

ENERJİ KALİTESİNİN İNTERNET TABANLI ÖLÇÜM VE ANALİZİ

Sertaç BAYHAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2008

ANKARA

Sertaç BAYHAN tarafından hazırlanan ENERJİ KALİTESİNİN İNTERNET TABANLI ÖLÇÜM VE ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Şevki DEMİRBAŞ
Tez Danışmanı, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. H. İbrahim BÜLBÜL
Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR
Enerji Tesisleri Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Şevki DEMİRBAŞ
Enerji Tesisleri Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 04.12.2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Sertaç BAYHAN

ENERJİ KALİTESİNİN İNTERNET TABANLI ÖLÇÜM VE ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Sertaç BAYHAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Aralık 2008

ÖZET

Bu çalışmada, enerji kalitesinin internet tabanlı ölçüm ve analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistemde gerekli akım ve gerilim bilgileri, tasarlanan bir ölçme kartı yardımıyla okunarak, eşzamanlı örnekleme özelliğine sahip bir veri toplama kartı aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayara aktarılan bu verilerin analizi LabVIEW programında hazırlanan yazılım yardımıyla eşzamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan yazılım yardımıyla ölçüm yapılan güç sistemine ait gerilim, akım ve güç eğrileri izlenebilmekte, gerilim ve akıma ait harmonik değerleri hesaplanarak ekranda görüntülenebilmektedir. Yazılım aracılığı ile ayrıca, ölçülen ve analiz edilen büyüklüklerin internet ortamına aktarılması sağlanmış ve bu sayede internet tabanlı bir enerji kalitesi görüntüleme sistemi elde edilmiştir. Uzaktan sisteme bağlanmak isteyen kullanıcı internet bağlantısı olan herhangi bir bilgisayardan sisteme bağlanarak ölçüm ve analizleri gerçek zamanlı olarak gerçekleştirebilmektedir. Gerçekleştirilen çalışma ile güncellenebilir, özgün ve ekonomik bir enerji kalitesi ölçüm sistemi elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 703.3.016
Anahtar Kelimeler : Enerji Kalitesi, Uzaktan Görüntüleme, LabVIEW
Sayfa Adedi : 79
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Şevki DEMİRBAŞ

INTERNET BASED MEASUREMENT AND ANALYSIS OF POWER QUALITY

(M.Sc. Thesis)

Sertaç BAYHAN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
December 2008**

ABSTRACT

In this study, internet based measurement and analysis of power quality has been realized. In the system current and voltage are measured using a measurement board and then measured values are transferred to the computer via simultaneous data acquisition board. Transmission of the data from data acquisition board to the computer and real-time analysis of them are achieved using software written in LabVIEW. With developed software voltage, current and power waveforms of the power system can be seen; voltage and current harmonic values are calculated and then plotted on the computer screen. Measured and analyzed values are transferred to the internet via web publishing tool. In order to obtain internet based power quality monitoring system. Any user who wishes to remote monitoring of the system can connect using every computer that has internet connection and realized measurement and analysis in real time. With the implemented system, useful, updatable, and low cost power quality measurement system has been obtained.

Science Code	: 703.3.016
Key Words	: Power Quality, Remote Monitoring, LabVIEW
Page Number	: 79
Adviser	: Assist. Prof. Dr. Şevki DEMİRBAŞ

TEŞEKKÜR

07/2007-37 kod ve “Enerji Kalitesinin İnternet Tabanlı Ölçüm ve Analizi” konulu projemi desteklediği için Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne teşekkür ederim. Çalışmalarımın tüm aşamalarında danışmanlığını, yol göstericiliğini esirgemeyen, edindiği engin bilgi ve tecrübeyi benimle paylaşmaktan çekinmeyen, değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Şevki DEMİRBAŞ’ a, tezim süresince bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEFA’ ya ve Öğr. Gör. Dr. Derya YILMAZ’ a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim sevgili aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE ENERJİ KALİTESİ.....	5
2.1. Güç Sistemlerinde Kullanılan Temel Tanımlar ve Kavramlar.....	5
2.1.1. Etkin değer (RMS)	5
2.1.2. Ortalama değer (Mean value)	6
2.1.3. Şekil (Form) faktörü.....	7
2.1.4. Tepe (Crest) faktörü	7
2.1.5. Telefon etkileşim faktörü (TEF)	8
2.1.6. Harmonikler	8
2.1.7. Toplam harmonik distorsiyonu (THD)	10
2.1.8. Toplam talep distorsiyonu (TTD)	11
2.1.9. Güç faktörü	11
2.1.10. Aktif güç – Reaktif güç	12
2.1.11. Omik yük	13

Sayfa

2.1.12. Endüktif yük	14
2.1.13. Kapasitif yük.....	14
2.1.14. Doğrusal yük.....	14
2.1.15. Doğrusal olmayan yük	15
2.2. Enerji Kalitesi ve Enerji Kalitesini Bozan Etkenler	16
2.2.1. Geçici olaylar.....	16
2.2.2. Kısa süreli gerilim değişimleri.....	20
2.2.3. Uzun süreli gerilim değişimleri	24
2.2.4. Gerilim dengesizliği	26
2.2.5. Dalga şekli bozukluğu	27
2.2.6. Gerilim dalgalanmaları.....	32
2.2.7. Güç frekansı değişimleri	33
3. LabVIEW PROGRAMLAMA DİLİ ve VERİ TOPLAMA KARTLARI.....	34
3.1. LabVIEW Programlama Dili	34
3.1.1. LabVIEW programlama dilinin tarihsel gelişimi	35
3.1.2. LabVIEW kullanıcı arayüzünün tanıtılması.....	37
3.1.3. Sanal enstrümantasyon (VI)	42
3.1.4. LabVIEW ile veri toplama	43
3.2. Veri Toplama Kartları.....	44
3.2.1. Tek uçlu-fark uçlu giriş (Single-Differential ended)	44
3.2.2. Örnekleme hızı (Sampling rate).....	45
3.2.3. Örnekleme yöntemleri (Sampling methods).....	45

