir fonksiyona ihtiyaç duymaktadır. Bu fonksiyon ölçekleme fonksiyonudur. D.D uygulamalarının çoğunluğunda, işlenmemiş sinyal, dalgacık katsayıları ile sentez edilerek sinyal yeniden oluşturulabilir.

Çözünürlük işleminde iki fonksiyonun temel işlemlerinden yararlanır.

$$\begin{aligned} f \mp g &= (f_1 \mp g_1, f_2 \mp g_2, \dots, f_N \mp g_N) \\ cf &= (cf_1, cf_2, \dots, cf_N) \\ f &= f_1(1, 0, \dots, 0) + f_2(0, 1, \dots, 0) + \dots + f_N(0, \dots, 1) \\ f &= f_1V_1^0 + f_2V_2^0 + \dots + f_NV_N^0 \end{aligned} \tag{6.13}$$

(6.13)'deki eşitlikler (6.4) denkleminde yerine yazılırsa f fonksiyonu 1. Seviyeden Haar ortalama ve ayrıntılı sinyallerin toplamı şeklinde yazılabilir,

$$f = \underbrace{\left(\frac{a_1}{\sqrt{2}}, \frac{a_1}{\sqrt{2}}, \frac{a_2}{\sqrt{2}}, \frac{a_2}{\sqrt{2}}, \dots, \frac{a_{N/2}}{\sqrt{2}}, \frac{a_{N/2}}{\sqrt{2}} \right)}_{\text{Ölçeleme değerleri (A)}} + \underbrace{\left(\frac{d_1}{\sqrt{2}}, \frac{-d_1}{\sqrt{2}}, \frac{d_2}{\sqrt{2}}, \frac{-d_2}{\sqrt{2}}, \dots, \frac{d_{N/2}}{\sqrt{2}}, \frac{-d_{N/2}}{\sqrt{2}} \right)}_{\text{Dalgacık değerleri (D)}} \quad (6.14)$$

$$f = A^1 + D^1$$

Fonksiyonun yüksek seviyelerdeki ifadesi ise:

$$f = A^k + D^k + \dots + D^2 + D^1 \quad (6.15)$$

olacaktır. Burada;

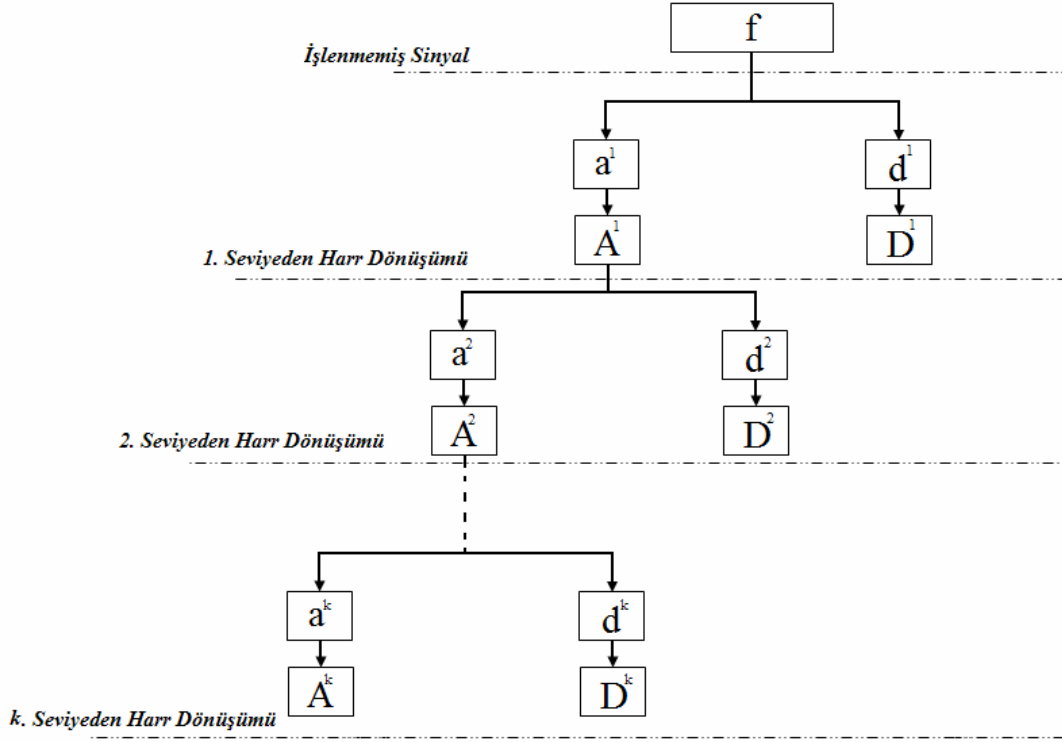
$$\begin{aligned} A^1 &= a_1 V_1^1 + a_2 V_2^1 + a_3 V_3^1 + \dots + a_{N/2} V_{N/2}^1 \\ D^1 &= d_1 W_1^1 + d_2 W_2^1 + d_3 W_3^1 + \dots + d_{N/2} W_{N/2}^1 \end{aligned} \quad (6.16)$$

biçiminde ifade edilebilir.

Herhangi bir fonksiyonun D.D'ne ilişkin algoritma Şekil 6.9'da gösterilmiştir. Şekil 6.9'dan görüleceği gibi, öncelikle incelenecek olan sinyalin a ve d katsayıları (6.2) ve (6.3) denklemleri yardımıyla her seviyede hesaplanır. Hesaplanılan değerler (6.14) denkleminde yerine koyularak A ve D elde edilir. Bir üst seviyede hesaplanılacak olan a ve d değerlerinde, bir alt seviyedeki a değeri kullanılır. En yüksek seviye ise örnekleme sayısına göre:

$$n = \frac{\ln N}{\ln 2} \quad (6.17)$$

eşitliği ile bulunur. Burada N örnekleme sayısıdır.

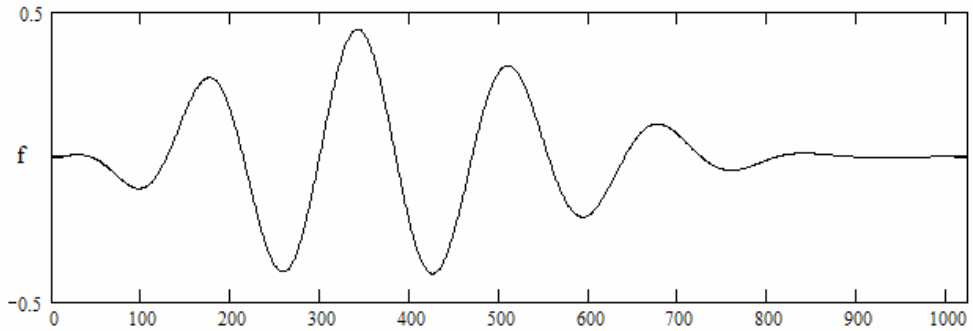


Şekil 6.9: Bir fonksiyona dalgacık dönüşüm işlemi algoritması

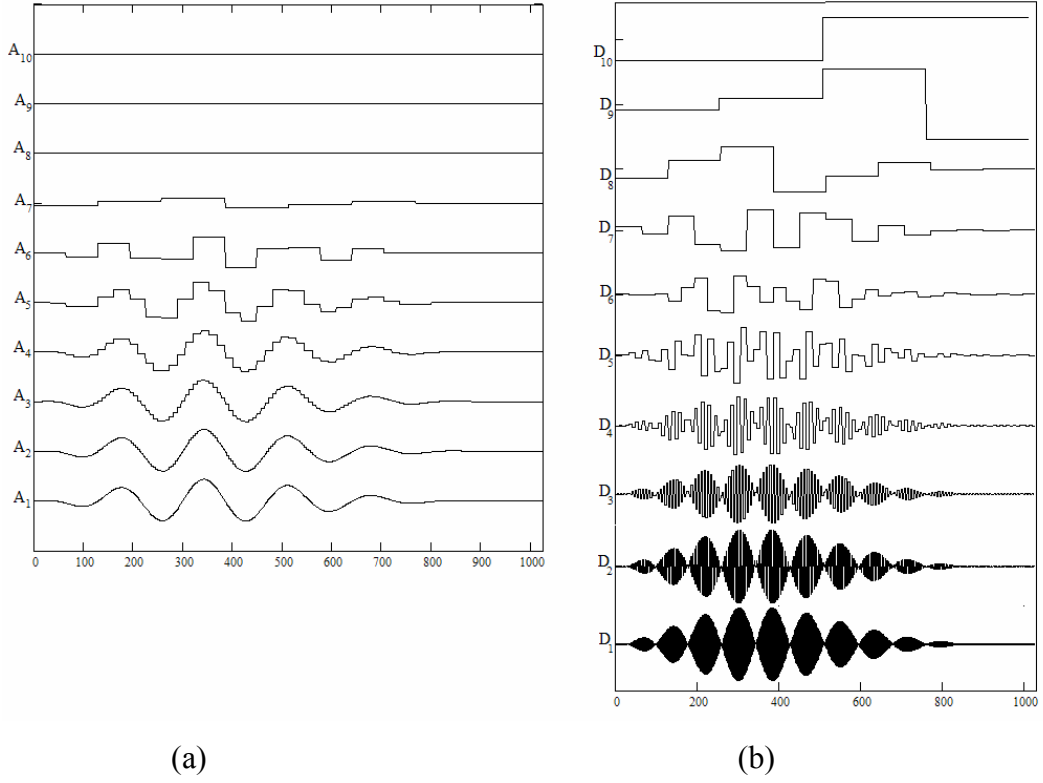
Şekil 6.7 (a)'daki sinyal 1024 noktada örneklenmiştir. Bu sinyal 10 kez Haar dönüşümü uygulandığında elde edilen A ve D katsayıları Şekil 6.11'de gösterilmiştir. Haar dalgacıklarının (6.15) denklemine göre

$$f = A^{10} + D^{10} + D^9 + D^8 + D^7 + D^6 + D^5 + D^4 + D^3 + D^2 + D^1 \quad (6.18)$$

biçiminde yazarak fonksiyon ise işlenmemiş f sinyalini Şekil 6.10'da gibi elde edilmiştir.



Şekil 6.10: 10. seviyeden Haar fonksiyonu sonucu oluşan sinyal



Şekil 6.11: Şekil 6.7'deki sinyale Haar ÇÇA uygulanması. (a) A katsayıları (b) D katsayıları

6.4 Daubechies Dalgacık Dönüşümü

Daubechies dalgacık dönüşümü, Haar D.D gibi, incelenen sinyalin ortalama ve fark değerlerinin hesaplanması temeline dayanır. Aralarındaki tek fark Daubechies D.D'de, ölçekleme ve dalgacık sinyallerinin daha fazla noktadan oluşmasıdır. Dolayısıyla a ortalama ve d fark değerlerini hesaplariken esas sinyalden daha fazla sayıda değer kullanılır. Bu ufak fark, dönüşüm sonuçlarında oldukça büyük gelişmeler sağlamaktadır. Bu nedenle, Daubechies dalgacık dönüşümü görüntü işleme ve güç sistemlerindeki geçici durumların analizinde sıkça tercih edilen dalgacık türüdür [170,176].

Literatürde birbirine benzer çok sayıda Daubechies dönüşümleri vardır. Bu çalışmada, uygulamalarda en sık kullanılan Daub4 dalgacık dönüşümü incelenecektir. Daub4 dalgacık dönüşümü Haar dalgacığın benzer şekilde ifade edilir. Buna göre, N adet örnekten oluşan bir sinyal, yaklaşım $a^1 = (a_1, \dots, a_{N/2})$ ve

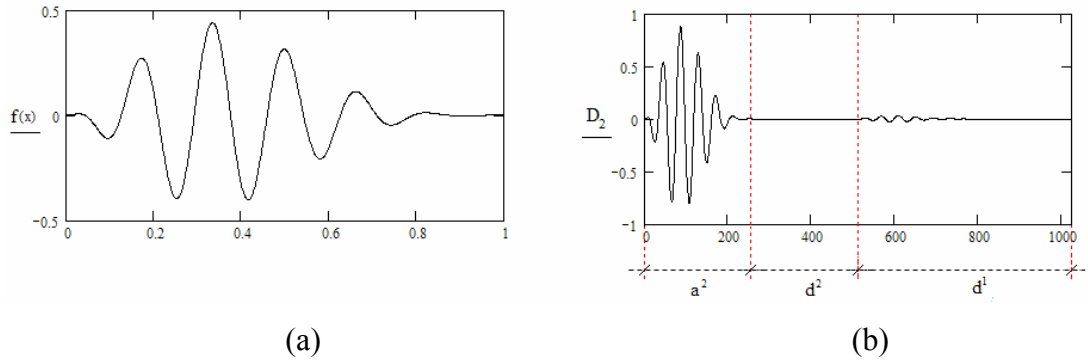
ayrıntı $d^1 = (d_1, \dots, d_{N/2})$ bileşenleri ile $f \xrightarrow{D_1} (a^1 | d^1)$ tekrar Buna göre, 1.seviyeden ölçekleme ve dalgacık ifadelerine bağılı olarak:

$$a_m = f.V_m^1 \quad (6.19)$$

$$d_m = f.W_m^1$$

biçiminde yazılabilir.

Daub4 dalgacık dönüşümünde sinyal, 2'nin katı olduğu sürece Haar D.D'deki gibi, üst seviyelerde ifade edilebilir. Bu işlemde, her bir seviyede hesaplanılan a değerleri, üst seviyede kullanılacak olan a ve d değerlerini türetir ($a^1 \xrightarrow{D_1} (a^2 | d^2)$). Buna göre örneğin f sinyalinin ikinci seviyeden Daub4 dalgacık dönüşümü $f \xrightarrow{D_2} (a^2 | d^2 | d^1)$ olarak yazılabilir. Şekil 6.12 (a)'da görülen sinyale 2. dereceden Daub4 dönüşümü yapılarak Şekil 6.12 (b)'deki sinyal elde edilmiştir.



Şekil 6.12: (a) İşlenmemiş f sinyali (b) f sinyalinin D_2 dönüşümü

Haar ile Daubechies dalgacık dönüşümleri arasındaki fark, ölçekleme ve dalgacık sinyallerinin tanımlanmasındadır. Daubechies D.D'de ölçekleme ve dalgacık sinyalleri

$$\alpha_1 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad \alpha_2 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad \alpha_3 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad \alpha_4 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \quad (6.20)$$

$$\beta_1 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad \beta_2 = \frac{\sqrt{3}-3}{4\sqrt{2}}, \quad \beta_3 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad \beta_4 = \frac{-1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \quad (6.21)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

α ve β katsayılarının özellikleri şunlardır:

$$\begin{aligned} \bullet \quad & \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = \sqrt{2} \\ & \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 0 \end{aligned} \quad (6.22)$$

- Her bir ölçekleme ve dalgacık sinyalinin enerji seviyesi 1'dir.

$$\begin{aligned} \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \alpha_4^2 &= 1 \\ \beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_3^2 + \beta_4^2 &= 1 \end{aligned} \quad (6.23)$$

Bu katsayılar kullanılarak V ve W dalgacıkları:

$$\begin{aligned} V_1^1 &= (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, 0, 0, \dots, 0) & W_1^1 &= (\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, 0, 0, \dots, 0) \\ V_2^1 &= (0, 0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, 0, 0, \dots, 0) & W_2^1 &= (0, 0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, 0, 0, \dots, 0) \\ V_3^1 &= (0, 0, 0, 0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, 0, 0, \dots, 0) & W_3^1 &= (0, 0, 0, 0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, 0, 0, \dots, 0) \\ & \vdots & & \vdots \\ V_{N/2-1}^1 &= (0, 0, \dots, 0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) & W_{N/2-1}^1 &= (0, 0, \dots, 0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4) \\ V_{N/2}^1 &= (\alpha_3, \alpha_4, 0, 0, \dots, 0, \alpha_1, \alpha_2) & W_{N/2}^1 &= (\beta_3, \beta_4, 0, 0, \dots, 0, \beta_1, \beta_2) \end{aligned} \quad (6.24)$$

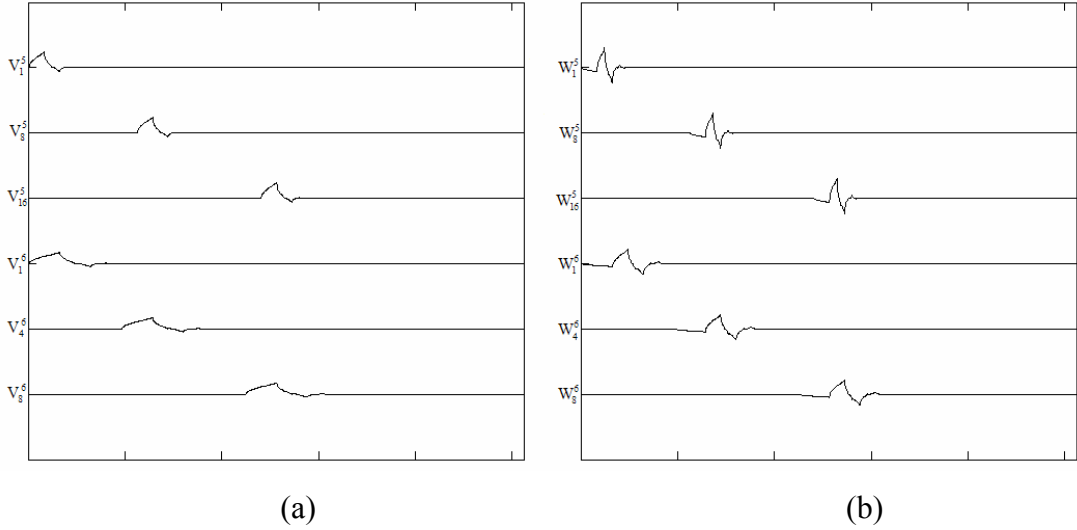
biçiminde elde edilir. Diğer seviyelerdeki ölçekleme ve dalgacık fonksiyonları ise:

$$\begin{aligned} V_m^1 &= \alpha_1 V_{2m-1}^0 + \alpha_2 V_{2m}^0 + \alpha_3 V_{2m+1}^0 + \alpha_4 V_{2m+2}^0 \\ V_m^2 &= \alpha_1 V_{2m-1}^1 + \alpha_2 V_{2m}^1 + \alpha_3 V_{2m+1}^1 + \alpha_4 V_{2m+2}^1 \end{aligned} \quad (6.25)$$

$$\begin{aligned} W_m^1 &= \beta_1 V_{2m-1}^0 + \beta_2 V_{2m}^0 + \beta_3 V_{2m+1}^0 + \beta_4 V_{2m+2}^0 \\ W_m^2 &= \beta_1 V_{2m-1}^1 + \beta_2 V_{2m}^1 + \beta_3 V_{2m+1}^1 + \beta_4 V_{2m+2}^1 \end{aligned}$$

olarak tanımlanır. (6.25) denkleminde yararlanılarak çeşitli seviyelerdeki ölçekleme ve dalgacık fonksiyonları elde edilebilir. Şekil 6.13 (a)'da 5. ve 6. seviyeden Daub4

ölçekleme sinyalleri görülmektedir. Bu şekilden de görülmektedir ki, 6. seviyedeki ölçekleme sinyalinin genişliği; dolayısıyla veri sayısı; 5. seviyeye göre yaklaşık iki katı fazladır. Ayrıca 5. ve 6. derecede sinyaller V_1^5 ve V_1^6 sinyallerinin ötelenmiş halidir.



Şekil 6.13: (a) 5 ve 6. seviyeden ölçekleme sinyalleri (b) 5 ve 6. seviyeden dalgacıklar

(6.25) denkleminde göre, k. seviyeden ölçekleme (A) ve dalgacık (D) sinyalleri:

$$A^k = (f.V_1^k)V_1^k + (f.V_2^k)V_2^k + \dots + (f.V_N^k)V_N^k \quad (6.26)$$

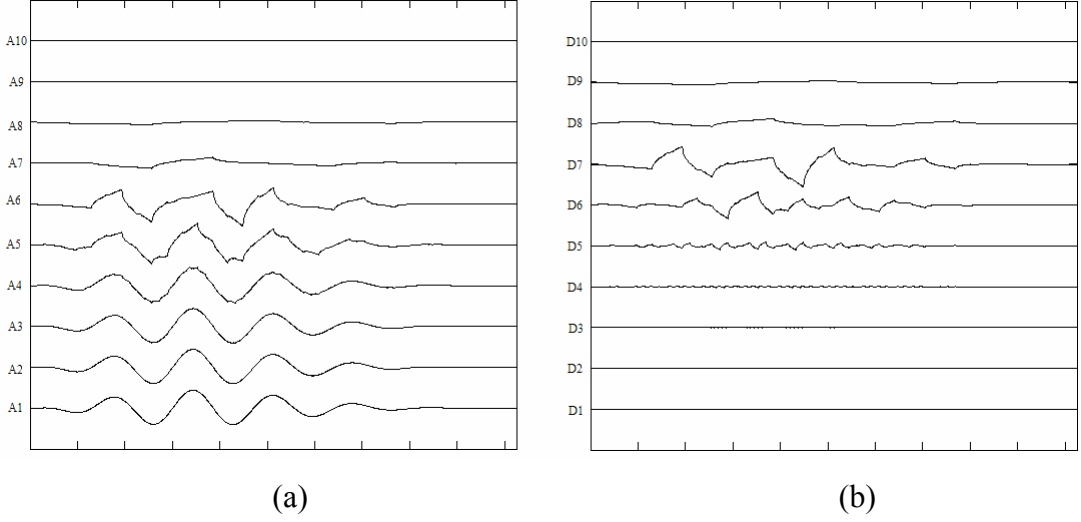
$$D^k = (f.W_1^k)W_1^k + (f.W_2^k)W_2^k + \dots + (f.W_N^k)W_N^k$$

olarak bulunur. Bulunan bu katsayılarından yararlanarak çoklu çözüm analizi yapılarak f fonksiyonu,

$$f = A^k + D^k + \dots + D^2 + D^1 \quad (6.27)$$

tekrar elde edilebilir. Şekil 6.7.(a)'daki sinyale uygulanan 10 seviyeli Daub4 Ç.Ç.A Şekil 6.14'de görülmektedir. Aynı sinyale ait Şekil 6.11'deki Haar ÇÇA sonuçları ile karşılaştırıldığında, Daub4'de sinyallerin daha düşük seviyelerde esas sinyale yaklaşmıştır. Haar'da 1. ve 2 seviyelerde esas sinyal elde edilebilirken, Daub4'de 4.

seviyeye kadar esas sinyale çok yakın bir sinyal elde edilmiştir. Bunun sebebi 5. seviyeye kadar D değerlerinin yaklaşık sıfır olmasıdır. Dolayısıyla $f \approx A^4$ 'dir. Bu üstünlüğü nedeniyle Daubechies ana dalgacık fonksiyonu çalışmada tercih edilmiştir.



Şekil 6.14: 10 seviyeden Daub4 Ç.Ç.A'den elde edilen (a) A değerleri (b) D değerleri

6.5 Dalgacık Dönüşümü Uygulamaları

Son on yıl içinde dalgacık uygulamaları, çok hızlı şekilde genişlemiştir. Başlıca uygulama alanları arasında [176]:

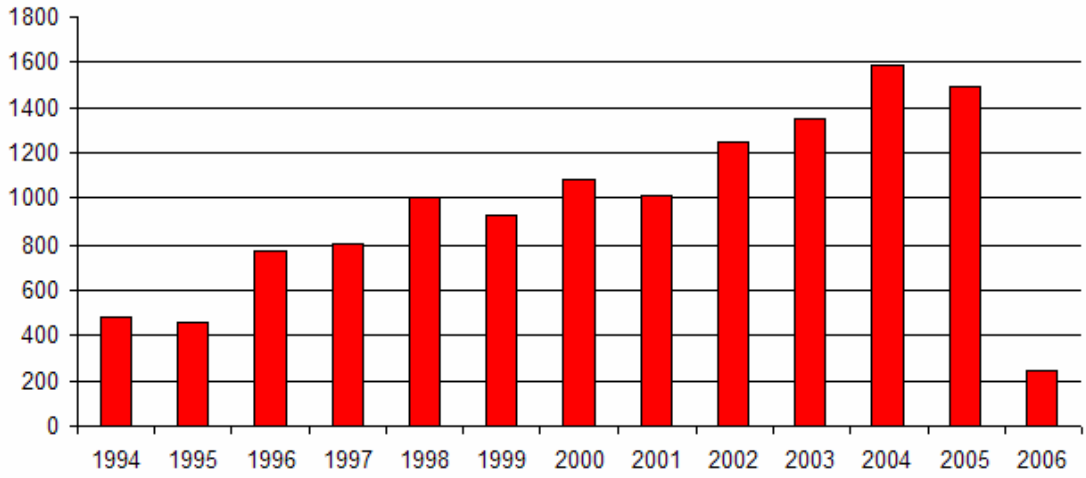
- Veri sıkıştırma
- Gürültü süzme
- Biyomedikal mühendisliği uygulamaları
- Kısmi diferansiyel denklemlerin sayısal çözümü
- Uzay çalışmaları
- Yapay sinir ağları
- Mali analiz
- Güç kalitesi problemleri

sayılabilir.

6.6 Güç Kalitesi Problemlerinin Analizinde D.D'nün Kullanımı

Güç sistemlerinde meydana gelen güç kalitesi bozuklukları genel olarak gerilim düşmesi, harmonik, gerilim yükselmesi ve salınımlardır. Bu bozuklukların düzeltilmesi için öncelikle bunların algılanması ve hata çeşidinin belirlenmesi gereklidir. Bu bozukluklar genellikle birkaç periyot içinde olduğundan, algılama ve sınıflandırılma işlemi çok hızlı gerçekleştirilmelidir.

Son yıllarda Dalgacık Dönüşümü güç sistemlerinde oldukça ilgi duyulan konulardan biri olmuştur. Bunun başlıca sebebi diğer dönüşüm yöntemlerine göre geçici olayların analizinde daha kullanışlı olmasıdır. Şekil 6.15'de D.D ile ilgili yapılan çalışmalarla ilgili istatistiksel bilgiler görülmektedir. Bu çalışmaların büyük bir bölümü ölçülen büyüklüklerin değerlendirilmesi ve sınıflandırılması ile ilgilidir [178].



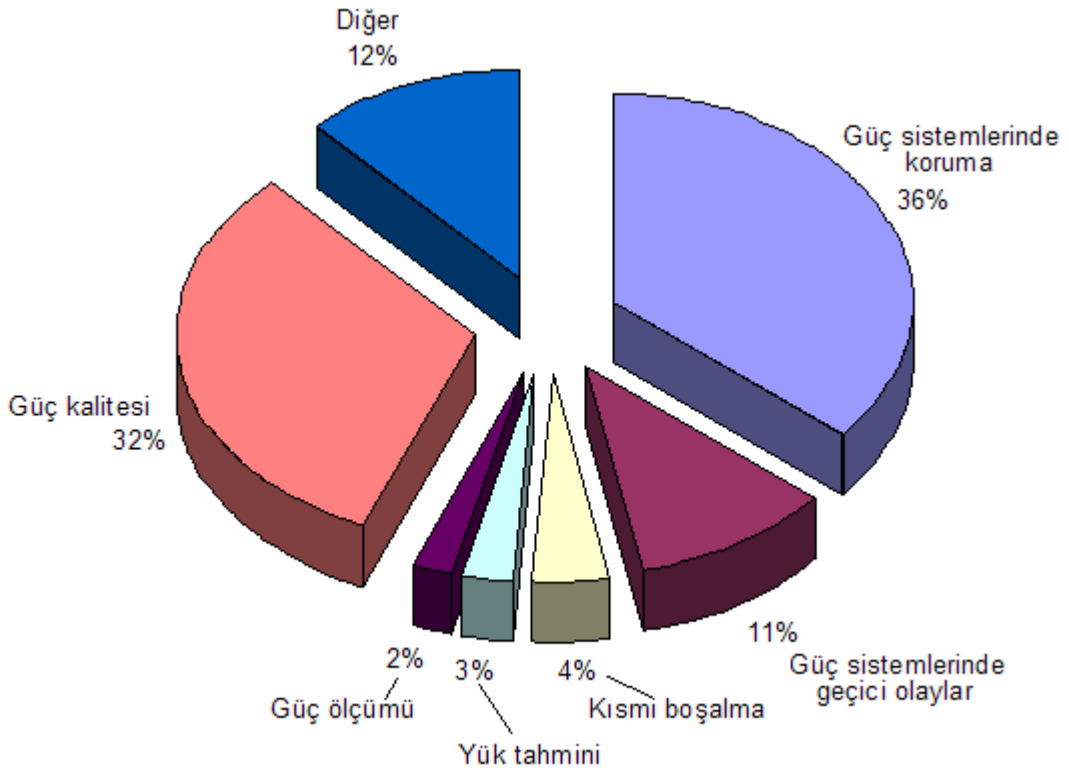
Şekil 6.15: IEEE konferans ve dergilerinde D.D. ile ilgili yapılan yayınların yıllara göre dağılımı

D.D.'nün güç sistemlerinde en sık kullanılan uygulamaları şunlardır:

- Güç sistemlerinde koruma
- Güç sistemlerinde geçici olaylar
- Kısmi boşalma

- Yük tahmini
- Güç ölçümü
- Güç kalitesi

Güç sistemlerinde D.D ile yapılan uygulamaların dağılımı ise Şekil 9.2'deki gibidir [179]. Buna göre çalışmaların büyük bir bölümü güç sistemlerinde koruma ve güç kalitesi konularında olduğu görülmektedir.



Şekil 6.16: Güç sistemlerinde D.D ile ilgili yapılan çalışmaların dağılımı [179]

Bu çalışmada bir güç kalitesi problemi olarak sıklıkla karşılaşılan gerilim düşmelerini önlemede kullanılmak üzere yeni bir D.G.D tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Arızanın büyüklüğünü, başlangıç ve bitiş noktalarının saptanmasında en uygun yöntem olan D.D yöntemi seçilmiş ve kullanılmıştır.

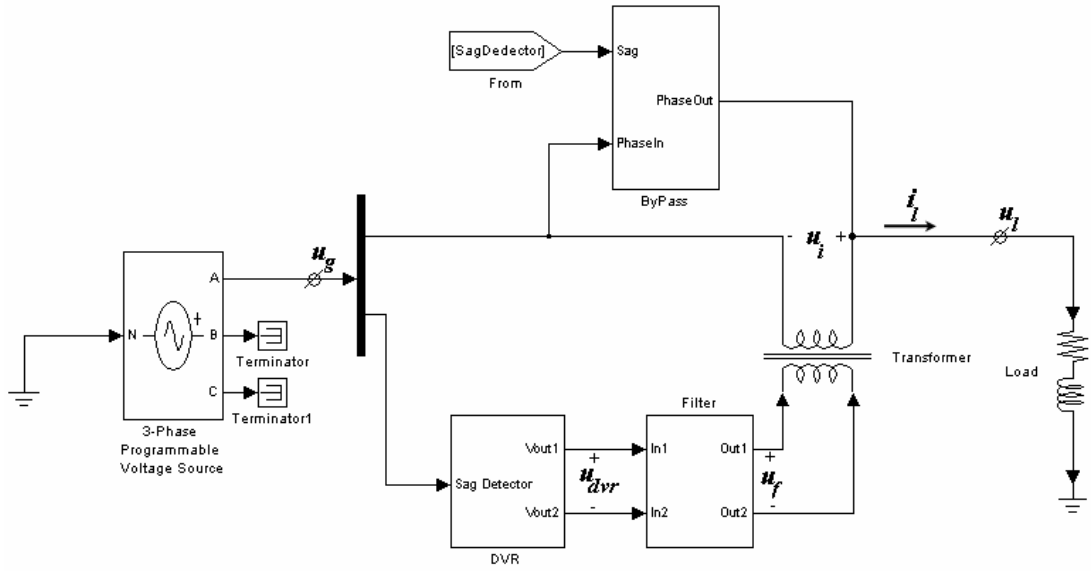
7. DİNAMİK GERİLİM DÜZENLEYİCİNİN MODELLENMESİ VE BENZETİMİ

Sistemlerin tasarımı, yenilenmesi ve geliştirilmesi aşamalarında bilgisayar destekli benzetim programlarının kullanılması kaçınılmazdır. Çalışan bir sistemde, örneğin elektrik şebekesinde, bazı değişikliklerin yapılması ve bunların sistemin diğer noktalarına etkisinin belirlenmesi için benzetim programlarında kurulan modellerden yararlanır. Bu sayede istenilen sonuçların en hızlı biçimde elde edilmesi sağlanır. Fakat benzetim programlarında genellikle elemanlar ideal çalışma şartlarında düşünüldüğünden gerçek sistemlerle birebir örtüşmezler. Bu örtüşme kullanılan programın kütüphanelerinin genişliğine, hesaplama adım sayısına, kullanılan bilgisayarın veri işleme hızına bağlıdır.

Güç sistemlerinin analizi için geliştirilmiş birçok benzetim programı mevcuttur. Bunlar arasında en fazla kullanılanlardan birisi olan MATLAB programının Power System paketinde, birçok güç sistem elemanının sürekli ve geçici hal analizleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada geleneksel D.G.D'nin tasarımı için MATLAB/Simulink programından yararlanılmıştır.

7.1 Tek Fazlı D.G.D Modeli

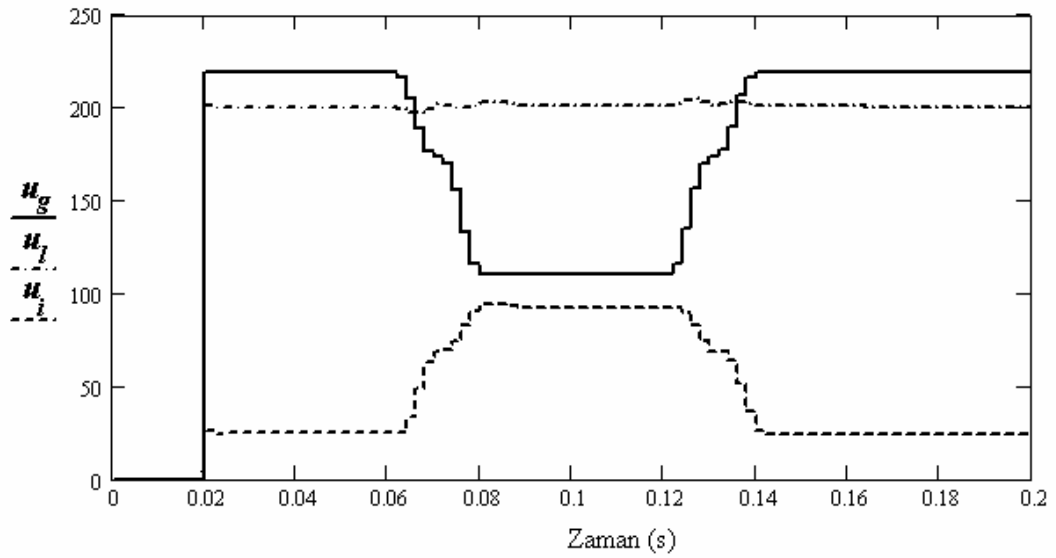
Gerilim düşmelerinde hassas yüklerin gerilim değişiminden etkilenmemesi için MATLAB/Simulink programı ile tasarlanan bir fazlı Dinamik Gerilim Düzenleyici devresi Şekil 7.1'de görülmektedir. Tablo 7.1'de parametreleri verilen sistemde 0,06-0,12 saniyeleri arasında %50 oranında oluşan bir gerilim düşmesi sırasında şebeke gerilimi (u_g), D.G.D'nin üreteceği gerilim (u_{inj}) ve yük geriliminin (u_l) efektif değerlerinin değişimi Şekil 7.2'de çizilmiştir. Gerilim düşmesi sırasında şebeke geriliminde 5^0 'lik bir faz atlaması yapılmıştır.



