

**ESKİŞEHİR KENT MERKEZİNDE GÜÇ KALİTESİ OLAYLARININ
GERÇEK ZAMANDA İZLENMESİ VE ANALİZİ**

Hacı Kadir AYKUT

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2008

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No:060234**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Hacı Kadir AYKUT' un “Eskişehir Kent Merkezinde Güç Kalitesi Olaylarının Gerçek Zamanda İzlenmesi ve Analizi ” başlıklı **Elektrik-Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 10.07.2008 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Doç. Dr. DOĞAN GÖKHAN ECE
Üye :	Yard. Doç. Dr. MEHMET KURBAN
Üye :	Yard. Doç. Dr. SERDAR TUNABOYLU

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
.....tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ESKİŞEHİR KENT MERKEZİNDE GÜÇ KALİTESİ OLAYLARININ GERÇEK ZAMANDA İZLENMESİ VE ANALİZİ

Hacı Kadir AYKUT

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Doğan Gökhan ECE

2008, 68 sayfa

Bu çalışmanın konusu Eskişehir İli kent merkezinde bulunan yeraltı besleme hatlarından toplanan verilerle güç kalitesi bozucu olaylarının gerçek zamanda izlenmesi ve analizidir. Çalışmanın gerçekleştirilmesi amacıyla Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu ve Eskişehir ili Osmangazi EDAŞ Eskişehir İl Müdürlüğü tarafından ortak olarak yürütülen **060234** numaralı proje kapsamında Eskişehir'in kent merkezinin bir bölümüne hizmet veren beş adet 6.3 kV' luk elektrik enerjisi yer altı besleme hatlarına ION 7650 veri toplama ve analiz cihazları tesis edilmiştir. Cihazların tesisinin gerçekleştirildiği 17 Temmuz 2007 tarihinden bu yana elde edilen besleme sisteminde oluşan ve standartların belirlediği değerler dışında kalan gerilim yükselmeleri ve düşmeleri, akımın ve gerilimin harmonikleri, meydana gelen geçici (transient) olaylar, güç faktörünün değişimi ve kırpışma (flicker) olayları belirlenmiştir. Tespit edilen güç kalitesi bozucularıyla ilgili veriler, güç kalitesi konusundaki ulusal olarak da kabul edilmiş olan standartlar çerçevesinde analiz edilerek değerlendirilmiş ve bu bozucuların etkilerinin en aza indirilmeleri, ayrıca besleme sistemine olan kötü etkilerinin giderilmesi için öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güç Kalitesi, Harmonikler, Kırpışma, Gerilim Bozulması, ITIC Eğrisi.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

REAL-TIME POWER QUALITY EVENT MONITORING AND ANALYSIS IN DOWNTOWN ESKISEHIR

Hacı Kadir AYKUT

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Electrical and Electronics Engineering Program**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Doğan Gökhan ECE

2008, 68 pages

In this work, power quality event analysis is performed using the data, acquired in real-time, from underground feeder lines supplying downtown Eskisehir. This work is accomplished by the combined efforts of Anadolu University Research Fund Commission (project number is 060234) and Osmangazi Electric Distribution Co. that supplies electrical energy to the area of Eskisehir. Five ION 7650 data acquisition and analysis device were installed to five different 6.3 kV underground feeder lines supplying to the part of Eskisehir downtown area. Voltage sags and voltage swells, current and voltage harmonics, transient events, displacement power factor and flickers occurring in the acquired feeder system and not involved in the values determined by the standards have been obtained since July 17, 2007 when the devices were installed. The data on the detected power quality distortions acquired since July 17, 2007 is analysed using nationally and internationally known standarts and the analysis results are presented. Suggestions are made to reduce the undesirable effects of the monitored and acquired power quality events.

Keywords: Power Quality, Harmonics, Flicker, Voltage Distortion, ITIC Curve.

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aşamasında bana her türlü desteği veren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Doğan Gökhan ECE' ye, tezin temelini oluşturan ölçümlerin yapıldığı Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş. Eskişehir İl Müdürlüğünün İl Müdürü Elektrik Mühendisi Sayın Nurettin ÇETİN' e, İl Müdür Yardımcısı (teknik) Elektrik Mühendisi Sayın Bilal GÜLER' e, İl Müdür Yardımcısı (idari-mali) Sayın Nail HOŞ' a ve tezin hazırlanmasında katkıda bulunan İl Müdürlüğündeki çalışma arkadaşlarıma, her zaman yanımda olup moralimi hep yüksek tutmamı sağlayan sevgili eşime ve bana hem maddi hem manevi destek veren anneme, babama ve Aykutlar Tekstil Yöneticilerine teşekkür ederim.

Hacı Kadir AYKUT

Ağustos 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Daha Önce Yapılmış Olan Çalışmalar	2
2. HARMONİKLER	13
2.1. Ölçüm Yapılan Sistem	13
2.2. Harmoniklerin Tanımı	14
2.3. Harmoniklerin Oluşumu	15
2.4. Harmoniklerle İlgili Tanımlar	16
2.4.1. Temel frekans	16
2.4.2. Temel bileşen	17
2.4.3. Harmonik frekans	17
2.4.4. Harmonik bileşen	17
2.4.5. Ara harmonik frekans	17
2.4.6. Ara harmonik bileşen	17
2.4.7. Toplam harmonik bozulma (THB)	18
2.4.8. Tekil harmonik bozulma (HB)	18
2.5. Harmonik Standartları (TS EN 50160)	18
2.6. Transformatör K-Faktörü	20
2.7. Harmoniklerin Meydan Getirdikleri Etkiler	22
2.8. Gerçek Zamanda Yapılan Harmonik Ölçümleri	22
3. KISA SÜRELİ GERİLİM DEĞİŞİMLERİ	30
3.1. Kısa Süreli Gerilim Düşmesi (Sag)	30
3.1.1. Gerçek zamanda belirlenen gerilim düşmeleri	30

3.2. Kısa Süreli Gerilim Yükselmesi (Swell)	36
3.2.1. Gerçek zamanda belirlenen gerilim yükselmeleri	36
3.3. Geçici Olaylar	40
3.3.1. Darbe biçimindeki geçici olay (İmpulse Transient)	42
3.3.2. Salınım biçimindeki geçici olay (Oscillatory Transient)	42
3.3.3. Gerçek zamanda tespit edilen geçici olaylar (Transient)	43
3.4. ITIC Eğrisi	45
3.4.1. Gerçek Zamanda Tespit Edilen ITIC Eğrileri	46
4. GERİLİM DALGALANMALARI VE KIRPIŞMA	48
4.1. Kırpışma	48
4.1.1. Kırpışma etkileri	49
4.2. Kısa Süreli Kırpışma Göstergesi, Pst	49
4.3. Uzun Süreli Kırpışma Göstergesi, Plt	49
4.4. Gerilim Dalgalanmaları ve Kırpışma	50
4.4.1. Kısa süreli kırpışma değerinin değerlendirilmesi, Pst	51
4.4.1.1. $P_{st}=1$ eğrisinin kullanılması	52
4.5. Gerçek Zamanda Tespit Edilen Kırpışma Örnekleri (Flicker)	52
5. GERÇEK ZAMANDA YÜK-GERİLİM DEĞİŞİMİNE İLİŞKİN TESPİTLER	58
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Ölçüm yapılan sistemin tek hat şeması	13
2.2. Nonsinüsoidal akım için temel bileşen ve harmonik bileşeni	15
2.3. 16/09/2007 08:41:47.130 AM zamanında olan TB olayı sırasındaki frekans şekilleri	24
2.4. 23/09/2007 08:50:54.362 AM zamanında olan TB olayı sırasındaki frekans şekilleri	24
2.5. 07/10/2007 07:41:39.466 AM zamanında olan TB olayı sırasındaki frekans şekilleri	25
2.6. 16/09/2007 08:41:47.130 AM zamanında TB olayı anında V1 geriliminin dalga şekli	25
2.7. 16/09/2007 08:41:47.130 AM zamanında TB olayı anında I1 akımının dalga şekli	26
2.8. 16/09/2007 08:41:47.130 AM zamanında TB olayı anında I2 akımının dalga şekli	26
2.9. 16/09/2007 08:41:47.130 AM zamanında TB olayı anında I3 akımının dalga şekli	27
2.10. 07/10/2007 tarihinde V1 Gerilimindeki THB değerlerinin değişimi	28
2.11. 07/10/2007 tarihinde I1 akımındaki THB değerlerinin değişimi	28
2.12. 07/10/2007 tarihinde I1 K-Faktörünün değişimi	29
3.1. 19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim düşmesi V1 gerilimi değişimi	31
3.2. 19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim düşmesi V2 gerilimi değişimi	32
3.3. 19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim düşmesi V3 gerilimi değişimi	32
3.4. 19/01/2008 tarihinde k.s.gerilim düşmesi V1, V2, V3 gerilimleri değişimi	32
3.5. 19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim düşmesi I1 akımı değişimi	33

3.6.	19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim düşmesi I2 akımı değişimi	33
3.7.	19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim düşmesi I3 akımı değişimi	33
3.8.	19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim düşmesi I1, I2, I3 akımları değişimi	34
3.9.	19/07/2007 ile 23/02/2008 tarihleri arasında V1 geriliminde gerçekleşen k.s.gerilim düşmelerinin (dips) değişimi (% olarak)	34
3.10.	19/07/2007 ile 23/02/2008 tarihleri arasında V2 geriliminde gerçekleşen k.s.gerilim düşmelerinin (dips) değişimi (% olarak)	35
3.11.	19/07/2007 ile 23/02/2008 tarihleri arasında V3 geriliminde gerçekleşen k.s.gerilim düşmelerinin (dips) değişimi (% olarak)	35
3.12.	22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim yükselmesi V1 gerilimi değişimi	37
3.13.	22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim yükselmesi I1 akımı değişimi	37
3.14.	22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim yükselmesi V2 gerilimi değişimi	38
3.15.	22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim yükselmesi I2 akımı değişimi	38
3.16.	22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim yükselmesi V3 gerilimi değişimi	38
3.17.	22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim yükselmesi I3 akımı değişimi	39
3.18.	22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim yükselmesi V1, V2, V3 gerilimi değişimi	39
3.19.	22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim yükselmesi I1, I2, I3 akımı değişimi	39
3.20.	Şebeke geriliminde gözüken geçici hal (transient) gerilim dalga şekli	41
3.21.	Yıldırımından kaynaklanan geçici darbe akımı	42
3.22.	Kondansatör gruplarının devreye alınıp çıkarılması sırasında geçici akımların neden olduğu salınımlar	43

3.23. 21.09.2007 tarihinde besleme hattında meydana gelen geçici bir olayda V1 geriliminin dalga şekli (transient)	44
3.24. 21.09.2007 tarihinde besleme hattında meydana gelen geçici bir olayda V2 geriliminin dalga şekli (transient)	44
3.25. 21.09.2007 tarihinde besleme hattında meydana gelen geçici bir olayda V3 geriliminin dalga şekli (transient)	44
3.26. 21.09.2007 tarihinde besleme hattında meydana gelen geçici bir olayda V1, V2 ve V3 gerilimlerinin dalga şekli (transient)	45
3.27. 21.09.2007 tarihinde besleme hattında meydana gelen geçici bir olayda I1, I2 ve I3 akımlarının dalga şekli	45
3.28. 18.07.2007 ile 11.05.2008 tarihleri arasında OG 1 besleme hattına ait ITIC eğrisi	47
3.29. 18.07.2007 ile 11.05.2008 tarihleri arasında OG 5 besleme hattına ait ITIC eğrisi	47
4.1. Ark ocağının neden olduğu gerilim dalgalanması	49
4.2. Kırpışma - Düşük gerilimli güç besleme sistemlerindeki dikdörtgen biçimli gerilim değişimleri için eşit şiddet eğrisi ($P_{st} = 1$)	51
4.3. 21.02.2008 tarihinde besleme hattında V1 geriliminin kırpışma (Pst ve Plt) değerlerinin değişimi	53
4.4. 21.02.2008 tarihinde besleme hattında V2 geriliminin kırpışma (Pst ve Plt) değerlerinin değişimi	53
4.5. 21.02.2008 tarihinde besleme hattında V3 geriliminin kırpışma (Pst ve Plt) değerlerinin değişimi	54
4.6. 21.02.2008 tarihinde 06:47:52 zamanında besleme hattında V1 geriliminin değişimi	54
4.7. 21.02.2008 tarihinde 06:47:52 zamanında besleme hattında I1 akımının değişimi	55
4.8. 21.02.2008 tarihinde 06:47:52 zamanında besleme hattında V2 geriliminin değişimi	55
4.9. 21.02.2008 tarihinde 06:47:52 zamanında besleme hattında I2 akımının değişimi	56

4.10.	21.02.2008 tarihinde 06:47:52 zamanında besleme hattında V3 geriliminin değişimi	56
4.11.	21.02.2008 tarihinde 06:47:52 zamanında besleme hattında I3 akımının değişimi	57
5.1.	05.03.2008 tarihinde besleme hattında V1 geriliminin değişimi	58
5.2.	05.03.2008 tarihinde besleme hattında Y¼k (kW) değişimi	59
5.3.	05.03.2008 tarihinde besleme hattında Y¼k (kVAR) değişimi	59
5.4.	05.03.2008 tarihinde besleme hattında Y¼k (kVA) değişimi	60
5.5.	09.06.2008 ile 15.06.2008 tarihleri arasında bir haftalık OG2 besleme hattında Reaktif Y¼k (kVAR) değişimi	61
5.6.	14.06.2008 05:02:50 zamanında g¼¼ fakt¼r¼n¼n (PF) kapasitif olduğu durumda OG2 besleme hattında akımın dalga şekli	62
5.7.	09.06.2008 ile 15.06.2008 tarihleri arasında bir haftalık OG3 besleme hattında Reaktif Y¼k (kVAR) değişimi	62
5.8.	14.06.2008 05:03:22 zamanında g¼¼ fakt¼r¼n¼n (PF) kapasitif olduğu durumda OG3 besleme hattında akımın dalga şekli	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1. Düşük gerilim şebekelerindeki münferit harmonik gerilimler için uyumluluk seviyeleri (temel bileşenin k.o.k. değerinin yüzdesi olarak k.o.k. değerleri)	20
2.2. 16/09/2007 08:00:00.000 AM zamanındaki THB değerleri	22
2.3. 23/09/2007 08:00:00.000 AM zamanındaki THB değerleri	23
2.4. 07/10/2007 08:00:00.000 AM zamanındaki THB değerleri	23
4.1. Değerlendirme Metotları	51

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ITIC	: Information Technology Industry Council
MV	: Medium Voltage (Orta Gerilim)
LV	: Low Voltage (Düşük Gerilim)
CBEMA	: Computer ve Business Equipment Manufacturers' Association
THD	: Total Harmonic Distortion
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	: International Electrotechnical Commission
TR1, TR2	: 6,3/0,4 KV İndirici Transformatör
OG1-OG2	: Besleme hattı adı
DY	: Transformatör üçgen-yıldız bağlantı şekli
UL	: Underwriters Laboratories

1.GİRİŞ

İdeal bir alternatif akım güç sistemi düşünüldüğünde, gerilimin ve akımın tam bir sinüs şeklinde değişim gösterdiği öngörülür. Buna karşın gerçek hayatta ortaya çıkan güç kalitesi bozucuları nedeniyle, şebeke ve tüketici yüklerini olumsuz yönde etkileyen ve tam bir sinüs olmayan akım ve gerilim dalga şekillerinin gözlemlendikleri bilinmektedir.

Elektrik enerjisi besleme sisteminde oluşan güç kalitesi bozucuları, özellikle düzenlenmiş enerji piyasaları düşünüldüğünde, hem elektrik iletim ve dağıtım şirketlerini hem de tüketicileri önemli ölçüde ilgilendirmektedir. Gün geçtikçe güç kalitesi problemlerinde meydana gelen artış konuyu popüler hale getirmiştir. Bu olumsuz etkilerin sağlıklı olarak belirlenmesi ve meydana gelen problemlerin çözümüyle ilgili yapılan özellikle uluslararası çalışmalar konunun önemini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında, Eskişehir' in kent merkezinin bir bölümüne hizmet veren beş adet 6.3 kV' luk elektrik enerjisi yer altı besleme hatlarına ION 7650 veri toplama ve analiz cihazları tesis edilmiştir. Besleme sisteminde oluşan ve standartların belirlediği değerler dışında kalan gerilim yükselmeleri ve düşmeleri, akımın ve gerilimin harmonikleri, meydana gelen geçici (transient) olaylar, güç faktörünün değişimi ve kırpışma (flicker) olayları ION 7650 cihazlarıyla belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarının elektrik besleme sistemlerinin ileriye yönelik olarak yapılacak alt yapı planlama faaliyetlerine bir örnek oluşturması beklenmektedir.

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, harmoniklerden ve harmonik standartlarından bahsedilmiştir. Ayrıca gerçek zamanda standartların aşıldığı harmoniklere ilişkin örnek şekillere yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, kısa süreli gerilim düşmelerinden (sag), kısa süreli gerilim yükselmelerinden (swell) ve geçici olaylardan bahsedilmiştir. Gerçek zamanda tespit edilen kısa süreli gerilim değişimlerine ilişkin örnek şekillere yer verilmiştir. Ayrıca güç kalitesi ve ITIC eğrisinden bahsedilmiş, konuyla ilgili standartlara yer verilmiştir. Ölçüm sonuçları şekil olarak gösterilmiştir. Dördüncü bölümde, gerilim dalgalanması ve kırpışmadan bahsedilmiştir. Kırpışmaya ilişkin standartlara ve standartların aşıldığı durumlara ilişkin örnek şekillere yer verilmiştir. Beşinci bölümde, gerçek

zamanda yük-gerilim değişiminden bahsedilmiştir. Konuya ilişkin örnek şekiller verilmiştir. Altıncı ve son bölümde, çalışmaya ilişkin sonuç ve önerilerden söz edilmiştir.

Daha Önce Yapılmış Olan Çalışmalar

Güç kalitesi indeksleri dağıtılan gücün kalitesini ölçmek için kullanılır ve güç şebekelerindeki farklı bozuklukların olumsuz etkilerini karşılaştırmak için temel teşkil eder. Yaygın kullanımda bazı güç kalitesi indekslerini uygulamada karşılaşılan sınırlamaları veya yetersizlikleri ortadan kaldırmak için, üç yeni indeks önerilmektedir. Bunlar temel frekans sapma oranı (FDR), dalga şekli bozulma oranı (WDR) ve simetrik bileşenlerde sapma oranıdır (SDR). Bunlarla farklı güç bozukluğu türlerini kapsamlı bir şekilde ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu yeni indeksler güç bozukluklarında zamana bağlı olarak görülen değişmeleri ortaya koymaktadır. Bu nedenle, yeni güç kalitesi indeksleri zamana bağlı olarak değişlik gösteren güç bozukluklarından kaynaklanan güç şebekelerindeki dalga şekli bozukluklarına yöneliktir. Böylece bu indeksler uygulamada güç kalitesi azaltım ekipmanının hem etkinliğini hem de dinamik tepkilerini değerlendirmek için kullanılabilir. Yeni güç kalitesi indekslerinin sağladığı avantajları tam olarak anlayabilmek için, yeni bir Atom temelli zaman-sıklık transformu ve bunun tekrarlanan (recursive) algoritması da destekleyici bir ölçme tekniği olarak önerilmektedir. Yeni Atom yaklaşımı durağan olmayan bir bozukluk dalga şeklindeki anlık frekansları ve sinyal bileşenlerinin genliğini doğru bir şekilde sürekli olarak ölçer ve yeni güç kalitesi indekslerini her bir örnek için günceller. Yeni güç kalitesi indekslerinin ve destekleyici ölçme tekniğinin etkinliği çeşitli güç kalitesi olayları kullanılarak saptanır.

Güç kalitesi indekslerinin ve ilgili ölçme tekniklerinin uygulanmasında karşılaşılan sınırlamalar ve yetersizlikleri ortadan kaldırmak için, hem bir dizi yeni güç kalitesi indeksi hem de yeni bir destekleyici ölçme tekniği önerilmektedir. Yeni TFA (zaman sıklık atom yaklaşımı) temelli zaman-sıklık transformu, durağan olmayan bir bozukluk dalga şeklindeki anlık frekansları ve sinyal bileşenlerinin genliğini tekrarlanan (recursive) algoritma yoluyla doğru bir şekilde ve sürekli olarak ölçülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu tekrarlanan

(recursive) özellik sayısal yükü büyük ölçüde azaltır ve böylece yeni TFA yaklaşımı gerçek zaman uygulaması için tavsiye edilmektedir. Anlık frekansların ve temel bileşen genliklerinin ve bozulmuş bir dalga şeklindeki simetrik bileşenlerin kesin bir şekilde ölçülmesi üzerine kurulu üç yeni güç kalitesi indeksi zamana bağlı olarak değişiklik gösteren güç kalitesini değerlendirmek amacıyla her bir örnek için güncellenmektedir. Bu değerlendirme karmaşık bozuk bileşimleri ve zamana bağlı olarak değişiklik gösteren özellikler içeren güç kalitesi olayları açısından kapsamlıdır ve oldukça etkilidir. Pratik ve kullanışlı bir uygulama örneği olarak, bu indeksler hem telafi kapasitesi hem de güç kalitesi azaltım ekipmanının dinamik tepkisini değerlendirmek amacıyla kullanılabilir. Yeni güç kalitesi indeksleri ve yeni TFA yaklaşımının etkinliği çeşitli güç kalitesi olayları kullanılarak tespit edilmiştir. Araştırmanın bir sonraki adımı olarak, kesinti veya sapma gibi spesifik güç bozukluklarının müşteriler üzerindeki etkisi yerine bir güç kalitesi olayının genel etkisini yansıtmak amacıyla bu indekslerde ekipmanın farklı bozukluklara karşı hassasiyeti göz önünde bulundurulacaktır [1].

Elektrik dağıtım şirketleri uzun yıllardır sürekli kesinti endekslerini dağıtım sistemleri yoluyla sundukları hizmetin güvenilirliğinin bir göstergesi olarak kullanmaktadır. Ne var ki, bugün pek çok elektrik tüketicisi harmonik bozulma ve sık gerçekleşen gerilim düşüşlerinden olumsuz bir şekilde etkilenmektedir. Son kullanıcı ekipmanında hassasiyetin artmasına cevap olarak, pek çok tesis hizmet kalitesi seviyesini değerlendirmek amacıyla kapsamlı izleme sistemleri kullanmaktadır. Bu izleme sistemleri hizmet kalitesi verilerini içeren kapsamlı bir veritabanı sağlamaktadır. Ölçülen harmonik bozulma seviyelerine ilişkin olarak sistem hizmet kalitesini sayısallaştırmak amacıyla geliştirilen endeksler ele alınmaktadır. Endekslere ilişkin örnek kıyaslama verileri ulusal dağıtım gücü kalitesine ilişkin veri toplama projesinden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanmaktadır.

Güç dağıtım sistemlerinde gerçekleşen harmonik bozulma büyüklüğünü değerlendirmek amacıyla tüm dünyada çeşitli tesisler ve araştırma grupları tarafından kullanılan yöntemler ele alınmaktadır. Örnek teknik, gerilim veya akım dalga biçimlerinin düzenli örneklemeinden oluşmaktadır. Ölçümler harmonik bozulma istatistiklerini belirlemek için ihtiyaç duyulan hesaplamaların gerçekleştirildiği merkezi bir veritabanına aktarılır. Açıklanan örnekleme

tekniklerinin kullanılabilir tek teknik olmadığını da belirtmek gerekir. Bozulmayı değerlendirmek amacıyla gittikçe artan sayıda tesis tarafından kullanılan üç temel endeks (CP95(STHD95): Sistem Toplam Harmonik Bozulma, SATHD: Sistem Ortalaması Toplam Harmonik Bozulma, SAETHDRI Sistem Ortalaması Aşırı Toplam Harmonik Bozulma) ele alınmaktadır. Bu tesisler güç kalitesi seviyelerini değerlendirmek amacıyla gerilim regülasyonu, faz dengesizliği, tek harmonik bozulma, akım toplam talep bozulması, gerilim sapma oranı ve şiddeti ve geçici aşırı gerilim oranı ve şiddetine ilişkin endeksleri dahil olmak üzere diğer endeksleri de kullanmaktadır. Tüm sisteme ait endeks verilerini hesaplamak amacıyla, güç kalitesi ölçümleri durum tahmin teknikleri ile birleştirilebilir. Bunun yanı sıra, son dönemde ABD genelinde gerçekleştirilen 24 tesis izleme çalışmasına ilişkin kıyaslama verileri de ele alınmaktadır. Proje neticesinde elde edilen sonuçlar harmonik bozulmaya ilişkin günlük ve dönemsel modelleri ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra, bu sonuçlar harmonik bozulma seviyelerinde hafif bir yükselme olduğunu göstermiştir [2].

Güç kalitesini ölçmede yaygın olarak kullanılan birkaç indeks bulunmaktadır. Bu indeksler zamana ve sıklığa bağlı karmaşık dalga şekli olaylarını bir rakama dönüştürmek için uygundur. Buna karşın, yaygın olarak karşılaşılan çeşitli durumlarda uyum sağlanamamaktadır: (örn. yarı periyodik ve periyodik olmayan sinyal bileşenleri, güç sıklığının tam sayı olmayan katları). Bunun yanı sıra, güç kabul edilebilirlik eğrileri de güç kalitesini ölçmede kullanılmaktadır ve bu eğriler güç kalitesi sorunlarını üç fazlı bir şekilde detaylandırmamaktadır. Güç kalitesi indekslerinde karşılaşılan sorunlar tartışılmakta ve bu sorunları çözmeye yönelik önerilerde bulunmaktadır.

Neticede güç kalitesi indeksinde pek çok mühendislik indeksinde görülen bir sorunun yaşandığı sonucuna varılmıştır: Bilgi özetlenmektedir ve bilginin yanlış kullanılması ve yanlış yorumlanması söz konusu olmaktadır. En yaygın güç kalitesi indeksi olan THD tanımı, bir sinyalin enerji miktarının (diğer bir deyişle, RMS değeri) Parseval teoremi kullanılarak hesaplanması yoluyla periyodik olmayan bir duruma genişletilebilir. Yük akımının RMS değerinin hesaplanabilir ve ölçülebilir olduğu durumlarda, periyodik olmayan durum için güç faktörünü tanımlamak da mümkündür. Sinüzoidal olmayan modülasyon sinyaline ilişkin kırışma faktörünün tanımlanması ile ilgili olarak potansiyel bir sorun

belirlenmiştir. Güç faktörü sorunları tartışılmıştır ve DF (Displacement Power Factor) ve PF (güç faktörü) arasındaki farklar belirlenmiştir. Periyodik yükler için güç faktörünün kullanımına ilişkin uyarılar gösterilmiştir. Güç kabul edilebilirlik eğrilerinin desteklenmesi amacıyla bozuklukların enerji miktarı üzerine kurulu bir model önerilmiştir. Çoklu bozukluk durumunda, bu model toplanma kullanımına kadar genişletilebilir. Güç kabul edilebilirlik eğrilerinin üç fazlı durum olarak genişletilmesi de önerilmiştir [3].

Süreksiz veya olay tipi güç kalitesi bozuklukları genel olarak kısa süreli gerilim düşmeleri (sags), kısa süreli gerilim yükselmeleri (swells) ve geçici gerilimlerim değişimlerini (transients) içerir. Kapsamlı bir literatür araştırmasında, bu bozuklukların tanımlanmasına yönelik genel kabul görmüş bir yöntemin bulunmadığı ve uluslararası standartlarda uygun sınırların henüz bulunmadığı öne sürülmüştür. Bu alanda bir tanımlama yönteminin bulunmama sebeplerinden bir tanesi olarak her bir süreksiz bozukluk tipi için uygun site indeksini tanımlamanın zor olması gösterilebilir. Mevcut tanımlama yöntemleri incelenmiş ve tartışılmıştır. Bunun ardından, kısa süreli gerilim düşmeleri (sags), kısa süreli gerilim yükselmeleri (swells) ve geçici gerilimlerin değişimlerini (transients) daha iyi bir şekilde göstermek amacıyla yeni bir genelleştirilmiş yaklaşım ortaya konmuştur. Bunu takiben, genel elektrik şebekeleri için MV/LV dağıtımına ilişkin süreksiz bozukluk sınırlarını tanımlamaya yönelik yeni bir yöntem önerilmiştir ve bunların uygunluğu Avustralya'daki bazı sitelerde yapılan incelemeler ile ortaya konmuştur.

Mevcut süreksiz bozukluk tanımlama yöntemleri incelenmiş ve tartışılmıştır. Süreksiz bozuklukları tanımlamak amacıyla temel olarak DSI (Disturbance Severity İndicator)' nin müşteri şikâyet oranına oranı üzerine kurulu yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Müşteri şikâyet rakamlarının temsili dağılımına doğrudan mevcut ölçümler yoluyla ulaşılamamıştır ve gelecekte daha fazla veri elde edilene kadar CBEMA ve ITIC eğrilerinin ölçekli versiyonları hipotez olarak kullanılmaktadır. Denizaşırı araştırma verileri temelinde bozukluk sınırları belirlemek amacıyla yeni bir yöntem önerilmektedir ve bu sınırlar örnek bir uygulama çerçevesinde Avustralya koşullarında uygulanmıştır [4].

Güvenilirlik indeksleri elektrik güç sistemlerinde görülen sürekli bozuklukların etkilerini ölçmek amacıyla uzun yıllardır kullanılmaktadır. Gerilim

performansının temsil edilmesi ve raporlanmasına ilişkin kriterler geliştirilmeye devam edilmektedir. Uygun bir gerilim çökmesi indeksi farklı yerlerde karşılaşılan sistem performansının gösterilmesinde faydalı olabilir. Gerilim çökmesi bozukluk seviyelerinin ölçülmesine yönelik bulanık mantık teknikleri uygulaması yapılmıştır. Gerilim büyüklüğü ve çöküntü süresi önerilen sistemin girdileridir. Çıktı nispi (birbirine göre (olan), önceki duruma göre) gerilim çöküntüsü şiddetini gösteren bir indekstir. Önerilen çerçeve gerilim çöküntülerinin ölçülmesinde şebeke savunmazlığını, ekipman hassasiyetini ve belirsizlikleri göz önünde bulundurmaktadır ve dolayısıyla hem tesis hem de müşteriler için anlamlı veriler sağlamaktadır. Çıkarım süresinde yer alan bulanık set üyeliği fonksiyonları ve çıkarım kuralları açıklanmaktadır ve analitik sonuçları göstermek amacıyla alan verileri kullanılmaktadır. Önerilen yöntem kullanılarak, site performans göstergeleri kaydedilen tüm olaylara ait tek olay indekslerinden elde edilebilir. Önerilen yöntem hizmet performansının değerlendirilmesine yeni bir analitik bakış getirir.