Sayfa

3.2.4.	Çoklama (Multiplexing)	47
3.2.5.	Çözünürlük (Resolution)	47
3.2.6.	DNL (Differential Nonlinearity)	47
3.2.7.	Bağıl doğruluk (Relative accuracy)	48
3.2.8.	Yerleşme zamanı (Settling time)	48
3.2.9.	Gürültü (Noise)	48
4.	TASARIM VE UYGULAMA	49
4.1.	Donanım	49
4.1.1.	Ölçme kartı	49
4.1.2.	Veri toplama kartı	51
4.2.	Yazılım	52
4.2.1.	Gerilim analizi penceresi	54
4.2.2.	Akım analizi penceresi	55
4.2.3.	Güç analizi penceresi	56
4.3.	Enerji Kalitesinin İnternet Tabanlı Ölçüm ve Analizi	57
4.3.1.	Uzaktan erişim yardımcı programının kurulması	58
4.3.2.	İnternet üzerinden sisteme ulaşılması	62
4.4.	Deneysel çalışmalar	67
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	73
	KAYNAKLAR	74
	ÖZGEÇMİŞ	78

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge

Sayfa

Çizelge 2.1. Enerji kalitesini bozan etkenlerin sınıflandırılması	17
---	----

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. İdeal sinüs sinyalinin RMS ve ortalama değerleri	7
Şekil 2.2. Aktif ve reaktif güç bölgeleri.....	12
Şekil 2.3. Omik yük dalga şekilleri.....	13
Şekil 2.4. Endüktif reaktif yük dalga şekilleri.....	14
Şekil 2.5. Kapasitif reaktif yük dalga şekilleri	14
Şekil 2.6. Doğrusal yük.....	15
Şekil 2.7. Doğrusal olmayan yük.....	15
Şekil 2.8. Yıldırım düşmesi sonucu oluşan darbesel geçici olay	18
Şekil 2.9. Kapasitör anahtarlama sonrası oluşan salınımsal geçici olay	19
Şekil 2.10. Düşük frekansta yüksüz transformatörün devreye alınması.....	20
Şekil 2.11. Düşük frekansta kapasitör bankının anahtarlanması.....	20
Şekil 2.12. Tek faz-toprak kısa devresi sonucu oluşan ani gerilim yükselmesi	21
Şekil 2.13. Kısa süreli gerilim düşüklüğü	22
Şekil 2.14. Kısa süreli gerilim kesintisi	22
Şekil 2.15. Dengesiz bir sistemdeki gerilim dalga şekilleri	26
Şekil 2.16 Temel Bileşen ile 3. ve 5. harmonik dalga şekilleri.....	28
Şekil 2.17 Harmonikli akım dalga şekli.....	29
Şekil 2.18. Üç fazlı doğrultucu nedeniyle oluşan çentik etkisi	31
Şekil 2.19. Ark ocağının neden olduğu gerilim dalgalanması	32
Şekil 2.20. Güç frekansının zamana göre değişim eğrisi.....	33
Şekil 3.1. LabVIEW programı başlangıç menüsü	38

Şekil	Sayfa
Şekil 3.2. “Ön Panel” ve “Blok Diyagram” görüntüleri	38
Şekil 3.3. “Fonksiyon Paleti” ve “Kontrol Paleti”	39
Şekil 3.4. Ön panel görüntüsü	40
Şekil 3.5. Blok panel görüntüsü.....	41
Şekil 3.6. Araç paleti.....	42
Şekil 3.7. LabVIEW ile hazırlanan sanal enstrüman	43
Şekil 3.8. Analog multiplexer yöntemi ile örnekleme alınması	46
Şekil 3.9. Eş zamanlı yöntemi ile örnekleme alınması	46
Şekil 4.1. Gerçekleştirilen sistemin blok diyagramı	49
Şekil 4.2. Bir faz için ölçme devresi blok diyagramı.....	50
Şekil 4.3. Ölçme kartının giriş ve çıkış noktası gerilim sinyalleri	51
Şekil 4.4. Hazırlanan yazılımın akış diyagramı.....	53
Şekil 4.5. Enerji kalitesi izleme merkezi programı ön görünüşleri	54
Şekil 4.6. Gerilim analizi penceresi	55
Şekil 4.7. Akım analizi penceresi	56
Şekil 4.8. Güç analizi penceresi.....	57
Şekil 4.9. Gerçekleştirilen uzaktan görüntüleme sisteminin blok diyagramı.....	58
Şekil 4.10. WEB yayımlama aracının çalıştırılması.....	59
Şekil 4.11. LabVIEW WEB sunucusunun başlatılması.....	60
Şekil 4.12. Hazırlanan programın Web adresinin elde edilmesi	60
Şekil 4.13. İstemci bilgisayar üzerindeki program görüntüsü.....	61
Şekil 4.14. Program kontrolünün istemci bilgisayara aktarılması.....	62

Şekil	Sayfa
Şekil 4.15. Hazırlanan web sitesi ön görünüşü.....	63
Şekil 4.16. Hazırlanan web sitesi üzerinden EKİM’ e bağlanma ekranı	63
Şekil 4.17. Sisteme bağlanan istemci bilgisayar ekran görüntüsü.....	64
Şekil 4.18. Kontrol bir istemci bilgisayarda iken diğer istemci bilgisayar	65
Şekil 4.19. Kontrolün sunucu bilgisayara aktarılması	65
Şekil 4.20. Kontrolün sırada bekleyen istemci bilgisayara aktarılması	66
Şekil 4.21. Sırada bekleyen istemci bilgisayarın kontrolü alması.....	67
Şekil 4.22.Omik yük altında istemci bilgisayar üzerindeki ekran görüntüleri.....	69
Şekil 4.23. Asenkron motorlar bağlı iken istemci bilgisayar görüntüleri	71