Şekil 7.1: MATLAB/Simulink’de yapılan bir fazlı D.G.D modeli

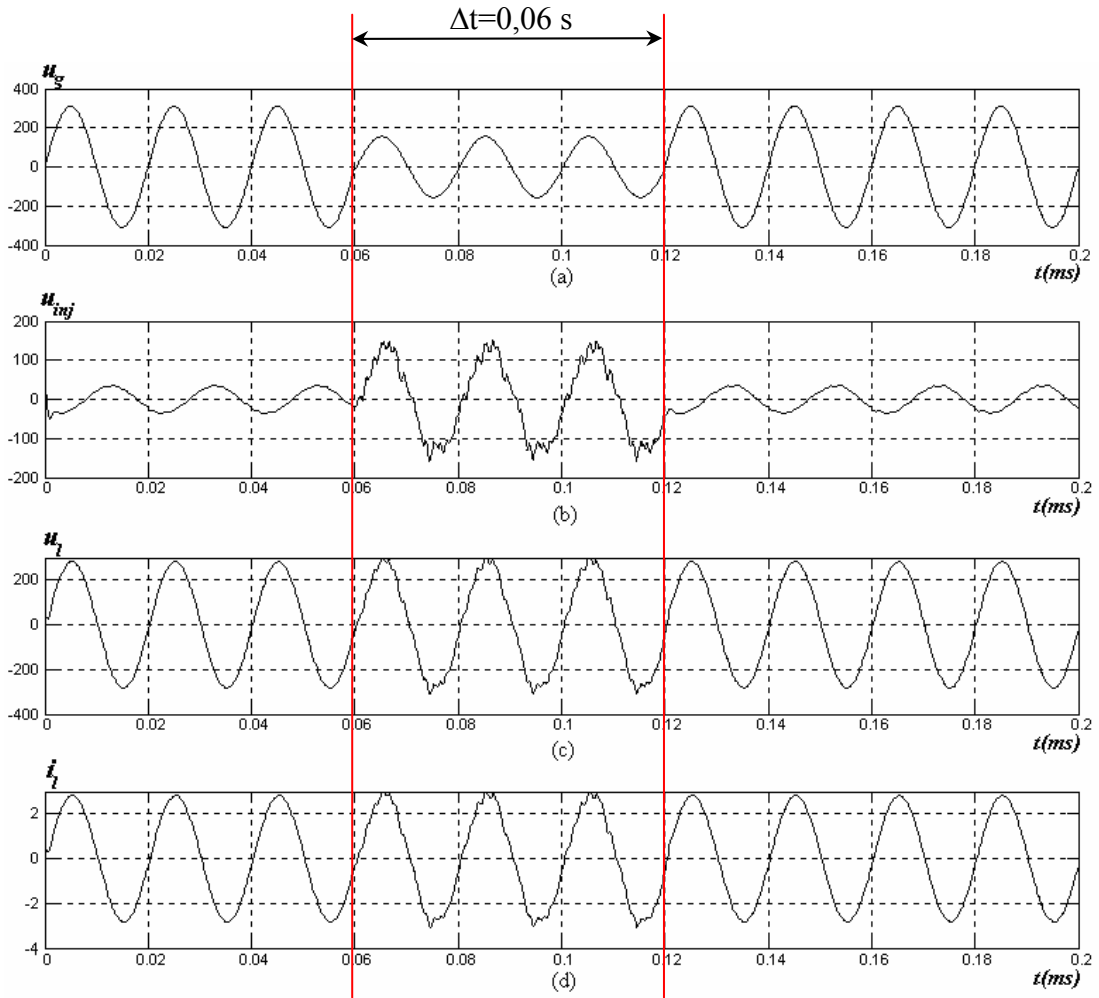
Tablo 7.1: D.G.D modelindeki parametreler

<i>Açıklama</i>	<i>Gerçek Değer</i>	<i>Birim Değer</i>
<i>Yük</i>	500W	1 p.u.
<i>D.G.D Gücü</i>	250W	0,5 p.u.
<i>Yük Gerilimi</i>	220 V	1 p.u.
<i>D.G.D Gerilimi</i>	0-110V	0-0,5 p.u.
<i>DC Bara Gerilimi</i>	2 x (110V x2)	
<i>Şebeke Frekans</i>	50 Hz	1 p.u.



Şekil 7.2: 0.06 saniye süren gerilim düşmesinde şebeke, yük ve D.G.D gerilimleri

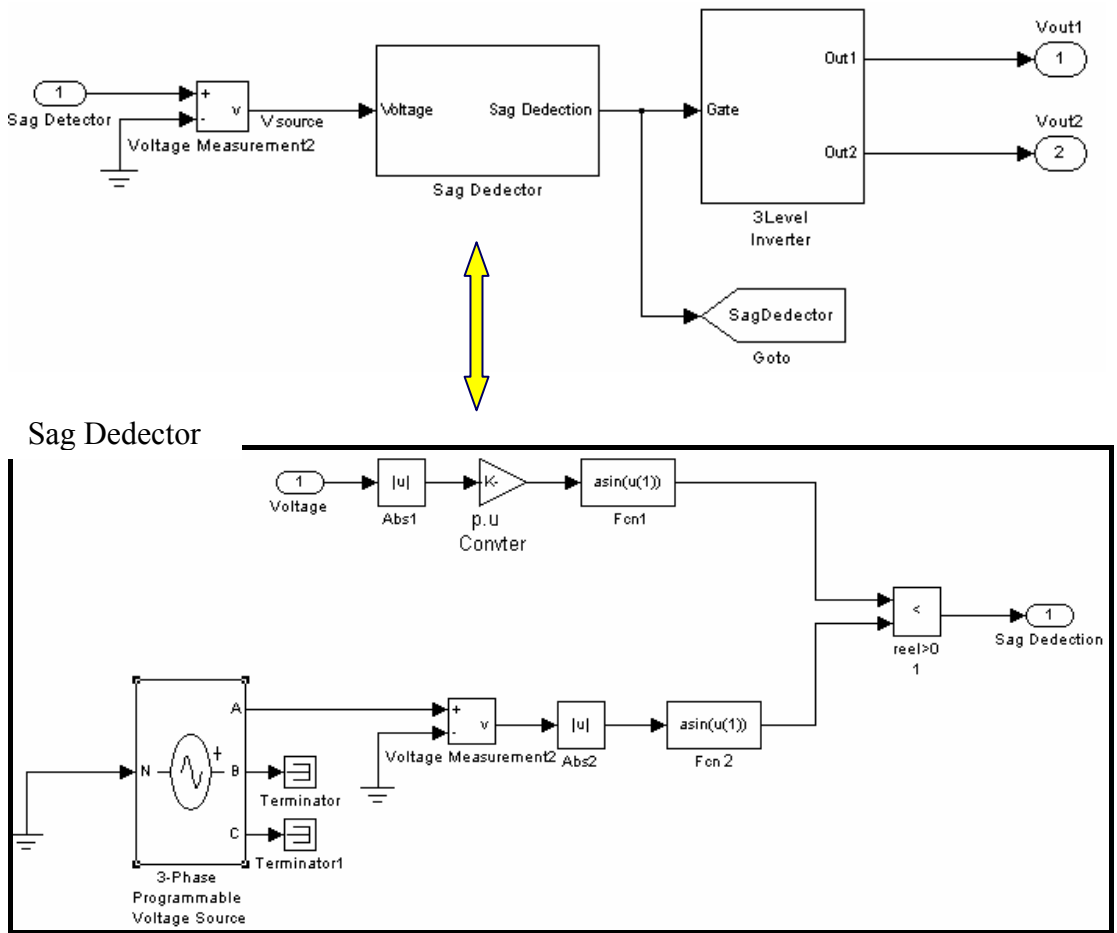
Şekil 7.3’de şebeke gerilimi (u_g), D.G.D’nin üreteceği gerilim (u_{inj}), yük gerilimi (u_l) ve yük akımının (i_l) gerçek değerlerinin değişimi görülmektedir. Buna göre D.G.D üzerine normal işletme koşullarında (sistemde herhangi bir arıza olmaması durumu) yaklaşık 25 V’luk bir gerilim düşümü olmaktadır. Bunun sonucunda da yük uçlarındaki gerilim 200 V civarındadır. $t=0.06$ anında ise gerilim değeri %50 azaldığında buna bağlı olarak D.G.D gerilimi 100 V’a çıkmış, yük gerilimi sabit kalmıştır. RMS değerler kayan pencere yöntemine göre hesaplandığı için 0,12 saniyede gerilim düşmesinin bitmediği görülmektedir. Şekil 7.3’da anlık gerilim ve akım değerleri görülmektedir.



Şekil 7.3: Gerilim ve akımın anlık değişimleri

Şekil 7.1’deki D.G.D’yi temsil eden “DVR” bloğu bir gerilim düşümü algılayıcı “Sag Dedector” ve 3 seviyeli dönüştürücü “3Level Inverter” bloklarından

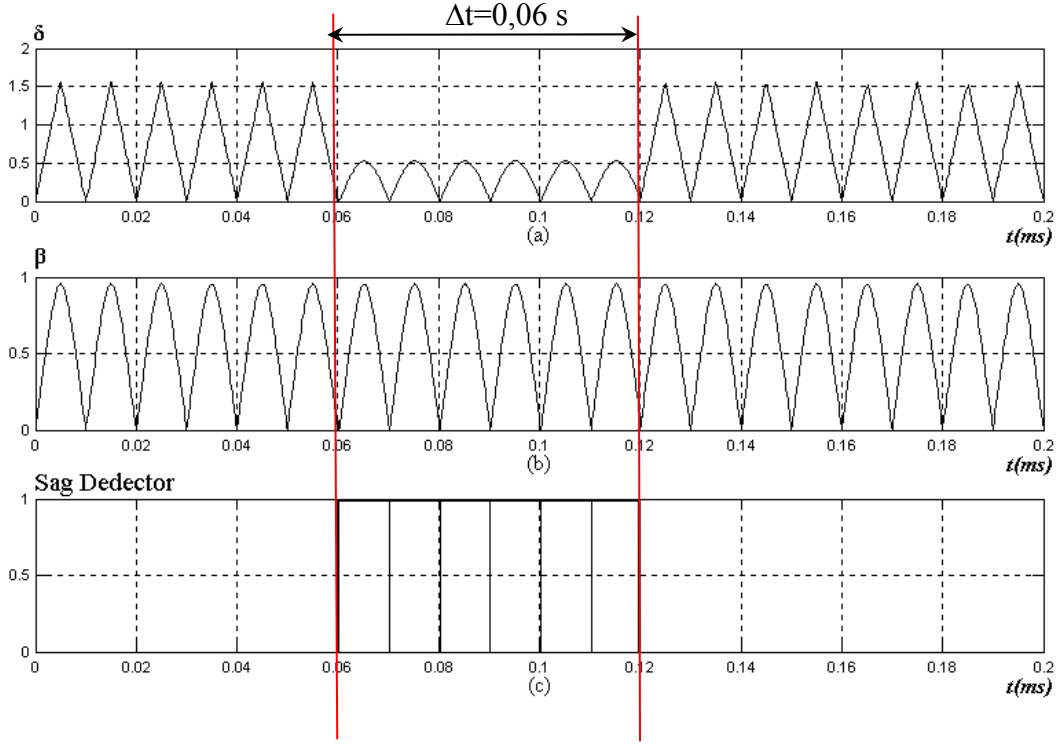
oluşmaktadır (Şekil 7.4). Sag Dedector bloğu ile gerilim düşmesi algılanınca çıkışını lojik "1" yaptığında D.G.D'nin çıkış gerilimini vermesi sağlanmaktadır. Burada amaç D.G.D'yi sadece gerilim düşmesinde devreye sokmaktır. Gerilim düşmesini olmadığı, normal işletme koşullarında Sag Dedector bloğunun çıkışı 0'dır. Bu durumda ise devrede D.G.D'yi tamamen devre dışı bırakacak geçiş anahtarı, "By Pass" bloğu devrede olmalıdır.



Şekil 7.4: Gerilim düşümünü algılayıcı bölümü

Şekil 7.4'deki bloklar incelendiğinde, Sag Dedector" bloğunda anlık değeri ölçülen şebeke gerilimini mutlak değeri alınarak negatif alternans ortadan kaldırılmıştır. Buradan birim değere çevrilen gerilime \sin^{-1} fonksiyonu uygulanarak açısı (δ) hesaplanır. Ayrıca referans sinyali olarak şebeke gerilimi ile aynı fazdaki (gerilim düşmesi sırasında şebeke gerilimi ile birlikte açısı değişen) referans sinüs geriliminin

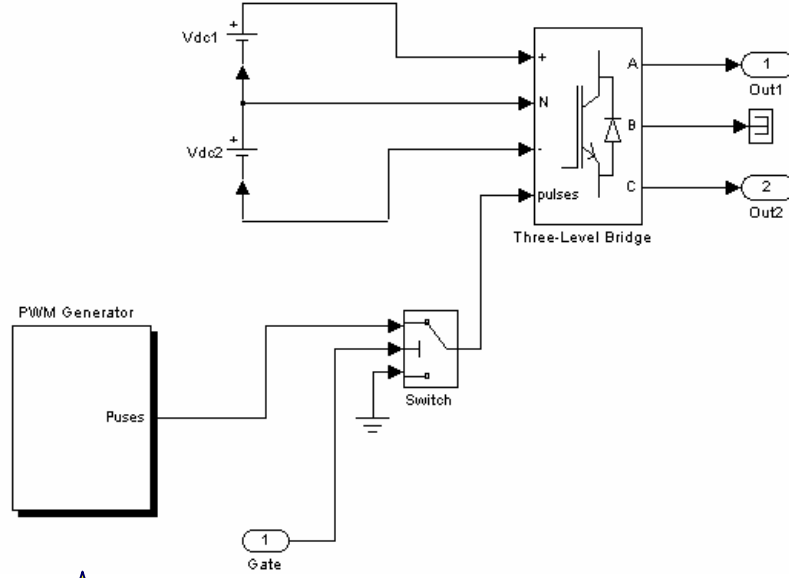
mutlak değerine \sin^{-1} fonksiyonu ile anlık açı değişimi (β) bulunur. Bu iki değer birbirleri ile sürekli karşılaştırılır ve normal koşullarda $\delta > \beta$ 'dir ve bloğun çıkışı lojik "0" dir. Herhangi bir anda oluşan bir gerilim düşmesi ile birlikte $\delta < \beta$ olacağından bloğun çıkışı lojik "1" olacaktır. Şekil 7.5'de δ , β , ve "Sag Dedector" bloğu çıkış sinyalinin değişimleri görülmektedir.



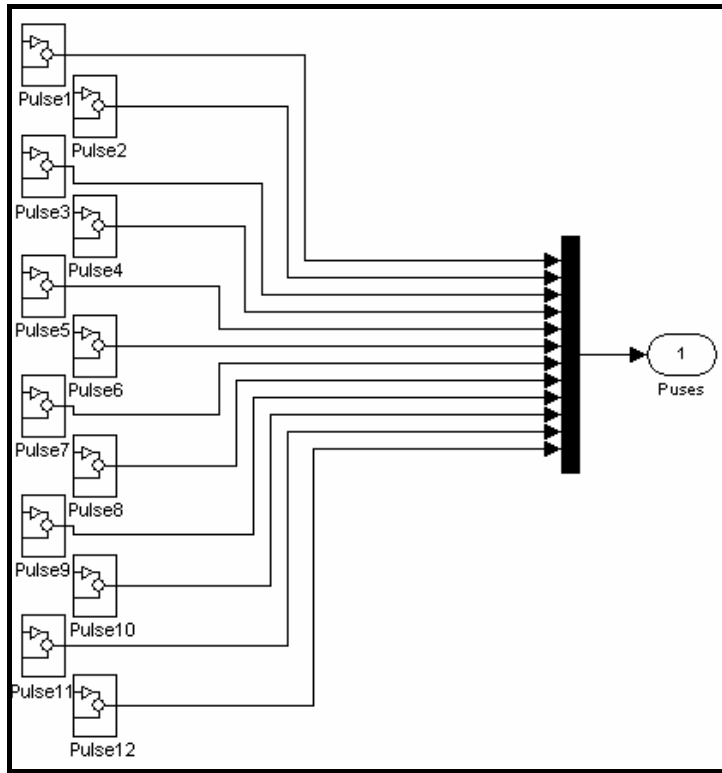
Şekil 7.5 Gerilim düşümü algılayıcı bölümü (a) Şebeke geriliminin faz açısı, (b) Referans geriliminin faz açısı, (c) Algılayıcı çıkış sinyali

Şekil 7.6'da "DVR" bloğunu oluşturan "3 Level Inverter" bloğunun iç yapısı görülmektedir. D.G.D'nin kontrollü dönüştürücü bölümünde yöntemlerden Üç Seviyeli Tam Dalga Dönüştürücü yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla, değeri gerilim düşme miktarına göre ayarlanan DC bara gerilimi, içerisinde 12 adet IGBT bulunan IGBT bloğuna iletilmiştir. Sistem daha sonra üç fazlı olarak deneneceği için IGBT bloğu tek faza çevrilmemiştir. IGBT Bridge'in iki fazından çıkış gerilimi alınmıştır. IGBT köprüsünün tetikleme sinyali ise "Pulses" bloğu ile sağlanmaktadır. Burada sadece gerilim düşmesi anında çıkışa gerilim verilmesini sağlamak üzere "Sag Dedector" bloğu ile "Pulses" bloğu arasında bir anahtar konmuştur. Şekil 7.7'de ise üç fazlı üç katlı dönüştürücünün IGBT yarıiletken elemanlarını süren tetikleme sinyalleri

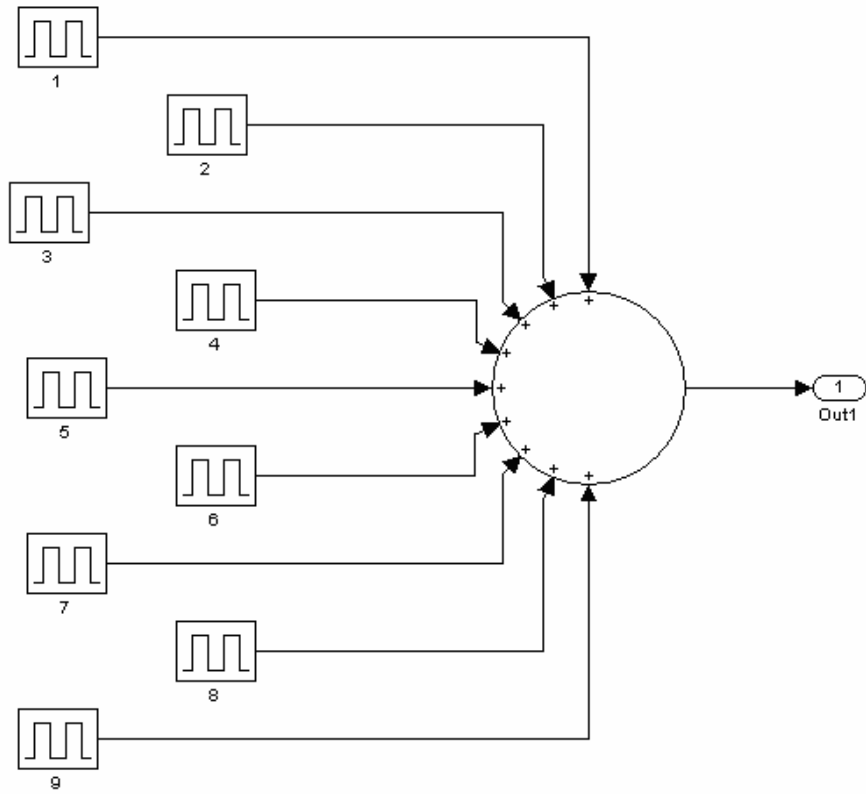
görülmektedir. Her bir *Pulsen* ($n=1, 2, \dots, 12$) bloğu bir IGBT sürmektedir. Şekil 7.8'de bu *Pulsen* bloklarından birisi görülmektedir.



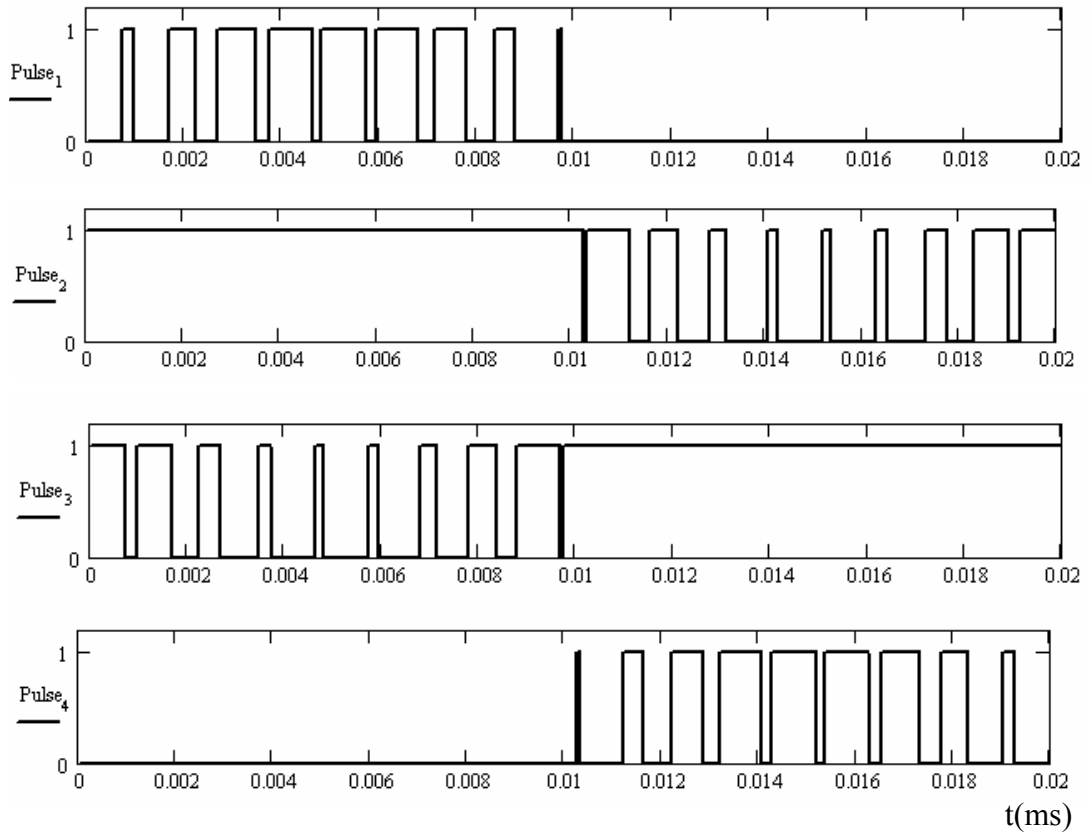
Şekil 7.6: 3 Level Inverter bloğu

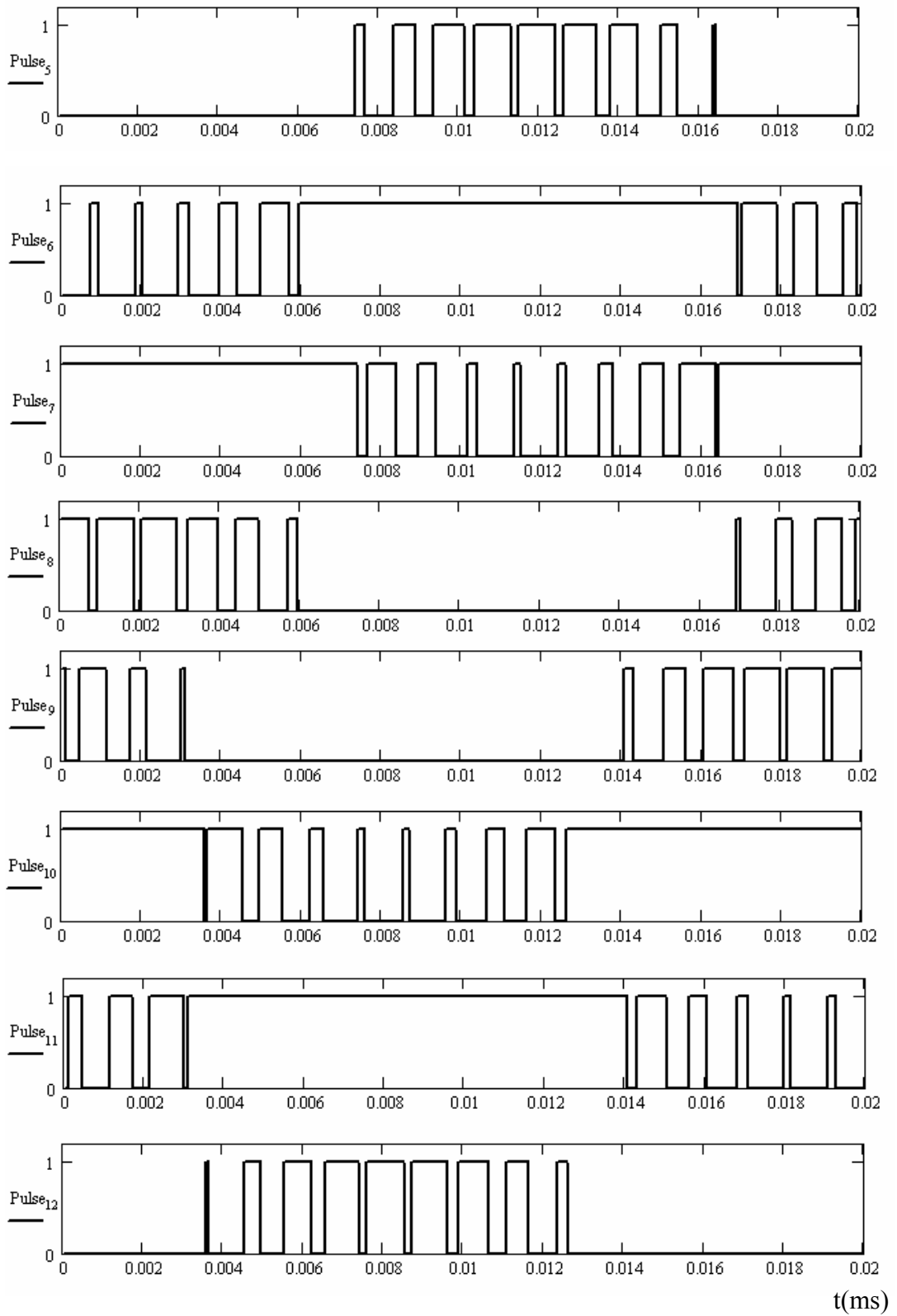


Şekil 7.7: PWM Generator bloğu



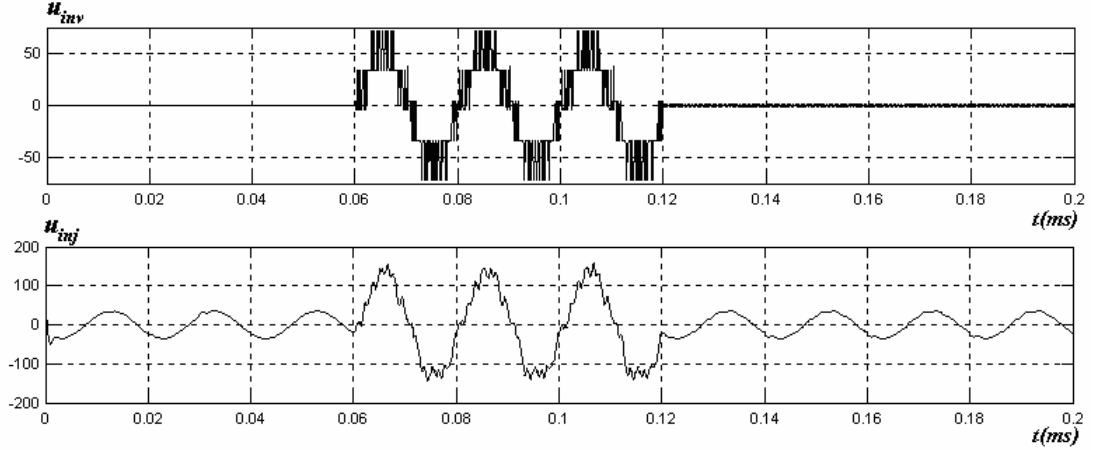
Şekil 7.8: Pulsen blokları



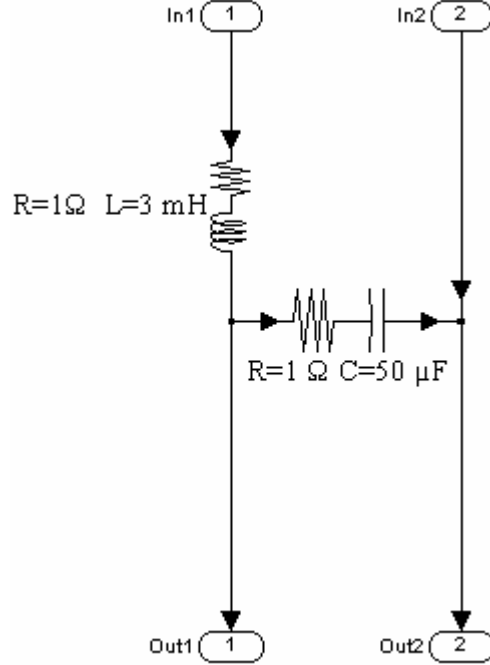


Şekil 7.9: Üç fazlı IGBT bloğunun tetikleme sinyalleri

Şekil 7.9'deki tetikleme sinyalleri uygulandığında "3 Level Inverter" bloğunun çıkış gerilimi Şekil 7.10'da (u_{inv}) görülmektedir. Burada çıkış gerilimi sinüs sinyaline göre oldukça harmoniklidir ve şebekeye uygulanmadan harmonik bozulma miktarının düşürülmesi gereklidir. Bu amaçla Şekil 7.11'de görülen filtre devresi dönüştürücü çıkışına bağlanmıştır.



Şekil 7.10: Dönüştürücü çıkış gerilimi ve filtrelenen D.G.D gerilimi

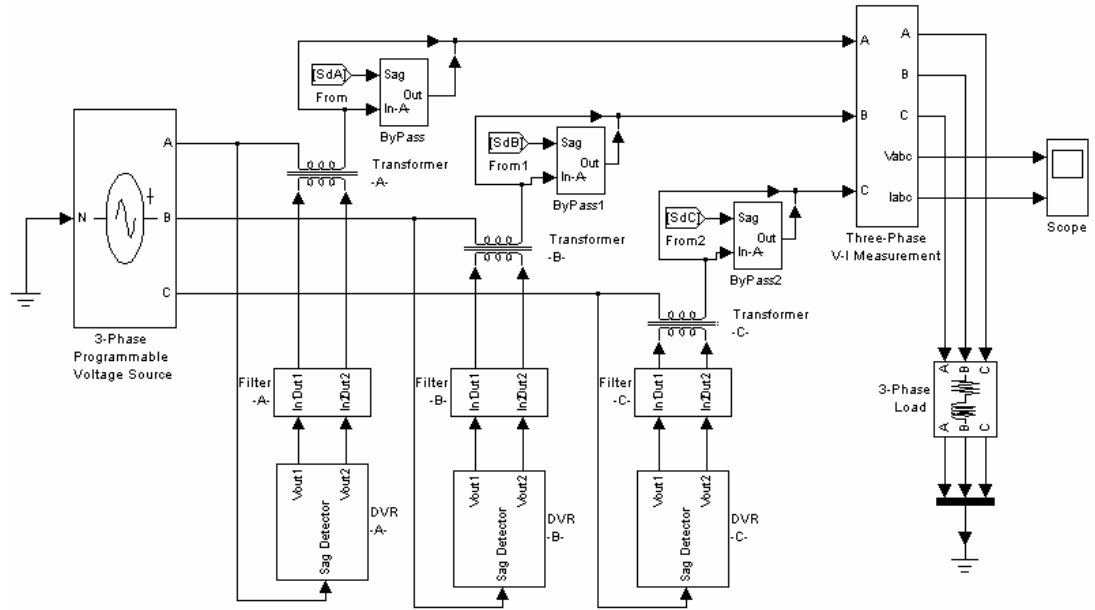


Şekil 7.11: Filtre devresi

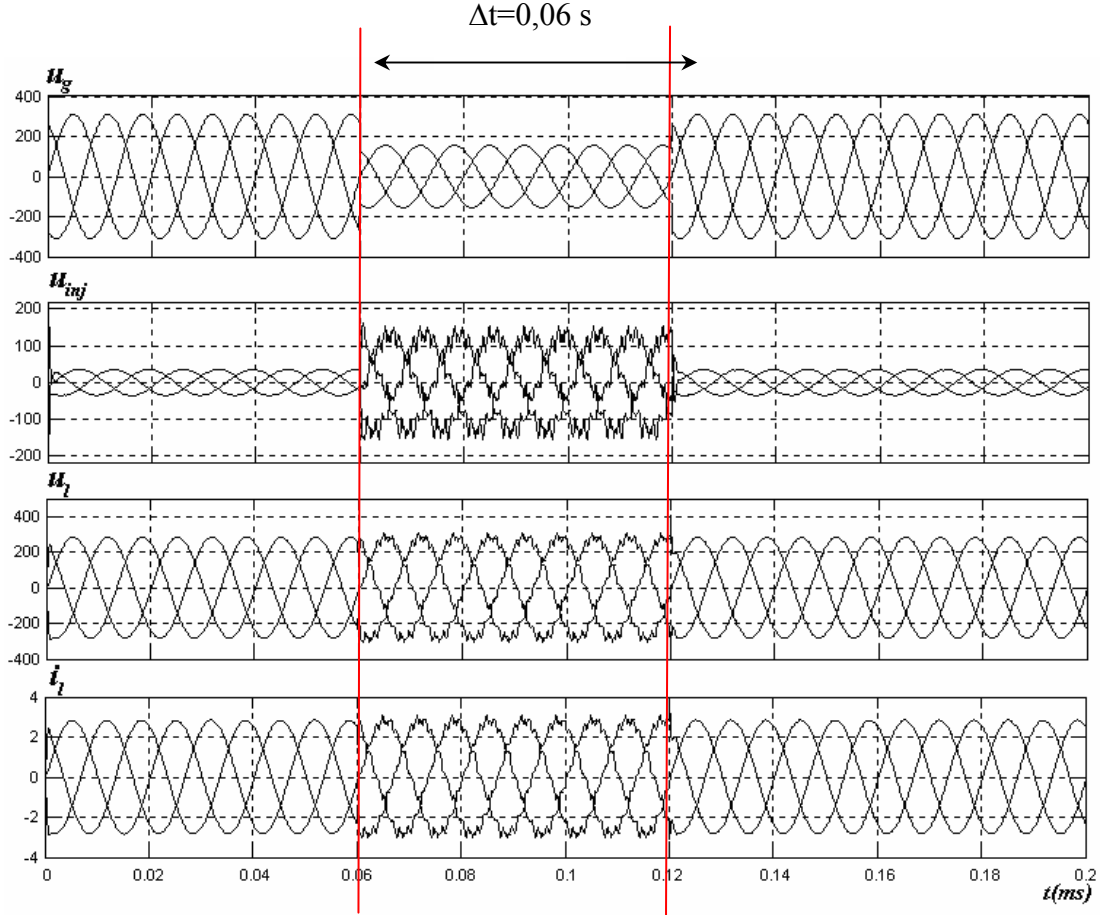
7.2 Üç Fazlı D.G.D Modeli

Tek fazlı D.G.D tasarımından sonra üç fazlı D.G.D tasarımı yapılmıştır. Bu amaçla oluşturulan model Şekil 7.12’de görülmektedir. Üç fazlı D.G.D modeli için her fazda bir fazlı D.G.D modeli kullanılmış ve açılarda 120^0 kaydırma yapılmıştır. 3 fazlı modelde her bir faza bağlı “DVR” ve “Filtre” bloklarının içeriği bir fazlı D.G.D’nin aynısıdır. Dolayısıyla sistemde her faz birbirinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Böylece, sistemde üç faz dengeli hataların yanı sıra dengesiz hatalarda da gerilimi kompanse edilebilmektedir.