Gerilim çöküntüsü yönetimi tesis arızası performansları, arızanın sistemdeki dağıtım üzerindeki etkisi ve müşterinin hizmet kalitesi gerekliliklerine dayanmaktadır. Farklı bakış açılarından görüşlerin göz önünde bulundurulduğu yöntem, nispi gerilim çöküntüsü bozukluk seviyesini gösteren bir indeks oluşturmaya yönelik esnek bir yaklaşım önermektedir. Çeşitli uluslararası standartlardan farklı gerilim çöküntüsü pencereleri, tabloları ve eğrileri kullanılarak, girdi ve çıktı değişkenleri üyelik fonksiyonları ve çıkarım kuralları tanımlanmış ve test edilmiştir. Önerilen bulanık indeks ele alınan sorunda yer alan belirsizlikleri açık bir şekilde göstermektedir. Analitik sonuçlar önerilen yaklaşımın gerilim performansının karşılaştırılması için esnek bir yol sağladığını göstermektedir. Çerçeve sistem bozukluklarının değerlendirilmesine yeni bir bakış getirmiştir ve hizmet performansı değerlendirmesi için kriterler oluşturulmasında kullanılabilir [5].

Elektrik güç sistemlerindeki geçici bozukluklara ilişkin makul bir güç kalitesi değerlendirmesi gerçekleştirmek amacıyla, bir sinyal işleme tekniği ve zaman-sıklık analizi üzerine kurulu yeni bir geçici güç kalitesi indeksi geliştirilmiştir. Geçici bir bozukluğun zaman-sıklık dağıtımını temelinde, zaman-sıklık üzerine kurulu bir dizi güç kalitesi indeksi geliştirilmiştir. Geçici güç

kalitesinin değerlendirilmesi için ani bozukluk enerji oranı, normalize ani bozukluk enerji oranı, ani frekans ve ani K faktörü önerilmektedir. Zaman-sıklık üzerine kurulu güç kalitesi indeksi, geçici bozuklukların etkilerinin doğru bir şekilde ve yüksek çözünürlüklü olarak ölçülmesine olanak sağlar. Geçici bozukluk sinyallerine ilişkin güç kalitesi değerlendirmesi zaman-sıklık analizi ile dikkatli bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bozukluk sinyalinin periyodik olmasını gerektiren geleneksel Fourier serisi katsayısı üzerine kurulu güç kalitesi indeksinde görülen sınırlamalar zaman-sıklık analizi kullanılarak ortadan kaldırılmıştır. Zaman-sıklık dağıtımının zaman ve sıklık lokalizasyonu kullanılarak, takip eden zaman-sıklık üzerine kurulu güç kalitesi indeksleri önerilmektedir: ani bozukluk enerji oranı, normalize ani bozukluk enerji oranı, ani frekans ve ani K faktörü. İlk iki güç kalitesi indeksi bozukluğu enerji açısından tanımlarken, diğer iki güç kalitesi indeksi bozukluğu frekans sapması açısından tanımlamaktadır. Bunun yanı sıra, zaman-sıklık üzerine kurulu güç kalitesi indekslerinin uygulanması, alt geçici ve periyodik bozuklukların değerlendirilmesi ve tespit edilmesinde de kullanılabilir. Zaman-sıklık üzerine güç kalitesi indekslerinin uygunluğu gerçek dağıtım örnekleri kullanılarak ortaya konmuştur. Ele alınan zaman-sıklık üzerine kurulu güç kalitesi indeksleri, klasik güç kalitesi indekslerinin geliştirilmesi olarak yorumlanabilir. Fourier serisi üzerine kurulu güç kalitesi indeksleri, THD için hem teorik hem de rakamsal olarak gösterilen, zaman çözünürlüğü olmayan periyodik bir vakaya ilişkin zaman-sıklık üzerine kurulu güç kalitesi indeksleridir. Geliştirilen zaman-sıklık üzerine kurulu geçici güç kalitesi indekslerinin yanı sıra, zaman-sıklık dağıtımının uygun süreleri hesaplanarak başka geçici güç kalitesi indeksleri de geliştirilebilir. Ele alınan zaman-sıklık üzerine kurulu geçici güç kalitesi indeksleri, güç sistemlerinde görülen geçici bozuklukların değerlendirilmesi ve ölçülmesine ilişkin sorunların çözüme kavuşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Önerilen güç kalitesi indeksleri bozukluk gelişimi değerlendirmesinde de kullanılabilir. Bu konu güç sistemlerine ilişkin gelecek araştırmalara konu olabilir [6].

CBEMA kabul edilebilirlik eğrisi ile başlayarak, güç kalitesini ölçmek için bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem her bir müşteriye ait gerilim değeri için kabul edilebilir süre karşılıklarının (reciprocal) kullanılması üzerine kuruludur.

Herhangi bir şebeke hattındaki gerilim büyüklüğünün yük eğrisine bağlı olarak değişiklik göstermesinden ötürü, yukarıda bahsedilen gerilim kalitesi indeksinin günlük ortalama değeri kalite değerlendirmesi için faydalanılabilir bir rakam ortaya koyacaktır. Bu analiz, gerilim ceza fonksiyonu olarak belirtilen gerilim kalitesi indeksinin analitik ifadesinin çıkartılmasıyla başlar. Bunun ardından, bu indeksin şebekeye bağlılığının yanı sıra yük parametrelerinin bağlılığı için de ilişkiler gösterilir. Yük faktörüne, yük gücü faktörüne, zirve değerine ve güç şebekesinin kısa devre seviyesine özellikle dikkat edilmektedir. Paralel kompanzasyonun (ve seviyesinin) gerilim kalitesi üzerindeki etkisi hem daimi olarak bağlı olan kondansatörler hem de yalnızca belirli bir süre için bağlı olan kondansatörler için ele alınmaktadır. İkinci durum söz konusu olduğunda, kondansatörün bağlı olduğu zaman diliminin etkisi gösterilmiştir. Kompanzasyon seviyesi, uygulama zamanı ve süresi ele alınan üç parametredir ve bunlar için detaylı bir hassasiyet analizi ve düşük gerilim günlük ortalama cezası için optimizasyonu uygulanmaktadır. Dağıtım şebekesindeki tekrar etmeyen olaylar için önerilen prosedürün uygulanabilirliği konusu da ele alınmıştır.

1) Gerilim kalitesinin önemine değinilmiştir. Çalışmada ayrıca CBEMA eğrisi üzerine kurulu teknikler gibi bu değerlendirme için kullanılan tekniklere ilişkin genel bilgi verilmiştir.

2) Çalışmada kabul edilebilir T/V eşiklerini başka bir $(I/T)/V$ eğrisi ile ilişkilendiren CBEMA eğrilerinin haritasının çıkartılması önerilmektedir. Burada V birim başına gerilim ve T bunun için kabul edilebilir süre anlamına gelmektedir. I/T miktarı bu gerilime denk ceza olarak gösterilmektedir.

3) Sunulan yöntem gün boyunca belirli bir senaryoya göre daimi olarak bağlı olan kondansatörlerin yanı sıra açık ve kapalı olan kondansatörler için de geçerli olabilir. Hem kompanze edilen hem de edilmeyen sistemler için, ortalama ceza fonksiyonu yük faktörü F_{LD} ile neredeyse doğrusal olarak yükselmektedir. Kompanze edilmeyen vakada yükselme oranı daha düşüktür.

4) En düşük günlük ortalama ceza fonksiyonu p değerine ve dolayısıyla yük terminallerinde en iyi gerilim kalitesine sahip optimal kompanzasyon seviyesinin görüldüğü durumlar belirlenebilir.

5) 0,75'lik bir yük faktörü için, tam kompanzasyonlu ortalama ceza fonksiyonu paralel kondansatörün açık olma zamanındaki değişikliklere karşı

hassas olmadığı, ancak bağlanma süresi ile neredeyse doğrusal olarak düştüğü görülmüştür. Buna karşın, yukarıda bahsedilen sonuçlar yük faktörüne F_{LD} karşı hassasiyet göstermektedir.

6) Sistem parametreleri değerlerinin en azından bazı dizilerinde, birim başına reaktif güç kompanzasyonu k , bağlı olma zamanı t_o ve bağlantı süresinin D optimal kombinasyonu bulunabilmektedir.

7) Dağıtım şebekesindeki tekrar etmeyen olaylar için önerilen yöntemin uygulanabilirliği gösterilmiştir [7].

Büyük iletim sistemlerindeki gerilim çöküntülerinin izlenmesine yönelik bir sayaç yerleştirme yöntemi sunulmaktadır. Güç kalitesi sayaçlarının yerini belirlemek amacıyla bir tam sayılı programlama üzerine kurulu bir modelleme önerilmektedir. Optimizasyon sorununu çözüme kavuşturabilmek için, dal-sınır algoritması kullanılmaktadır. Yöntemi onaylamak amacıyla, geniş bir iletim şebekesi kullanılmaktadır. Taklit izleme sonuçları elde etmek amacıyla, test şebekesine stokastik (rastlantı ile olan, rastlantıya bağlı) gerilim çöküntüsü değerlendirmesi uygulanmaktadır. Gerilim çöküntüleri sistem indeksleri optimizasyon yöntemine uygun olarak tasarlanan izleme programları ile hesaplanmaktadır. Tam bir izleme programından elde edilen sistem indeksleri ile yapılan karşılaştırmalar yöntemin uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada, iletim sistemlerinde görülen gerilim çöküntülerinin tanımlanmasına yönelik optimal izleme programı sorunu incelenmiştir. Sayaçlardaki minimum rakamların ve bunların şebekedeki pozisyonlarının bulunmasını sağlayan bir tam sayılı doğrusal optimizasyon sorunu oluşturulmuştur. Bu oluşum sistemdeki arızalar süresince yük hatlarındaki artık gerilime ilişkin bir matris ifadesi üzerine kuruludur. Tüm izleme alanlarını uygun şekilde açıklamak amacıyla bir ikili matris MRA (monitor reach area) kullanılmıştır. Metodolojiyi test etmek amacıyla 87 hattan oluşan bir iletim sistemi modellenmiştir. Ortaya çıkan 87 ikili değişken optimizasyon sorununu çözüme kavuşturmak için bir BB (branch and bound) tipi algoritma kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, çözüm alanı ortaya koymak amacıyla bir GA (genetic algorithm) uygulanmıştır. Optimal izleme programları kullanılarak sistem indeksleri hesaplanmıştır. Optimizasyon metodolojisinin sistem indekslerine ilişkin faydalı bilgiler sağladığı ortaya konmuştur. Minimum monitör sayısı makul doğruluk

çerçevesinde şebekenin ortalama performansının belirlenmesini sağlamaktadır. Önerilen metodolojinin sınırlı sayıda güç kalitesi sayacı ile birlikte çöküntüler açısından iletim sistemlerinin gerçek performansının belirlenmesini sağlayabileceği düşünülmektedir [8].

Güç kalitesi monitörleri yoluyla siteden elde edilen alan verileri üzerine kurulu bir sitedeki güç kalitesi seviyesini gösterecek bir performans indeksinin geliştirilmesinde karşılaşılan sorunlar incelenmektedir. Bu indeks için gözlemlenen her bir voltaj değişkeni sitenin hizmet sunduğu müşterileri etkileme potansiyeline ilişkin olarak değerlendirilmektedir. Çalışmada trafo seviyesinde güç kalitesi izleme uygulaması ele alınmıştır ve 1564 sayılı IEEE rehberinde önerilen yöntemlerden birisine benzeyen bir yöntem kabul edilmiştir.

Voltaj değişkenlerinin izlendiği bir alana ilişkin site indeksinin oluşturulmasında karşılaşılan sorunlar gösterilmektedir. Bu konuda karşılaşılan en büyük sorun indeksin hesaplanması için ihtiyaç duyulan bilginin elde edilmesi amacıyla güç kalitesinin izlenmesi neticesinde ulaşılan verilerin filtrelenmesidir. Çalışmada güç kalitesinin izlenmesinin bilgi işlem uygulamasını kolaylaştırdığı, ancak temel filtrelemenin manüel olarak gerçekleştirilmesi gerektiği gösterilmektedir. Bunun yanı sıra, çalışma çok fazlı olayların tanımlanmasının da bir sorun teşkil ettiğini ve bilgi işlemi asgari seviyeye düşüren basit bir yaklaşımın site indeks hesaplamaları için yeterli olduğunu da göstermektedir. Buna ek olarak, 1564 sayılı IEEE rehberinde önerilen site indekslerinin, belirli bir amaca yönelik indekslerin oluşturulmasına iyi bir temel teşkil ettiğini ortaya koymaktadır. Kabul edilen indeksin hesaplanmasında yaşanan sorun ise (izlenen sitelerin kıyaslanması), sitede söz konusu olan olaydan etkilenen müşterilerin sayısını tahmin etmektir [9].

Tek bir sitenin veya tüm sistemin performansını değerlendirmek amacıyla güç kalitesi indeksleri geliştirilmiştir. Bu indeksler tesislere sistemlerini iyileştirme konusunda rehberlik edebilir ve imalatçılar tarafından ekipman bağışıklığı konusunda karar vermek amacıyla kullanılabilir. Çalışma gerilim sapması indekslerinin tahmin edilmesi yoluyla dağıtım şebekelerinin gerilim sapması performansını tahmin etmeyi amaçlayan ortak bir çalışmanın üçüncü bölümünü oluşturmaktadır. Çalışmada iki tür indeks analiz edilmiştir. Bu indekslerde sırasıyla ortalama olay sayısı ve değerlendirme dönemi süresince

düşük gerilim seviyesinde sunulan her bir kilovolt amperdeki ortalama bozulma süresi gösterilmektedir. Bunların değerleri zamana bağlı bir simülasyon aracı kullanılarak yapılan bir stokastik tahmin neticesinde elde edilmiştir. Bu indeksleri elde etmek için kullanılan metodoloji ve koruyucu cihazların etki analizi çalışmanın katkı sağladığı temel alanlardır. Çalışmada görülen sınırlamalar da ele alınmıştır.

Gerilim sapma indekslerinin hesaplanması amacıyla, dağıtım şebekelerindeki gerilim sapsmalarının stokastik tahminine ilişkin yöntemin uygulanması ele alınmıştır. Yöntemden çıkartılan sonuçlar her bir müşteri tarafından yaşanan ortalama olay sayısı ve değerlendirme dönemi süresince düşük gerilim seviyesinde sunulan her bir kilovolt amperdeki ortalama bozulma süresini elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Çalışmada yer alan sonuçlar sistem topolojisinin, koruma sisteminin tasarımının ve ekipmanın savunmasızlığının bu indeksler üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Çalışma neticesinde elde edilen temel sonuçların tesisler ve imalatçılar için faydalı olmasına rağmen, bunlar dikkate alınabilecek çalışmaların küçük bir örneğidir. Bu çalışmada kullanılan sistem modeline koruyucu cihazlar (örn. tekrar kapamalı kesici ve otomatik yük ayırıcı) eklenebilir ve cihaz modellerine daha fazla özellik kazandırılabilir. Bunun yanı sıra, simülasyonlarda ve takip eden hesaplamalarda kullanılan yük modeli, enerjiye dayalı indeksler oluşturulurken özellikle önem kazanan bazı sınırlamalara sahiptir: indeks hesaplamaları yük varyasyonunu açıklamalı ve ekipman savunmasızlığı gerilim sapsmalarının daha kapsamlı bir şekilde tanımlanmasının etkilerini içermelidir. Sonuç olarak, gelecek çalışmalarda arıza durumunda diğer güç bileşenlerinin veya koruyucu cihazların başarısızlığı da göz önünde bulundurulmalıdır [10].

IEC 61000-3-7 kapsamında yer alan bir kavram üzerine kurulu bir zaman birimindeki gerilim sapsmalarından kaynaklanan ekipman bozukluklarının sayısını tahmin etmeye yönelik bir yöntem sunulmaktadır. Önerilen yöntem, bozukluğun şiddetini ve ekipmanların gerilim sapsmalarına karşı hassasiyetini göstermek amacıyla, bulanık çıkarım motorundan elde edilen sistem bozukluğu ve ekipman bağışıklığı indekslerinin olasılıklı dağıtımları kullanılmaktadır. Bu yöntem ekipman bozukluklarının tahmininde hizmet performansının stokastik davranışını göz önünde bulundurmaktadır. Bunun yanı sıra, önerilen çerçeve gerilim sapsması

enerji indeksi ve gerilim sapması şiddeti indeksi gibi diğer güç kalitesi indeksleri benimsendiğinde de uygulanabilmektedir. Bu çerçeve gerilim sapması koordinasyonu ve mali analizin gerçekleştirilmesi için de bir alternatif olarak kullanılabilir.

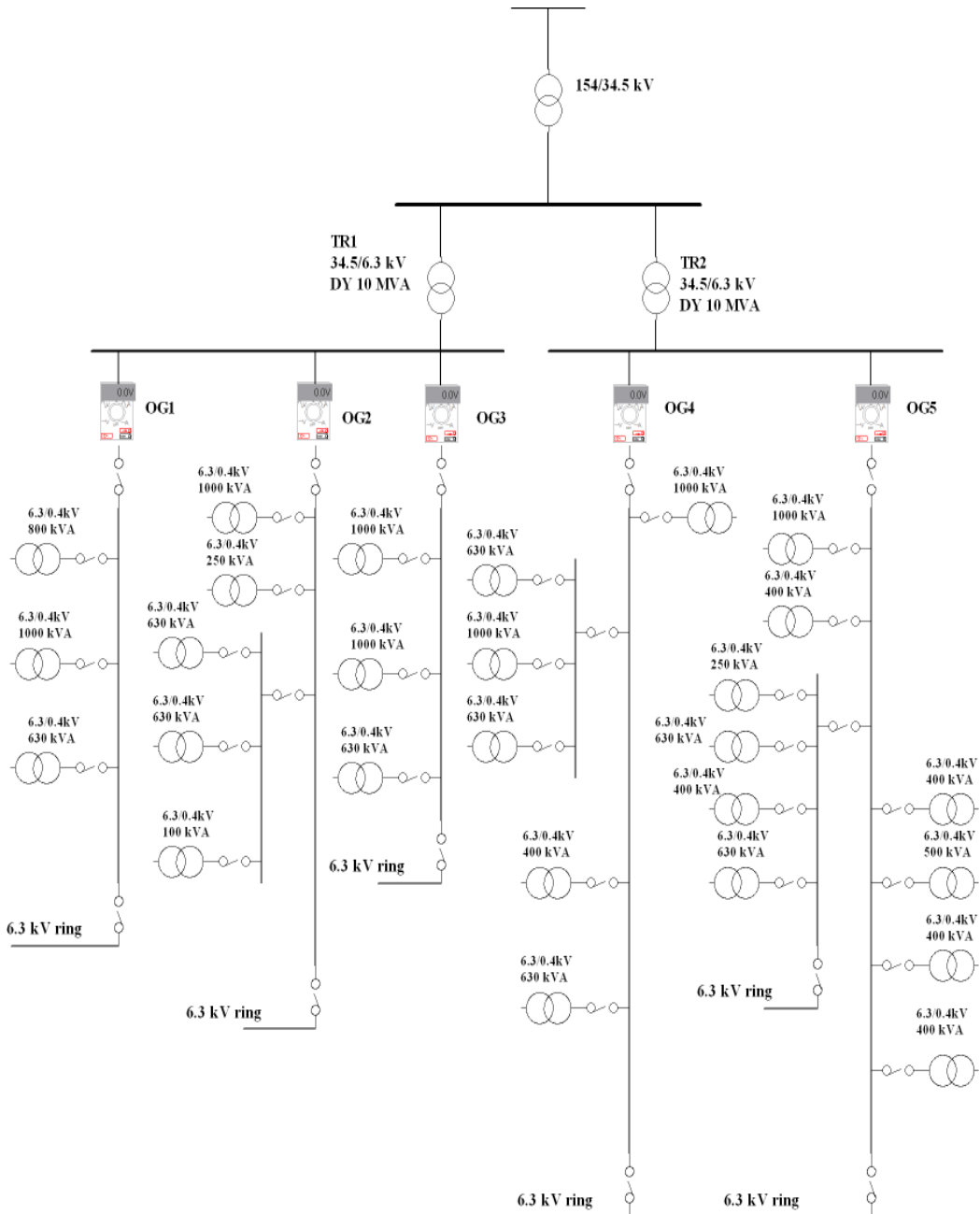
Bir zaman biriminde bir enerji verilmesi hizmetindeki ekipman bozukluklarının sayısını tahmin etmeye yönelik yeni bir çerçeve sunulmaktadır. Bulanık indekslerin kullanılmasıyla, sistem bozukluklarının ve ekipman hassasiyetinin stokastik dağıtımını elde edilir ve bozuklukların sayısı tahmin edilebilir. Önerilen çerçeve üzerinde çalışılan sistem ve ekipman niteliklerini daha iyi temsil etmesi halinde tek bir olaya ilişkin indeksler üzerine de kurulu olabilir. Sunulan metodolojinin gerilim sapması ortamı ve ekipman hassasiyetini ölçmek amacıyla bir planlama aracı olarak kullanılması amaçlanmaktadır ve bu metodoloji ekipmanın bir elektrik güç sistemi ile uygunluğuna ilişkin mali bir analiz gerçekleştirilmesinde de kullanılabilir [11].

Bu çalışmaya kaynak olabilecek literatürdeki çalışmaların tamamı güç kalitesi endeksleri ve ölçme yöntemleri üzerinedir. Oysa bu çalışmanın konusu gerçek sistemlerden toplanan verilerle güç kalitesi bozucu olaylarının gerçek zamanda izlenmesi ve analizidir. Bu çalışmanın yapılabilmesi için Eskişehir' in kent merkezinin bir bölümüne hizmet veren beş adet 6.3 kV' luk elektrik enerjisi yer altı besleme hatlarına ION 7650 veri toplama ve analiz cihazları tesis edilmiştir. Cihazların tesisinin gerçekleştirildiği 17 Temmuz 2007 tarihinden bu yana elde edilen güç kalitesi bozucularıyla ilgili veriler, güç kalitesi konusundaki ulusal olarak da kabul edilmiş olan standartlar çerçevesinde analiz edilerek değerlendirilmiş ve bu bozucuların etkilerinin en aza indirilmeleri, ayrıca besleme sistemine bağlı yüklere olan kötü etkilerinin giderilmesi için öneriler sunulmuştur.

2. HARMONİKLER

2.1. Ölçüm Yapılan Sistem

Eskişehir kent merkezine elektrik enerjisi sağlayan besleme hatlarından beş adedine tesis edilen ION 7650 veri toplama ve analiz cihazlarının izledikleri 6.3 kV luk hatlardan beslenen tüm dağıtım transformatörleri ve bunların anma güçleriyle beraber ölçüm yapılan sistemin tek hat şeması Şekil 2.1' de verilmiştir.



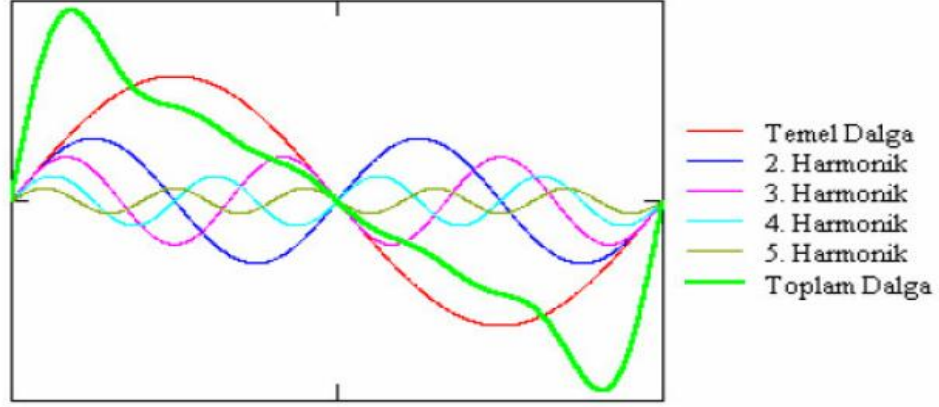
Şekil 2.1. Ölçüm yapılan sistemin tek hat şeması.

Tek hat şemasında, ölçülen besleme hatları OG1 – OG5 olarak gösterilmiştir. Enterkonnekte sistemden havai hatlarla 154 kV da taşınan enerji TEİAŞ'a ait indirme merkezinde 34.5 kV değerine indirilerek yer altı hatlarından ölçümlerin yapıldığı merkeze iletilmektedir. Burada, tek hat şemasında da görüldüğü gibi iki adet TR1 ve TR2 olarak adlandırılan her biri 10 MVA gücünde, DY bağlı transformatörlerle dağıtım gerilimi 6.3 kV değerine indirilmektedir. TR1 transformatörü 31.913 V – 37.088 V arasında 7 kademeye ve TR2 transformatörüye 32.775 V – 36.225 V arasında 5 kademeye sahiptir. Bu merkezden çıkan yer altı besleme hatları kent merkezinde konuşlandırılmış olan tümü 6.3/0.4 kV luk ve DY bağlı çeşitli güçlerdeki dağıtım transformatörlerini beslemektedirler. Kent merkezindeki besleme hatları ring sistem olarak tesis edilmişlerdir ve arızalar yada enerji kesilmeleri durumunda dağıtım transformatörleri ring sistemindeki diğer hatlardan beslenebilmektedirler. Eskişehir kent merkezi yapılaşma karakteri göz önüne alındığında konut ve iş yerlerinin bir arada bulunduğu bir yapıdadır. Dolayısıyla hemen tüm besleme hatlarında hem gece hem de gündüz belirgin bir yük mevcuttur. Bununla beraber, OG2 ve OG3 besleme hatlarının üzerindeki yükler tümüyle işyerlerini kapsamakta ve bu yapılarıyla gece ile gündüz arasında çok farklı bir yük eğrisine sahiptirler. Bu durum, burada yapılan çalışma kapsamında daha ileride de açıklandığı gibi özellikle statik güç faktörü kompanzasyonunun yapılması durumunda ortaya çıkan istenmeyen etkilerin gerçek zamanda izlenebilmesine olanak vermiştir.

2.2. Harmoniklerin Tanımı

Elektrik enerjisi besleme sistemlerinde ideal olarak geriliminin ve çekilen akımın sinüs biçiminde olması istenir. Ancak, uygulanan gerilimin tam bir sinüs olmasına rağmen güç elektroniği düzenleri, ark fırınları, deşarj lambaları gibi yüklerin çektikleri akım doğrusal olmayıp şekli de tam bir sinüs değildir. Bu akımlar, gerilimin dalga şekline besleme sistemi empedansı ile orantılı olarak etki ederler. Bu durumda gerilim dalga şeklinde de bozulmalar oluşur. Sinüsoidal özelliğini kaybeden, ama zamana göre periyodik olarak tekrarlanan akım veya gerilimin dalga şekli Fourier Serisi yardımıyla temel frekans 50 Hz'in katları frekanslardaki sinüsoidal dalgaların toplamı olarak ifade edilir.

Şekil 2.2' de gösterildiği gibi harmonikler, kısaca akım veya gerilimin, temel frekansın (50 Hz) tam katı frekanslı (150 Hz, 250 Hz, 350 Hz,) bileşenleri olarak tanımlanabilir [12].



Şekil 2.2. Nonsinüsoidal akım için temel bileşen ve harmonik bileşeni.

2.3. Harmoniklerin Oluşumu

Bir güç sisteminde ideal olarak akım ve gerilim dalga şekillerinin sinüsoidal biçimde olması istenir. Akım ve gerilim sinüsoidal biçimli ise sadece temel bileşen vardır, harmonikler bulunmaz.

Sinüsoidal akımın ani değeri,

$$i(t) = \sqrt{2} I_1 \sin(\omega t + \phi_1)$$

olarak ifade edilir. Bu eşitlikte I_1 temel bileşen akımının efektif değeri ve ϕ_1 temel bileşen akımının faz açısıdır.

Şebekede yük akımının harmonik içerip içermemesi uygulanan gerilimin sinüsoidal olup olmamasına ve yükün akım-gerilim karakteristiğine bağlıdır. Eğer yükün akım-gerilim karakteristiği lineer ise bu tip yüklere lineer yük adı verilir. Lineer yüke sinüsoidal gerilim uygulanırsa yükten geçen akım sinüsoidal olur ve harmonik içermez. Akım ve gerilimin dalga şekli sinüsoidal biçimde değil ise bu durumda harmonikler ortaya çıkar. Harmonik bileşenleri içeren, sinüsoidal olmayan fonksiyonlar Fourier serisi yardımıyla farklı frekanslı sinüsoidal fonksiyonların toplamı biçiminde ifade edilebilir. Bu durumda fonksiyon dc bileşen, temel bileşen ve frekansları temel bileşen frekansının tam katları olan

harmonik bileşenlerinin toplamından oluşmaktadır. Nonsinüsoidal akım Fourier serisi ile

$$i(t) = I_0 + \sqrt{2} \cdot I_1 \cdot \sin(\omega t + \phi_1) + \sqrt{2} \cdot I_2 \cdot \sin(2\omega t + \phi_2) + \sqrt{2} \cdot I_3 \cdot \sin(3\omega t + \phi_3) + \dots$$

biçiminde ifade edilebilir. Burada ω açısal frekans ($\omega=2\pi f$ olup, f temel bileşen frekansıdır), n en yüksek harmonik mertebesi, I_0 akımın doğru bileşeni, I_n harmonik mertebesi olmak üzere ($n=1,2,\dots,n$) I_n ve ϕ_n sırasıyla n 'inci harmonik akım bileşeninin efektif değeri ve faz açısıdır.

Sinüsoidal şebeke gerilimi altında non-sinüsoidal dalga formundaki akımların ortaya çıkması ve akımlar sebebiyle şebekede harmoniklerin oluşması yüklerin akım-gerilim karakteristiklerine bağlıdır.