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Tasarlanan ölçme kartı	51
Resim 4.2. Gerçekleştirilen sistemin görünümü.....	67
Resim 4.3. Kullanılan omik yükün görünümü	68
Resim 4.4. Kullanılan asenkron motorların görünümü.....	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
S_n	Sinyalin n. andaki anlık değeri
T	Periyot (Saniye)
k_f	Şekil veya form faktörü
I_{dc}	Akım sinyali içerisinde yer alan DC bileşen (Amper)
V_{dc}	Gerilim sinyali içerisinde yer alan DC bileşen (Volt)
V_{sn}	n. Harmonik mertebesi için gerilim etkin değeri (Volt)
I_{sn}	n. Harmonik mertebesi için akım etkin değeri (Amper)
δ_n	n. Harmonik için gerilime ait faz açısı
θ_n	n. Harmonik için akıma ait faz açısı
ω	Açısal hız (rad/sn)
i_s	Toplam akımın etkin değeri (Amper)
i_h	Harmonik akımlarının etkin değeri (Amper)
V_1	Gerilim temel bileşen değeri (Volt)
I_1	Akım temel bileşen değeri (Amper)
I_L	Yükün çektiği temel frekanslı maksimum akım (Amper)
V_{rms}	Gerilim etkin değeri (Amper)
I_{rms}	Akım etkin değeri (Amper)
w_n	n. Dereceden harmonik frekansı için işitsel ve endüktif kuplaj etkisi katsayısı
P	Aktif güç (Watt)
Q	Reaktif güç (VAR)
S	Görünür güç (VA)
V	Gerilim (Volt)
I	Akım (Amper)
Hz	Frekans Birimi (Hertz)

Kısaltmalar	Açıklama
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
THD_v	Gerilim Toplam Harmonik Distorsiyonu
THD_i	Akım Toplam Harmonik Distorsiyonu
TTD	Toplam Talep Distorsiyonu
VA	Volt-Amper
VAR	Volt-Amper-Reaktif
RLC	Direnç-Bobin-Kondansatör
p.u.	Per-unit (Birim değeri)
YG	Yüksek Gerilim
OG	Orta Gerilim
AG	Alçak Gerilim
HVDC	High Voltage Direct Current (Yüksek Doğru Gerilim)
GUI	Grafical User Interface (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü)
VI	Virtual Instrument (Sanal Laboratuvar)
GPL	Grafical Programming Language (Grafiksel Programlama Dili)
GPIB	General Purpose Interface Bus (Genel Amaçlı Veri Yolu)
PC	Personal Computer (Kişisel Bilgisayar)
DAQ	Data Acquisition (Veri Toplama)
I/O	Input/Output (Giriş/Çıkış)
NI	National Instruments
A/D	Analog/Digital (Analog/Sayısal)
ADC	Analog to Digital Converter (Analog/Sayısal Dönüştürücü)
S&H	Sample and Hold (Örnekle ve Tut)
Mux	Multiplexer (Çoğullayıcı)
Amp	Amplifier (Yükselteç)
DNL	Differential Nonlinearity (Farksal Doğrusalsızlık)
LSB	Least Significant Bit (En Düşük Değerli Biti)

Kısaltmalar	Açıklama
IEC	International Electrotechnical Commission (Uluslar arası Elektroteknik Komisyonu)
LAN	Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
WAN	World Area Network (Geniş Alan Ağı)
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Denetimsel Kontrol ve Veri Toplama)
GPRS	General Packet Radio Service (Genel Paket Radyo Servisi)
EKİM	Enerji Kalitesi İzleme Merkezi

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla artan enerji ihtiyacı elektrik enerjisine olan talebi her geçen gün artırmaktadır. Talepteki bu artış daha güvenilir ve daha kaliteli enerji kavramını ortaya çıkarmıştır. Kaliteli bir elektrik enerjisi sağlayabilmek için; enerjinin sürekliliği, sabit şebeke frekansı, sabit ve sinüsoidal biçimli uç gerilimi, güç faktörünün birim değere yakınlığı, faz gerilimlerinin dengeli olması ve gerilimdeki harmonik miktarının belirli değerlerde kalması gibi bir takım kriterlerin göz önüne alınması gerekmektedir.

Ancak bu tür enerji uygulamada bir takım zorluklarla sağlanabilir. Güç sistemlerine bağlanan bazı elemanlar ve bunların yol açtığı olaylar sebebiyle enerji kalitesinden sapmalar olabilmektedir. Özellikle teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte elektrik iletim ve dağıtım sistemine bağlı yüklerin bu sistemlere olan bozucu etkisinde ciddi artışlar yaşanmaktadır. Son yıllarda değişken hızlı elektrik motorları, büyük güçlü motorlar ve anahtarlama elemanları gibi harmonik üreten elemanların yoğun şekilde kullanılması ile birlikte şebeke üzerindeki bozulmalarda artış gözlenmiştir. Meydana gelen bu bozulmalar elektrik enerjisinin kalitesinin düşmesine neden olmakta ve elektrik enerjisi kullanıcılarında pek çok yönden ekonomik kayıplara neden olmaktadır. En yaygın karşılaşılan enerji kalitesi problemleri kesintiler, gerilim düşmeleri, gerilim yükselmeleri, harmonikler ve fliker olup her bir problem aynı tesis üzerinde farklı ekonomik kayıplara neden olabilmektedir.

Sayılan sebeplerden dolayı enerji kalitesinin anlık ve doğru bir şekilde ölçülmesi gerekir. Yapılan ölçüm ve analizlerin güvenilir olması, kullanılan ölçüm cihazlarının ve analiz yönteminin kaliteli ve doğru olmasının yanında, ölçüm ve analizin sürekliliğini de gerektirmektedir. Enerji tüketiminde mevsimsel, hatta günlük olarak farklılıklar oluşmaktadır. Bu nedenle, ölçüm yapılan sistem sürekli olarak gözlem altında tutulmalıdır. Özellikle sanayi kuruluşlarında bu tip ölçümlerin yapılması zorunludur. Çünkü zaman içinde oluşan ve istenmeyen durumlardan dolayı meydana gelen sorunların kaynaklarını tespit edebilmek için ölçüm ve analizde süreklilik şarttır.