Sistemde yük geriliminin ve akımının değişimini görmek amacıyla “Three Phase V-I Measurement” bloğu kullanılmıştır. Şekil 7.13’de ise 0,06 s süren %50 oranındaki bir simetrik gerilim düşmesi sırasında sırasıyla kaynak, yük ve D.G.D’nin üreteceği gerilimler ile yük akımının değişimi görülmektedir.



Şekil 7.12: Üç fazlı D.G.D’nin MATLAB modeli



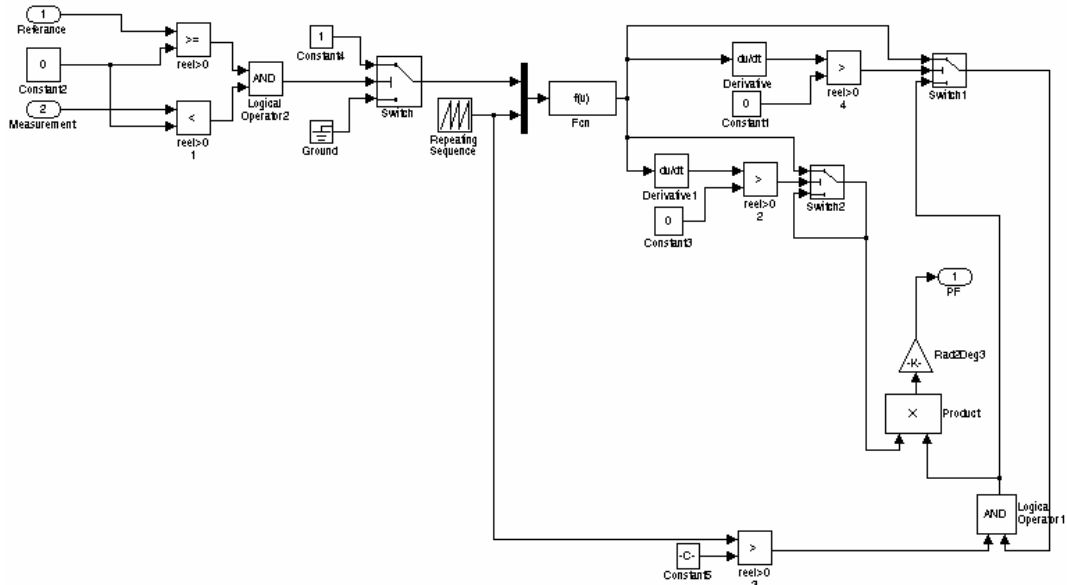
Şekil 7.13 Üç fazlı D.G.D modelinde Kaynak gerilimi, Yük gerilimi, D.G.D'nin üreteceği gerilim, Yük akımı

Şekil 7.13'den görüleceği gibi üç fazlı D.G.D modelinde bir fazlı modelin sonuçlarına benzer şekilde gerilim düşmesinin yük üzerindeki etkisi en aza indirilmiştir. Gerilim düşmesi sırasında yük uçlarındaki gerilimde bir miktar %12 oranında bir harmonik bozulma oluşmuştur. Filtre devresi tasarımında yapılacak geliştirme ile bozulma miktarı düşürülebilir.

Üç fazlı D.G.D modelinde gerilim düşümü sırasında oluşan faz farkını gidermek amacıyla her bir fazdaki IGBT'lerin tetikleme açıları sırasıyla $-24,9^{\circ}$, $95,1^{\circ}$ ve $215,1^{\circ}$ olarak ayarlanmıştır.

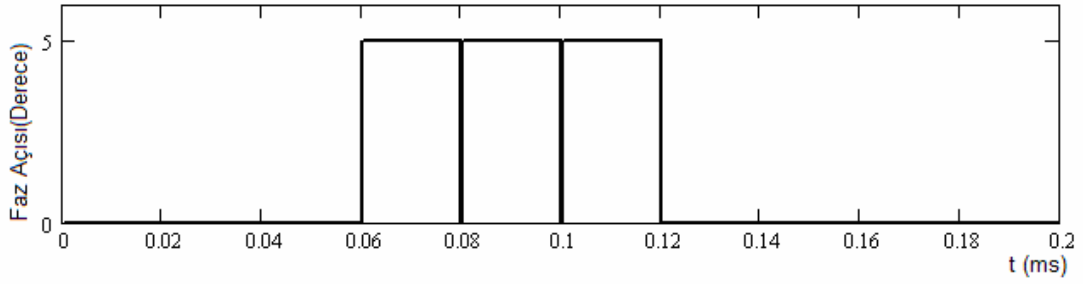
7.3 Tasarlanan Bir Fazlı D.G.D Modelinde Gerilim Kompanzasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Şekil 7.1’de görülen bir fazlı D.G.D modeli üzerinde yukarıda açıklanan gerilim kompanzasyon yöntemlerinden “Fark Gerilim Kompanzasyonu” ve “Sabit Faz Kompanzasyonu” yöntemlerinin denenmesi amacıyla, benzetim süresi boyunca şebeke, yük, D.G.D gerilimleri ile yük akımının faz açısının değişimini hesaplayan Şekil 7.14’de görülen ölçüm bloğu tasarlanmıştır.



Şekil 7.14: Güç faktörü ölçüm bloğu tasarımı

Şekil 7.14’de görülen güç faktörü ölçüm bloğunda, ölçülen şebeke gerilimi ve referans sinüs dalgası sistemin girişleridir. Buna göre referans giriş gerilimi ile karşılaştırılan değer sıfırdan büyük olduğu sürece, eğimi 0,02 olan bir üçgen dalga üreticiden çıkış alınır. Ölçüm değeri sıfırdan geçene kadar üçgen dalganın eğimi değişmez. Sıfırdan geçtiği andaki değere karşı gelen açı değerinin sabit kalmasını için bir ek tasarım yapılmıştır. Şekil 7.15’de görüldüğü gibi bu faz kayması arıza süresince sabit kalmıştır. Kaynak geriliminde 0,06. saniyede düşme başlarken 5^0 bir faz kayması olmuştur.



Şekil 7.15: Şebeke gerilimi faz açısının değişimi

Gerilim kompanzasyon yöntemlerinin etkileri incelenirken şebeke, yük ve D.G.D gerilimleri ile yük akımının faz açısının değişimleri ölçülerek D.G.D'nin sisteme vereceği aktif güç bulunmuştur. Tablo 7.2'de gerilim düşmesinden önce ve gerilim düşmesi sırasındaki gerilim ve akım değerleri verilmiştir. Fark Gerilim Kompanzasyonu ve Sabit Faz Kompanzasyonun denenmesi amacıyla D.G.D'nin, gerilim düşmesi sırasında sisteme vereceği gerilimin açısı değiştirilmiştir. Buna bağlı olarak D.G.D'den şebekeye verilecek aktif güçler karşılaştırılmıştır.

F.G.K yönteminde D.G.D'nin üreteceği gerilimin faz açısı $-24,9^{\circ}$ kaydırılmıştır. Bu sayede gerilim düşmesi sırasında şebeke gerilimi faz açısı 5° atlama olmasına rağmen yük geriliminin açısı, $2,8^{\circ}$ lik bir değişimle $6,5^{\circ}$ olmuştur. Yapılan benzetimlerde bu değerlerin daha aşağı indirilemediği görülmüştür.

Tablo 7.2: Gerilim kompanzasyon yöntemine göre elde edilen gerilim, akım ve aktif güç değerleri

Gerilim Komp. Yönt.	t	$u_g(\text{V})$	$u_{inj}(\text{V})$	$u_l(\text{V})$	i_l	$P_{inj}(\text{W})$
F.G.K	Gerilim Düşmesi Öncesi	$220\langle 0^{\circ}$	$24\langle 144^{\circ}$	$200\langle 3,7^{\circ}$	$0,55\langle 144^{\circ}$	10,8
	Gerilim Düşmesi Sırasında	$110\langle 5^{\circ}$	$92\langle 8,7^{\circ}$	$201\langle 6,5^{\circ}$	$2,03\langle 8,6^{\circ}$	178,31
S.F.K	Gerilim Düşmesi Öncesi	$220\langle 0^{\circ}$	$24\langle 144^{\circ}$	$200\langle 3,7^{\circ}$	$0,55\langle 144^{\circ}$	10,8
	Gerilim Düşmesi Sırasında	$110\langle 5^{\circ}$	$91,4\langle 18,4^{\circ}$	$199\langle 8,7^{\circ}$	$2,01\langle 8,6^{\circ}$	163,54

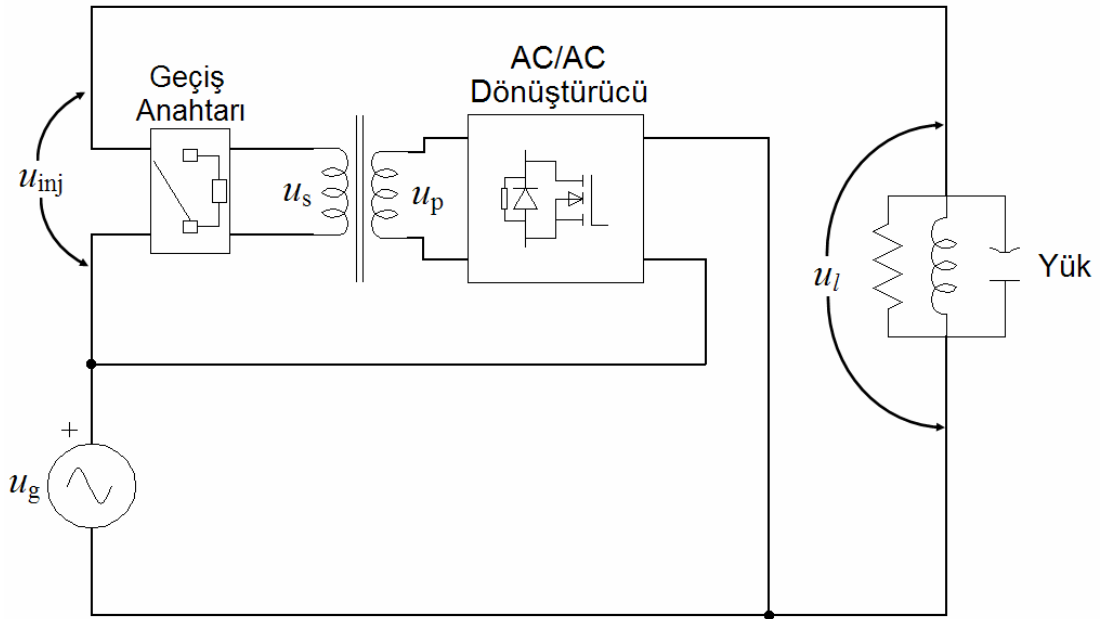
S.F.K yönteminde ise yük geriliminin faz açısı şebeke geriliminin faz açısı kadar bir atlama yapması için D.G.D'nin üreteceği gerilimin faz açısı $-22,3^0$ kaydırılmıştır. Bu durumda yük geriliminin açısı da şebeke geriliminin açısı gibi 5^0 değişmiştir ($3,7'$ den $8,7'$ ye).

Gerilim düşmesi sırasında D.G.D'nin yüke vereceği aktif güçler kıyaslandığında, F.G.K'da S.F.K'ye göre $14,46$ W fazla güç ihtiyacı olduğu görülmektedir. Bu nedenle enerji depolama biriminin sınırlı olduğu böyle bir uygulamada S.F.K gerilim kompanze yönteminin kullanılması daha uygun olacaktır.

8. GELİŞTİRİLEN D.G.D TASARIMI

Bir önceki bölümde, MATLAB/Simulink programı ile tek fazlı ve üç Fazlı olarak tasarlanan D.G.D'nin şebeke gerilimi genliği ve fazında meydana gelen değişimlere cevabının, hangi kompanzasyon yönteminde daha etkin ve verimli olduğu araştırılmıştır.

Bu çalışmalardan sonra tasarımı gerçekleştirilen D.G.D, geleneksel tasarımdan farklı olarak dışarıdan bir gerilim kaynağı içermemektedir. Gerilim düşmesinin başlangıç/bitiş anları ile düşme miktarını Dalgacık Dönüşümü ile algılanan yeni bir tasarımdır. Tek fazlı sistem için geliştirilen bu tasarımın şeması Şekil 8.1'de görülmektedir.



Şekil 8.1: Geliştirilen D.G.D tasarım

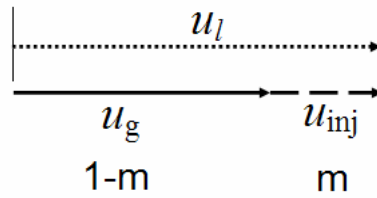
Geliştirilen tasarımda AC/AC dönüştürücü şebekeye seri bağlı bir transformatörün primer devresine bağlıdır. Gerilim düşmesi sırasında u_g şebekeye gerilimine seri bir

gerilim kaynağı olarak çalışarak gerekli u_{inj} gerilimini şebekeye verir ve böylece u_l yük geriliminin sabit tutulmasını sağlar.

Şebeke geriliminde herhangi bir gerilim düşmesi olmadığı durumda, AC/AC dönüştürücü devresi tarafından kontrol edilen geçiş anahtarı, transformatör sekonder uçlarını kısadevre ederek transformatör üzerinde bir gerilim düşümü olmasının ve güç kaybının önüne geçer. Bu durumda u_{inj} gerilimi sıfırdır.

Gerilim düşmesi anında AC/AC dönüştürücü devresi geçiş anahtarını devre dışı bırakarak düşme miktarına göre belirlenen çıkış gerilimini transformatör üzerinden şebekeye uygulayarak yük geriliminin sabit kalmasını sağlar. Şebeke gerilimi tekrar anma değerine yükseldiğinde geçiş anahtarları devreye girer ve D.G.D'yi devre dışı bırakır.

Geliştirilen D.G.D tasarımında gerilim düşümü sırasında üretilecek olan gerilim, şebeke gerilimi ile aynı fazda olacaktır. Buna ait vektörel gösterim Şekil 8.2'de görülmektedir. Burada “m” gerilim düşme miktarıdır.



Şekil 8.2: Şebeke, yük ve D.G.D gerilimlerinin fazör gösterimi

Arızasız durumda şebeke geriliminin olması gereken değeri u_{ref} olarak alındığında, gerilim düşmesi sırasında D.G.D devreye girdiğinde yük gerilimi ve şebeke gerilimi:

$$u_l = u_g + u_{inj} \quad (7.1)$$

$$u_g = (1 - m)u_{ref} \quad (7.2)$$

biçimindedir.

D.G.D'nin şebekeye bağlantı transformatörünün çevirme oranı sarım sayısına göre N_p/N_s ve AC/AC dönüştürücü çıkışındaki gerilimini D doluluk oranında ise D.G.D tarafından üretilen gerilim,

$$u_{inj} = \frac{N_p}{N_s} u_p = \frac{N_p}{N_s} D u_g \quad (7.3)$$

olacaktır.

(8.2) ve (8.3) denklemleri (8.1)'de yerine konulduğunda yük gerilimi

$$u_l = (1-m) u_{ref} + \frac{N_p}{N_s} D (1-m) u_{ref} \quad (7.4)$$

olarak elde edilir.

m değeri $[0,1-0,9]$, N_s/N_p $[0,5-9]$ arasında değişirken hesaplanan D ile çizilen grafik Şekil 8.3'de verilmiştir. (8.4) denkleminde $u_{ref} = u_l$ alındığında:

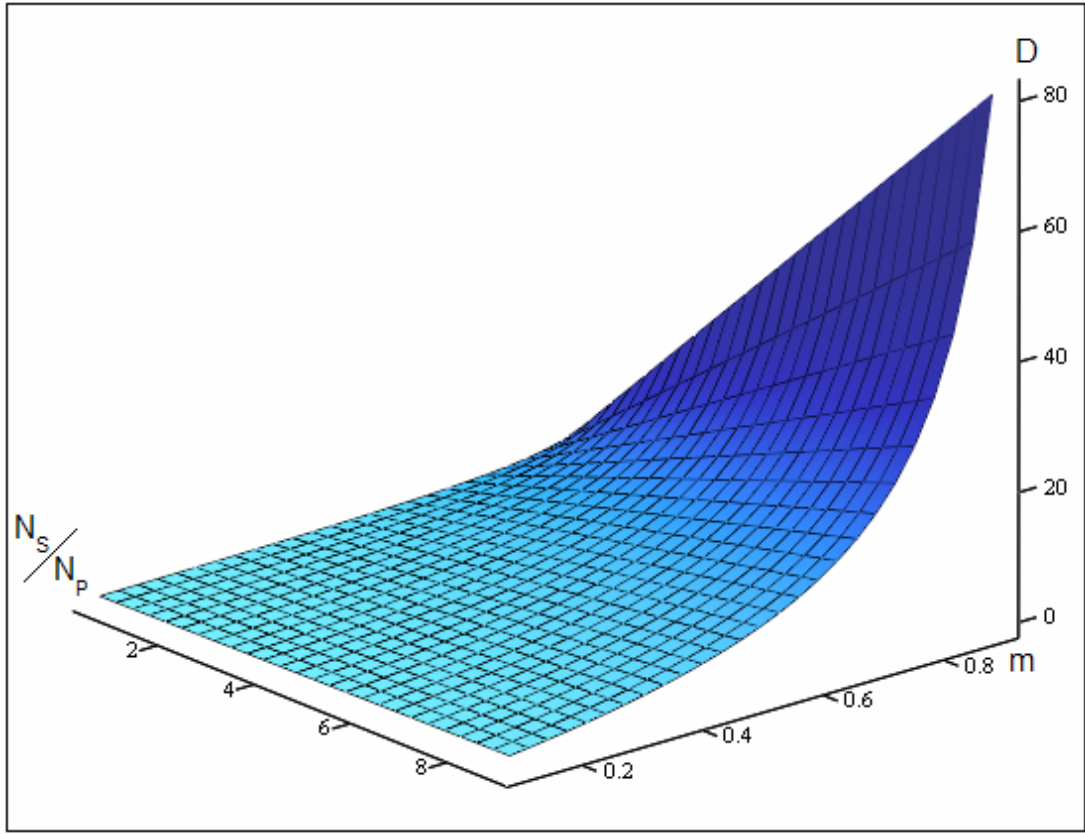
$$D = \frac{m}{(1-m)} \frac{N_s}{N_p} \quad (7.5)$$

elde edilir.

D 'nin en büyük değeri 1'dir. Dolayısıyla kompanze edilebilecek en büyük gerilim düşme miktarı:

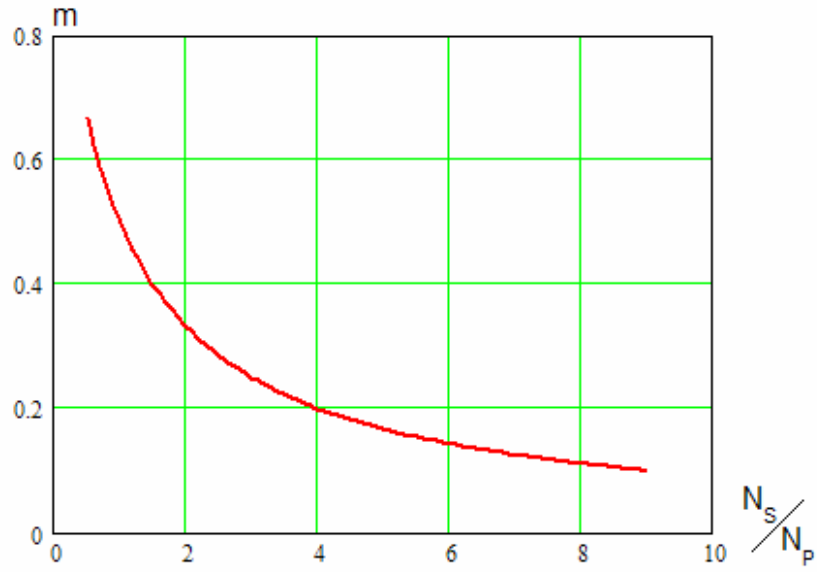
$$m = \frac{1}{\left(1 + \frac{N_s}{N_p}\right)} \quad (7.6)$$

olarak bulunur.



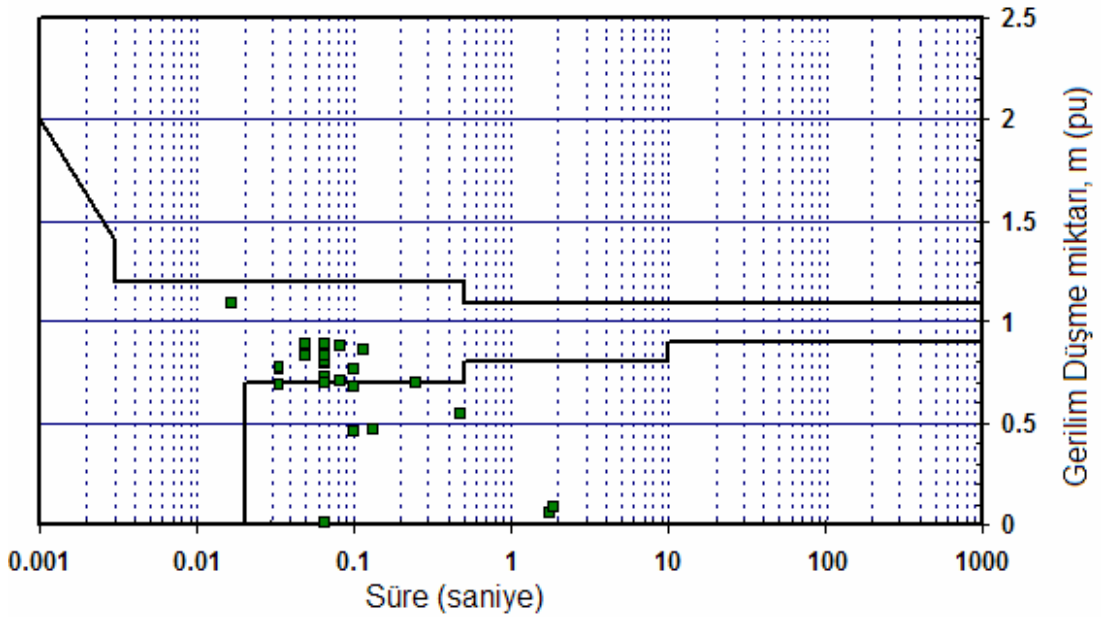
Şekil 8.3: Doluluk oranının dönüştürme oranı ve gerilim düşme genliğine bağlı değişimi

Şekil 8.4'de trafo dönüştürme oranının kompanze edilebilecek en büyük gerilim düşme orana bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 8.4: Dönüştürme oranına göre kompanze edilebilecek gerilim düşmesinin değişimi

IEC standartlarındaki tanıma göre gerilim düşmesi süresi 10 ms (50 Hz frekansında) ila 1 dakika arasında ve gerilimin genliği 0,1-0,9 p.u. arasında değişebilir. Fakat güç sistemlerinde yapılan çalışmalar ve alınan ölçümlerin çoğunda gerilim düşmesinin 0,5 p.u üzerinde olmadığı belirlenmiştir. Şekil 8.5’de bir endüstriyel tesisten 2,5 yılda alınan ölçümlere göre kaydedilen gerilim düşmelerinin genlikleri ve süreleri görülmektedir [177]. Bu verilere dayanarak D.G.D tasarımında kompanze edilecek en büyük gerilim düşme miktarı %50 olarak seçilmiştir. Bağlantı transformatörün dönüştürme oranı ise 1:2’dir.



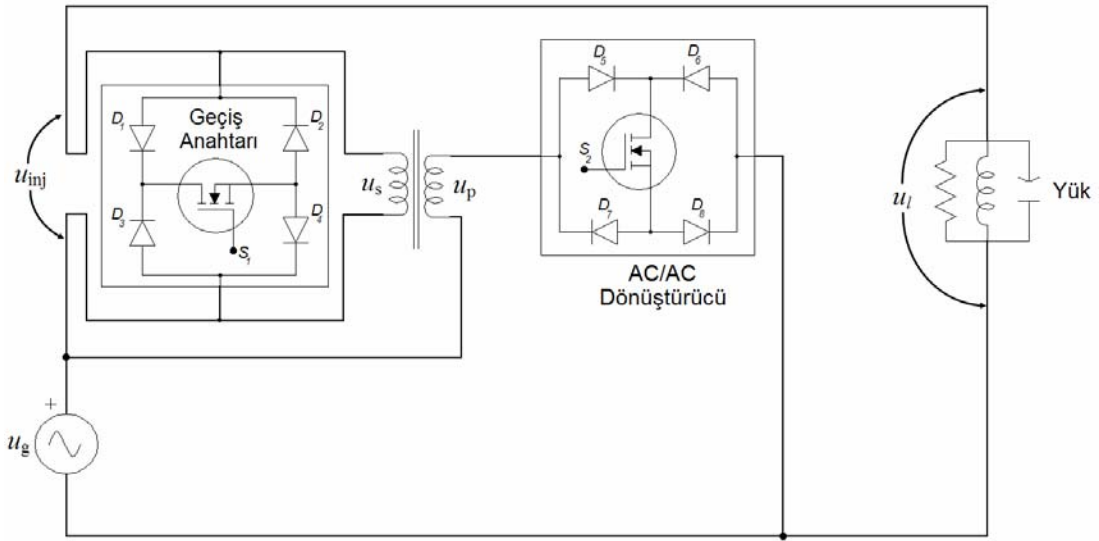
Şekil 8.5: Bir endüstriyel tesiste ölçülen gerilim düşmeleri

Şekil 8.4’e göre dönüştürme oranının 1:4 olması durumunda üretilecek gerilim yaklaşık %40 oranında değişmektedir. Bunun yanında AC/AC dönüştürücünün büyüklüğü transformatör N_s/N_p oranı ile doğrudan ilişkilidir. Tasarımda dönüştürme oranı 1:2 olarak seçilmiştir.

8.1 AC/AC Dönüştürücü Devresi Tasarımı

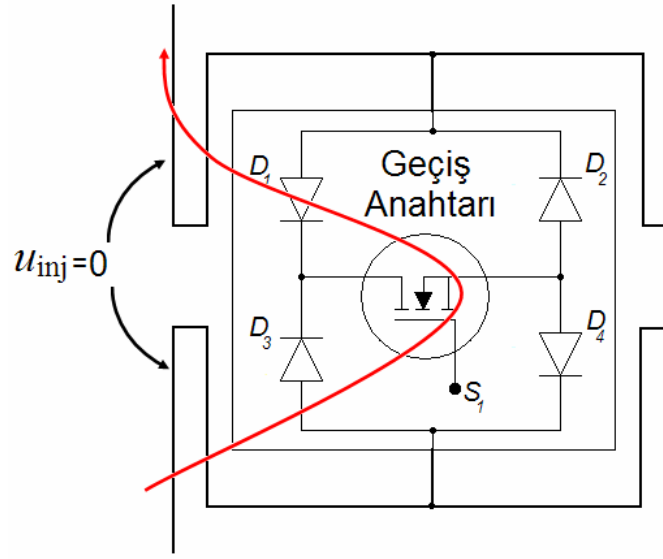
Şekil 8.6’da D.G.D için geliştirilen AC/AC dönüştürücünün açık şeması görülmektedir. Devrede anahtarlama elemanı olarak iki adet MOSFET kullanılmıştır (S_1, S_2). Tasarımda MOSFET sayısını azaltmak amacıyla, hem pozitif hem de negatif

alternanslarda anahtarlama yapmak için MOSFET'ler köprü tip doğrultucunun ortasına bağlanmıştır. Şebeke gerilimi nominal değerinde iken, gerilimin her iki alternansında da S_1 yarıiletkeni devrededir. Bu durumda dönüştürücü çıkış gerilimi sıfır ve yük gerilimi şebeke gerilimine eşit olacaktır. D.G.D "geçiş modunda" çalışmaktadır. Geçiş modunda transformatörün uçları kısadevre olduğu için şebekeden çekilecek olan güç doğrudan yüke iletilecektir. bu durum Şekil 8.7'de görülmektedir.

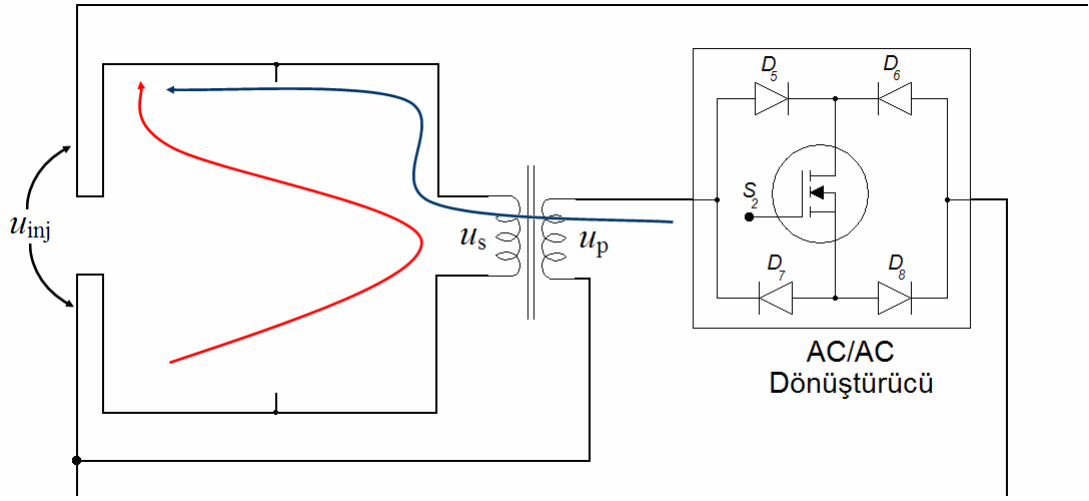


Şekil 8.6: Tasarlanan tek fazlı D.G.D

Şebeke geriliminde olan ani bir gerilim düşümü ile D.G.D "geçiş modun"dan çalışmadan, "işlem modu"na geçer. Bunun sonucu olarak geçiş anahtarları devre dışı bırakılırken, AC/AC Dönüştürücü devresindeki S_2 yarıiletkeni, yük gerilimini sabit tutmak için gerekli olan gerilimi, D doluluk oranını değiştirerek ayarlar (Şekil 8.7). Burada da anahtarlama yapan S_2 MOSFET'i köprü doğrultucu içerisinde kullanılarak her iki alternansta da anahtarlama yapması sağlanmıştır. Bu tasarımda kullanılan diyotların her birinin üzerinde iletim anında 0,7 Volt civarı bir gerilim düşümü ölçülmüştür. Her bir alternansta iki adet diyot devrede olacağından gerilim düşümü yaklaşık 1,4 V olmaktadır. Kompanze edilecek gerilim tek fazlı sistemde yaklaşık 110 V olduğu için bu kayıp ihmal edilecek düzeydedir.

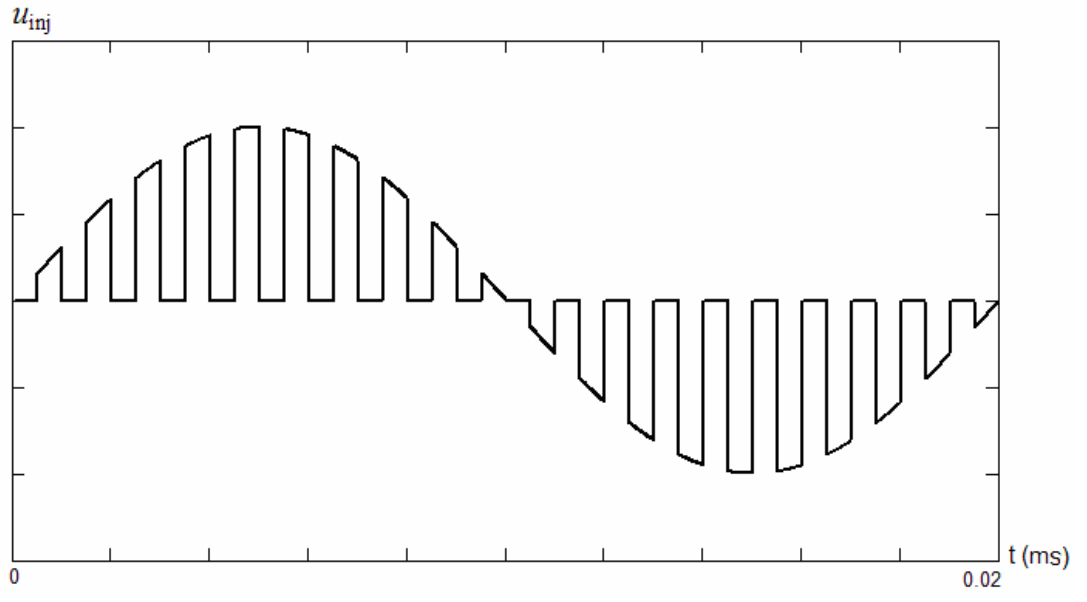


Şekil 8.7: D.G.D'nin geçiş modunda çalışması



Şekil 8.8: D.G.D'nin işlem modunda çalışması

Dönüştürücü devresinde üretilecek olan gerilim örnek olarak Şekil 8.9'da görüldü gibidir.



Şekil 8.9: Gerilim düşmesi sırasında D.G.D'de üretilen gerilim

9. GERİLİM DÜŞMESİNİN DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE ALGILANMASI

9.1 Gerilim Düşümünün Algılanmasında D.D Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Güç kalitesi alanında D.D. kullanılarak gerilim ve akım sinyalindeki bozulmaların (dalga şekli bozulmaları, geçici olaylar, çentik, salınımlı olaylar, yüksek frekanslı bileşenler, kesintiler, düşme ve yükselmeler) belirlenmesi sağlanmaktadır.

