

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GÜÇ KALİTESİ PARAMETRELERİ KULLANILARAK OTOMATİK
ANAHTARLAMA SİSTEMİ İLE ŞEBEKE SEÇİMİ**

Alper MUTLU

**Danışman
Dr. Öğretim Üyesi Fadıl KUYUCUOĞLU**

**II. Danışman
Prof. Dr. Sezai TAŞKIN**



MANİSA-2018

**Alper
MUTLU**

**GÜÇ KALİTESİ PARAMETRELERİ KULLANILARAK OTOMATİK ANAHTARLAMA
SİSTEMİ İLE ŞEBEKE SEÇİMİ**

2018

TEZ ONAYI

Alper MUTLU tarafından hazırlanan " **Güç Kalitesi Parametreleri Kullanılarak Otomatik Anahtarlama Sistemi İle Şebeke Seçimi** "adlı tez çalışması 09/03/2018 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Dr. Öğretim Üyesi Fadıl KUYUCUOĞLU**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

II.Danışman **Prof. Dr. Sezai TAŞKIN**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Nevzat ONAT**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Ulaş KILIÇ**
Ege Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğretim Üyesi Hayrettin GÖKOZAN**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Alper MUTLU



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. GİRİŞ	1
2. GÜÇ KALİTESİ KAVRAMI, PARAMETRELERİ VE STANDARTLARI	4
2.1. Güç Kalitesi Kavramı	4
2.2. Güç Kalitesi Olaylarının Sebepleri.....	5
2.3. Güç kalitesi Olaylarının Şebekeye Etkileri	6
2.4. Güç Kalitesi Problemlerinin Çözümleri	10
2.5. Güç Kalitesi Problemlerinin Maliyeti	12
2.6. Güç Kalitesi Parametreleri	14
2.6.1 Geçici Durumlar	14
2.6.1.1 Darbesel Geçici Durumlar.....	14
2.6.1.2 Salınımlı Geçici Durumlar	15
2.6.2 Uzun Süreli Gerilim Değişimleri	15
2.6.2.1 Uzun Süreli Gerilim Yükselmesi	16
2.6.2.2 Uzun Süreli Gerilim Düşmesi	16
2.6.2.3 Uzun Süreli Gerilim Kesintisi (Kalıcı Kesinti).....	16
2.6.3 Kısa Süreli Gerilim Değişimleri	16
2.6.3.1 Kısa Süreli Kesintiler	17
2.6.3.2 Gerilim Çökmesi (Voltage Sag).....	17
2.6.3.3 Gerilim Yükselmesi (Voltage Swell)	18
2.6.3.4 Hızlı Gerilim Değişimleri (EN 50160)	19
2.6.4 Gerilim Dengesizliği.....	20
2.6.5 Dalga Biçimi Bozulmaları	21
2.6.5.1 DC Offset Gerilimi.....	21
2.6.5.2 Harmonikler	21

2.6.5.2.1 Toplam Harmonik Bozulma	23
2.6.5.2.2 Harmonikler için Sınır Değerler	24
2.6.6 Gerilim Dalgalanmaları (Fliker)	26
2.6.7 Çentik.....	27
2.6.8 Güç Frekansı Değişimleri	27
2.6.9 Geçici Güç Frekansı Gerilim Yükselmesi (EN 50160)	28
2.7. Güç Kalitesi Standartları	29
2.8. Statik Transfer Anahtarları	35
2.8.1 Statik Transfer Anahtarlarında Bazı Anahtarlama Şekilleri	35
2.8.1.1 Sıfır Akım Geçiş Stratejisi	35
2.8.1.2 Komutasyon Geçiş Stratejisi	36
3. GÜÇ KALİTESİ PARAMETRELERİNE DAYALI ANAHTARLAMA SİSTEMİ	37
3.1. Transfer Anahtarının Donanımsal Yapısı.....	37
3.1.1 Veri Toplama Sistemi	37
3.1.2 NI 9242 Gerilim Ölçüm Modülü	38
3.1.3 NI 9227 Akım Ölçüm Modülü	39
3.1.4. Deney Düzeneği.....	40
3.2. Transfer Anahtarının Algoritması	42
3.2.1 Şebeke Seçim Sinyalini Oluşturma Yöntemi.....	43
3.3. Transfer Anahtarının Yazılımı	49
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternating Current (Alternatif Akım)
DC	Direct Current (Doğru Akım)
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPRI	Electrical Power Research Institute
IEC	The International Electrotechnical Commission
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IT	Information Technologies
NI	National Instruments
RMS	Root Mean Square (Karelerinin Ortalamasının Karekökü)
STATCOM	Static Compensator (Statik Kompensatör)
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
THB	Toplam Harmonik Bozulma
USB	Universal Serial Bus (Üniversal Seri Veriyolu)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Güç kalitesi problemlerinin sebepleri	6
Şekil 2.2. EPRI tarafından yapılan araştırmanın sonuçları	8
Şekil 2.3. Avrupa' nın 25 ülkesinde yapılan araştırma raporu sonuçları	9
Şekil 2.4. European copper institute araştırması sonuçları	10
Şekil 2.5. 8 ülkedeki 1400 lokasyonda adaptasyon oranı açısından en yaygın güç kalitesi çözümleri	11
Şekil 2.6. Uzun süreli gerilim kesintisi	16
Şekil 2.7. Gerilim çökmesi.....	17
Şekil 2.8. Gerilim yükselmesi	18
Şekil 2.9. Hızlı gerilim değişimi örneği	19
Şekil 2.10. İki farklı zamanlı gerilim değişimi örneği	20
Şekil 2.11. Temel dalgaya eklenen harmonik bileşenler	23
Şekil 2.12. Üç fazlı bir güç elektroniği elemanında çentik	27
Şekil 3.1. NI cDAQ-9174 veri toplama sistemi	37
Şekil 3.2. NI cDAQ-9174 sisteminin blok gösterimi	38
Şekil 3.3. NI 9242 gerilim ölçüm modülü giriş devresi	39
Şekil 3.4. NI 9227 akım ölçüm modülü giriş devresi	40
Şekil 3.5. Verilerin elde edilmesinde kullanılan deney düzeneği	41
Şekil 3.6. Motor kontrol sürücüsü üzerinden yükün beslenmesi	41
Şekil 3.7. Gerçekleştirilen programın akış diyagramı.....	42
Şekil 3.8. Şebeke seçim yönteminin algoritması	49
Şekil 3.9. Tasarlanan programdan bir kesit.....	50
Şekil 3.10. Tasarlanan programın ana ekranı.....	51
Şekil 3.11. Şebeke 1 sekmesi	52
Şekil 3.12. Şebeke 1 sekmesi altındaki Gerilim-Akım sekmesi	54
Şekil 3.13. Harmonik 1 sekmesinde harmonik değerleri	55
Şekil 3.14. Karşılaştırma parametreleri sekmesinden bir bölüm	56
Şekil 4.1. Motor kontrol sürücüsü çıkışı akım ve gerilim grafikleri.....	60

TABLO DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Güç Kalitesi problemlerinin çözümünde kullanılan cihazlar	12
Tablo 2.2. Darbesel geçici durumlar	15
Tablo 2.3. Osilasyonlu geçici durumlar	15
Tablo 2.4. Sürelerine göre gerilim düşmeleri.....	18
Tablo 2.5. Sürelerine göre gerilim yükselmeleri.....	19
Tablo 2.6. İletim Sisteminde 154 kV altı için harmonik gerilim uyumluluk sınır değerleri	24
Tablo 2.7. EN 50160 standardına göre gerilim harmoniği sınırları	25
Tablo 2.8. IEEE standardına göre gerilim harmoniği sınırları.....	25
Tablo 2.9. Enerji iletim sisteminde akım harmoniği sınır değerleri	26
Tablo 2.10. EPDK elektrik şebeke yönetmeliğinde kararsız durumlarda zamana bağlı çalışma şartları	28
Tablo 2.11. Gerilim karakteristiklerinin EN 50160 ve EN 61000 standardına göre sınıflandırılması	30
Tablo 2.12. IEEE std. 1159-1995’de güç kalitesi olayları sınıflandırılması	34
Tablo 3.1. Kullanıcı tanımlı hattın çıkışının kesilmesi şartları ve anahtarlama prensibi	43
Tablo 3.2. Şebeke gerilimde ani oluşan gerilim olayları	44
Tablo 3.3. Şebeke seçiminde kullanılan karşılaştırma parametreleri.....	45
Tablo 4.1. Direk şebekeden ve yumuşak yol vericiden beslenen iki şebekenin karşılaştırılması	58
Tablo 4.2. Motor kontrol sürücüsü üzerinden ve yumuşak yol vericiden beslenen iki şebekenin karşılaştırılması	59

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren ve destek olan değerli danışman hocalarım Dr. Öğretim Üyesi Fadıl KUYUCUOĞLU ve Prof. Dr. Sezai TAŞKIN' a, Turgutlu M.Y.O Elektrik ve Enerji Bölümü laboratuvarında deneysel çalışmalarım için gerekli imkanları sağlayan Dr. Öğretim Üyesi Hayrettin GÖKOZAN' a, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan ve beni bu günlere getiren anneme, babama ve kardeşime yürekten teşekkür ederim.

Alper MUTLU
Manisa, 2018



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Güç Kalitesi Parametreleri Kullanılarak Otomatik Anahtarlama Sistemi İle Şebeke Seçimi

Alper MUTLU

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Fadıl KUYUCUOĞLU

II. Danışman: Prof. Dr. Sezai TAŞKIN

Yarı iletken teknolojilerindeki hızlı gelişmeler ile günümüzde elektronik cihazların kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu cihazlarda kullanılan elektronik elemanlar birer güç kalitesi bozucusu olmaları ile birlikte kendileri de bu güç kalitesizliğinden etkilenirler. Her ne kadar çoğu cihazın güç katında koruma bulunsu da şebekede oluşan ani darbeler ve harmonikler gibi güç kalitesi bozucu etkileri bu cihazlara zarar verebilmektedir. Elektrik enerji sistemlerindeki güç kalitesi parametre ölçümleri ve değerlendirmeleri uluslararası IEC 61000-4-30 standardında belirtilen hususlara göre yapılmaktadır. Günümüzde mikro şebeke olarak enterkonnekte sisteme bağlanan rüzgar, güneş enerji santralleri gibi enerji üretim sistemleri de genel şebeke üzerinde güç kalitesi problemleri oluşturabilmektedir. Son zamanlardaki akıllı şebeke altyapılarının oluşturulmaya başlanması ile bu tip problemler için hızlı çözümler bulunabilecek tüketiciler, yüksek kaliteli enerji tedarikçisinden enerji satın alabileceklerdir. Bu çalışmada, IEC 61000-4-30 standardında yer alan güç kalitesi parametrelerine dayalı şebeke seçimi ile yük beslemesi incelenmiştir. Bu amaçla, enterkonnekte sistemde yer alan enerji besleme noktalarının güç kalitesi parametrelerine göre anahtarlama yapan bir transfer anahtarı LabVIEW™ programı kullanılarak tasarlanmıştır. Seçilen şebeke kaynaklarından deneysel olarak alınan gerilim ve akım değerleri LabVIEW™ ortamında tasarlanan programa aktarılmıştır. Transfer anahtarı IEC 61000-4-30 standardında belirtilen güç kalitesi parametrelerine göre en iyi olan şebekeyi kaynak olarak seçmiştir. Ayrıca, programın arayüzü üzerinden kullanıcıya beslenecek yük tipine göre referans güç kalitesi parametrelerini belirleyebilme seçeneği de opsiyon olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Dağıtım Sistemleri, Güç Kalitesi, Transfer Anahtarı, LabVIEW

2018, 67 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Network Selection with Automatic Switching System Using Power Quality Parameters

Alper MUTLU

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Supervisor: Dr. Instructor Fadıl KUYUCUOĞLU

Co-Supervisor: Prof. Dr. Sezai TAŞKIN

With the rapid development in semiconductor technologies, the use of electronic devices has become widespread today. The electronic components used in these devices are power quality degraders, as well as they are affected by this poor power quality. Although most devices have protection at the power level, power quality disruptive effects such as sudden pulses and harmonics in the network can damage these devices. Measurements and evaluations of power quality parameters in electrical power systems are carried out in accordance with the requirements specified in the international IEC 61000-4-30 standard. Power generation systems such as wind, solar power plants connected to the interconnected system as micro-networks today can also create power quality problems on the network. With the recent building of smart grid infrastructures, quick solutions for these types of problems will be available, consumers will be able to purchase energy from high quality energy suppliers. For this purpose, a transfer switch is designed using the LabVIEW™ program, which switches according to the power quality parameters of the energy supply points located in the interconnected system. Experimental voltage and current values from selected network sources are transferred to the program designed in LabVIEW™ environment. The transfer switch selected the network which is the best according to the power quality parameters specified in IEC 61000-4-30 standard. In addition, so as to determine the reference power quality parameters according to the load type is also given as an option to the users by using the developed program.

Keywords: Power Distribution System, Power Quality, Transfer Switch, LabVIEW

2018, 67 pages

1. GİRİŞ

Güç kalitesi, elektrik enerjisinin üretildiği yerden tüketiciye kadar elektrik enerjisinin frekansının, gerilim ve akım dalga şeklinin ve anma değerlerinin standartlarda belirtilen sınırlar içinde kalması şeklinde ifade edilebilir. Günümüzde son kullanıcı elektroniğinin şebeke sistemlerine duyarlılığı güç kalitesi parametrelerinin önemini arttırmıştır. Gün geçtikçe güç kalitesinin her parametresi standartlaştırılmış ve yeni eklentilerle bu standartlar geliştirilmiştir. Ülkemizde de EPDK' nın hazırlamış olduğu yönetmelik, gerilim karakteristikleri yönünden EN 50160 standardını, fliker etkisi yönünden IEEE 1453-2004 standardını, fliker ölçümü yönünden IEC 61000-4-15 standardını referans almaktadır. IEC 61000-4-30 ise güç kalitesi parametrelerinin nasıl ölçüleceğini ve ölçüm doğruluk seviyelerini tanımlar. Bu standartların amacı farklı üreticilerin ürettiği cihazlar arasında farklı sonuçların ortaya çıkmasını önlemektir. EN 50160 standardında ise güç kalitesi parametrelerinden, zamana bağlı yüzdelik sınırlamalar olarak bahsedilmiştir [1].

Güç kalitesi parametrelerinin düzgün bir şekilde ölçülmesi, yüke ve müşteriye yakın yerlerde oluşan problemlerin tanımlanması açısından önemlidir. Bu alanda çeşitli firmalarca üretilmiş birçok cihaz bulunmaktadır. Güç kalitesi parametreleri okuma cihazları kullanılarak sistemin performansı, hangi parametrede problem olduğunun tanımlanması, sistemin genel işletim şartlarının belirlenmesini mümkün kılabilir [2]. Bu cihazlar IEC 61000-4-30 standartlarına uygun ölçme yapılarak raporlamalarını EN 50160 standardına göre yapmaktadırlar. Ülkemizde de milli olarak geliştirilen güç kalitesi parametreleri ile ölçüm cihazı üretilmiş ve TEİAŞ tarafından işletmeye alınmıştır [3].

Transfer anahtarları, tek veya üç fazlı şebekeler arasında yüke kesintiyi hissettirmeden geçiş yapabilen yarı iletken tabanlı cihazlardır. Sistemde kritik yük varsa sistemin performansını arttırmak için ihtiyaç duyulur [4]. Genellikle girişlerinden birisi “ana kaynak” diğeri ise “alternatif kaynak” olarak isimlendirilir. Ana kaynakta gerilim kesilmesi gibi bir durum olduğunda alternatif kaynağa geçiş yapılır ve bu geçiş parametreleri kullanıcı tarafından belirlenebilir. Her iki kaynakta da problem olduğunda en efektif yol transfer anahtarı kullanmak değildir [5]. Transfer anahtarları, kesintisiz güç kaynakları sistemlerinde kullanılmasının yanı sıra

şebeke seçim aracı olarak da düşünülmüştür [6]. Şebekelerden herhangi birinde oluşacak problem, transfer anahtarı ile farklı bir fiderden besleme yapılarak çözülebilir. Akıllı şebeke uygulamaları açısından değerlendirildiğinde transfer anahtarları, elektrik iletim hatlarının stabil çalışması açısından oldukça önemli cihazlar olacaktır.

Bu çalışma için yapılan literatür taramalarında, anahtarlama zamanı üzerinde maksimum olabilirlik durum tahmini tekniği yöntemi kullanılarak aç farklılığından kaynaklanan zaman kaybı önlenmiş [4], transfer anahtarının teorisi, modellenmesi ve analizi ile ilgili çalışmalar yapılmış [7], bu anahtarların gerilim değişimlerini hızlı bir şekilde algılaması ve daha hızlı anahtarlama yapması üzerinde modeller sunulmuş [8], transfer anahtarının kritik bölgelerdeki gerilim yükselmelerine karşı fider seçimindeki performansı incelenmiş [9], üç fazda meydana gelen faz farklılıklarının transfer anahtarının performansına etkisi incelenmiş [10], maksimum güç aktarımının güvenilirliği açısından transfer anahtarlarının doğru şekilde kullanılması incelenmiş [11], genetik algoritma kullanılarak dağıtım sisteminde transfer anahtarının yerini belirleme yöntemi geliştirilmiş [12], bir diğerinde çeşitli gerilim arızalarına karşı transfer anahtarlarında kullanılan yeni bir kontrol şeması önerilmiştir. Güç kalitesi ile ilgili standartlar, temel noktalar ve sınır değerlerle ilgili çalışmalar yapılmıştır [13]. Güç kalitesi parametrelerinin ölçülmesi konusu üzerine geliştirilen bir diğer çalışmada veri toplama kartı geliştirilmiş ve bu kart ile alınan veriler LabVIEW tabanlı yazılım programı yardımıyla güç kalitesi analizatörü olarak gerçekleştirilmiştir. Anlık olayların tespiti için ise ayrık dalgacık dönüşümü algoritması kullanılmıştır [14]. Farklı yük şartlarında ark fırınlarındaki harmoniklerin, LabVIEW programı yardımıyla ölçülmesi ve bu harmoniklerin yapay zeka algoritmaları yardımıyla, tahmini [15] motor kontrol sürücüsü tarafından beslenen asenkron motorun harmonik seviyeleri ve spektral özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır [16].

Genel olarak yukarda bahsedilen çalışmalarda önerilen yöntemler, transfer anahtarının modellenmesi, gerilim arızalarının daha hızlı tespiti veya kontrol şemasındaki değişikliklerle daha hızlı anahtarlama yapma üzerine kurulmuştur. İncelenen çalışmaların birçoğunda güç kalitesi parametrelerinin ölçülmesi için

LabVIEW programı, benzetim programı olarak ise PSCAD/EMTDC kullanılmaktadır.

Akıllı şebekelerin günümüzde kullanılmaya başlanmasıyla şebekelerin verilerinin elde edilmesi ve bu verilerin değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde güç kalitesi parametrelerinin okunması ve oluşan problemlerin raporlanması üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada düşük gerilim seviyelerinde bazı güç kalitesi parametreleri kullanılmış ve geliştirilen yeni bir algoritma sayesinde kendiliğinden karar verebilen bir hızlı anahtarlama elemanı önerilmiştir. Algoritma dağıtım sistemlerinde farklı kaynaklardan beslenen hatlar özellikle sisteme sonradan entegre edilen mikro şebekeler için düşünülmüş ve tasarlanırken bu mikro şebekelerin, sistemi güç kalitesi yönünden zarara uğratmaması amaçlanmıştır. Transfer anahtarının akım ve gerilim ölçümleri, karar verme mekanizmasının yazılım kısmı LabVIEW programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karar verme algoritmasının karşılaştırma parametreleri olarak gerilim ve akım harmonikleri, fliker (kırpışma) ve gerilim dengesizliği değerleri referans alınmıştır. Böylece gelecekte kullanılacak olan akıllı şebekeler için bir anahtarlama yapısının temelleri atılmıştır.

Tez, 4 bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1’de tezin ana hatlarına değinilmiştir. Bölüm 2’ de güç kalitesi standartları, parametreleri ve statik transfer anahtarıyla ilgili bilgiler verilmiştir. Bölüm 3’ te deney düzeneği, geliştirilen programın algoritması ve programın yapısıyla ilgili bilgiler verilmiştir. Bölüm 4’ te ise sonuç ve değerlendirme yapılmış olup farklı güç kalitesi durumlarında geliştirilen programın şebeke seçim koşulları elde edilen gerçek zamanlı veriler aracılığıyla detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

2. GÜÇ KALİTESİ KAVRAMI, PARAMETRELERİ VE STANDARTLARI

2.1. Güç Kalitesi Kavramı

Günümüzde elektrik enerjisini kullanan cihazların sayısındaki olağanüstü artış ve bu cihazların insanların hayatındaki öneminin artmış olması, elektrik enerjisinin son kullanıcıya iletiminin kalitesinin de aynı oranda artması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Bunun için gerek elektrik üreten firmalar gerek dağıtım firmaları tüketiciye sürekli, kaliteli ve ucuz enerji sağlamak zorundadır. Burada kaliteden kastedilen unsur, sabit bir frekansta tam bir sinüs grafiği şeklindeki uç gerilimi ve akımıdır. Pratikte gerilim ve akımın tam sinüs sinyaline benzemesi oldukça zordur. Bunun en önemli sebebi lineer olmayan yüklerdir. Bu yükler şebekeden dalga şekli sinüse benzemeyen sinyaller çeker. Lineer olmayan yüklerin etkileri ve diğer sebeplerin oluşturduğu problemler, iletim sisteminde karşımıza güç kalitesi problemleri olarak çıkabilir.

Elektrik enerjisinin optimum kullanılabilmesi için, problemler kaynağında çözülmelidir. Aksi takdirde sistemde oldukça büyük sorunlar oluşabilir. Bu yüzden şebekenin başta gerilim olmak üzere, akım ve frekansında meydana gelebilecek değişimlerin mümkün olduğunca kısa sürede elimine edilmesi gereklidir.

Güç kalitesi parametreleri, iletim hattının daha çok gerilim bileşenine odaklanır. Çünkü hattan çekilen akım kontrol edilememekte ve değişkenlik göstermektedir. Gerilimin genliğinde, frekansında ve dalga şeklinde oluşabilecek problemler güç kalitesi problemlerinin başında gelmektedir. Hattın gerilimi ise özellikle şebekeden çekilen akımla ilişkilidir. Hattan yüksek veya değişken akım çeken endüstriyel tesisler gerilimde değişimlere yol açmaktadır [17]. Şebekede oluşan kısa devreler akım değerinin yükselmesine sebep olmakta bu durum da gerilimde değişimleri ortaya çıkarmaktadır. Geçici gerilim değişimleri mikroişlemci ile çalışan cihazları oldukça fazla etkilemekte ve büyük zarar vermektedir [17].