Yaşanan bu gelişmeler sınırlı olan enerjinin daha verimli kullanılması konusunda adımlar atılmasını sağlamıştır. Enerjiyi verimli kullanmanın temel koşulu enerjiyi bozan etkenlerin tespit edilmesi ve bunları yok edici veya azaltıcı tedbirlerin alınmasıdır.

Enerji kalitesini bozan etkenlerin tespiti çeşitli yöntemlerle yapılabilmektedir. Literatür incelendiğinde özellikle son yıllarda enerji kalitesinin ölçülmesi ve enerji kalitesi bozulmalarının tespitinde farklı sinyal işleme teknikleri ve bunun için kullanılan değişik arayüzler önerilmeye başlanmıştır [1-7].

Bu yöntemlerden bilgisayar tabanlı olarak hazırlanan ölçüm sistemleri ön plana çıkmıştır [8-12]. Bilgisayar tabanlı olarak gerçekleştirilen ölçüm sistemlerinde kullanılan topolojilerde birbirlerinden farklılık gösterebilmektedir. Gerçekleştirilen birçok çalışmada akım ve gerilim sinyallerinin şebekeden okunabilmesi için akım ve gerilim probaları kullanılırken bazı çalışmalarda maliyeti düşürmek amacıyla ölçme kartları da kullanılmıştır [13,14]. Yine gerçekleştirilen çalışmalarda akım ve gerilim bilgilerinin bilgisayara aktarılması işlemi daha çok veri toplama kartları yardımıyla yapılabildiği gibi mikroişlemci veya FPGA gibi yongalarla da yapılabilmektedir. Ayrıca bilgisayar tabanlı ölçüm sistemlerinde veri toplama kartından bilgisayara aktarılan verilerin analiz edilip kullanıcıya sunulduğu yazımlarda farklılık gösterebilmektedir. Bu amaçla kullanılan yazılımların başında LabVIEW ve Matlab gelmektedir [15-18]. Bilgisayar tabanlı olarak gerçekleştirilen ölçüm sistemlerinin en büyük avantajı donanımda değişiklik yapmadan yazılımda yapılabilecek değişikliklerle ilave özelliklerin görüntüleme sistemine eklenebilmesidir. Bu sayede, donanım maliyeti açısından düşünüldüğünde önemli bir kazanım ortaya çıkmaktadır. Bilgisayar tabanlı olarak hazırlanan enerji kalitesi görüntüleme sistemleri ihtiyaca göre de farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Bazı görüntüleme sistemleri yalnızca harmonik analizini gerçekleştirirken, bazıları sadece bir faz enerji kalitesini ölçebilmektedir [19]. Bunun dışında enerji kalitesi görüntüleme sistemlerinde kullanılan haberleşme teknolojisi ele alındığında internet teknolojisi ön plana çıkmaktadır [20-23].

Bu çalışmada enerji kalitesinin internet tabanlı ölçüm ve analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem genel olarak donanım ve yazılım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Donanım kısmı; tasarlanan bir ölçme kartı, veri toplama kartı ve kişisel bir bilgisayardan oluşurken, yazılım kısmı; kişisel bilgisayarda LabVIEW programı yardımıyla hazırlanan kullanıcı arayüz programından oluşmaktadır.

Uygulamayı oluşturan kısımların her biri birbirinden bağımsız olarak çalışabilmektedir. Her biri çalışmak için diğerine ihtiyaç duymamaktadır. Kısımlar birbirlerine bağımlı olmaktan çok birbirleri ile etkileşimli olarak çalışmaktadır. Sistemi oluşturan kısımlardan herhangi biri çıkarılarak yerine yeni ve gelişmiş olanı eklenebilmektedir. Bu durumlar göz önüne alındığında teknolojiadaki gelişmelerin adapte edilebileceği bir sistem ortaya çıkmakta ve bu da yaygın bir kullanım alanı sağlamaktadır.

Yapılan çalışmada akım ve gerilim bilgilerinin şebekeden okunarak veri toplama kartının girişine uygun seviyeye düşürülmesi için bir ölçüm kartı tasarlanmıştır. Tasarlanan ölçme kartının düşük maliyetli olması ölçüm sisteminin maliyetini önemli ölçüde düşürmüştür. Bu çalışmada faz akımlarına ilave olarak nötr akım harmonikleri de ölçülmüştür. Bunun en büyük avantajı dengesiz yüklü sistemlerde nötr hattı üzerinde dolaşan harmonik bileşenlerin incelenmesi mümkün olmaktadır. Çalışmayı benzer çalışmalardan ayıran diğer bir farklılık ise yapılan tüm analiz sonuçlarının raporlanarak sabit diskte saklanması ve geriye doğru analize imkan sağlamasıdır. Ayrıca bilgisayar arayüz programının LabVIEW programı yardımıyla hazırlanmış olması kullanıcıya görselliği ön plana çıkaran bir arayüz sunmakla birlikte kullanım kolaylığı da getirmiştir. Hazırlanan sistemin web üzerinden uzaktan erişime açılması ile sistemi kullanacak operatörün sürekli bu işle meşgul olması engellenmiş, internet bağlantısı olan herhangi bir bilgisayardan sisteme bağlanarak tüm analizleri takip edebilmesi sağlanmıştır.

Tez beş bölümden meydana gelmiştir. Tezin ikinci bölümünde güç sistemleri büyüklüklerine ait tanımlar ve enerji kalitesi hakkında bilgiler verilmiştir. Enerji kalitesi kavramları üzerinde durulmuş ve bu kavramlar incelenmiştir.

Üçüncü bölümde LabVIEW programı ve veri toplama kartları hakkında bilgi verilerek temel kavramlar üzerinde durulmuştur.

Dördüncü bölümde ise enerji kalitesinin internet tabanlı ölçüm ve analizi için gerçekleştirilen sistem tanıtılmıştır. Burada; ölçme kartı, veri toplama kartı ve hazırlanan bilgisayar arayüz programı hakkında detaylı bir inceleme yapılmıştır. Ayrıca değişik yüklerde güç sisteminden ölçümler alınarak, ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Beşinci bölüm olan sonuç ve öneriler bölümünde ise gerçekleştirilen sistemden elde edilen sonuçlar açıklanmış ve bu sonuçlara göre öneriler sunulmuştur.