Harmonikler ve salınımlı olayların D.D. ile analizi ile ilgili değişik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Pham ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada sinyal dalgacık filtre birimlerinden geçirilerek Çoklu Çözünürlük Analizi gerçekleştirilmiştir [180]. 1999 yılında kullanılan bu yöntemde Ayrık Daubechies ana dalgacığı içeren D.D. ile alt bantlara ayrılan sinyale Sürekli Dalgacık Dönüşümü uygulanarak tam ve ondalıklı sayılı harmonikler hesaplanabilmektedir. Pham ve arkadaşları tarafından yapılan diğer çalışmalarda ise [181,182] alt frekans harmoniklerinin belirlenmesi için daha az etkili harmonik bileşenlerin yok edilerek yöntem yenilenmiştir. Aynı yaklaşımı harmonik bileşenler ve salınımlı olaylar için bazı çalışmalarda kullanılmıştır [183-188]. Farklı ana dalgacıklar kullanarak yöntem Driesen ve arkadaşları tarafından tekrarlanmıştır [189]. Diğer bir yöntem de ise Ren Zhen harmonikleri trapezoid kompleks dalgacık fonksiyonları ile ifade etmiştir [190]. Shyh ve Ming ise yöntemi salınımlı olaylar için uygulamıştır [191,192].

Bunun yanında Bollen, güç sistemlerindeki bozulmaların analizinde Dalgacık Dönüşümü ve Kısa Süreli Fourier Dönüşümü karşılaştırılmıştır. Buna göre boyutu iyi seçilmiş bir K.Z.F.D'nün daha verimli bir yöntem olduğu belirtilmiştir [193].

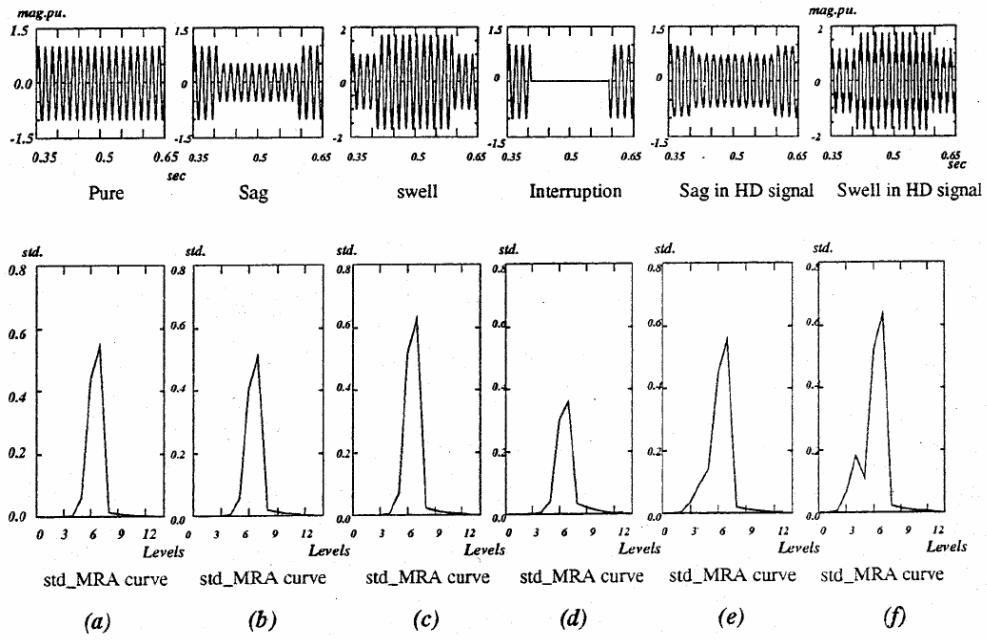
Güç sistemlerinde oluşan arızaların oluşmasının ve çeşidinin belirlenmesinde Çoklu Çözünürlük analizi ile dalgacık katsayılarına ayrılması işlemi kullanılmıştır. Santosa,

her bir ölçekteki dalgacık katsayılarının karesini alarak güç kalitesi bozulmalarını sınıflandırmıştır [194].

Gerilim düşmesinin başlama, bitiş anın belirlenmesi ve diğer güç kalitesi bozulmalarından ayırmak için Dalgacık Dönüşümünün kullanılması ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. Pastore Farklı dalgacık tipleriyle incelenen gerilim düşmelerinin hangi frekans aralığında en iyi belirlenebileceğini gösterilmiştir [195]. Buna göre yüksek frekans aralıklarını gösteren dalgacıklar gerilim düşmesinin başlangıç ve bitiş anının tespitinde tüm dalgacık türlerinde en iyi sonucu vermiştir.

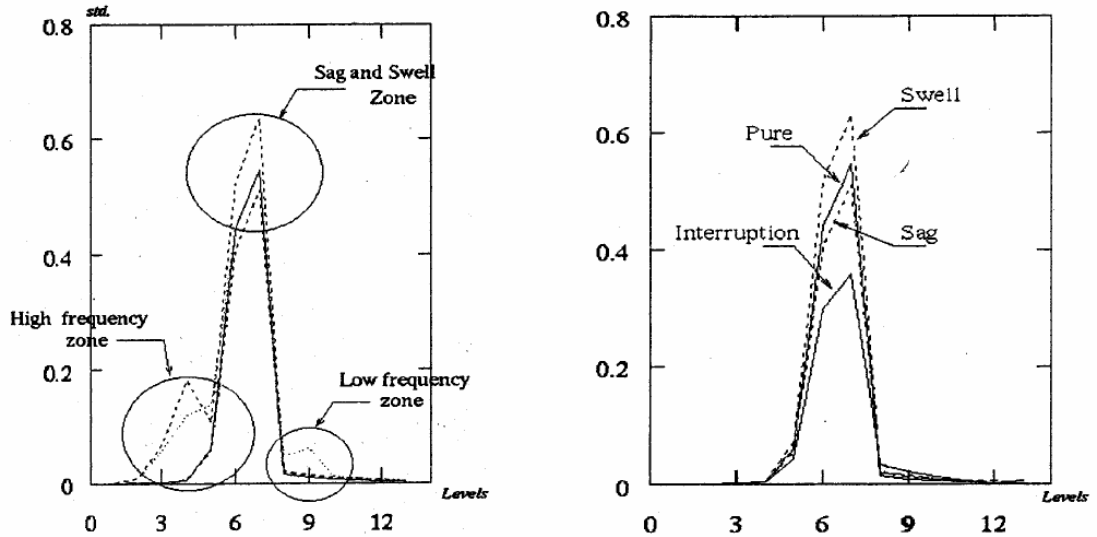
Parsons ve arkadaşları iletim sisteminden alınan ölçüm verilerine Ayırık Dalgacık Dönüşümü kullanılarak farklı ana dalgacık fonksiyonları ile gerilim düşmesinin başlangıç ve bitiş anının belirlenmesi gösterilmiştir [196]. Elde edilen sonuçlara göre Daub6 dalgacığının bu bozulma türü için en uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Düşme başlangıç ve bitiş anının belirlenmesinde en yüksek frekans aralığındaki dalgacık fonksiyonunun sürekli izlenmesi ve sınır değerlerin üzerine çıktığında arızanın tespitine dayanmaktadır. Bu yöntemde düşme miktarı ile ilgili bir bilgi elde edilememektedir.

Gauda ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda önerilen yöntem öncelikle güç kalitesi bozulmalarına uğramış sinyalleri çoklu çözünürlük analizi ile farklı ölçeklere ayrılmıştır [197,198]. Daha sonra en her bir ölçekte dalgacık için standart sapma hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler saf sinüs işaretinin standart sapma değerleriyle karşılaştırılmış ve frekans aralıklarına göre bozulmaların etkin olduğu bileşenler Şekil 9.1'deki gibi belirlenmiştir.

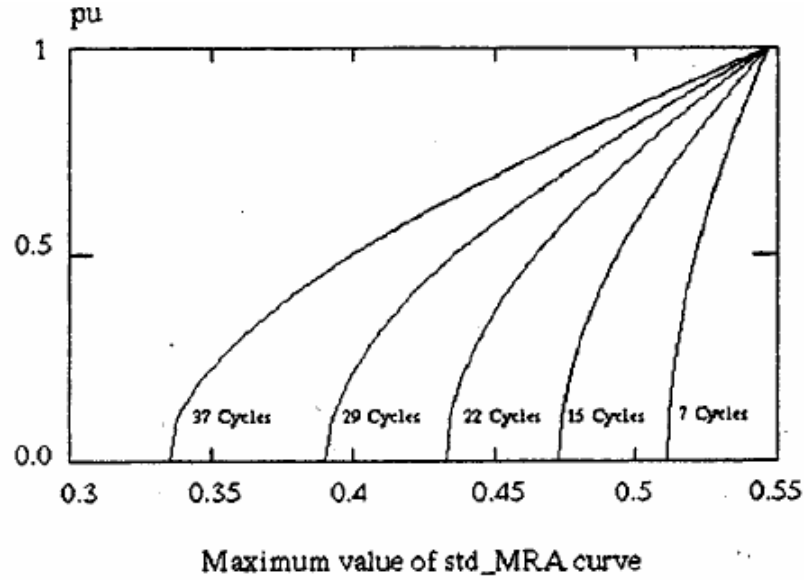


Şekil 9.1: Çoklu çözünürlük analizi yapılmış gerilim sinyalleri ve dalgacıkların standart sapmaları

Şekil 9.2’de gerilim bozulmalarının etkin olduğu frekans aralığı ve standart sapmalarının ideal sinüs sinyaline göre değişimi görülmektedir. Buna göre gerilim düşmesi 7. dalgacıkta en etkin biçimde belirlenmektedir. Bu sonuçlardan gerilim düşme miktarının düşme süresine göre değişimi de Şekil 9.3’deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 9.2: Çeşitli bozulmalarda standart sapmanın değişimi

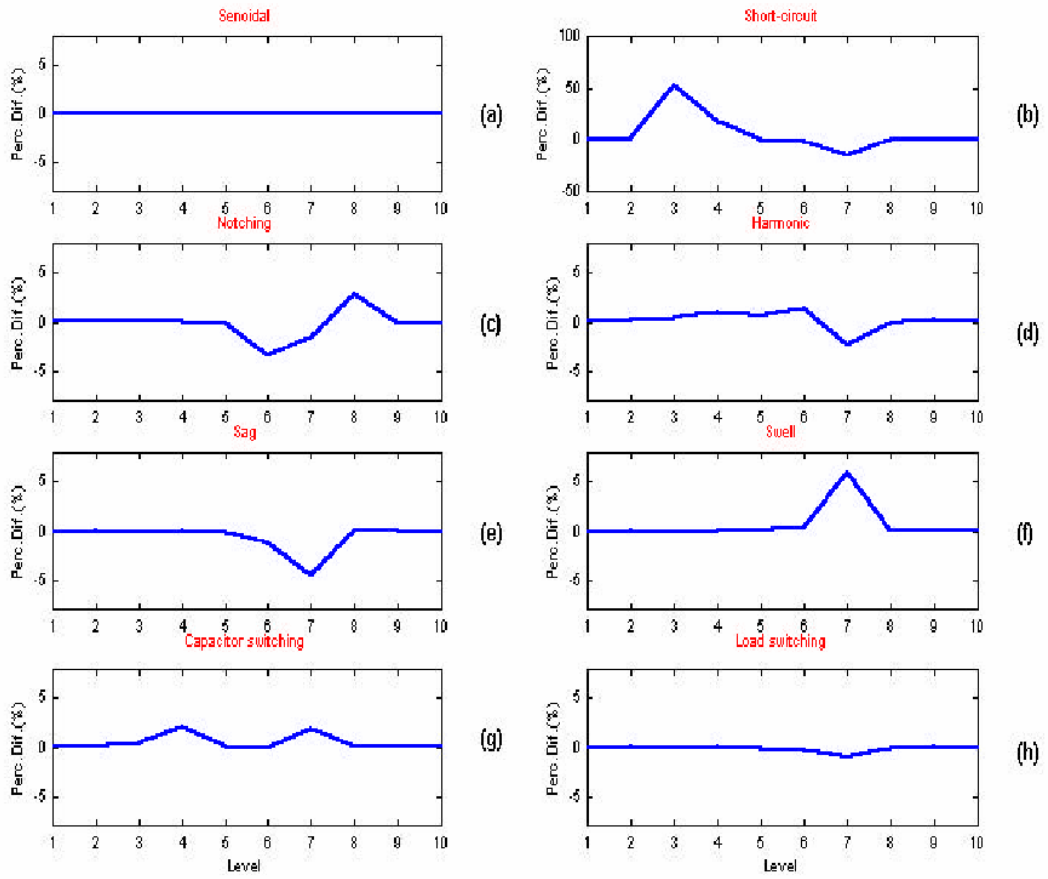


Şekil 9.3: Gerilim düşme miktarı ve süresine bağlı olarak standart sapmadaki değişim

D.D sonrası elde edilen dalgacık sinyallerinin modern kontrol yöntemleri uygulanarak daha fazla bilgi alınmasına çalışılmıştır. Örneğin dalgacık dönüşümü uygulanmış gerilim bozulma sinyallerinden elde edilen ölçekleme fonksiyonlarına Yapay Sinir Ağları uygulanmış ve bozulmanın çeşidi belirlenmiştir [199-201]. [202]-[205]'de ise Yapay Sinir Ağları yerine Bulanık mantık kullanılarak aynı analiz gerçekleştirilmiştir.

Wang Z.Q ve arkadaşları farklı frekans aralıklarında ölçeklenmiş gerilim düşmesi sinyallerinin RMS değerlerinin karşılaştırılmasına dayalı bir yöntem geliştirmiştir [206,207]. Aynı yazarlar geliştirdikleri yöntem ile gerilim düşmesinin başlangıç ve bitiş anlarını da belirlemişlerdir [204].

Recende ve arkadaşları güç kalitesi bozulmalarının belirlenmesi işlemi Ayrık Dalgacık Dönüşümü ile dalgacıklarına ayrılan sinyallerin her bir dalgacığın karesi alınmıştır [208]. Bunun amacı Parseval'in enerji teoreminden yararlanmaktır. En yüksek frekanslı bileşendeki değişim bozulmanın çeşidinin belirlenmesini sağlamıştır. Şekil 9.4'de bozulmalar için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 9.4: Çeşitli güç kalitesi bozulmalarında dalgacık fonksiyonlarının enerji dağılımları

9.2 Gerilim Düşümü Başlangıç, Bitiş Anları İle Düşme Miktarının D.D ile Belirlenmesi İçin Geliştirilen Yöntem

Güç sistemlerinde en sık karşılaşılan güç kalitesi problemi olan gerilim düşmesi sorunun çözümü için öncelikle arızanın hızla algılanması gereklidir. Çünkü gerilim düşmesinin süresi 10 ms - 1dakika arasındadır. Düşme oluştuğunda bunu kompanze edecek gerilim düzenleyiciye aynı zamanda düşme miktarı da bildirilmelidir. Bu amaçla düşmenin başlangıç ve bitiş anları ile düşme miktarını hızla hesaplayacak bir yöntem geliştirilmesi gereklidir.

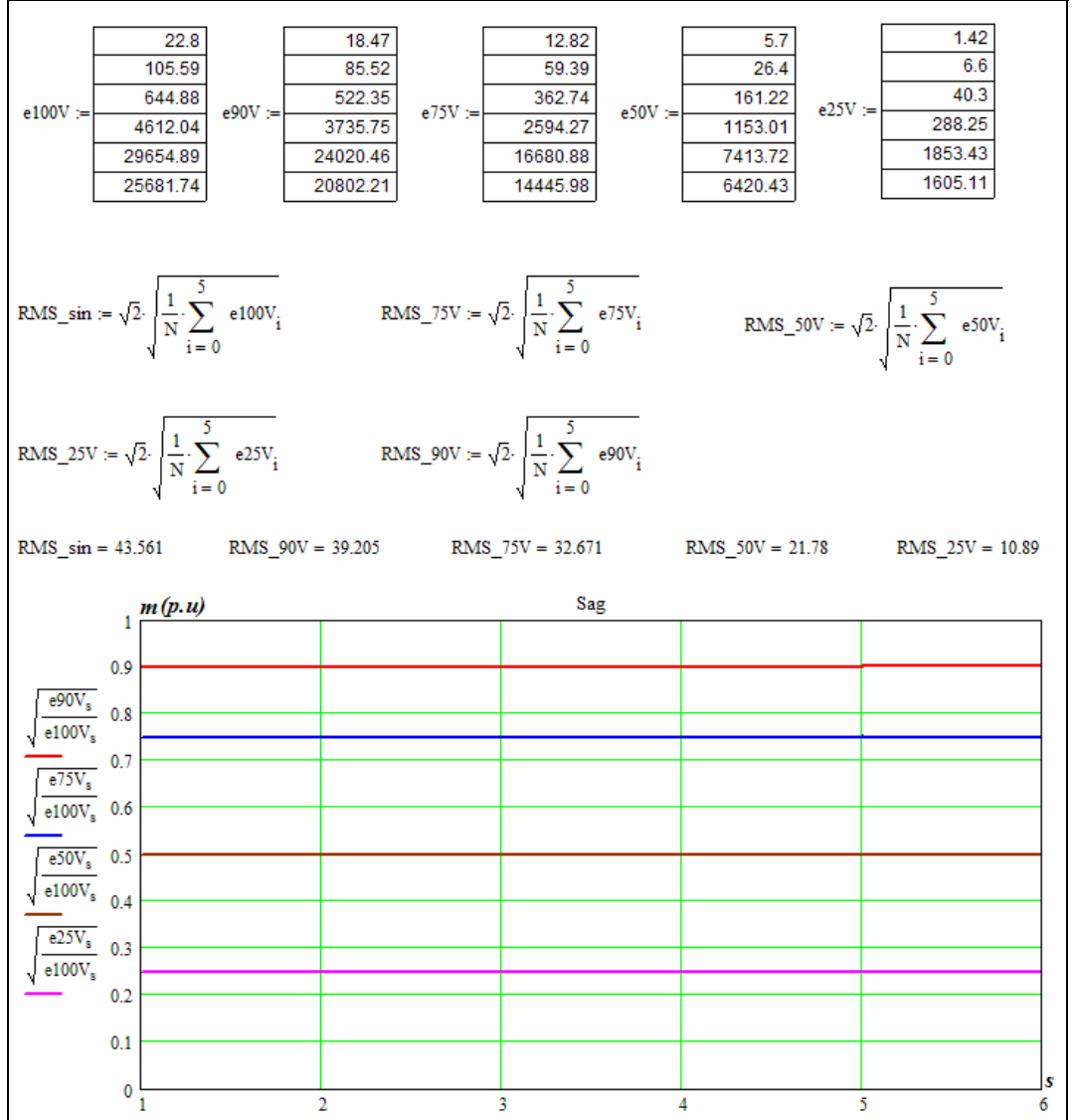
Literatürde yer alan bazı çalışmalarda, gerilim düşmesinin algılanmasında Dalgacık Dönüşümü ile yukarıda istenilen özellikleri sağlayan çözümler aranmıştır [209]. Bu konuda yapılan çalışmaların, gerilim düşmesinin diğer güç kalitesi bozulmalarından ayırt edilmesi ve enerji fonksiyonu kullanarak düşmenin başlangıç ve bitiş anlarını

tespitine yönelik olduğu görülmüştür [194]-[208]. Yapılan tüm çalışmalar benzetim çalışması olup, bu konuda yapılmış uygulamalı çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada Ayrık Dalgacık Dönüşümü kullanarak gerilim düşmesinin algılanması için öncelikle şebeke gerilimini örneklemek gerekmiştir. Bu amaçla kullanılabilir donanım seçenekleri DSP kartları, FPGA yâda çok hızlı mikrodenetleyicilerdir. Bunlar arasından mikrodenetleyici kullanımı tercih edilmiştir. Bu amaçla Microchip firması tarafından 2005 yılında geliştirilen 16 bitlik dsPIC 30F4011 ailesi kullanılmıştır. 30 MIPS hızında olup, hızlı hesaplamalar gerektiren uygulamalar için geliştirilmiştir.

Konu ile ilgili olarak bugüne kadar yapılan benzetimlerde Parseval'in enerji fonksiyonu ve dalgacık bileşen efektif değerlerinin hesaplanması kullanılabilir bir yöntem olarak ele alınmıştır. Gerilim örneklenirken mikrodenetleyiciye tam dalga doğrultulmuş sinüs sinyali verileceğinden, periyot 10 ms olmaktadır. . Şekil 9.5'de bir periyotta $N=64$ noktada örneklenmiş bir sinyal için hesaplanan dalgacık enerji fonksiyonlarının değişimi görülmektedir. Burada referans sinüs sinyale göre değişimler incelendiğinde gerilim düşme miktarının belirlenebildiği görülmektedir.

Tepe değerleri sırasıyla 100V, 90V, 75V, 50V ve 25V olan 64 noktada örneklenmiş saf sinüs biçimindeki gerilim sinyallerine 6. dereceden D.D uygulanmıştır. Hesaplanan dalgacık fonksiyonlarının değerlerinin karelerinin toplamları alınarak tüm seviyelerde elde edilen enerji miktarları Şekil 9.5'de e100V, e90V, e75V, e50V ve e25V matrislerinin satırlarında yer almıştır. Örneğin gerilimin tepe değeri 100V olduğunda 4. dalgacık katsayısının enerji değeri 4612,04 olarak hesaplanmıştır. Her bir gerilim değerine karşı gelen enerji seviyeleri hesaplandıktan sonra bunların toplamının karekökü alınarak gerilimlerin efektif değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar bu gerilimler anlık olarak örneklendiğinde elde edilecek sonuçlarla aynıdır.



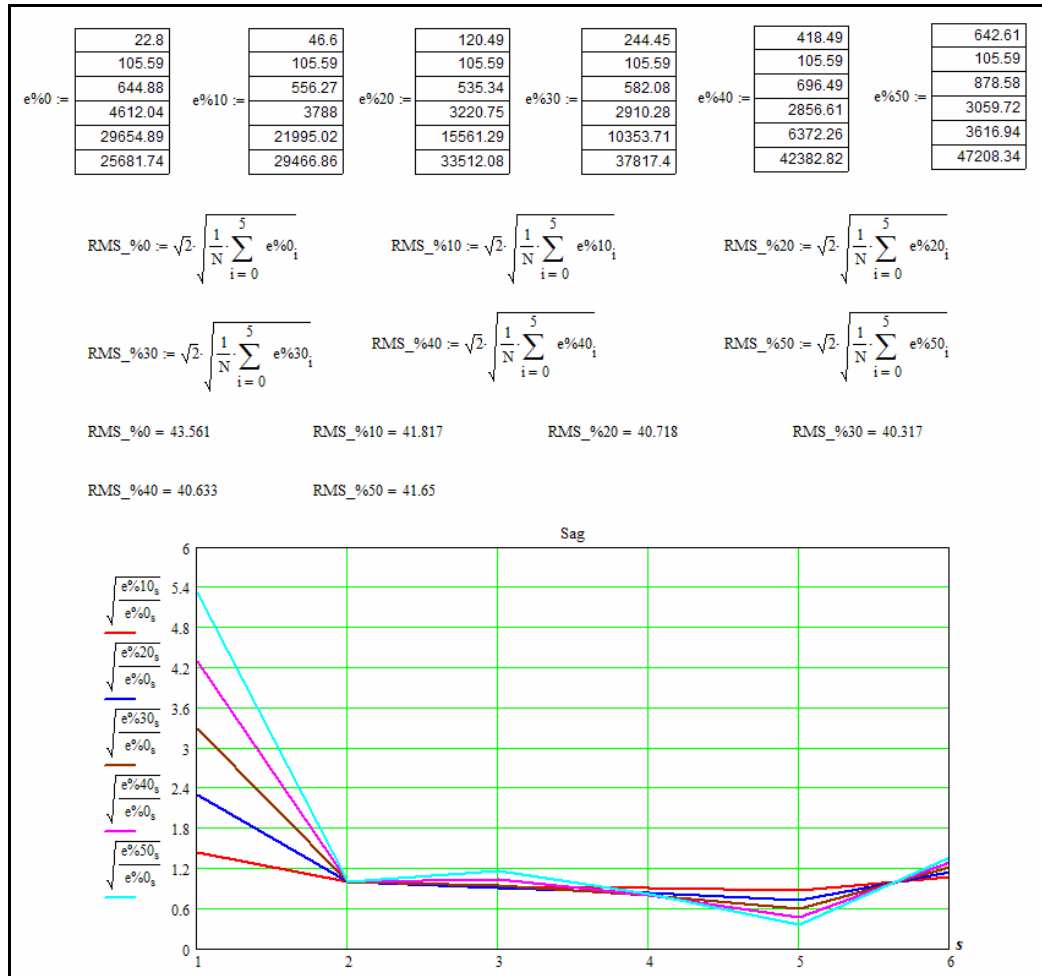
Şekil 9.5: Parseval enerji fonksiyonu kullanarak gerilim düşmesinin analizi

Hesaplanan etkin değerlerin referans sinyalin 100V'daki etkin değerine oranı ise düşme miktarını vermektedir. Ayrıca tüm dalgacık bileşenlerinde enerji fonksiyonlarının oranı da yine düşme miktarını vermektedir. Bu nedenle gerilim sinyalindeki düşme miktarı dalgacık bileşenlerinden sadece bir tanesinin hesaplanması ile belirlenebilir.

Şekil 9.5'deki analiz bir tam periyot boyunca oluşan gerilim düşmeleri için yapılmıştır. Burada tüm düşmeler gerilim sıfırdan geçtiği anda meydana gelmiştir. Fakat gerçek sistemlerde gerilim düşmesi çok nadir olarak 0^0 de başlar ve biter. Bu

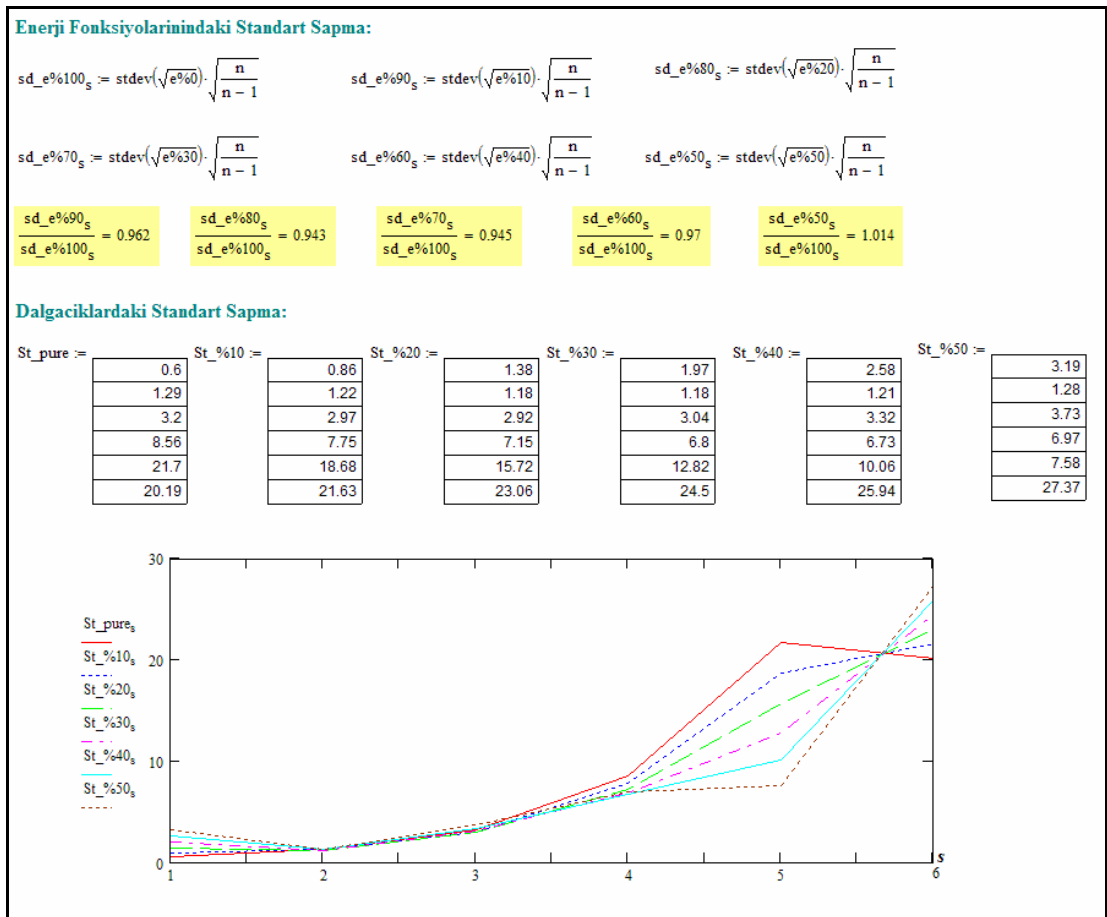
nedenle tüm dalgacık katsayılarının hesaplanması gerekir. Bu da uygulanabilir bir durum değildir.

Gerilim düşmesinin 90^0 'de oluşması durumunda dalgacık enerji fonksiyonlarının değişimi Şekil 9.6'daki gibi elde edilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi her bir dalgacığın enerji seviyesindeki değişim farklılık göstermektedir. Ayrıca sinyallerin etkin değerleri de bu şekilde enerji fonksiyonlarından hesaplanması durumunda bulunan değerler gerçek değerlerden farklı olacaktır. Dalgacık Dönüşümü ile güç ölçümü yapılan çalışmaların bazılarında bu nokta göz ardı edilmektedir. Sinyalin tam bir periyodunda ve arızasız durumunda güç bileşenlerini hesaplamak mümkündür. Fakat sinyalde herhangi bir arıza olması durumunda ise yanlış sonuçlar elde edilmektedir. Buna göre düşme miktarı ile ilgili olarak doğrudan bir sonuca ulaşmak bu yöntem ile mümkün olmamıştır.



Şekil 9.6: Gerilim düşmesi 90^0 olduğunda elde edilen sonuçlar

Şekil 9.6'dan alınan sonuçlara göre sinyalin etkin değeri yerine standart sapma miktarı kullanılarak gerilim düşme miktarının belirlenmesi için Şekil 9.7'deki hesaplamalar yapılmıştır. Burada sırasıyla st_e%100, st_e%90.. st_e%50, gerilim düşmesi 90° başladığında tepe değeri 100V, 90V...50V olan sinyallerin her bir seviyedeki enerji fonksiyonlarının standart sapma değerleridir. Hesaplanılan bu değerlerin tepe değeri 100V olan sinyale oranına bakılarak gerilim düşme miktarı ile ilgili olarak doğrudan bir kestirim yapılamamaktadır. Şekil 9.7'de görüldüğü gibi her bir dalgacık katsayısında oranlar birbirinden oldukça farklıdır. Ayrıca mikrodenetleyici veya diğer kartlarda standart sapma değerlerinin hesaplanması için uzun işlem sürelerine ihtiyaç olmaktadır. Dolayısıyla dalgacık standart sapma miktarlarına bağlı olarak gerilim düşmesinin belirlenmesinde uygulanabilir bir yöntem değildir.

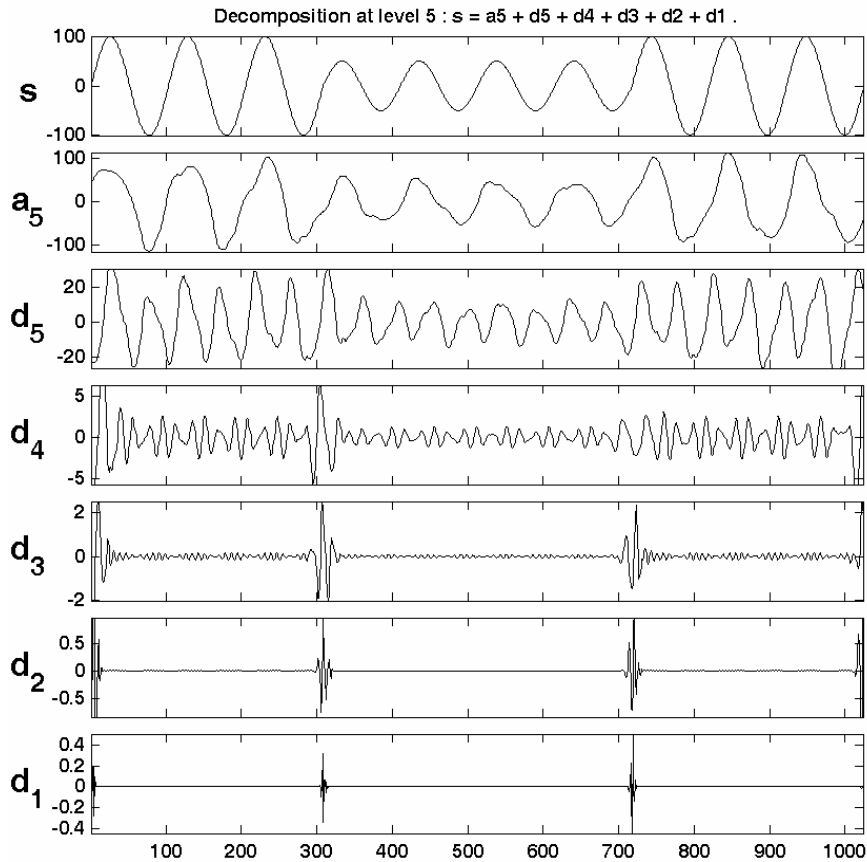


Şekil 9.7: Enerji fonksiyonlarındaki standart sapmaya göre gerilim düşme miktarının belirlenmesi

Bu sonuçlara göre gerilim düşmesinin başlangıç ve bitiş anları ve düşme miktarının belirlenmesi için yeni bir yöntem geliştirilmesi gerektiği görülmüştür. Geliştirilecek olan yöntem şu şartları sağlamalıdır:

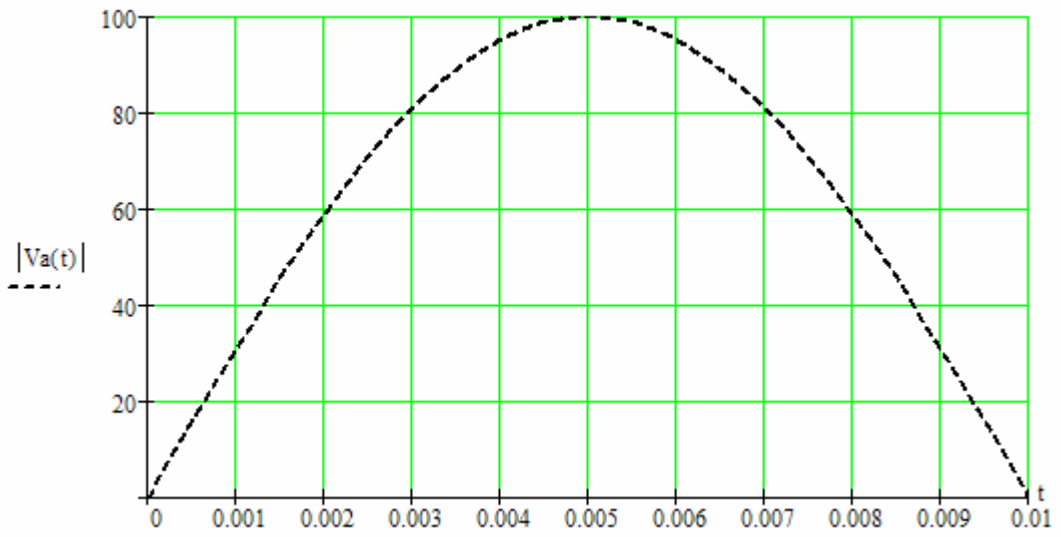
- Düşme başlangıç ve bitiş anları kısa sürede belirlenmelidir,
- Düşme miktarı belirlenmelidir,
- Az miktarda örnekleme ihtiyacı duymalıdır,
- Karmaşık hesaplamalar işlem süresini uzatacağı için en aza indirilmelidir,
- Gerilim düşmesinin diğer güç kalitesi bozulmalarından ayırabilmelidir.