Güç kalitesi bozulmaları iki ana katagoride sınıflandırılabilir. Birincisi sinüs çevrimi boyunca anlık oluşabilen ve tekrarlayabilen gerilim dengesizliği, fliker (kırpışma) ve harmoniklerdir. Diğeri ise ayrık tip olaylar olan, gerilim düşmesi (Voltage Sag), gerilim yükselmesi (Voltage Swell) ve geçici olaylardır (Transient) [18].

2.2. Güç Kalitesi Olaylarının Sebepleri

Güç kalitesi bozulması, tüketici karakteristiği yönünden kullanılan ekipmana, enterkonnekte şebekenin yapısından müşteriye besleyen güç sağlayıcılara kadar birçok faktörden etkilenir.

Güç kalitesi problemlerinin sebeplerinin bazıları maddeler halinde incelenebilir:

- İletim hatlarında kullanıcı tarafından yapılan bağlantı hataları, büyük yüklerin devreye girmeleri veya çıkmaları.
- Otomatik devre kesicilerin şebekelerde oluşan kısa devre gibi sebeplerden dolayı ani açmaları.
- İletim hatlarında oluşan ekipman arızaları, iletim hattının dış etkenlerden dolayı kopması veya iletim hattının yıldırım darbe gerilimine maruz kalması.
- Transformatörlerin yanlış ayar kademelerinde çalıştırılması.
- Lineer olmayan yüklerin şebekeden çektiği temel frekans dışındaki akımlar veya transformatörlerin nüvelerinin doyuma ulaşması
- İletim hattında oluşan faz-faz veya faz toprak arızaları [19].

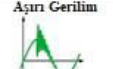
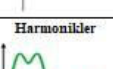
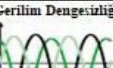
Hız kontrol cihazları, yarı iletken komponentler içeren aygıtlardır. Bu cihazlar hem harmonik oluştururlar hem de oluşturdukları harmonikten etkilenirler. Bu yüzden yüksek oranda gerilim değişimlerine sebep olurlar. Hattan çektikleri akım hattın empedansı ile değiştikçe gerilimde buna bağlı olarak değişir ve bozulur. Problemin önlenmesi için bu aygıtların içinde filtreler bulunabilir veya bazen de dışarıdan filtreler eklenebilir [20].

Bilgisayarlar SMPS (Switched-Mode Power Supply)' ler tarafından beslenmektedirler. Bu güç kaynakları, alternatif akımı doğru akıma çevirdiklerinde, transformatör yerine yarı iletken anahtarlama elemanlarını kullandıkları için 3., 5. ve 7. harmoniklerde gerilim bozulmalarına sebep olabilmektedirler [20].

Yüksek akım çeken yükler anahtarlanırken şebekede geçici rejimler oluşabilir. Çok kısa sürede oluşan bu geçici rejimler, mikroişlemci ile çalışan elektronik cihazlar üzerinde hasarlar oluşturabilmektedir. Endüstriyel tesislerde bulunan büyük güçlü motorlarda ilk kalkınma esnasında anma akımlarının birkaç

katına kadar çıkması, şebekede gerilim çökmelerine sebep olabilmektedir. Bu durumu aşmak için günümüzde birçok motorda motor kontrol sürücüleri veya yumuşak yol vericiler kullanılmakta ve ilk kalkınma anında çekilen akım azaltılmaktadır [21].

Gün geçtikçe sayıları artan rüzgar, güneş enerjisi üretim santrali gibi mikro şebekeler harmonik açısından güç kalitesi problemlerine sebep olabilmektedir. Bunun yanında şimşek çakması, düştüğü yere yakın şebekelerde yüksek gerilim geçici rejimleri oluşturabilmekte, yüksek gerilim hatlarına düşen yıldırımlar ise gerilimin ani yükselmesine neden olabilmektedir [20]. Şekil 2.1’ de güç kalitesi problemlerinin sebepleri özet olarak verilmiştir.

Bozulmanın Sonuçları	Bozulmanın Sebepleri			
Dalga Şekli Bozulmaları	Güç Sisteminden Kaynaklananlar	Meydana Gelme Sıklığı	Güç Sistemindeki Donanım veya Teçhizatın Kaynaklananlar	Meydana Gelme Sıklığı
Gerilim Çökmesi veya Kesinti 	1. İzalasyon hataları veya nötr iletkeninin kopması 2. Ani yük değişimleri 3. Otomatik devre kesicilerinin fazla sımmaları veya arızaları	Ara sıra	1. Asenkron motor 2. Senkron motor 3. Kaynak makinesi 4. Ark fırını 5. Kondansatör grupları	Ara sıra
Aşırı Gerilim 	1. Anahtarlama 2. Ferrezonans 3. Yıldırım olayları 4. Reaktif gücün aşırı düzeltilmesi	Ara sıra	1. Çevirici 2. Kapasitör grupları	Sık
Harmonikler 	1. Trafolardaki Manyetik Satürasyon		1. Senkron motor 2. Kaynak makinesi 3. Ark fırını 4. Konverter 5. Bilgi işlem yükleri 6. Aydınlatma sistemi 7. İnvertör 8. Kondansatör grupları	Sık
Gerilim Dengesizliği 	1. İzalasyon hataları veya nötr iletkeninin kopması	Ara sıra	1. Kaynak makinesi 2. Ark fırını	Sık
Gerilim Dalgalanmaları 	1. Hızla Değişen endüstriyel yükler		1. Kaynak makinesi 2. Ark fırını 3. Kondansatör grupları	Sık Ara sıra

Şekil 2.1. Güç kalitesi problemlerinin sebepleri [22]

2.3. Güç kalitesi Olaylarının Şebekeye Etkileri

Güç kalitesi olaylarının şebekeye etkileri, anlık ve gelecekte çıkacak etkiler olmak üzere ikiye ayrılabilir. Anlık etkiler bir anda olan geçici rejimler şeklinde ortaya çıkarken, bu etkiler sonucunda şebekeye bağlı cihazların zamanla hasar görmesi gelecekte olabilecek etkiler açısından değerlendirilebilir [23].

Ani gerilim düşmeleri ve kesintiler en sık rastlanılan problemlerden biridir. Plastik, kağıt gibi birbirine bağımlı prosese sahip sektörler de üretimde uzun

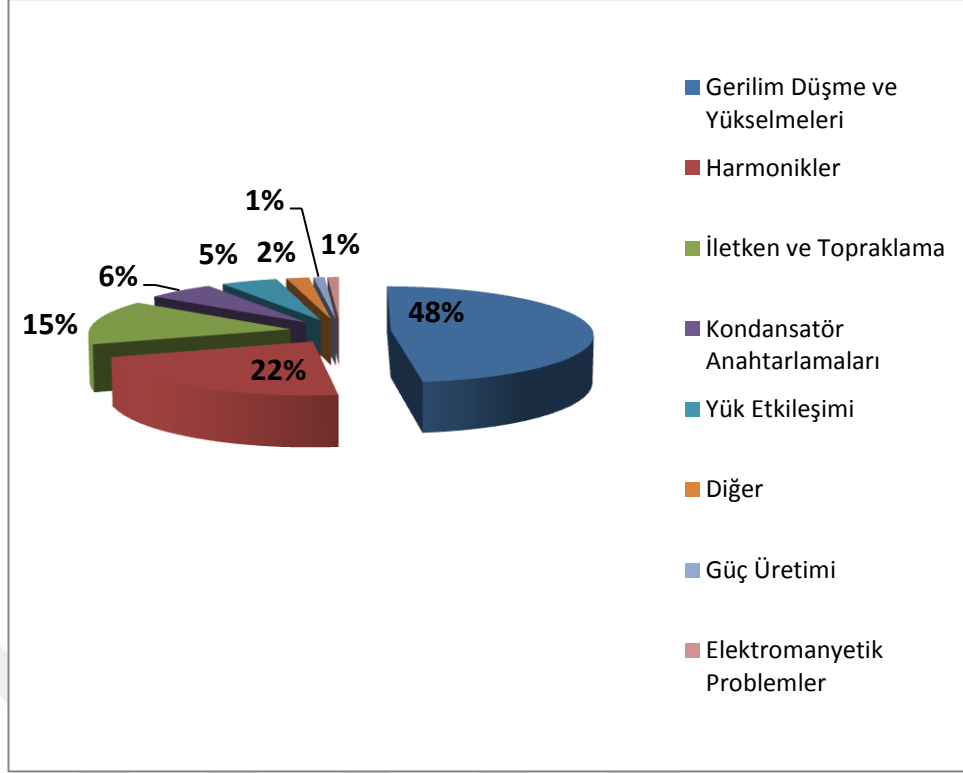
kesintilere sebep olabilmektedirler. Bunun yanı sıra hastaneler, havalimanları gibi kritik öneme sahip yerlerde de ciddi sonuçlar ortaya çıkabilir [23].

Endüstride anlık kesintiler asenkron motorlarda tork kaybına veya motorun durmasına sebebiyet verebilir. Şebekelerdeki kontaktör, sigortalar vb. cihazlar, şebeke geriliminin nominal değerinin %25' ini aşan ani düşüslere, bilgisayarlar ise %10' unu aşan ani düşüslere karşı hassastırlar [23].

Gerilim düşmesi, şebekede oluşur ve kullanıcı cihazlarının tolere edebileceği maksimum zaman limitini aşarsa cihazlar kendini kapatır. Finans sektörü ve bilişim (IT) sektöründe veri kayıplarına sebep olabilir [18].

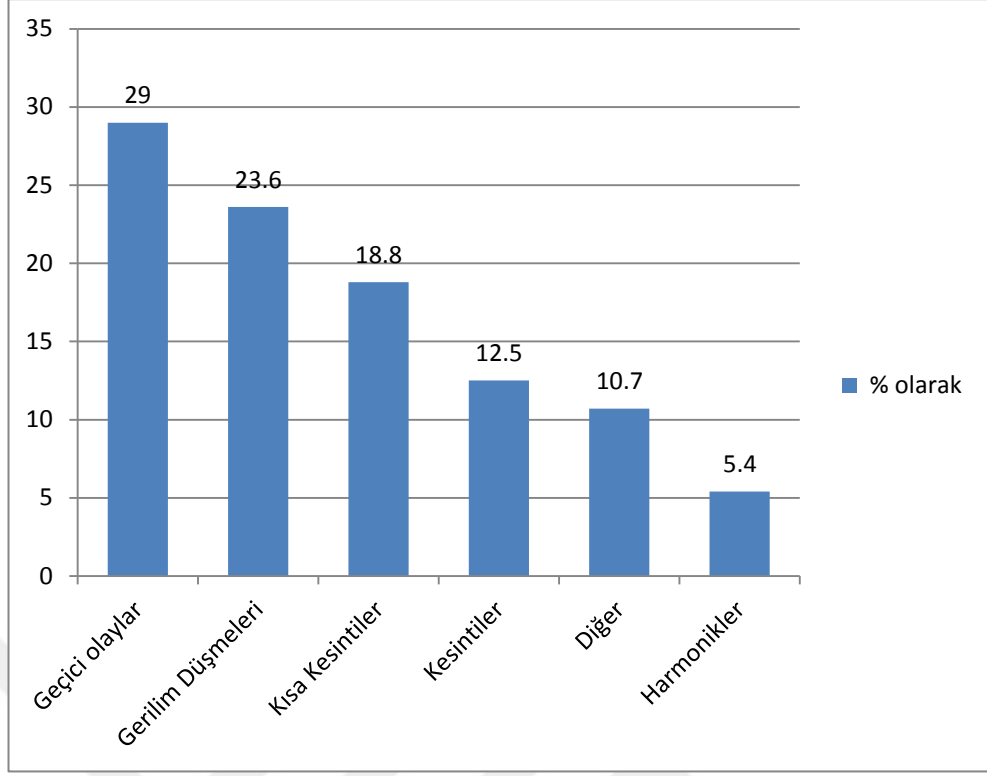
Elektrik enerjisinin sinüsoidal dalga formunun ana frekansı (50 Hz) dışında kalan tüm frekans bileşenlerine “harmonik” denmektedir. Harmonikler, genelde devredeki elemanların niteliklerine ve üretcin durumuna göre oluşurlar. Devrede doğrusal olmayan elemanlar veya kaynaklar, enerji sistemindeki sinüsoidal dalga biçimini bozabilirler. Harmonikler, şebekedeki cihazların ömürünün kısılmasına, ölçüm elemanlarında yanlış ölçmelere, kayıplardaki artışlara, şebeke sinyal hatalarına, nötr iletkeninden akım akmasına, rezonans olayları sonucunda aşırı gerilim ve akımların oluşmasına, şebekeye bağlı cihazların fazla ısınmasına sebebiyet verebilir [22].

Güç kalitesi olaylarının ülkeler bazında incelenmesi sonucu, bu güç kalitesi olaylarının şebekede oluşturduğu etkiler arası farklılıklar da göze çarpmaktadır. Electric Power Research Institute (EPRI) tarafından Amerika Birleşik Devletleri' nde 2001-2002 yıllarında yapılan araştırma sonucunda güç kalitesi olaylarının en önemli sebebinin gerilim düşmesi ve yükselmesi olduğu öne çıkmaktadır. Meydana gelen güç kalitesi problemlerinin dağılımı Şekil 2.2' de görölmektedir [24].



Şekil 2.2. EPRI tarafından yapılan araştırmanın sonuçları [24]

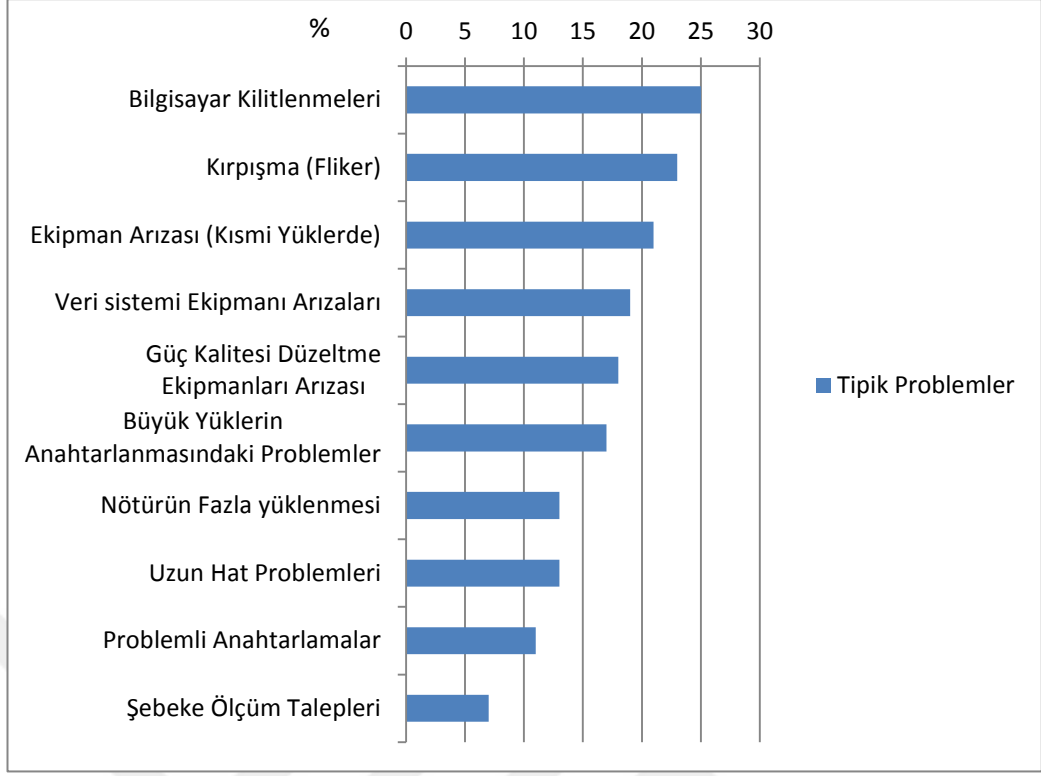
Leonardo Power Quality Initiative (LPQI) tarafından 2004' te yayınlanan ve Avrupanın 25 ülkesinde yapılan araştırma raporuna göre ise geçici olaylar başı çekmektedir. Şekil 2.3' te araştırma sonuçları verilmiştir [25].



Şekil 2.3. Avrupa' nın 25 ülkesinde yapılan araştırma raporu sonuçları [25]

Aynı kurum tarafından yapılan bir diğer araştırmaya göre ise endüstri sektöründeki en önemli sorun, işletme ekipmanlarında senkronizasyon kaybının süreklilik arz etmesidir. Bunun yanında bilgisayar kilitlenmeleri ve açma elemanlarındaki problemler de bunu takip etmektedir. Endüstri sektöründeki güç kalitesi problemlerinin en önemli sebebi, motor kontrol sürücüleri ve statik çeviricilerdir. Hizmet ve ulaşım sektöründe ise açma elemanları sorunları ve veri kayıpları en önemli sorun olarak göze çarpmaktadır. Bu sektörlerdeki güç kalitesi problemlerinin en önemli sebebi ise çeşitli elektronik ekipmanlardır [25].

European Copper Institute tarafından 2001 yılında Avrupa' nın 8 ülkesinde ve 1400 ayrı yerleşim yerinde yapılan araştırma sonucunda araştırmaya konu olan yerlerin tahmini %5-20' si Şekil 2.4' te verilen problemlerin bir veya daha fazlasından etkilenmektedir [26].

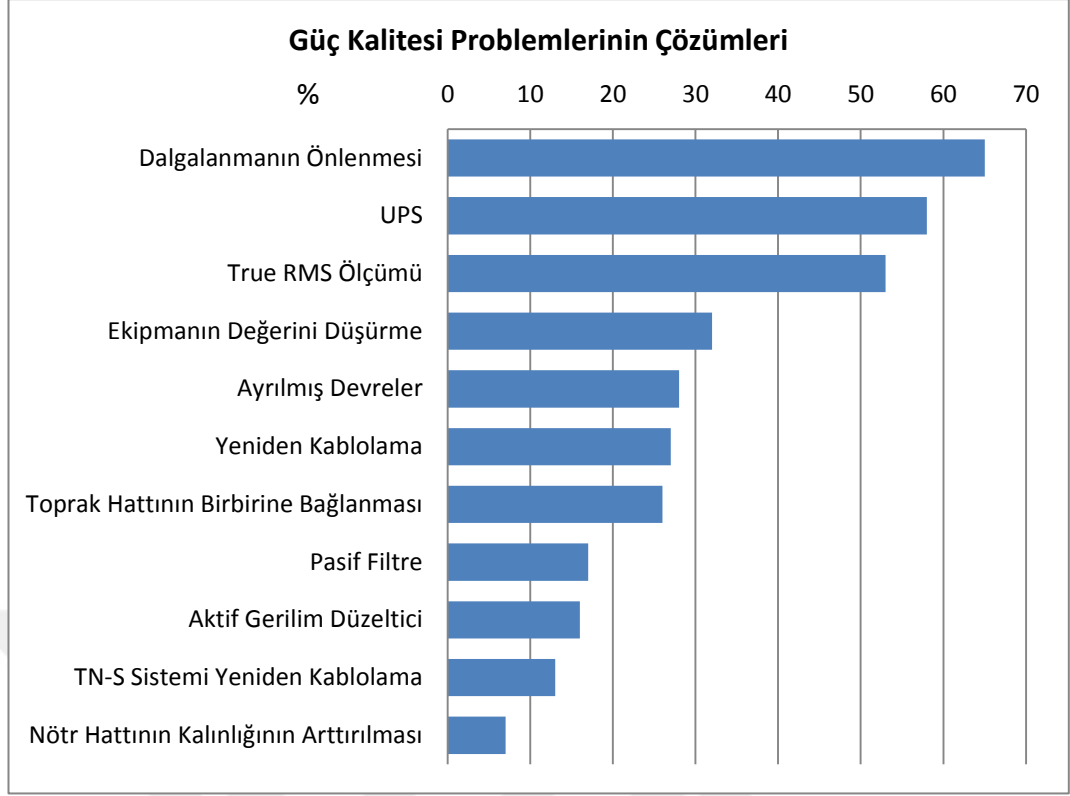


Şekil 2.4. European copper institute araştırması sonuçları [26]

Şekil 2.4’ te bahsedilen problemler başka sebeplerden de kaynaklanabilir. Örneğin bilgisayar kilitlenmeleri yazılım kaynaklı da olabilirler [26].

2.4. Güç Kalitesi Problemlerinin Çözümleri

Güç kalitesi problemleri çeşitli yöntemlerle çözülebilir. European Copper Institute tarafından 8 ülkede ve 1400 lokasyonu kapsayan araştırma sonuçları Şekil 2.5’ te verilmiştir [26].



Şekil 2.5. 8 ülkedeki 1400 lokasyonda adaptasyon oranı açısından en yaygın güç kalitesi çözümleri [26]

Bu araştırmanın sonuçları, Avrupa’daki güç kalitesi problemlerinin gerilim dalgalanmalarının çözülmesi üzerine odaklanıldığını göstermektedir. Kesintisiz güç kaynağı kullanımı ise ikinci sıradadır. Çalışmalardan elde edilen en önemli bilgi ise yüklerin statik olmadığıdır. Bu sebeple yük karakteristiğine göre farklı çözümlere başvurulmalıdır [26].

Elektrik sisteminde güç kalitesi parametrelerinden, geçici durumlar, harmonikler ve elektriksel gürültü izolasyonu için motor-generatör setleri kullanılabilir. Bu aslında elektrik enerjisinin tekrar üretilmesi anlamına gelmektedir. Kesintisiz güç kaynakları, ekonomik oluşları ve yükleri şebekeden ayırmaları yönüyle kullanıcılar açısından öne çıkmaktadırlar. Sabit gerilim transformatörleri veya izolasyon transformatörleri, anlık gerilim düşmelerini veya değişimlerini önlemede kullanılabilir. Yükün enerjisiz kalmaması için kesintisiz güç kaynakları geçişlerinde statik transfer anahtarları, harmonik problemlerinin giderilmesinde ise aktif, pasif ve hibrit filtreler kullanılmaktadır. Hassas elektronik cihazlarında, yıldırım darbe gerilimleri ve yük anahtarlama sonucu oluşan zararlı aşırı

gerilimlere karşı, geçici gerilim dalgalanma bastırıcıları kullanılmaktadır [27]. Gerilim dengesizlikleri için şönt elektronik kompensatör, dinamik elektronik gerilim regülatörü kullanılabilir [23]. Tablo 2.1’ de güç kalitesi bozulmalarına göre problemlerin elimine edilmesi için kullanılan cihazlar verilmiştir.