Yükün akım-gerilim karakteristiği lineer değil ise bu yüke non-lineer yük denir. Non-lineer yüke sinüsoidal gerilim uygulansa bile akım non-sinüsoidal olur ve harmonik bileşenleri içerir. Şebekede harmoniklerin kaynağı non-lineer yüklerdir. Non-lineer yükler olarak güç elektroniği devreleri (doğrultucular, inverterler, dimmer devreleri, motor sürücü devreleri vb.), ark fırınları, gaz deşarj lambaları vb. gösterilebilir.

Şebekedeki harmonik üreten nonlineer yüklerin harmonikli akım çekmesi sebebiyle kaynak çıkışında sinüsoidal olan gerilimin dalga şekli nonlineer yük barasında bozularak harmonikli hale gelir. Bara geriliminin harmonikli olması sebebiyle aynı baraya bağlı lineer yükler de bu durumdan etkilenir ve harmonikli akım çekerler. Harmonik üreten nonlineer yükün baraya enjekte ettiği harmonik akımları sebebiyle diğer lineer yüklerde kondansatör hasarları, elektronik kart arızaları, nedeni anlaşılamayan şalter veya kesici açmaları, koruma ve kontrol sistemlerinde hatalı çalışmalar vb. olumsuz etkiler ortaya çıkar. Bu sorunlar barayı kirleten nonlineer yükün filtre edilmesi ile çözülebilir [12].

2.4. Harmoniklerle İlgili Tanımlar

2.4.1. Temel frekans

Bir zaman fonksiyonunun Fourier dönüşümünden elde edilen spektrumda, spektrumun tüm frekanslarının atıf yapıldığı frekans. Bu standardın amaçları bakımından, temel frekans, güç kaynağı frekansıyla aynıdır (50 Hz) [13].

2.4.2. Temel bileşen

Frekansı, temel frekansa eşit olan bileşen [13].

2.4.3. Harmonik frekans

Temel frekansın tam sayı katı olan frekans. Harmonik frekansın temel frekansa oranı, harmonik derecesi olarak adlandırılır (önerilen gösterim şekli “h”dir) [13].

2.4.4. Harmonik bileşen

Harmonik frekansa sahip bileşenlerin herhangi biri. Değeri, normalde bir k.o.k. değeri olarak ifade edilir. Kısa olması açısından, bu gibi bir bileşen, basitçe harmonik olarak adlandırılabilir [13].

2.4.5. Ara harmonik frekans

Temel frekansın tam sayı katı olmayan herhangi bir frekans. Harmonik derecesi artırıldığında, ara harmonik derece, ara harmonik frekansın temel frekansa oranıdır. Bu oran, tam sayı değildir (Önerilen gösterim şekli, “m” dir). $m < 1$ olduğu durumda, alt harmonik frekans terimi de kullanılabilir [13].

2.4.6. Ara harmonik bileşen

Ara harmonik frekansa sahip bileşen. Değeri, normalde, k.o.k. değeri olarak ifade edilir. Kısaca, bu gibi bir bileşen, basit bir şekilde “ara harmonik” olarak adlandırılır. Bu standardın amacı bakımından ve IEC 61000-4-7’de ifade edildiği gibi, zaman penceresinin genişliği, 10 temel periyot (50 Hz’lik sistemler) veya 12 temel periyottur (60 Hz’lik sistemler) başka bir deyişle, yaklaşık olarak 200 ms’dir. İki ardışık ara harmonik bileşen arasındaki frekans aralığı, bu yüzden, yaklaşık olarak 5 Hz’dir [13].

2.4.7. Toplam harmonik bozulma (THB)

Belirli bir dereceye (önerilen gösterim şekli “h” dir) kadar olan tüm harmonik bileşenlerin toplamının k.o.k. değerinin, temel bileşenin k.o.k. değerine oranı.

$$THB = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_1} \right)^2}$$

Burada:

Q Akımı ya da gerilimi temsil eder,

Q₁ Temel bileşenin k.o.k. değeridir,

h Harmonik derecedir,

Q_h h' inci derecedeki harmonik bileşenin k.o.k. değeridir,

H Genelde 50' ye eşittir ancak daha yüksek derecelerdeki rezonans riski düşük olduğunda 25' e eşittir. Toplam harmonik bozulma, sadece harmonikleri hesaba katar [13].

2.4.8. Tekil harmonik bozulma (HB)

Harmonik standartlarında genellikle her bir harmonik bileşenin temel bileşene göre büyüklükleri de sınırlandırılmaktadır. Bu amaçla gerilim ve akım için HB ile gösterilen tekil harmonik bozulmaları tanımlanmıştır. n' inci harmonik mertebesindeki gerilim ve akım için tekil harmonik bozulmaları sırasıyla,

$$HB_V = \frac{V_n}{V_1} \quad \text{ve} \quad HB_I = \frac{I_n}{I_1} \quad \text{olarak tanımlanır [13].}$$

2.5. Harmonik Standartları (TS EN 50160)

Harmonikler için uyumluluk seviyelerinin tespit edilmesinde, iki durum değerlendirilmelidir. Bunlardan biri, harmonik kaynakların sayısının artmış olmasıdır. Diğeri, sönümlenme elemanı olarak çalışan ve tamamen direnç özelliği gösteren yüklerin (ısıtıcı yüklerin), toplam yüke göre olan oranının azalmasıdır. Bu yüzden, harmonik yayınların kaynakları, etkin sınır değerlerinin altına indirilene kadar, güç besleme sistemlerinde, harmonik seviyelerin yükselmesi mümkündür.

Bu standarda ki uyumluluk seviyelerinin, yarı durağan ya da kararlı durum harmonikler ile ilgili olduğu anlaşılmalıdır ve bu uyumluluk seviyeleri, hem uzun dönemli hem de kısa dönemli etkiler için referans değerler olarak verilir.

Uzun dönemli etkiler, temelde kablolar, trafolar, motorlar, kondansatörler vb. gibi cihazların üzerindeki termal etkilerle ilgilidir. Bu uzun dönemli etkiler, 10 dakikaya eşit ya da 10 dakikadan uzun süren harmonik seviyeler yüzünden ortaya çıkar.

Çok kısa dönemli etkiler, temel olarak 3 saniye ya da daha kısa süren harmonik seviyelere karşı duyarlı olabilen elektronik cihazlar üzerindeki bozma etkileri ile ilgilidir. Geçici rejimler, dâhil edilmemiştir.

Uzun dönemli etkilere referans olarak, gerilimin münferit harmonik bileşenlerine ilişkin uyumluluk seviyeleri, Çizelge 2.1'de verilmiştir. Toplam harmonik bozulma için karşılık gelen uyumluluk seviyesi, THB (toplam harmonik bozulma) = % 8'dir.

Çok kısa dönemli etkiler dikkate alındığında, gerilimin münferit harmonik bileşenleri için uyumluluk seviyeleri, Çizelge 2.1'de verilen değerlerin k faktörü ile çarpılmasını gerektirir, k, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$k = 1,3 + \frac{0,7}{45} \times (h - 5)$$

Toplam harmonik bozulma için karşılık gelen uyumluluk seviyesi, THB=% 11'dir [13].

Çizelge 2.1. Düşük gerilim şebekelerindeki münferit harmonik gerilimler için uyumluluk seviyeleri (temel bileşenin k.o.k. değerinin yüzdesi olarak k.o.k. değerleri)

Üçün katı olmayan tek harmonikler		Üçün katı olan tek harmonikler ^a		Çift harmonikler	
Harmonik derecesi H	Harmonik gerilim %	Harmonik derecesi H	Harmonik gerilim %	Harmonik derecesi h	Harmonik gerilim %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,4	6	0,5
13	3	21	0,3	8	0,5
17 ≤ h ≤ 49	2,27 x (17/h) - 0,27	21 < h ≤ 45	0,2	10 ≤ h ≤ 50	0,25 x (10/h) + 0,25

^{a)} Üçün katı olan tek harmonikler için verilen seviyeler, sıfır ardışık bileşenli harmoniklere uygulanır. Ayrıca, nötr bir iletkeni olmayan ya da fazla toprak arasında hiçbir yük bağlanmamış olan üç-fazlı bir şebekede, 3. ve 9. harmoniklerin değerleri, sistemin dengesizliğine bağlı olarak uyumluluk seviyelerinden çok daha düşük olabilir.

2.6. Transformatör K-Faktörü

Lineer yükleri beslemek üzere imal edilmiş bir transformatörün harmonikli akım çeken bir nonlineer yükü beslemesi halinde harmonikler sebebiyle transformatörün kayıpları artar ve transformatör aşırı ısınır. Sonuç olarak harmonikli yük altında transformatörün emniyetle verebileceği güç değeri harmoniksiz sinüsoidal akımlı yüklenmedeki gücünden daha düşük olmaktadır. Transformatörün K-faktörü harmonikli akımların mevcut olması halinde standart transformatörlerin yüklenme kapasitesindeki azalma miktarlarını hesaplamak için kullanılan bir büyüklüktür. K-Faktörü, anma gerilimi veya anma gücü gibi transformatörler için imalatçısı tarafından belirlenmiş bir anma büyüklüğü olup anma gücü 500 kVA'nın altındaki transformatör için tanımlanmıştır. Nonlineer yükleri besleyen bir transformatör için K-Faktörü,

$$K = \sum_{n=1} \left(n \cdot \frac{I_n}{I_1} \right)^2$$

olarak tanımlanır. Transformatörün efektif akımına göre normlaştırıldığında, K-Faktörü değeri,

$$K = \frac{\sum_{n=1} (n \cdot I_n)^2}{\sum_{n=1} I_n^2} = \frac{\sum_{n=1} (n \cdot I_n)^2}{I^2} = \frac{\sum_{n=1} \left(\frac{n \cdot I_n}{I_1} \right)^2}{\left(\frac{I}{I_1} \right)^2} = \frac{\sum_{n=1} \left(\frac{n \cdot I_n}{I_1} \right)^2}{1 + THD_1^2}$$

şeklini alır. Burada, I, efektif akımı, I_n , n' inci harmonik bileşen akımını belirtmektedir. K-Faktörü için, $K = \sum_{n=1} \left(n \cdot \frac{I_n}{I_1} \right)^2$ formülü daha çok kullanılır.

Standart transformatörün anma değerindeki düşümünün hesaplanmasında, IEEE C57.110-1986'da

$$D = \frac{1,15}{1 + 0,15 \cdot K}$$

eşitliği verilmiştir. Burada D, transformatör gücündeki azalmayı belirtmektedir. Yani, harmonikli bir akımla yüklenen transformatörün verebileceği en büyük güç değeri S_H ,

$$S_H = D \cdot S_N$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada S_N , transformatörün nominal gücüdür. Sinüsoidal akımlar için $K=0$ olur ve $D=1$ 'dir. Harmonikli akım için $D<1$ olur. Bu nedenle sistemde harmonikler var ise K faktörüne bağlı olarak transformatörün verebileceği görünür güç değeri de azalmaktadır.

UL standartları 1561; Kuru Tip Genel Maksat ve Güç Transformatörleri için standart 1562; Kuru Tip 600 Volt üstü dağıtım transformatörleri için, harmonik içeriği %5'ten yüksek olan yüklerde standart transformatör kullanımını sınırlandırmıştır. UL standartlarına göre standart K-faktörü değerleri:1-4-9-13-20-30-40-50' dir [12].

2.7. Harmoniklerin Meydan Getirdikleri Etkiler

Harmoniklerden dolayı gerilim ve akım dalga şekillerinin bozulması elektrik tesislerinde çok çeşitli problemlere yol açmaktadır. Harmonikler nedeniyle oluşan problemler;

- Ek kayıpların oluşması ve geriliminin dalga şeklinin bozulması,
- Generatör ve şebeke geriliminin dalga şeklinin bozulması,
- Kondansatörlerin aşırı akıma maruz kalarak hasar görmeleri,
- Asenkron ve senkron motorlarda gürültülü çalışma ve aşırı ısınma,
- Ölçme, koruma ve kontrol sistemlerinin hatalı çalışması, çalışmaları,
- Rezonans olayları sebebiyle güç sistem elemanlarının aşırı akım veya aşırı gerilime maruz kalmaları vb. gibi özetlenebilir [12].

2.8. Gerçek Zamanda Yapılan Harmonik Ölçümleri

Eskişehir İli kent merkezinde güç kalitesi olaylarının belirlenmesine ilişkin yapılan ölçümlerde, besleme hattına bağlı bulunan analiz cihazı ile THB'nın TS EN 50160 standartlarında müsaade edilen %8 değerinin üzerine çıktığı anlar veri tabanı taranarak tespit edilmiştir. Bu tespitlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.2. 16/09/2007 08:00:00.000 AM zamanındaki THB değerleri.

	timestamp	V1 THD mean	V2 THD mean	V3 THD mean	I1 THD mean	I2 THD mean	I3 THD mean	I1 K Fac mean	I2 K Fac mean	I3 K Fac mean
3675	09/16/2007 09:00:00.000 PM	3.371	3.302	3.352	12.351	12.5	12.157	1.432	1.481	1.421
3676	09/16/2007 08:00:00.000 PM	3.77	3.663	3.768	16.226	16.809	16.106	1.796	1.907	1.801
3677	09/16/2007 07:00:00.000 PM	4.285	4.113	4.224	13.419	13.559	13.269	1.5	1.541	1.488
3678	09/16/2007 06:00:00.000 PM	4.323	4.137	4.277	12.709	12.99	12.811	1.416	1.456	1.419
3679	09/16/2007 05:00:00.000 PM	4.308	4.114	4.277	12.493	12.762	12.164	1.4	1.447	1.38
3680	09/16/2007 04:00:00.000 PM	4.306	4.13	4.269	12.139	11.933	12.215	1.381	1.395	1.383
3681	09/16/2007 03:00:00.000 PM	4.317	4.156	4.284	12.917	12.603	13.027	1.433	1.441	1.439
3682	09/16/2007 02:00:00.000 PM	4.376	4.196	4.323	13.883	13.909	14.242	1.51	1.546	1.535
3683	09/16/2007 01:00:00.000 PM	4.407	4.275	4.317	18.785	18.527	19.031	1.958	2.014	1.989
3684	09/16/2007 12:00:00.000 PM	4.514	4.424	4.454	27.771	29.385	29.688	3.379	3.846	3.752
3685	09/16/2007 11:00:00.000 AM	4.965	4.988	4.914	46.135	50.766	52.913	6.793	8.018	8.233
3686	09/16/2007 10:00:00.000 AM	5.856	5.966	5.803	69.28	69.627	70.858	11.465	12.102	11.991
3687	09/16/2007 09:00:00.000 AM	7.128	7.223	7.025	78.768	80.682	80.701	13.222	14.481	13.986
3688	09/16/2007 08:00:00.000 AM	8.153	8.253	7.98	93.889	97.365	91.25	16.247	17.727	16.141
3689	09/16/2007 07:00:00.000 AM	7.159	7.191	6.982	92.556	90.957	85.797	16.442	16.989	15.327

Çizelge 2.3. 23/09/2007 08:00:00.000 AM zamanındaki THB değerleri.

	timestamp	V1 THD mean	V2 THD mean	V3 THD mean	I1 THD mean	I2 THD mean	I3 THD mean	I1 K Fac mean	I2 K Fac mean	I3 K Fac mean
3505	09/23/2007 11:00:00.000 PM	3.594	3.454	3.534	21.984	23.071	20.999	2.707	3.001	2.636
3506	09/23/2007 10:00:00.000 PM	3.352	3.224	3.35	12.643	13.997	12.985	1.531	1.705	1.578
3507	09/23/2007 09:00:00.000 PM	3.145	2.993	3.14	9.357	10.698	10.031	1.27	1.368	1.312
3508	09/23/2007 08:00:00.000 PM	3.299	3.18	3.282	10.832	12.463	10.773	1.389	1.545	1.403
3509	09/23/2007 07:00:00.000 PM	3.855	3.7	3.781	10.607	11.027	10.591	1.383	1.444	1.389
3510	09/23/2007 06:00:00.000 PM	4.003	3.806	3.947	10.873	11.406	11.624	1.342	1.385	1.379
3511	09/23/2007 05:00:00.000 PM	3.927	3.757	3.922	10.811	11.536	11.636	1.328	1.385	1.364
3512	09/23/2007 04:00:00.000 PM	3.937	3.795	3.955	10.837	11.294	11.689	1.333	1.379	1.372
3513	09/23/2007 03:00:00.000 PM	3.928	3.787	3.937	11.114	11.755	12.054	1.346	1.412	1.398
3514	09/23/2007 02:00:00.000 PM	3.988	3.822	3.905	11.973	12.686	12.544	1.398	1.474	1.437
3515	09/23/2007 01:00:00.000 PM	3.998	3.828	3.919	15.446	15.822	15.597	1.678	1.74	1.687
3516	09/23/2007 12:00:00.000 PM	4.146	4.085	4.056	24.046	26.009	26.082	2.656	3.047	2.979
3517	09/23/2007 11:00:00.000 AM	4.784	4.795	4.678	38.603	40.611	45.451	5.493	5.986	6.869
3518	09/23/2007 10:00:00.000 AM	5.89	6.045	5.863	55.135	55.544	60.147	9.021	9.444	10.12
3519	09/23/2007 09:00:00.000 AM	7.275	7.517	7.328	68.99	70.735	73.852	11.746	12.915	13.048
3520	09/23/2007 08:00:00.000 AM	8.119	8.359	8.144	86.187	88.023	85.436	14.955	16.344	15.267

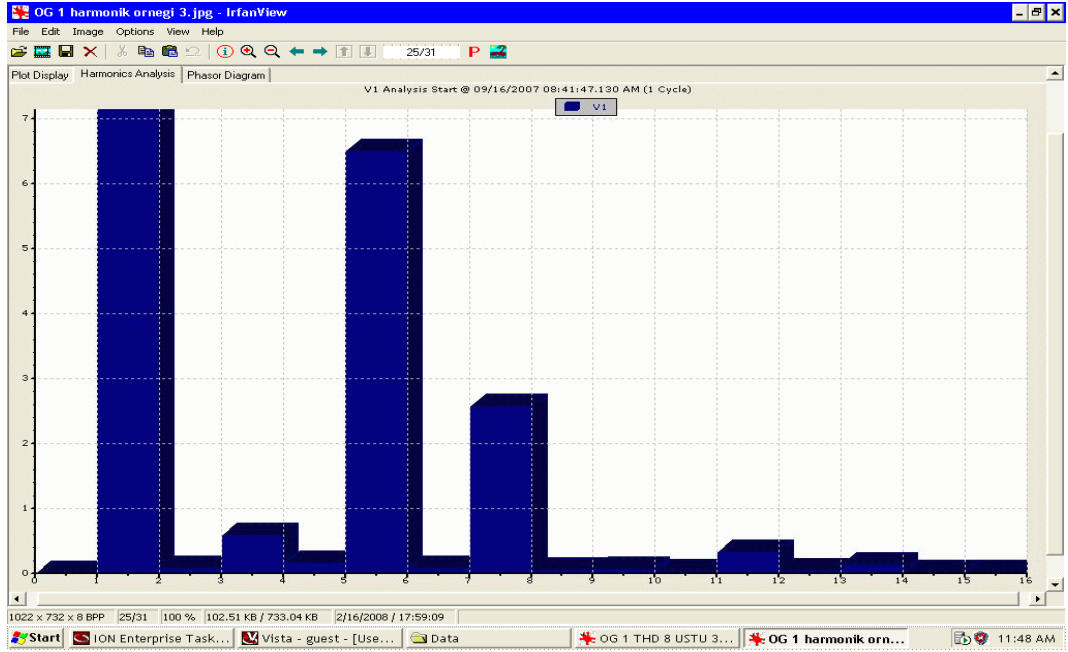
Çizelge 2.4. 07/10/2007 08:00:00.000 AM zamanındaki THB değerleri.

	timestamp	V1 THD mean	V2 THD mean	V3 THD mean	I1 THD mean	I2 THD mean	I3 THD mean	I1 K Fac mean	I2 K Fac mean	I3 K Fac mean
3170	10/07/2007 10:00:00.000 PM	3.181	3.094	3.295	6.302	6.149	6.726	1.11	1.105	1.118
3171	10/07/2007 09:00:00.000 PM	3.035	2.99	3.176	5.487	5.041	5.949	1.083	1.069	1.091
3172	10/07/2007 08:00:00.000 PM	3.073	3.024	3.217	5.371	4.921	5.339	1.084	1.071	1.078
3173	10/07/2007 07:00:00.000 PM	3.345	3.287	3.431	6.307	5.894	5.92	1.113	1.101	1.095
3174	10/07/2007 06:00:00.000 PM	3.601	3.613	3.665	6.095	5.659	5.641	1.107	1.088	1.095
3175	10/07/2007 05:00:00.000 PM	3.582	3.603	3.679	5.818	5.606	5.366	1.098	1.089	1.078
3176	10/07/2007 04:00:00.000 PM	3.535	3.558	3.645	5.527	5.437	5.339	1.092	1.085	1.081
3177	10/07/2007 03:00:00.000 PM	3.582	3.636	3.744	5.969	6.037	6.099	1.105	1.105	1.102
3178	10/07/2007 02:00:00.000 PM	3.448	3.439	3.557	6.268	6.108	6.516	1.116	1.109	1.116
3179	10/07/2007 01:00:00.000 PM	3.435	3.4	3.556	7.885	8.043	8.478	1.179	1.188	1.194
3180	10/07/2007 12:00:00.000 PM	3.456	3.393	3.508	11.356	11.642	11.765	1.386	1.43	1.408
3181	10/07/2007 11:00:00.000 AM	3.61	3.502	3.572	19.056	20.244	19.386	2.145	2.353	2.177
3182	10/07/2007 10:00:00.000 AM	4.877	4.816	4.806	43.018	46.052	44.851	6.867	7.747	7.176
3183	10/07/2007 09:00:00.000 AM	6.81	6.865	6.762	66.743	69.285	70.438	11.595	12.69	12.416
3184	10/07/2007 08:00:00.000 AM	8.387	8.452	8.315	81.038	81.307	79.118	14.374	15.126	14.182

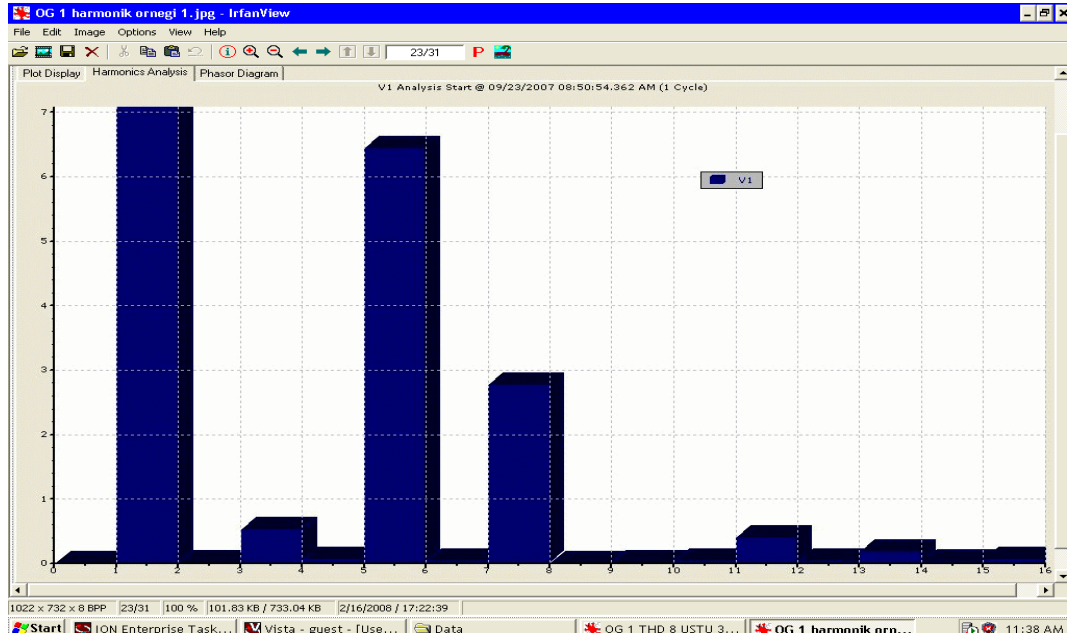
Ölçümler sonucunda ayrıca Tekil Harmonik Bozulmaların (TB) TS EN 50160 standartlarında müsaade edilen sınırların aşıldığı anlar da tespit edilmiştir. Tespit edilen olaylara ilişkin sonuçlardan bazıları o andaki gerilimlerin dalga şekillerine Fast Fourier Dönüşümü uygulanarak aşağıda verilmiştir.

Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5' den de görüldüğü gibi 5'inci harmonik değerleri TS EN 50160 standartları ile sınırlandırılan % 6 değerini aşmıştır. 5'inci harmonik değerlerinin standardın dışına çıktığı durumlarda Toplam Harmonik Bozulmanın da (THB) % 8 standart değerini aştığı görülmüştür.

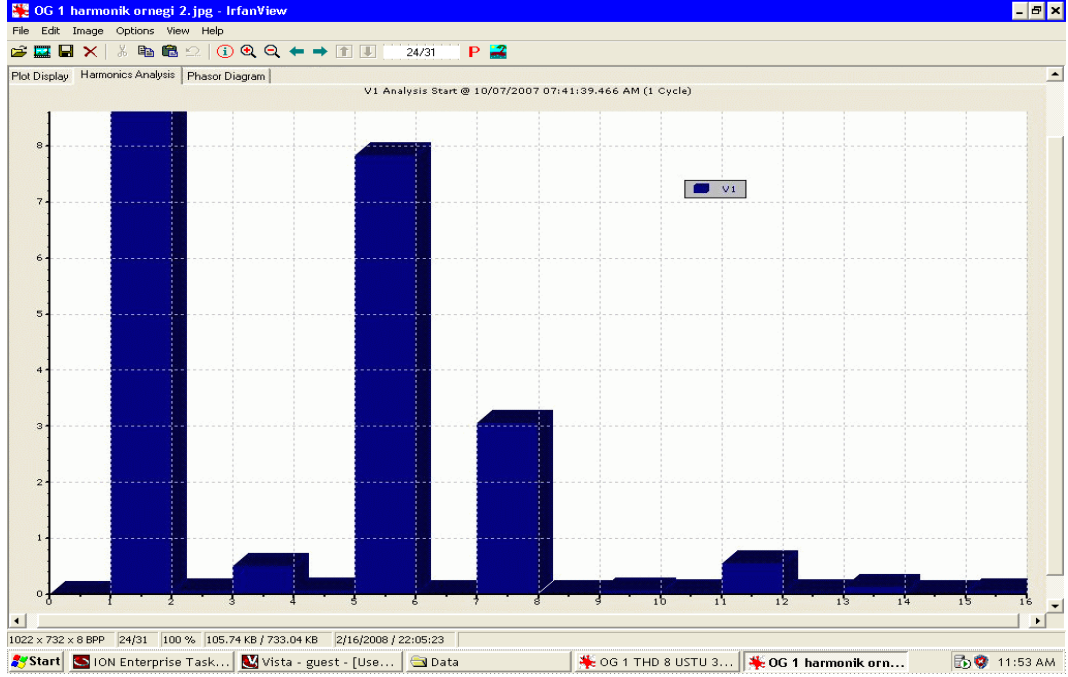
Şekil 2.3'de verilen 16/09/2007 08:41:47.130 AM zamanında olan TB olayında, V1 şebeke geriliminin dalga şekli ile her bir faz akımının dalga şekilleri Şekil 2.6, 2.7, 2.8 ve 2.9' de görüldüğü gibi tespit edilmiştir.



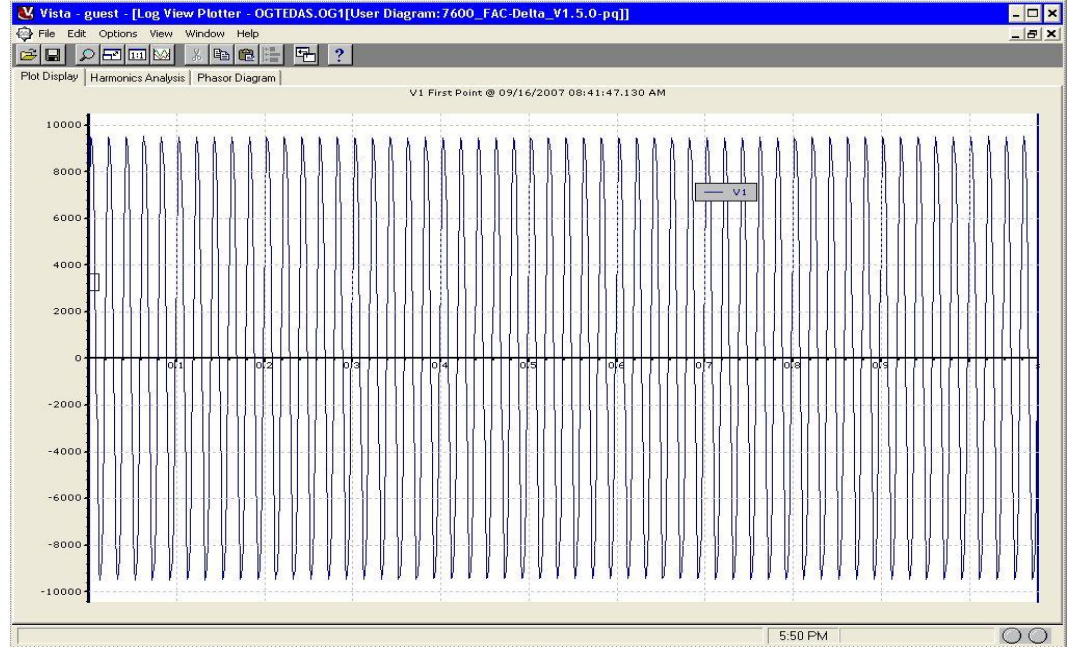
Şekil 2.3. 16/09/2007 08:41:47.130 AM zamanında olan TB olayı sırasındaki frekans şekilleri.