2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE ENERJİ KALİTESİ

Güç sistemlerinde yaşanan enerji kalitesi bozukluklarının tespiti ve sınıflandırılabilmesi için bu bozuklukların tanımlarının ve karakteristik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Güç sistemlerinde ölçülen temel büyüklük kavramlarıyla birlikte bunların hesaplanma yöntemleri ve enerji kalitesi kavramları alt başlıklar olarak aşağıda verilmiştir.

2.1. Güç Sistemlerinde Kullanılan Temel Tanımlar ve Kavramlar

Elektrik enerjisinin üretimi ve tüketimi esnasında bilgi akışını sağlamak ve gerekli bilgileri toplamak için ölçmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle güç sistemlerinde gerçekleştirilen ölçümler sistemin güvenliği ve sürekliliği için son derece önemlidir. Özellikle son yıllarda güç sistemlerinde gerçekleştirilen ölçümlerde yer alan parametrelerin sayısı artmıştır. Önceleri akım, gerilim, güç faktörü ve güç değerlerini ölçmek yeterli iken günümüzde tüketim sürecinde kullanımı her geçen gün artan doğrusal olmayan yüklerin güç sistemi üzerindeki etkilerini inceleyebilmek için yeni kavramlar ortaya çıkmıştır. Güç sistemlerine ait bu büyüklükler ve kavramlar aşağıda detaylı bir şekilde incelenmiştir [24].

2.1.1. Etkin değer (RMS)

Alternatif bir akımın RMS değeri sabit bir direnç yükünden geçen ve aynı miktarda ısı enerjisi üreten doğru akımın değerine eşittir. RMS karesel ortalama değer (Root Mean Square) anlamına gelir ve etkin değer olarak da isimlendirilebilir.

Bir sinyalin RMS değeri ayrık (sayısal) olarak hesaplanırken şu adımlar izlenmektedir:

- Sinyalin bir periyot boyunca belirli örnekleme aralıklarında genlikleri alınır,
- Alınan bu genlik değerlerinin kareleri toplanır,
- Elde edilen bu toplam alınan örnek sayısına bölünür,
- Bu bölümün karekökü alınır.

$$RMS = \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n S_k^2}{n}} \quad (2.1)$$

Burada S sinyalin anlık değerini n ise örnekleme sayısını ifade etmektedir. Etkin değer bu yöntemle hesaplanırken örnekleme sayısı büyüdükçe ölçüm hassasiyeti o derece yüksek olmaktadır.

Bir sinyalin RMS değeri sürekli (analog) olarak hesaplanırken aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$F_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt} \quad (2.2)$$

Bu eşitlikte yer alan T sinyalin periyodunu, f(t) ise sinyalin matematiksel fonksiyonunu ifade etmektedir.

2.1.2. Ortalama değer (Mean value)

Bir sinyalin ortalama değeri, o sinyalin zaman eksenini ile arasında kalan alanı ifade etmektedir ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$F_{Mean\ Value} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2.3)$$

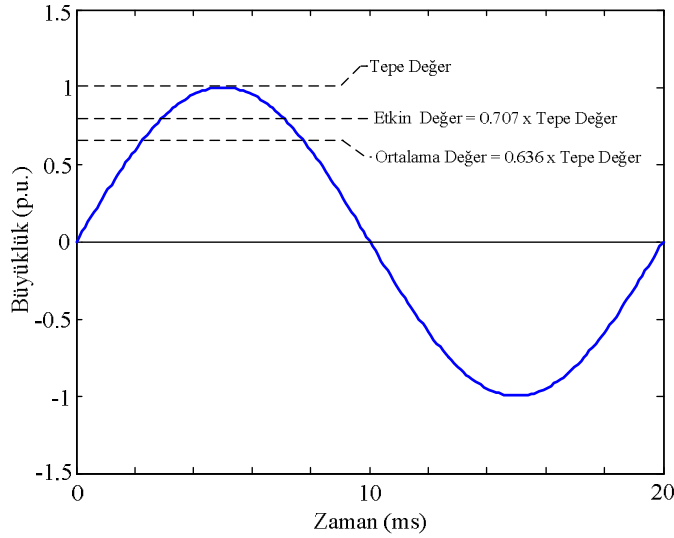
Bir sinyalin ortalama değeri ayırık (sayısal) olarak hesaplanırken şu adımlar izlenmektedir:

- Sinyalin bir periyot boyunca belirli örnekleme aralıklarıyla genlikleri alınır,
- Alınan bu genlik değerleri toplanır,
- Bu toplam, alınan örnek sayısına bölünür.

$$Ortalama\ Değer = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{n} = \frac{\sum_{k=1}^n S_k}{n} \quad (2.4)$$

Şekil 2.1’de ideal bir sinüs sinyalinin RMS ve ortalama değerlerine ilişkin şekil görülmektedir. İdeal bir sinüs eğrisinde ortalama değer yarım periyot üzerinden

hesaplama yapılarak elde edilmektedir. Çünkü ideal bir sinüs eğrisinin ortalama değeri sıfırdır.



Şekil 2.1. İdeal sinüs sinyalinin etkin ve ortalama değerleri

2.1.3. Şekil (Form) faktörü

Şekil veya form faktörü,

$$k_f = \frac{\text{Etkin Değer}}{\text{Ortalama Değer}} \quad (2.5)$$

olarak tanımlanmaktadır. Bozulmuş sinüsoidal bir sinyalin bozulma ölçütünü verecek olan bu faktör tam sinüsoidal bir sinyal için 1,11 değerine sahiptir.

2.1.4. Tepe (Crest) faktörü

Bu faktör, doğrusal olmayan akım ve gerilimin tepe değeri ile temel bileşenin etkin değeri arasında tanımlanmaktadır. Harmonik bileşenlerin en basit bir biçimde ortaya konmasını sağlayan bu faktör,

$$\text{Tepe Faktörü} = \frac{\text{Tepe Değer}}{\text{Temel Bileşenin Etkin Değeri}} \quad (2.6)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Tam sinüsoidal bir sinyal için bu değer $\sqrt{2}$ olmaktadır.