Tablo 2.1. Güç Kalitesi problemlerinin çözümünde kullanılan cihazlar [28]

Dalga Şekli Bozulmaları	Bozulmanın Sebebi	Bozulmanın Çözümleri
Gerilim Çökmesi veya Kısa Süreli Kesinti	Kısa devreler veya büyük yüklerin anahtarlanması	1.Motor-Jeneratör Seti 2.Sabit Gerilim Transformatörü(CVT) & Manyetik sentezleyici 3.Statik Transfer Anahtarı (STS) & Hızlı Transfer Anahtarı 4.Kesintisiz Güç Kaynağı(UPS) 5.Yedeklemeli Enerji Depolama Sistemi (BSES) 6.Statik Gerilim Regülatörü (SVR) 7.Statik Seri Kompanzatör (SSC) 8.Birleştirilmiş Güç Kalitesi Kondisyoneri (UPQC)
Geçici Durumlar	Yıldırım darbe gerilimi, şalt cihazı veya kondansatörler anahtarlamaları	1.Geçici Gerilim Dalgalanma Bastırıcı (TVSS) 2.İzolasyon Transformatörü ve Düşük Empedanslı Güç Kondisyoneri (LIPC) 3.Alçak Geçiren Filtre
Harmonikler	Nonlineer yükler	1.Zigzag Transformatörü 2.Isolation Transformatörü 3.Manyetik sentezleyici 4.Pasif Filtre 5.Aktif Filtre
Gerilim Dengesizliği	Dengesiz yük dağılımı	1.Birleştirilmiş Güç Kalitesi Kondisyoneri (UPQC) 2.Statik VAr Kompanzasyonu (SVC)
Gerilim Dalgalanmaları	Kısa devreler veya büyük yüklerin anahtarlanması	1.Statik VAr Kompanzasyonu (SVC) 2.Statik Senkron Kompanzatör (STATCOM)

2.5. Güç Kalitesi Problemlerinin Maliyeti

Güç kalitesi olayları dolaylı ve dolaysız olarak oldukça yüksek maliyetler ortaya çıkarmaktadır. Güç kalitesi problemlerinin oluşturduğu maliyetin tahmini

oldukça zordur. Alan araştırmaları, müşteri ile konuşulması, vaka analizleri sonucu tahmini değerlere ulaşılabilir. Bu tahminde üç önemli unsur göz önüne alınır. Birincisi güç kalitesinin maliyetidir. Burada ilgili dağıtım sistemindeki bozulmalar, müşterinin yükünün hassasiyeti, bozulan ekipmanlar ve üretim duruşları göz önüne alınarak maliyet hesaplanır. İkincisi doğrudan maliyetlerdir. Bu kısımda bozulan her türlü ekipman, ürün vs. dikkate alınır, buna ek olarak bakım masrafları ve üretim dışı ücretlerde eklenir. Üçüncüsü ise dolaylı kayıplardır. Buna da satış kayıpları, ürün ve hizmet kayıpları eklenebilir [25].

EPRI tarafından yapılan son araştırmalar, A.B.D. ekonomisinin güç kalitesi problemlerinde, gerilim kesintisi kaynaklı olanlardan yaklaşık 104-164 milyar dolar arası, diğer güç kalitesi olaylarından (gerilim düşmesi, yükselmesi, geçici olaylar, harmonikler) 15-24 milyar dolar arası kayıp yaşadığını ortaya koymuştur [29].

Teknolojiye bağımlı toplumlarda elektriksel problemler sadece gerilim kesilmesi (1 saniyeden birkaç saate gerilimin kaybı) şeklinde değil aynı zamanda geçici durum olayları, harmonikler şeklinde de karşımıza çıkmaktadır. Şebekede her bir olayın oluşturduğu büyük kayıplar olabilmektedir. A.B.D.’ de EPRI’ nin yaptığı araştırmalarda başlıca üç sektörün güç kalitesi olaylarından etkilendiği tespit edilmiştir [29].

1. **Dijital Ekonomi:** Bu sektörde genelde bilgi depolama ve kurtarma, araştırma geliştirme, bilişim firmaları gibi teknoloji firmaları yer alır.
2. **Kesintisiz Süreçli Üretim Firmaları:** Genelde hammaddenin sürekli beslendiği üretim sistemleri plastik, petrol, kâğıt endüstrisi örnek verilebilir.
3. **Fabrikalar ve gerekli servisler:** Tüm fabrikaları ve özellikle ulaşım, doğalgaz hatları, su arıtma tesislerini içerir [29].

Bu üç sektör A.B.D.’ deki neredeyse 2 milyon kuruluşu kapsamaktadır. Bu da tüm sektörlerin %17’ sini oluşturur. Fakat, bu üç sektör A.B.D’ nin gayri safi milli hasılasının (G.S.M.H) %40’ ını oluşturur ve aynı zamanda diğer sektörlerle de doğrudan bir etkisi vardır [29].

Güç kesintileri yukarda bahsedilen sektörlerde yılda toplam 47 milyar dolarlık kayba sebep olur. Bu kaybın 29 milyar doları, ekipman arızasına duyarlı fabrikalar ve gerekli servis firmalarına, 13 milyar doları dijital ekonomi firmalarına

aittir. Maliyetler kesinti sürelerine göre çeşitlensede kısa süreli olanlar bile maliyetlidir. Örneğin, yukarıda bahsedilen sektörler için bir saniyelik kaybın maliyeti 1477 dolar olurken, 3 dakikalık kayıp 2107 dolar, 1 saatlik kayıp maliyeti ise 7795 dolar olmaktadır [29].

Bunun yanı sıra yukarıda bahsedilen firmalar 6,7 milyar doları diğer (geçici durum değişkenleri, harmonikler vs.) güç kalitesi olaylarından kaybetmektedir. Bu olaylardan en çok etkilenenler, fabrikalar ve gerekli servisler grubundaki firmalardır. Dijital ekonomi firmaları daha az etkilenmektedir. Tüm firmalar için en büyük problem ekipman arızası olarak görülmektedir [29].

2.6. Güç Kalitesi Parametreleri

Güç kalitesi en genel anlamda enerjinin devamlılığı, gerilim ve akımın dalga şeklinin tam sinüse benzerliği, şebeke frekansının sabitliği, güç faktörünün bire yakınlığı, faz gerilimlerinin kendi arasında dengeli olması, akım ve gerilim harmoniklerinin sınır değerlerde kalması şeklinde de tanımlanabilir. Bu bölüm yedi ana başlık altında incelenecektir.

2.6.1 Geçici Durumlar

Geçici olaylar gerilim veya akım dalga şeklinde çok kısa sürede meydana gelen değişimlerdir. Geçici olaylar IEEE Std. 1159-1995 standardına göre darbesel ve salınımlı olmak üzere iki kısımda incelenir. Bu olaylar gerçekleşen olayın süresi ve frekansına göre sınıflandırılırlar.

2.6.1.1 Darbesel Geçici Durumlar

Darbesel olaylar, gerilim veya akım dalga şeklinde nano, mikro, mili saniye mertebesinde gerçekleşmiş olaylardır. Tablo 2.2' de darbesel geçici durumlar sürelerine göre ayrıntılı şekilde verilmiştir. Bu tip olaylarda gerilim veya akımın RMS değerleri, bir anda nominal gerilim veya akım mertebesinin çok yüksek değerlerine çıkıp tekrar eski haline dönerler. Genellikle akım veya gerilimin yükselip düştüğü değerlere ve tepe değerinden itibaren tekrar eski haline dönme zamanının yarısına göre isimlendirilirler. Zaman zaman iletim sisteminin frekansını da etkileyebilirler [30]. Darbesel olaylar iletim sisteminde en çok yıldırım darbe gerilimlerinden kaynaklanır [31].

Tablo 2.2. Darbesel geçici durumlar [32]

Darbesel Geçici Durum	Spektral Yükselme Zamanı	Tipik Sönümlenme Zamanı
Nano saniye	5 nano saniye	50 nano saniyeden az
Mikro saniye	1 mikro saniye	50 nano saniye ile 1 mili saniye arası
Mili saniye	0,1 mili saniye	1 mili saniyeden fazla

2.6.1.2 Salınlı Geçici Durumlar

Salınlı olaylar, darbesel durumlara göre biraz daha uzun sürebilen olaylardır. Akım veya gerilimde temel güç frekansında olmayan, aniden gelişen olaylardır ve pozitif veya negatif yönde olabilirler. Genellikle olayın frekansına, süresine ve büyüklüğüne göre isimlendirilirler [30]. Yarım veya üç çevrim içinde devam edebilmektedirler. Bu olaylar da Tablo 2.3’ te olduğu gibi frekanslarına göre alçak, orta ve yüksek olmak üzere üçe ayrılırlar. Düşük frekans olayları genellikle, kondansatörlerin anahtarlamaları, transformatörlerin enerjilenmesi ve ferrezonans olaylarından, orta frekans olayları iletim sisteminde kapasitörlerin ardarda anahtarlamalarından veya anahtarlama olaylarından, yüksek frekans olayları ise genellikle güç elektroniği elemanlarının anahtarlamaları sonucu meydana gelebilirler [32]. Görüldüğü gibi geçici olaylarda her üç frekans bandında da anahtarlamalar ve anahtarlamalar esnasındaki rezonans etkindir [31].

Tablo 2.3. Osilasyonlu geçici durumlar [32]

Osilasyonlu Geçici Durum	Spektral İçerik	Tipik Sönümlenme Zamanı	Tipik Gerilim Değişimi
Düşük Frekans	<5 kHz	0,3-50 milisaniye	0-4 pu
Orta Frekans	5-500 kHz	20 mikrosaniye	0-8 pu
Yüksek Frekans	0,5-5 MHz	5 mikrosaniye	0-4 pu

2.6.2 Uzun Süreli Gerilim Değişimleri

Uzun süreli gerilim değişimleri ANSI C84.1 limitlerine göre genelde gerilim RMS değerinin 1 dakikadan uzun süren değişimleri olarak kabul edilir. Gerilim yükselmesi, düşmesi veya kalıcı olarak kesilmesi olarak üç bölümde incelenebilir [30].

2.6.2.1 Uzun Süreli Gerilim Yükselmesi

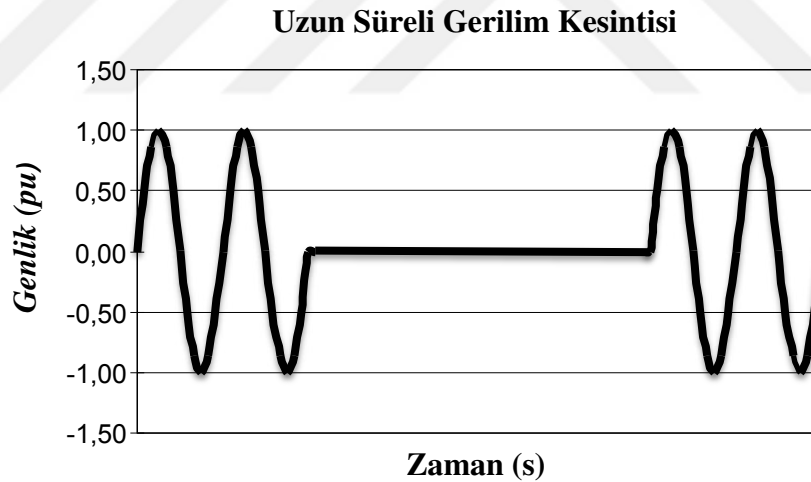
Gerilimin etkin (RMS) değerin bir dakikadan daha fazla bir süre boyunca nominal gerilim değerin %110' u aşması olarak tanımlanabilir. Büyük yüklerin devre dışı kalmaları, kondansatörlerin devreye girmeleri veya trafo kademelerinin yanlış ayarlanmasından kaynaklanabilir [31].

2.6.2.2 Uzun Süreli Gerilim Düşmesi

Gerilimin etkin (RMS) değerin bir dakikadan daha fazla bir süre boyunca nominal gerilim değerin %90' ın altına düşmesi olarak tanımlanabilir. Ana iletim hattının devre dışı kalması ya da aşırı yüklenmeler uzun süreli kesintilere sebep olabilir [31].

2.6.2.3 Uzun Süreli Gerilim Kesintisi (Kalıcı Kesinti)

Uzun süreli kesinti, sistemin nominal hat geriliminin 1 dakikadan fazla süre sıfır değerine inmesi anlamına gelmektedir. Genelde bakım veya arıza amaçlı yapılan kesintilerdir. Şekil 2.6' da uzun süreli kesinti görülmektedir [30].



Şekil 2.6. Uzun süreli gerilim kesintisi [22]

2.6.3 Kısa Süreli Gerilim Değişimleri

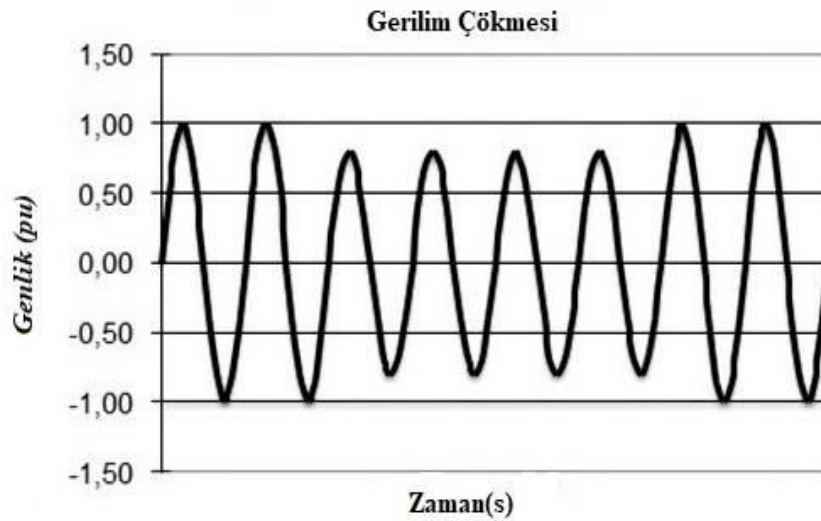
Kısa süreli değişimler, değişimin süresine göre ani, anlık ve geçici olmak üzere üçe ayrılır. Gerilimdeki genlik değişimine göre ise kısa süreli kesinti, gerilim yükselmesi (Voltage Swell), gerilim düşmesi (Voltage Sag) olmak üzere yine üç kısımda incelenir. Bu tip değişimler, büyük yüklerin yüksek akımlarla devreye girmeleri, sistemdeki bağlantı kopuklukları gibi sebeplerden meydana gelebilir [30].

2.6.3.1 Kısa Süreli Kesintiler

Kesinti nominal hat geriliminin etkin (RMS) değerin veya yük akımının %10' unun da altına inmesi olarak tanımlanır. IEEE std. 1159-1995 standardına göre kısa süreli kesintiler ani, anlık ve geçici olarak üçe ayrılır. Eğer kesinti yarım periyot ile 30 periyot arasında ise ani, 30 periyot ile 3 saniye arasında ise anlık, 3 saniye ile 1 dakika arasında ise geçici olarak tanımlanır. Kısa süreli kesintiler sistemde çalışan elektriksel aletlere zarar verebilir. Sistemdeki kesici açıp kapamaları da kesintilere neden olabilir [28 ,29].

2.6.3.2 Gerilim Çökmesi (Voltage Sag)

Gerilimin etkin (RMS) değerin, yarım periyottan fazla fakat bir dakikadan daha az sürede aralıksız olarak %10 ile %90' ı arasında değer kaybetmesidir [31]. Şekil 2.7' de gerilim çökmesi görülmektedir.



Şekil 2.7. Gerilim çökmesi [22]

Çok kısa süreli de olsa yarım periyottan daha az sürede olan gerilim düşmeleri gerilim çökmesi olarak adlandırılmaktadır. Gerilim çökmeleri de zamanına göre üçe ayrılır. Tablo 2.4' te sürelerine göre gerilim düşmeleri görülmektedir.

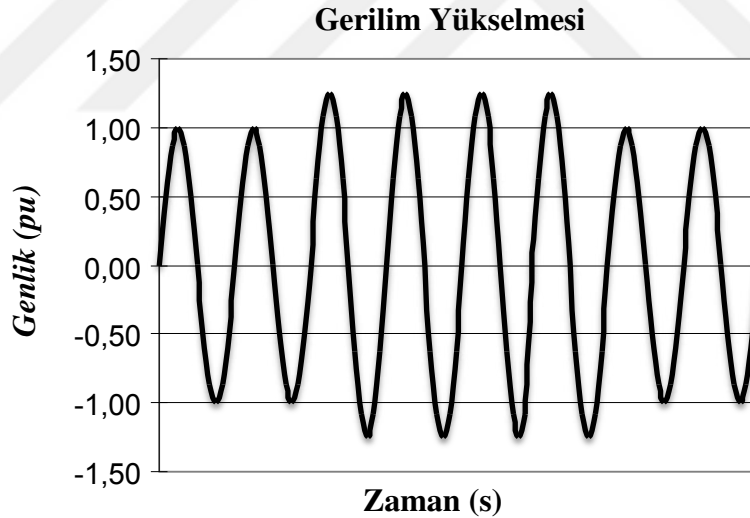
Tablo 2.4. Sürelerine göre gerilim düşmeleri

Gerilim Düşmesi(Dip)	Süre	Gerilim Değişimi
Ani	0,5 periyot-30 periyot	0,1-0,9 pu
Anlık	30 periyot-3saniye	0,1-0,9 pu
Geçici	3 saniye-1 dakika	0,1-0,9 pu

Gerilim çökmeleri şebekelerde sıkça rastlanılan olaylardır. Hat empedansı ile yakından ilişkilidir. Özellikle şebekeden çok akım çeken büyük yüklerin devreye girmelerinde, şebekede faz-toprak arası veya simetrik faz-faz arası arızalarda ortaya çıkabilmektedir [33].

2.6.3.3 Gerilim Yükselmesi (Voltage Swell)

Gerilimin etkin (RMS) değerinin yarım periyot ile bir dakikadan daha az zaman süreci boyunca nominal gerilim değerinin %110 ile %180 arasında aşması olarak tanımlanır [31]. Şekil 2.8’ de gerilim yükselmesi görülmektedir.



Şekil 2.8. Gerilim yükselmesi [22]

Gerilim düşmesine oranla daha az gerçekleşir. Gerilim yükselmeleri de oluşum zamanına göre üçe ayrılır. Tablo 2.5’ te sürelerine göre gerilim yükselmeleri görülmektedir.

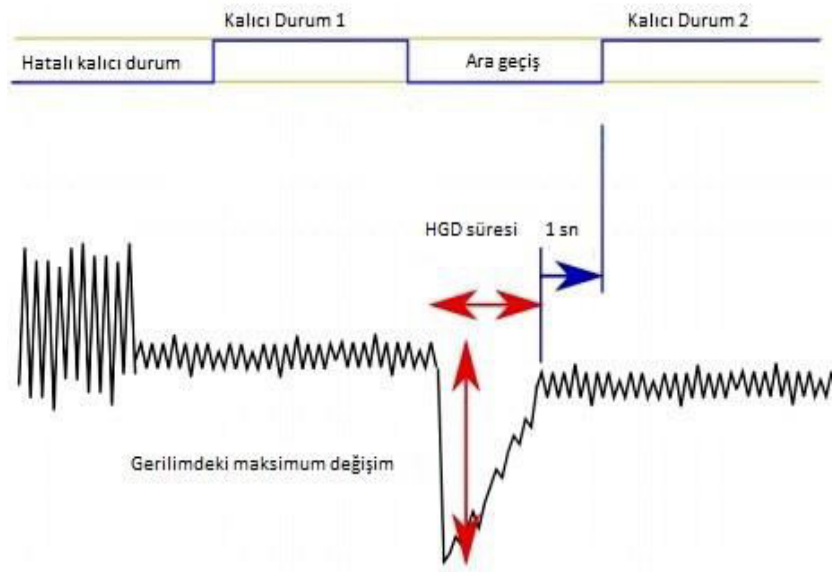
Tablo 2.5. Sürelerine göre gerilim yükselmeleri

Gerilim Yükselmesi(Swell)	Süre	Gerilim Değişimi
Ani	0,5 peryot-30 peryot	1,1-1,8 pu
Anlık	30 peryot-3saniye	1,1-1,8 pu
Geçici	3 saniye-1 dakika	1,1-1,8 pu

Genellikle tek faz toprak arızalarında, yıldırım darbe gerilimlerinde, büyük yüklerin devre dışı kalmalarında veya kondansatörlerin devreye girmelerinde meydana gelir [31].

2.6.3.4 Hızlı Gerilim Değişimleri (EN 50160)

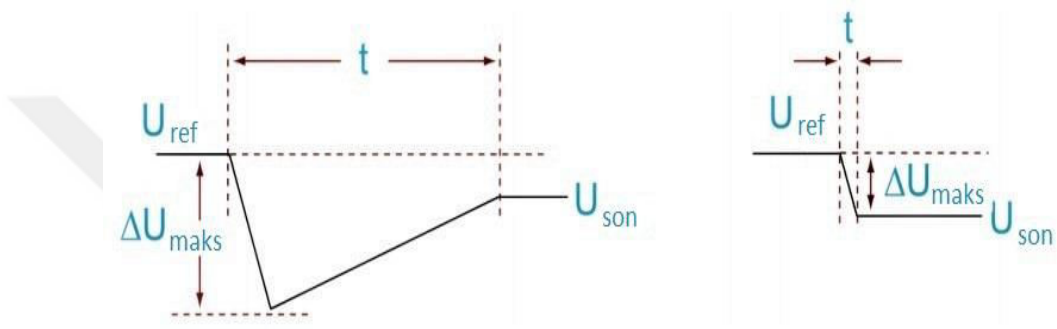
EN 50160 standardında kendisinden ve IEC 61000-4-30 standardında ölçüm yönteminden bahsedilen bu parametre, gerilim yükselmesi ve çökmesi ile yakından ilişkilidir. Hızlı gerilim değişimleri, iki kalıcı durum arasında, birkaç periyot içerisinde gerilimin RMS değerinin hızlı bir şekilde %10' dan daha düşük bir seviyede artması veya azalması olarak tanımlanabilir. Genelde gerilimin RMS değeri %5' i bulmaz fakat zaman zaman %10 seviyesine kadar ulaşabilir. Değişimin RMS olarak boyutu gerilim çökmesi veya yükselmesindeki artış veya azalış yüzdesi kadar değildir. Şekil 2.9' da tipik bir hızlı gerilim değişimi görülmektedir. Hızlı gerilim değişimleri fliker oluşumuna da etki etmektedir [34].



Şekil 2.9. Hızlı gerilim değişimi örneği [34]

Hızlı gerilim değişimleri dört temel parametre ile karakterize edilebilir. Bunlar,

- 1) Kalıcı durum referans gerilimi (U_{ref})
- 2) İki kalıcı durum arasında gerilimin RMS olarak en büyük değişim miktarı (ΔU_{maks})
- 3) İkinci kalıcı durumun sonlandığı gerilimin RMS değeri (U_{son})
- 4) İki kalıcı durum değişimi arasında geçen süre(t). Şekil 2.10' da iki farklı zamanda meydana gelen gerilim değişimi örneği görülmektedir [34].