Bu amaçla öncelikle saf sinüs sinyalinde herhangi bir gerilim düşmesi olmadığı durumda örnekleme sayısına göre en yüksek frekans aralığındaki dalgacığın davranışının incelenmiştir. En yüksek frekanslı olan dalgacığın seçim nedeni Şekil 9.8'de görüldüğü gibi, gerilim düşmesinin belirlenmesinde en hızlı tepki veren bileşenin en yüksek frekanslı bileşen (d_1) olmasıdır.

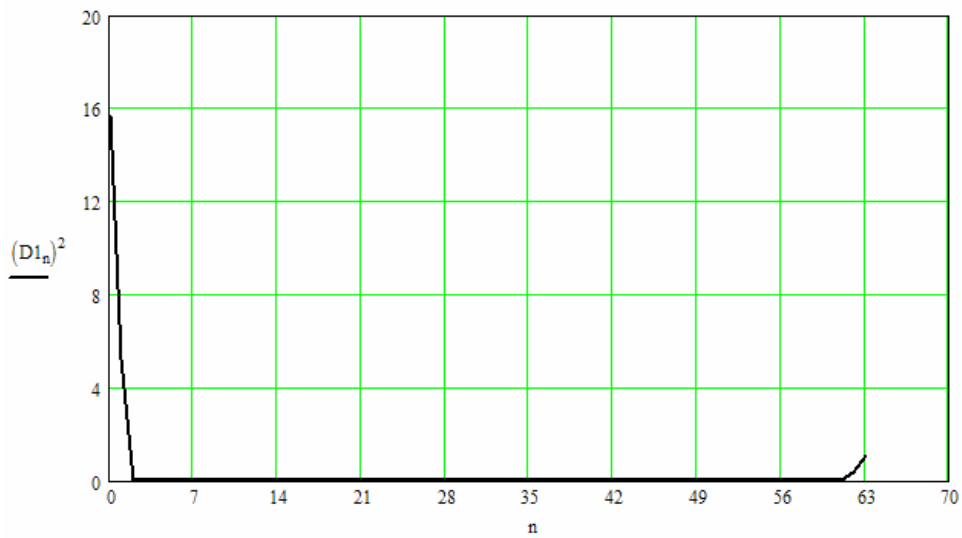


Şekil 9.8: Gerilim düşmesi sırasında dalgacık bileşenlerinin davranışı

Ayrıca yapılan diğer çalışmalarda örnekleme sayısı genellikle 32 olarak alındığı görülmüştür. Bu çalışmada örnekleme frekansı 6,4kHz olarak seçilmiştir. Buna göre 10 ms'de 64 örnek alınmaktadır. Şekil 9.9 (b)'de 64 noktada örneklenen saf sinüs sinyalinin (Şekil 9.9 (a)) en yüksek frekans aralığındaki dalgacığının karesel değişimi görülmektedir. Burada karesinin alınmasının nedeni Parseval enerji fonksiyonundaki gibi sinyalin enerji seviyesi ile değerlendirme yapabilmektir. Buna göre gerilim sinyalinde herhangi bir düşme olmadığında ilk 4 ve son 2 değeri sıfırdan farklı, diğer tüm değerlerin ise sıfıra çok yakındır.



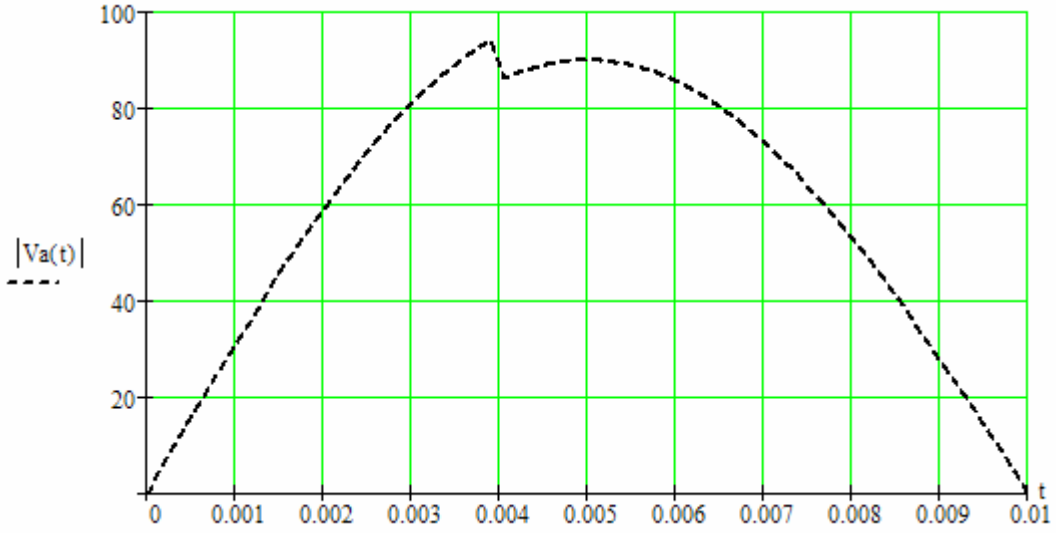
(a)



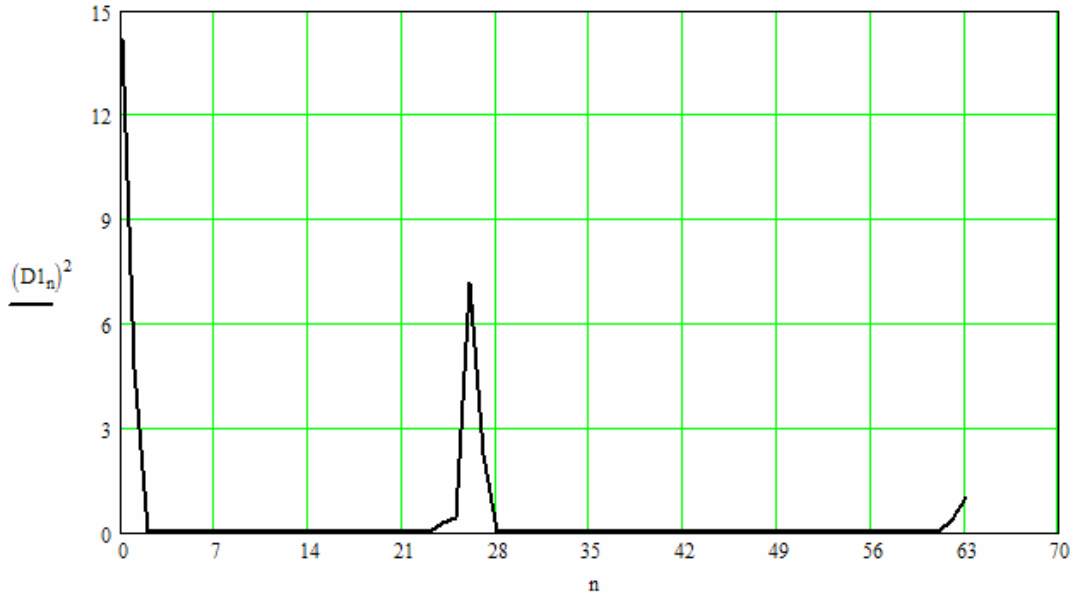
(b)

Şekil 9.9: (a) 64 noktada örneklenmiş saf sinüs sinyali (b) 1. seviye Daub₄ katsayısı

Şekil 9.9 (a)'daki saf sinüs biçimli gerilim sinyalinde herhangi bir anda düşme olduğunda elde edilen gerilim ve buna ait dalgacık enerji seviyesi değişimi Şekil 10'deki görülmektedir. Buna göre gerim düşmesi anında dalgacığın enerji fonksiyonunda da bir değişim meydana geldiği görülmüştür. Dalgacık enerji fonksiyonunun başlangıçtaki 4 değeri ve son 2 değeri yine sıfırdan farklıdır. Düşme anının dışında enerji seviyesi sıfırdır.



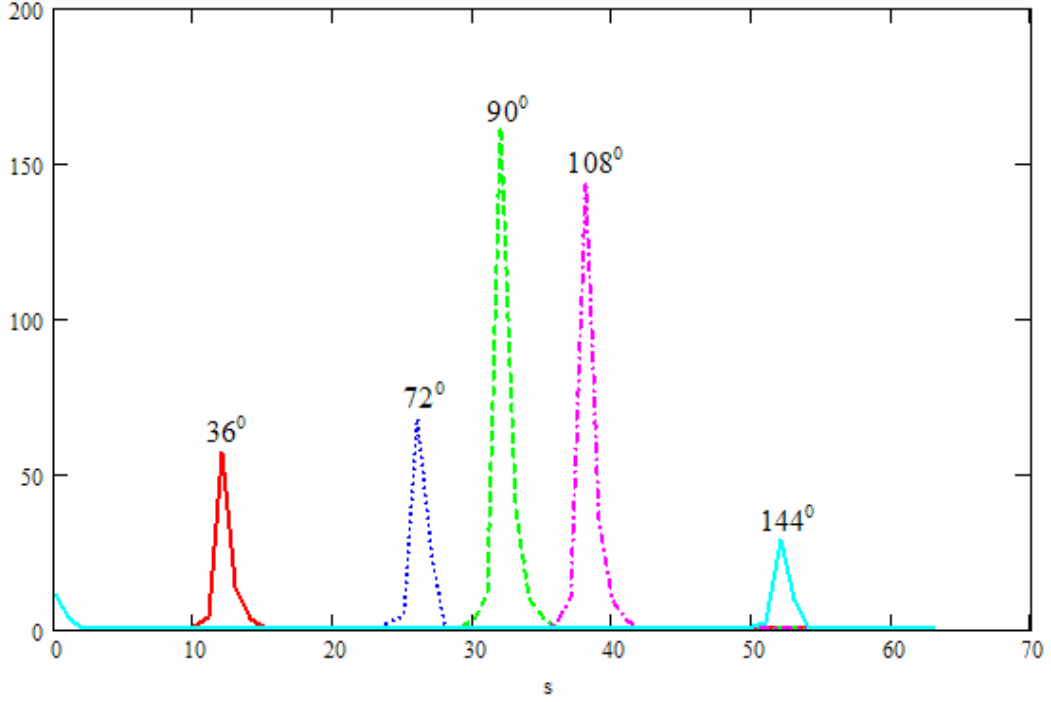
(a)



(b)

Şekil 9.10: (a) Herhangi bir anda düşme oluşmuş sinüs sinyali (b) Bu sinyale ait 1. seviye Daub₄ katsayısı

Gerilim düşmesi farklı anlarda (36° , 72° , 90° , 108° , 144°) tekrarlanıp düşme anlarında oluşan enerji seviyelerinin değişimi incelenmiştir (Şekil 9.11). Şekilden görüldüğü gibi düşme anlarında oluşan enerji fonksiyonlarının değerleri, aynı gerilim düşmesi için farklı değerler almaktadır.

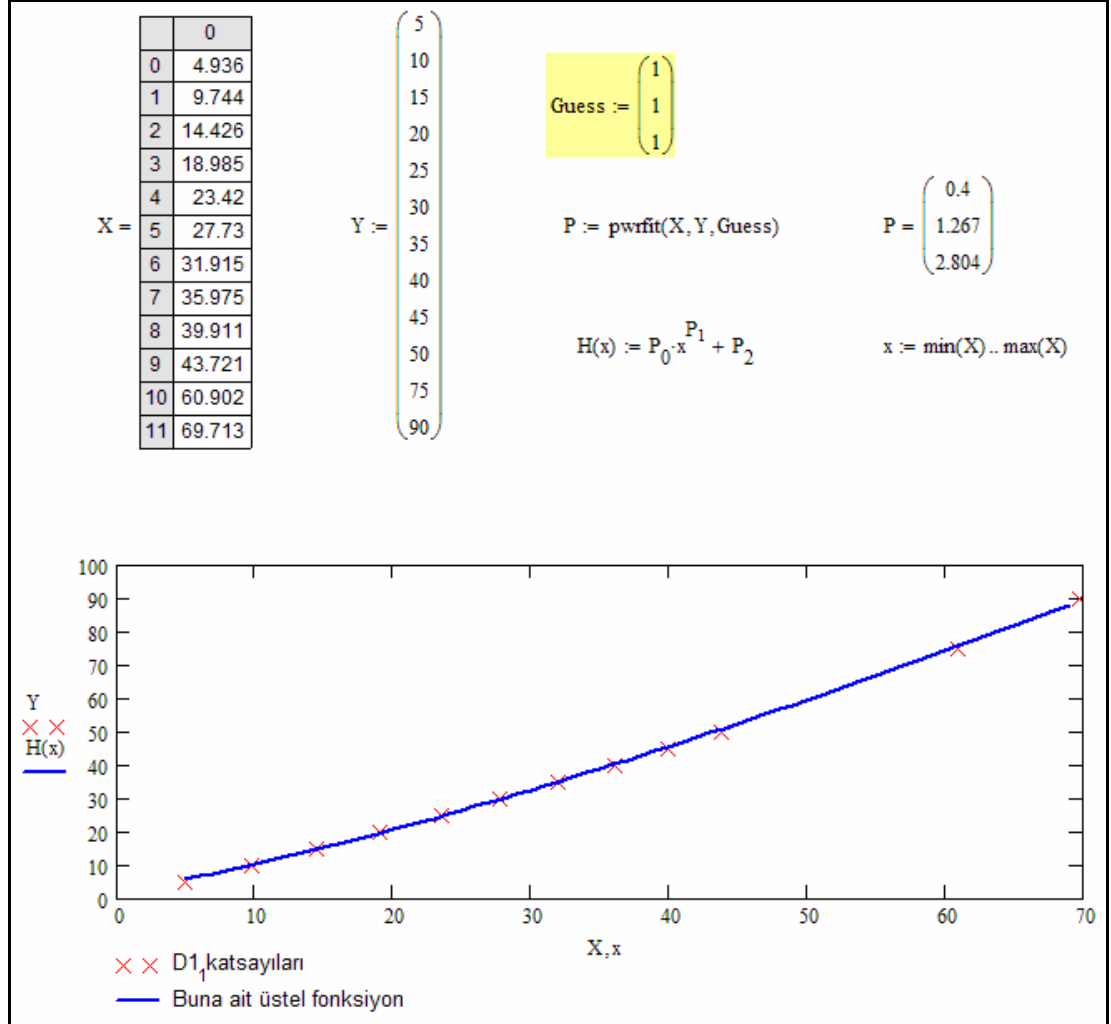


Şekil 9.11: Farklı anlarda oluşan gerilim düşümü sonrası elde edilen enerji fonksiyonları

Ayrıca gerilim düşmesi anındaki enerji fonksiyonlarının tepe değerleri aynı gerilim düşmesi için farklı değerler alırken, enerji fonksiyonunun ilk 4 değeri ile son 2 değeri aynı değeri almaktadır. Buna göre örneğin sadece enerji fonksiyonunun 1. değeri kullanılarak düşme miktarının bulunabileceği sonucuna varılmıştır. Şekil 9.9 (a)'daki saf sinüs geriliminde %5 - %90 oranlarında düşmeleri oluşturulduğunda $(D1_1)^2$ katsayısının değişimi Şekil 9.12'deki gibi elde edilmiştir.

Şekil 9.12'de görülen bu ilişkide X matrisi gerilimin tepe değerinde %5'lik azalmaya karşı hesaplanan $(D1_1)^2$ katsayılarıdır. Buna göre örneğin gerilimde %20'lik bir düşme meydana geldiğinde $(D1_1)^2$ katsayısı 18,985 değerini almaktadır. Bu sayı gerçek düşme miktarına çok yakındır. Değerler arasındaki fark düşme miktarı arttıkça büyümektedir. %60 gerilim düşmesi olduğunda $(D1_1)^2$ katsayısı 69,713

değerini almaktadır. Dolayısıyla $(D1_1)^2$ katsayısına doğrudan bakılarak düşme miktarının bulunması mümkün değildir.



Şekil 9.12: %0-%50 gerilim düşmesinde $D1_1$ 'e bağlı olarak düşme miktarını gösteren fonksiyonun Üstel Regresyon Analizi ile bulunması

$(D1_1)^2$ katsayısı ile düşme miktarı arasındaki ilişkiyi belirlemek için bunlar arasındaki değişim fonksiyonunun elde edilmesi gereklidir. Bu amaçla Şekil 9.13'deki verilere göre üstel regresyon analizi yapılarak $(D1_1)^2$ katsayısına bağlı olarak düşme miktarı doğrudan bulunabilir. Bu amaçla kullanılan H(x) fonksiyonunun katsayılarını belirlemek için tabloda gösterilen düşme miktarına göre hesaplanan $(D1_1)^2$ değerleri kullanılmıştır.

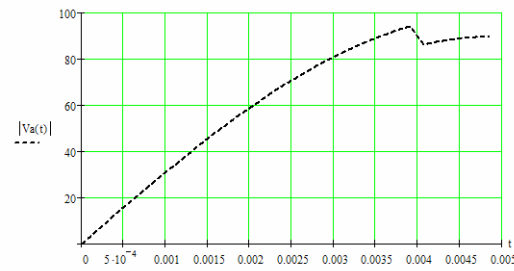
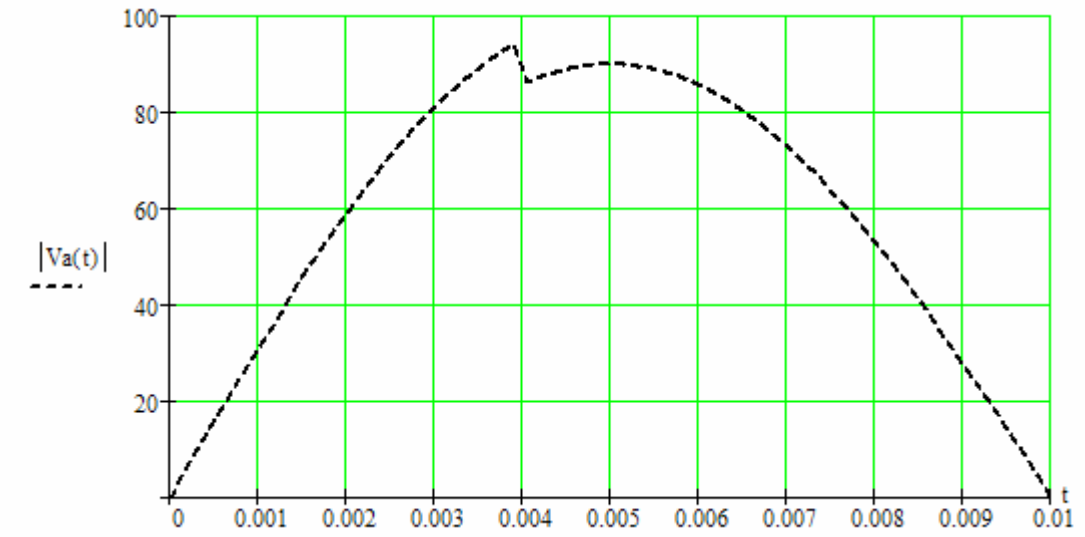
Geliştirilen yöntem ile düşme miktarı sadece bir dalgacık bileşenin değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu sayede işlem hızı çok arttırılmıştır ve tüm düşme miktarları için belirlenen fonksiyon ile kesin sonuç alınmaktadır. Ayrık analiz yapıldığı için tam olarak nerede gerilim düşümü olduğunu belirlemek için de değeri sıfırdan farklı enerji seviyesinin bulunması yeterli olacaktır.

Bir periyotta 64 örnek alarak yapılan bu analiz işleminde Ayrık Dalgacık Dönüşümü kullanılmıştır. Buna göre sinyal önce örneklenmiş, daha sonra dönüşüm işlemi yapılarak geliştirilen yöntem ile değerlendirilmiştir. Bunun sonucu olarak gerilim düşümünü kompanze edecek düzenleyici devreye alınacağı için, örneğin gerilim 10^0 'de iken bir düşme olmuşsa, düzenleyici buna işlem süresi hariç minimum 9,55 ms sonra cevap verecektir. Dolayısıyla sistem bu süre içerisinde düşük gerilime maruz kalacaktır. Bu nedenle D.G.D'nin arızaya daha hızlı cevabının sağlanması amacıyla değerlendirme periyodu yarıya indirilmiştir. Buna göre gerilimin sıfırdan geçişinden itibaren alınan 32 örnek için Dalgacık Dönüşümü yapılacak, düşme olup olmadığı saptanacak, olduysa düşme miktarı belirlenecek ve D.G.D gerekirse devreye alınacaktır. Bu sırada periyodun ikinci yarısı için örnekleme devam edilecek, periyot sonunda düşme devam ediyorsa D.G.D devrede kalacak, düşme sona ermiş ise devre dışı bırakılacaktır. Bu işlemleri gerçekleştirilmesi için öncelikle Şekil 9.10'deki gerilim sinyali Şekil 9.13'deki gibi A ve B bölgesi olarak adlandırılan 2 bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler için hesaplanılan dalgacık enerji seviyelerinin değişimi ise Şekil 9.15 (b)'de verilmiştir.

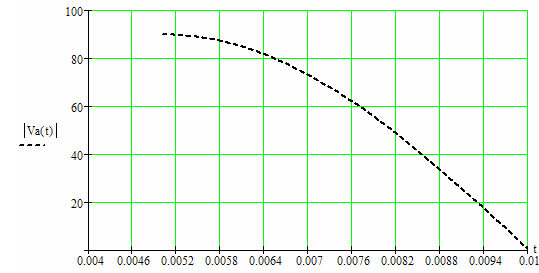
Şekil 9.13'e göre 2 bölgede incelenen gerilim sinyalindeki düşme miktarının belirlenmesi için farklı olasılıkların göz önünde tutulması gereklidir. Bu olasılıklar şunlardır:

- Düşmenin A bölgesinde olması durumunda A ve B bölgelerinin enerji değerleri
- Düşmenin B bölgesinde olması durumunda A ve B bölgelerinin enerji değerleri

Bu amaçla 4 farklı inceleme yapılmıştır. Her bir olasılıkta düşme miktarının D_{11} değerlerine göre bulunmasını sağlaması için 4 farklı üstel regresyon analizi gerçekleştirilmiş ve bunlara ait değişim Şekil 9.14'deki gibi elde edilmiştir.

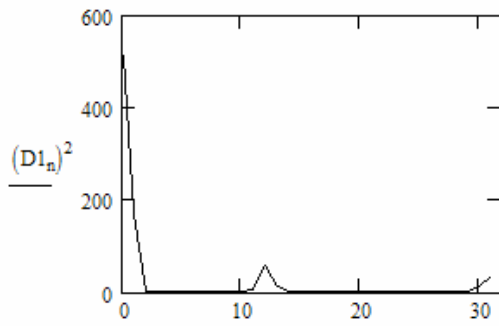


A bölgesi

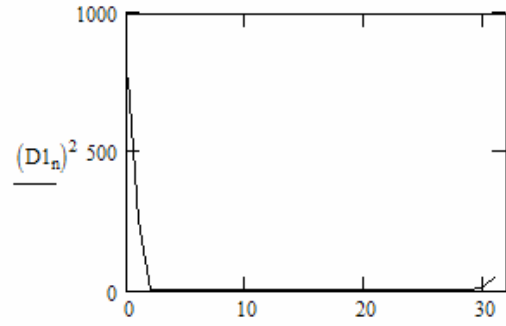


B bölgesi

(a)



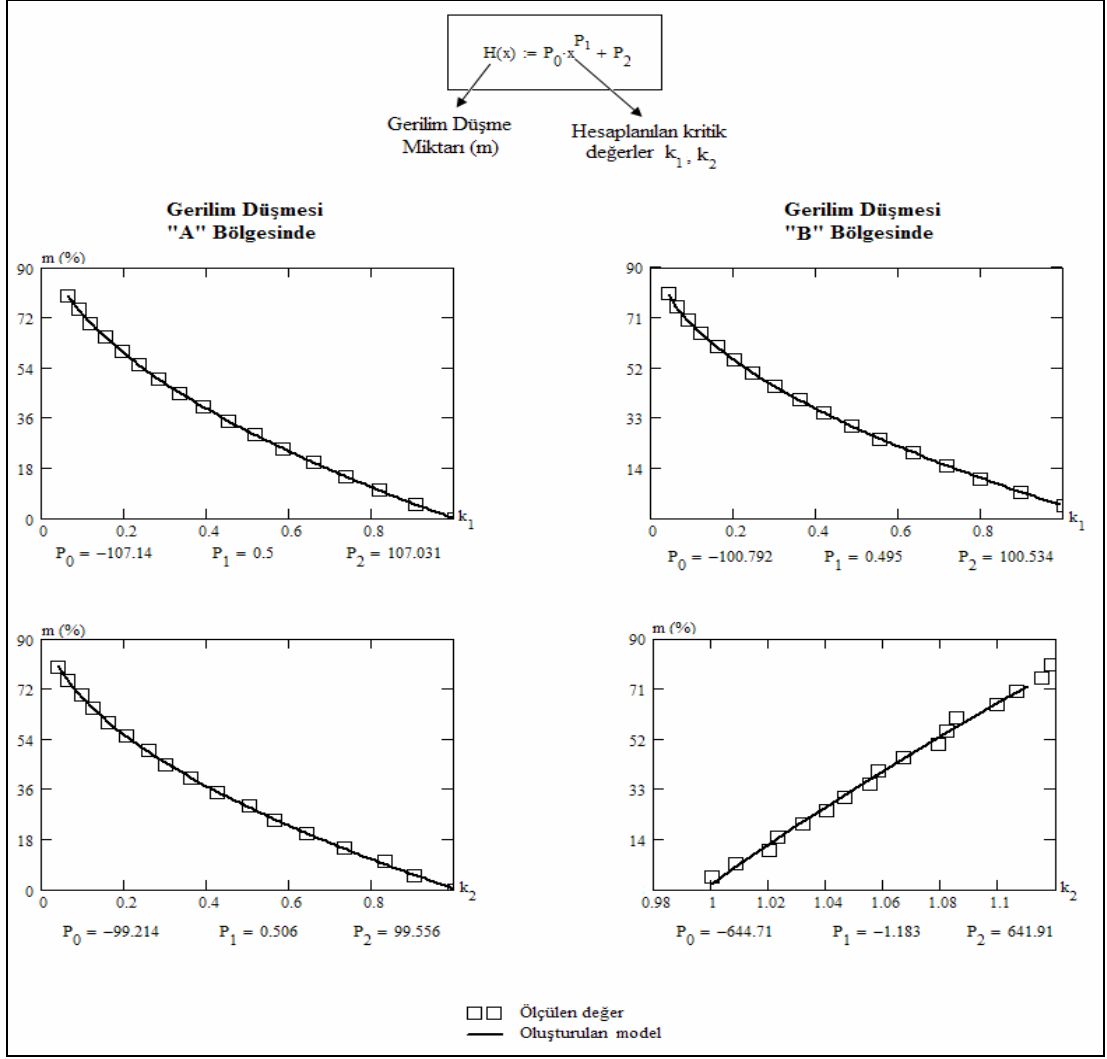
A bölgesi



B bölgesi

(b)

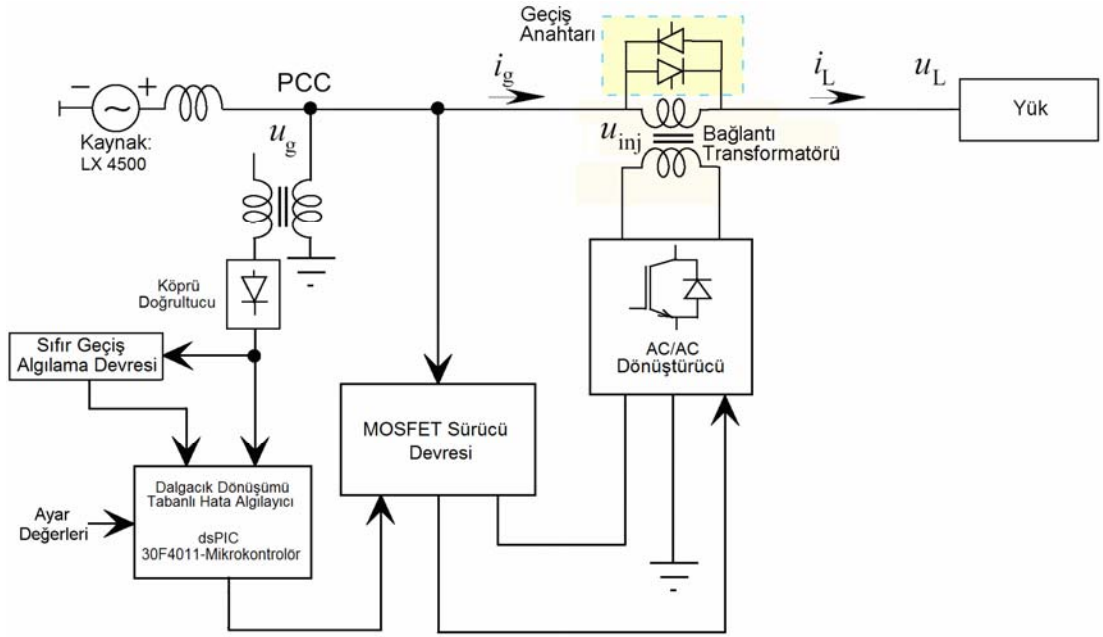
Şekil 9.13: (a) Gerilim sinyalinin 2 farklı bölümde incelenmesi (b) Bunlara ait enerji fonksiyonları



Şekil 9.14: A ve B bölgelerine ait regresyon analizi

10. GERÇEKLENEN DİNAMİK GERİLİM DÜZENLEYİCİ TASARIMI VE DENEYLERİ

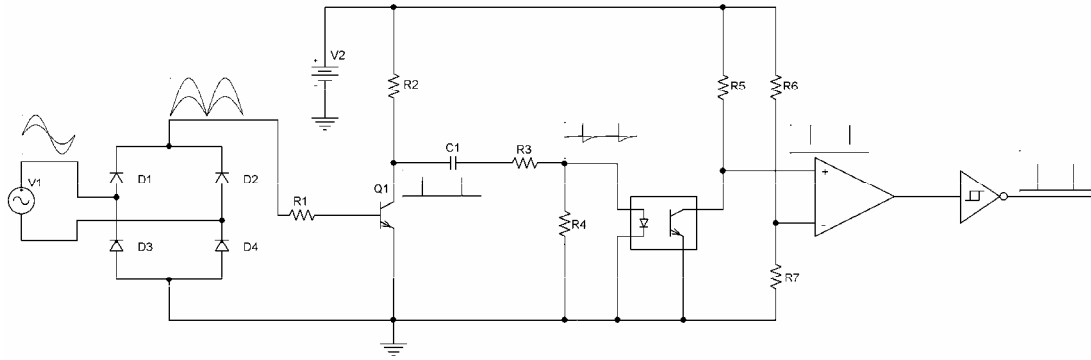
Bu çalışmada, elektrik sistemlerinde sıkça görülen güç kalitesi problemi olan gerilim düşmesini kompanse etmek için bir Dinamik Gerilim Düzenleyici tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Gerilim düzenleyicinin AC/AC dönüştürücü ve Dalgacık Dönüşümü tabanlı Hata Algılama birimleri işlevsel olarak özgün tasarımlar olup ayrıntılı olarak 8. ve 9. bölümlerde açıklanmışlardır. Buna göre oluşturulan D.G.D tasarım şeması Şekil 10.1’de verilmiştir.



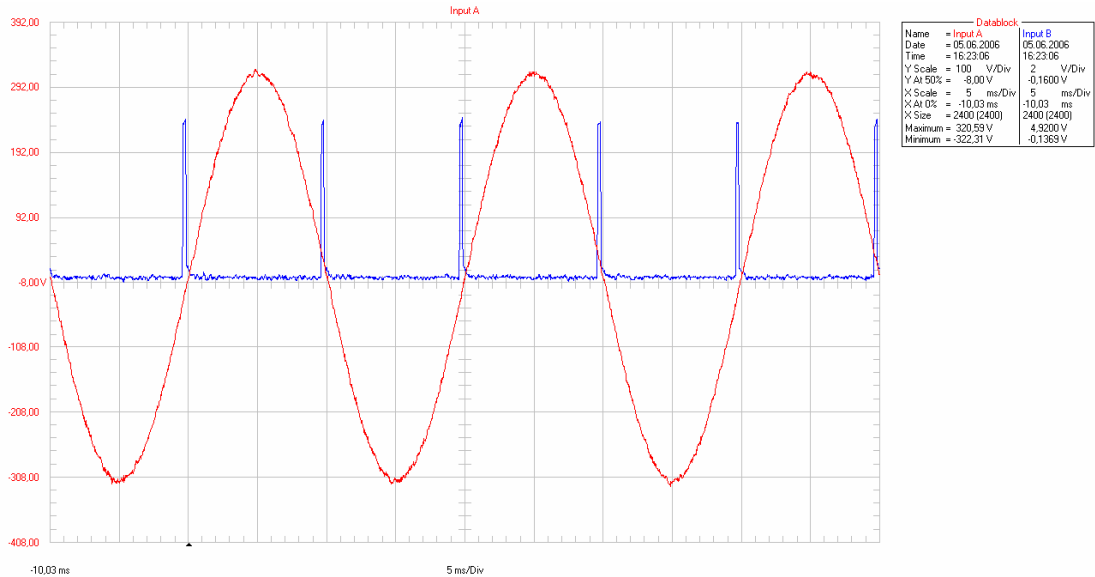
Şekil 10.1: D.D tabanlı D.G.D tasarım şeması

Şekil 10.1’de görüldüğü gibi hata algılama biriminin iki giriş sinyaline ihtiyacı vardır. Bunlardan birisi sıfır geçişlerin belirlenmesi için gerekli olan sinyal, diğeri ise doğrultulmuş şebeke gerilimidir. Sıfır geçişler, sıfır geçiş algılama devresi şebeke gerilimi ise ölçü trafosu üzerinden tam dalga doğrultulma devresi ile elde edilmektedir.

Algılama biriminin bir periyotta 64 örnek alıp dalgacık dönüşümü yaparak gerilim düşümü olup olmadığına ve olmuşsa düşme miktarının ne kadar olduğuna karar vermesi için gerilim sinyalinin sıfırdan geçtiği noktaların bilinmesi gereklidir. Bu sıfırdan geçiş noktası referans alınarak diğer örneklemeler yapılacak devre Şekil 10.2 (a)'daki gibi tasarlanmıştır. Şekilden görüldü gibi sıfır geçiş yakalama devresinin AC şebeke gerilimi hem pozitif hem de negatif alternanslarının sıfır noktalarında yaklaşık 200 μ s süren 5 V'luk gerilim üretilmektedir. Sıfır anlarında üretilen bu gerilme "kesme gerilimi" adı verilmiştir. Mikrodenetleyici AC şebeke gerilimini örneklemeye bu kesme gerilimini aldıktan sonra başlayacaktır. Bu devreden alınan çıkışın dalga şekli Şekil 10.2(b)'de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 10.2: Sıfır geçiş (a) devre şeması (b) çıkış dalga şekli

Şebeke gerilimi örnekleyip, D.D ile hata algılanması durumunda sürücü devresini devreye alması amacıyla 16 bitlik dsPIC 30F4011 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Mikrodenetleyici şebekeyi 156 μ s'de bir örneklemede ve okuduğu analog değerleri dijitale çevirip, bölge sonuna kadar saklamaktadır. Mikrodenetleyici sıfır geçişi yakaladıktan sonra bir periyotta örneklediği değerlerin değişimi Şekil 10.3'de verilmiştir.