2.1.5. Telefon etkileşim faktörü (TEF)

Telefon etkileşim faktörü, elektrik enerji sistemlerindeki harmonik akım ve gerilimlerinden kaynaklanan gürültü değerinin tayin edilmesine yarayan bir büyüklüktür. Telefon etkileşim faktörü değeri telefon sisteminin ve insan kulağının değişik frekanslardaki gürültüye olan duyarlılığına dayalı olarak ayarlanır. Söz konusu bu büyüklük matematiksel olarak;

$$TEF_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (w_n \cdot V_n)^2}}{V_{rms}} \quad (2.7)$$

$$TEF_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (w_n \cdot I_n)^2}}{I_{rms}} \quad (2.8)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Burada w_n n. dereceden harmonik frekansı için işitsel ve endüktif kuplaj etkisini hesaplara dahil eden bir katsayıdır [25].

2.1.6. Harmonikler

Harmonikler genel olarak doğrusal olmayan elemanlar ile sinüsoidal olmayan kaynaklardan herhangi birisi veya bunların ikisinin de sistemde bulunmasından meydana gelirler. Harmonikli akım ve gerilimin güç sistemlerinde bulunması, sinüsoidal dalganın bozulması anlamına gelir. Bozulan dalgalar nonsinüsoidal dalga olarak adlandırılır. Bu dalgalar, Fourier analizi yardımıyla temel frekans ve diğer frekanslardaki bileşenler cinsinden ifade edilebilir. Bu analiz ile nonsinüsoidal dalgalar, frekansları farklı sinüsoidal dalgaların toplamı şeklinde matematiksel olarak yazılabilir.

Fourier analizi:

Fransız fizikçisi ve matematikçisi J. Fourier, sinüsoidal olmayan periyodik dalgaların; genlik ve frekansları farklı birçok sinüsoidal dalgaların toplamından oluştuğunu, başka bir deyişle; sinüsoidal olmayan periyodik dalgaların genlik ve

frekansları değişik (temel dalga frekansının tam katları) olan sinüsoidal dalgalara ayrılabilceğini göstermiştir.

Periyodik fonksiyonlar Fourier serisine açıldıklarında, birinci terimi bir sabit, diğer terimleri ise bir değişkenin katlarının sinüs ve cosinüslerinden oluşan bir seri halinde yazılabilir.

$$i_s(t) = I_{dc} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)] \quad (2.9)$$

$$v_s(t) = V_{dc} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)] \quad (2.10)$$

Burada I_{dc} akım sinyali içerisinde yer alan DC bileşeni, V_{dc} ise gerilim sinyali içerisinde yer alan DC bileşeni ifade etmektedir. Akım ve gerilim harmonikleri simetrik olduklarından, cosinüslü terimlerin değeri sıfır olacaktır. Ayrıca ifadenin sadeleştirilmesi açısından DC bileşenler ihmal edilirse, güç sistemlerinde akım ve gerilimin ani değerlerinin Fourier açılımı aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$i_s(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_{sn} \sin(n\omega_1 t + \theta_n) \quad (2.11)$$

$$v_s(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_{sn} \sin(n\omega_1 t + \delta_n) \quad (2.12)$$

Burada, V_{sn} ve I_{sn} n. harmonik mertebesi için gerilim ve akımın etkin değerleri, ω_1 temel frekansa ait açısal frekans, δ_n ile θ_n ise n. harmonik için gerilim ve akıma ait faz açılarıdır.

n. harmonik akım etkin değeri (I_{sn}) ile faz açısı (θ_n), Eş. 2.13'ten hesaplanmaktadır.

$$\theta_n = \tan^{-1} \left(\frac{a_n}{b_n} \right), \quad I_{sn} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (2.13)$$

Toplam akımın etkin değeri;

$$i_s = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [i_s(t)]^2 d\omega t} \quad (2.14)$$

$$i_s = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} i_{sn} \sin(n\omega t + \theta_n) \right]^2 d\omega t} \quad (2.15)$$

$$i_s = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} i_{sn}^2} = \sqrt{i_{s1}^2 + i_{s2}^2 + i_{s3}^2 + \dots} \quad (2.16)$$

ifadesinden elde edilmektedir.

Harmonik akımlarının etkin değeri;

$$i_h = \sqrt{i_{s2}^2 + i_{s3}^2 + i_{s4}^2 + \dots} \quad (2.17)$$

olarak bulunabilir [25].

2.1.7. Toplam harmonik distorsiyonu (THD)

Harmonik büyüklüklerin sınırlandırmasını amaçlayan standartlarda çok yaygın olarak kullanılan toplam harmonik distorsiyonu gerilim ve akım için sırasıyla,

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (2.18)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.19)$$

eşitliklerinden yararlanılarak bulunur. Görüldüğü gibi THD, harmonik bileşenlerin etkin değerlerinin, temel bileşen etkin değerine oranıdır ve genellikle yüzde olarak ifade edilir. Bu değer, harmonikleri içeren periyodik dalga şeklinin, tam bir sinüs

dalga şeklinden sapmasının tespitinde kullanılır. Sadece temel frekanstan oluşan tam bir sinüs dalga şekli için THD sıfırdır.

2.1.8. Toplam talep distorsiyonu (TTD)

Toplam talep distorsiyonu, bir yüke ait değer olup toplam harmonik akım distorsiyonu olarak aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$TTD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_L} \quad (2.20)$$

Burada, I_L yük tarafından, besleme sisteminin ortak bağlantı noktasından çekilen, temel frekanslı maksimum akımdır. On iki ay öncesinden başlanarak hesaplamının yapılacağı ana kadar olan süre zarfında yük tarafından talep edilen maksimum akımların ortalaması olarak hesaplanır.