Şekil 2.10. İki farklı zamanlı gerilim değişimi örneği

Hızlı gerilim değişimlerinin ölçülmesi için her yarım periyotta bir ölçüm alınması gereklidir [34].

2.6.4 Gerilim Dengesizliği

Üç fazlı sistemlerde gerilim dengesizliği, her üç faz geriliminin RMS değerinin ortalaması ile bu üç fazın ortalama RMS değerinden en farklı olan gerilim genlik değerine oranı olarak tanımlanır. Denklem 2.1' de yüzde gerilim dengesizliği eşitliği görülmektedir [31]. Gerilim dengesizliği üç fazlı sistemlerde her fazın farklı yüklenmelerinden meydana gelir. Bu etki faz açılarını da bozabilir.

$$\%V_{Unb} = \frac{|V_{maksimum}|}{|V_{ort}|} \times 100 \quad (2.1)$$

Yukarıdaki denklemin yanı sıra EN 50160 standardında farklı bir formüle de yer verilmiştir. Üç fazlı dengesiz sistemler için Fortescue tarafından simetrik bileşenler teorisi ortaya atılmıştır. Bu teoride eğer sistem dengeli ise sistemde sadece pozitif sıra bileşenleri bulunmalıdır. Pozitif sıra bileşenleri generatör tarafından sisteme sağlanan gerilim veya akımdır. Fakat sistemde yüklerden kaynaklanan bir

dengelesizlik var ise pozitif sıra bileşenlerinin yanında, bu bileşenlere göre saat yönünün tersine 120°'lik fark bulunan negatif sıra bileşenleri ve açısı sıfır olan sıfır sıra bileşenlerinden oluşan üç bileşen grubu yer alır. Bu üç bileşen büyüklük olarak aynıdır fakat açıları farklıdır. EN 50160 standardına göre yüzde gerilim dengelesizliği, negatif sıra bileşenlerinin pozitif sıra bileşenlerine oranının yüzde çarpımı olarak denklem 2.2' deki gibi ifade edilebilir [32, 35].

$$\%V_{Dengelesizlik} = \frac{|V_{neg}|}{|V_{poz}|} \times 100 \quad (2.2)$$

EN 50160 standardına göre üç fazlı yükler için haftalık 10 dakikalık RMS verilerinin ortalamasının %95' inde %2' yi, tek fazlı veya çift fazlı yükler için %3' ü geçmemelidir [36]. Gerilim dengelesizliği motorlarda ısınmaya sebep olur ve böylece motorlar yanabilir. Ayrıca kapasitör sigortalarında da hasara sebep olabilir.

2.6.5 Dalga Biçimi Bozulmaları

Dalga şekli bozulmaları genellikle temel frekanstaki gerilim veya akımın spektral içeriğindeki kalıcı değişimler olarak tanımlanır ve beş ana grupta incelenir [30].

2.6.5.1 DC Offset Gerilimi

İletim sisteminde DC akım veya gerilimin bulunmasıdır. Elektronik güç çeviricilerindeki simetrisizlik veya yeryüzünün manyetik alanındaki bozulmadan kaynaklanabilir. Trafolarda doyuma ve böylece fazla ısınmaya sebep olabilir. Bu da trafonun ömrünü kısaltır [30].

2.6.5.2 Harmonikler

Harmonikler, şebekeden doğrusal olmayan akımlar çeken motor sürücüler, güç çeviriciler gibi yüklerin şebekenin ana işletim frekansının tam sayı katlarında olan periyodik sinüsoidal akım veya gerilim bileşenleridir. Harmonikler güç kalitesi açısından ayrı bir önem taşımaktadır. Çünkü elektronik teknolojisindeki ilerlemeler doğrusal olmayan yükleri bir hayli arttırmıştır. Buna bağlı olarak harmonikler şebeke açısından gerilim ve akım dalga şeklini en çok bozan etmenlerden biri olmuştur [22].

Harmonikler şebekeden çekilen yük ile doğrudan ilişkilidir. Aslında özellikle generatör olarak kullanılan çıkık kutuplu senkron makineler kendi başlarına

harmonik üretmelerine rağmen genelde yükün çektiği akım ve gerilimdeki bozulmalar harmoniklere sebep olmaktadır. Yüklerin şebekeden çektiği harmonikli akımlar, şebekenin gerilim dalga şeklinde de bozulmalara neden olurlar. Motorların hız kontrol cihazları, güç çeviricileri, doğru akımla enerji nakli, kesintisiz güç kaynakları, bilgisayarlar, akü şarj devreleri, yenilenebilir enerji santralleri, demir-çelik endüstrisinde kullanılan ark fırınları son zamanlarda şebekeyi olumsuz etkileyen en önemli harmonik kaynaklarıdır [22]. Periyodik sinüsoidal olmayan bir gerilimin zamana bağlı ifadesi;

$$v(t)=V_0+V_1*\sin(\omega t)+V_2*\sin(2\omega t)+V_3*\sin(3\omega t)+\dots\dots\dots+V_n*\sin(n\omega t) \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada V_0 DC bileşen olup V_1 , V_2 , V_3 gerilimin tepe değerlerini ifade ederler. V_1 katsayılı ifade gerilimin temel bileşeni olup sonrakiler ise harmonikler olarak adlandırılır. Burada ω açısal hız olup;

$$\omega=2*\pi*f \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir. Bu formüldeki f gerilimin temel frekansıdır. Yine periyodik olmayan bir gerilimin dalga şeklini fourier analizi ile;

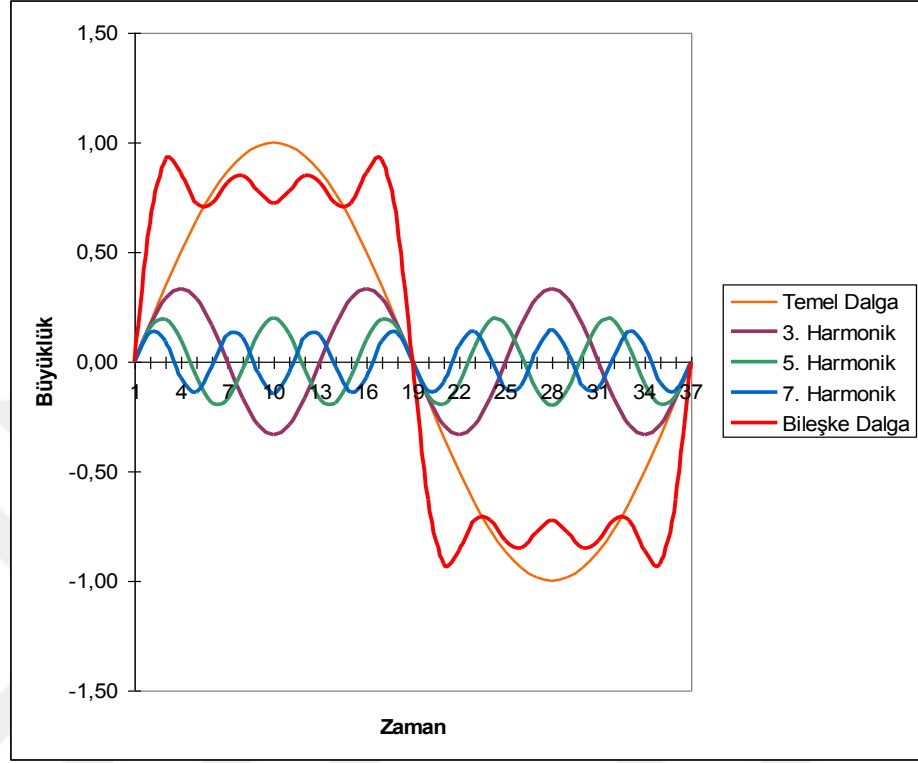
$$v(t)=V_0+\sum(a_k*\cos k\omega t+b_k*\sin k\omega t) \quad k=0 \text{ ile } \infty \text{ arasındadır.} \quad (2.5)$$

şeklini alır.

a_k ve b_k harmonik bileşenlerin katsayılarıdır. Bu ifadeye göre, periyodik olmayan gerilim veya akım bileşeni çift bir fonksiyon ise sinüs bileşenleri, tek bir fonksiyon ise cosinüs bileşenleri ifadede yok olurlar. Harmonikler genelde sayma sayıları şeklinde oluşuyor olsalarda ara değerlerde de oluşan harmonikler vardır. Örneğin, ark fırınlarının oluşturduğu harmonikler bu şekildedir. Ara harmonikler sistem fazla indüktif olduğunda veya büyük kapasitörlerin sistemde bulunması durumunda ortaya çıkar. Harmonikler hem akım hem de gerilim dalga şeklinde meydana gelebilirler. Genelde en çok tek harmoniklere rastlanır. Harmoniklerin efektif büyüklükleri ana frekanstaki dalganın efektif değerinden büyük olmazlar [37].

Genliği ve frekansı ana dalga bileşeninden farklı harmonik bileşenler, ana frekanstaki dalga şekline eklendiklerinde dalga formunda bozulmalar meydana gelir. Eğer dalga şekli sinüs fonksiyonu ise sinüsoidal simetriden dolayı harmonik

bileşenler genellikle 3, 5, 7 gibi ana frekansın tek katlarında meydana gelirler, çift katlarında bulunmayabilirler. Harmonik bileşenlerin frekansları arttıkça genlikleri azalır [22]. Şekil 2.11’ de harmonik barındıran örnek bir dalga yer almaktadır.



Şekil 2.11. Temel dalgaya eklenen harmonik bileşenler [22]

Doğrusal olmayan yüklerin oluşturduğu harmonikler aynı kaynağa bağlı diğer yüklerin beslemesini de etkilerler. Bu etki kaynağın ve hattın empedansı ile da yakından ilişkilidir. Transformatör çekirdeklerinde yüksek frekanslı harmonik gerilimleri, temel bileşene ek histerisiz çevrimlerine sebep olur ve her çevrim yüksek manyetik güç gerektirdiği için çekirdek kayıpları artar. Bunun yanında harmonik frekanslarındaki akımlar transformatördeki net RMS akımını artırır, bu da Eddy ve $I^2 \cdot R$ kayıplarının artmasına sebep olur [37].

2.6.5.2.1 Toplam Harmonik Bozulma

Toplam harmonik bozulma, doğrusal olmayan bir dalga için ideal sinüs dalgasına göre ne kadar değiştiğini gösteren bir terimdir. IEEE Standard 519-1992’ de THB tanımlanmıştır. Akım veya gerilim değeri için harmonikli bileşenlerin efektif değerlerinin karelerinin toplamının karekökünün ana bileşenin akım veya gerilim

değerinin efektif değerine oranı olarak kabul edilir. Toplam harmonik bozulma, gerilim için;

$$THB_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (2.6)$$

akım için;

$$THB_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.7)$$

eşitlikleri ile bulunur. Ülkemizde Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından hazırlanan Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde gerilim ve akım için toplam harmonik bozulma 50. harmoniğe kadar hesaplanır.

2.6.5.2.2 Harmonikler için Sınır Değerler

Harmonikler gerilim ve akım değerleri için farklı sınır seviyelerine göre değerlendirilirler. Ülkemizde EPDK tarafından hazırlanan Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde sınır değerlerinin bazıları aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir.

Tablo 2.6. İletim Sisteminde 154 kV altı için harmonik gerilim uyumluluk sınır değerleri [36]

Tek Harmonikler (3'ün katı olmayan)		Tek Harmonikler (3'ün katı olan)		Çift Harmonikler	
Harmonik No. “h”	Harmonik Gerilim (%)	Harmonik No. “h”	Harmonik Gerilim (%)	Harmonik No. “h”	Harmonik Gerilim (%)
5	5	3	3	2	1,9
7	4	9	1,3	4	1
11	3	15	0,5	≥6	0,5
≥13	2,5	21	0,5		
THB_V: % 8					

Avrupa genelinde kullanılan EN 50160 standardına göre gerilim harmoniği sınırları 25. harmoniğe kadar Tablo 2.7’ de belirtilmiştir.

Tablo 2.7. EN 50160 standardına göre gerilim harmoniği sınırları [26]

Tek Harmonikler				Çift Harmonikler	
Üçün Katı Olmayan Harmonikler		Üç ve Üçün Katı Olan Harmonikler			
Harmonik Derecesi	Gerilim Harmoniği Sınırı (%)	Harmonik Derecesi	Gerilim Harmoniği Sınırı (%)	Harmonik Derecesi	Gerilim Harmoniği Sınırı (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6 24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Bunun yanında IEEE Standard 519-1992’ de gerilim harmonik sınırları ise Tablo 2.8’deki gibidir.

Tablo 2.8. IEEE standardına göre gerilim harmoniği sınırları [38]

Bara Gerilimi(Vn)	Tekil Harmonik Büyüklüğü(%)	THDv (Toplam Harmonik Distorsiyon)(%)
$V_n \leq 69\text{kV}$	3	5
$69 \leq V_n \leq 161\text{kV}$	1,5	2,5
$V_n > 161\text{ kV}$	1	1,5

EPDK tarafından hazırlanan Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde akım harmoniği sınır değerlerinin bazıları Tablo 2.9’ da belirtilmiştir.

Tablo 2.9. Enerji iletim sisteminde akım harmoniği sınır değerleri [36]

Harmonik Sırası		1 kV<V≤34.5 kV					34.5 kV <V≤154 kV					V>154 kV				
Grup	No	I _k /I _L					I _k /I _L					I _k /I _L				
		<2 0	20 - 50	50 - 100 0	100 - 100 0	> 100 0	<2 0	20- 50	50- 100 0	100 - 100 0	> 100 0	<2 0	20- 50	50- 100 0	100 - 100 0	> 100 0
TEK HARMONİKLER	h<11	4	7	10	12	15	2	3,5	5	6	7,5	1	1,8	2,5	3	3,8
	11≤h<17	2	3,5	4,5	5,5	7	1	1,8	2,3	2,8	3,5	0,5	0,9	1,2	1,4	1,8
	17≤h<23	1,5	2,5	4	5	6	0,8	1,25	2	2,5	3	0,4	0,6	1	1,25	1,3
	23≤h<35	0,6	1	1,5	2	2,5	0,3	0,5	0,75	1	1,25	0,15	0,25	0,4	0,5	0,6
	h≥35	0,3	0,5	0,7	1	1,4	0,15	0,25	0,35	0,5	0,7	0,15	0,25	0,17	0,25	0,35
Çift harmonikler kendinden önceki tek harmoniğin 0.25 katı ile sınırlıdır.																

Tablo 2.9’ da belirtilen I_k ortak bağlantı noktasındaki maksimum kısa devre akımını, I_L ise ortak bağlantı noktasındaki maksimum yük akımının ana bileşenini temsil etmektedir. Bunun yanı sıra akım harmonikleri alçak gerilim sistemleri için TS EN 61000-3-2 standardında 16 A altı yükler için dört başlıkta incelenmiş ve her grup için farklı değerler belirlenmiştir [34, 39].

2.6.6 Gerilim Dalgalanmaları (Fliker)

Şebeke geriliminin nominal değerinin 0,95’ i ile 1,05’ ine (+-%5’ i) kadar olan hızlı değişimleridir. Yüksek akım çeken ark ocakları gibi elektriksel işletmelerin yüklerindeki ani ve devamlı değişimler gerilim dalgalanmalarına sebep olur. Bu değişimler genelde 6-8 Hz civarında gerçekleşir ve insan gözü bunu farkedebilir. Şebekeye bağlı aydınlatma elemanlarında kırışmalara neden olurlar [31].

IEC 61000-4-15 standardı gerilim dalgalanmalarının ölçüm şeklini açıklamaktadır. Bu standarda göre iki çeşit fliker bulunmaktadır. Birincisi temel görünen ışık kırışmasının insan gözüne yansımalarının tasvir edildiği kısa süreli fliker dir. P_{st} olarak adlandırılır. P_{st} değeri 1,0 olarak normalize edilmiştir [30]. Uzun süreli fliker değerlerinin ortalaması ise P_{lt} olarak adlandırılır. Bu değer standartlarda, kontratlarda uyulması gereken değer olarak kabul edilir [30].

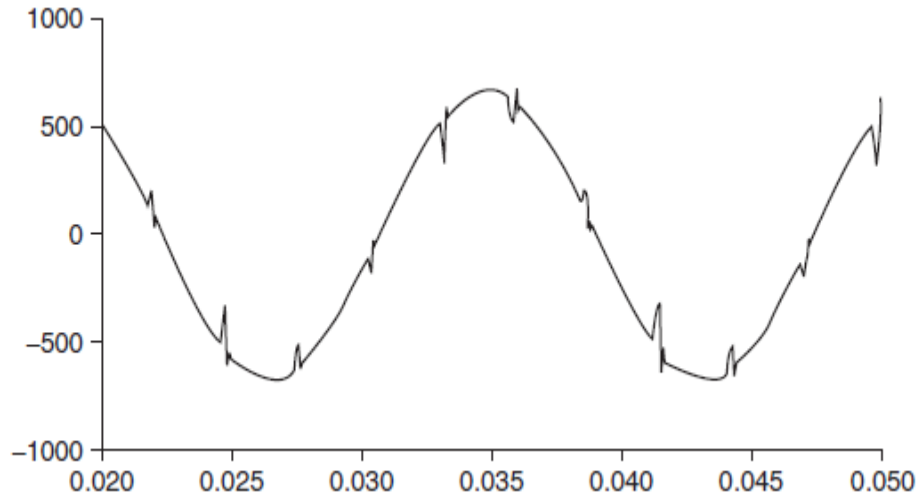
Kısa süreli fliker (P_{st}) 10 dakikalık verilere göre, uzun süreli fliker ise 2 saatlik P_{st} verilerine göre hesaplanır. P_{lt} , iki saatlik zaman aralığında ölçülen ardarda alınan 12 P_{st} değerlerinden denklem 2.8' deki gibi hesaplanır [36].

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} P_{st_j}^3} \quad (2.8)$$

EN 61000' e göre P_{st} değeri 1 değerinden P_{lt} değeri ise 0,8 değerinden küçük olmalıdır.

2.6.7 Çentik

Güç elektroniği cihazlarında temel dalgaya bağlı, periyodik olarak akım komutasyonunun olduğu yerlerde ortaya çıkan anlık kısa devrelerdir. Bu olay çok kısa sürede meydana gelmektedir. Temel dalga üzerinde çentiğe benzer izler bırakır. Şekil 2.12' de çentik görülmektedir. Sistem empedansının sıfır olduğu yerlerde diyot çiftlerinin anlık yön değiştirmeleri bu olaya sebep olur [40].



Şekil 2.12. Üç fazlı bir güç elektroniği elemanında çentik [40]

2.6.8 Güç Frekansı Değişimleri

Güç dağıtım sistemindeki temel sistem frekansında oluşan sapmalardır. Ülkemizde bu frekans 50 Hz iken Amerika Birleşik Devletlerinde 60 Hz' dir. Sistemin frekansı şebekeye güç sağlayan generatörlerin dönüş hızı ile doğrudan ilişkilidir. Normalde generatörlerin ve yüklerin durumuna göre frekans sapmaları çok fazla olmaz. Frekanstaki değişimlerin büyüklüğü yükün karakteristiği ve generatörün

sistem tepkisi ile ilişkilidir. Frekanstaki değişimler eğer sınırlar dışına çıkarsa enterkonnekte şebekelerde büyük yüklerin ve birçok generatörün devre dışı kalmalarına veya hasar görmelerine neden olabilir. Frekans değişiminin sonucunda muhtemelen yükleri besleyen bazı generatörler devre dışı kalabilir [30].

EPDK tarafından hazırlanan Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde normal işletme şartlarında çalışma frekansı 49,5 ile 50,5 arasında iken sistemin kararsız durumlarında 52,5 Hz ile 47,5 Hz arasında çalışabileceği öngörülmüş ve düzenlemeler yapılmıştır. Fakat kararsız durumlar için zamana ve aktif güç çıkışına bağlı bazı şartlar da bulunmaktadır. Zamana bağlı şartlar Tablo 2.10' da belirtilmiştir [36].

Tablo 2.10. EPDK elektrik şebeke yönetmeliğinde kararsız durumlarda zamana bağlı çalışma şartları [36]

Frekans Aralığı	Minimum Çalışma Süresi
$51,5 \text{ Hz} \leq f \leq 52,5 \text{ Hz}$	10 dakika
$50,5 \text{ Hz} \leq f < 51,5 \text{ Hz}$	1 saat
$49 \text{ Hz} \leq f < 50,5 \text{ Hz}$	Sürekli
$48,5 \text{ Hz} \leq f < 49 \text{ Hz}$	1 saat
$48 \text{ Hz} \leq f < 48,5 \text{ Hz}$	20 dakika
$47,5 \text{ Hz} \leq f < 48 \text{ Hz}$	10 dakika

2.6.9 Geçici Güç Frekansı Gerilim Yükselmesi (EN 50160)

Geçici gerilim yükselmesi, gerilimin mikrosaniyeler içinde onlarca kilovolt değerine ulaşabilmesidir. Yıldırımın iletim hattına düşmesi, iletim hattındaki iletkenlerin etrafında oluşan elektromanyetik alanın oluşturduğu indüksiyon, motorların ve transformatörlerin anahtarlanmaları ve indüktif yüklerden kaynaklanabilir.

Geçici güç frekansı gerilim yükselmesi ise hattaki herhangi bir gerilimin efektif değerinin, hattın nominal işletme geriliminin efektif değerinin %4 ile %10' unun üstüne belirsiz bir periyot boyunca çıkmasıdır. Genelde güç sağlayıcılarındaki problemler, kötü bağlantılar veya hattın nötr iletkeninin kopmasından kaynaklanabilir.

Çoğu güç dağıtım sistemi, herhangi bir faz gerilimine referans olan ve çoğunlukla topraklanan bir nötr iletkenine sahiptir. Hat boyunca faz iletkenlerinden dönen akımın nötrde son bulması, her bir fazın kendi aralarında gerilimlerinin efektif diğerinin sabit kalmasını sağlar. Nötr hattı transformatörlerin yıldız noktalarında topraklanır. Nötr hattının kopması durumunda toprak referansı kaybolur ve gerilimler arasında dengesizliğe sebep olur. Hangi fazın yük değeri düşükse o fazda daha yüksek gerilim ve hangi fazın yük değeri daha fazla ise o fazda düşük gerilim oluşur. Dengesizliğin fazla olduğu durumlarda gerilimin efektif faz-nötr arası efektif değeri düşük gerilim sisteminde 400 Volt'u bulabilir. Bu tehlikeli bir durumdur. Aslında yüksek gerilim önleyici sistemler nominal gerilim değerinin efektif değerindeki değişimleri algılayabilirler ve ayarlanan tepe değerine göre geçici gerilim yükselmesi sonucunda oluşan fazla enerjiyi toprağa iletebilirler fakat çoğu güç frekansı gerilim yükselmesinde hatta oluşan enerjiyi toprağa iletemezler. Bu yüzden hat geriliminin %4 ile %10' una gelindiğinde anahtarlama yapmak hattı daha güvenli korumak anlamına gelir, böylece oluşan daha az enerji toprağa rahatça iletilebilir [41]. EN 50160 standardında düşük gerilim için 1,5 kV' luk gerilim sınırı, orta gerilim için ise topraklama türüne göre sistemin güç geriliminin 1,7 veya 2 katına kadar ulaşması sınırı belirlenmiştir [26].