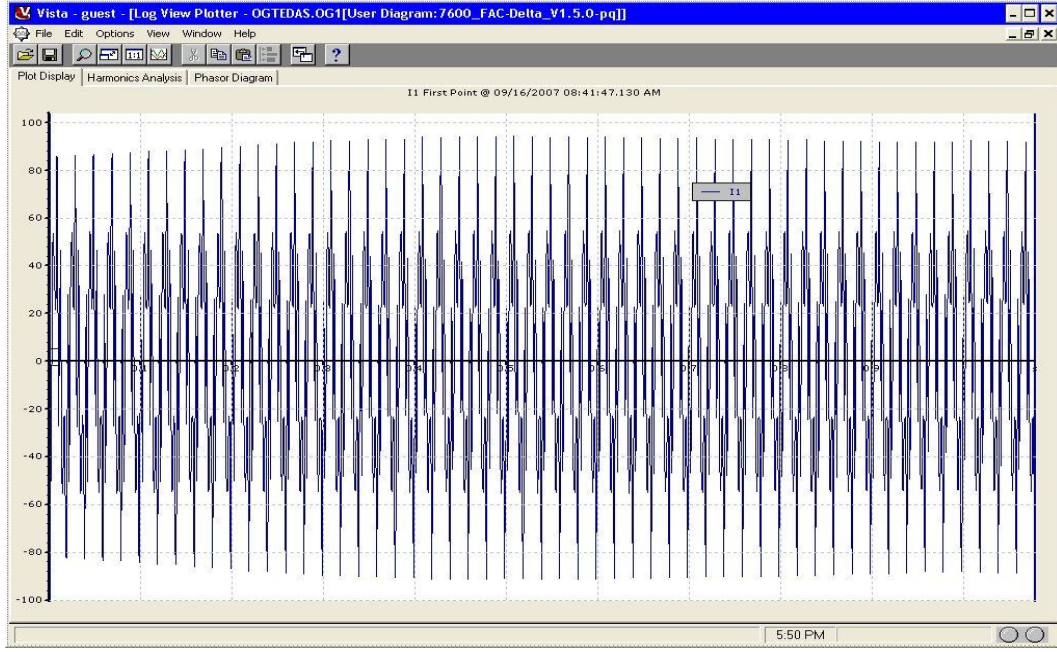
Şekil 2.4. 23/09/2007 08:50:54.362 AM zamanında olan TB olayı sırasındaki frekans şekilleri.



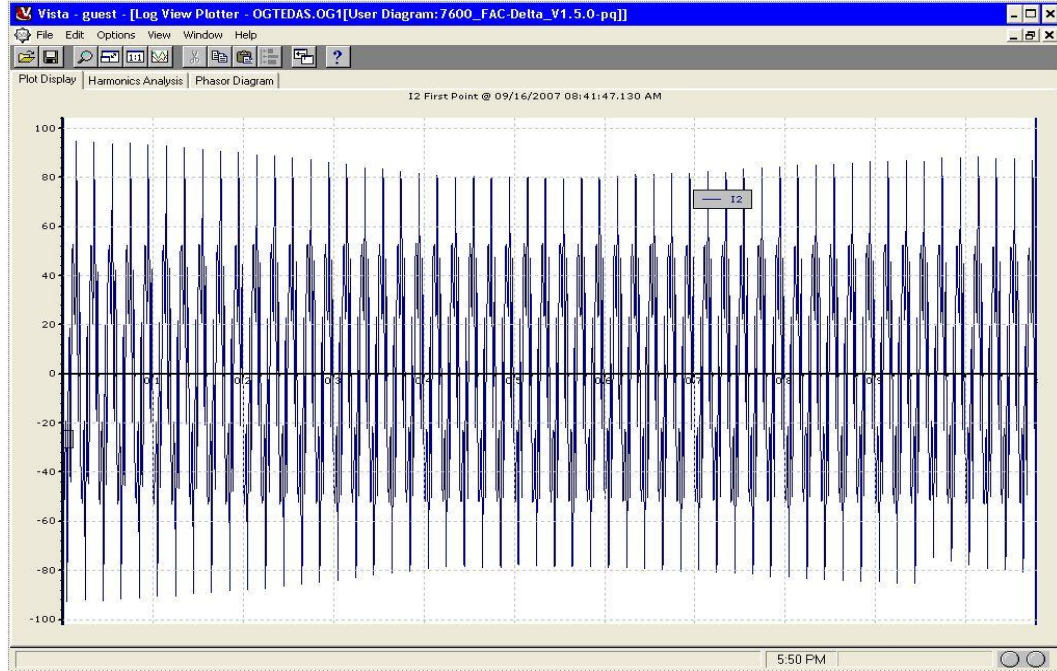
Şekil 2.5. 07/10/2007 07:41:39.466 AM zamanında olan TB olayı sırasındaki frekans şekilleri.



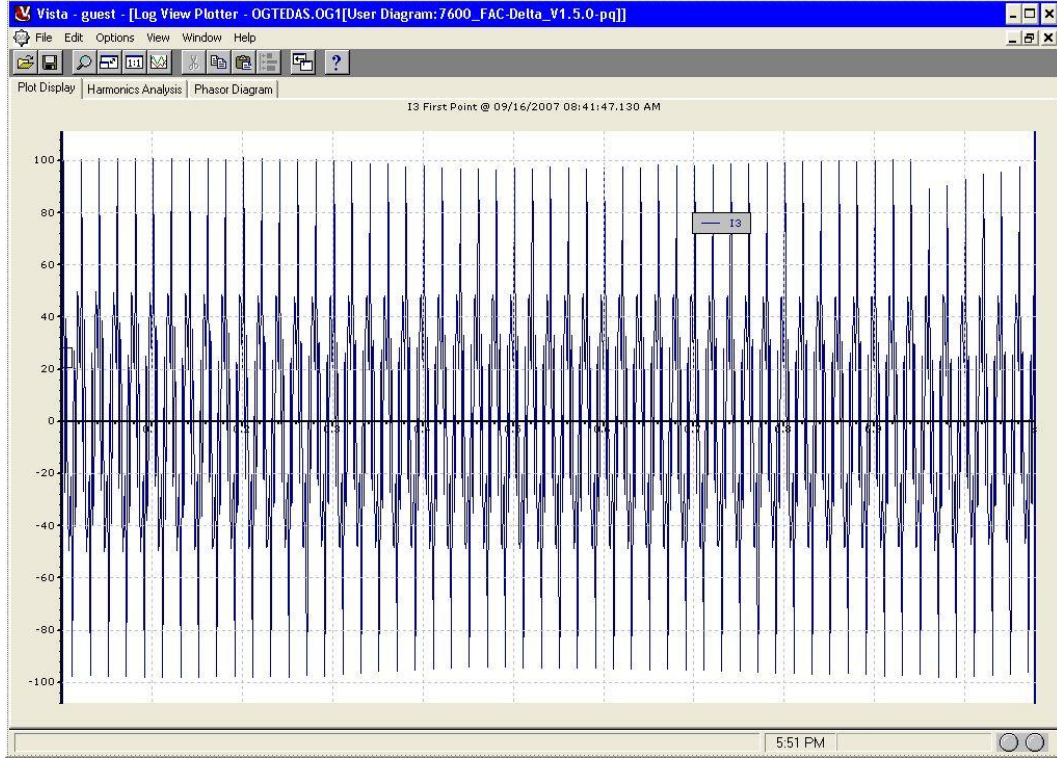
Şekil 2.6. 16/09/2007 08:41:47.130 AM zamanında TB olayı anında V1 geriliminin dalga şekli.



Şekil 2.7. 16/09/2007 08:41:47.130 AM zamanında TB olayı anında I1 akımının dalga şekli.



Şekil 2.8. 16/09/2007 08:41:47.130 AM zamanında TB olayı anında I2 akımının dalga şekli.

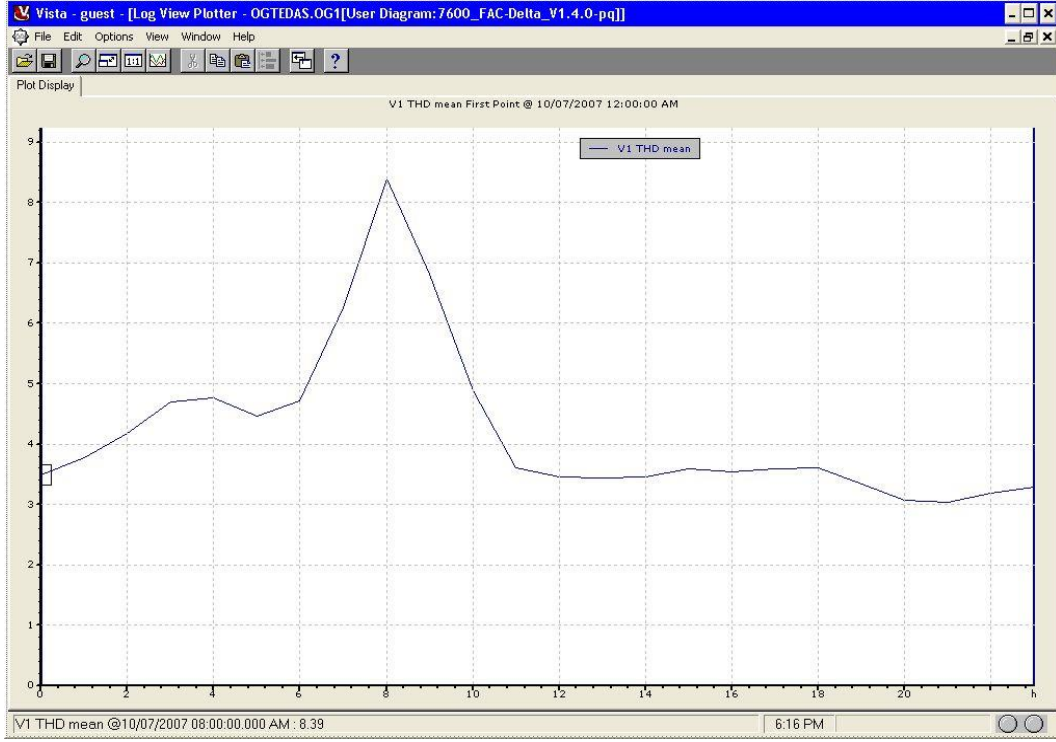


Şekil 2.9. 16/09/2007 08:41:47.130 AM zamanında TB olayı anında I3 akımının dalga şekli.

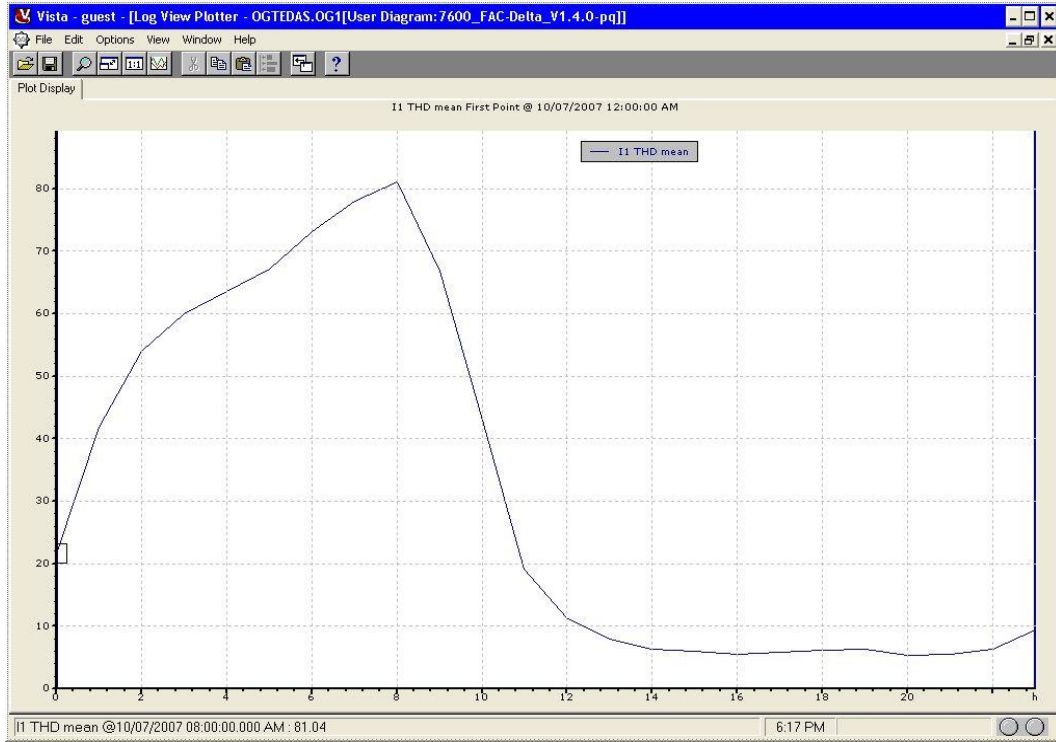
THB veya TB nin standartlarda verilen sınır değerini aştığı anlarda yukarıda verilen faz akımlarının dalga şekilleri incelendiğinde, akımların harmonik bileşenlerinin genliklerinin çok yüksek oldukları gözlemlenmektedir. Bunun nedeni besleme hattında sabah saatlerinde oluşan THB ve TB' nin aslında besleme hattının tam olarak yüklenmemesinden dolayı bu hattın beslediği 6.3kV/400V Üçgen/Yıldız transformatörlerin mıknatıslanma akımlarının düşük yük akımına oranının yüksek olması ve dolayısıyla (0BB) Ortak Bağlantı Noktasında (Point of Common Coupling) harmonik gerilim düşümlerine yol açmasıdır. Gerilimin frekans bileşenleri incelendiğinde 3' üncü harmoniğin genliğinin 5'inci Harmonik yanında çok küçük kaldığı gözlemlenmekte ve bunun nedeni transformatör bağlantılarının üçgen/yıldız olması ve 3' üncü harmonik akımlarının transformatörlerin üçgen sargılarında hapsedilmesi şeklinde açıklanmaktadır.

Ayrıca THB'nin % 8 değerinin üzerine çıktığı 07/10/2007 tarihinde, V1 gerilimindeki THB, I1 akımındaki THB ve I1 K-faktörünün 1 günlük (24 saat) değişimleri sırasıyla Şekil 2.10, 2.11 ve 2.12 de verildiği şekilde gözlemlenmiştir. Değişim grafiklerinden de görüldüğü gibi akımın toplam harmonik bozulmasının

artmasıyla birlikte gerilimin toplam harmonik bozulması ve K-faktörünün değeri de artmaktadır.



Şekil 2.10. 07/10/2007 tarihinde V1 Gerilimindeki THB değerlerinin değişimi.



Şekil 2.11. 07/10/2007 tarihinde I1 akımındaki THB değerlerinin değişimi.



Şekil 2.12. 07/10/2007 tarihinde I1 K-Faktörünün değişimi.

Özellikle K-faktörünün değerinin 14 ün üzerine çıkması akımın harmonik kompozisyonunda, yani frekans bileşenlerinin genliklerinde çok büyük yükselmeler olduğunu göstermektedir. Yine K-faktörünün 24 saatlik değişimi incelendiğinde hemen hemen günün yarısında besleme hattının az yüklenmesi sonucunda transformatör mıknatıslanma akımları nedeniyle hattan çekilen faz akımlarının yüksek genlikli harmonikleri olduğu ve bunların sadece 6.3kV/400V'luk transformatörlerde değil, aynı zamanda 34.5kV/6.3kV' luk transformatörlerde de histeresis ve eddy akımları dolayısıyla yüksek çekirdek kayıplarına neden oldukları görülmektedir. Besleme hattının tam yüklenmesiyle K-faktörü normal değeri olan 1 değerine düşmektedir.

3. KISA SÜRELİ GERİLİM DEĞİŞİMLERİ

Bu durum, uluslararası Elektroteknik Komisyonu IEC' nin gerilim düşmelerini ve kısa süreli gerilim kesilmelerini kapsamaktadır. Kısa süreli gerilim değişimleri, arıza durumlarından, yüksek yol verme akımı gerektiren büyük yüklerin enerjilenmesinden, güç sistemindeki bağlantı elemanlarında meydana gelecek kısa süreli temassızlıklardan kaynaklanmaktadır. Arızanın yerine ve besleme sistemin durumuna bağlı olarak arıza, geçici olarak gerilim düşmesine, yükselmesine veya gerilimin tamamen kesilmesine neden olabilir. Arıza durumu ilgilenilen noktaya yakın veya uzak olabilir. Her iki durumda da arıza süresince gerilim üzerindeki etki, koruma rölelerinin devreye girip arızayı temizlemesine kadar kısa süreli değişimdir [12].

3.1. Kısa Süreli Gerilim Düşmesi (Sag)

Kısa süreli gerilim düşmesi (sag) uluslar arası standartlarda elektrik besleme sisteminde bir noktada gerilimin %10 ile %90 arasında 0,5 periyot ile bir dakika süre ile aniden azalması olarak tanımlanır. Kısa süreli gerilim düşmeleri genellikle sistem arızaları ile ilişkilidir. Bununla birlikte büyük yüklerin devreye girmesi veya güçlü motorların yol alması sırasında da oluşabilirler [12].

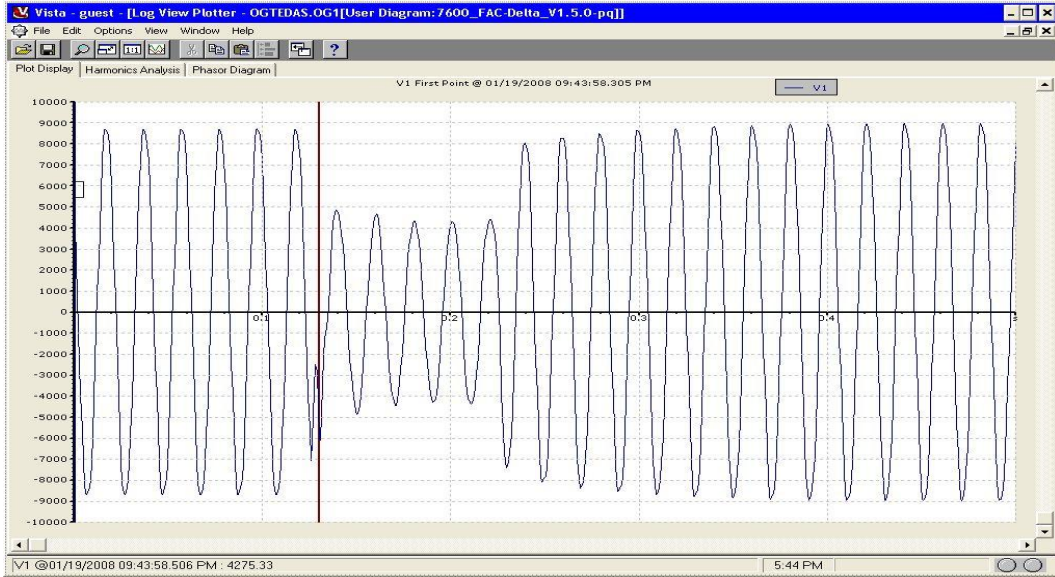
3.1.1. Gerçek zamanda belirlenen gerilim düşmeleri

Eskişehir ili kent merkezinde güç kalitesi olaylarının belirlenmesine ilişkin yapılan ölçümlerde, 6.3 kV' luk besleme hatlarına bağlı bulunan veri toplayıcı cihazlar ile meydana gelen kısa süreli gerilim düşmeleri tespit edilmiştir. Bu tespitlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

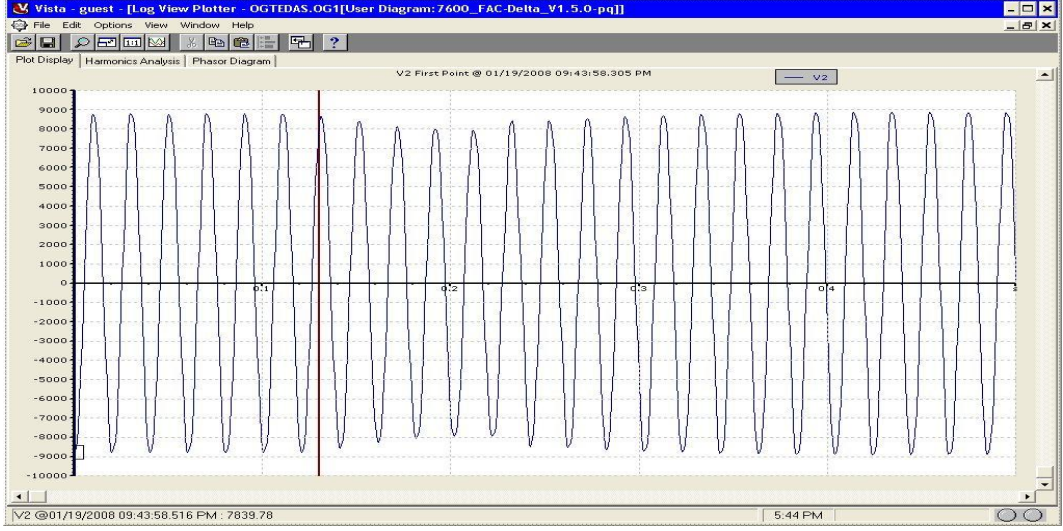
Şekil 3.1 de, V1 geriliminin tepe değerinin 4.275,33 V değerine düştüğü (% 49,4 oranında) yaklaşık 0.117 sn süren kısa süreli gerilim düşmesi meydana gelmiştir. Bu gerilim düşmesi durumunda V2 ve V3 gerilimlerindeki değişim Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 de verilmiştir. Bu olayda V1 ve V3 gerilimlerinin tepe değeri yaklaşık % 50 oranında düşerken V2 geriliminin % 12 oranında düşmüştür. Buna karşın Şekil 3.5, 3.6, 3.7 de görüldüğü gibi I2 akımı, I1 ve I3 akımından

daha fazla bir düşüş göstermiştir. Olay esnasında üç faz geriliminin ve akımının değişimi Şekil 3.4 ve Şekil 3.8 de verilmiştir.

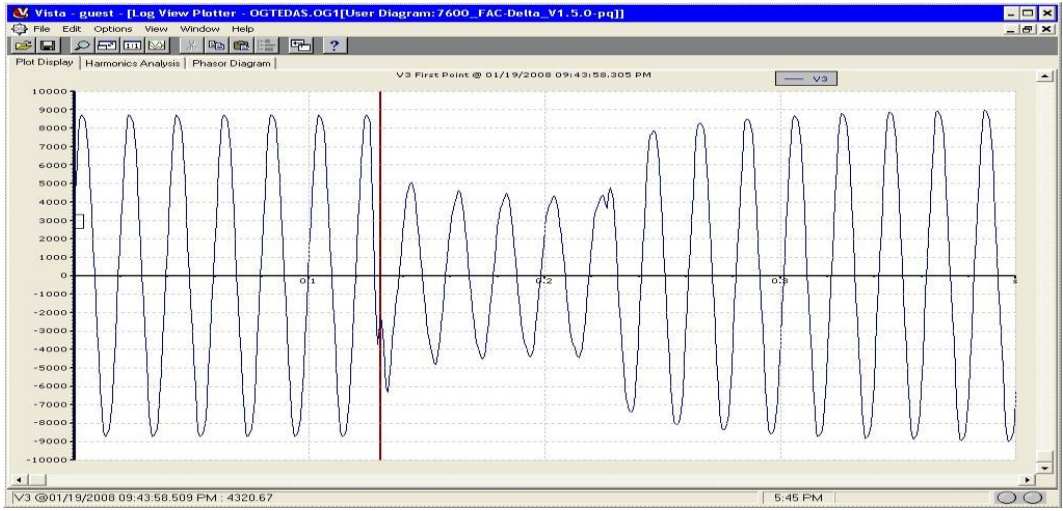
Bu verilen örnek olaydaki faz gerilimlerinin dalga şekilleri incelendiğinde gerilim çökmesi olayının dengesiz olduğu ve 6.3 kV' luk transformatörleri besleyen 34.5 kV' luk üçgen bağlı dağıtım hatlarında ya da 154 kV' luk iletim hattında oluşan bir hata yada ani olarak çok yüksek güçlü bir yükün devreye girmesi nedeniyle olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum 6.3 kV' luk hattan çekilen faz akımlarının genliklerinin de aynı şekilde olay esnasında azalmalarından anlaşılmaktadır. Yani 6.3 kV' luk bara gerilimi şehirdeki yüklerin ani değişiminden değil daha üst gerilim seviyelerindeki olaylardan kaynaklanmaktadır. Her ne kadar gerilimin en büyük orandaki çökmesi V1 faz gerilimde ise de, sistem üçgen bağlı olduğundan akımlardaki en büyük düşüş I2 faz akımında gözlemlenmiştir. Gerilim çökmesinin başlangıcında ve bitişinde oluşan faz akımlarındaki genlik artışları tümüyle bu besleme hattına bağlı endüktif yüklerin etkisiyle oluşmaktadır.



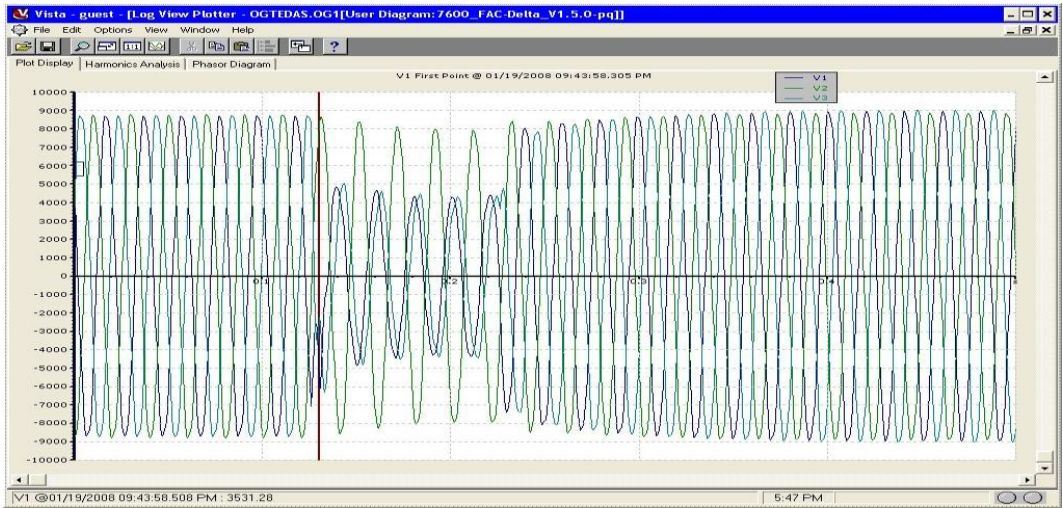
Şekil 3.1. 19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim düşmesi V1 gerilimi değişimi.



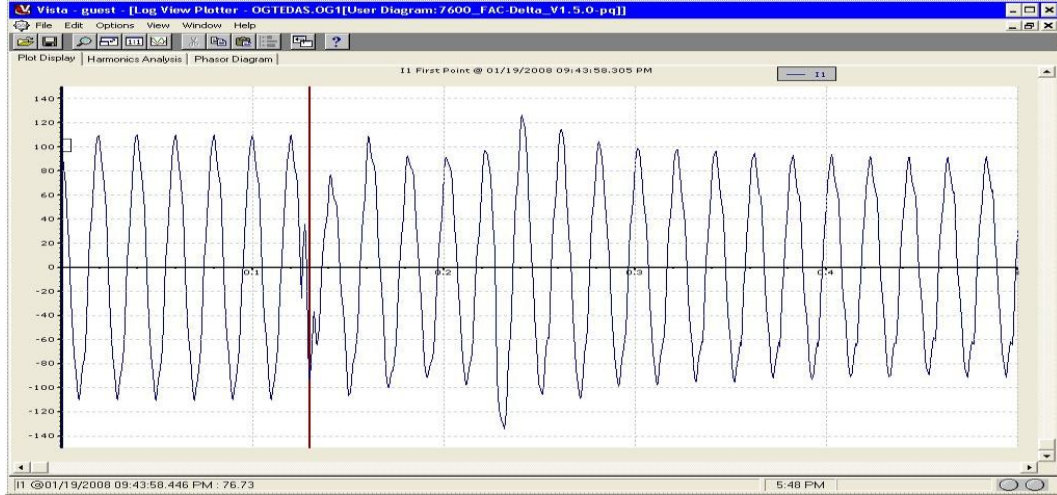
Şekil 3.2. 19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim düşmesi V2 gerilimi değişimi.



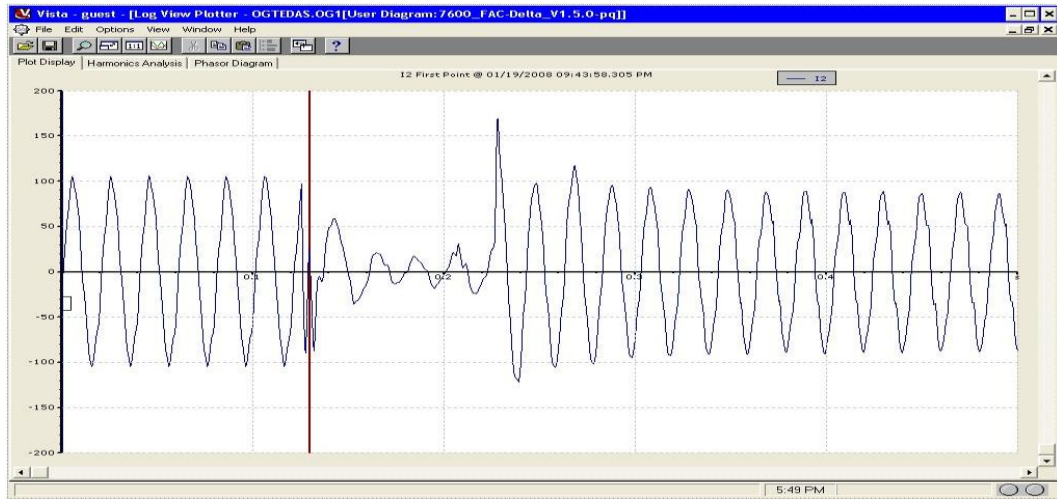
Şekil 3.3. 19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s. gerilim düşmesi V3 gerilimi değişimi.