2.1.9. Güç faktörü

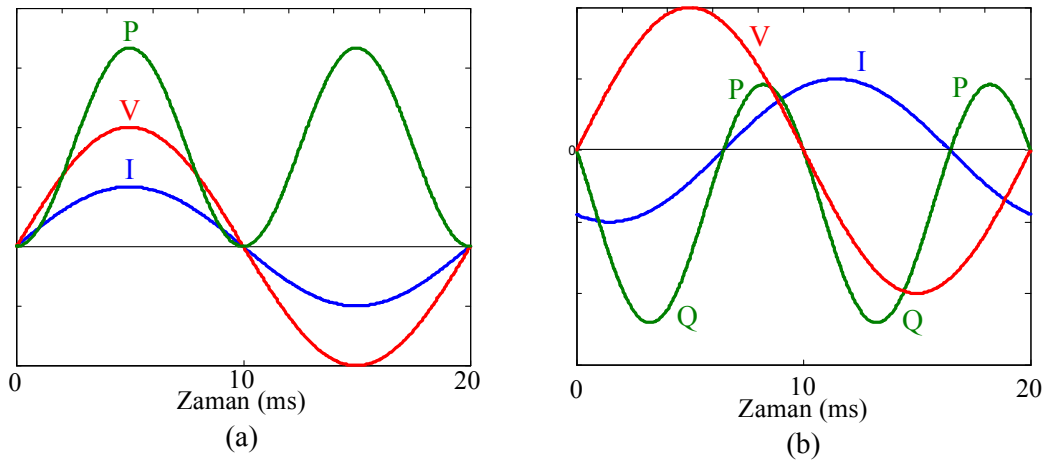
Güç, birim zamanda yapılan iştir ve doğru akım devrelerinde gerilim ve akımın matematiksel çarpımı olarak ifade edilmektedir (Güç = Gerilim x Akım). Ancak alternatif akımda aynı durum söz konusu değildir. Bazı alternatif akım devrelerinde akımlar enerji sağlamadan yüke girip çıkabilir. Reaktif veya harmonik akım adı verilen bu akım gerçek güçten fazla olan görünür gücü artırmaktadır. Görünür güç ve gerçek güç arasındaki bu fark güç faktörünün artmasına sebep olur. Güç faktörü aktif gücün görünür güce oranıdır. Görünür gücün birimi VA'dır. Bundan dolayı herhangi bir sistemdeki gerçek güç, güç faktörüyle VA değerinin çarpımıyla bulunur.

Çoğu elektrikli cihaz için görünür güç (VA) ve aktif güç (Watt) arasındaki fark çok önemsizdir ve ihmal edilebilir. Fakat tüm doğrusal olmayan yükler için fark fazla ve önemlidir. Son zamanlarda yapılan bir araştırmada ortalama bir bilgisayar sisteminin güç faktörünün 0.65 olduğu bulunmuştur. Bu, görünür gücün (VA) aktif güçten (Watt) yaklaşık %50 daha fazla olduğu anlamına gelmektedir.

2.1.10. Aktif güç – reaktif güç

Omik bir yük, gerilim kaynağından gerilimin fonksiyonu şeklinde bir akım çekmektedir, ancak reaktif yüklerin çektiği akım omik yükteki gibi değildir. Reaktif yüklerde de hem gerilim hem de akım dalga şekilleri sinüsoidal olabilir ancak aralarında bir faz farkı vardır.

Akım ve gerilim sinyallerinin farklı olduğu noktalarda güç negatiftir ve güç akışı kullanımdan şebekeye doğrudur. Şebekeden çekilen bu enerji kullanılmadan şebekeye geri verilir ve bu dolaşım sırasında iletim hatlarındaki dirençlerden dolayı kayıplar oluşur. Şekil 2.2’de eksenin altında kalan güç reaktif gücün, eksenin üstünde kalan güç ise aktif gücün söz konusu olduğu bölgeleri göstermektedir. Omik yük durumunda şebekeden sadece aktif güç çekildiği görülürken, omik+endüktif yük durumunda şebekeden aktif gücün yanında reaktif güçte çekilmektedir.



Şekil 2.2. Aktif ve reaktif güç bölgeleri a)Omik yük b)Omik+endüktif yük

Üstte kalan alan (aktif güç) ile altta kalan alanın (reaktif güç) farkı yükün harcadığı toplam enerjiyi vermektedir. Aktif güç (P) ile reaktif güç (Q) birlikte görünür gücü (S) oluşturmaktadır.

Jeneratör, transformatör, motor gibi elektrikli aygıtların ve iletim hatlarının maliyeti bunların görünür gücüyle orantılıdır. Bunun nedeni bu cihazların yalıtım düzeyinin gerilimle, iletken boyutlarının da akımla orantılı olmasıdır. Aktif gücün fiziksel bir anlamı vardır. Bu gücün büyük bir kısmı yararlı işi karşılar, çok az bir kısmı

kayıplardır. Oysa reaktif güç, elektromanyetik cihazlardaki manyetik alanı oluşturmaya rağmen, yararlı enerji çevriminde kullanılmaz. Gereksiz yere hattı ve iletim aygıtlarını yükleyerek gerilim düşümüne ve kayıplara yol açar. Bu nedenle şebekeden çekilen reaktif gücün sıfıra yakın olması istenir.

Bu büyüklükler arasında matematiksel olarak şu ilişkiler vardır:

$$S = V.I \quad (VA) \quad (2.21)$$

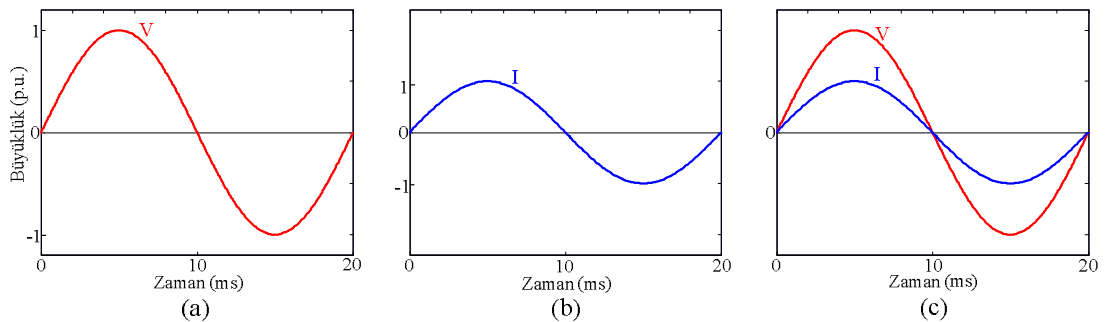
$$P = S.Cos\varphi = V.I.Cos\varphi \quad (Watt) \quad (2.22)$$