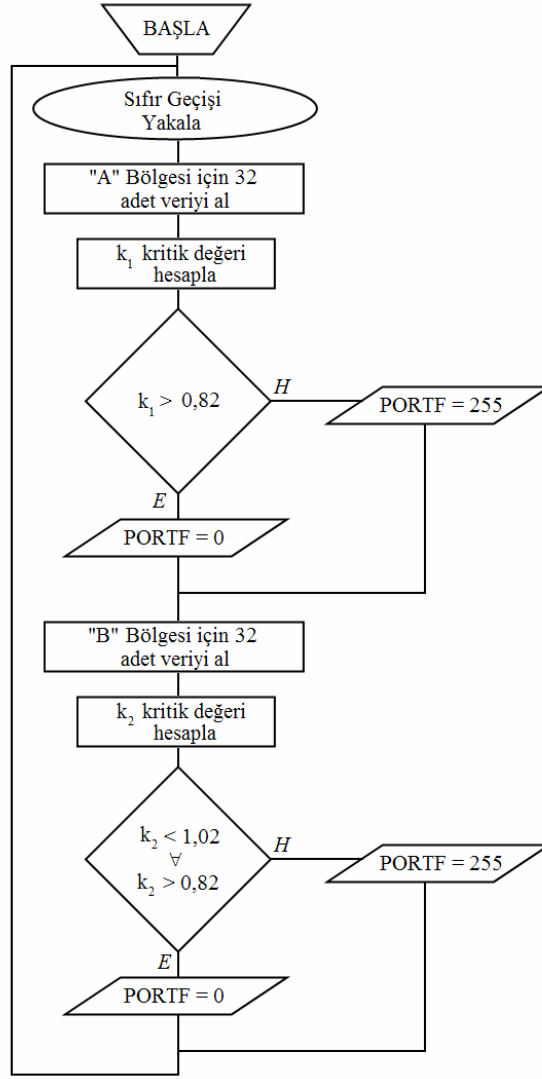


Şekil 10.3: Bir periyotta mikrodenetleyici tarafından örneklenen gerilim

Şekilden şebeke geriliminin istenilen sinüs biçimde örneklendiği görülmektedir. Buna göre gerilim düşmesinin başlangıç, bitiş zamanları ve düşme miktarının belirlenmesi için gerekli algoritma geliştirilmiş ve mikrodenetleyici programlanmıştır.

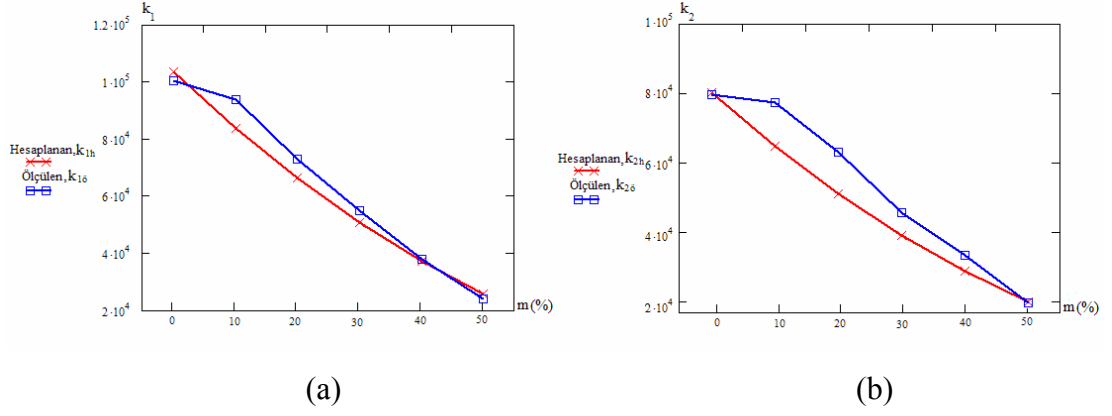
Kurulan algoritmaya göre doğrultulmuş AC şebeke gerilimi arıza algılama süresini kısaltmak için Şekil 9.13'de görüldüğü gibi iki bölgeye ayrılmıştır. Bölgelere göre belirlenen olasılıklar göz önüne alınarak dsPIC'in programlanması için geliştirilen algoritmanın akış şeması Şekil 10.4'de görüldüğü gibi verilmiştir. Buna göre gerilimin sıfır geçişi algılandığında örneklemeye başlanacak, A bölgesi için ilk 32 örnek aldıktan sonra Dalgacık Dönüşümü yapılarak gerilim düşmesi olup olmadığı belirlenecektir. Gerilim düşmesi varsa düşme miktarı belirlenecek ve kritik değer hesaplanacaktır. Eğer enerji seviyesi kritik değerın altında ise D.G.D devreye alınacaktır (F portu) ve AC/AC dönüştürücüye düşme miktarı bildirilecektir. Bu sırada periyodun ikinci yarısı için örnekleme devam edilecektir. Periyot sonunda B

bölgesi için enerji seviyesi kritik değer ile karşılaştırılacak, düşme devam ediyorsa D.G.D devrede kalacak ve düşme miktarını tekrar AC/AC dönüştürücüye bildirilecektir. Düşme sona ermiş ise D.G.D devre dışı bırakılacaktır.



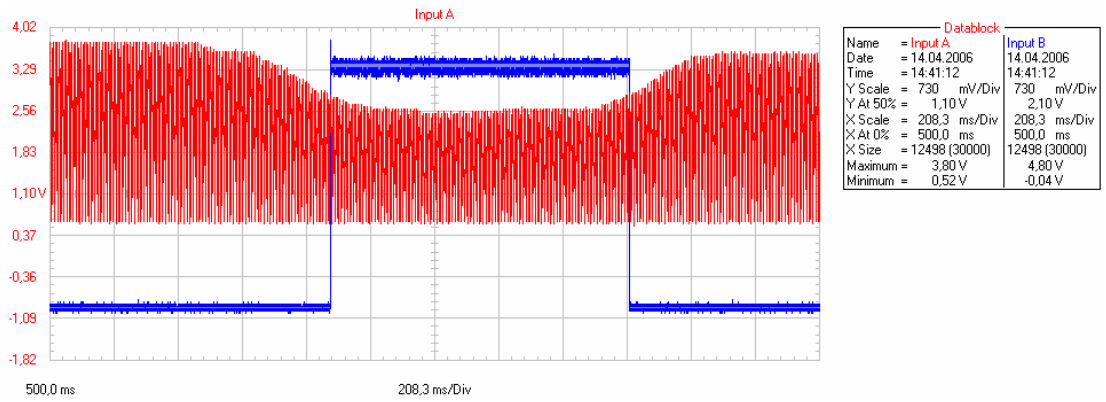
Şekil 10.4: Mikrodenetleyici programı akış şeması

Geliştirilen algoritmaya göre program sonsuz döngüde enerjisi kesilene kadar çalışacaktır. Algoritmanın denenmesi amacıyla gerilimin her iki bölgesinde oluşturulan gerilim düşmelerinde ölçülen kritik değerler ($k_{1ö}$, $k_{2ö}$) ile hesaplanılan kritik değerler (k_{1h} , k_{2h}) karşılaştırılmıştır. Şekil 10.5'e göre ölçülen ve hesaplanılan değerler arasındaki fark her iki bölgede de oldukça düşüktür.



Şekil 10.5: (a) A bölgesinde ölçülen ve hesaplanan kritik değerler (b) B bölgesinde ölçülen ve hesaplanan kritik değerler

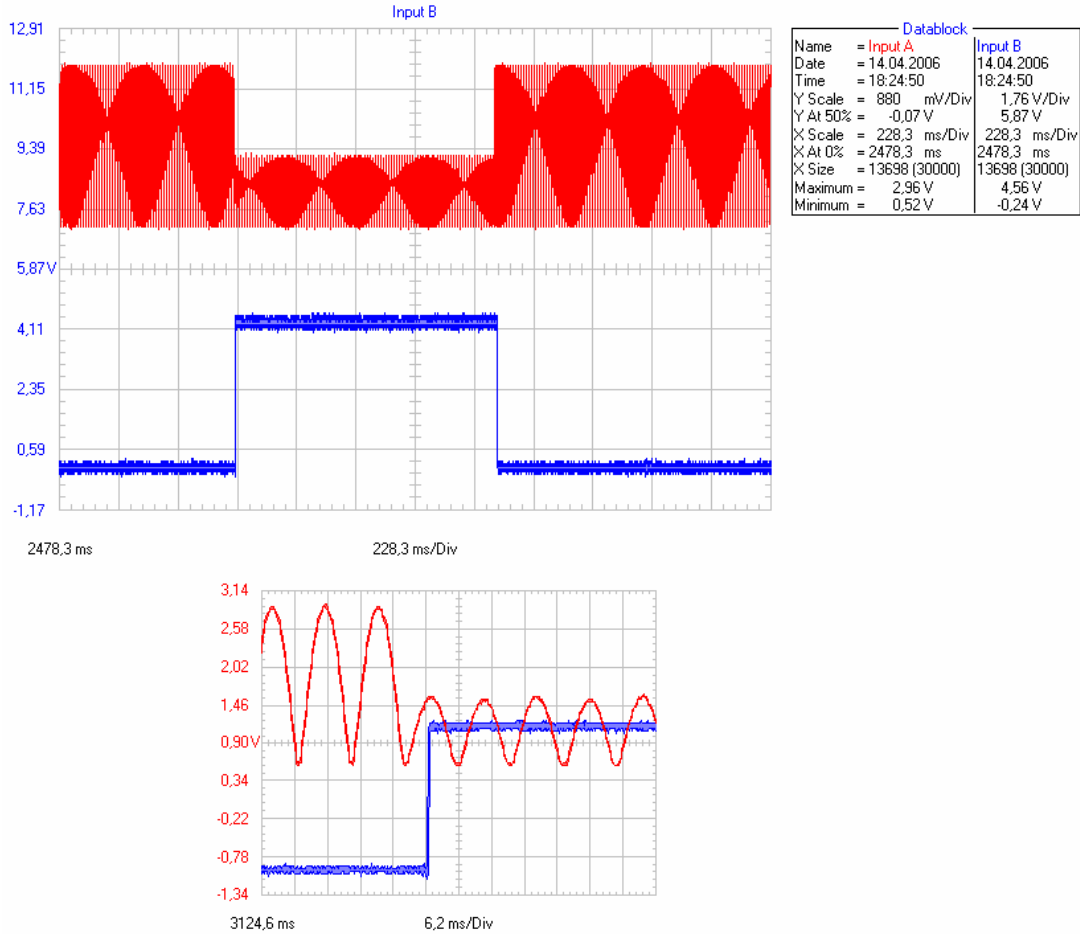
Geliştirilen algoritmanın ve Dinamik Gerilim Düzenleyici performansının denenmesinde bir Programlanabilir AC Güç Kaynağı kullanılmıştır. Bu kaynak, istenilen formda çıkış gerilimi üretebilmektedir. Bunun yanında çıkış geriliminde geçici olaylar (ani gerilim düşmesi/yükselmesi, faz açısı atlaması, gerilimin lineer olarak düşmesi/yükselmesi ve kesinti durumu) yaratılabilmektedir (Ek-A). Yapılan deneyler gerilim düşmesi dikdörtgen formdadır. Fakat güç sistemlerinde gerilim düşmelerinin oluşma anları bu kadar keskin değildir. Dolayısıyla geliştirilen algoritmanın performansı öncelikle şebekede oluşacak bir gerilim düşmesinde denenmelidir. Şekil 10.6'da şebeke geriliminde oluşan %40'luk bir gerilim düşmesinde dsPIC'in cevabı görülmektedir.



Şekil 10.6: Şebeke geriliminde oluşan düşmelerde algoritmanın performansı

Şekil 10.4'deki akış şemasına göre yazılan dsPIC programı şebekede oluşan çeşitli gerilim düşmeleri için test edilmiştir. Gerilimdeki düşme, nominal gerilimin %5'ini aştığında çıkış konumlarını değiştirerek sürücüyü devreye almaktadır. Çıkış konumları, gerilim seviyesi tekrar sınırlar içerisine girene kadar korunmaktadır. Fakat her bir yarım periyot sonunda hesaplanan düşme miktarına göre sürücü devresine kompanze edilecek gerilim ile ilgili bilgi gönderilmektedir.

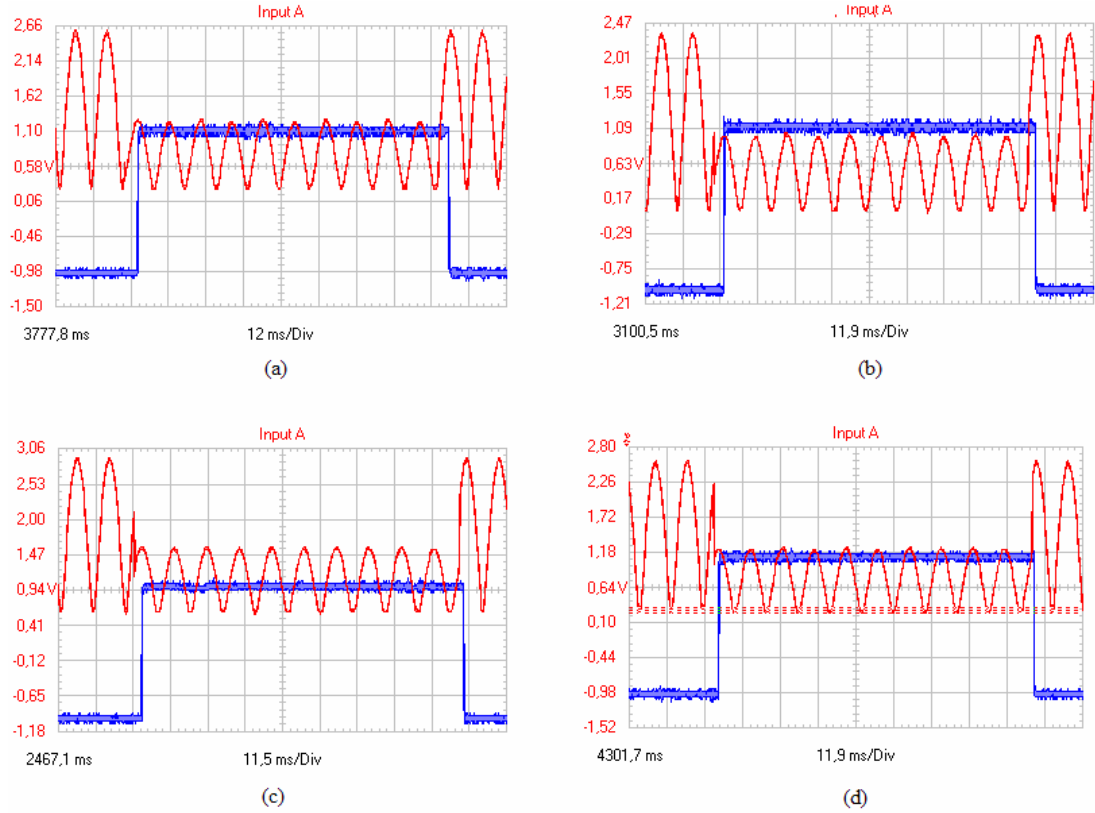
Geliştirilen algoritma, gerilim düşmesi başlangıç ve bitiş anları ile düşme miktarının belirlenmesi için de Programlanabilir AC güç kaynağı ile oluşturulan gerilim düşmelerinde denenmiştir. Şekil 10.7'de gerilimin sıfır anında başlatılan %60 genlikli bir gerilim düşmesinde mikrodenetleyicinin davranışı görülmektedir.



Şekil 10.7. Gerilim düşmesi ve dsPIC'in cevabı

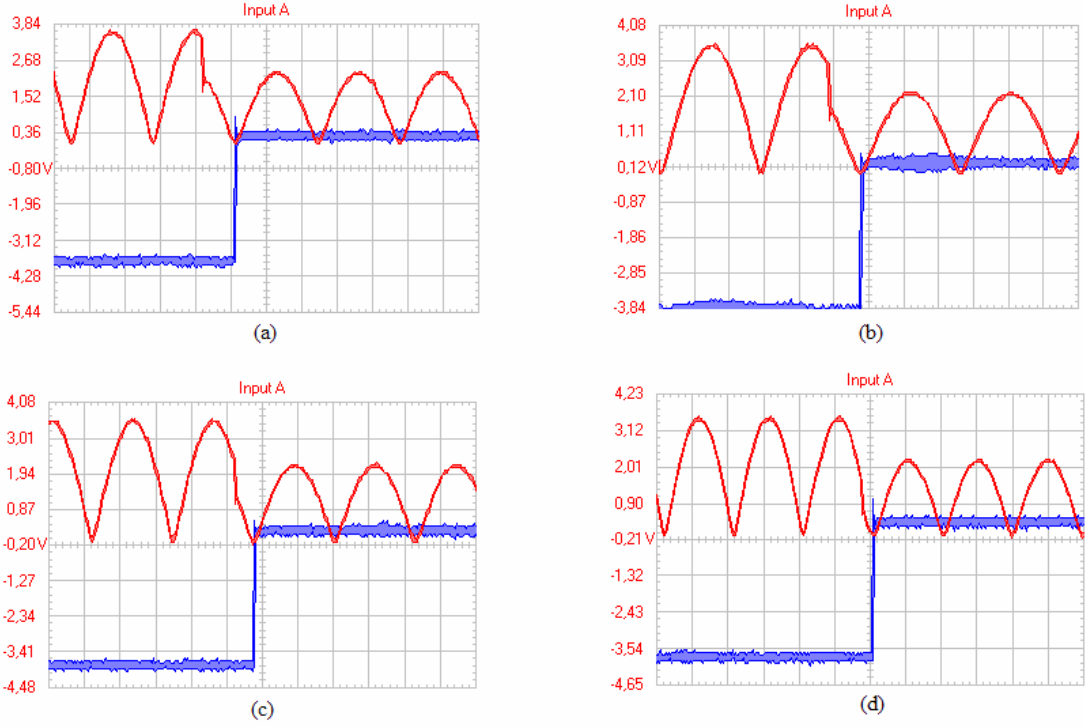
Şekil 10.7’de gerilimin 0^0 ’den geçtiği anda gerilim düşmesinin başladığı görülmektedir. Gerilim düşmesi periyodun A bölgesinde 15^0 , 30^0 , 45^0 ve 60^0 ’lerde oluşturulduğunda Şekil 10.8’deki sonuçlar elde edilmiştir. Periyodun B bölgesinde 105^0 , 120^0 , 135^0 ve 150^0 ’lerdeki gerilim düşmelerinde ise dsPIC’in cevabı Şekil 10.9’da görülmektedir.

Şekillerden görüldüğü gibi herhangi bir anda oluşan gerilim düşmesi, A ve B değerlendirme bölgelerinde gecikmesiz olarak belirlenmekte ve D.G.D’yi devreye almak için gerekli sinyal dsPIC tarafından üretilmektedir. Buna göre yöntem kusursuz olarak çalışmaktadır.



Şekil 10.8. (a) 15^0 (b) 30^0 (c) 45^0 (d) 60^0 de (A bölgesi) oluşan gerilim düşmeleri ve dsPIC’in cevabı

Şekil 10.8 ve 10.9 incelendiğinde gerilim düşmesinin çok kısa sürede belirlendiği görülmektedir. Bölgenin başlangıç anına göre gerilim düşmesi ne kadar geç olursa o kadar hızlı belirlenecektir.

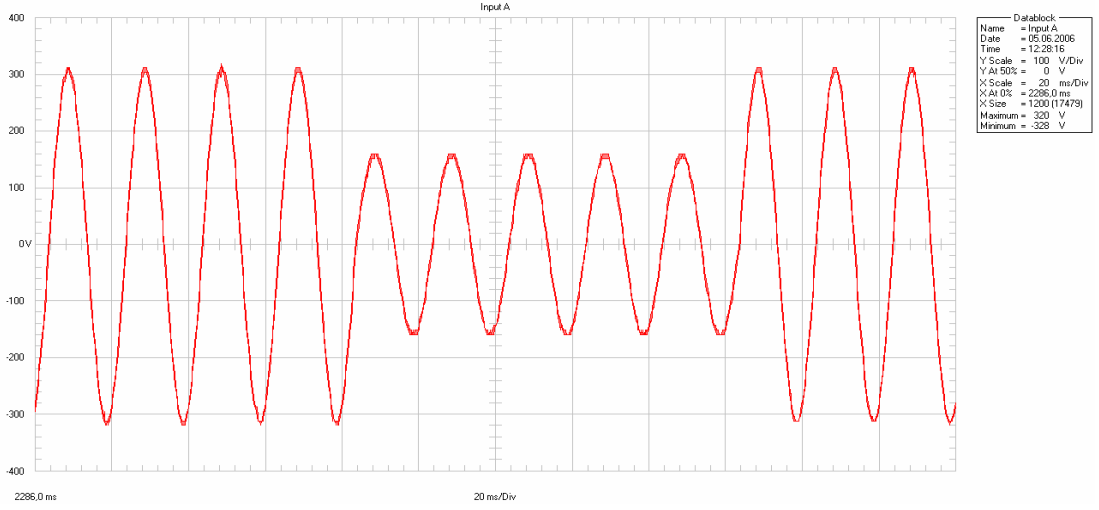


Şekil 10.9. (a) 105° (b) 120° (c) 135° (d) 150° de (B bölgesi) oluşan gerilim düşmeleri ve dsPIC'in cevabı

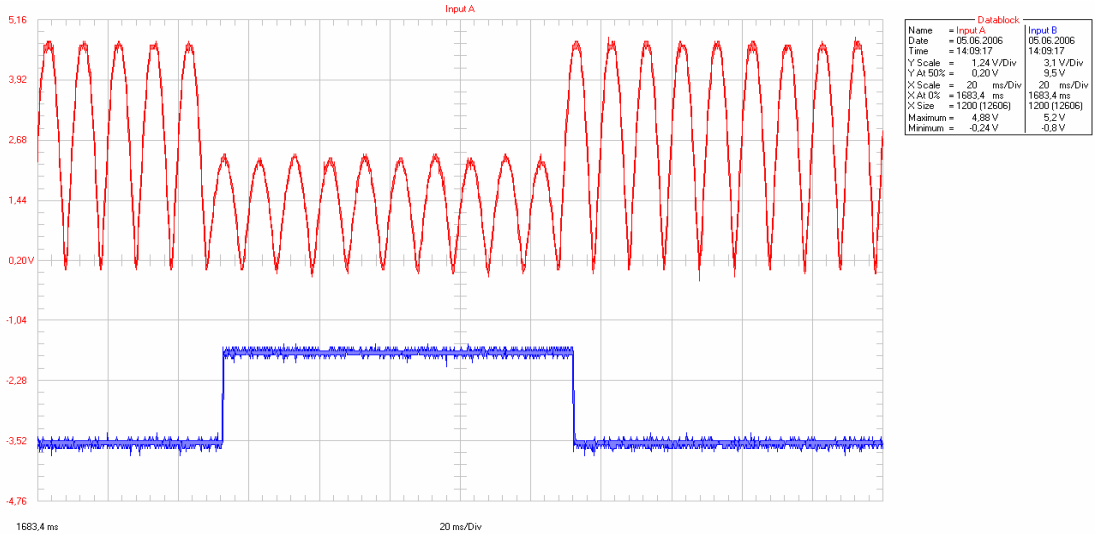
10.1 Gerilim Düşmesinin D.G.D ile Kompanze Edilmesi

Gerilim düşmelerinin algılanması işlemi gerçekleştirildikten sonra, belirlenen düşme miktarında yük geriliminin sabit kalması için Şekil 10.1'deki tasarım şeması verilen devre kurulmuştur. Sürücü devresi mikrodenetleyiciden gerilim düşmesi ve düşme miktarlarına ilişkin bilgileri aldıktan sonra, D.G.D'nin şebekeye bağlantı transformatörünü normal çalışmada etkisiz hale getiren geçiş anahtarını devre dışı bırakır. Bunun ardından düşme miktarına göre 8. bölümdeki hesaplamalar ile tetikleme sinyallerinin belirlenen doluluk-boşluk oranlarını MOSFET'lere uygular.

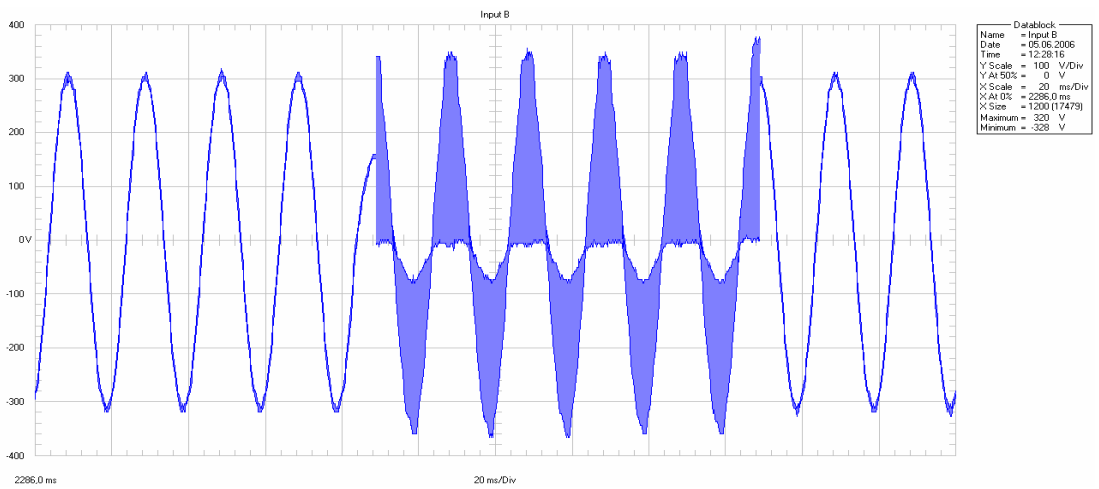
Deneylerde kullanılan programlanabilir güç kaynağı ile çıkış geriliminde 0,1s süresi ile %50 oranında bir düşme yapılmıştır. (Şekil 10.10) Düşmenin başlangıç anı gerilimin 0° dan geçtiği an olarak belirlenmiştir. Gerilimdeki düşmede, dsPIC'in davranışı Şekil 10.11'de görülmektedir. Önceki bölümde denendiği gibi gerilim düşmesi başlangıç anından sonraki bölgeye kadar gerilim sinyalleri örneklenmiştir. Bölgenin sonunda ise düşme algılanarak sürücü devresi düşme sonuna kadar çalıştırılmıştır.



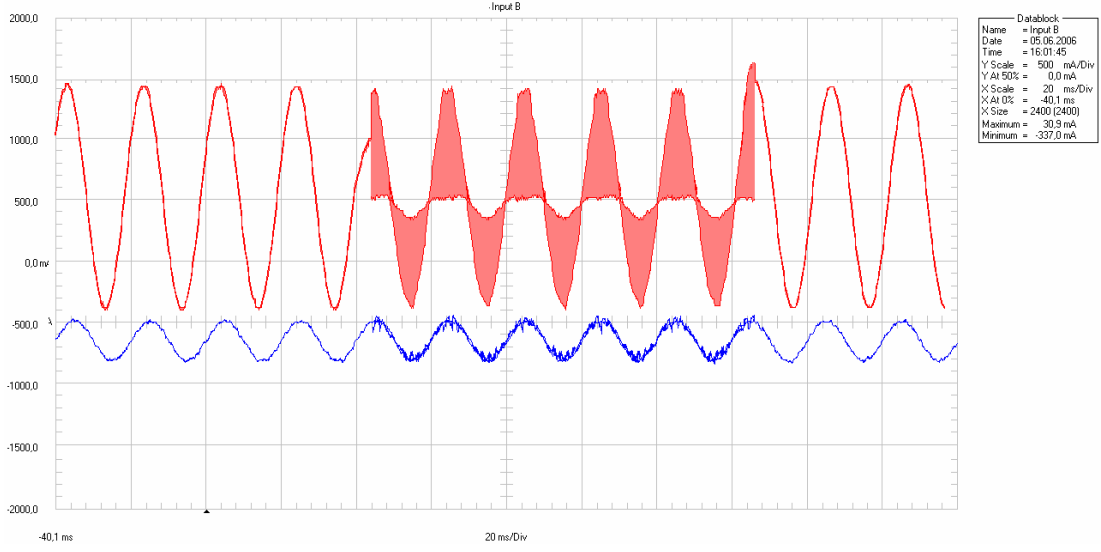
Şekil 10.10: Şebeke geriliminde oluşan .%50 oranındaki düşme



Şekil 10.11: Şebeke geriliminde oluşan .%50 düşmede mikrodenetleyicinin cevabı



Şekil 10.12: Şebeke geriliminde oluşan .%50 düşmede yük gerilimi



Şekil 10.13: Şebeke geriliminde oluşan .%50 düşmede yük gerilimi ve yük akımı

Sürücü devresine düşme miktarına göre yapması gereken anahtarlama Mikrodenetleyici tarafından belirlenmiş ve yük geriliminin Şekil 10.12’de görüldüğü gibi gerilim düşmesi sırasında sabit kalması sağlanmıştır. Burada AC/AC dönüştürücü çıkışında herhangi bir filtreleme yapılmadan anahtarlanan gerilim doğrudan bağlantı transformatörüne uygulanmıştır. Yapılan anahtarlama frekansı çok yüksek olduğu için ölçüm sırasında gerilim sinyali ayrıntılı olarak görülememektedir. Fakat efektif değerinin düşme öncesi seviyesinde kaldığı görülmektedir. Düşmenin başlangıç ve bitişinin algılanmasında oluşan gecikmeden dolayı başlangıç anında yük 5ms süresince düşük gerilimde çalışırken bitiş anından sonra ise 5 ms yüksek gerilimde çalışmaktadır. Fakat bu örnekte deneyde programlanabilir bir güç kaynağı ile dikdörtgen biçimli gerilim düşmesi oluşturulduğu için bu anlar bu kadar keskin gözükmemektedir. Şebeke gerilimindeki değişimler bu kadar keskin olmayacağından böyle bir problem oluşmayacaktır. Bunun önlenmesi için algılamada iki bölge yerine daha fazla bölge kullanılarak düzenleyicinin cevap süresi kısaltılabilir.

Şekil 10.13’de gerilim düşmesi sırasında yük gerilimi ve akımı ölçümleri görülmektedir. Akım dalga şekli incelendiğinde anahtarlamalardan daha az etkilendiği ve düşme anında sabit kaldığı görülmektedir. Deneyde kullanılan yük lineer olduğu için gerilim ile akım aynı fazdadır. Bu nedenle, anahtarlama yük akımına etkisinin en fazla olduğu durum incelenmiştir. Oysaki şebekelerde

genellikle endüktif karakterli yük olacağından bu durumda anahtarlamaların yük akımı üzerindeki etkisi hemen hemen hiç görülmeyecektir.

11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde toplumlar, sayısal tabanlı teknolojilerin oluşturduğu yeni bir ekonomik ve sosyal yaşama geçmişlerdir. Buna göre toplumlar birbirine internet, haberleşme ve elektrik ağları ile bağlanmaktadır. Bu durum beraberinde gizlilik, güvenilirlik ve güvenlik kavramlarını öne çıkarmıştır. Bu bağlamda kalitesinin sağlanması sayısal tabanlı teknolojiler için giderek önem kazanmaktadır.

Yapılan araştırmalar güç sistemlerinde oluşan güç kalitesi bozulmalarının %92'sinin gerilim düşmeleri nedeniyle olduğunu göstermektedir. Bu bozulmayı önlemek için birçok gerilim kompanzatörleri geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları geleneksel doğrultucu/dönüştürücü sistemlerini, bazıları ise dışarıdan bir DC gerilim kaynağını içermektedir. Bu sistemlerin en büyük sorunu pahalı olmalarıdır. Üstün yanları ise üretilen gerilimin şebeke geriliminden tam bağımsız olması ve çeşitli kompanzasyon yöntemleri kullanarak en az güç tüketimi ile yük gerilimi kompanse edilebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında öncelikle geleneksel D.G.D modeli MATLAB programında kurulmuştur. Bu model ile şebekede oluşan gerilim düşmelerinde yük geriliminin sabit kalması, tek fazlı ve üç fazlı sistemlerde sağlanmıştır. Gerilim kompanzasyon yöntemleri modelde denenerek kıyaslaması yapılmıştır. Buna göre enerji depolama biriminin sınırlı olduğu uygulamalarda sabit faz kompanzasyonu yönteminin kullanılmasının uygun olacağı belirlenmiştir.

Çalışmanın amacı, gerilim düşümü sırasında yük geriliminin sabit kalmasını sağlayan yeni bir Dinamik Gerilim Düzenleyici Tasarımı yapmak ve sistemi gerçekleştirmektir. Bu amaçla tasarlanan sistemde AC/AC dönüştürücü devresi üzerinden bağlantı transformatörü yardımıyla yüke düşme anında gerekli olan gerilim takviyesi sağlanmaktadır. Yöntemde herhangi DC kondansatör, akü, SMES gibi bir dışarıdan gerilim kaynağı kullanılmamıştır.

Gerilim düşmelerinin kompanzasyonunda ilk önemli işlem gerilim düşmesinin başlangıç ve bitiş anları ile düşme miktarının belirlenmesidir. Bu amaçla geliştirilmiş yöntemlerin çoğunluğunda sayısal işaret işleme tekniklerinden yararlanılmıştır. Bu çalışmada hata algılama yöntemi olarak Dalgacık Dönüşümü kullanılmıştır. Dalgacık Dönüşümü özellikle geçici olayların belirlenmesinde tercih edilen bir yöntemdir. İşaretlerde frekans bileşenlerinin zamana bağlı olarak değişimini veren en etkin dönüşümdür. D.D'ne dayalı geliştirilen hata algılama algoritması sayesinde, şebeke geriliminde yapılan az sayıda örnekleme ile düşmenin başlangıç ve bitiş anlarının yanında düşme miktarı da belirlenebilmiştir.

Şebeke gerilimin örneklenmesi ve Dalgacık Dönüşümü yaparak hatayı algılayıp kompanse edilecek gerilim miktarını belirlemek amacıyla tasarlanan sistemin gerçekleştirilmesinde yeni geliştirilen dsPIC mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.

Sonuç olarak tasarlanan ve gerçekleştirilen Dinamik Gerilim Düzenleyicinin geleneksel tasarımdan farklı ve üstün yanları şunlardır:

- Dışarıdan bir gerilim kaynağına gerek duyulmamaktadır. Dolayısıyla böyle bir kaynağın temini, bakımı gibi maliyetler gerektirmemektedir.
- Dışarıdan bir gerilim kaynağı olan sistemlerde gerekli olan DC/AC dönüştürücü devresi ve bununla ilgili karmaşık kontrol yöntemlerine gerek kalmamıştır.
- Dışarıdan bir gerilim kaynağı olan sistemlerde üretilen AC gerilimdeki bozulmaları süzecek filtre devreleri kullanılması gerekmemiştir.
- Algılama birimi, bozulmaları hızla algılayan ve tepki veren yüksek verimli D.D yöntemi tabanlıdır. Bu yöntem karmaşık hesaplamalar gerektirmemektedir.
- Algılama biriminde kullanılan mikrodenetleyici maliyeti düşük, hızı yüksek ve programlanması kolaydır.
- AC/AC dönüştürücü biriminin uygun tasarım ile tek taraflı yarıiletken anahtarlama elemanının, gerilimin her iki alternansında da anahtarlama yapması sağlanmıştır.