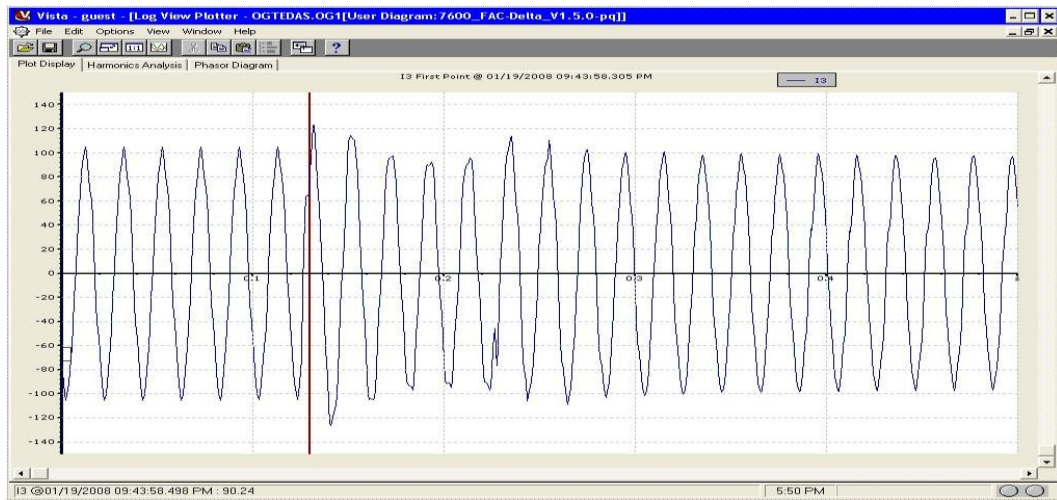
Şekil 3.4. 19/01/2008 tarihinde k.s.gerilim düşmesi V1,V2,V3 gerilimleri değişimi.



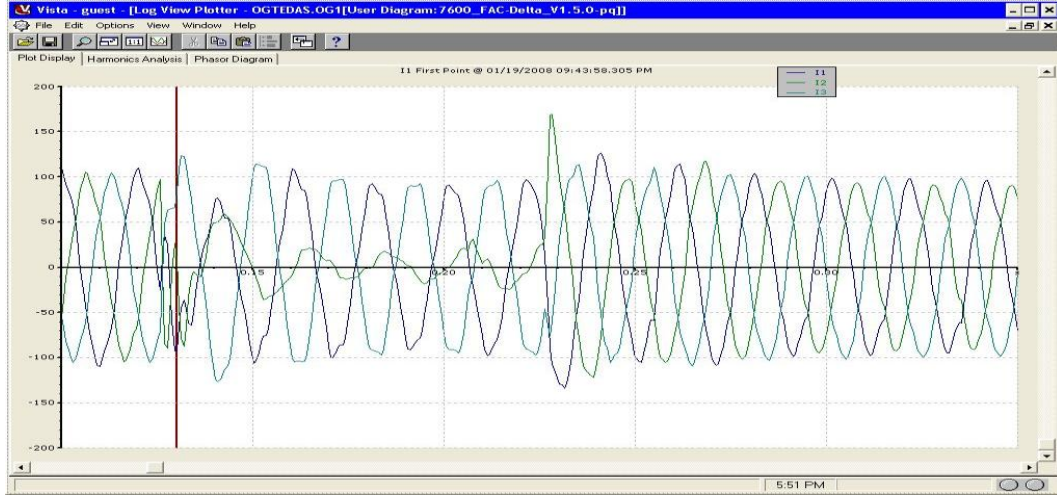
Şekil 3.5. 19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim düşmesi I1 akımı değişimi.



Şekil 3.6. 19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim düşmesi I2 akımı değişimi.

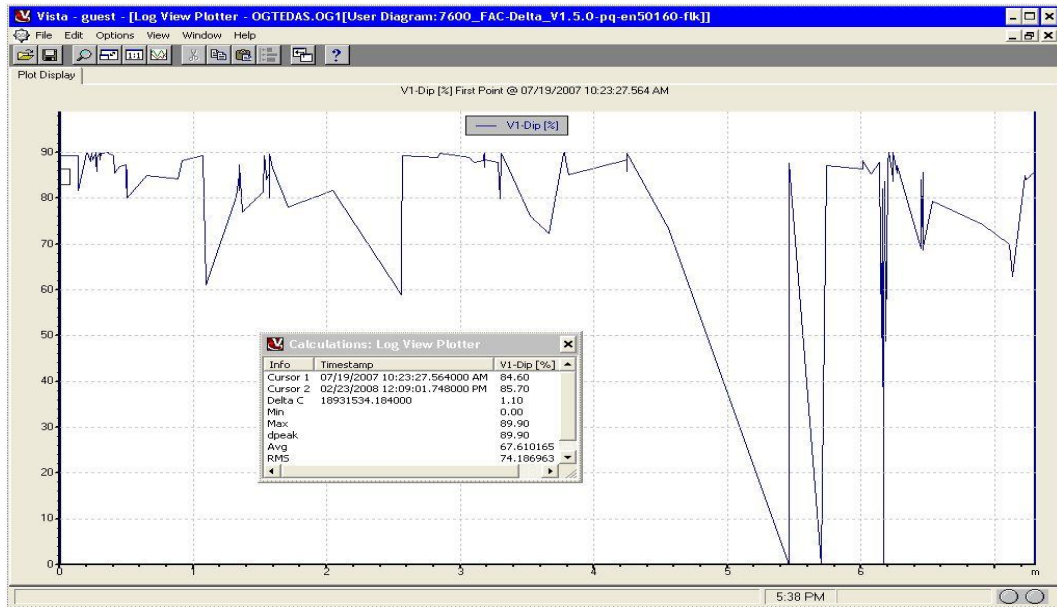


Şekil 3.7. 19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim düşmesi I3 akımı değişimi.

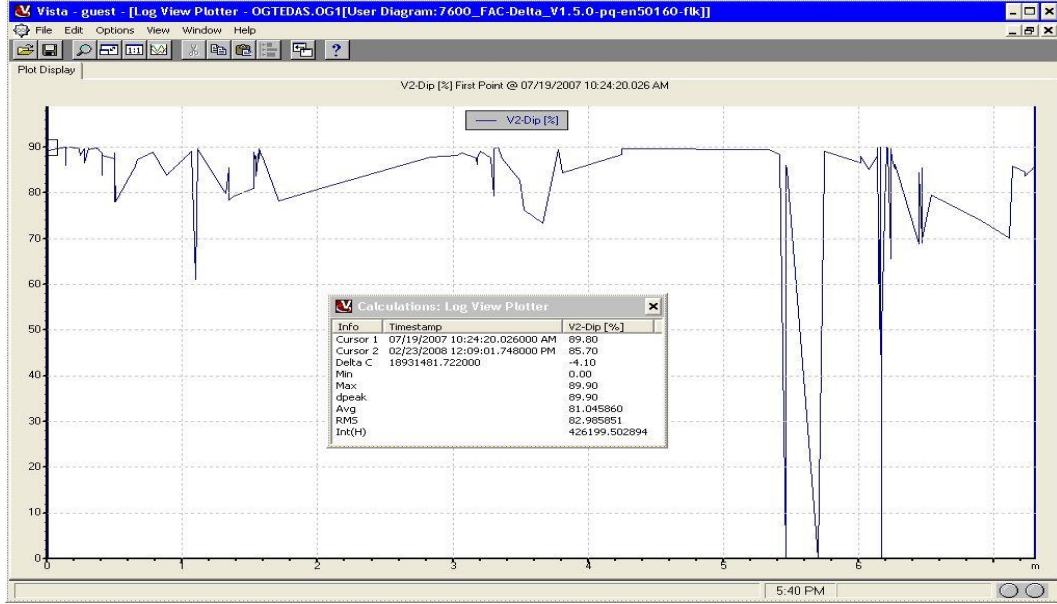


Şekil 3.8. 19/01/2008 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim düşmesi I1,I2,I3 akımları değişimi.

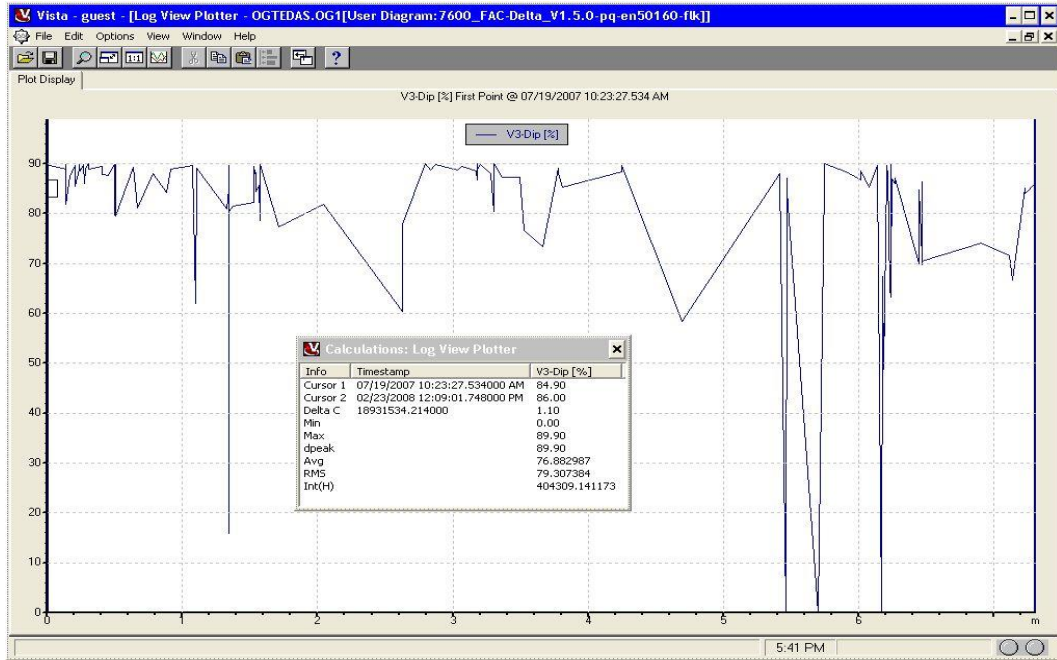
19.07.2007 ve 23.02.2008 tarihleri arasında besleme hattında her bir fazda meydana gelen kısa süreli gerilim düşmeleri (sags) Şekil 3.9, 3.10 ve 3.11'deki gibi tespit edilmiştir.



Şekil 3.9. 19/07/2007 ile 23/02/2008 tarihleri arasında V1 geriliminde gerçekleşen k.s. gerilim düşmelerinin (dips) değişimi (% olarak).



Şekil 3.10. 19/07/2007 ile 23/02/2008 tarihleri arasında V2 geriliminde gerçekleşen k.s. gerilim düşmelerinin (dips) değişimi (% olarak).



Şekil 3.11. 19/07/2007 ile 23/02/2008 tarihleri arasında V3 geriliminde gerçekleşen k.s. gerilim düşmelerinin (dips) değişimi (% olarak).

Yapılan ölçümler sonucunda besleme hatlarında meydana gelen kısa süreli gerilim düşmelerinin (sag) en çok 2007' nin 7'inci ayında ve 2008' in 1'inci ayında meydana geldiği görülmüştür.

2007 temmuz ayında meydana gelen kısa süreli gerilim düşmelerinin nedenleri;

- Temmuz ayının tarımsal amaçlı sulamanın en çok yapıldığı ay olması nedeniyle kış aylarında devre dışı bırakılan tüm tarımsal sulama hatlarının ve trafolarının devrede olması dolayısı ile bu hatlardan gelen arızaların dağıtım sistemini etkilemesi,

- Yabani kuşların toplu hareketleri sırasında dağıtım hatlarına temas ederek geçici arızalara neden olmaları,

- Baharda gelişip sürgün veren ağaçların rüzgar nedeniyle dağıtım hatlarına temas ederek geçici yada kalıcı arızalara neden olmalarıdır.

2008 Ocak ayında meydana gelen k.s. gerilim düşmelerinin nedenleri;

- Ocak ayında kar yağışının yoğun olması dolası ile buz yükü ve benzeri sebeplerle dağıtım hatlarında arızaların meydana gelmesi,

- Bu ayda havanın bulut iyonizasyonun fazla olması ve yıldırım düşmelerinin sık yaşanması ile arızaların meydana gelmesidir.

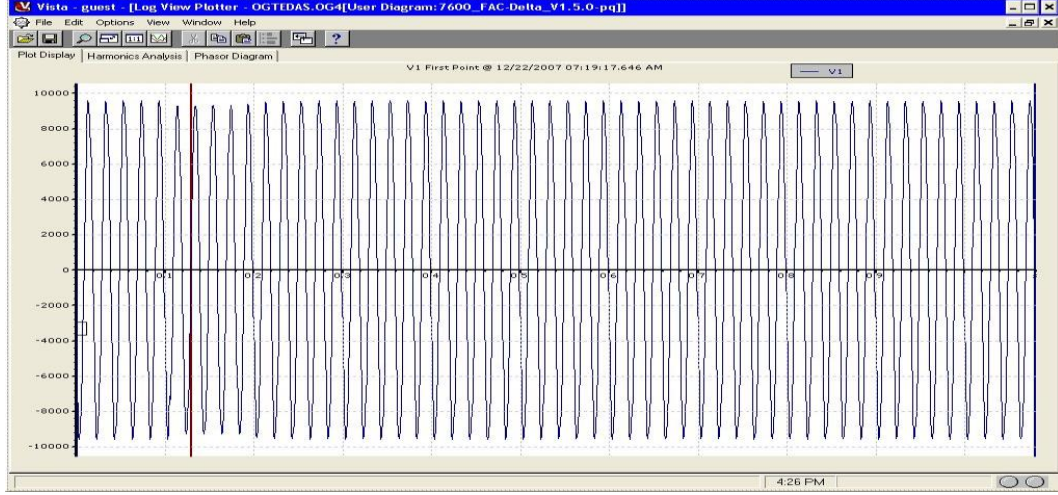
3.2. Kısa Süreli Gerilim Yükselmesi (Swell)

Uluslar arası standartlarda tanımlandığı şekliyle 0.5 periyottan 1 dakikaya kadar geçen sürede gerilimin güç frekansındaki temel bileşenin efektif değerinde 1,1 ile 1.8 per-unit değerleri arasında meydana gelen artış, gerilim yükselmesi olarak adlandırılır. Gerilim yükselmeleri, kısa süreli gerilim düşmeleri kadar yaygın değildir. Büyük bir yükün devre dışı kalması veya büyük ölçekte bir kondansatör grubunun devreye girmesi, gerilim yükselmesine neden olabilir. Gerilim yükselmeleri, efektif değer cinsinden genliklerine ve sürelerine bağlı olarak karakterize edilir [12].

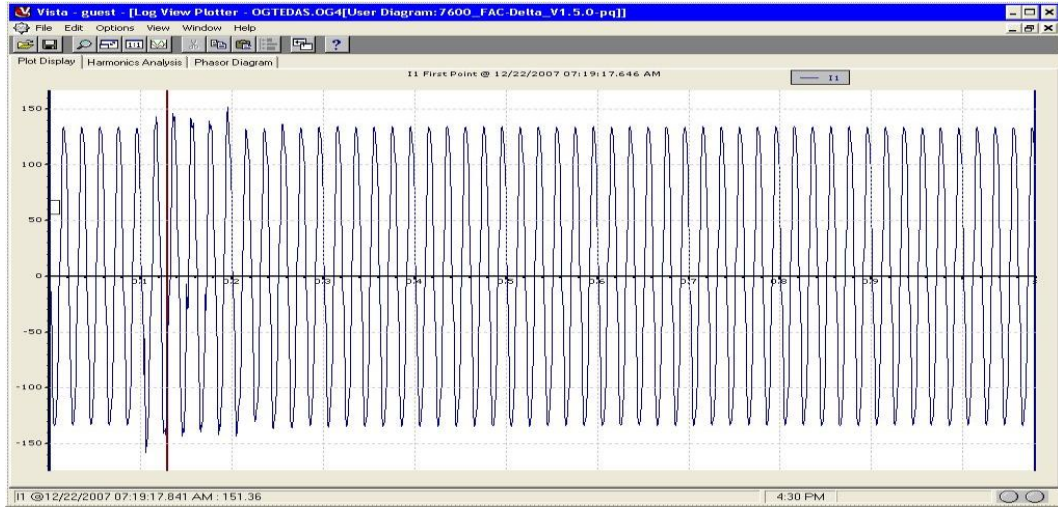
3.2.1 Gerçek zamanda belirlenen gerilim yükselmeleri

Eskişehir ili kent merkezinde güç kalitesi olaylarının belirlenmesine ilişkin yapılan ölçümlerde, besleme hatlarına bağlı bulunan analiz cihazları ile meydana gelen kısa süreli gerilim yükselmeleri tespit edilmiştir. Bu tespitlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

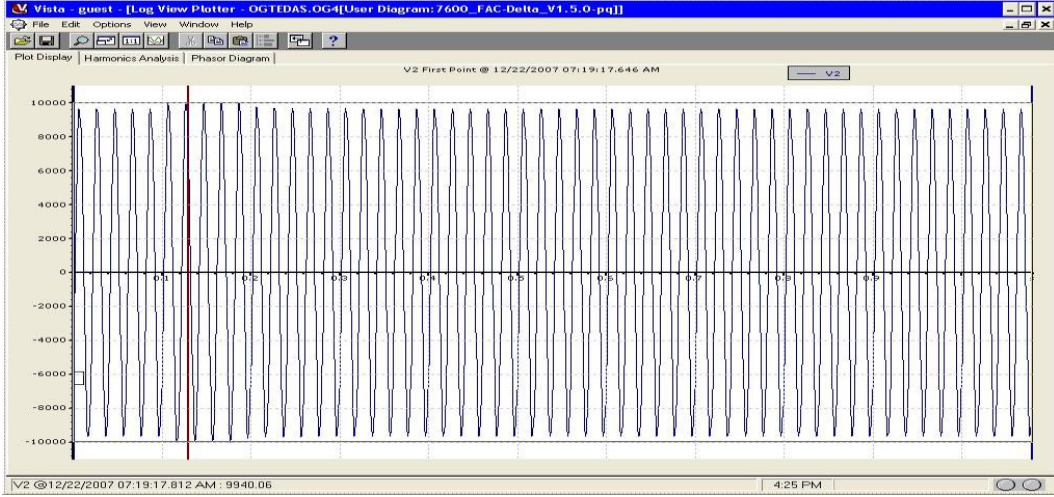
Şekil 3.12, 3.14 ve 3.16 'de görüldüğü gibi kısa süreli gerilim yükselmeleri (swell) oranları %110 civarındadır ve süresi 0,09 sn. dir. Kısa süreli gerilim yükselmesi sırasındaki faz akımlarının değişimi Şekil 3.13, 3.15 ve 3.17' deki gibi tespit edilmiştir. Dağıtım sisteminde kısa süreli gerilim düşmeleri nadir görülmektedir.



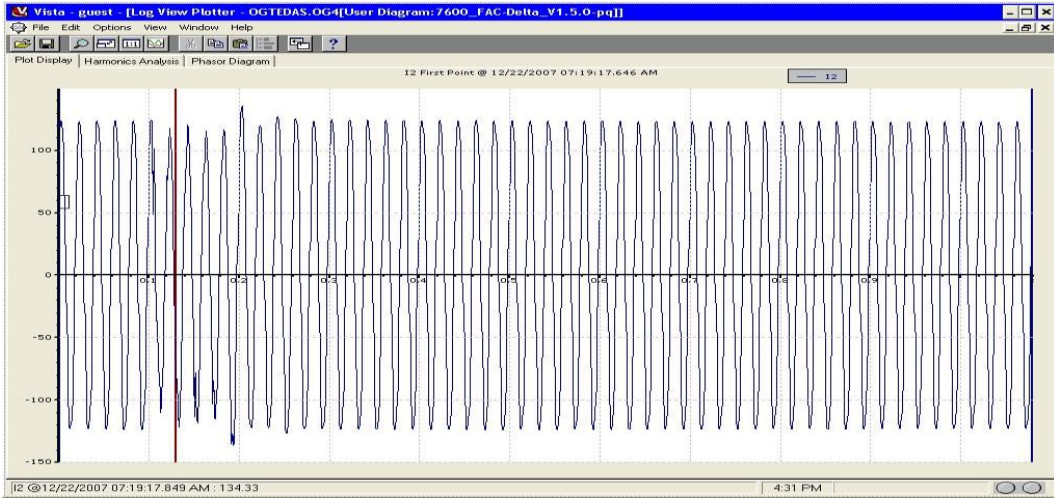
Şekil 3.12. 22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s. gerilim yükselmesi V1 gerilimi değişimi.



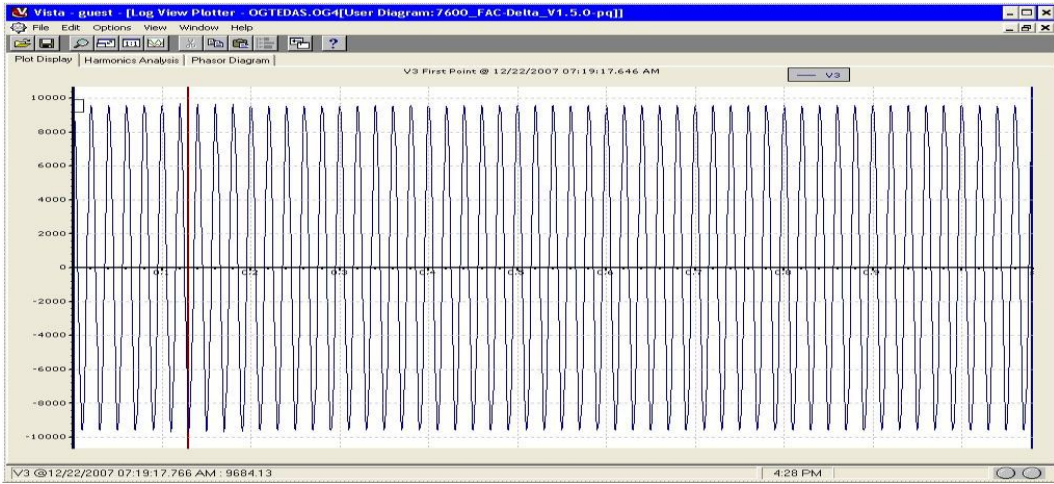
Şekil 3.13. 22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s. gerilim yükselmesi I1 akımı değişimi.



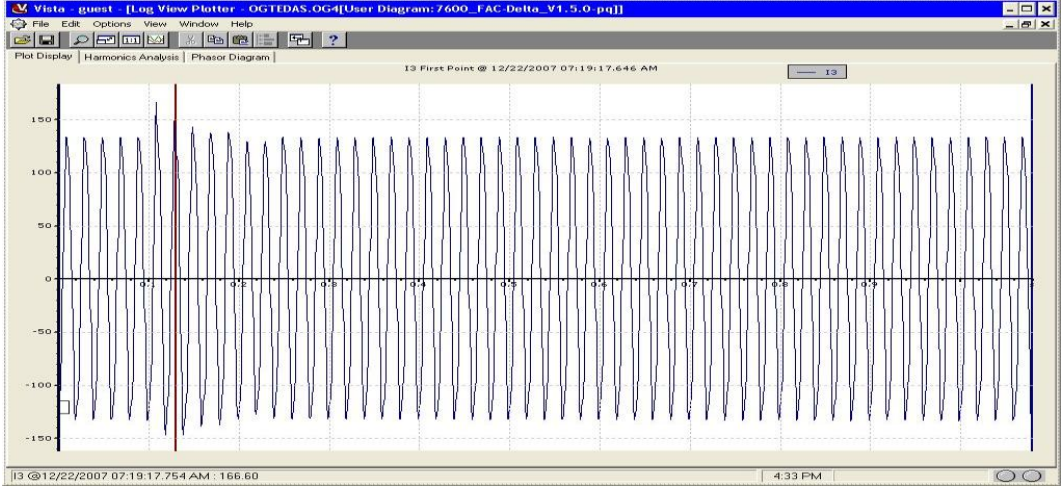
Şekil 3.14. 22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s. gerilim yükselmesi V2 gerilimi değişimi.



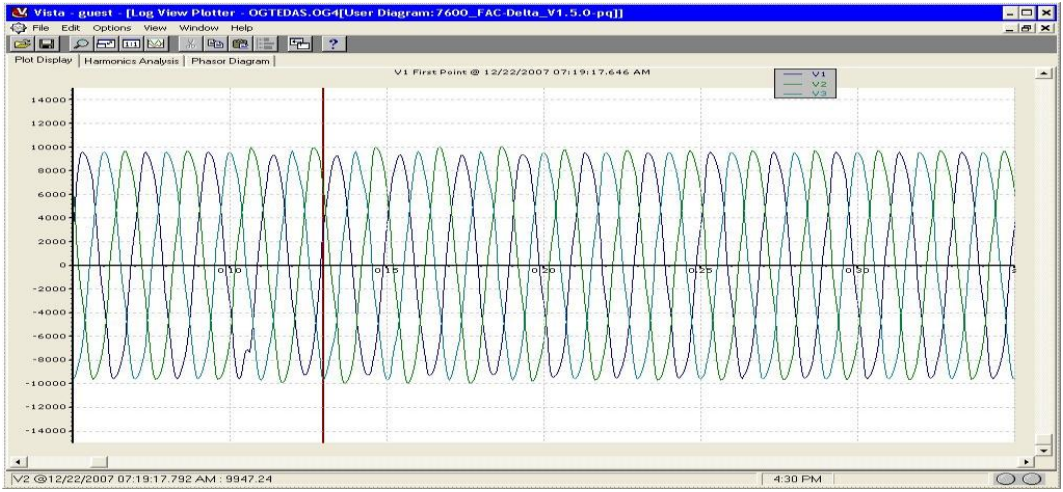
Şekil 3.15. 22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s. gerilim yükselmesi I2 akımı değişimi.



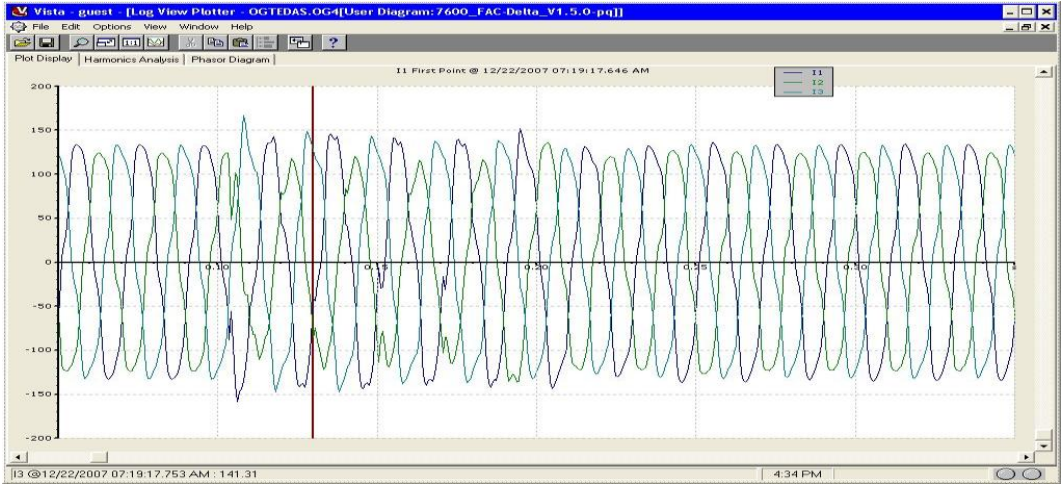
Şekil 3.16. 22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s. gerilim yükselmesi V3 gerilimi değişimi.



Şekil 3.17. 22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim yükselmesi I3 akımı değişimi.



Şekil 3.18. 22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s. gerilim yükselmesi V1,V2,V3 gerilimi değişimi.



Şekil 3.19. 22/12/2007 tarihinde gerçekleşen k.s.gerilim yükselmesi I1,I2,I3 akımı değişimi.

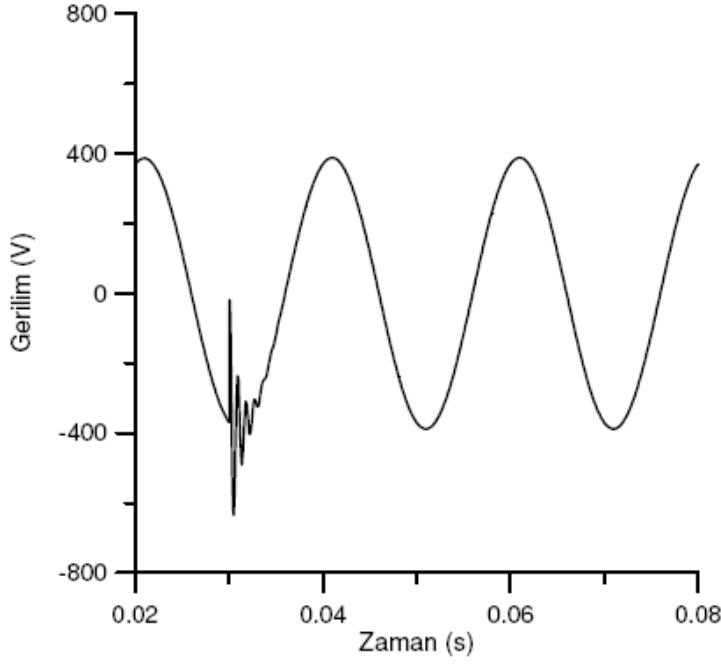
Meydana gelen gerilim yükselmeleri, çoğunlukla yükün azaldığı sabah saatlerinde yük azlığı nedeniyle meydana gelmektedir ve bir dakikadan çok daha uzun süren çoğunlukla birkaç saati bulan aşırı gerilimlerdir. Bu aşırı gerilim, yüklerin, işyerlerinin açılması ve mesainin başlaması ile birlikte devreye girmesiyle son bulmaktadır. Meydana gelen bu uzun süreli aşırı gerilimler, aşırı ısınmadan dolayı cihaz arızalarına sebep olmaktadır.

3.3. Geçici Olaylar

Güç sistemlerinin analizinde arzu edilmeyen ve anlık olarak gerçekleşen bir olayı belirtmek için “Geçici Hal (Transient)” terimi uzun zamandan beri kullanılmaktadır.

Geçici olaylar, çok kısa süren (birkaç milisaniyeye kadar) gerilim bozulmalarıdır, ancak şiddetleri çok yüksektir ve yükselme çok hızlı olur. Geçici olayların çoğu, yıldırımlardan, büyük yüklerden ve reaktif yüklerden kaynaklanır. Geçici haller, darbeli ve salınımlı olmak üzere iki kategori altında sınıflandırılabilir. Bu terimler, akım ve gerilim geçici halinin dalga şeklini yansıtmaktadırlar.