2.7. Güç Kalitesi Standartları

Elektrik enerjisinin kalitesinin standartlaştırılması ve tanımlanması önem arz etmektedir. Her enerji sisteminde farklı standartların uygulanması ve farklı tanımlamalar yapılması karışıklıklara sebep olabilir. Bu karışıklıklara yer vermemek için dünya genelinde güç kalitesi parametreleri ile ilgili iki ayrı çatı standart bulunmaktadır. Bunlar EN 50160 ile IEEE Standard 1159' dur. Bu iki standart genel olarak gerilim olaylarından bahsetmektedir. Güç kalitesi parametrelerinin ölçüm yöntemleri ve güç kalitesine etki eden faktörler IEC 61000-4-30 standardında sıralanmıştır. EPDK' nın Aralık 2012' de yayınlanan "Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği" ülkemizde elektrik dağıtım şirketlerinin uyması gereken güç kalitesi sınırlarını belirtmektedir. Bu yönetmelik, EN 50160 standardını gerilim karakteristikleri yönünden, IEEE 519-1992 standardını akım harmonikleri yönünden ve IEEE 1453-2004 standartlarını fliker etkisi yönünden referans almaktadır. Güç kalitesi parametrelerinin ölçüm yöntemleri ve güç kalitesine etki eden faktörler IEC 61000-4-30 standardında sıralanmıştır [2, 21].

Yük tarafından gerilimin RMS değeriindeki değişimleri standartlarda farklı detaylarla ele alınmıştır. IEEE std. 1159 standardında geçici olaylar ve kısa süreli değişimler oldukça detaylıdır. EN 50160 standardında ise olaylar daha çok alınan verilerin belli süreli ortalamalarına göre sınıflandırılmış ve bu değerlerin sınırlandırmaları üzerinde durulmuştur. Geçici gerilim değişimleri kısmında geçici olaylar tanımlanmış olsa da sınıflandırılmamıştır.

EN 50160, EN 61000 standartları sınır değerleri Tablo 2.11' de ve IEEE 1453-2004 standardı sınır değerleri ve Tablo 2.12' de görülmektedir.

Tablo 2.11' de EN 50160 ve EN 61000 standartlarına göre güç kalitesi parametreleri 11 ayrı kısımda gerilim karakteristiğine göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 2.11. Gerilim karakteristiklerinin EN 50160 ve EN 61000 standardına göre sınıflandırılması [42]

	Parametreler	EN 50160'e göre Kaynak Gerilimi Karakteristiği	EN 61000'e göre Kaynak Gerilimi Karakteristiği	
			EN 61000-2-2	Diğer Kısımlar
1	Frekans	Düşük ve Orta Gerilim için: Temel gerilimin değerinin ortalaması alınarak 10 sn' nin üzerinde ölçülen değerler için,	2%	
		Haftalık tüm değerlerin 99,5%: ±1 % (49,5 – 50,5 Hz)		
		Haftalık tüm değerlerin 100%: -6%/+4 % (47- 52 Hz)		
2	Gerilim Genlik Değişimleri	Düşük ve Orta Gerilim için:		15 dakikalık RMS değerlerinin ortalaması alınarak,
		10 dakikalık RMS değerlerinin ortalaması alınarak,		

		Haftalık tüm değerlerin 99,5%: ±10%		±%10
3	Hızlı Gerilim Değişimleri	Düşük Gerilim için: %5 normal	%3 normal	%3 normal
		%10 seyrek olarak	%8 ise seyrek olarak	%4 maksimum
		Haftalık tüm değerlerin 99,5%: Plt ≤ 1	Plt <0,8	Plt < 0.65
			Pst <1,0	Pst < 1.0
		Orta Gerilim için: 4% normal		(EN 61000-3-3)
		%6 seyrek olarak		3% (IEC 61000-2-12)
		Haftalık tüm değerlerin 99,5%: Plt ≤ 1		
4	Gerilim Çukuru	Çoğunlukla: süre<1s, dip <60%. Yüklerin devreye girmesinden kaynaklanan lokal sınırlandırılmış çukurlar için,	Şehirlerde	10 ms üzerinde % 30
			1 - 4 ay	100 ms üzerinde %60
				(EN 61000-6-1, 6-2)
		Düşük Gerilim için: 10 - 50%,		1000 ms üzerinde 60%
		Orta Gerilim için: 10 - 15%		
				(EN 61000-6-2)
5	Kısa Gerilim Kesintileri	Düşük ve Orta Gerilim için:		5 sn boyunca 95% azalma
		3 dakikanın üzerinde olanların 70% 'inin < 1 s küçük olanlarının sayısı yılda birkaç yüzü geçmemeli		(EN 61000-6-1, 6-2)

6	Uzun Süreli Gerilim Değişimleri	Düşük ve Orta Gerilim için: 3 dakikanın üzerinde olanların sayısı yılda 10 – 50 arasında		
7	Geçici Güç Frekansı Gerilim Yükselmesi	Düşük Gerilim için: <1,5 kV rms Orta Gerilim için: 1,7 Uc (Empedans-Toprak) 2,0 Uc (Topraksız)		
8	Geçici Gerilim Yükselmesi	Düşük Gerilim için: genelde <6kV, bazen daha yüksek Yükselme zamanı: ms - µs. Orta Gerilim için: Tanımlanmamış		±2 kV, faz-toprak ±1 kV, faz - faz 1,2/50(8/20) Tr/Th µs (EN 61000-6-1, 6-2)
9	Gerilim Dengesizliği	Düşük ve Orta Gerilim için: Haftalık 10 dakikalık RMS verilerin ortalamasının 95%: 2% Bazı yerler için 3%	%2	%2 (IEC 61000-2-12)
10	Gerilim Harmoniği	Düşük ve Orta Gerilim için: Harmonikler kısmında verilmiştir	%6-5., %5-7., 3,5%-11., %3-13., THD <8%	%5 3rd, %6 5. , 5% 7. , 1,5% 9. , 3,5% 11. , 3% 13. , 0,3% 15. , 2% 17. (EN 61000-3-2)

11	Gerilim Ara Harmoniği	Düşük ve Orta Gerilim için: Üzerinde düşünülüyor	0,2%	

Avrupa genelinde EN 50160 standardı kullanılmakta ve standartlar devamlı geliştirilmektedir. Bu sınıflandırmada en önemli faktör, meydana gelen olayın ne kadar zaman aldığıdır.

Tablo 2.12’ de IEEE std. 1159-1995 standardına göre güç kalitesi olayları yedi farklı kategoriye ayrılmıştır. Bu standartta elektriksel olayları ve gerilim dalga şeklinin bozulması ele alınmış ve genelde oluşan olayın süresi ve frekansı üzerinde durulmuştur.

Tablo 2.12. IEEE std. 1159-1995’de güç kalitesi olayları sınıflandırılması [43]

Olay Kategorileri	Spektrum	Süre	Gerilim Genliği Değeri
1.Geçici Olaylar			
1.1 Darbeli Olaylar			
Nanosaniye	5-ns yükseliş	<50 ns	
Mikrosaniye	1-µs yükseliş	50 ns-1 ms	
Milisaniye	0.1-ms yükseliş	>1 ms	
1.2 Titreşimli Olaylar			
Alçak frekans	<5 kHz	0,3-50 ms	0,4 pu
Orta frekans	5-500 kHz	20 µs	0,8 pu
Yüksek frekans	,5-5 MHz	5 µs	0,4 pu
2. Kısa Süreli Değişimler			
2.1 Ani Değişimler			
Kesinti (interruption)		0,5-30 çevrim	<0,1 pu
Azalma (sag-dip)		0,5-30 çevrim	0,1-0,9 pu
Artma (swell)		0,5-30 çevrim	1,1-1,8 pu
2.2 Anlık Değişimler			
Kesinti (interruption)		30 çevrim-3 s	<0,1 pu
Azalma (sag-dip)		30 çevrim-3 s	0,1-0,9 pu
Artma (swell)		30 çevrim-3 s	1,1-1,4 pu
2.3 Geçici Değişimler			
Kesinti (interruption)		3 s-1 dakika	<0,1 pu
Azalma (sag-dip)		3 s-1 dakika	0,1-0,9 pu
Artma (swell)		3 s-1 dakika	1,1-1,4 pu
3. Uzun süreli değişimler			
Kesinti		>1 dakika	0,0 pu
Gerilim düşmesi		>1 dakika	0,1-0,9 pu
Gerilim artması		>1 dakika	1,1-1,2 pu
4. Gerilim Dengesizliği		Sürekli hal	0,5-2 %
5. Dalga Biçimi Bozulmaları			
Dc ofset		Sürekli hal	0,5-0.1 %
Harmonikler	0-100. harmonik	Sürekli hal	0,5-20 %
Ara harmonikler	0-6 kHz	Sürekli hal	0-20 %
Çentik			

Gürültü	Geniş bant	Sürekli hal	0-1 %
6. Gerilim Dalgalanmaları	<25 Hz	Süreksiz	0,5-7 %
7. Güç Frekansı Değişimleri		<10 s	

2.8. Statik Transfer Anahtarları

Birbirlerine senkron veya yedekli çalışan tek veya üç fazlı sistemlerde herhangi bir şebekede problem oluştuğunda tristörler vasıtasıyla hattı besleyen kaynaklar arasında çok hızlı geçiş yapabilen elemanlara statik transfer anahtarı denilmektedir. Transfer anahtarları genelde hassas veya kritik yükler olduğunda ve güç kalitesi açısından önem arz eden noktalarda kullanılırlar. Bazen yük paylaşımında da kullanılabilirler. Genelde bu tip noktalarda iki ayrı fider veya besleme hattı bulunmaktadır. Bunlardan ilki tercih edilen hat, diğeri ise alternatif hattır. Genellikle tercih edilen hatta istenmeyen bir problem oluşursa anahtar yedekte bekleyen alternatif hatta yüke herhangi bir sıkıntı hissettirmeden çeyrek periyodun altındaki bir sürede geçiş sağlar. Askeri tesislerde, hastanelerde, havalimanlarında kullanımları daha yaygındır. Yedek hat olarak kesintisiz güç kaynakları veya generatörler kullanılabilirler.

Transfer anahtarları genelde hızlı veya uzun süreli gerilim çökmeleri, yükselmeleri, akım sınırlamaları gibi güç kalitesi olaylarında kullanılmaktadır. Transfer anahtarının en önemli avantajı maliyetidir. İletim hatlarında güç kalitesi olaylarının elemine edilmesi için kullanılan diğer cihazlara göre daha ucuzdur. Otomatik transfer anahtarlarında oluşabilecek çapraz bağlantı problemlerine izin vermediği gibi daha efektif bir anahtarlama gerçekleştirir.

2.8.1 Statik Transfer Anahtarlarında Bazı Anahtarlama Şekilleri

2.8.1.1 Sıfır Akım Geçiş Stratejisi

Bu tip geçiş stratejisinde birincil kaynakta herhangi bir istenmeyen durum oluştuğunda önce birincil kaynağın önündeki transfer anahtarının enerjisi kesilir. Böylece yük kısa bir süre enerjisiz kalır daha sonra ise ikincil kaynağın önündeki transfer anahtarı devreye girerek yüke enerji akışı sağlanmış olur. Bu çalışma şekline yapmadan önce ayır (break-before-make) denilmektedir. Bu tip bir anahtarlama stratejisinde yükün güç faktörü ve bozulma karakteristiğine göre bir gecikme

oluşturulur ancak bu yolla kaynak paralelleme problemi önlenmiş olur. Bu geçiş zamanı yükün cinsine ve güç katsayısına göre farklılık gösterebilir [44].

2.8.1.2 Komutasyon Geçiş Stratejisi

Komutasyon geçiş stratejisinde ise şebekelerin herhangi birinde problem oluştuğunda beklemeden tetikleme sinyali oluşturularak geçiş sağlanır yani yükün enerjisi kesilmeden anahtarlama yapılır. Böyle bir durumda besleme kaynağının gerilim değeri, frekans değeri ve faz yönleri aynı olmalıdır. Bu tip anahtarlama yapılmasının en önemli sebebi, sıfır akım geçiş stratejili transfer anahtarlarında oluşan kısa süreli enerji kesintisinin bilgisayarlar gibi oldukça hassas yükleri etkilemesidir. Bunun yanında fiderlerde oluşan anlık hatalar kısa geçiş sürelerinde yük tarafında daha az hissedilir fakat anahtarlama sırasında oluşabilecek hatalar problemlere sebep olabilir [44].

3. GÜÇ KALİTESİ PARAMETRELERİNE DAYALI ANAHTARLAMA SİSTEMİ

Bu bölümde gerçekleştirilen anahtarlama sisteminin donanımsal yapısı, anahtarlama algoritması ve yazılımı ele alınacaktır.

3.1. Transfer Anahtarının Donanımsal Yapısı

Tasarlanan transfer anahtarı iki ayrı kaynak veya fider arasında geçiş yapabilen bir yapıdadır. Bu geçişi yapabilmesi için bazı karar algoritmalarına ve seçim yapılacak iki ayrı fiderin gerilim ve akım bilgilerine gereksinim vardır. Bu iki bilginin yeteri kadar doğrulukta ve hızda alınması büyük önem taşımaktadır. Aksi taktirde gerilimde veya akımda oluşabilecek ani olaylar yakalanamayabilir. Ölçüm doğruluğunun sağlanabilmesi için ise IEC 61000-4-30 standardında belirtilen şartlara uyulması gerekmektedir.

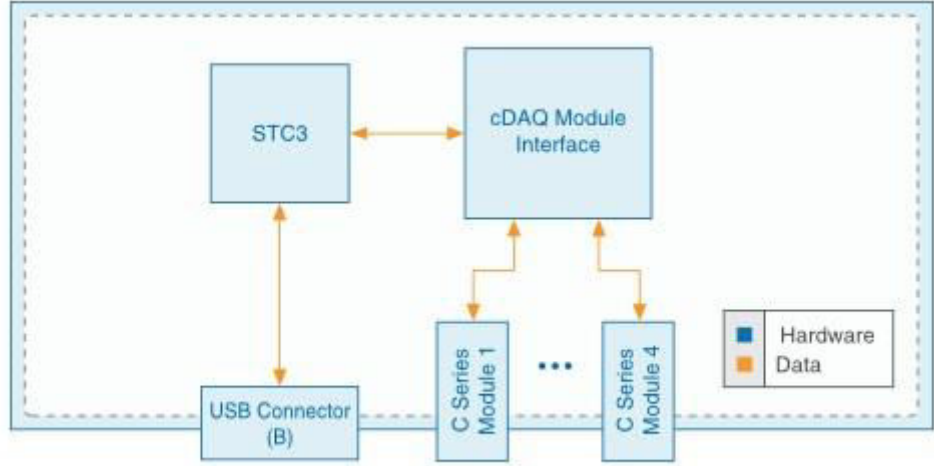
3.1.1 Veri Toplama Sistemi

Transfer anahtarının donanımsal yapısının ana bileşeni NI cDAQ-9174 modüler veri toplama sistemidir. Dört slotlu ve USB üzerinden bilgisayar ile haberleşen yüksek hızlı anlık veri alma yeteneğine sahiptir. Üzerindeki slotlara alınacak verinin türüne göre modüller takılabilmekte ve böylece değişik veri argümanlarına göre ölçümler bu sistem üzerinden yapılabilmektedir. Şekil 3.1’ de NI cDAQ-9174 görülmektedir [45].



Şekil 3.1. NI cDAQ-9174 veri toplama sistemi [45]

NI cDAQ-9174 sisteminin blok diyagramı Şekil 3.2’ de verilmiştir.

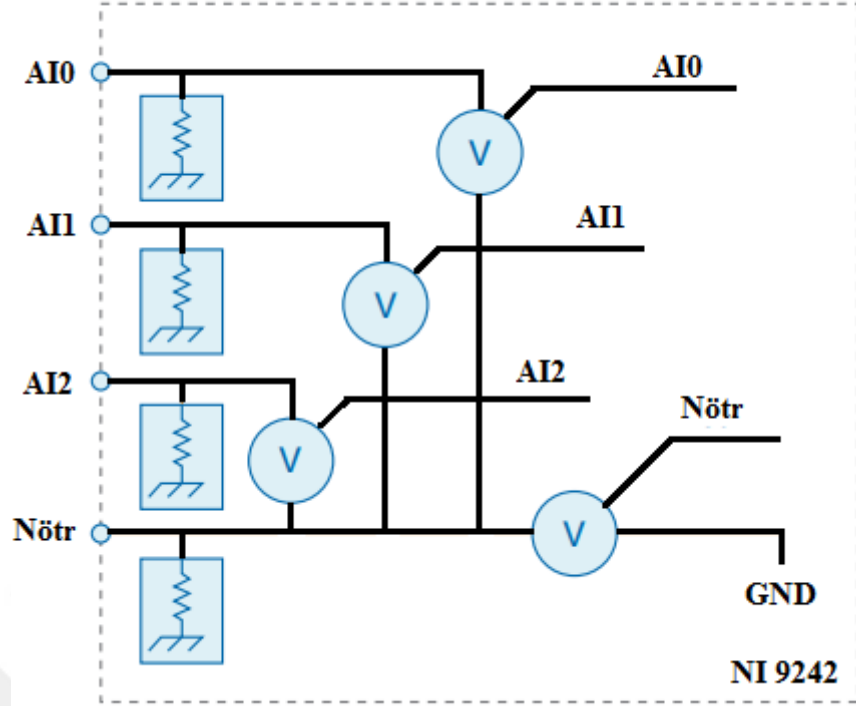


Şekil 3.2. NI cDAQ-9174 sisteminin blok gösterimi [45]

Blok diyagramda gösterildiği gibi 4 adet slota NI firmasının ürettiği C serisi giriş/çıkış modülleri takılabilmektedir. Sistemin bilgisayarla bağlantısı USB 2.0 yüksek hızlı bağlantı ile yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra her slottan okuma yapılırken slot sayısı artsa da veri okuma hızı değişmemektedir. Bu özelliği de önemli bir avantaj sağlamaktadır. Veri okuma hızı kullanılan modülün yapısına göre değişmekle birlikte her modül farklı hızlarda da veri okuyabilmektedir [45].

3.1.2 NI 9242 Gerilim Ölçüm Modülü

NI 9242, NI tarafından üretilmiş C serisi bir modül olup 3 faz veya tek fazlı bir AC şebekenin nötr referansının da kullanılabildiği gerilim değerlerini ölçmeye imkan veren bir analog giriş modülüdür. Yıldız veya üçgen bağlantı ile ölçümler yapılabilir. Faz-nötr arası 250 V RMS değerine, faz-faz arası ise 400 V RMS değerine kadar olan ölçümler mümkündür. Bunun için düşük gerilim sistemlerinde kullanılır. Her bir kanaldaki örnekleme hızı maksimum 50 kS/s' dir. Giriş gürültü değeri ise 3 mVrms' dir. Şekil 3.3' te NI 9242 Gerilim ölçüm modülü giriş devresi şeması görülmektedir. Giriş devresinde her 4 kanal birbirinden bağımsızdır ve her kanalın toprakla olan empedans değerleri aynıdır [46].

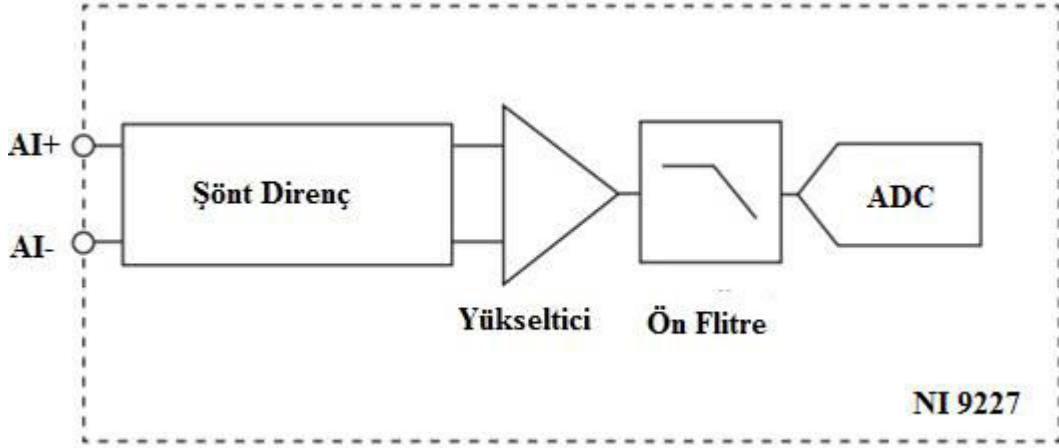


Şekil 3.3. NI 9242 gerilim ölçüm modülü giriş devresi [46]

Modülün çözünürlüğü 24 bit dahili frekansı ise 12,8 MHz’ dir fakat veri oranı alınan örnek sayısına göre değişebilir [46].