Tasarlanan Dinamik Gerilim Düzenleyicinin geliştirilmesi gereken yanları ise şunlardır:

- Üretilen gerilimin dalga şekli, bir filtre devresinden geçirilerek tamamen sinüs formuna dönüştürülebilir.
- Algılama biriminde hesaplamalar belirlenen iki bölgenin sonunda yapılmaktadır. Özellikle dikdörtgen biçimindeki gerilim dalgasında düşmenin başlangıç ve bitiş anlarında yük, düşük veya aşırı gerilime maruz kalabilir. Bunu önlemek için gerilim sinyalinden daha fazla sayıda örnek alınarak ve bölge sayısı artırılarak D.G.D'nin tepki süresi hızlandırılabilir.
- Kompanze edilecek olan gerilim sinyalinin 90^0 'de şebekeye eklenmesi durumunda, Dinamik Gerilim Düzenleyici'nin bağlantı transformatörü şebekeden magnetik mıknatıslanma akımı çekebilir. Kontrol algoritmasına bazı eklemeler ile bu olası sorun çözülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] V.E. Wagner, A.A. Andreshak, and J.P. Staniak, "Power Quality and Factory Automation," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 26, No. 4, July/August 1990, pp. 620-626.
- [2] C.A. Warren, T.A. Short, J.J. Burke, H. Morosini, C.W. Burns, and J. Storms, "Power Quality at Champion Paper – The Myth and the Reality," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 14, No. 2, April 1999, pp. 636-641.
- [3] T. Davis, G.E. Beam, and C.J. Melhorn, "Voltage Sags: Their Impact on the Utility and Industrial Customers," *Proceedings of the Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference*, pp. 65-73, New Orleans- Louisiana, USA, May 1996.
- [4] G.A. Taylor, J.E. Hill, A.B. Burden, and K. Mattern, "Responding to the Changing Demands of Lower Voltage Networks – the Utilization of Custom Power Systems," Paper No. 14-303 presented at *CIGRÉ 1998 Session*, September 1998.
- [5] R.C. Dugan, M.F. McGranaghan, and H.W. Beaty, "Electric Power Systems Quality," *McGraw-Hill*, 1996.
- [6] A.K. Khan, "Monitoring power for the future," *Power Engineering Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 81–85, April 2001.
- [7] G.A. Taylor, A.B. Burden, "Wide Area Power Quality – Decision Processes and Options for Sensitive Users," *Proceedings of the 14th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED'97)*, pp. 2.30.1-2.30.5, Birmingham, UK, June 1997.
- [8] L.E. Conrad et al., "Proposed Chapter 9 for Predicting Voltage Sags (Dips) in Revision to IEEE Std 493, the Gold Book," *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 30, No. 3, May/June 1994, pp. 805-821.
- [9] E.W. Gunther and H. Mehta, "A Survey of Distribution System Power Quality – Preliminary Results," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 10, No. 1, January 1995, pp. 322-329.
- [10] M.F. McGranaghan, D.R. Mueller, and M.J. Samotyj, "Voltage Sags in Industrial Systems," *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 29, No. 2, March/April 1993, pp. 397-403.
- [11] "IEEE recommended practice for monitoring electric power quality" *IEEE Std 1159-1995*, 1995.

- [12] M.F. McGranaghan, "Economic evaluation of power quality," *IEEE Power Engineering Review*, vol. 22, no. 2, pp. 8–12, February 2002.
- [13] I. Hunter, "Power quality issues-a distribution company perspective," *Power Engineering Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 75–80, April 2001.
- [14] "EPRI Custom Power Industrial/Commercial Market Study," *EPRI RP4000-42*, June 1992.
- [15] A. McEachern, "Designing electronic devices to survive power-quality events," *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 6, no. 6, pp. 66–69, November-December 2000.
- [16] Fan Wang, "Power quality and protection," *Lisans Tezi 372L, Chalmers University of Technology*, 2001.
- [17] N.G. Hingorani, "Introducing Custom Power," *IEEE Spectrum*, Vol. 32, No. 6, June 1995, pp. 41-48.
- [18] J. Douglas, "Custom Power: Optimizing Distribution Services," *EPRI Journal*, Vol. 21, No. 3, May/June 1996, pp. 6–15.
- [19] "IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems," *IEEE Std.* 493–1997, December 1997.
- [20] "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," *IEEE Std.* 1159–1995, June 1995.
- [21] D.S. Dorr, "Point of utilization power quality study results," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 31, no. 4, pp. 658–666, July-August 1995.
- [22] M. Häger, L. Wallin, and C. Swärd, "Flicker Influence from a 100 MVA Arc-Furnace Installation in a Weak Network," *Proceedings of the Power Quality Applications '97 (Europe) Conference*, Section 2B: Connection of Particular Loads, Stockholm, Sweden, June 1997.
- [23] G. Brauner, "Voltage Fluctuations Caused by Windparks," *Proceedings of the Power Quality Applications '97 (Europe) Conference*, Section 2B: Connection of Particular Loads, June 1997, Stockholm, Sweden.
- [24] A. Palesjö, "An Analysis of Compensators Used for Flicker Reduction," *Lisans Tezi, ISSN 1100-1615, TRITA-EHE 9203, The Royal Institute of Technology*, Stockholm, Sweden, March 1992.
- [25] T. Larsson and C. Poumarède, "STATCOM, an Efficient Means for Flicker Mitigation," *IEEE Power Engineering Society 1999 Winter Meeting*, Vol. 2, pp. 1208-1213, New York-NY, USA, January 1999.
- [26] H. Fujita and H. Akagi, "The Unified Power Quality Conditioner: the Integration of Series- and Shunt-Active Filters," *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 13, No. 2, March 1998, pp. 315-322.

- [27] M. Aredes and E.H. Watanabe, "New Control Algorithms for Series and Shunt Three-Phase Four-Wire Active Power Filters," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 10, No. 3, July 1995, pp. 1649-1656.
- [28] R.C. Dugan, L.A. Ray, D.D. Sabin, G. Baker, C. Gilker, and A. Sundaram, "Fast Tripping of Utility Breakers and Industrial Load Interruptions," *IEEE Industry Applications Magazine*, Vol. 2, No. 3, May/June 1996, pp. 55-64.
- [29] Y. Sumi, Y. Harumoto, T. Hasegawa, M. Yano, K. Ikeda, and T. Matsura, "New Static Var Control Using Forced-Commutated Inverters," *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-100, No. 9, September 1981, pp. 4216-4224.
- [30] H. Akagi, Y. Kanazawa, and A. Nabae, "Instantaneous Reactive Power Compensator Comprising Switching Devices Without Energy Storage Components," *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. IA-20, No. 3, May/June 1984, pp. 625-630.
- [31] N. Mohan, T.M. Undeland, and W.P. Robbins, "Power Electronics: Converters, Applications and Design," *John Wiley & Sons*, USA, 1989.
- [32] Dranetz Technologies Incorporated, "The Dranetz field handbook for Power Quality Analysis", *Edison*, New Jersey, 1991.
- [33] M.H.J. Bollen, Understanding power quality problems: voltage sags and interruptions, *IEEE Press*, New York, 1999.
- [34] W.W. Dabbs, D.D. Sabin, T.E. Grebe, and H. Mehta, "Probing power quality data," *IEEE Computer Applications in Power*, vol. 7, no. 2, pp. 8-14, April 1994.
- [35] L. Gyugyi, "Power Electronics in Electric Utilities: Static Var Compensators," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 76, No. 4, April 1988, pp. 483-494.
- [36] Å. Ekström, "Compendium in High Power Electronics: HVDC and SVC," *The Royal Institute of Technology, Department of Electric Power Engineering*, Stockholm, Sweden, June 1990.
- [37] N.G. Hingorani, "High Power Electronics and Flexible AC Transmission," *IEEE Power Engineering Review*, Vol. 8, No. 7, July 1988, pp. 3-4.
- [38] N.G. Hingorani, "Flexible AC Transmission," *IEEE Spectrum*, Vol. 30, No. 4, April 1993, pp. 40-45.
- [39] R. Bush, "HVDC and FACTS: Not Just for Transmission Anymore," *Transmission and Distribution World*, Vol. 49, No. 7, July 1997, pp. 6.
- [40] P.K. Steimer, H.E. Grüning, J. Werninger, and D. Schröder, "State-of-the-Art Verification of the Hard-Driven GTO Inverter Development for a 100-MVA Intertie," *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 13, No. 6 November 1998, pp. 1182-1190.

- [41] M.M. de Oliveira and Å. Ekström, “Real-Time Simulator Model of an Advanced Static Var Compensator,” *Proceedings of the 6th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'95)*, Vol. 2, pp. 2.511–2.516, Seville, Spain, September 1995.
- [42] M.M. de Oliveira and Å. Ekström, “Analog Real-Time Model of a Unified Power Flow Controller,” *Proceedings of the 7th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'97)*, pp. 3.944–3.949, Trondheim, Norway, September 1997.
- [43] A. Lindberg, “PWM and Control of Two and Three Level High Power Voltage Source Converters,” *Technical Licentiate Thesis, ISSN 1100–1615, TRITA- EHE 9501, The Royal Institute of Technology*, Stockholm, Sweden, April 1995.
- [44] A. Campbell and R. McHattie, “Backfilling the Sinewave – A Dynamic Voltage Restorer Case Study,” *IEE Power Engineering Journal*, Vol. 13, No. 3, June 1999 pp. 153-158.
- [45] C.W. Edwards, K.E. Mattern, P.R. Nannery, and J. Gubernick, “Advanced Static Var Generator Employing GTO Thyristors,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 3, No. 4, October 1988, pp. 1622-1627.
- [46] L. Gyugyi, C.D. Schauder, and K.K. Sen, “Static Synchronous Series Compensator: a Solid-State Approach to the Series Compensation of Transmission Lines,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 12, No. 1, January 1997, pp. 406-417.
- [47] S.G. Whisenant, “DVRs Provide Quality Power to Critical Customers,” *Transmission & Distribution World*, Vol. 49, No. 13, December 1997, pp. 35-38.
- [48] N.H. Woodley, L. Morgan, and A. Sundaram, “Experience with an Inverter-Based Dynamic Voltage Restorer,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 14, No. 3, July 1999, pp. 1181-1186.
- [49] M.H.J. Bollen, “Voltage, Power and Current Ratings of Series Voltage Controllers,” *Paper presented at IEEE Power Engineering Society 2000 Winter Meeting*, Singapore, January 2000.
- [50] N.H. Woodley, “Field Experience with Dynamic Voltage Restorer (DVR™ MV) Systems,” *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society 2000 Winter Meeting*, Singapore, January 2000.
- [51] L. Gyugyi, C.D. Schauder, S.L. Williams, T.R. Rietman, D.R. Torgerson, and A. Edris, “The Unified Power Flow Controller: a New Approach to Power Transmission Control,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 10, No. 2, April 1995, pp. 1085-1097.
- [52] T. Larsson, R. Innanen, and G. Norström, “Static Electronic Tap-Changer for Fast Phase Voltage Control,” *Proceedings of the 7th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'97)*, pp. 3.956-3.958, Trondheim, Norway, September 1997.

- [53] J. Arrillaga, M.H.J. Bollen, and N.R. Watson, "Power quality following deregulation," *Proceedings of the IEEE*, vol. 88, no. 2, pp. 246–261, February 2000.
- [54] A. Greenwood, *Electrical Transients in Power Systems*, **JohnWiley and Sons**, New York, 1991.
- [55] L. van der Sluis, *Transients in Power Systems*, **JohnWiley and Sons**, New York, 2001.
- [56] C.A. Nucci, F. Rachidi, M.V. Ianoz, and C. Mazzetti, "Lightning-induced overvoltages on overhead lines," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 35, no. 1, pp. 75–86, February 1993.
- [57] C. Mirra, A. Porrino, A. Ardito, and C.A. Nucci, "Lightning overvoltages in low voltage networks," *Proceedings of 14th Biennial International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*, pp. 2.19.1–2.19.6, 1997.
- [58] A.A. Girgis, C.M. Fallon, J.C.P. Rubino, and R.C. Catoe, "Harmonics and transient overvoltages due to capacitor switching," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 29, no. 6, pp. 1184–1188, November/December 1993.
- [59] E.R. Brill and R. Lopez, "Power Problem Avoidance for Industrial Plants Utilizing a Digital Static Transfer Switch," *Power Quality'98/Power Value'98 Proceedings*, pp. 61-75, Santa Clara-CA, USA, November 1998.
- [60] "IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications," *IEEE Std.* 446-1996, December 1996.
- [61] EN-50160, "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems," *European Standard, CENELEC*, Brussels, Belgium, 1994.
- [62] G. Yalçinkaya, M.H.J. Bollen, and P.A. Crossley, "Characterization of Voltage Sags in Industrial Distribution Systems," *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 34, No. 4, July/August 1998, pp. 682-688.
- [63] M.H.J. Bollen, "The Influence of Motor Reacceleration on Voltage Sags," *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 31, No. 4, July/August 1995, pp. 667-674.
- [64] L. Zhang and M. Bollen, "Characteristic of Voltage Dips (Sags) in Power Systems," *Proceedings of the 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP'98)*, pp. 555-570, Athens, Greece, October 1998.
- [65] L. Zhang and M. Bollen, "A Method for Characterizing Unbalanced Voltage Dips (Sags) with Symmetrical Components," *IEEE Power Engineering Review*, Vol. 18, No. 7, July 1998, pp. 50-52.
- [66] L. Zhang, "Three-Phase Unbalance of Voltage Dips," *Technical Licentiate Thesis, Technical Report No. 322L, Chalmers University of Technology*, Gothenburg, Sweden, November 1999.

- [67] M.H.J. Bollen and L.D. Zhang, "Analysis of Voltage Tolerance of AC Adjustable-Speed Drives for Three-Phase Balanced and Unbalanced Sags," *Paper 4, Session 1 at IEEE Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference*, Sparks-NV, USA, May 1999.
- [68] L. Tang, J. Lamoree, M. McGranaghan, and H. Mehta, "Distribution System Voltage Sags: Interaction with Motor and Drive Loads," *Proceedings of the 1994 IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference*, pp. 1-6, Chicago-IL, USA, April 1994.
- [69] E. Hazan, "Reliability Revisited," *Transmission & Distribution World*, Vol. 51, No. 3, March 1999, pp. 120-130.
- [70] J.P. Bickford and A.G. Heaton, "Transient overvoltages on power systems," *IEE Proceedings-Generation, Transmission, Distribution*, vol. 133, no. 4, pp. 201–225, May 1986.
- [71] 1036-1992 IEEE guide for application of shunt power capacitors, *IEEE Std* 1992.
- [72] M. F. McGranaghan, "Do capacitor switching transients still cause problems?," *Power quality assurance*, pp. 28–33, January-February 1998.
- [73] E.P. Dick, D. Fischer, R. Marttila, and C. Mulkins, "Point-on-wave capacitor switching and adjustable speed drives," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 11, no. 3, pp. 1367–1372, July 1996.
- [74] M. Chantler, P. Pogliano, A. Aldea, G. Tornielli, T. Wyatt, and A. Jolley, "The use of fault-recorder data for diagnosing timing and other related faults in electricity transmission networks," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 15, no. 4, pp. 1388–1393, November 2000.
- [75] CIGRE Working group 13.04, "Shunt capacitor bank switching stresses and test methods. (part I)," *Electra*, vol. 182, pp. 165–189, February 1999.
- [76] R.A. Adams, S.W. Middlekauff, and E.H. Camm J.A. McGee, "Solving customer power quality problems due to voltage magnification," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 13, no. 4, pp. 1515–1520, October 1998.
- [77] T.A. Bellei, R.P. O'Leary, and E.H. Camm, "Evaluating capacitor-switching devices for preventing nuisance tripping of adjustable-speed drives due to voltage magnification," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 11, no. 3, pp. 1373–1378, July 1996.
- [78] E. Acha, M. Madrigal, "Power System Harmonics", *Wiley Press*, 2000, ISBN:0471 521752.
- [79] L.Cristaldi, A.Ferreno, "Harmonic Power Flow Analysis for the Measurement of the Electric Power Quality", *IEEE Trans. On Instrumentation and Measurement*, vol. 44, no. 3, pp.48-49, Jan. 2000

- [80] “Electromagnetic Compatibility”, Bölüm 2: “Environment Section 1: Description of the environment-Electromagnetic environment for low-frequency conducted disturbances and signaling in public power systems, 1st ed.” **CEI/IEC 1000-2-1** 1990
- [81] Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signaling in public low voltage power supply systems, 2nd ed. **IEC 61000-2-2** 2000
- [82] A.E.Emanuel, “On the Assessment of the Harmonic Pollution”, **IEEE Power Engineering Review**, vol.10, no.3, pp.1693-1698, Jul. 1995
- [83] E.W.Gunter, Interharmonics-Recommended Updated to IEEE 519, **Proceedings of the IEEE PES Summer Meeting** 2002, Chicago
- [84] R. Yacamini, “Power system harmonics, part 4 interharmonics”. **Power Eng. Journal** 10 4 (1996), pp. 185–193.
- [85] E.J. Delaney and R.E. Morrison, “Minimisation of interharmonic current from a current source AC drive by means of a selective DC side active filter”. **IEEE Trans. Power Deliv.** 10 3 (1995), pp. 1584–1590.
- [86] D. Gallo, R. Langella, A. Testa, On the Processing of Harmonics and Interharmonics in Electrical Power Systems, Proceedings of the IEEE PES Winter Meeting 2000, vol. 3, pp. 1581–1586.
- [87] M.B. Rifai, T.H. Ortmeyer and W.J. McQuillan, “Evaluation of current interharmonics from AC drives.” **IEEE Trans. Power Deliv.** 15 3 (2000), pp. 1094–1098.
- [88] B.R. Pelly. “Thyristor Phase-Controlled Converter and Cycloconverters, Operation, Control and Performance,” **Wiley** (1971).
- [89] E.W. Gunther, Interharmonics—Recommended Updates to IEEE 519. Proceedings of the IEEE PES Summer Meeting 2002, Chicago, 2002.
- [90] D.D. Sabin, J.D. Lamoree, and A. Sundaram, “Final Results from the EPRI Distribution System Power Quality Monitoring Project and New Power Quality Monitoring Tools,” **Power Quality’98/Power Value’98 Proceedings**, pp. 241-251, Santa Clara-CA, USA, November 1998.
- [91] A. Robert, “Industrial Consumers Power Quality Related Needs and Possible Services,” **Proceedings of the Power Quality Applications’97** (Europe) Conference, Final Section, Stockholm, Sweden, June 1997.
- [92] Math H. J. Bollen, “The Influence of Motor Reacceleration on Voltage Sags”, **IEEE Trans. On Indust. Applications**, vol.31, no.4, pp.667-674, July/August 1995
- [93] Math H. J. Bollen, “Voltage Sags in Three-Phase Systems”, **IEEE Power Engineering Review**, vol.21 Issue 9, pp 8-11, Sept. 2001

- [94] M. Mcranaghan, D. Mueller, M. Samotyj, "Voltage Sags in Industrial Systems", *IEEE/IASI, CPS Annual Meeting*, 1991, pp.18-24
- [95] Electric Power Research Institute, "An Assesstment of Distribution System Power Quality. Volume 2: *Statistical Summary Report. Palo Alto, EPRI TR-106294-V2*, 1996.
- [96] E. W. Gunther and H. Mehta, "A Survey of Distribution System Power Quality - Preliminary Results," *IEEE Trans. Power Delirey*, vol. 10. no. 1. January 1995, pp. 322-329.
- [97] L. C. Markcl. C. J. Melhorn, S. R. Williams, and H. Mehta, "Design of a Measurement Program to Characterize Distribution System Power Quality," *Proceedings of the Twelfth International Conference on Electricity Distribution (CIRED'93)*. Birmingham, England, May 1993.
- [98] D. D. Sabin, D. L. Brooks. A. Sundarani, "Summary of U.S. Distribution Power Quality Levels," *Conference on Power Quality End-Use Applications and Perspectives (PQA'97 Europe)*. Stockholm, Sweden, June 1997.
- [99] "IEEE Triol Use Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices." *IEEE P 1366*
- [100] D. S. Door, "Point of Utilization Power Quality Study Results." *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. IA-31 , no. 4. July 1995.
- [101] DISDIP Group, "Voltage Dips and Short Interruptions in Medium Voltage Public Electricity Supply Systems." *Report from the Intemational Union of Producers and Distributors of Electrical Energy (UNIPEDA)*, 1990.
- [102] M. H. J. Bollen. "Fast Assessment Methods for Voltage Sags in Distribution Systems", Conference Record of the 1995 *IEEE Industrial Applications Society Meeting*. Orlando, Florida, October 1995. vol. 3 , pp. 2282 - 2289.
- [103] M. B. Hughes, J. S. Chan, 'Canadian National Power Quality Survey Results," *Fourth International Conference on Power Quality: Applications and Perspectives (PQA '95)*, New York, New York, May 1995.
- [104] Bollen, M. H. J., L.E. Conrad, Gold Book Voltage Sag Working Group Members, "Voltage Sag Coordination for Reliable Plant Operation." *Conferencee Record of the 1996 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, San Diego, Califomia, October 1996, Vol. 3 , pp. 2366 - 2377.
- [105] M. Aredes, K. Heumann, and E.H. Watanabe, "An Universal Active Power Line Conditioner," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 13, No. 2, April 1998, pp.545-551.
- [106] P. Bauer and S.W.H. de Haan, "Electronic Tap Changer for 500 kVA/10 kV Distribution Transformers: Design, Experimental Results and Impact in Distribution Networks," *Proceeding of the 33rd IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Vol. 3, pp. 2321-2328, St. Louis-MI, USA, October 1998.

- [107] N.H.Woodley, L.Moran, A. Sundaram, “Experience with an inverter-based dynamic voltage restorer”, *IEEE, Trans. Power Delivery*, vol. 14, pp. 1181-1186, July 1999
- [108] X. Lei, D. Retzmann, M. Weinhold, Improvement of power quality with advanced power electronic equipment, *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, City University*, London, April 4–7, IEEE 2000.
- [109] G. Venkataramanan and B. Wang, “Dynamic modeling and control of three phase pulse width modulated power converters using phasors,” in *Proc. IEEE 35th Power Electron. Spec. Con.*, Aachen, Germany, 2004, p. 2822.
- [110] N. H. Woodley, “Field experience with dynamic voltage restorer (DVRTMMV) systems,” in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting. Conf.*, Singapore, 2000, p. 2864.
- [111] P.K. Steimer, H.E. Grüning, J. Werninger, E. Carroll, S. Klaka, and S. Linder, “IGCT – a New Emerging Technology for High Power, Low Cost Converters,” *IEEE Industry Applications Magazine*, Vol. 5, No. 4 July/August 1999, pp. 12-19.
- [112] E.I. Carroll, “Power Electronics for Very High Power Applications,” *IEE Power Engineering Journal*, Vol. 13, No. 2, April 1999, pp. 81-87.
- [113] D. Holmberg, M. Danielsson, P. Halvarsson, and L. Ängquist, “The Thyristor Controlled Series Capacitor”, Paper No. 14-105 presented at *CIGRÉ 1998 Session*, September 1998.
- [114] J. Gribel, R. Fraga, M.J. Eiras, W. Ping, A. Ricardo, J. Cavalcanti, R. Tenório, C. Gama, and R.L. Leoni, “Brazilian North-South Interconnection – Application of Thyristor Controlled Series Compensation (TCSC) to Damp Inter-Area Oscillation Mode”, Paper No. 14-101 presented at *CIGRÉ 1998 Session*, September 1998.
- [115] A. Nabae, I. Takahashi, and H. Akagi, “A New Neutral-Point-Clamped PWM Inverter,” *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. IA-17, No. 5, 1981, pp. 518-523.
- [116] F.Z. Peng, H. Akagi, and A. Nabae, “A New Approach to Harmonic Compensation in Power Systems – a Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters,” *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 26, No. 6, November/December 1990, pp. 983-990.
- [117] S. Bhattacharya, D.M. Divan, and B.B. Banerjee, “Control and Reduction of Terminal Voltage Total Harmonic Distortion (THD) in a Hybrid Series Active and Parallel Passive Filter System,” *Proceedings of the 24th Power Electronics Specialists Conference (PESC’93)*, pp. 779-786, Seattle-WA, USA, June 1993.
- [118] A.A. Edris, A.S. Mehraban, M. Rahman, L. Gyugyi, S. Arabi, T. R. Rietman, “Controlling the Flow of Real and Reactive Power,” *IEEE Computer Applications in Power*, Vol. 11, No. 1, January 1998, pp. 20-25.

- [119] C.D. Schauder, E. Stacey, M. Lund, L. Gyugyi, L. Kovalsky, A. Keri, A. Mehraban, and A. Edris, "AEP UPFC Project: Installation, Commissioning, and Operation of the ± 160 MVA STATCOM (Phase I)," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 13, No. 4, October 1998, pp. 1530-1535.
- [120] B.A. Renz, A.S. Mehraban, A. Keri, C.D. Schauder, E. Stacey, L. Kovalsky, L. Gyugyi, and A. Edris, "AEP Unified Power Flow Controller Performance," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 14, No. 4, October 1999, pp. 1374-1381.
- [121] J.D. Lamoree, P. Vinett, C. DeWinkel, R. Temple, "Application of a Superconducting Magnetic Energy Storage Device to Improve Facility Power Quality," Proceedings of the *2nd International Conference on Power Quality: End-Use Applications and Perspectives*, pp. E-12:1-E-12:10, Georgia-AT, USA, September 1992.
- [122] J. Cerulli, "Operational Experience with a Superconducting Magnetic Energy Storage Device at Brookhaven National Laboratory, New York," 1999 *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, Vol. 2, pp. 1247-1252, New York- NY, USA, January 1999.
- [123] L. Borgard, "Grid Voltage Support at Your Fingertips," *Transmission & Distribution World*, Vol. 51, No. 9, October 1999, pp. 16-20.
- [124] J.R. Hull, "Flywheels on a Roll," *IEEE Spectrum*, Vol. 34, No. 7, July 1997, pp. 20-25.
- [125] N. H. Woodley, L. Morgan, and A. Sundaram, "Experience with an inverter-based dynamic voltage restorer," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 14, no. 3, p. 1181, Aug. 1999.
- [126] J. Holtz and W. Litzkat, "Controlled AC drives with ride-through capability at power interruption," in Conf. Rec. *IEEE-IAS Annu. Meeting*, Oct. 1998, pp. 1538-1545.
- [127] J. L. Durán-Gómez, P. N. Enjeti, and B. O. Woo, "Effect of voltage sags on adjustable speed drives—A critical evaluation and an approach to improve its performance," *IEEE Trans. Industrial Applications*, vol. 35, pp. 1440-1449, Nov./Dec. 1999.
- [128] O. Montero and P. Enjeti, "Application of a boost AC-AC converter to compensate for voltage sags in electric power distribution systems," in Proc. *IEEE PESC*, vol. 1, 2000, pp. 470-475.
- [129] M. Corley, J. Locker, S. Dutton, and R. Spee, "Ultracapacitor based ride-through system for adjustable speed drives," in Proc. *IEEE PESC'99*, vol. 1, 1999, pp. 26-31.
- [130] A. Campos, G. Joos, P. D. Ziogas, and J. F. Lindsay, "Analysis and design of a series unbalanced compensator based on a three-phase VSI, operating with unbalanced switching functions," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 9, pp. 269-274, July 1994.

- [131] P. Daehler and R. Affolter, "Requirements and solutions for dynamic voltage restorer, a case study," in Proc. *IEEE-PES Winter Meeting*, vol.4, 2000, pp. 2881–2885.
- [132] A. Kara, P. Dahler, D. Amhof, and H. Gruning, "Power supply quality improvement with a dynamic voltage restorer (DVR)," in Proc. *IEEE APEC'98*, vol. 2, 1998, pp. 986–993.
- [133] W. E. Brumsickle, R. S. Schneider, G. A. Luckjiff, D. M. Divan, and M. F. McGranaghan, "Dynamic sag correctors: Cost-effective industrial power line conditioning," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 37, pp. 212–217, Jan./Feb. 2001.
- [134] P. T. Cheng, R. Lasseter, and D. Divan, "Dynamic series voltage restoration for sensitive loads in unbalanced power systems," *U.S. Patent* 5 883 796, Mar. 16, 1999.
- [135] C.H. Lee and S.W. Nam, "Efficient feature vector extraction for automatic classification of power quality disturbances," *Electronics Letters*, vol. 34, no.11, pp. 1059–1061, May 1998.
- [136] L. Angrisani, P. Daponte, and M. D'Apuzzo, "Wavelet network-based detection and classification of transients," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 50, no. 5, pp. 1425–1435, October 2001.
- [137] I.Y.H. Gu and M.H.J. Bollen, "Time-frequency and time-scale domain analysis of voltage disturbances," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 15, no. 4, pp. 1279–1284, October 2000.
- [138] G.T. Heydt, P.S. Fjeld, C.C. Liu, D. Pierce, L. Tu, and G. Hensley, "Time-frequency and time-scale domain analysis of voltage disturbances," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 14, no. 4, pp. 1411–1416, October 1999.
- [139] M. Kezunovic and Y. Liao, "A new method for classification and characterization of voltage sags," *Electric Power Systems Research*, vol. 1, no. 3, pp. 27–35, May 2001.
- [140] A. C. Parsons, W. M. Grady, and E. J. Powers, "A wavelet-based procedure for automatically determining the beginning and end of transmission system voltage sags," in Proc. *IEEE-PES Winter Meeting*, vol. 2, 1999, pp. 1310–1315.
- [141] Nielsen, J.G.; Blaabjerg, F. "Comparison of system topologies for dynamic voltage restorers" Industry Applications Conference, 2001. *Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE Volume 4*, 30 Sept.-4 Oct. 2001 Page(s):2397 - 2403 vol.4
- [142] Bingsen Wang; Venkataramanan, G.; Illindala, M. "Operation and control of a dynamic voltage restorer using transformer coupled H-bridge converters";, *IEEE Transactions Power Electronics* on Volume 21, Issue 4, July 2006 Page(s):1053 – 1061

- [143] Poh Chiang Loh; Vilathgamuwa, D.M.; Seng Khai Tang; Long, H.L.; "Multilevel dynamic voltage restorer" *Power Electronics Letters, IEEE* Volume 2, Issue 4, Dec. 2004 Page(s):125 – 130
- [144] Choi, S.S.; Li, B.H.; Vilathgamuwa, D.M.; "A comparative study of inverter- and line-side filtering schemes in the dynamic voltage restorer" *Power Engineering Society Winter Meeting*, 2000. IEEE Volume 4, 23-27 Jan. 2000 Page(s):2967 - 2972 vol.4
- [145] A. Wikström, P. Bennich, and G. Andersson, "Improvements of the Performance of an Industrial Power System by Use of Fast Switches," Proceedings of the 31st *Annual North American Power Symposium (NAPS'99)*, pp. 183-187, San Luis Obispo-CA, USA, October 1999.
- [146] [146] Zhan, C.-J.; Wu, X.G.; Kromlidis, S.; Ramachandramurthy, V.K.; Barnes, M.; Jenkins, N.; Ruddell, A.J.; "Two electrical models of the lead-acid battery used in a dynamic voltage restorer" *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings-* Volume 150, Issue 2, March 2003 Page(s):175 – 182
- [147] Hyosung Kim; "Minimal energy control for a dynamic voltage restorer", 2002. PCC Osaka 2002. Proceedings of the *Power Conversion Conference* Volume 2, 2-5 April 2002 Page(s):428 - 433 vol.2
- [148] Jimichi, T.; Fujita, H.; Akagi, H.; "Design and experimentation of a dynamic voltage restorer capable of significantly reducing an energy-storage element", *Fourtieth IAS Annual Meeting Industry Applications Conference*. Conference Record of the 2005 Volume 2, 2-6 Oct. 2005 Page(s):896 - 903 Vol. 2 Sang-Joon
- [149] Lee; Hyosung Kim; Seung-Ki Sul; "A novel control method for the compensation voltages in dynamic voltage restorers" *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2004. APEC '04*. Nineteenth Annual IEEE Volume 1, 2004 Page(s):614 - 620 Vol.1
- [150] Hyosung Kim; Sang-Joon Lee; Seung-Ki Sul; "Reference wave generation in dynamic voltage restorers by use of PQR power theory" *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2004. APEC '04*. Nineteenth Annual IEEE Volume 3, 2004 Page(s):1452 - 1457 Vol.3
- [151] M.Vilathgamuwa, A.A,D.Ranjith-Perera, S.S.Choi, K.J.Tseng, "Control of Energy Optimized Dynamic Voltage Restorer", *IEEE Conference Records on IECON'99*, pp.873-878.
- [152] Z. Changjiang, A. Arulampalam, and N. Jenkins, "Four-wire dynamic voltage restorer based on a three-dimensional voltage space vector PWM algorithm," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 18, no. 4, p. 1093, Jul. 2003.
- [153] Nielsen, J.G.; Blaabjerg, F.; Mohan, N.; "Control strategies for dynamic voltage restorer compensating voltage sags with phase jump" *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2001. APEC 2001*. Sixteenth Annual IEEE Volume 2, 4-8 March 2001 Page(s):1267 - 1273 vol.2

- [154] Newman, M.J.; Holmes, D.G.; Nielsen, J.G.; Blaabjerg, F.; “A dynamic voltage restorer (DVR) with selective harmonic compensation at medium voltage level,” *IEEE Transactions on Industry Applications* Volume 41, Issue 6, Nov.-Dec. 2005 Page(s):1744 – 1753
- [155] Ahn, S.U.; Jardini, J.A.; Masuda, M.; Silva, F.A.T.; Copeliovitch, S.; Matakas, L.; Komatsu, W.; Ortiz, M.G.F.; Camargo, J.; Zanetti, E.R.; “Mini-DVR-dynamic voltage restorer with functions of reactive compensation and active harmonic filter” *Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2004 IEEE/PES* 8-11 Nov. 2004 Page(s):845 – 852
- [156] Chi-Seng Lam; Man-Chung Wong; Ying-Duo Han; “Per-unit design of a transformerless, H-bridge dynamic voltage restorer with closed-loop load voltage and current-mode control” *Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the Industry Applications Conference, 2005*. Volume 4, 2-6 Oct. 2005 Page(s):2420 - 2427 Vol. 4
- [157] Sng, E.K.K.; Choi, S.S.; Vilathgamuwa, D.M.; “Analysis of series compensation and DC-link voltage controls of a transformerless self-charging dynamic voltage restorer”, *IEEE Transactions on Power Delivery* Volume 19, Issue 3, July 2004 Page(s):1511 – 1518
- [158] Jimichi, T.; Fujita, H.; Akagi, H.; “Design and experimentation of a dynamic voltage restorer capable of significantly reducing an energy-storage element” 2005. *Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the Industry Applications Conference*, Volume 2, 2-6 Oct. 2005 Page(s):896 - 903 Vol. 2
- [159] Praveen, J.; Muni, B.P.; Venkateshwarlu, S.; Makthal, H.V.; “Review of dynamic voltage restorer for power quality Improvement” *IECON 2004. 30th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society*, 2004. Volume 1, 2-6 Nov. 2004 Page(s):749 - 754 Vol. 1
- [160] C. Zhan, C. Fitzer, V. K. Ramachandramurthy, A. Arulampalam, M. Barnes, and N. Jenkins, “Software phase-locked loop applied to dynamic voltage restorer (DVR),” in Proc. *IEEE-PES Winter Meeting*, 2001, pp. 1033–1038.
- [161] V. Kaura and V. Blasko, “Operation of a phase locked loop system under distorted utility conditions,” *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 33, pp. 58–63, Jan./Feb. 1999
- [162] A. C. Parsons, W. M. Grady, and E. J. Powers, “A wavelet-based procedure for automatically determining the beginning and end of transmission system voltage sags,” in Proc. *IEEE-PES Winter Meeting*, vol. 2, 1999, pp. 1310–1315.
- [163] D. Gregory, C. Fitzer, and M. Barnes, “The static transfer switch operational considerations,” in Proc. *PEMD Conf.*, Apr. 16–18, 2002, pp. 620–625.
- [164] A. C. Parsons, W. M. Grady, and E. J. Powers, “A wavelet-based procedure for automatically determining the beginning and end of transmission system voltage sags,” in Proc. *IEEE-PES Winter Meeting*, vol. 2, 1999, pp. 1310–1315.