Şekil 3.20’ de görüldüğü gibi bu tür bozucu etkiler genellikle şebeke veya tüketicideki kondansatörlerin devreye girmesi veya devreden çıkması sonucu oluşmaktadır.



Şekil 3.20. Şebeke geriliminde gözükten geçici hal (transient) gerilim dalga şekli.

Genellikle, koruma sistemleri geçici etkileri belli bir güvenlik seviyesinin altında tutar. Geçici olayların meydana geldiği yer tesisatsa yakın veya tesisatın içinde ise problemler ortaya çıkabilir. Bu problemler şöyle sıralanabilir:

- Meydana gelen tahribat çok ani olabilir,
- Tesisat veya teçhizat onarılması imkansız bir biçimde tahribata uğrayabilir,
- Bilgisayardaki veriler yok olabilir,
- Etkiler zaman içinde tekrarlanarak malzemelerin izolasyonuna zarar verebilir.

Bu birikimler neticesinde çok daha büyük hasarlar ortaya çıkabilir. Önlem almak için yapılacak masraflar nispeten daha azdır. Önlem olarak yapılması gerekenler ise şu şekilde sıralanabilir:

- Toprak elektrot sisteminde düşük empedanslı iyi bir bağlantının yer aldığı, geniş frekans aralığında düşük empedanslı bir topraklama sistemi seçilmelidir.
- Yıldırımdan korunma sistemlerinin tasarımı, bir yılda yıldırım olaylarının meydana geldiği günlerin sayısının saptamak gibi yerel faktörler göz önüne alınarak uygun şekilde yapılmalıdır.

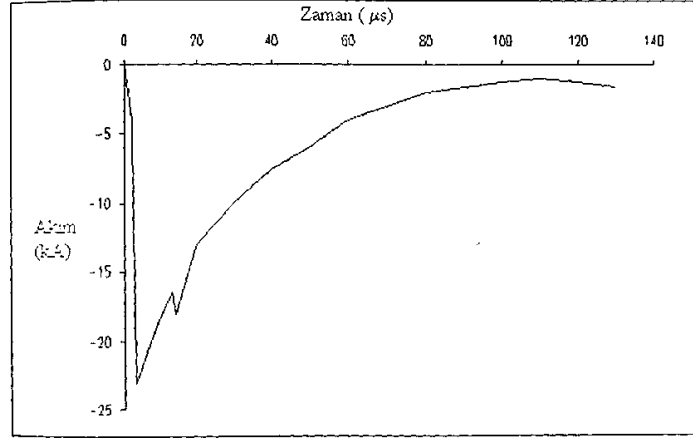
- Koruma sistemleri, telefon ve diğer iletişim hatları da dahil, gelen hattın ilk giriş kısmına yerleştirilmelidir.
- Koruma sistemleri imal eden kuruluşlar, anahtarlama aygıtlarında meydana gelen geçici olaylara karşı korumayı da sağlamalıdır [12].

3.3.1. Darbe biçimindeki geçici olay (İmpulse Transient)

Darbe biçimindeki geçici olay, polarite bakımından tek yönlü (pozitif veya negatif) olan gerilim ve akım parametrelerinin her ikisinde, sürekli hal koşulunda güç frekansında olmayan ani değişim olarak tanımlanır. Normal olarak darbeleri geçici olay, yükselme ve gecikme zamanları ile karakterize edilirler.

Darbe biçimindeki geçici haller, güç sistemleri devrelerinin doğal frekanslarını uyarıp salınım şeklinde geçici haller üretebilirler.

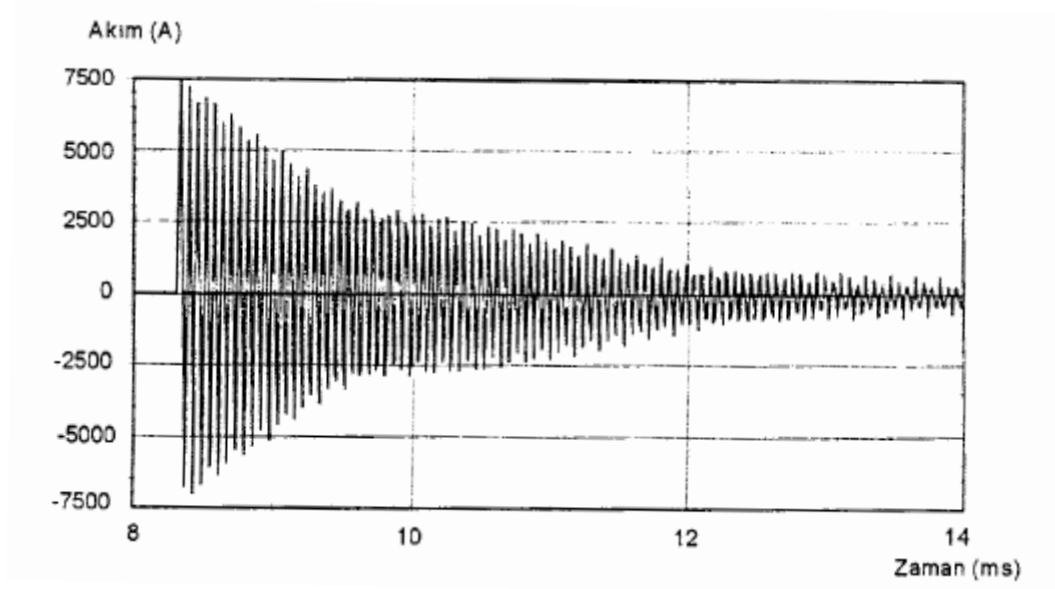
Şekil 3.21’de yıldırımdan kaynaklanan tipik bir geçici akım darbesi verilmiştir [12].



Şekil 3.21. Yıldırımdan kaynaklanan geçici darbe akımı.

3.3.2. Salınım biçimindeki geçici olay (Oscillatory Transient)

Salınım şeklindeki geçici olay, tek yönlü olmayan pozitif ve negatif polariteli değerler içeren gerilim ve akım parametrelerinin her ikisinin sürekli hal koşulunda güç frekansında olmayan ani değişim olarak tanımlanır. Salınım transientleri, ani değerleri hızlı bir şekilde polariteyi değiştiren akım ve gerilimleri içerir. Frekans içeriği, genliği ve süresi ile karakterize edilirler.

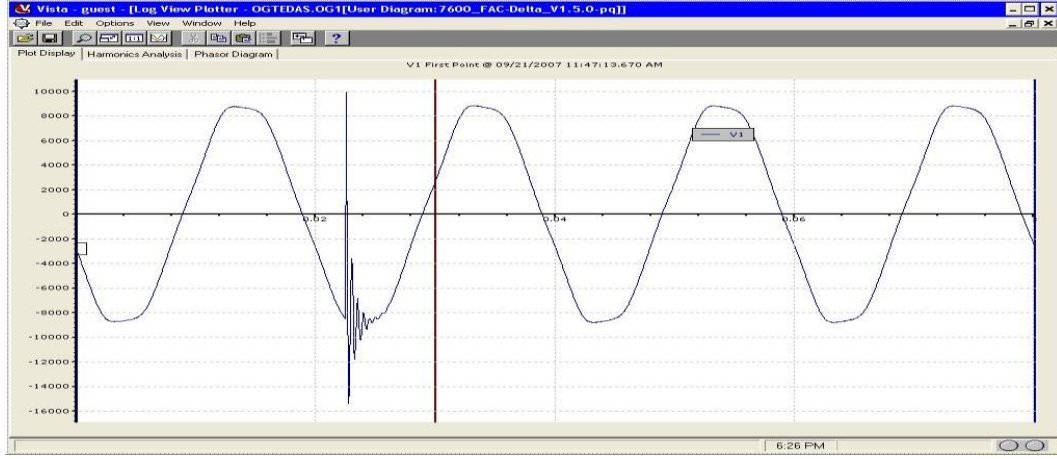


Şekil 3.22. Kondansatör gruplarının devreye alınıp çıkarılması sırasında geçici akımların neden olduğu salınımlar.

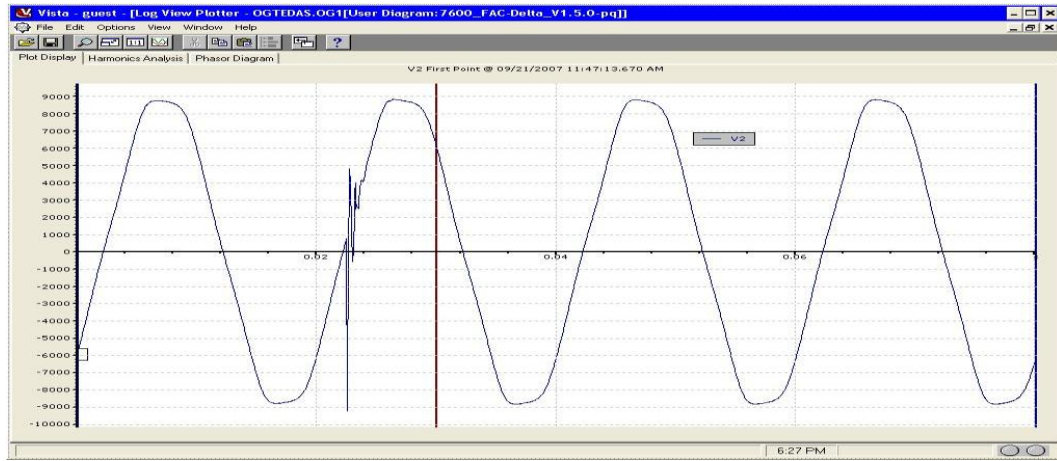
Şekil 3.22 'de görüldüğü üzere, ardı ardına kapasitör gruplarının sırayla devreye alınması, salınım biçimindeki transient akımlarının oluşmasına neden olacaktır. Kablolü hatların kesicilerle devreye alınıp çıkarılması da aynı frekans bölgesinde salınan gerilim transientlerine neden olacaktır [12].

3.3.3. Gerçek zamanda tespit edilen geçici olaylar (Transient)

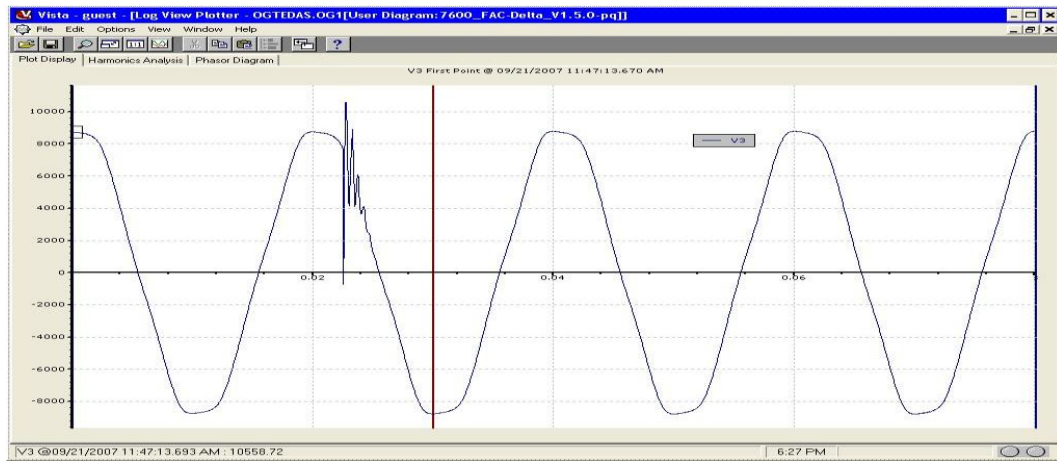
Eskişehir İli kent merkezinde güç kalitesi olaylarının belirlenmesine ilişkin yapılan ölçümlerde, besleme hatlarında bağlı bulunan analizör ile meydana gelen geçici olaylar tespit edilmiştir. 21.09.2007 tarihinde meydana gelen geçici bir olay esnasındaki faz gerilimlerinin ve akımlarının dalga şekilleri Şekil 3.23, 3.24, 3.25, 3.26 ve 3.27 deki gibi gözlenmiştir. Besleme hatlarına bağlı bulunan beş adet analizör 19.07.2007 ile 11.05.2008 tarihleri arasında sırayla 65, 63, 62, 59, 56 adet geçici olay kaydetmiştir. Bu geçici olayların dalga şekillerinin incelenmesi sonucunda, büyük bir kısmının büyük güçlü kondansatör gruplarının devreye alınmasından veya 154 kV seviyesindeki hatalardan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.



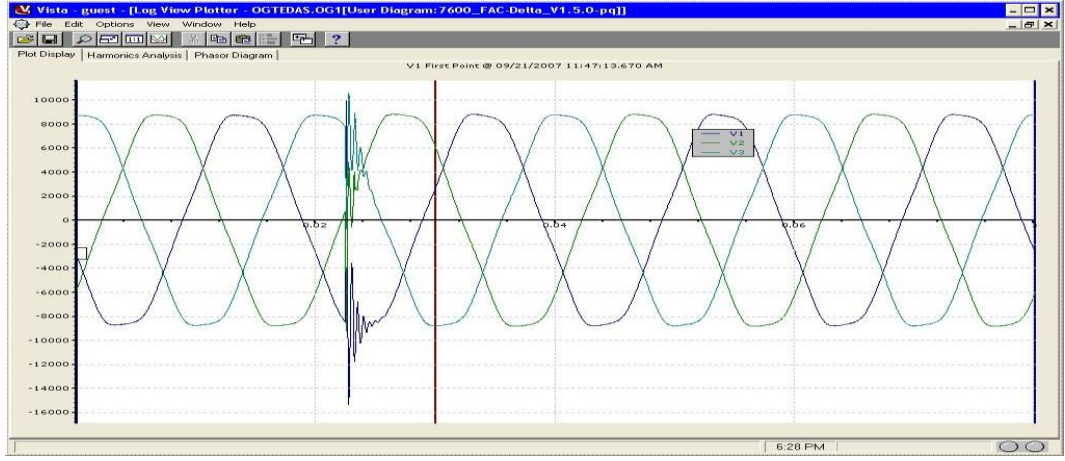
Şekil 3.23. 21.09.2007 tarihinde besleme hattında meydana gelen geçici bir olayda V1 geriliminin dalga şekli.(transient)



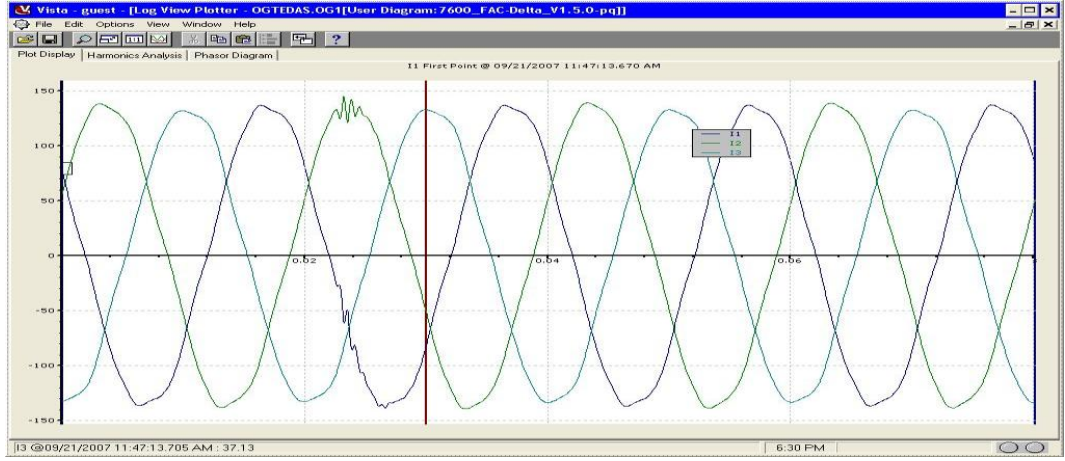
Şekil 3.24. 21.09.2007 tarihinde besleme hattında meydana gelen geçici bir olayda V2 geriliminin dalga şekli.(transient)



Şekil 3.25.21.09.2007 tarihinde besleme hattında meydana gelen geçici bir olayda V3 geriliminin dalga şekli.(transit)



Şekil 3.26. 21.09.2007 tarihinde besleme hattında meydana gelen geçici bir olayda V1, V2 ve V3 gerilimlerinin dalga şekli.(transient)



Şekil 3.27. 21.09.2007 tarihinde besleme hattında meydana gelen geçici bir olayda I1, I2 ve I3 akımlarının dalga şekli.

3.4. ITIC Eğrisi

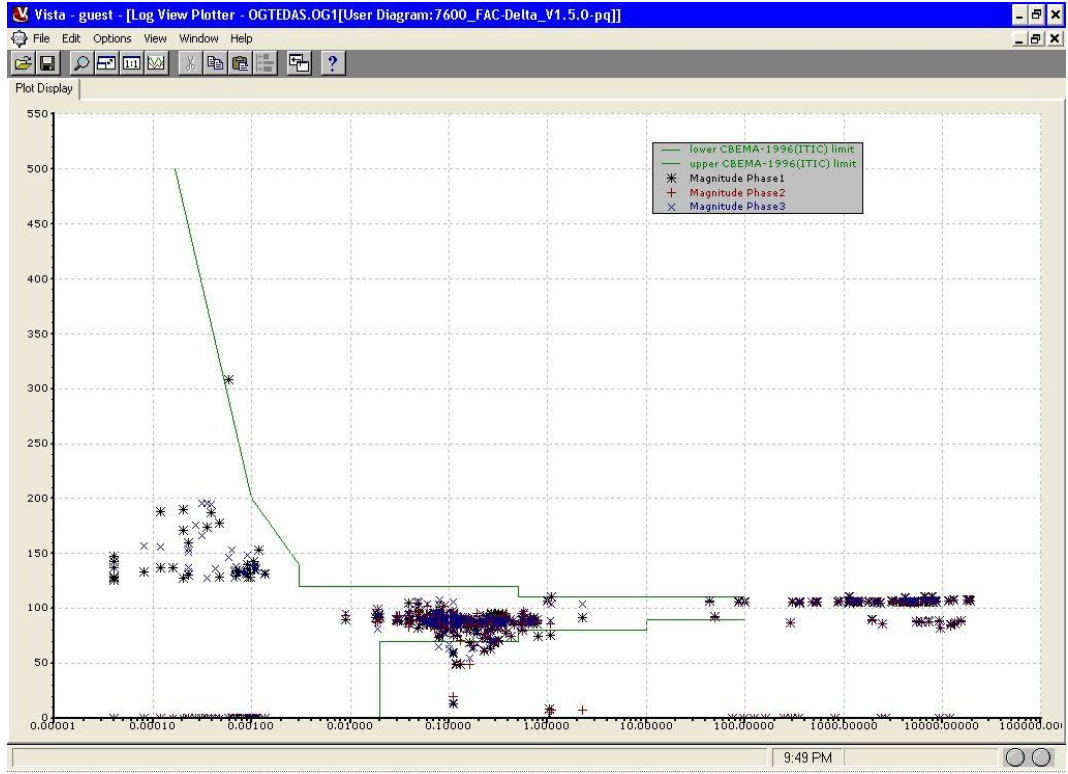
Güç kalitesi problemlerine ek olarak donanım, yazılım ve kontrol sistem problemleri de ortaya çıkmaktadır. Elektronik aletlerin elektriksel büyüklüklerin durumuna göre duyarlılıkları, değişik problemlere yol açabilir. Bu yüzden bazen hatayı belli bir nedene bağlamak zor olabilir. Mikroişlemci tabanlı elektronik cihaz imal edenlerin düşündüğü konu, sistemlerini hata oluşturan tüm olaylara karşı dayanıklı hale getirerek kontrol edilebilir bir yapıya kavuşturmadır. Bilgisayar sistemlerinin kullanılmaya başlanması ile ortaya çıkan güç kalitesi problemleri

sonucunda yapılan çalışmalar Computer ve Business Equipment Manufacturers' Association (CBEMA) olarak bilinen eğrinin geliştirilmesi ile sonuçlanmıştır. Bu çalışmaların devamında CBEMA eğrisi daha da geliştirilerek Information Technology Industry Council (ITIC) eğrisi elde edilmiştir. Bu eğri ile ilgili üretim yapan kuruluşların ve kullanılan elektrik aygıtlarının enerji kalitesi ile ilgili uyması gereken değerlere ait sınırlar verilmiş olmaktadır. ITIC eğrisinin bir versiyonu ANSI tarafından IEEE-446 olarak standartlaştırılmış ve tipik olarak güç sistemi izleme sonuçlarının analizinde kullanılmaktadır. Bu eğri, orijinal olarak CBEMA eğrisinden geliştirilmiş olup görevi, güç sistemindeki gerilim değişimlerinin genliğine ve süresine göre bilgi işlem donanımlarının göstereceği toleransı tanımlamaktadır. Modern bilgisayarların çoğu bundan daha büyük toleransa sahip olmakla birlikte, eğri güç sistemine uygulanan duyarlı donanımlar için standart bir tasarım hedefi sağlamakta ve güç kalitesi veri değişimlerini raporlamada genel değerler vermektedir.

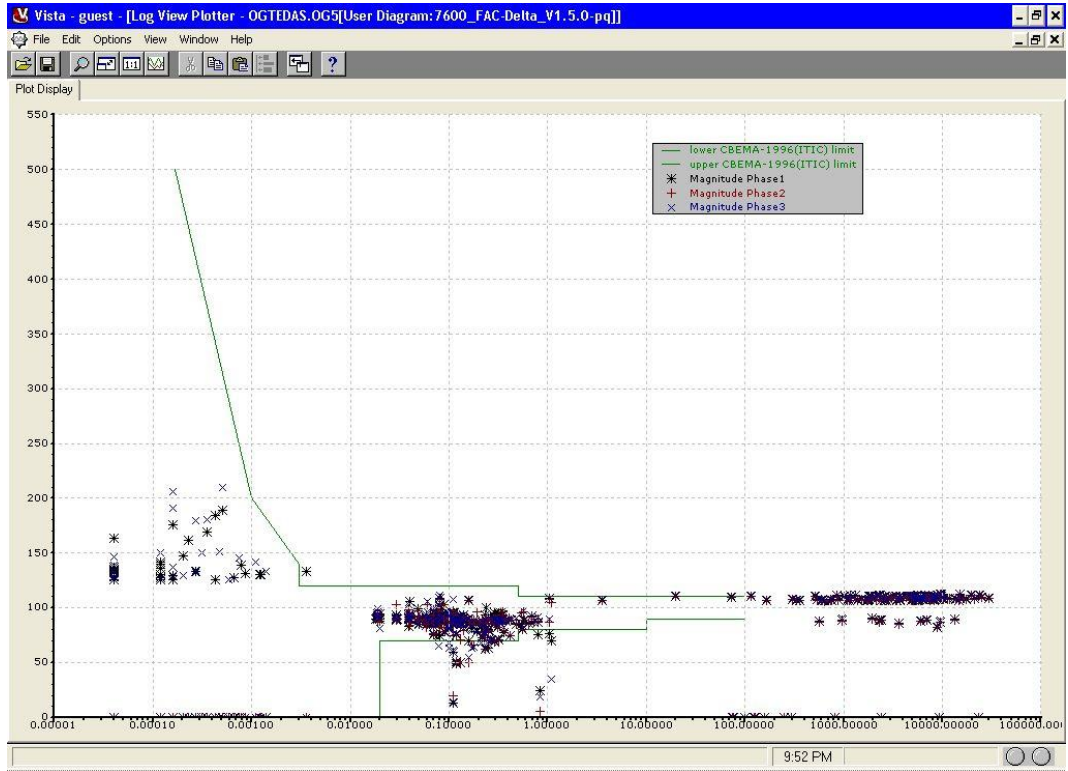
Eğrilerdeki dikey eksen genliği, yatay eksen ise süreyi göstermektedir. Sınır zarfının altındaki noktaların enerji eksikliğinden dolayı yükün devre dışı kalmasına neden oldukları varsayılmaktadır. Sınır zarfının üzerindeki noktaların yalıtım bozulması, aşırı gerilim açması, aşırı uyarma gibi bozukluklara neden oldukları tahmin edilmektedir [12].

3.4.1. Gerçek Zamanda Tespit Edilen ITIC Eğrileri

Eskişehir İli kent merkezinde gerçek zamanda gerilim yükselmeleri ve düşmeleri İON 7650 analizörü ile izlenerek iki ayrı besleme hattına ait ITIC eğrileri Şekil 3.28 ve Şekil 3.29 deki gibi tespit edilmiştir. Bu şekilde de görüldüğü gibi söz konusu eğrinin dışında gerilim yükselmeleri ve düşmelerinin meydana geldi görülmüştür. Sınır zarfının altında kalan noktalarda enerji eksikliği nedeniyle yükün devre dışı kaldığı varsayılmaktadır. Sınır zarfının üstündeki noktaların aşırı gerilim açması, yalıtım bozulması gibi bozukluklara neden olma ihtimali vardır. Ayrıca şekillerden de görüldüğü gibi gerilim yükselmelerinin ve düşmelerinin ITIC eğrisinde müsaade edilen sürenin çok üzerinde olduğu ve arızalara neden olabileceği görülmektedir.



Şekil 3.28. 18.07.2007 ile 11.05.2008 tarihleri arasında OG 1 besleme hattına ait ITIC eğrisi.



Şekil 3.29. 18.07.2007 ile 11.05.2008 tarihleri arasında OG 5 besleme hattına ait ITIC eğrisi.

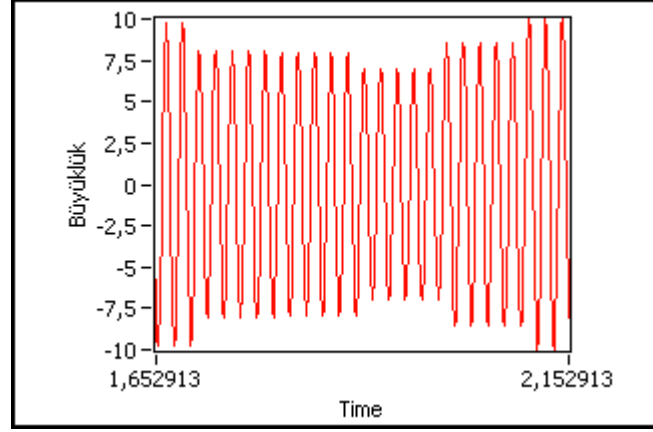
4. GERİLİM DALGALANMALARI VE KIRPIŞMA

4.1. Kırpışma

Genel olarak ışık parıltısındaki dalgalanmaların sebep olduğu kişiye özgü etkilenme olarak tanımlanan kırpışma diğer güç kalitesi sorunlarından frekans, genlik gibi özellikleri ile ayrılabilir. Ancak kırpışmayı ilginç kılan insan ile ilişkisidir. Genel olarak güç kalitesi sorunları enerji sistemine bağlı cihazlar ile ilgilidir. Yüksek miktarda güç kalitesi bozulması cihazın istenildiği gibi çalışmasını engeller, örneğin bir güç sisteminde ani gerilim yükselmesi durumunda o anda sistemden enerji çeken cihaz zarar görür. Gerilimin yükselme miktarına göre cihazın izolasyonu zayıflayabilir veya tamamen bozulabilir.

Ancak kırpışma için bu durum farklıdır. Bir enerji sisteminde kırpışmanın var olması durumunda o enerji sistemine bağlı aydınlatma aygıtlarının kullanıldığı ortamlarda bulunan insanlar etkilenir. Bu etkilenme kırpışmanın dozuna göre yalnız hissetme düzeyinde olabileceği gibi rahatsız olma düzeyine de çıkabilir.

Kırpışmanın insan üzerindeki etkisi bir çok parametreye bağlıdır. Bu parametrelere göre rahatsızlık miktarı artabilir veya azalabilir. Kırpışmanın insan üzerindeki etkisi kırpışmadan etkilenen insanlara, bu insanların buldukları ortama veya yaptıkları işlere göre değişir. Örneğin sürekli gözle kontrole dayanan bir işi yapan insanın kırpışmalardan etkilenme miktarı beden gücüne dayanan bir işi yapan insanın etkilenme miktarından fazladır. Kırpışmanın insan üzerinde yaptığı etkinin sonuçları da değişkendir. Evlerde veya ofislerde kırpışma etkisi sonucu performans düşüklüğü oluşurken tehlikeli işlerin yapıldığı sanayi kuruluşlarında önemli kazaların oluşmasına neden olacak dikkat dağılımları gözlenebilir. Örneğin bir fabrikadaki vinç operatörünün dikkatinin dağılması büyük maddi ve manevi kayıplı kazalara neden olabilir. Şekil 4.1’de ark ocağının neden olduğu gerilim dalgalanması görülmektedir.



Şekil 4.1. Ark ocağının neden olduğu gerilim dalgalanması.

4.1.1 Kırpışma etkileri

Kırpışmaya periyodik aşırı güç çeken cihaz veya yükler neden olur. Cihazlar üzerinde kalıcı bir hasara neden olmamakla birlikte, kırpışma insanları etkileyen ergonomik bir faktördür. Bir güç sisteminde kırpışmanın etkileri iki şekilde görülebilir.

1. Aydınlatma aygıtlarının beslendiği sistemdeki gerilim değişimi (dalgalanma).
2. Işık parıltısındaki değişiminin insanı rahatsız edecek seviyeye ulaşması.

4.2. Kısa Süreli Kırpışma Göstergesi, P_{st}

Kısa bir periyot (dakikalar mertebesinde) boyunca değerlendirilen kırpışma şiddet derecesi. $P_{st}=1$, konvansiyonel aşırı hassasiyet eşiği [14].

4.3. Uzun Süreli Kırpışma Göstergesi, P_{lt}

Art arda gelen P_{st} değerlerini kullanmak suretiyle uzun bir periyot (bir kaç saat) boyunca değerlendirilen kırpışma şiddet derecesi [14].

4.4. Gerilim Dalgalanmaları ve Kırpışma

Düşük gerilim şebekelerindeki gerilim dalgalanmaları, değişken yükler, trafo kademe değiştiricilerinin çalışması ve besleme sisteminin ya da besleme sistemine bağlanan cihazların çalışma ayarları nedeniyle oluşur.