3.1.3 NI 9227 Akım Ölçüm Modülü

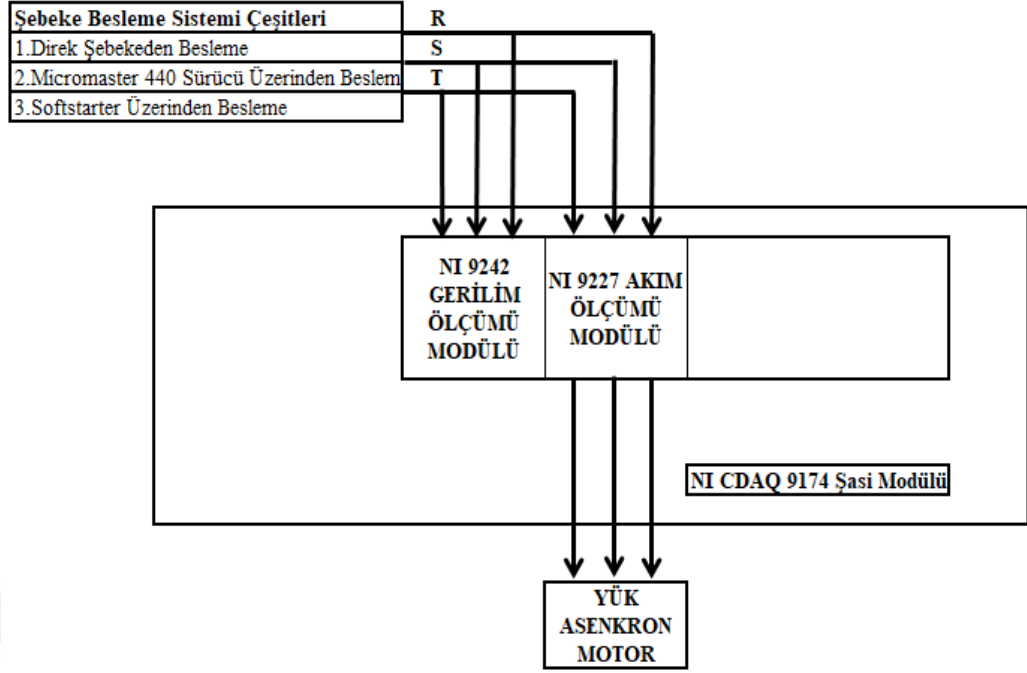
NI 9227, 4 kanallı, 5 A RMS değerine kadar yük akımlarını anlık olarak faz – nötr veya nötr-toprak arası ölçebilen bir akım modülüdür. NI 9242’ deki gibi modülün çözünürlüğü 24 bit dahili frekansı ise 12,8 MHz’ dir. Her bir kanaldaki örnekleme hızı maksimum 50 kS/s’ dir. Yıldız veya üçgen bağlantı ile ölçümler yapılabilir. Şekil 3.4’ te akım modülünün giriş devresi görülmektedir. Her bir kanal birbirinden bağımsız çalışmaktadır. Giriş akımı bilgisi önce tamponlanır daha sonra 24 bit çözünürlükte örneklenir [47].



Şekil 3.4. NI 9227 akım ölçüm modülü giriş devresi [47]

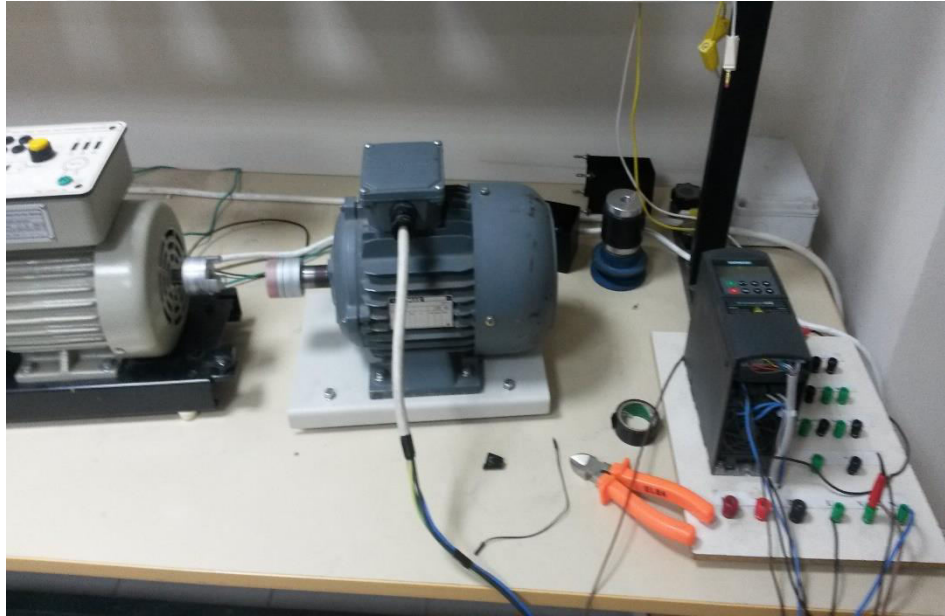
3.1.4. Deney Düzeneği

Deney düzeneği NI cDAQ 9174 şasi modülü üzerine takılan NI 9242 gerilim modülü ve NI 9227 akım modülünden oluşmaktadır. Yük, sisteme alçak gerilim şebekesinden faz-faz arası 380 V RMS değerindeki gerilimle akım sensörü üzerinden bağlanmıştır. Yük olarak Gamak firmasının ürettiği 1,1 kW gücünde asenkron motor kullanılmıştır. Deneyde, şebeke sisteminde oluşabilecek güç kalitesi parametrelerindeki değişiklikleri gözlemleyebilmek için yük olarak kullanılan asenkron motora 3 farklı güç kaynağı ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu kaynaklardan ilki direk olarak alçak gerilim şebekesidir. İkincisi Siemens firmasının ürettiği Micromaster 440 serisi üç faz giriş üç faz çıkışlı 1,5 kW güç değerine sahip motor kontrol sürücüsüdür. Üçüncüsü ise yine Siemens firmasının ürettiği Sirius serisi yumuşak yol vericidir. İkinci ve üçüncü kaynaklar güç elektroniği cihazları oldukları için güç kalitesi parametrelerinin değişimlerine önemli etkileri olacağı düşünülmüştür. Deney düzeneği gösterimi Şekil 3.5' te verilmiştir.



Şekil 3.5. Verilerin elde edilmesinde kullanılan deney düzeneği

Şekil 3.6’ da ise motor kontrol sürücüsü üzerinden yükün beslenmesi görülmektedir.

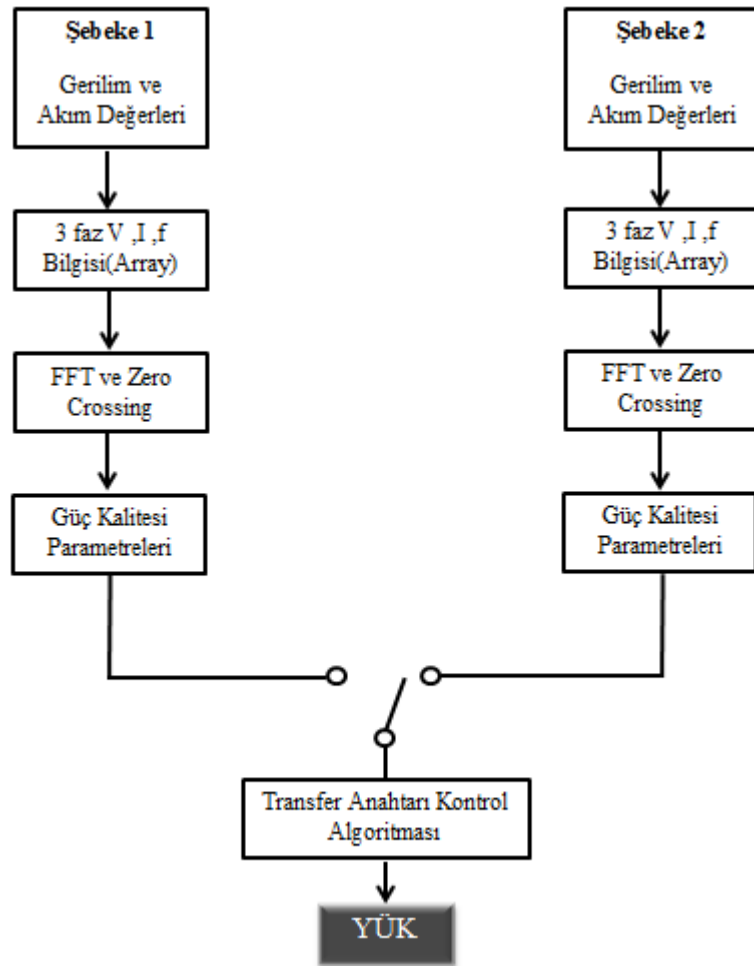


Şekil 3.6. Motor kontrol sürücüsü üzerinden yükün beslenmesi

Her besleme kaynağı uygulandığında gerilim ve akım verileri LabVIEW programının kullandığı ölçüm dosyası olan lvm türünde 6 ayrı kanaldan her kanalda saniyede 1920 örnek olacak şekilde dosyalara kaydedilmiştir.

3.2. Transfer Anahtarının Algoritması

Gerçekleştirilen program iki şebekeli bir sistem için ilk önce akım ve gerilim değerlerinin okunmasıyla başlar. Her iki şebekede 3 fazlı olduğu için her fazın gerilimi ve akımı ayrı ayrı ölçülür. Şebekelerin nötr gerilim ve akımı ölçülmemiştir. Gerilim ve akım bilgileri sıfır geçiş (zero crossing) ve hızlı fourier dönüşümlerinden (FFT) geçirilip çeşitli hesaplamalar yapıldıktan sonra güç kalitesi parametrelerine ulaşılır. Güç kalitesi parametreleri, transfer anahtarı kontrol algoritmasında değerlendirilip bir şebeke seçim sinyali oluşturulur. Gerçekleştirilen programın akış diyagramı Şekil 3.7’ de görülmektedir.



Şekil 3.7. Gerçekleştirilen programın akış diyagramı [48]

Programda elde edilen temel veriler her şebeke için gerilim ve akımın dalga şekilleri, RMS değerleri ve gerilim ve akımın frekansları iken bu verilerden elde edilen güç kalitesi parametreleri ise gerilimin toplam harmonik bozulması, akımın toplam harmonik bozulması, gerilim dengesizlikleri, fliker, şebekelerin güç ve enerji değerleridir. Bunun yanı sıra programda her şebeke için ani gerilim değişimlerinde kullanılmak üzere olay kaydedicisi de bulunmaktadır.

3.2.1 Şebeke Seçim Sinyalini Oluşturma Yöntemi

Gerçekleştirilen program çalıştırılmadan önce sınır değerlerin ve karşılaştırma yapılacak parametrelerin katsayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunlara ek olarak program her iki şebekenin verilerini dosyalardan okuyarak çalıştığı için ilgili veri dosyalarının da program çalıştırılmadan önce seçilmesi zorunludur. Programın algoritması ilk olarak kullanıcının belirlediği sınır değerlerini kontrol ederek başlamaktadır. Sınır değerleri kullanıcı tarafından sınırlandırılan ve istenmeyen bir durum oluştuğunda ilgili şebekenin yüke olan çıkışının kesilmesini gerektiren parametreleri ifade eder. Bu değerler ve anahtarlama prensipleri Tablo 3.1’ de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kullanıcı tanımlı hattın çıkışının kesilmesi şartları ve anahtarlama prensibi [48]

Kullanıcı Tanımlamaları ile Hattın Kesilmesi Şartları		Anahtarlama Prensibi
1	Akım set değeri aşılsa	İlgili çıkış kesilir.
2	Frekans üst ve alt limitleri aşılsa	İlgili çıkış kesilir.
3	Gerilim toplam harmonik değerleri aşılsa	İlgili çıkış kesilir.
4	Akım toplam harmonik değerleri aşılsa	İlgili çıkış kesilir.
5	Anlık fliker değerleri aşılsa	İlgili çıkış kesilir.
6	Gerilim dengesizlik değerleri aşılsa	İlgili çıkış kesilir.

Örneğin kullanıcı 10 A’ den fazla bir yük akımı istemediğinde bu değeri programda girecek ve girdiği değer aşıldığında çıkış kesilecektir. Böylece yük yüksek akımlardan korunmuş olacaktır. Aynı durum gerilim ve akım toplam harmonik bozulması, anlık fliker ($P_{anlık}$) ve gerilim dengesizlik değerleri içinde geçerlidir. Yani bu beş parametre için kullanıcının belirlediği değerler aşılsa çıkış kesilecektir. Şebekenin frekans aralığı parametresinde ise hattın frekansı belirlenen sınırlar dışına çıkarsa ilgili şebeke çıkışı kesilecektir. Tablo 3.1.’ de belirtilen parametreler belirlenen sınırların içine tekrar döndüklerinde ise tekrar çıkış aktif

olacak ve ilgili şebeke yükü beslemeye hazır duruma gelecektir. Kullanıcının belirlediği sınırlar sıfır veya negatif değerler olamazlar ve mümkünse standartlardaki değerlere uygun olarak seçilmelidir.

Eğer belirlenen sınır değerleri aşılmadıysa algoritma şebeke geriliminde ani oluşan güç kalitesi olayları olan gerilim yükselmesi, gerilim düşmesi, gerilim çökmesi ve hızlı gerilim değişimlerinin şebekelerde olup olmadığını kontrol eder. Eğer bu olaylar herhangi bir şebekede varsa hemen diğer şebekeye geçiş gerçekleşir fakat aynı anda her iki şebekede de varsa yük mevcut şebekeden beslenir. Tablo 3.2’ de bu parametreler görülmektedir.

Tablo 3.2. Şebeke gerilimde ani oluşan gerilim olayları

	Şebeke Geriliminde Ani Oluşan Güç Kalitesi Olayları	Anahtarlama Prensibi
1	Gerilim Yükselmesi	Anında diğer hatta tetikleme sinyali üretilir.
2	Gerilim Düşmesi	Anında diğer hatta tetikleme sinyali üretilir.
3	Gerilim Çökmesi	Anında diğer hatta tetikleme sinyali üretilir.
4	Hızlı Gerilim Değişimleri	Anında diğer hatta tetikleme sinyali üretilir.

Eğer yukarıda bahsedilen şartlar sağlanıyorsa yani kullanıcı sınırları aşılmamış ve gerilimde ani gelişen bir güç kalitesi durumu söz konusu değilse her şebekenin gerilim dengesizliği değeri, gerilim harmoniği değeri, akım harmoniği değeri ve fliker değeri yine kullanıcının belirlediği katsayılarla çarpılarak her iki şebeke için ayrı ayrı bir toplam değer elde edilir ve bu iki toplam değer karşılaştırılır. Hangi değer küçük ise o şebeke için bir sinyal üretilir ve böylece güç kalitesi yönünden en uygun şebeke seçilmiş olunur. Karşılaştırma parametrelerinin katsayılarla çarpılmasının amacı, hangi parametrenin kullanıcı açısından önemli olduğunun kullanıcı tarafından belirlenmesine olanak sağlamasıdır. Yukarıda belirtilen dört ayrı güç kalitesi parametresi için iki şebekede de aynı parametre aynı katsayı ile çarpılır. Tablo 3.3’ de karşılaştırma parametreleri ve anahtarlama yöntemleri verilmiştir.

Tablo 3.3. Şebeke seçiminde kullanılan karşılaştırma parametreleri

	Karşılaştırmada Kullanılan Güç Kalitesi Parametreleri	Anahtarlama Prensibi
1	Gerilim Dengesizliği	Bu parametre her hat için kullanıcının belirlediği katsayı ile çarpılarak karşılaştırmada kullanılan diğer 4 parametre ile toplanır.
2	Gerilim Harmonikleri	Bu parametrede her hat için ölçülen harmonik değerlerinin ortalaması alınıp kullanıcının belirlediği katsayı ile çarpılarak karşılaştırmada kullanılan diğer 4 parametre ile toplanır.
3	Akım Harmonikleri	Bu parametrede her hat için ölçülen harmonik değerlerinin ortalaması alınıp kullanıcının belirlediği katsayı ile çarpılarak karşılaştırmada kullanılan diğer 4 parametre ile toplanır.
4	Anlık Fliker ($P_{anlık}$)	Bu parametrede her hat için ölçülen anlık fliker değerlerinin ortalaması alınıp kullanıcının belirlediği katsayı ile çarpılarak karşılaştırmada kullanılan diğer 4 parametre ile toplanır.

Tablo 3.3’ deki parametrelerden gerilim dengesizliği, gerilim harmonikleri, akım harmonikleri ve anlık fliker değerleri üç fazlı sistem içinde her şebeke için ayrı ayrı bulunur. Örneğin 1. şebekede toplam gerilim harmonikleri için her fazda üç değer vardır. Bu üç değerın ortalaması alınarak 1. şebeke için ortalama toplam gerilim harmoniği değeri elde edilir. Denklem 3.1’ de bu işlem görülmektedir.

$THBV_1$: 1.Şebeke Toplam Gerilim Harmoniği Ortalama Değeri;

$THBV_{1.1}$: 1.Şebeke 1. Faz Toplam Gerilim Harmoniği,

$THBV_{1.2}$: 1.Şebeke 2. Faz Toplam Gerilim Harmoniği,

$THBV_{1.3}$: 1.Şebeke 3. Faz Toplam Gerilim Harmoniği;

$$THBV_1 = \frac{THBV_{1.1} + THBV_{1.2} + THBV_{1.3}}{3} \quad (3.1)$$

dir.

$THBV_1$ değeri daha sonra kullanıcın belirlediği katsayı ile çarpılır. Denklem 3.2’ de bu işlem görülmektedir.

k_1 : Kullanıcının belirlediği toplam gerilim harmoniği katsayısı;

$THBV_1$: 1.Şebeke toplam gerilim harmoniği ortalama değeri ;

$kTHBV_1$: Katsayı ile çarpılmış 1.Şebeke toplam gerilim harmoniği ortalama değeri ise;

$$kTHBV_1 = k_1 * THBV_1 \quad (3.2)$$

dir.

Aynı işlem toplam akım harmonikleri ve anlık fliker değerleri içinde geçerlidir. Benzer şekilde hesaplanan akım harmoniği değeri denklem 3.3' de görülmektedir.

k_2 : Kullanıcının belirlediği toplam akım harmoniği katsayısı;

$THBI_1$: 1.Şebeke toplam akım harmoniği ortalama değeri;

$kTHBI_1$: Katsayı ile çarpılmış 1.Şebeke toplam akım harmoniği ortalama değeri ise;

$$kTHBI_1 = k_2 * THBI_1 \quad (3.3)$$

dir.

Fliker değeri ise denklem 3.4' teki gibidir.

k_3 : Kullanıcının belirlediği anlık fliker katsayısı;

P_1 : 1.Şebeke anlık fliker ortalama değeri;

kP_1 : Katsayı ile çarpılmış 1.Şebeke anlık fliker ortalama değeri ise;

$$kP_1 = k_3 * P_1 \quad (3.4)$$

dir.

Gerilim dengesizliği değeri ortalama alınmadan kullanıcının belirlediği değer ile çarpılır. Gerilim dengesizliği değeri denklem 3.5' te görülmektedir.

k_4 : Kullanıcının belirlediği gerilim dengesizliği katsayısı;

$\%V1_{Dengesizlik}$: 1.Şebeke gerilim dengesizliği değeri;

$kV1_{Dengesizlik}$: Katsayı ile çarpılmış 1.Şebeke gerilim dengesizliği değeri;

$$kV1_{Dengesizlik} = k_4 * \%V1_{Dengesizlik} \quad (3.5)$$

dir.

Böylece Tablo 3.3' de belirtilen dört güç kalitesi parametresi için kullanıcının belirlediği katsayılar ile çarpılmış 4 ayrı değer bulunmuş olur. Bu dört ayrı değer toplanarak 1. Şebeke için güç kalitesi açısından ilgili şebekenin durumunu gösteren, karşılaştırılabilir bir değer olan kPT_1 elde edilmiş olur. Bu değere denklem 3.6 ile ulaşılabilir.

$$kPT_1 : \text{1. Şebeke parametreler toplamı;} \\ kPT_1 = kTHBV_1 + kTHBI_1 + kP_1 + kVI_{Dengesizlik} \quad (3.6)$$

dir.

Benzer işlemler 2. Şebeke için aynı yöntemle hesaplanarak kPT_2 değeri bulunur. Kullanıcının belirlediği k_1, k_2, k_3, k_4 katsayıları her iki şebekede aynı parametrelerle aynı anda çarpılmaktadır. Yani k_1 değeri 1.Şebekede toplam gerilim harmoniği ortalama değeri ile çarpılırken yine 2. Şebekede de aynı değeri temsil eden 2. Şebeke toplam gerilim harmoniği ortalama değeri ile çarpılır. Böylece şebekeler için bulunan kPT değerleri karşılaştırılabilir olacaktır. Bir şebekenin kPT değeri ne kadar küçük olursa o şebeke güç kalitesi açısından o kadar iyidir sonucuna ulaşılabilir. Bu sonuca ulaşabilmek için kPT değerleri kendi aralarında karşılaştırılır. Denklem 3.7' de karşılaştırma işlemi görülmektedir.

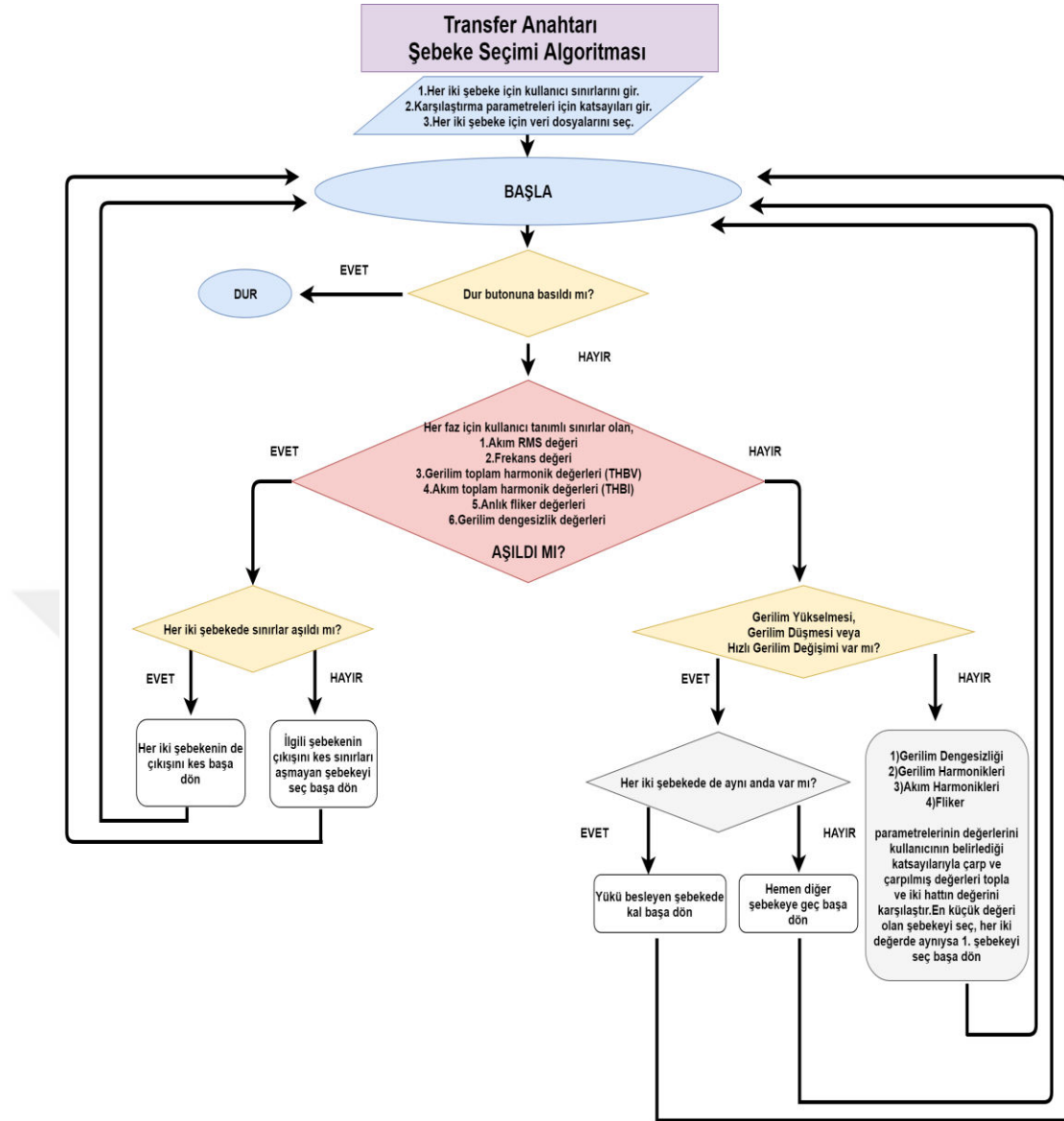
$$kPT_1 \geq kPT_2 \quad (3.7)$$

Bu işlem sonucunda hangi kPT değeri küçükse o hat seçilmiş olur. Eğer her iki değerde birbirine eşit olursa varsayılan olarak 1. Şebeke seçilecektir.

kPT değerleri bulunurken kullanıcı tarafından belirlenen k_1, k_2, k_3, k_4 katsayıları keyfî bir şekilde alınsa bile her iki şebekenin benzer parametreleri ile çarpıldığı için bulunan değerlerler karşılaştırmada bir ölçüttür. Fakat bu değerler sıfır veya negatif değerler olamazlar. Bu çalışma sırasında farklı katsayılar deneyerek elde edilen veriler, farklı pozitif katsayılar kullanmanın karşılaştırma sonucunda en uygun şebeke seçimi işleminin sonucunu değiştirmediğini göstermiştir. Buna ek olarak her şebekenin güç kalitesi parametreleri kendine özgü özellikler gösterebilir. Örneğin bir şebekede gerilim harmoniği sorunları yük açısından daha büyük problemler oluştururken diğer şebekede akım harmonikleri daha büyük bir sorun olabilir. Bundan dolayı katsayılar belirlenirken hangi parametre kullanıcı açısından önem arz ediyorsa o parametrenin katsayısı daha büyük seçilmelidir. Bu çalışmada katsayılar

belirlenirken, 4 parametre için katsayıların toplamının 100 olması uygun görülmüştür.