- [165] W.V. Hassenzahl, "Applications of Superconductivity to Electric Power Systems," *IEEE Power Engineering Review*, Vol. 20, No. 5, May 2000, pp. 4-7.
- [166] H. Michel and C. Raible, "Bursting with Power," *Power Conversion and Intelligent Motion (PCIM) Europe*, Issue 3, March 1999, pp. 36-39.
- [167] S.I. Baskakov. "Signals and Circuits". *Mir Press*, Moscow, 1986.
- [168] W.L. Briggs, V.E. Henson. "The DFT. An Owner's Manual". *SIAM Press*, Philadelphia, PA, 1995.
- [169] E.O. Brigham. "The Fast Fourier Transform". *Prentice-Hall Press*, Englewood Clis, NJ, 1978.
- [170] I. Daubechies. "Ten Lectures on Wavelets". *SIAM Press*, Philadelphia, PA, 1992.
- [171] S. Mallat. "A Wavelet Tour of Signal Processing". Academic Press, New York, NY, 1998.
- [172] Y. Meyer. "Wavelets. Algorithms and Applications". *SIAM Press*, Philadelphia, PA, 1993.
- [173] C.S. Burrus, R.H. Gopinath, H. Guo. "Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms, A Primer". *Prentice-Hall Press*, Englewood Clis, NJ, 1998.
- [174] J.J. Benedetto, M.W. Frazier, editors. "Wavelets. Mathematics and Applications". CRC Press, Boca Raton, FL, 1994.
- [175] G. Strang, T. Nguyen. Wavelets and Filter Banks. *Wellesley Cambridge Press*, Boston, 1996.
- [176] J.S. Walker, "A Primer on Wavelets and Their Scientific Applications", *CRC Press*, Boca Raton, 1999.
- [177] D. Sabin, "An assessment of distribution system power quality," *Elect. Power Res. Inst., Palo Alto, CA, EPRI Final Rep. TR-106294-V2*, vol. 2, Statistical Summary Report, May 1996.
- [178] www.ieeexplore.org (**Ziyaret Tarihi : 29.05.2006**)
- [179] R.M.Fernandez, H.N.D.Rojas, "An Overview of Wavelet Transforms Applications in Power Systems" *14th PSCC*, Sevilla, 24-28 June 2002.
- [180] Pham, V.L.; Wong, K.P. "Wavelet-transform-based algorithm for harmonic analysis of power system waveforms", *IEE Proceedings of Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 146, No. 3, May 1999, pp. 249 –254.
- [181] Pham, V.L.; Wong, K.P. "Antidistortion method for wavelet transform filter banks and nonstationary power system waveform", *IEE Proceedings of Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 148, No. 2, Mar. 2001, pp. 117 –122.

- [182] Van Long Pham; Kit Po Wong; Watson, N.; Arrillaga, J. "Sub-harmonic state estimation in power systems", *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, 2000, Vol. 2 , pp. 1168 –1173.
- [183] Tongxin Zheng; Makram, E.B.; Girgis, A.A. "Power system transient and harmonic studies using wavelet transform", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 14, No. 4 , Oct. 1999, pp. 1461 –1468.
- [184] Gu, Y.H.; Bollen, M.H.J. "Time-frequency and timescale domain analysis of voltage disturbances", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 15, No. 4 , Oct. 2000, pp. 1279 –1284.
- [185] Driesen, J.; Van Craenenbroeck, T.; Reekmans, R.; Van Dommelen, D. "Analysing time-varying power system harmonics using wavelet transform", Conference Proceedings *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 1996, Vol. 1, pp. 474 –479.
- [186] Wang Jianze; Ran Qiwen; Wang Fei; Ji Yanchao, "Time-varying transient harmonics measurement based on wavelet transform", Proceedings *International Conference on Power System Technology*, 1998, Vol. 2, pp. 1556 –1559.
- [187] Shyh-Jier Huang and Cheng-Tao Hsieh, "Visualizing time-varying power system harmonics using a Morlet wavelet transform approach", *Electric Power Systems Research*, Vol. 58, No 2, 21 June 2001, pp. 81-88.
- [188] Tongxin Zheng and Elham B. Makram, "Wavelet representation of voltage flicker", *Electric Power Systems Research*, Vol. 48, No. 2, 15 Dec. 1998, pp. 133-140.
- [189] Driesen, J.; Van Craenenbroeck, T.; Reekmans, R.; Van Dommelen, D. "Analysing time-varying power system harmonics using wavelet transform", Conference Proceedings *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 1996, Vol. 1, pp. 474 –479
- [190] Ren Zhen; Huang Qungu; Guan Lin; Huang Wenying, "A new method for power systems frequency tracking based on trapezoid wavelet transform", *International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, 2000, Vol. 2, pp. 364 –369.
- [191] Shyh-Jier Huang; Cheng-Tao Hsieh, "Application of continuous wavelet transform for study of voltage flicker-generated signals", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 36, No. 3 Part:1, Jul. 2000, pp. 925 –932.
- [192] Ming-Tang Chen; Sakis Meliopoulos, A.P. "Wavelet-based algorithm for voltage flicker analysis", Proceedings *Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power*, 2000, Vol. 2, pp. 732–738.
- [193] Gu, Y.H.; Bollen, M.H.J. "Time-frequency and timescale domain analysis of voltage disturbances", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 15, No. 4 , Oct. 2000, pp. 1279 –1284.

- [194] Santoso, S.; Powers, E.J.; Grady, W.M. “Electric power quality disturbance detection using wavelet transform analysis”, *IEEE-SP Proceedings of International Symposium on Time-Frequency and Time-Scale Analysis, 1994*, pp. 166 –169.
- [195] Pastore, S.; Quaia, S.; Torelli, L.; “Voltage sag analysis through wavelet transform”, *Electrotechnical Conference, 1998. MELECON 98., 9th Mediterranean*, Volume 2, 18-20 May 1998 Page(s):959 - 963 vol.2
- [196] Parsons, A.C.; Grady, W.M.; Powers, E.J.; “A wavelet-based procedure for automatically determining the beginning and end of transmission system voltage sags” *Power Engineering Society 1999 Winter Meeting*, IEEE, Volume 2, 31 Jan-4 Feb 1999 Page(s):1310 - 1315 vol.2
- [197] M. Gaouda, M. A. Salama, M. R. Sultan, and A. Y.Chikhani, “Power Quality Detection and Classification sing Wavelet-Multiresolution Signal Decomposition,” *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 14(4), pp. 1469-1476, 999.
- [198] A.M. Gaouda, M.M.A. Salama, M.R. Sultan, & A.Y. Chikhani, Application of multi-resolution signal decomposition for monitoring short duration variations in distribution systems, *IEEE Trans. on Power Delivery*, 15 (2), 2000, 478–485.
- [199] Zwe-Lee Gaing; “Wavelet-based neural network for power disturbance recognition and classification”, *IEEE Transactions on Power Delivery* Volume 19, Issue 4, Oct. 2004 Page(s):1560 – 1568
- [200] “FPGA realization of power quality disturbance detection: an approach with wavelet, ANN and fuzzy logicNeural Networks”, 2005. Proceedings. *2005 IEEE International Joint Conference* on Volume 4, 31 July-4 Aug. 2005 Page(s): 2613 - 2618 vol. 4
- [201] Gang Zheng; Xiao-Mei Yan; Hao-Wen Li; Ding Liu; “Classification of voltage sag based on wavelet transform and wavelet network”, , 2004. Proceedings of 2004 *International Conference on Machine Learning and Cybernetics*Volume 1, 26-29 Aug. 2004 Page(s):466 - 470 vol.1
- [202] Wang Kexing; Song Zhengxiang; Chen Degui; Wang Jianhua; Geng Yingsan; “Digital identification of voltage sag in distribution system” *International Conference on Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002.* Volume 1, 13-17 Oct. 2002 Page(s):459 - 463 vol.1
- [203] Mukerjee, R.N.; Tanggawelu, B.; Rogers, G.J.; Soyat, S.; “Fuzzy classification based identification of voltage sag via wavelets”, 2002. *ICONIP '02. Proceedings of the 9th International Conference on Neural Information Processing* Volume 5, 18-22 Nov. 2002 Page(s):2381 - 2385 vol.5
- [204] Zhu, T.X.; Tso, S.K.; Lo, K.L.; “Wavelet-based fuzzy reasoning approach to power-quality disturbance recognition”, *IEEE Transactions on Power Delivery* Volume 19, Issue 4, Oct. 2004 Page(s):1928 – 1935
- [205] Guo-Sheng Hu; Jing Xie; Feng-Feng Zhu; “Classification of Power Quality Disturbances Using Wavelet and Fuzzy Support Vector Machines” 2005.

Proceedings of 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Volume 7, 18-21 Aug. 2005 Page(s):3981 – 3984

[206] Wang, Z.Q.; Zhu, S.Z.; “Comparative study on power quality disturbance magnitude characterization” 2002. Proceedings. PowerCon 2002. *International Conference on Power System Technology*, Volume 1, 13-17 Oct. 2002 Page(s):106 - 111 vol.1

[207] Wang, Z.Q.; Zhou, S.Z.; Guo, Y.J.; ” Comparisons on ways of magnitude characterization of power quality disturbances” 2002 *Large Engineering Systems Conference on Power Engineering* LESCOPE 02 26-28 June 2002 Page(s):178 – 183

[208] Resende, J.W., Chaves, M.L.R., Penna, C. “Identification of power quality disturbances using the MATLAB wavelet transform toolbox” *IPST Conference*, 2001

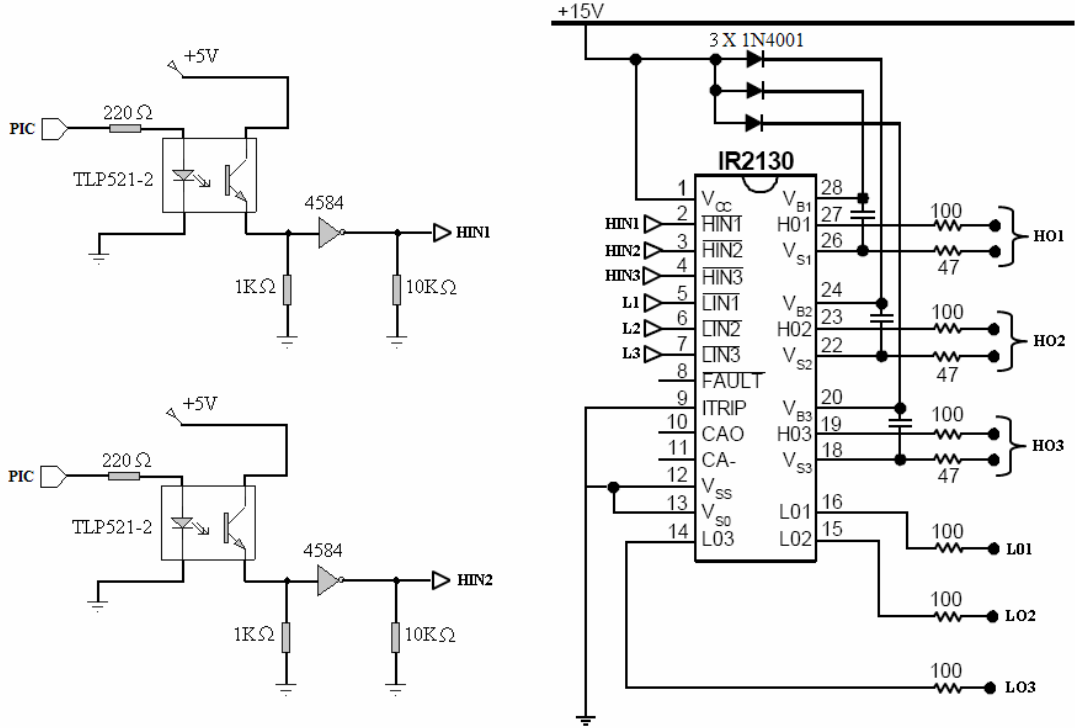
[209] Chung, J.; Powers, E.J.; Grady, W.M.; Bhatt, S.C. “New robust voltage sag disturbance detector using an adaptive prediction error filter”, *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, 1999, Vol. 1, pp. 512 –517.

EK A. GÜÇ KAYNAĞI TEKNİK ÖZELLİKLERİ

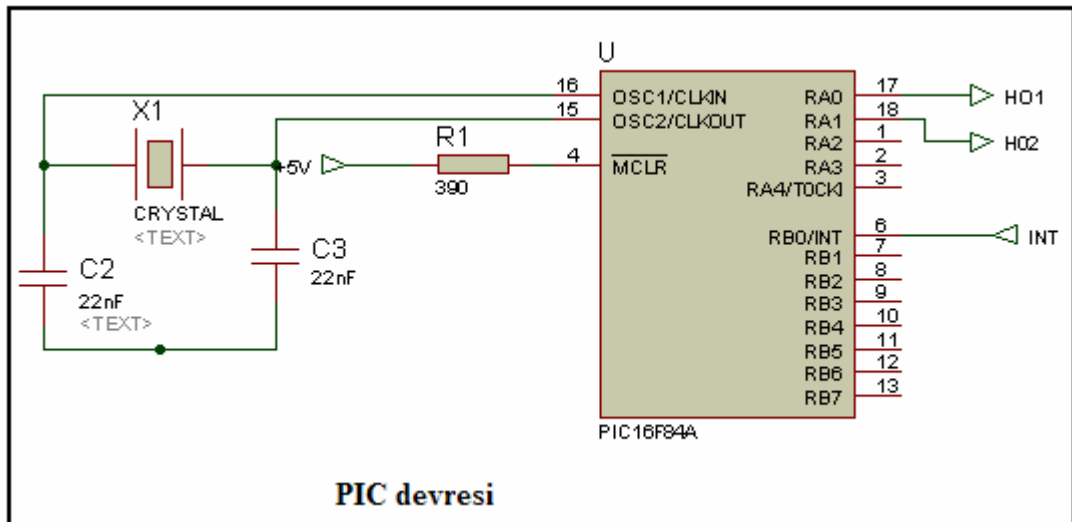
1. Sinüs, kare dalga, kırılmış formda veya kullanıcının belirlediği şekilde AC çıkış gerilimi ve akımı alınabilmektedir.
2. 3 fazlı çıkış gücü minimum 4500 VA ve frekans 45–1000 Hz aralığındadır.
3. Harmonik analiz yapabilmek için çıkış gerilimi veya akımının dalga şeklini minimum 1024 noktada örnekleme yaparak istenilen frekanslarda, açıda ve faz farkında elde etmek için, rasgele dalga üretme özelliği (Arbitrary Waveform Generation) vardır.
4. Alternatif gerilim çıkışı için, gerilim, akım, aktif güç, reaktif güç, görünür güç, güç faktörü ölçümleri yapılabilir, bu değerler aynı zamanda cihaz üzerinde bulunacak olan bir göstergeden de okunabilmektedir.
5. Dışarıdan bir osiloskoptan alınacak olan bilgiler cihazda değerlendirilebilmeli gerilim, akım, frekans, faz açısı, krest faktörü, aktif-reaktif-görünür güçler, 50. seviyeye kadar harmonik ölçümleri yapılabilir.
6. Bütün ölçme ve sinyal üretme uygulamaları bilgisayar destekli olarak yapılabilir. Bu amaçla Windows 98/2000/NT/XP uyumlu, kullanıcı arabirimli bir program ile:
 - Sürekli hal için tüm çıkış parametreleri kontrol edilebilmekte,
 - Geçici reji olayların (gerilimde şişme , yayılma, kesme v.b.) oluşturulması, veri aktarımı, yürütülmesi, kaydedilmesi, ölçülmesi, yazdırılması yapılabilir,
 - Harmonik dalga şekilleri üretilip, kaydedilebilmeli, çıkışa aktarılabilir,
 - Üretilen harmonik dalgalarda her bir harmoniğin genliği, açısı, ayarlanabilmekte,
 - Üretilen akım/gerilim dalgasının şekli, her bir değişiklik ve uygulama için ekranda görülmekte,
 - Ölçülen harmonik akım ve gerilim büyüklükleri ekranda görülebilmeli, değerler kaydedilip, çıktıları alınabilmekte,
 - IEEE-488 ve RS-232C protokollerine uygun olarak çevre birimlerle haberleşebilmektedir.

EK B. DEVRE ŞEMALARI

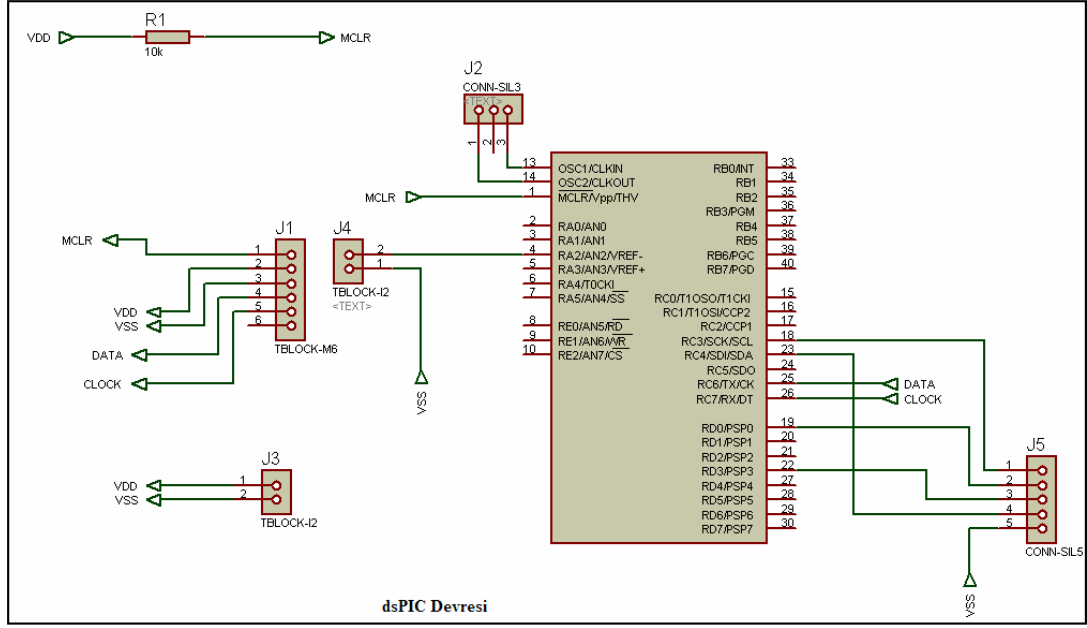
MOSFET SÜRÜCÜ DEVRESİ



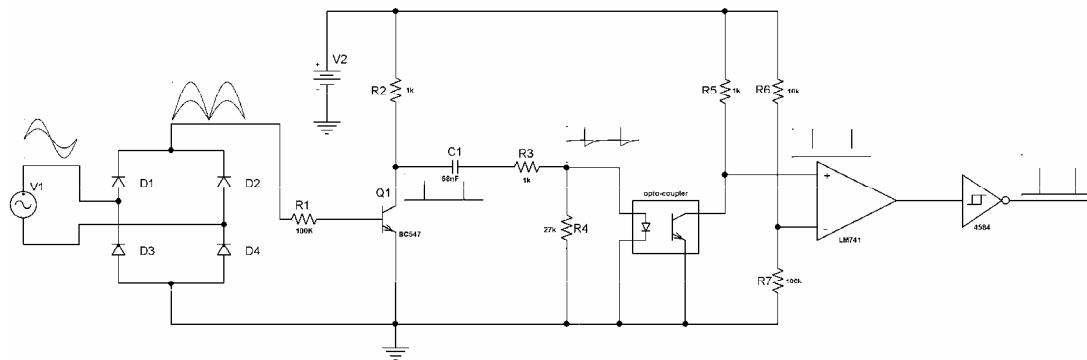
PIC VE DSPIC DEVRESİ



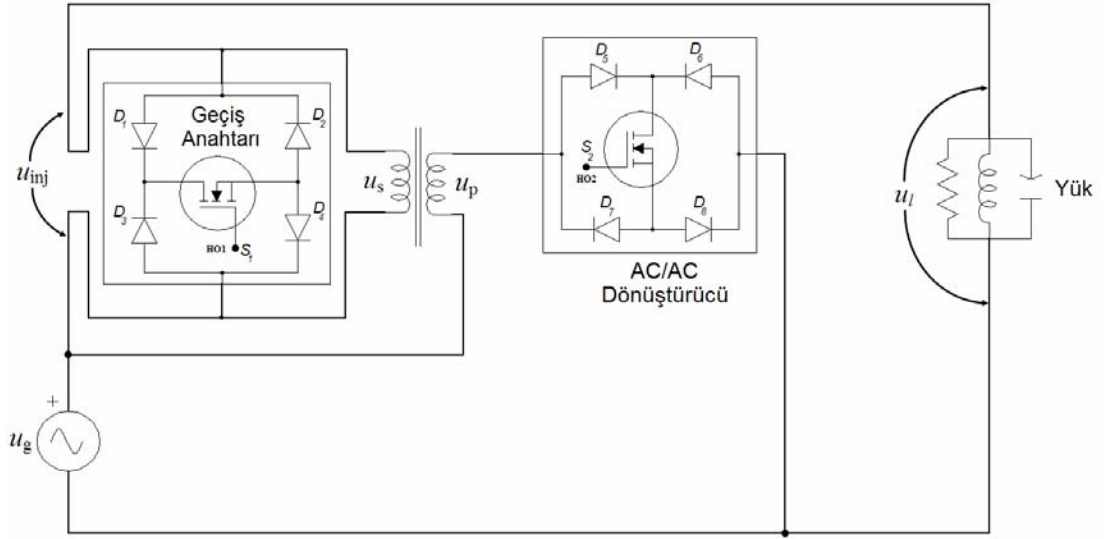
PIC devresi



SIFIR GEÇİŞ YAKALAMA DEVRESİ

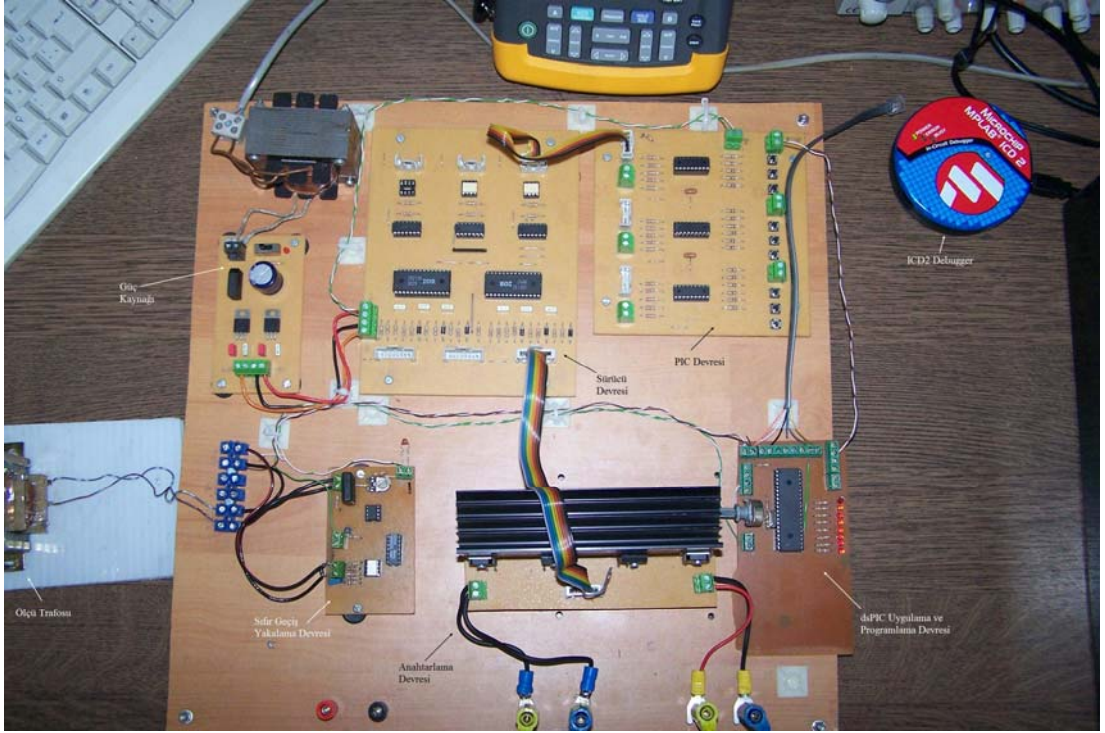


MOSFET GÜÇ DEVRESİ



DİNAMİK GERİLİM DÜZENLEYİCİ DENEY DÜZENEĞİ





EK C. MPLAB PROGRAM KODU

```
#include <dspic.h>
#include <timer.h>
#include <adc10.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

__CONFIG(FOSC, POSC & XTPLL8 & CLKSWDIS & FSCMDIS);

#define BAUD 9600
#define OSC 10000000
#define PLL_VALUE 8
#define FCY 10000000
#define CLOCK_TICKS 10000000
#define DIVIDER (((OSC/BAUD)/16)-1)
#define TCY_PER_SECOND (PLL_VALUE*CLOCK_TICKS/4.0)
#define TAD (((FCY*2)*0.00000077)+1)
#define PRE_SCALE 256
static volatile bit LED@(unsigned)&PORTD*8+0;

int a,f[100];
int i,j;
unsigned int timer_value;

//wavelet degiskenleri
signed long k3;
unsigned long k1,k2;
signed long c0,D=0;
signed long c1,D1;
signed long W00,W10,W20,W30,W01,W11,W21,W31;
signed long beta1=-129;
signed long beta2=-224;
signed long beta3=837;
signed long beta4=-483;

//-----

void InitTimer2(void)
```

```

{
T2CON=0X0020;
TMR2=0;
PR2=48;
T2ON=1;
T2IE=1;
SAMP=1;
return;
}

```

```

void interrupt Timer2_isr(void) @ 0X20
{
T2IF=0;
SAMP=1;
i++;
if (i==63)
T2ON=0;
}

```

```

void init_adc12(void)
{
    ADSIDL = 0; /* module continues when CPU is idle */
    FORM0 = 0;FORM1 = 0; /* format output as unsigned integer */
    SSR0 = 1; SSR1 = 1; SSR2 = 1; /* manual conversion */
    ASAM = 0; /* Manual sampling */
    VCFG0 = 0;VCFG1 = 0;VCFG2 = 0; /* use external + and - voltage reference */
    CSCNA = 0; /* scan 1 channels */
    SMP0 = 0;SMP1 = 0;SMP2 = 0;SMP3 = 0; /* interrupt after 1 conversions */
    BUFM = 0; /* one 16-word sample buffer */
    ALTS = 0; /* use MUX A inputs */
    ADCS0=0;ADCS1=1;ADCS2=0;ADCS3=0;ADCS4=0;ADCS5=0;
    SAMC0 = 1;SAMC1 = 0;SAMC2 = 0;SAMC3 = 0;SAMC4 = 1;
    ADRC = 0; /* derive Tad from system clock */
    ADCHS = 2; /* select an2 as positive input */
    ADCSSL = 0b0100; /* select an2 for scanning */
    ADPCFG = 0xFFFB; /* set an2 as analog inputs */
    ADIF = 0; /* clear A/D interrupt flag */
    ADIE = 1; /* enable A/D interrupts */
    ADON = 1; /* turn on A/D */
}

```

```

void interrupt External_Interrupt0(void) @ INT0_VCTR
{
i=0;
LED^=1;
InitTimer2();
INT0IF=0;
}

```

```

}

void interrupt adc_isr(void) @ ADC_VCTR
{

f[i]=ADCBUF0;
ADIF = 0;
if (i==31)
{
//wavelet
//LED^=1;
W00=(beta1*f[2]);
W10=(beta2*f[3]);
W20=(beta3*f[4]);
W30=(beta4*f[5]);

W01=beta3*f[2];
W11=beta4*f[3];
W21=beta1*f[30];
W31=beta2*f[31];

c0=(W00+W10+W20+W30);
c1=(W01+W11+W21+W31);

D1=((c1*beta3)+(c0*beta1));
D=(D1/1000000);

k1=(unsigned long)(D*D);

if (k1>73000)
PORTF=0;
else
PORTF=1;

}
if (i==63)
{
W00=(beta1*f[0+32]);
W10=(beta2*f[1+32]);
W20=(beta3*f[2+32]);
W30=(beta4*f[3+32]);

W01=beta3*f[0+32];
W11=beta4*f[1+32];
W21=beta1*f[30+32];
W31=beta2*f[31+32];

c0=(W00+W10+W20+W30);
c1=(W01+W11+W21+W31);

```

```

D1=((c1*beta3)+(c0*beta1));
D=D1/1000000;

k2=(unsigned long)(D*D);

if ((k2>63000) & (k2<86000))
PORTF=0;
else
PORTF=1;

i=0;
}

return;
}

int main(void)
{
int k;

TRISD=0;
TRISF=0;

for (k=0;k<64;k++)
f[k]=0;

init_adc12();
INTOEP=1;
INTOIE=1;

while (1);
}

```


KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

1. Ömer Özgür GENCER, Semra ÖZTÜRK, “Influence of Phase-Angle Jump on Inrush Currents of Transformers”, **13th IEEE MEDITERRANEAN ELECTROTECHNICAL CONFERENCE, MELECON 2006**, Malaga, Spain,
2. Ömer Özgür GENCER, Semra ÖZTÜRK, “Performance of an Over/Under Voltage Relay at Non-sinusoidal Conditions” **13th IEEE MEDITERRANEAN ELECTROTECHNICAL CONFERENCE, MELECON 2006**, Malaga, Spain,
3. Semra ÖZTÜRK, Ö. Özgür GENCER, “Angle & Voltage Stability Improvement with Series Compensation”, **Proceedings of the Second IASTED International Conference, Power And Energy Systems**, pp. 200-206.
4. Ömer Özgür GENCER, Semra ÖZTÜRK, Bora ALBOYACI, E.Mustafa YEGIN “Harmonic Analysis of an Industrial System **The 3th” International Conference on Electrical and Electronics Engineering ELECO'2003**, Bursa,
5. Ömer Özgür GENCER, Bora ALBOYACI, Semra ÖZTÜRK, “Harmonic Analysis Of An Industrial System-A Case Study” **AUPEC2003 28 September-1 October 2003 Australasian Universities Power Engineering Conference**, Christchurch, New Zealand
6. Ömer Özgür GENCER, Aysen BASA ARSOY, Semra ÖZTÜRK, Korhan KARAARSLAN “Influence of Voltage Harmonics on Over/Under Voltage Relay”, The 4th **International Conference on Electrical and Electronics Engineering ELECO'2005**, Bursa
7. Bora ALBOYACI, Nuran YÖRÜKEREN, Mehlika ŞENGÜL, Ömer Özgür GENCER. “Enerji Sorunu Çözümünde Hazneli Elektrik Santralleri ve Santral Gücünün Belirlenmesi”, **9. Ulusal Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Kongresi**, Sayfa:233-236
8. Ömer Özgür GENCER, Semra ÖZTÜRK, “Seri Kompanzasyon Sistemlerinin Geçici Hal Kararlılığına Etkileri”, Bursa **Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, ELECO' 2002**
9. Bora ALBOYACI, Ömer Özgür GENCER “Elektronik Balastlı Flüoresan Lamba Harmoniklerinin Ölçümü, Yok edilmesi Ve Simülasyonu İçin Yeni Bir Yöntem”, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. (Hakemli Dergi)**
10. Ömer Özgür GENCER, Semra ÖZTÜRK, E.Mustafa YEGIN, “Gerilim Düşümü Kompanze Yöntemleri” **EVK'2005 1. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu**, 17-18 Mayıs 2005, Kocaeli
11. Ömer Özgür GENCER, Aysen BASA ARSOY, Semra ÖZTÜRK Harmoniklerin Endüksiyon Motor Performansı Üzerindeki Etkilerinin

- Deneysel İncelenmesi ***EVK'2005 1. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu***, 17-18 Mayıs 2005, Kocaeli
12. Mehlika ŞENGÜL, Semra ÖZTÜRK, Aysen Basa ARSOY, Ömer Özgür GENCER Elif İNAN, Korhan KARAARSLAN “Gerilim Düşmesi Süresinin Transformatör Miknatıslanma Akımı Üzerindeki Etkileri” ***EVK'2005 1. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu***, 17-18 Mayıs 2005, Kocaeli
 13. Elif İNAN, Bora ALBOYACI, Ömer Özgür GENCER ”Gerçek Sistem Verilerinden Gerilim Azalmasının Örneklenen Zamana Göre İncelenmesi” ***EVK'2005 1. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu***, 17-18 Mayıs 2005,
 14. Bora Alboyacı, E. Mustafa Yeğın, Nuran Yörükeren, Ömer Özgür Gencer, Hasan Basri Çetinkaya “Kocaeli Konut Bölgelerinde Dağıtım Trafolarının Güç İhtiyacı Ve Trafolara Gelen Yükün Güç Kalitesine Etkileri” ***10. Ulusal Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Kongresi***, 2003, İstanbul
 15. Hasan Basri Çetinkaya, Bora Alboyacı, Semra Öztürk, Ömer Özgür Gencer “Dengesiz Yüklerde Faz Dengelemesi Ve Güç Faktörü Düzeltimi” ***10. Ulusal Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Kongresi***, 2003, İstanbul
 16. Ömer Özgür Gencer, Bora Alboyacı, Semra Öztürk, Hasan Basri Çetinkaya “Harmoniklerin Güç Faktörü Üzerine Etkileri” ***10. Ulusal Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Kongresi***, 2003, İstanbul
 17. Ömer Özgür Gencer, B. Alboyacı, E. M. Yeğın Çeşitli “Aydınlatma Aygıtlarının EMTP/ATP ile Harmonik Modellenmesi”, ***II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu***, Diyarbakır, 8-10 Ekim, 2003.
 18. Ömer Özgür Gencer, N. Yörükeren, B. Alboyacı, E. İnan, “Dağıtım Sistemlerinde Kullanılan Aydınlatma Aygıtlarındaki Harmoniğın Ölçümü, Yok edilmesi ve Simule Edilmesiyle İlgili Yeni Bir Algoritma” ***II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu***, Diyarbakır, 8-10 Ekim, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Çorum'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Balıkesir'de, lise öğrenimini Kocaeli'nde tamamladı. 1995 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 1999 yılında Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 1999–2002 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 1999 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.