Normal şartlarda, hızlı gerilim değişimlerinin değeri, anma besleme geriliminin % 3'ü ile sınırlıdır. Ancak % 3'ü geçen 'adım gerilim değişimleri', kamuya ait besleme şebekesinde nadiren ortaya çıkabilir.

İlave olarak, istisnaî yük değişimlerini ya da anahtarlama işlemlerini takiben, yüksek gerilim-orta gerilim trafolarındaki yük altındaki kademe değiştiricileri çalışana kadar, birkaç on saniye boyunca normal çalışma tolerans değerleri (örneğin, beyan edilen besleme geriliminin \pm % 10'u gibi) dışında gerilim değişimlerinin olması mümkündür.

Düşük gerilim şebekelerindeki gerilim dalgalanmaları kırpışmaya neden olabilir. Kırpışma şiddeti, IEC 61000-4-15'e göre ölçülür ve IEC 61000-3-3 standardına göre değerlendirilir. Kırpışma şiddeti, hem kısa dönem hem de uzun dönem etkilerine göre hesaplanır.

P_{st} ile gösterilen kısa dönem şiddet seviyesi, 10 dakikalık bir periyot için belirlenir. Şekil 4.2'de, farklı tekrarlama hızlarındaki dikdörtgen biçimli gerilim değişimlerinin neden olduğu, Standard lâmbalara ilişkin müsaade edilebilen kırpışmanın eşik değer eğrisi gösterilir. Bu eğri, $P_{st} = 1$ 'e karşılık gelir.

Dikdörtgen biçimli olmayan gerilim dalgalanmalarından kaynaklanan kırpışmanın şiddeti, IEC 61000-3-3 standardında belirtildiği gibi, bir kırpışma ölçerle ölçme yapılarak ya da düzeltme faktörlerinin uygulanmasıyla bulunabilir.

P_{lt} ile gösterilen uzun dönemli şiddet seviyesi, iki-saatlik bir periyot için hesaplanır. P_{lt} değeri, 12 ardışık her biri 10 dakikalık periyot için, P_{st} değerlerinden aşağıdaki gibi elde edilir.

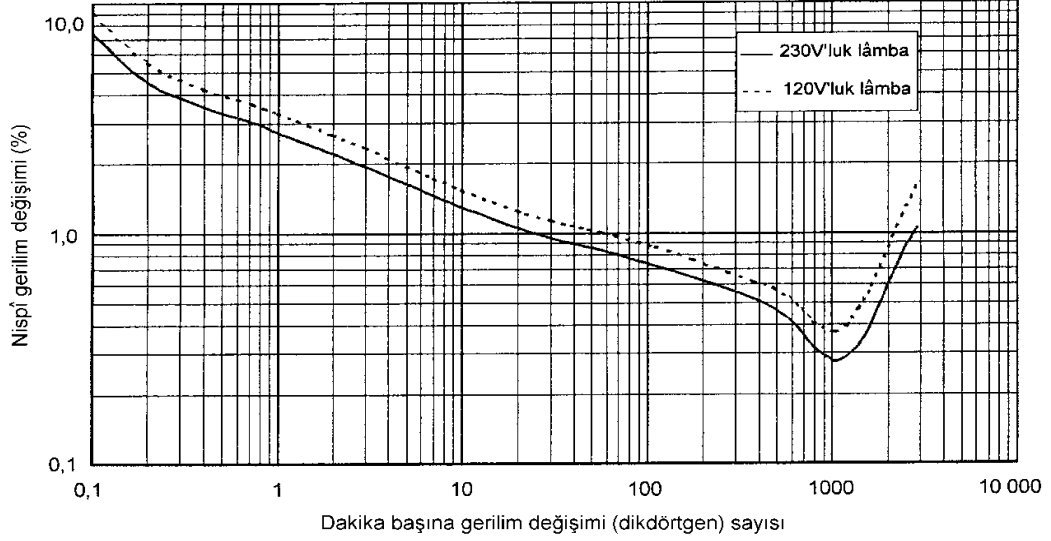
$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \times \sum_{i=1}^{12} P_{sti}^3}$$

Burada P_{sti} ($i = 1, 2, \dots, 12$), P_{st} 'nin 12 ardışık değeridir (IEC 61000-4-15'e bakılmalıdır).

Uyumluluk seviyeleri, şu şekildedir:

Kısa dönem: $P_{st} = 1$,

Uzun dönem: $P_{lt} = 0,8$ [13].



Şekil 4.2. Kırpışma - Düşük gerilimli güç besleme sistemlerindeki dikdörtgen biçimli gerilim değişimleri için eşit şiddet eğrisi ($P_{st} = 1$)

4.4.1. Kısa süreli kırpışma değerinin değerlendirilmesi, P_{st}

Çeşitli gerilim dalgalanması tiplerinden kaynaklanan P_{st} 'lerin değerlendirilmesi için alternatif metotlar, Çizelge 4.1' de verilmiştir [14].

Çizelge 4.1. Değerlendirme Metotları

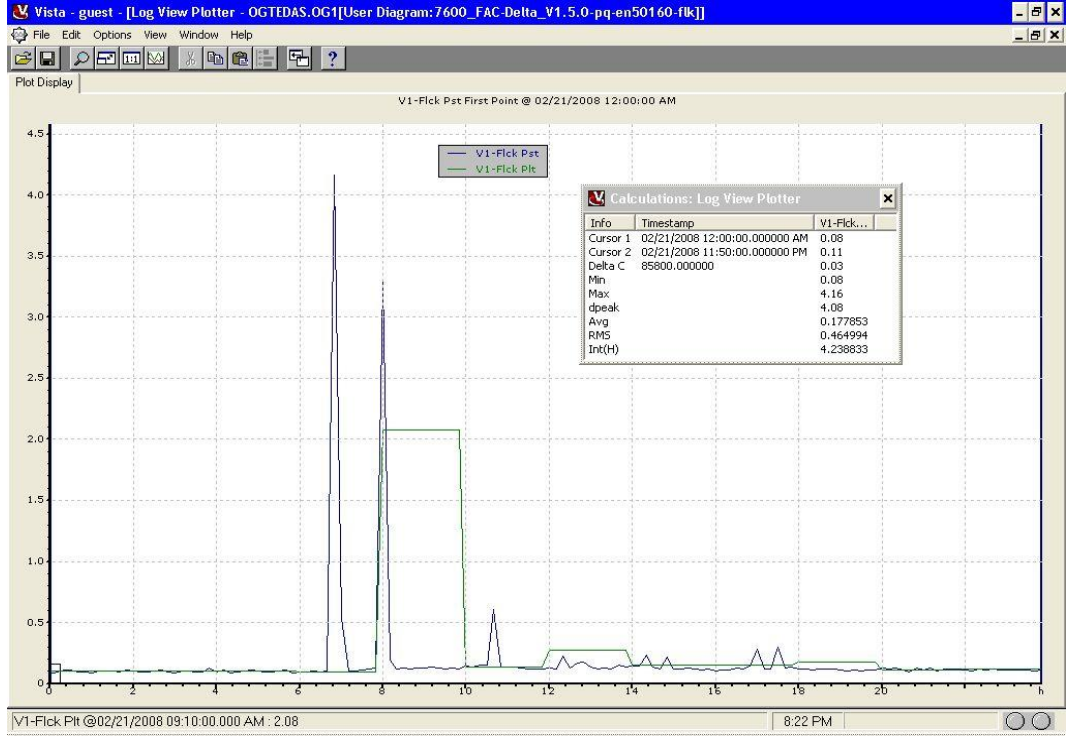
Gerilim Dalgalanması Tipi	P_{st} Değerlendirme Metotları
Bütün gerilim dalgalanmaları (anlık değerlendirme)	Doğrudan ölçme
$U(t)$ 'nin tarif edildiği yerlerdeki bütün Gerilim dalgalanmaları	Simülasyon Doğrudan ölçme
Saniyede 1'den daha düşük bir oluş hızına sahip gerilim değişimi karakteristikleri	Analitik metot Simülasyon Doğrudan ölçme
Eşit aralıklarda dikdörtgen şeklinde Gerilim değişimleri	Şekil 4.2'deki $P_{st}=1$ eğrisinin kullanılması

4.4.1. 1. $P_{st}=1$ eğrisinin kullanılması

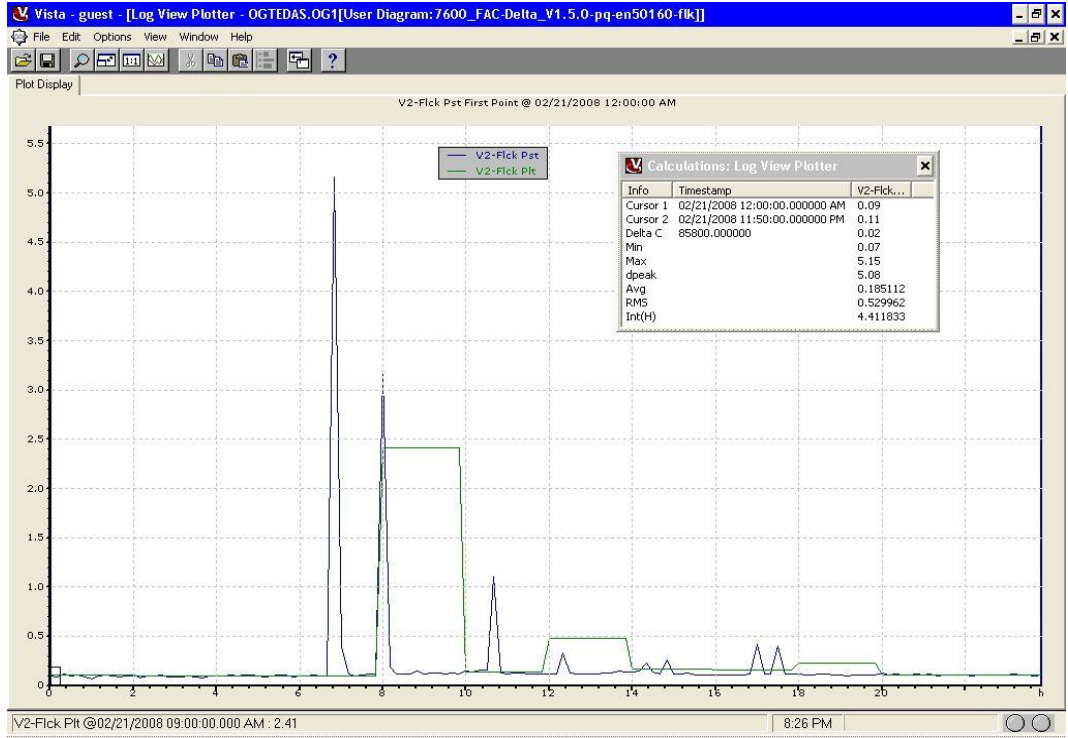
Eşit zaman aralıkları ile ayrılmış, aynı “ d ” genliğine sahip dikdörtgen biçimindeki gerilim değişimlerinin olması halinde, belli bir tekrarlama hızı için $P_{st}=1$ ’ e karşılık gelen genliği elde etmek için Şekil 4.2’ deki eğri kullanılabilir. Bu genlik, d_{lim} ile gösterilir. Bu durumda “ d ” gerilim değişimine karşılık gelen P_{st} değeri, $P_{st}=d/d_{lim}$ formülü ile verilir [14].

4.5. Gerçek Zamanda Tespit Edilen Kırpışma Örnekleri(Flicker)

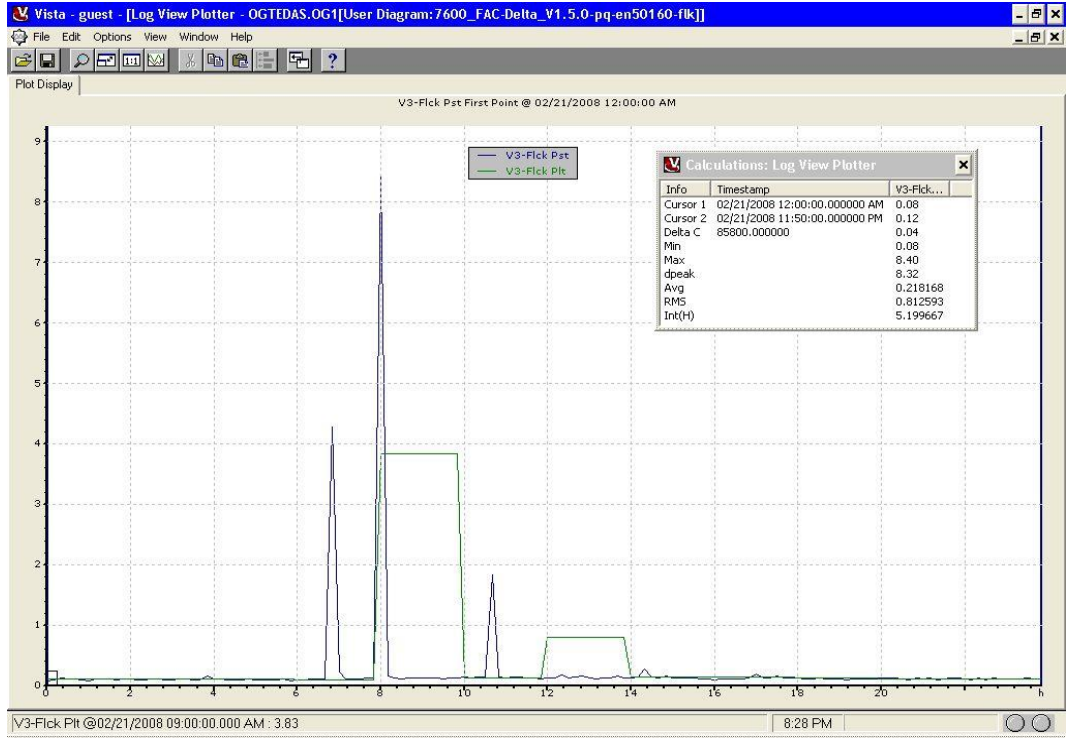
Eskişehir İli kent merkezinde güç kalitesi olaylarının belirlenmesine ilişkin yapılan ölçümlerde, besleme hattına bağlı bulunan analiz cihazları ile gerçek zamanda yapılan ölçümlerde Standartların üzerinde değerlere sahip kırpışmalar tespit edilmiştir. Tespitler sonucunda dağıtım sisteminde kırpışmanın çok fazla görülmediği görülmüştür. Tespit edilen kırpışmalara ilişkin örnek şekiller aşağıda verilmiştir. Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5 de görüldüğü gibi besleme hattında 21.02.2008 tarihinde meydana gelen kırpışmaya ait P_{st} maksimum değeri 8,40 ve P_{lt} maksimum değeri 3,83 dür. ($P_{st}=8,40>1$, $P_{lt}=3,83>0,8$) Kırpışma tarihinde (21.02.2008) faz gerilimlerinde sırasıyla 06:44:00 AM, 06:47:52 AM, 07:57:43 AM saatlerinde 3 değişik zamanda kısa süreli gerilim düşmesi meydana gelmiştir. Meydana gelen kısa süreli gerilim düşmelerinden, 06:47:52 AM zamanında meydana gelene ilişkin gerilim ve akımın dalga şekli her bir faz için Şekil 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11 de verilmiştir. Meydana gelen bu kısa süreli gerilim düşümleri ve gerilim dalgalanmaları Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5 de görülen kırpışmayı meydana getirmiştir. Standartlara göre müsaade edilen kırpışma şiddeti sınır değerleri $P_{st} \leq 1$ ve $P_{lt} \leq 0,8$ dir. Meydana gelen kırpışma standartların üzerinde bir değere sahiptir.



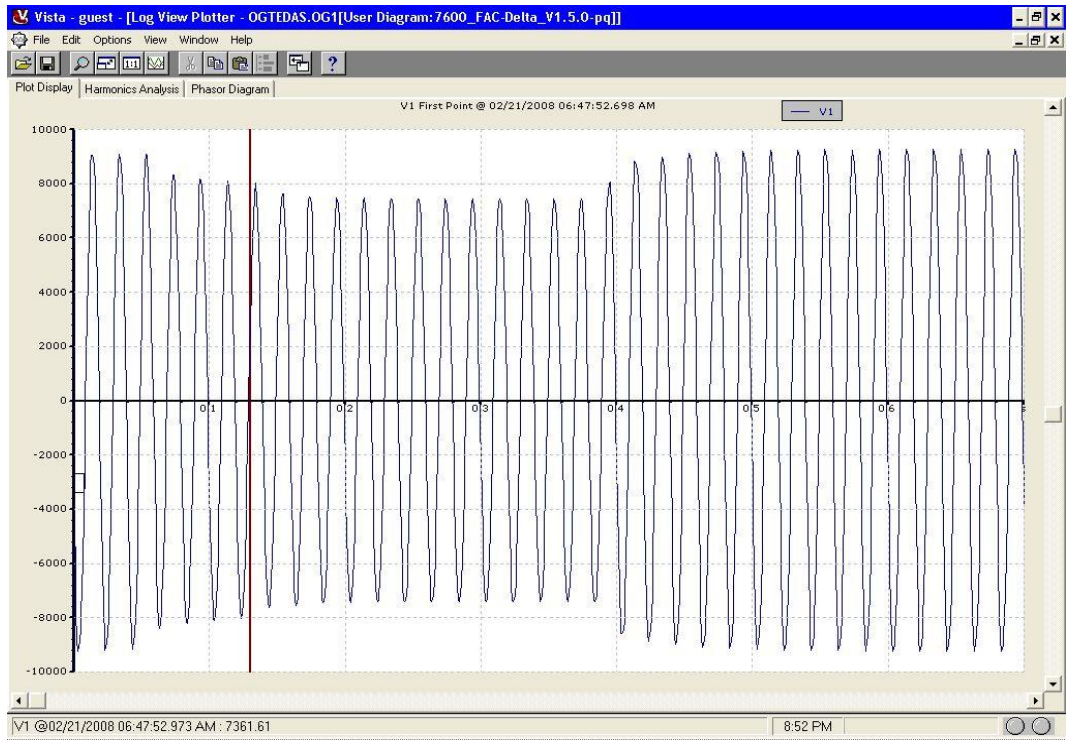
Şekil 4.3. 21.02.2008 tarihinde besleme hattında V1 geriliminin kırpışma (Pst ve Plt) değerlerinin değişimi.



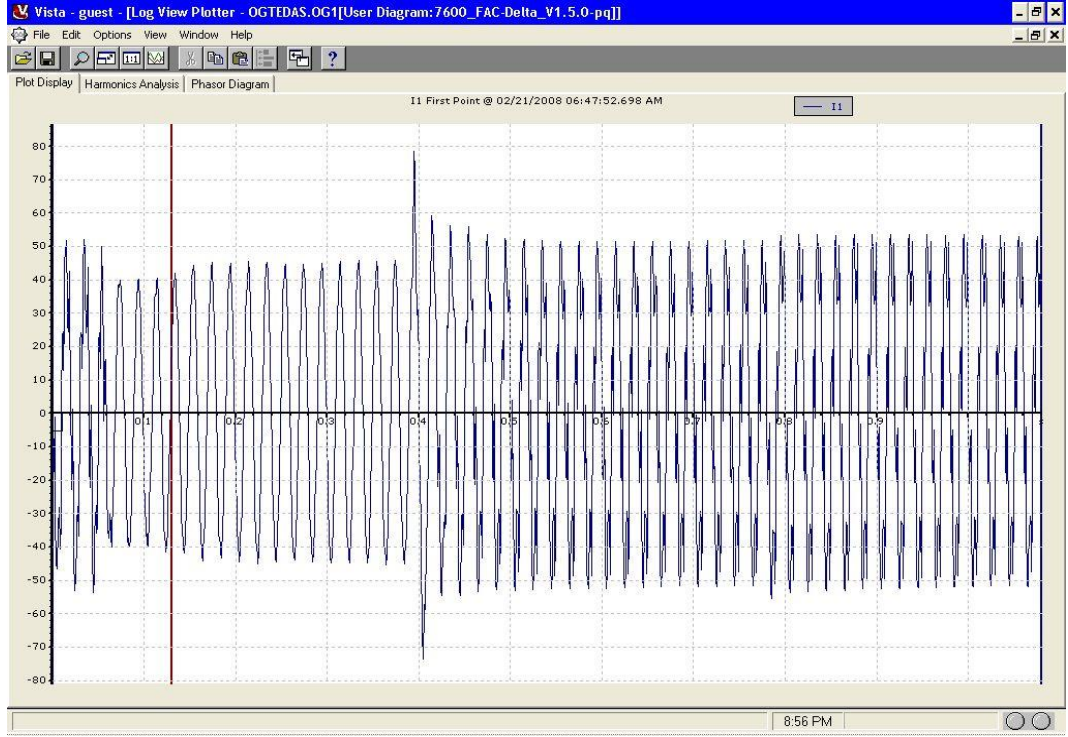
Şekil 4.4. 21.02.2008 tarihinde besleme hattında V2 geriliminin kırpışma (Pst ve Plt) değerlerinin değişimi.



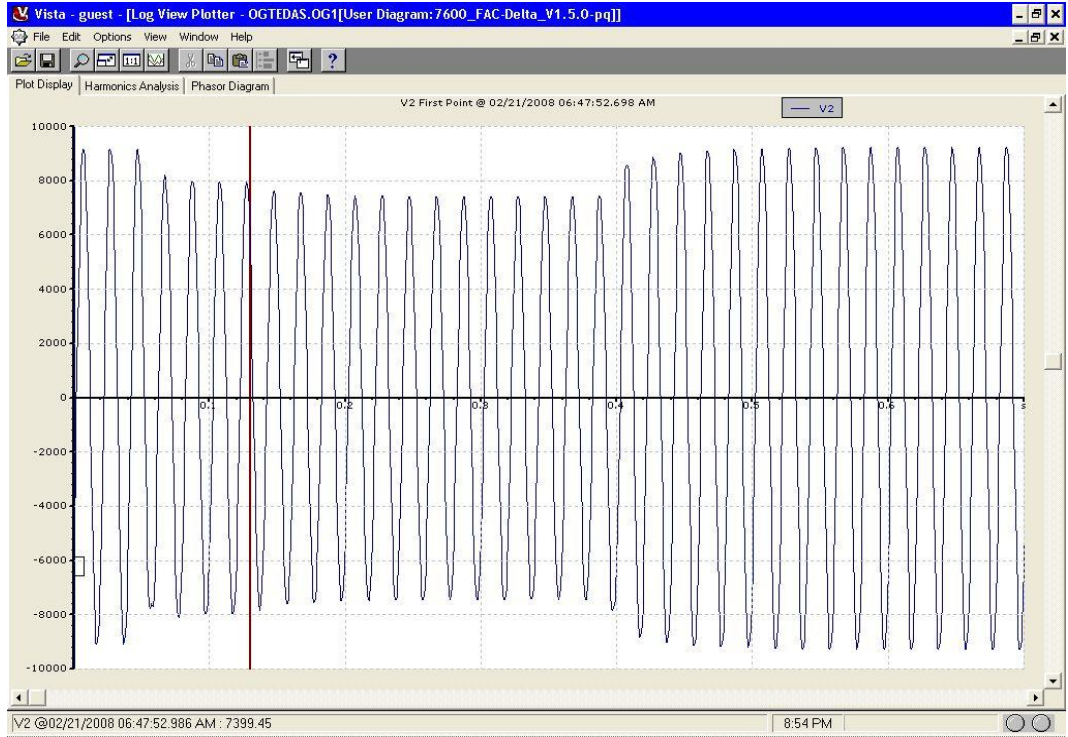
Şekil 4.5. 21.02.2008 tarihinde besleme hattında V3 geriliminin kırışma (Pst ve Plt) değerlerinin değişimi.



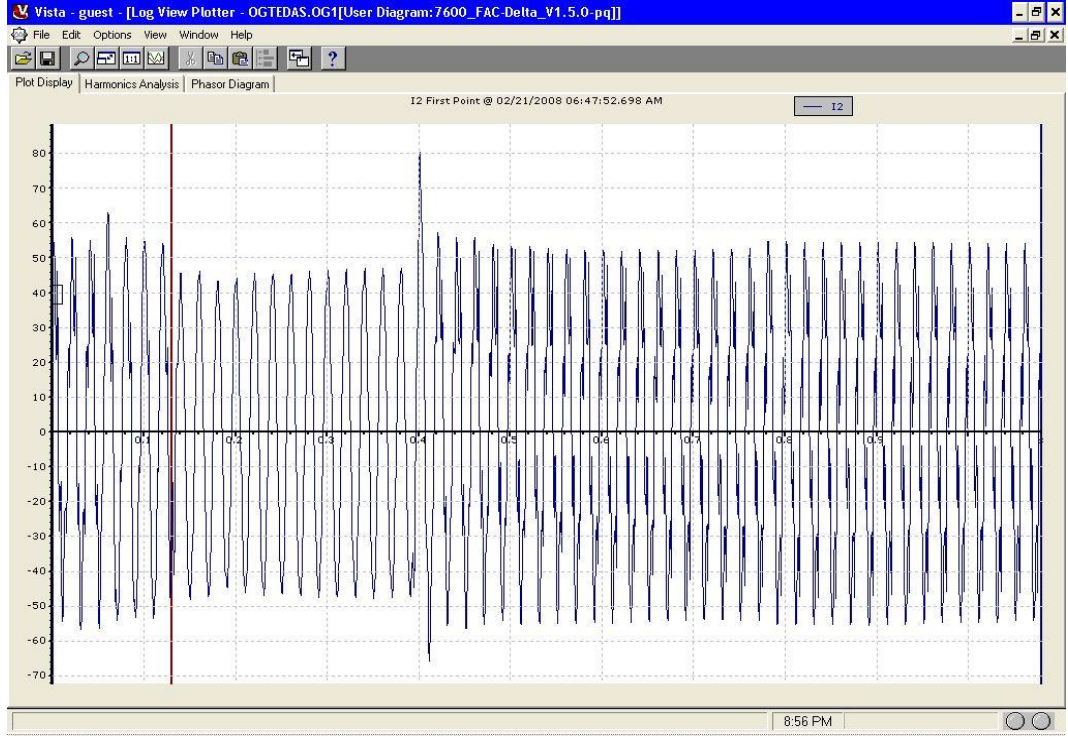
Şekil 4.6. 21.02.2008 tarihinde 06:47:52 zamanında besleme hattında V1 geriliminin değişimi.



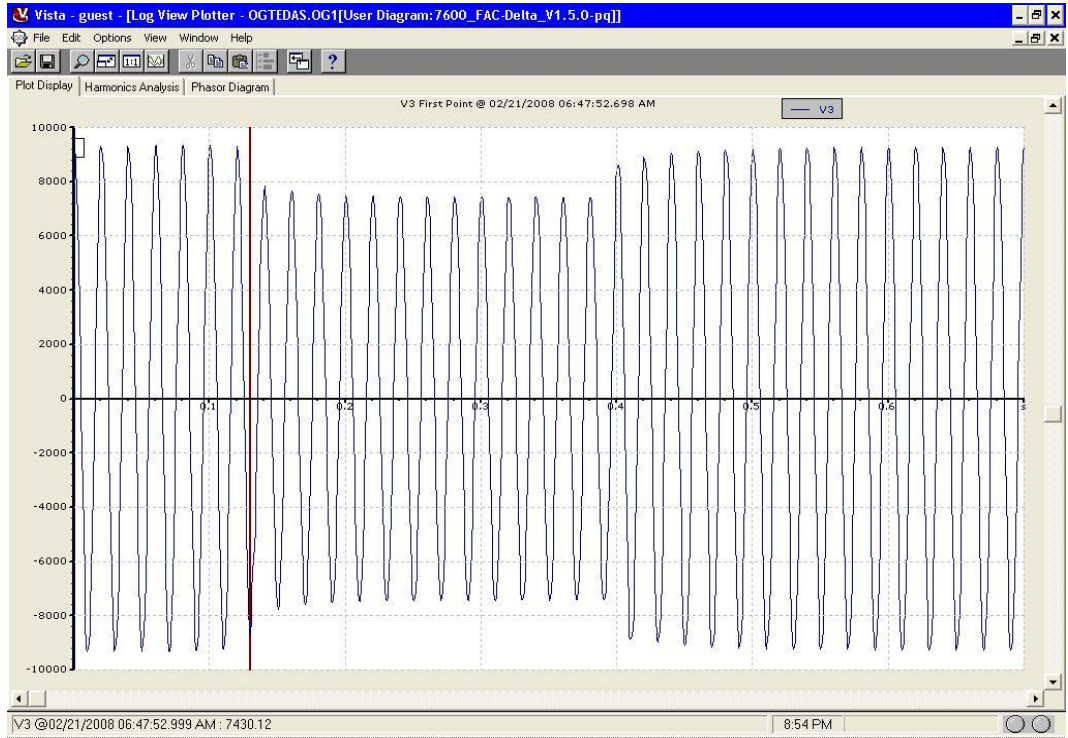
Şekil 4.7. 21.02.2008 tarihinde 06:47:52 zamanında besleme hattında I1 akımının değişimi.



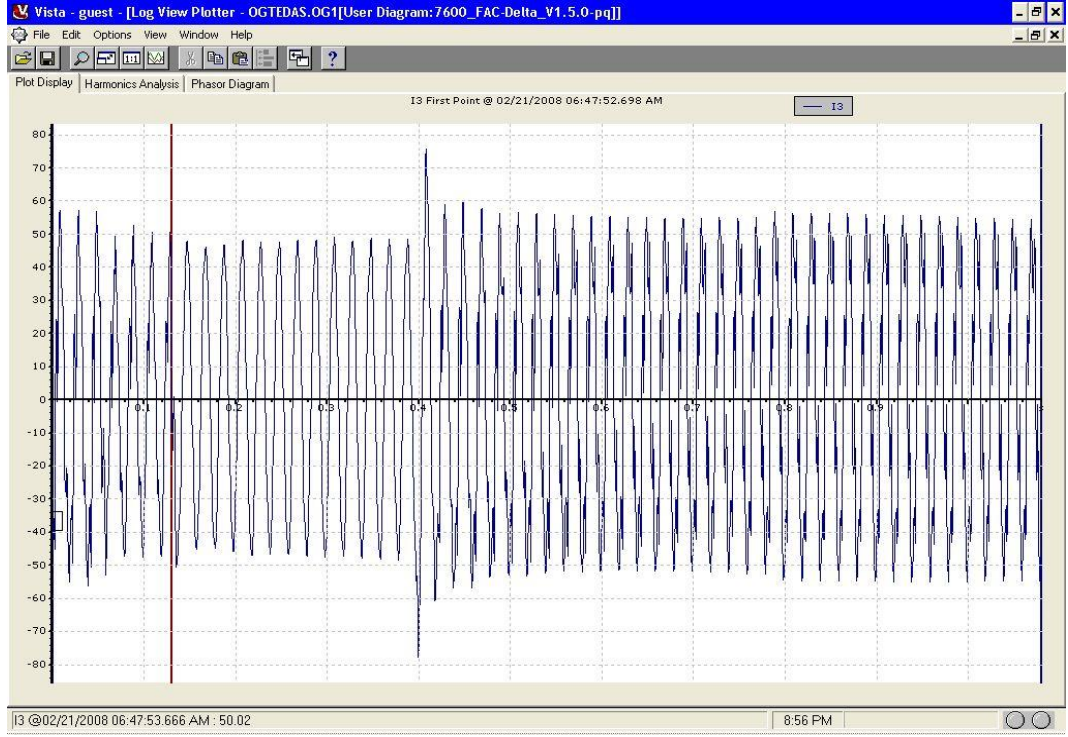
Şekil 4.8. 21.02.2008 tarihinde 06:47:52 zamanında besleme hattında V2 geriliminin değişimi.