Karşılaştırma parametrelerinde anlık değerler baz alınmıştır. Bunun sebebi güç kalitesi standartlarındaki ölçüm zaman aralıklarındaki farklılıklar ve hızlı karar alıp yükün enerjisiz kalmasını engellemektir. Karşılaştırma işlemi devam ederken kullanıcının sınırladığı değerler aşılsa seçilmiş şebeke bile olsa o şebekenin çıkışı kesilir ve diğer şebekeye geçilir. Yani kullanıcının belirlediği sınırlar çok önemlidir. Bunun yanında herhangi bir şebekede ani gerilim olayı meydana gelirse o şebeke seçilmiş bile olsa diğer şebekeye ani bir geçiş olur. Durum düzeldikten sonra ise yük tekrar güç kalitesi yönünden en uygun şebekeden beslenecektir. Şebeke seçim yönteminin algoritması Şekil 3.8' de verilmiştir.

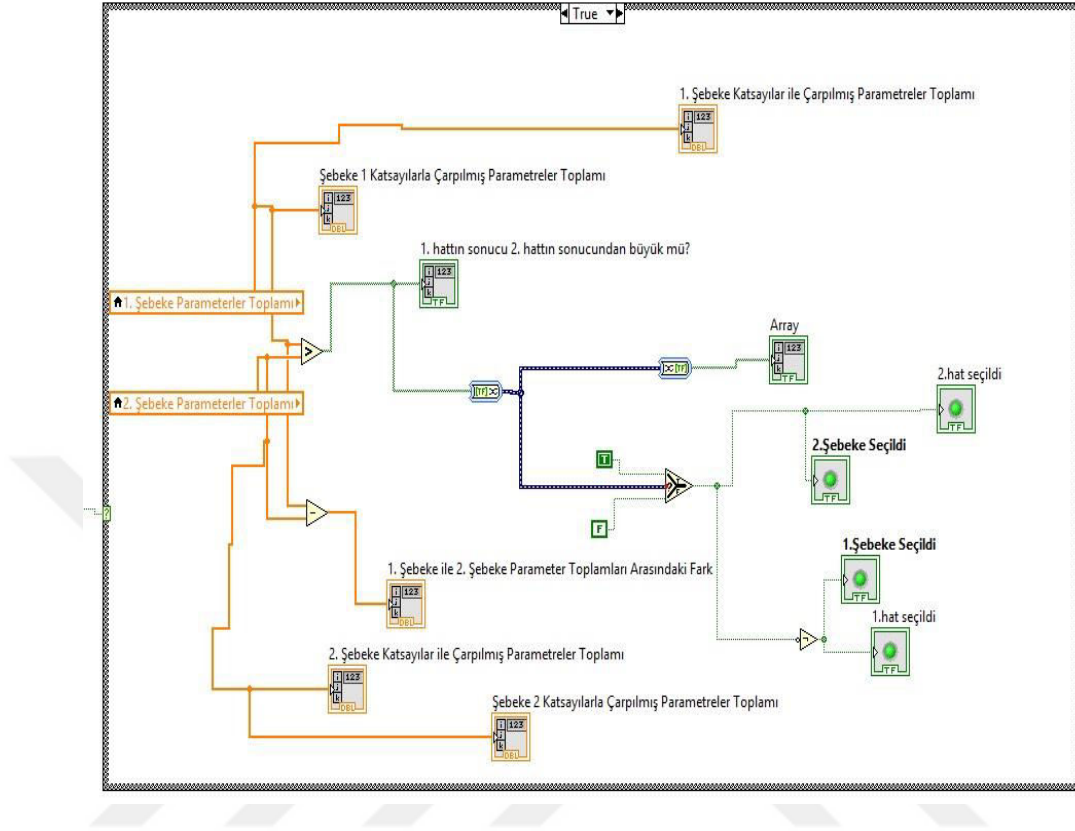


Şekil 3.8. Şebeke seçim yönteminin algoritması

3.3. Transfer Anahtarının Yazılımı

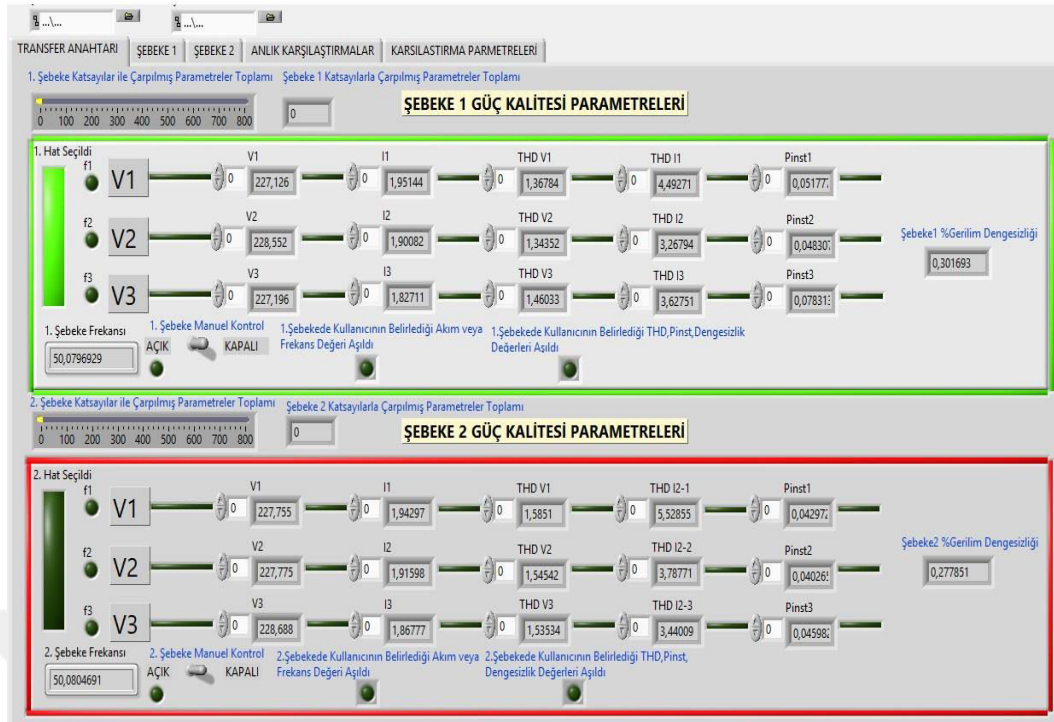
Bu çalışmada yazılım aracı olarak NI firması tarafından geliştirilmiş, grafik tabanlı bir yazılım aracı olan LabVIEW 2015 programı ve bu yazılımın ek paketi olan Electrical Power Suite 2015 kullanılmıştır. LabVIEW yazılımının diğer metin tabanlı program geliştirme araçlarından en büyük farkı grafiksel bir programlama dilinin olmasıdır. G dili olarak isimlendirilen bu dil çoğu programlama dilinin döngü, şart, değişkenler vb. gibi temel bileşenlerini kullanıcıya görsel olarak sunar. Tüm bu bileşenler görsel program geliştirme ortamlarına benzer yapıdadır. Aynı zamanda C++, PHP vb. programlama dillerinin LabVIEW geliştirme ortamı içinde kullanımı

da mümkündür. Gerçekleştirilen programdan bir kesit Şekil 3.9’ da görülmektedir [22].



Şekil 3.9. Tasarlanan programdan bir kesit

Tasarlanan program temelde 4 ana kısımda incelenebilir. Bunların ilki güç kalitesi parametrelerinin ve karşılaştırma sonucunda hangi şebekenin seçildiğinin gösterildiği bir başka deyişle programın ana ekranı olan transfer anahtarı sekmesi, ikincisi 1. şebekenin akım, gerilim, frekans, fliker, toplam değerler, olay kaydedicisi, harmonikler, güç ve enerji değerleri ile gerilim dengesizliğinin anlık olarak görülebildiği ve kullanıcı sınır değerlerinin girildiği Şebeke 1 sekmesi, üçüncüsü bir önceki değerlerin aynılarının 2. şebeke için gösterildiği Şebeke 2 sekmesi ve dördüncüsü ise karşılaştırma parametrelerinin kullanıcı tanımlı katsayılarının sisteme girildiği ve hangi şebekenin seçildiğinin de görülebildiği Karşılaştırma Parametreleri sekmesidir. Şekil 3.10’ da tasarlanan programın ana ekranı olan transfer anahtarı sekmesinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.10. Tasarlanan programın ana ekranı

Transfer anahtarının gerilim ve akım bilgileri daha önceden dosyaya kaydedilmiş gerçek verilerden oluşmaktadır. Verilerin dosyaya yazılması için bir program, okunup karar verilmesi için ayrı bir program tasarlanmıştır. Bunun sebebi elimizde sadece birer adet gerilim ve akım sensörümüzün olmasıdır. Programda elde edilmiş verilerin dosyadan okunması için iki adet dosya aç butonu bulunmaktadır.

Şekil 3.10’ da transfer anahtarı sekmesinde her iki şebekenin her faz için sırasıyla faz-nötr arası gerilim ve akım RMS değerleri, gerilim toplam harmoniği, akım toplam harmoniği, anlık fliker değerleri ile ilgili hattın gerilim dengesizliği değerleri sırasıyla görülebilmektedir. Şebekelerdeki gerilimin frekansları da bu kısımda yer alır. Şebekeler için manuel kontrol anahtarı bu ekranda bulunmaktadır. Bu anahtar ile şebekeler hiçbir şarta bağlı kalmadan devreye alınabilmektedir. Şebekelerin önerilen algoritmaya göre seçilmesinde kullanılan katsayılarıyla çarpılmış toplam değerler ve grafiksel gösterimi de bu kısımda yer almaktadır. Böylece seçilen şebekenin önerilen algoritmaya göre neden seçildiği ile ilgili bir referansta kullanıcıya sunulur. Seçilen şebeke Şekil 3.10’ daki gibi yeşil renkte bir çerçeve şeklinde olmakta ve ekranın sol tarafında görülen ilgili şebekenin seçildiği lambası yeşil yanmakta, seçilmeyen şebeke ise kırmızı renkte olmaktadır. Eğer her iki şebekede seçilmezse kullanıcının belirlediği sınır değerler aşılmış demektir.

Böyle bir durum oluşmuşsa her şebekede bulunan kullanıcının belirlediği değerlerin aşıldığını simgeleyen akım veya frekans değeri lambası ile toplam gerilim veya akım harmonik değeri, anlık fliker değeri ve gerilim dengesizliği değerinin aşıldığını simgeleyen lambalardan biri veya ikisi yanar. Böylece kullanıcı daha detaylı bilgi alabileceği ilgili şebekenin sekmesini kontrol edebilir.

Şebeke 1 ve Şebeke 2 sekmeleri şebekelerle ilgili tüm güç parametrelerinin görülebildiği ve kullanıcı tanımlı kısıtlamaların girildiği alt sekmeleri içerir. Her iki şebeke sekmesinde birbirlerine benzer yapıdadır fakat farklı besleme şartlarını göstermektedirler. Bunun için sadece Şebeke 1 sekmesinden bahsedilecektir. Şebeke 1 sekmesi 12 ayrı alt sekmeden oluşmaktadır. Şekil 3.11’ de Şebeke 1 sekmesinin alt sekmeleri ve set değerleri sekmesi görülmektedir.

The screenshot displays the 'Şebeke 1' (Network 1) control interface. The top navigation bar includes tabs for 'BAŞLANGIÇ', 'SET DEĞERLERİ', 'GERİLİM-AKIM', 'FREKANS', 'TOPLAM DEĞERLER', 'OLAYLAR', 'FLICKER', 'HARMONİK 1', 'HARMONİK 2', 'GÜÇ', 'ENERJİ', and 'DENGESİZLİK'. The main content area is divided into several sections:

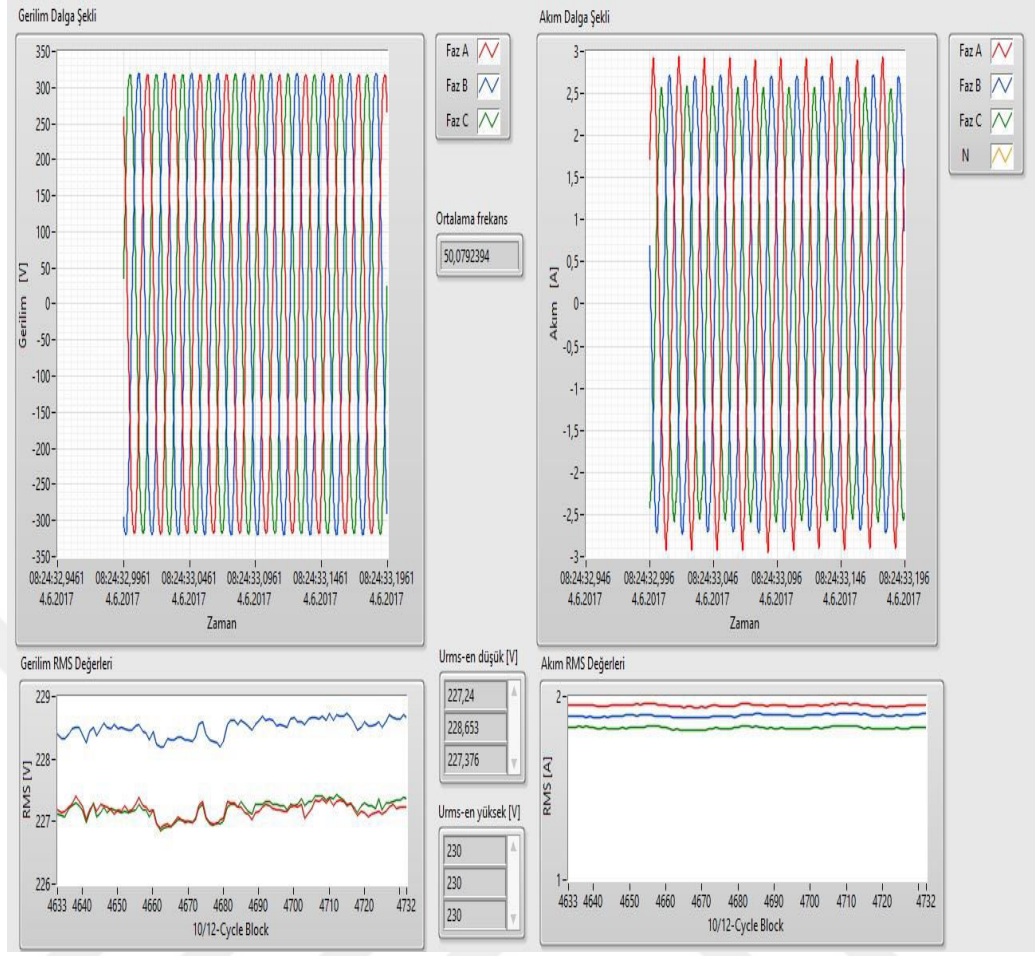
- ZAMAN DEĞERİ:** Includes 'Güç Kalitesi Kesinti Zamanı' (0) and 'Zorunlu Kesinti Zamanı' (0).
- THD SINIR DEĞERİ:** Shows THD V Faz 1 (8), THD V Faz 2 (8), THD V Faz 3 (8), THD I Faz 1 (5), THD I Faz 2 (5), THD I Faz 3 (5), and THD I N (0). It also displays 'Genilim THB [%]' (1,20362, 1,09185, 1,24468) and 'Akım THB [%]' (4,3736, 2,93533, 3,29571).
- FREKANS DEĞERİ:** Shows 'Üst' (52), 'Ortalama Frekans' (50,0794806), and 'Alt' (48). It also includes a 'Frekans' status indicator.
- ANLIK FLİKER:** Shows 'Fliker Sınır Değeri' (1) and 'Pinst' (0,0874265).
- DENGESİZLİK:** Shows 'Gerilim Dengesizliği %' (2) and 'Gerilim Dengesizliği %' (0,300549). It also includes a 'Vunb' status indicator.
- GERİLİM OLAYLARI AYARLARI:** Includes 'Olay Ayarları' (swell threshold [%], dip threshold [%], interruption threshold [%], hysteresis [%]) and 'RVC Ayarları' (min rate of change [%/s], steadiness of steady state [%], min steady state duration [s], min steady state difference [%], max voltage change [%]).
- AKIM DEĞERLERİ:** Shows I1 (50), I2 (50), and I3 (50).
- DURUM:** Shows I1 (0), I2 (0), and I3 (0).

Şekil 3.11. Şebeke 1 sekmesi

Set değerleri sekmesinde kullanıcının ilgili şebekenin güç kalitesi parametrelerinden gerilim toplam harmonik bozulma değerleri, akım toplam harmonik bozulma değerleri, akım değerleri, frekans değeri, anlık fliker değeri, gerilim dengesizliği değeri için sınır değerlerin belirlendiği girişler bulunur. Bu

değerler iki grupta incelenebilir. İlk grup akım ve frekans değerleridir. Eğer bu değerlerden herhangi biri aşılsa program bir kesme sinyali üretir. Bu sinyal ilgili şebekenin çıkışını keser yani her iki parametrenin herhangi birisi sınır değer altına inmedikçe ilgili şebeke aktif olarak karşılaştırma işlemine tabi olmaz. Transfer anahtarı sekmesinde de bu kesme sinyali görünür. İkinci grup sınır değeri ise akım ve gerilim toplam harmoniği değerleri, anlık fliker değeri, gerilim dengesizliği değerleridir. Bu parametreler içinde kullanıcının burada belirlediği sınırlar aşılsa ilgili şebeke için bir kesme sinyali oluşturulur ve çıkışı kesilir. Bu durumda da yine transfer anahtarı sekmesinde ikinci bir uyarı sekmesi bulunmaktadır. Set değerleri sekmesinde aynı zamanda gerilim yükselmesi ve düşmesi olayları ve hızlı gerilim değişim olayları yüzdelik oranlarının değiştirilebildiği gerilim olayları ayarları isminde bir ayar bölümü de mevcuttur. Set değerleri sekmesinde her değer girişi yapılan parametrenin yanında kullanıcının girdiği değerin aşıp aşılmadığını gösteren uyarı göstergeleri de bulunmaktadır.

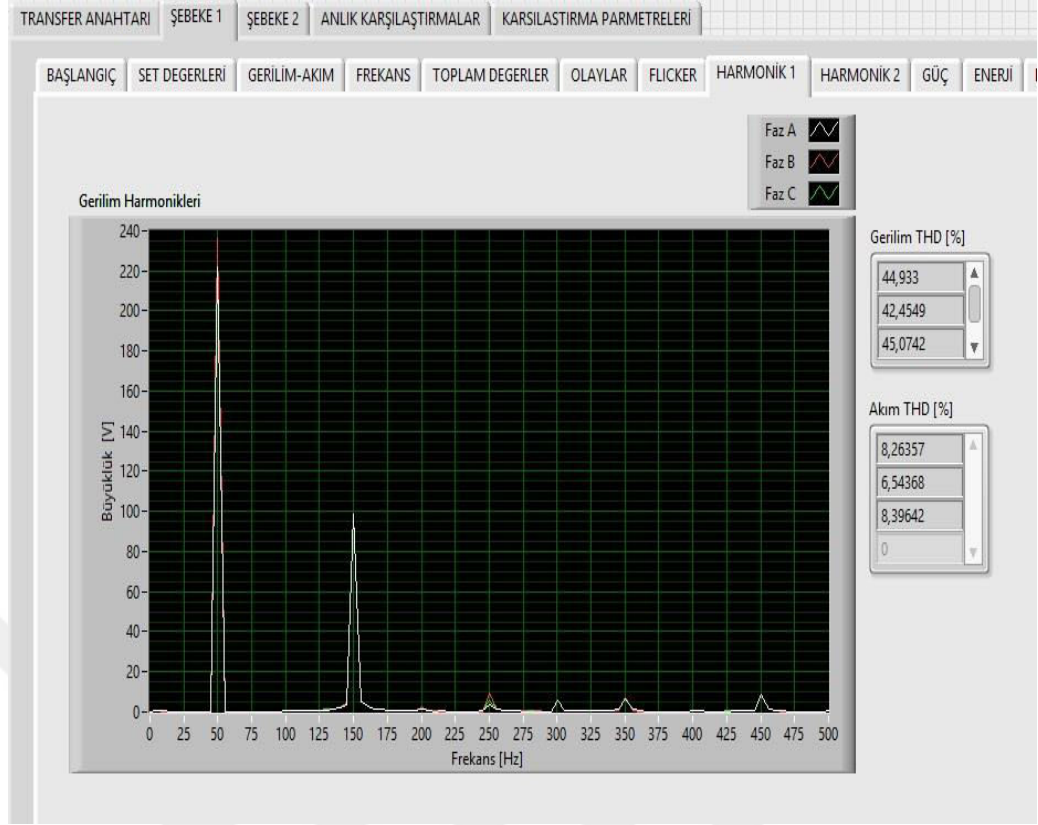
Gerilim-Akım sekmesinde ilgili şebekenin gerilim ve akım dalga şekilleri ve frekansları ile RMS değerlerinin anlık değişimleri izlenebilmektedir. Şekil 3.12' de Gerilim-Akım sekmesi görülmektedir.