Şekil 4.9. 21.02.2008 tarihinde 06:47:52 zamanında besleme hattında I2 akımının değişimi.



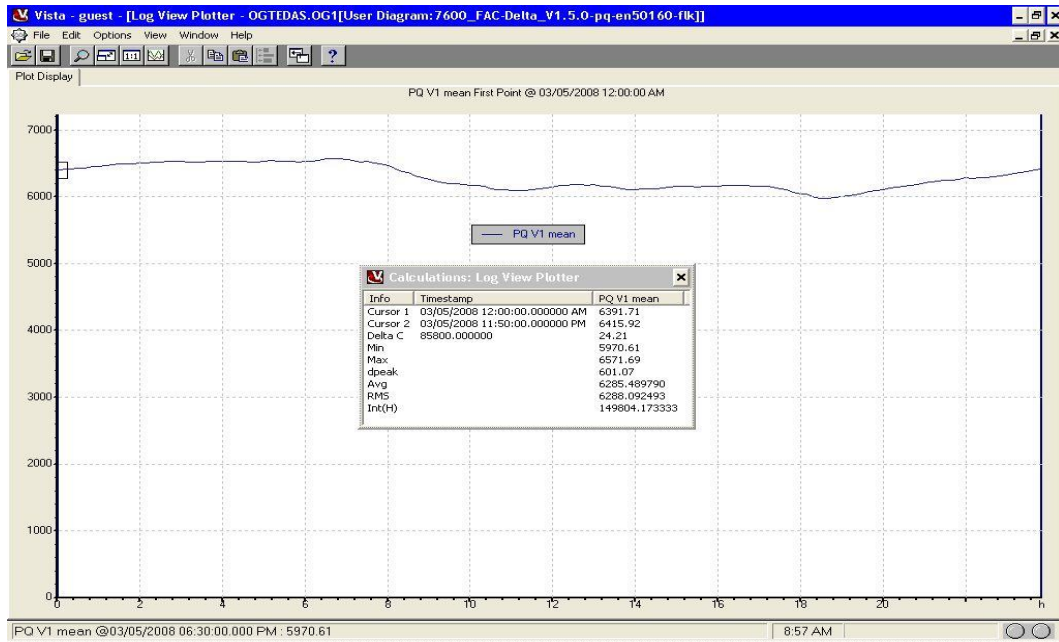
Şekil 4.10. 21.02.2008 tarihinde 06:47:52 zamanında besleme hattında V3 geriliminin değişimi.



Şekil 4.11. 21.02.2008 tarihinde 06:47:52 zamanında besleme hattında I3 akımının değişimi.

5. GERÇEK ZAMANDA YÜK-GERİLİM DEĞİŞİMİNE İLİŞKİN TESPİTLER

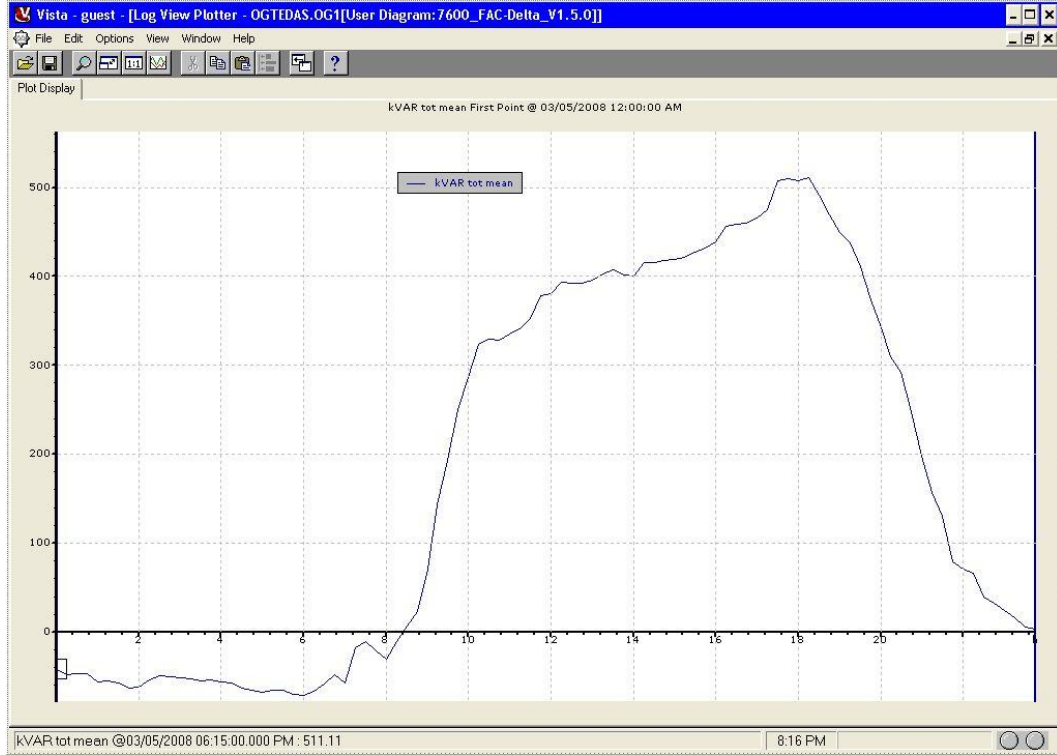
Gerçek zamanda, besleme hatlarına bağlı bulunan analiz cihazları ile yük değişimi ve buna karşılık gerilimde meydana gelen değişim izlenmiştir. Gözlem sonucunda besleme hattında 05.03.2008 tarihindeki gerilim değişimi ve aktif, reaktif ve görünür yük değişimleri Şekil 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4 'deki gibi tespit edilmiştir. Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4 de tespit edilen yük değişimlerine karşılık, gerilimin yükün azaldığı zamanlarda yükseldiği, yükün arttığı zamanlarda düştüğü görülmüştür (Şekil 5.1). Aslında dağıtım şirketine enerji tedarik eden kuruluşun otomatik olarak, yükün arttığı zamanlarda güç trafolarının kademelerini düşürerek gerilimi istenen değere yükseltmeleri, yükün azaldığı zamanlarda da güç trafolarının kademelerini yükselterek gerilimi istenen değere düşürmeleri gerekmektedir. Gerilimin istenen seviyede tutulamaması, yükün az olduğu gece yarısından mesai başlama saatine kadar geçen sürede uzun süreli gerilim yükselmelerine, yükün çok olduğu diğer zaman diliminde gerilim düşümlerine sebep olmaktadır. Bu durum kullanıcıları olumsuz yönde etkilemektedir. Örneğin, gerilimin yükselmeleri ve düşmeleri sırasında endüstride kullanılan hassas makinelerin otomatik olarak çalışmasını durdurarak kendilerini korumaya almaları üretimi olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 5.1. 05.03.2008 tarihinde besleme hattında V1 geriliminin değişimi.



Şekil 5.2. 05.03.2008 tarihinde besleme hattında Yük (kW) değişimi.



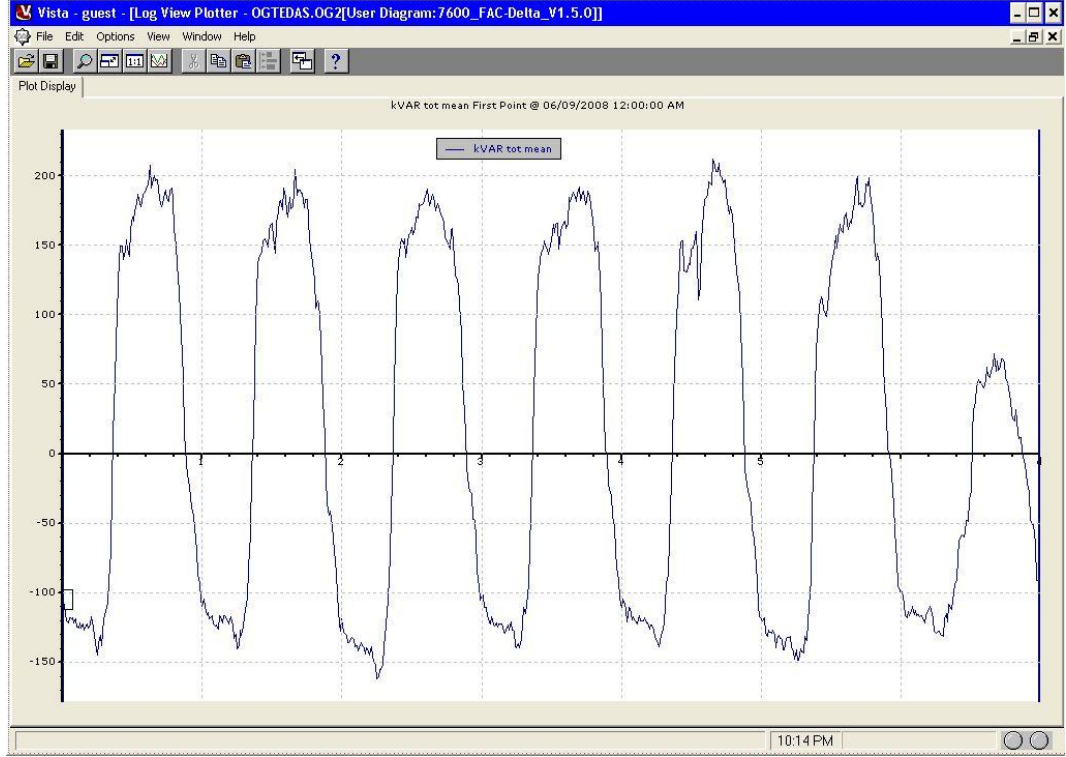
Şekil 5.3. 05.03.2008 tarihinde besleme hattında Yük (kVAR) değişimi.



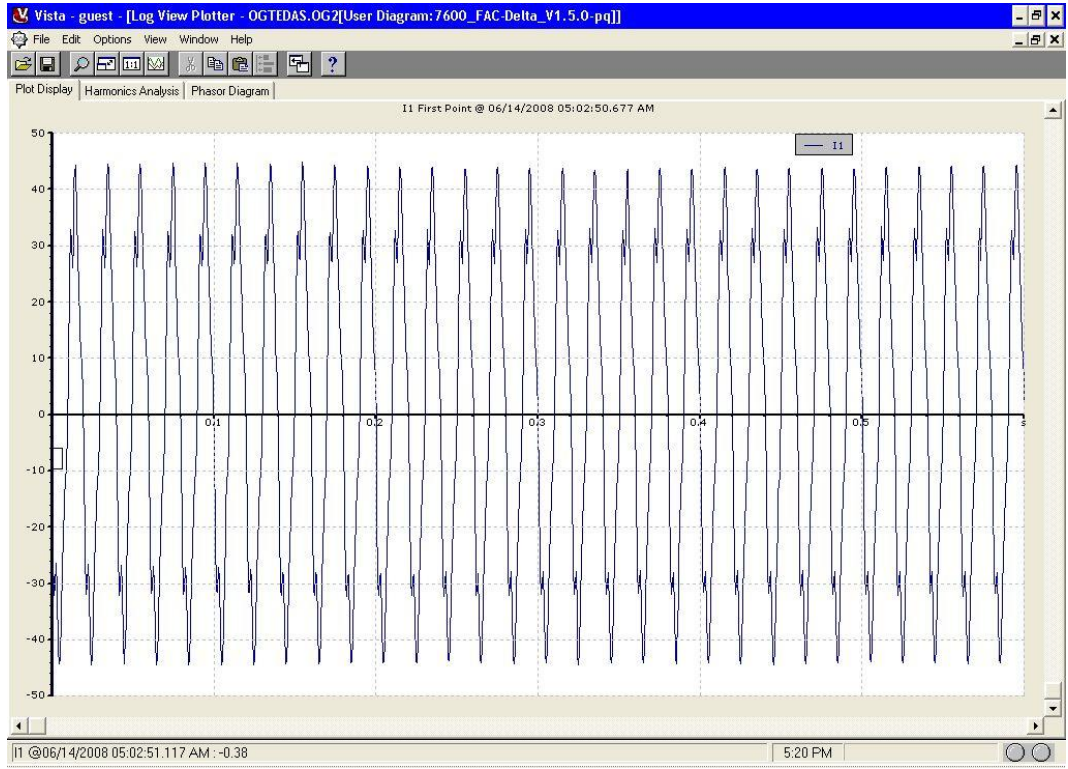
Şekil 5.4. 05.03.2008 tarihinde besleme hattında Yük (kVA) eğişimi.

Eskişehir kent merkezi yapılaşma karakteri göz önüne alındığında konut ve iş yerlerinin bir arada bulunduğu bir yapıdadır. Dolayısıyla hemen tüm besleme hatlarında hem gece hem de gündüz belirgin bir yük mevcuttur. Bununla beraber, OG2 ve OG3 besleme hatlarının üzerindeki yükler tümüyle işyerlerini kapsamakta ve bu yapılarıyla gece ile gündüz arasında çok farklı bir yük eğrisine sahiptirler. Bu durum, özellikle statik güç faktörü kompanzasyonunun yapılması durumunda ortaya çıkan istenmeyen etkilerin gerçek zamanda izlenebilmesine olanak vermiştir. OG2 ve OG3 besleme hatlarındaki bir haftalık reaktif yük değişimi Şekil 5.5 ve 5.7 deki gibi tespit edilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi, sistemde besleme hattı üzerinde bulunan Dağıtım Şirketine ait her transformatörün gücünün %10 civarında yapılan statik kompanzasyon nedeniyle, yükün azaldığı 09:00 (civarı) akşam saatlerinden başlayarak sabah 08:30'a kadar sisteme kapasitif güç verilmektedir. Kompanzasyon devreye girdiği zaman kapasitif reaktansın harmonik mertebesi ile ters orantılı azalması nedeniyle kondansatörün bağlı olduğu baranın harmonik akımları yükselir, kondansatör aşırı akıma maruz kalır. Reaktif güç kompanzasyonu yapılması sebebiyle akımın temel bileşeni azalır. Tüm bunlar kompanzasyon devreye girdikten sonra akımın dalga şeklinin daha çok bozulmasına dolayısıyla

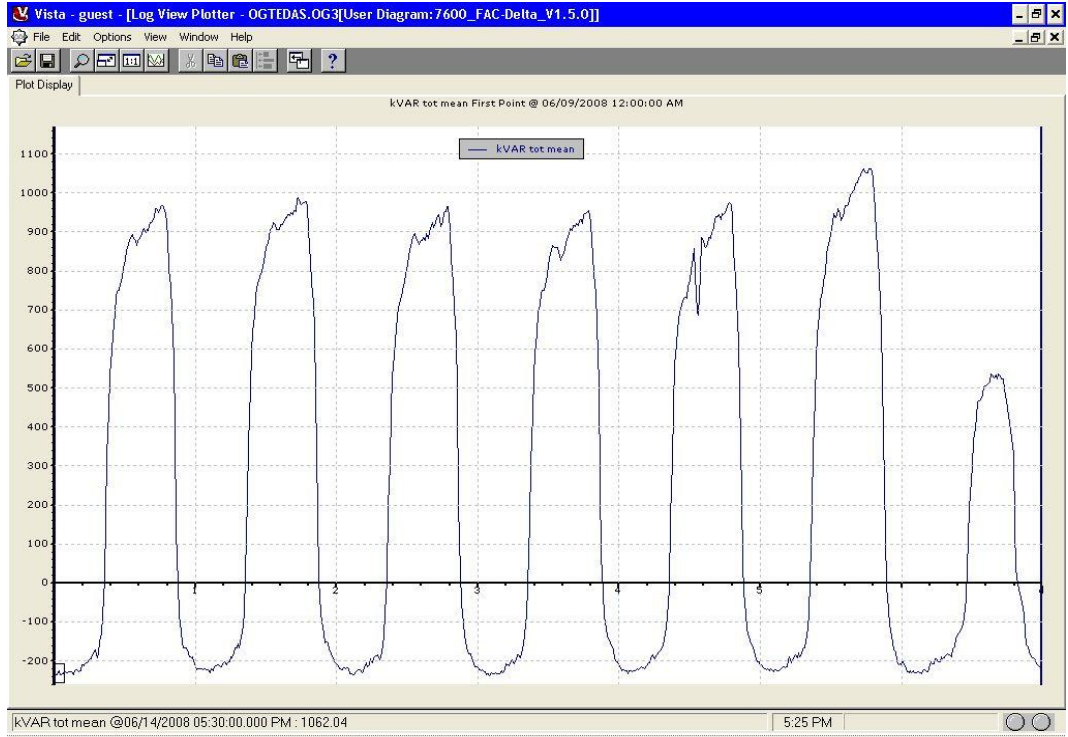
devredeki akım bozulmasının ve gerilim bozulmasının yükselmesine neden olur. Şekil 5.6 ve 5.8'de görüldüğü gibi yükün azalması ve kompanzasyon kondansatörleri tarafından sisteme kapasitif güç verilmesi bunun yanı sıra transformatörün doğrusal olmayan mıknatıslanma akımının daha baskın olması nedeniyle akımın dalga şekli bozulmuş ve harmonik bozulma değerleri artmıştır. Bu sorunun çözülebilmesi için filtreli aktif kompanzasyonun yapılması gerekmektedir.



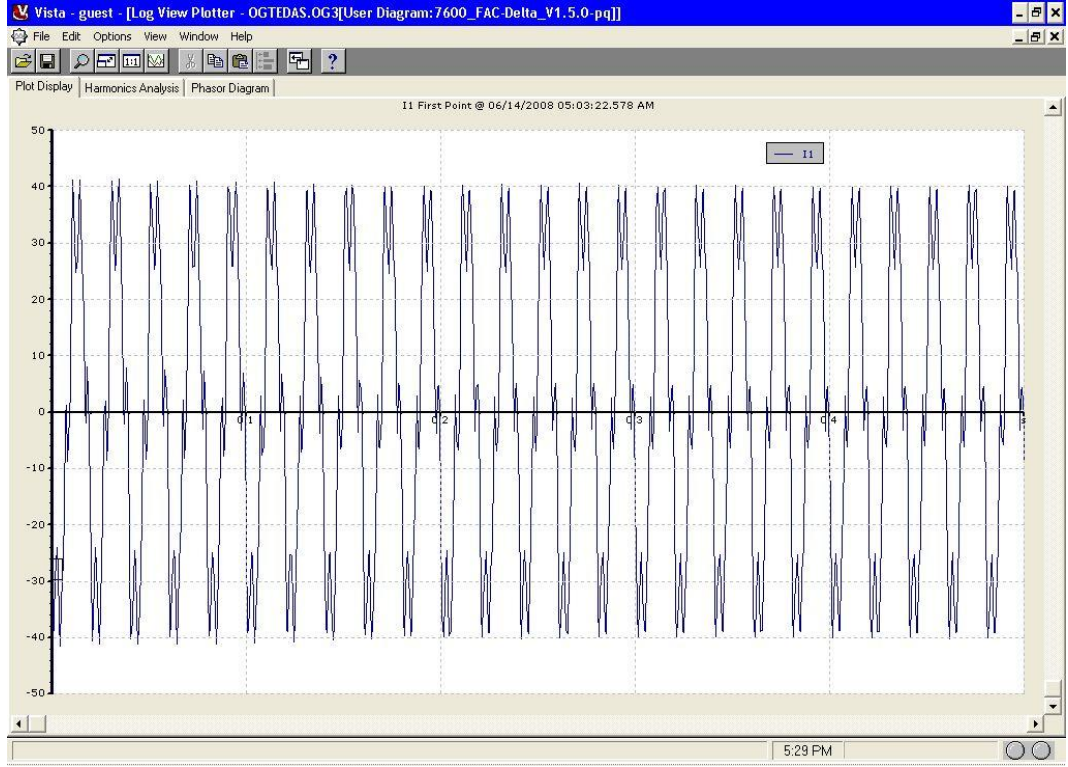
Şekil 5.5. 09.06.2008 ile 15.06.2008 tarihleri arasında bir haftalık OG2 besleme hattında Reaktif Yük (kVAR) değişimi.



Şekil 5.6. 14.06.2008 05:02:50 zamanında güç faktörünün (PF) kapasitif olduğu durumda OG2 besleme hattında akımın dalga şekli.



Şekil 5.7. 09.06.2008 ile 15.06.2008 tarihleri arasında bir haftalık OG3 besleme hattında Reaktif Yük (kVAR) değişimi.



Şekil 5.8. 14.06.2008 05:03:22 zamanında güç faktörünün (PF) kapasitif olduğu durumda OG3 besleme hattında akımın dalga şekli.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Güç kalitesinin hayatımızın her bölümünde son derece önemli olduğu ve gün geçtikçe kullanılan yeni teknoloji cihazlarla daha da önem kazandığı görülmektedir. Bu nedenle öncelikle güç kalitesini bozucu olaylar tespit edilmeli daha sonra tespit edilen bozucu olayların ortadan kaldırılması için gerekli çalışmalar yapılmalıdır.

Bu çalışmada gerçek sistemlerden toplanan verilerle güç kalitesi bozucu olaylar gerçek zamanda izlenmiş ve güç kalitesi konusundaki ulusal olarak da kabul edilmiş olan standartlar çerçevesinde analiz edilerek değerlendirilmiştir.

Yapılan ölçümler sonucunda bir çok güç kalitesi bozucu olayın İletim Sisteminden kaynaklandığı görülmüştür. İletim Şirketi tarafından gerilimin sürekli olarak istenilen değerde tedarik edilememesi, yükün çok olduğu zamanlarda gerilim düşmelerine, yükün az olduğu zamanlarda gerilim yükselmelerine neden olmaktadır. Bu durum kullanıcıları olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sorun İletim Şirketi tarafından Dağıtım Şirketlerine enerji vermek için kullanılan 154kV/34.5kV indirici transformatörlerin kademelerinin, gerilim değerine göre otomatik olarak değiştirilerek gerilim değerinin istenilen seviyede tutulmasının sağlanması ile çözülebilir. Ayrıca Dağıtım Şirketi tarafından kullanılan 34,5/6,3 KV indirici transformatörlerinde kademeleri değiştirilerek gerilim istenilen değerde tutulması sağlanabilir. Fakat Dağıtım Şirketi tarafından kullanılan indirici transformatörlerin (TR1, TR2) kademelerinin yük altında değiştirilme özelliğinin olmaması sebebiyle bu mümkün değildir.

Ölçümler Dağıtım Şirketinin 6,3 kV ile dağıtım yaptığı bölgede yapılmıştır. Ülkemizde dağıtımın %90' nı 34,5kV gerilim seviyesinde 34,5kV/0,4kV' luk transformatörlerle yapılmaktadır. 6,3 kV gerilim seviyesinde dağıtım yapmak 34,5 kV ile dağıtım yapmaktan daha zor ve pahalıdır. Bunun sebepleri; 6,3kV dağıtımda iletim şirketi tarafında 34,5kV olarak verilen gerilimin 6,3kV' a düşürülmesi için 34,5kV/6,3kV' luk indirici transformatörlerin tesis edilmesi gerekmektedir. Bu tesislerin yapılması ve bakımı Dağıtım Şirketine ilave maliyet getirmektedir. 6,3kV gerilim seviyesindeki dağıtım akımlarının yüksek olması hat kayıplarının artmasına, kullanılan koruma cihazlarının akım değerlerinin büyük olması ve buna bağlı olarak

kullanılan kablo ve iletkenlerin kalın ve pahalı olması işletmeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Kullanılan ilave indirici transformatörler ve yüksek akımlar harmonik bozulmaları artırarak güç kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Dağıtım Şirketi tarafından 6,3 kV ile dağıtım yapılan yerlerde gerekli yatırımlar yapılarak 34,5kV gerilim seviyesinden dağıtım yapılması, işletmenin rahat bir şekilde yapılmasını ve bozucu etkilerin azalmasını sağlayacaktır.

Yapılan tespitlerde sistemde meydana gelen geçici olayların (Transient) iletim sisteminde kullanılan büyük güçlü kondansatör gruplarının devreye alınması nedeniyle meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle iletim sisteminde değişik sebeplerle kullanılan büyük güçlü kondansatör gruplarının dağıtım şirketlerini etkilemeyecek şekilde kontrollü olarak devreye alınmasının sağlanması gerekmektedir.

Tespit edilen kısa süreli gerilim düşmelerinin 6.3 kV' luk transformatörleri besleyen 34.5 kV' luk üçgen bağlı dağıtım hatlarında ya da 154 kV' luk iletim hattında oluşan bir hata yada ani olarak çok yüksek güçlü bir yükün devreye girmesi nedeniyle oluştuğu anlaşılmaktadır. Bu durum 6.3 kV' luk hattan çekilen faz akımlarının genliklerinin de aynı şekilde olay esnasında azalmalarından anlaşılmaktadır. 154 kV dışında dağıtım sisteminde meydana gelebilecek aşırı akımların akmasına ve gerilim çökmelerine neden olabilecek arızaların, hassas elektronik koruma röleleri kullanılarak ve ileri derecede röle koordinasyonları yapılarak önlenmesi mümkündür. Dağıtım şirketinde kullanılan rölelerin çoğunun elektronik röle olmaması ve rölelerin farklı firma ürünü röleler olması nedeniyle röle koordinasyonu istenilen şekilde yapılamamaktadır. Bu nedenle arızalar kısa sürede temizlenemeyip diğer dağıtım bölgelerini olumsuz yönde etkilemesine engel olunamamaktadır.

Faz toprak arızalarının ve buna benzer diğer kullanıcıları etkileyen olayların sık meydana geldiği hatlar tespit edilerek (Örneğin; birçok köyün beslendiği ve üzerinden ayırıcı ile yeterince koruma yapılmadan enerji alınan köy havai hatları.) aynı baradan iletim sisteminden enerji alan dağıtım sistemindeki diğer kullanıcılara (organize sanayi bölgeleri gibi hassas makinelere sahip kullanıcılar) ait hatların baraların ayrılması ile arızaların diğer kullanıcıları etkilemesinin önüne geçmek mümkündür. Bara ayırma işlemi hatların farklı

154kV/34,5kV indirici trafolarından ayrı baralardan beslenmesi şeklinde yapılmaktadır.

Havai hatlarda, rüzgar, kar, buz yükü v.b. doğal olaylara maruz kalmaları nedeniyle yer altı şebekelerinden daha fazla arıza meydana gelmektedir. Havai hatlarda faz-faz ve faz-toprak arızaları sıkça görülmektedir. Bu nedenle mümkün olduğu ölçüde havai hat yerine yer altı şebekesi tesis edilmeli ve güç kalitesini bozan arızaların sayısı azaltılmalıdır. Son birkaç yıldır İlçe elektrik dağıtım hatlarının bile yer altına alınması Avrupa Birliği tarafından desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Lin, T. and Domijan, A., "On Power Quality Indices and Real Time Measurement", IEEE Transactions on Power Delivery, **20** (4), October 2005.
- [2] Sabin, D.D. ve ark., "Indices for Assessing Harmonic Distortion from Power Quality Measurements: Definitions and Benchmark Data", IEEE Transactions on Power Delivery, **14** (2), April 1999.
- [3] Heydt, G.T., Jewell, W.T., "Pitfalls of Electric Power Quality Indices", IEEE Transactions on Power Delivery, **13** (2), USA, April 1998.
- [4] Hearth, H.M.S.C. ve ark., "Power Quality (PQ) Survey Reporting: Discrete Disturbance Limits", IEEE Transactions on Power Delivery, **20** (2), April 2005.
- [5] Shen, C.C., Lu, C.N., "A Voltage Sag Index Considering Compatibility Between Equipment and Supply", IEEE Transactions on Power Delivery, **22** (2), April 2007.
- [6] Shin, Y.J. ve ark., "Power Quality Indices for Transient Disturbances", IEEE Transactions on Power Delivery, **21** (1), January 2006.
- [7] Saied, M.M., "An Approach to the Assessment of Voltage Quality Based on a Modified Power Acceptability Curve", IEEE Transactions on Power Delivery, **22** (1), January 2007.
- [8] Olguin, G. ve ark., "An Optimal Monitoring Program for Obtaining Voltage Sag System Indexes", IEEE Transactions on Power Systems, **21** (1), February 2006.
- [9] Baran, M.B. ve ark., "Voltage Variation Analysis for Site-Level PQ Assessment", IEEE Transactions on Power Delivery, **19** (4), October 2004.
- [10] Martinez, J.A., Martin-Arnedo, J., "Voltage Sag Studies in Distribution Networks--Part III: Voltage Sag Index Calculation", IEEE Transactions on Power Delivery, **21** (3), July 2006.
- [11] Lu, C.N., Shen, C.C., "Estimation of Sensitive Equipment Disruptions Due to Voltage Sags", IEEE Transactions on Power Delivery, **22** (2), April 2007.

- [12] Kocatepe C. ve ark., *Enerji Kalitesi ve Harmonikler*, EMO Yayınları, Ankara, 2006.
- [13] Türk Standardları Enstitüsü, TS EN 61000-2-2 , TSE, Ankara, 2005.
- [14] Türk Standardları Enstitüsü, TS EN 61000-3-3 , TSE, Ankara, 2005.