Şekil 3.12. Şebeke 1 sekmesi altındaki Gerilim-Akım sekmesi

Bu sekmede gerilimin her üç fazı için en yüksek ve en düşük değere ulaştığı RMS değerleri de gösterilmektedir.

Harmonik 1 sekmesinde gerilim harmonik spekturumunun grafiksel gösterimi ile her faz için gerilim ve akım harmoniği bilgileri bulunmaktadır. Şekil 3.13' te Harmonik 1 sekmesi görölmektedir.



Şekil 3.13. Harmonik 1 sekmesinde harmonik değerleri

Karşılaştırma parametreleri sekmesinde, her iki şebeke güç kalitesi parametrelerinden karşılaştırma amacıyla kullanılan gerilim toplam harmonik bozulması, akım toplam harmonik bozulması, anlık fliker değeri, gerilim dengesizliği katsayı değerlerinin girildiği kısımlar ve bu katsayıların çarpılarak her iki şebeke için hesaplanan toplam değerleri gösterilmektedir. Bu sekmede kullanıcı hangi parametrenin karşılaştırmada daha önemli olduğunu kendi belirleyerek katsayıyı bu amaçla arttırıp azaltabilir. Karşılaştırma sonucunda seçilen şebeke de bu sekmede görülebilmektedir. Şebeke seçimi yapılabilmesi için mutlaka katsayılar belirlenmelidir. Karşılaştırma parametreleri sekmesinden bir bölüm Şekil 3.14’ te görülmektedir.

ŞEBEKE 1 GÜÇ KALİTESİ KARŞILAŞTIRMA PARAMETRELERİ

ŞEBEKE 1 Gerilim Toplam Harmonik Bozulması Katsayı Çarpımı

THDV1
k1
kTHBV1

1,52747

X

25

=

38,1868

ŞEBEKE 1 Akım Toplam Harmonik Bozulması Katsayı Çarpımı

THDI1
k2
kTHBI1

3,78162

X

25

=

94,5406

ŞEBEKE 1 Flicker Katsayı Çarpımı

P1
k3
kP1

0,05279

X

25

=

1,31981

THD V katsayı(k1)

25

THD I katsayı(k2)

25

Flicker Katsayısı(k3)

25

ŞEBEKE 2 GÜÇ KALİTESİ KARŞILAŞTIRMA PARAMETRELERİ

ŞEBEKE 2 Gerilim Toplam Harmonik Bozulması Katsayı Çarpımı

THDV2
k1
kTHBV2

1,51047

X

25

=

37,7617

ŞEBEKE 2 Akım Toplam Harmonik Bozulması Katsayı Çarpımı

THDI2
k2
kTHBI1

4,1277

X

25

=

103,193

ŞEBEKE 2 Flicker Katsayı Çarpımı

P2
k3
kP2

0,04618

X

25

=

1,15472

ŞEBEKE 1 İLE ŞEBEKE 2 PARAMETRELER TOPLAMI KARŞILAŞTIRMASI

1. Şebeke Parametreler Toplamı

141,568

1.Şebeke Seçildi

1. Şebeke ile 2. Şebeke Parametre Toplamları Arasındaki Fark

-8,1819

2. Şebeke Parametreler Toplamı

149,75

2.Şebeke Seçildi

Şekil 3.14. Karşılaştırma parametreleri sekmesinden bir bölüm

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Güç kalitesi parametreleri şebekelerin enerji kalitesinin önemli bir göstergesidir. Enerjinin kullanıcılara sürekli ve kaliteli olarak sağlanması enerji üreticileri açısından artık bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu yüzden enerji arzının çok iyi kontrol edilmesi ve güç kalitesini bozan faktörlerin kullanıcıya ulaşmadan en aza indirilmesi gerekmektedir. Bu durum konuyla ilgilenen fen adamlarını akıllı şebeke dizaynı üzerine çalışmaya itmektedir. Bu çalışmada akıllı şebekelerde kullanılmak üzere otomatik anahtarlama yapabilen bir anahtarlama sistemi LabVIEW programı kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin deney düzeneğinde 1,1 kW değerinde asenkron motor boşta çalıştırılarak yük olarak kullanılmıştır. Güç kalitesi parametrelerinde değişiklik oluşturabilmek için yük direkt şebekeden, motor kontrol sürücüsünden veya yumuşak yol verici üzerinden beslenerek farklı şebeke şartları oluşturulmuştur. Bununla birlikte motor kontrol sürücüsü çıkışında oluşan standart dışı güç kalitesi olayları normal olmamakla birlikte karşılaştırma amaçlı bir referans olarak değerlendirilmiştir. Yumuşak yol verici çıkışında ise ayarlanan süre içinde oluşan normal olmayan güç kalitesi olayları süre sonunda normale dönmekte ancak akım toplam harmonik bozulmasında küçük bir değişim gözlenmektedir. Tablo 4.1' de yükün şebekeden beslenen durumu ile yumuşak yol verici üzerinden beslenen durumu karşılaştırma parametrelerine göre gösterilmiştir. Yumuşak yol vericinin devreden çıktığı ayarlanan süreden sonraki veriler karşılaştırmada dikkate alınmıştır.

Tablo 4.1. Direk şebekeden ve yumuşak yol vericiden beslenen iki şebekenin karşılaştırılması

	Karşılaştırmada Kullanılan Güç Kalitesi Parametreleri	Belirlenen Katsayılar (%)	Şebeke 1 Katsayılar la Çarpılmış Değerler (Direk Şebekeden Besleme)	Şebeke 2 Katsayılar la Çarpılmış Değerler (Yumuşak Yol vericiden Besleme)
1	Gerilim Toplam Harmonik Bozulması Değeri	25	36,4739	37,8906
2	Akım Toplam Harmonik Bozulması Değeri	25	94,2624	104,289
3	Fliker Değeri	25	1,33432	2,88679
4	Gerilim Dengesizliği Değeri	25	7,59301	6,86612
5	Katsayılarla Çarpılmış Toplam Değer		139,385	152,069
6	Seçilen Şebeke		1.Şebeke Seçildi	

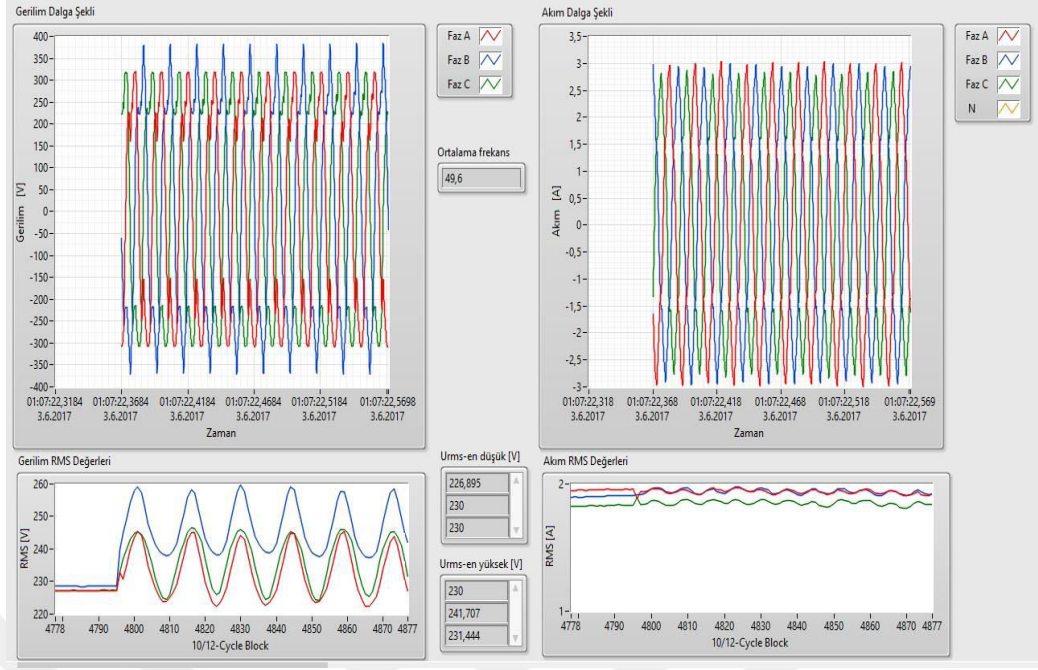
Tablo 4.1’de her iki şebeke şartlarında 1. Şebekenin güç kalitesi olaylarının, gerilim dengesizliği parametresi haricinde daha iyi olduğu katsayılarla çarpılmış toplam değerler sonuçlarında da görülmektedir. Düşük olan değerler tabloda daha koyu olarak vurgulanmıştır. Burada 25 olarak seçilen katsayılar birbirine yakın değerleri olan şebekelerde sonucu değiştirebilmektedir. Seçilen katsayılar hangi güç kalitesi parametresinin şebeke açısından önemli olduğunu kullanıcının belirlemesi açısından kullanıcıya bırakılmıştır. Farklı yük şartlarında sonuçlar değişkenlik gösterebilir. Burada elde edilen veriler yükün değişkenlik göstermediği şartlarda alınmıştır.

Motor kontrol sürücüsü tarafından beslenen şebeke 1 ile yumuşak yol verici tarafından beslenen şebeke 2 verilerinin karşılaştırılması Tablo 4.2’de görülmektedir.

Tablo 4.2. Motor kontrol sürücüsü üzerinden ve yumuşak yol vericiden beslenen iki şebekenin karşılaştırılması

	Karşılaştırmada Kullanılan Güç Kalitesi Parametreleri	Belirlenen Katsayılar (%)	Şebeke 1 Katsayılarla Çarpılmış Değerler (Motor Kontrol Sürücüsünd en Besleme)	Şebeke 2 Katsayılarla Çarpılmış Değerler (Yumuşak Yolvericiden Besleme)
1	Gerilim Toplam Harmonik Bozulması Değeri	25	277,588	168,279
2	Akım Toplam Harmonik Bozulması Değeri	25	191,135	404,829
3	Fliker Değeri	25	453,265	122,267
4	Gerilim Dengesizliği Değeri	25	247,799	140,65
5	Katsayılarla Çarpılmış Toplam Değer		1171,54	929,227
6	Seçilen Şebeke			2.Şebeke Seçildi

Bu karşılaştırmada ise yumuşak yol vericinin ilk kalkınma anında devrede olduğu zamanki parametreler dikkate alınmıştır. Şebeke 1’de Motor kontrol sürücüsü çıkışlarındaki güç kalitesi olaylarındaki fark Tablo 4.2’de görülmektedir. Düşük değerler koyu renkle belirtilmiştir. Yukarıdaki verilere göre motor kontrol sürücüsü oldukça fazla gerilim harmoniği oluştururken yumuşak yol verici ise motor kontrol sürücüsüne göre daha fazla akım harmoniği oluşturmaktadır. Şekil 4.1’de motor kontrol sürücüsü çıkışı gerilim ve akım dalga şekli görülmektedir.



Şekil 4.1. Motor kontrol sürücüsü çıkışı akım ve gerilim grafikleri

Motor kontrol sürücüsü çıkışında özellikle gerilim dalga şeklinde büyük bir bozulma olduğu göze çarpmaktadır. Aynı zamanda gerilimin RMS değerindeki aşırı artışlar Şebeke 1’de hızlı gerilim olaylarının varlığını da ortaya koymaktadır. 2. Şebeke güç kalitesi olayları açısından daha uygun olduğu için seçilmiştir.

Bu çalışmada aynı yük şartları altında farklı besleme kaynaklarından elde edilen, gerçek veriler üzerinden güç kalitesi parametrelerine dayalı bir transfer anahtarı tasarımı LabVIEW programı kullanılarak tasarlanmış ve sonuçlar farklı şebeke şartlarına göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar önerilen algoritmanın en uygun şebekeyi seçtiğini göstermiştir. Tez çalışmasında önerilen algoritma akıllı şebeke sistemlerinde uygulanabilecek şekilde düşünülmüştür. Akıllı şebeke konseptinde akıllı anahtarlar ile kendi kendini yönetebilen ve kullanıcıya kaliteli, kesintisiz enerjinin sağlanması için önerilen bir yöntem bu tez çalışmasında gösterilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada önerilen algoritma statik transfer anahtarlarının çalışma şekline uygun olarak tasarlanmıştır. Ancak şebekelerdeki güç kalitesi olaylarının düzeltilmesi için STATCOM gibi cihazlar da kullanılmaktadır. Bu bağlamda bu cihazlarla haberleşebilen gerektiğinde bu cihazları şebeke şartlarına göre kendi kendine kontrol edebilen akıllı bir anahtarın akıllı şebekelere entegre edilebileceği çalışmalar yapılabilir. Bu anahtarlar lokal olarak bir fabrikayı veya bir orta gerilim şebekesini kontrol edebilir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının

günümüzde şebekelere entegre edilmesi ve bu kaynaklardaki güç kalitesi problemlerinin belirlenen sınırların üstüne çıkması durumunda, bu lokal şebekelerin devre dışı bırakılmasında veya daha iyi şartlarda üretim yapan kaynaklardan enerji talep edilmesinde önerdiğimiz şebeke seçim anahtarı kullanılabilir.



KAYNAKLAR

1. İşcan S., İnce K., Enerji Kalitesinin Standartlar ve Yönetmelikler Çerçevesinde Değerlendirilmesi. 3rd International Istanbul Smart Grid Congress and Fair, 04,2015.
2. Erişti H., Demir, Y., Gerçek Zamanlı Güç Kalitesi İzleme Sistemleri ile Elektrik Dağıtım Sistemlerindeki Güç Kalitesinin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 2011, 351-356.
3. Güç Kalitesi Milli Projesi, <http://www.guckalitesi.gen.tr>. (Erişim Tarihi: 26/03/2018).
4. Dubey A., Sagar, V., Optimization of Static Transfer Switch operation for Impedance matching in Feeder reconfiguration – An Application of MLE Technique. ITSI Transactions on Electrical and Electronics Engineering. 2013, Volume -1, Issue -6, 1-6.
5. Burke J. , Griffith , D. , Ward , D. Power quality-two different perspectives. IEEE Trans. Power Delivery, 1990, vol. 5, pp. 1501–1513
6. Mahmood T. , Choudhry ,M. A., Reconfiguration of feeders using static transfer switch. ICET '06. International Conference , 2006, Pakistan, 386-390.
7. Moschakis M. N., Hatziargyriou, N. D., Thyristor Based Static Transfer Switch: Theory, Modeling and Analysis. 3rd MED POWER conference, 2002.
8. Moschakis M. N., Hatziargyriou, N. D., A detailed model for a thyristor-based static transfer switch. IEEE Transactions on Power Delivery, Ekim 2003 Volume: 18, Issue: 4, 1442 – 1449.
9. Mahmood T., Choudhry, M. A., Application of Static Transfer Switch for Feeder Reconfiguration to Improve Voltage at Critical Locations. 2006 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America,15-18 Ağustos,2006, Caracas, Venezuela.

10. Mokhtari H., Iravani , M. R., Effect of Source Phase Difference on Static Transfer Switch Performance. IEEE Transactions on Power Delivery, 2 Nisan, 2007, 1125 – 1131.
11. Bertuzzi, G., Cinti U. S., Cevenini, E., Nalbone, A., Static transfer switch (STS): Application solutions. Correct use of the STS in systems providing maximum power reliability. Telecommunications Energy Conference, 30 Eylül-4 Ekim, 2007.
12. Ying-Yi Hong, Hong-Ming Hsieh, Chi-Cheng Chuang, Determination of Locations for Static Transfer Switches in Distribution Systems Using Genetic Algorithms and Goal Programming. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC) , 28-31 Mart, 2010, Asia-Pacific.
13. Sermon, R. C., An Overview of Power Quality Standards and Guidelines from the End-User's Point-of-View, REPCON 2005 Rural Electric Power Conference, 8-10 Mayıs, 2005, Page B1/1-B1/5.
14. Bayhan S., Enerji Kalitesinin İnternet Tabanlı Ölçüm ve Analizi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi, Ankara, 2008, 79 s. (Yüksek Lisans Tezi).
15. Gökozan, H., Taşkın, S., Şeker, S., Ekiz, H., A Neural Network Based Approach to Estimate of power System Harmonics for an Induction Furnace Under the Different Load Conditions”, Electrical Engineering, DOI: 10.10007/s00202-014-0320-3, Springer, Bölüm 97, Numara 2, S: 111-117, June 2015.
16. Taşkın, S., Gökozan, H., “Determination of the Spectral Properties and Harmonic Levels for Driving an Induction Motor by an Inverter Driver under the Different Load Conditions”, Electronics and Electrical Engineering, No.2(108), pp.79-84, 2010. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.108.2.149>.
17. Apay, F. T., Güç Kalitesi Parametrelerinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2008, 147 s. (Yüksek Lisans Tezi).

18. Bhattacharyya, S., Myrzik, J. M. A., Kling, W. L., Consequences of poor power quality., Universities Power Engineering Conference, 4-6 Eylül,2007, İngiltere.
19. Almeida, A., Moreira L., Delgado, J., Power Quality Problems and New Solutions, International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Nisan,2003, Vol. 1, No.1.
20. Arrillaga, J., Watson, N. R., Power System Harmonics, John Wiley&Sons Ltd. 20-386, 2003.
21. Laughton, M. A., Warne, D. F., Electrical Engineer's Reference Book, STONES, J., Section H. Power Systems, 43. Power Quality, 2-9, Elsevier, 2003.
22. Gökozan H. Endüstriyel Tesislerde Güç Kalitesinin İzlenmesi Analizi ve Uygun Harmonik Filtre Seçimi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2011, 110 s. (Doktora Tezi).
23. Ferracci P., no. 199 Power Quality, Schneider Electric's Collection technique, 2001.
24. Uzan, O., Alçak Gerilim Dağıtım Sistemlerinde Güç Kalitesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara,2013,176 s. (Yüksek Lisans Tezi).
25. Bhattacharyya S., Cobben S., Consequences of Poor Power Quality – An Overview, Intechopen.com, 1-24.
26. European Copper Institute and Copper Development Association: Introduction Power Quality Self-assessment Guide. Mayıs 2002, 11 s.
27. EPRI Solutions Power Quality Knowledge-Based Services program: Pq Encyclopedia What is the power quality?., 38 s.

28. Widlund, E., Power Quality Disturbances in Production Facilities. Chalmers University of Technology, Department of Energy & Environment Division of Electric Power Engineering, Göteborg, 2012, 91 s. (Yüksek Lisans Tezi)
29. EPRI Solutions Power Quality Knowledge-Based Services program: Pq Encyclopedia The Economics of Power Quality., 21 sayfa
30. Dugan, Roger C., McGranaghan, Mark F., Santoso, Surya & Beaty, H. Wayne Electrical Power Systems Quality. (2nd Edition), McGraw-Hill, 2003, 525 s.
31. Kennedy B., Power Quality Primer, McGraw-Hill, U.S.,2000, 384 s.
32. Rogers, B., IEEE 1159-1995. Recommended Practice For Monitoring Electric Power Quality. 2005, New York, An Overview of Power Quality Issues.
33. Baghini A., Handbook of Power Quality John Wiley & Sons Ltd., 2008, Bergamo, İtalya, 2008, 613 s.
34. British Columbia Hydro and Power Authority: ES55 Design Standard Rapid-Voltage-Changes R.0, 12 s.
35. GE Grid Solutions: Protection Basics: Introduction to Symmetrical Components, 2 s.
36. Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, Sayı:27052, 12 Kasım 2008.
37. Sankaran C. Power Quality, Crc Press, Florida, 2002,202 s.
38. Yılmaz, M. Elektrik Sistem Tasarımında Harmoniklerin Giderilmesi İçin Bir Analiz, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2006, 98 s. (Yüksek Lisans Tezi).

39. Acarkan, B., Kılıç, O., İnan, A., Alçak Gerilimde Tek Fazlı Yükler için Harmonik Akım Sınırları, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı ELECO‘ 2004, 8-12 Aralık ,2004,Bursa.
40. Kusko, A., Thompson M. T., Power Quality in Electrical Systems, McGraw-Hill, Amerika Birleşik Devletleri, 2007, 215 s.
41. Cirprotec Technical Article No.8: Power Frequency Overvoltage EN50550 standard,10 s.
42. European Copper Institute and Copper Development Association: Standard EN 50160 -Voltage Characteristics in Public Distribution Systems. Mayıs 2004,16 s.
43. Oktay, T. D., Elektrik Güç Sistemlerindeki Geçici Olayların Dalgacık Analizi ve Olasılıksal Sinir Ağları Yöntemiyle Sınıflandırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2007, 75 s. (Yüksek Lisans Tezi).
44. Mokhtari , H. , Iravani, M. R. , Dewan , S. B., Benchmark Systems for Digital Computer Simulation of a Static Transfer Switch. IEEE Power Engineering Review. 2001, Volume: 21, Issue: 7, 69 – 69.
45. NI CompactDAQ USB Data Acquisition Systems datasheet ds-178.
46. NI 9242 Datasheet 3 AI/1 Neutral, 250 Vrms L-N/400 Vrms L-L, 24 Bit, 50 kS/s/ch Simultaneous.
47. OPERATING INSTRUCTIONS AND SPECIFICATIONS NI 9227 4-Channel, 5 Arms, 24-Bit, Simultaneous, Channel-to-Channel Isolated Analog Input Module.
48. Mutlu, A., Taşkın, S., Kuyucuoğlu, F., Elektrik Enerji Sistemlerinde Güç Kalitesi Parametrelerine Dayalı Anahtarlama Sistemi ile Otomatik Şebeke Seçimi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2016, 4, 826-83.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Alper MUTLU
Doğum Yeri ve Yılı : Gaziantep, 1981
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce (İyi)
E-posta : alper.mutlu@cbu.edu.tr

Telefon Numaraları

İş: 0 (236) 314.55.08 / 157

Akademik Unvanları (Üniversitesi, Fakültesi ve Tarihi)

Lisans: Niğde Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2004.

Mesleki Deneyim

Polinas Plastik Sanayii A.Ş.	2006-2010
Vestel Buzdolabı Fabrikası	2010
Türk Telekom A.Ş.	2010-2014

Yayınları

Mutlu, A. , Taşkın, S. , Kuyucuoğlu, F. Elektrik Enerji Sistemlerinde Güç Kalitesi Parametrelerine Dayalı Anahtarlama Sistemi ile Otomatik Şebeke Seçimi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2016, 4, 826-836.