$$Q = S.Sin\varphi = V.I.Sin\varphi \quad (VAR) \quad (2.23)$$

Burada $Cos\varphi$ güç faktörü olup, yükün etkin gücü ne kadar etkili çektiğinin ölçüsüdür. Güç faktörü birimsizdir ve $GF=PF=1$ olması istenir. Böylece reaktif güç değeri sıfır olur ve aynı güç en düşük akımla çekilerek cihazlardaki ve yükteki olası kayıplar en aza indirilmiş olur.

2.1.11. Omik yük

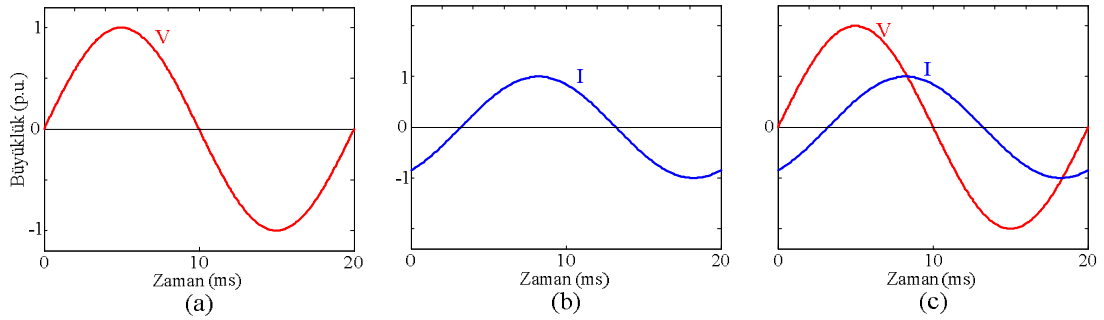
Şebekeden çekilen akım ile şebeke geriliminin aynı fazda olmasını veya bir başka ifadeyle akım ile gerilim arasındaki faz açısının sıfır olmasını sağlayan yük çeşididir. Omik yük durumu için akım-gerilim eğrileri Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Omik yük dalga şekilleri. a)Gerilim b) Akım c) Akım-Gerilim

2.1.12. Endüktif yük

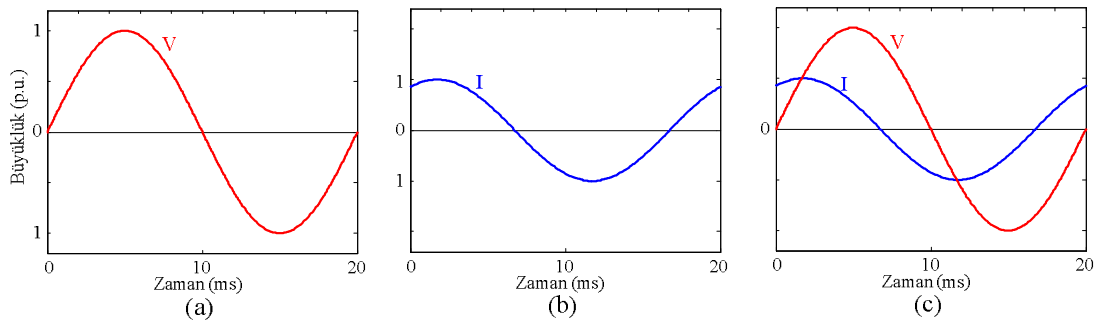
Şebekeden çekilen akımın şebeke gerilimine göre geride olması durumundan kaynaklanan reaktif yük çeşididir. Şekil 2.4'te endüktif karakteristikteki bir yükün akım-gerilim eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.4. Endüktif yük dalga şekilleri. a) Gerilim b) Akım c) Akım-Gerilim

2.1.13. Kapasitif yük

Şebekeden çekilen akımın şebeke gerilimine göre ileride olması durumundan kaynaklanan reaktif yük çeşididir. Şekil 2.5.'te kapasitif karakteristikteki bir yükün akım-gerilim eğrileri görülmektedir.

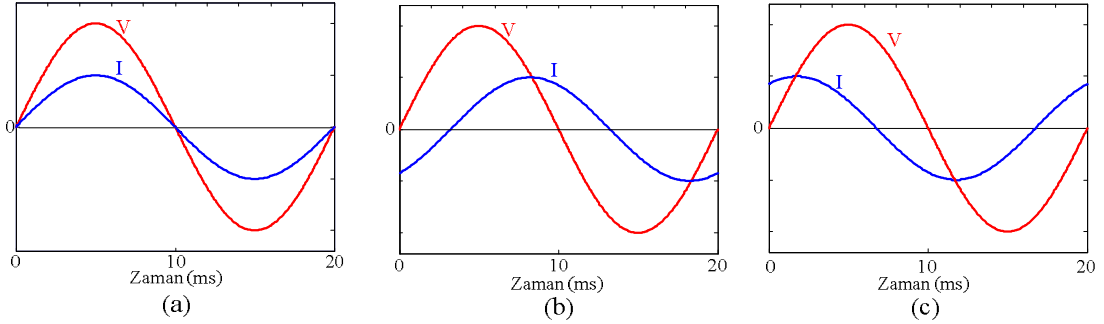


Şekil 2.5. Kapasitif yük dalga şekilleri. a) Gerilim b) Akım c) Akım-Gerilim

2.1.14. Doğrusal yük

Adından da anlaşılacağı gibi yük karakteristiğinin doğrusal olduğunu ifade eder. Yani yükün her bir periyottaki akımı, gerilimin bir fonksiyonudur. Eğer bir yükün akımı ile gerilimi arasında faz farkı var ise o yük doğrusal olmayan değil yine

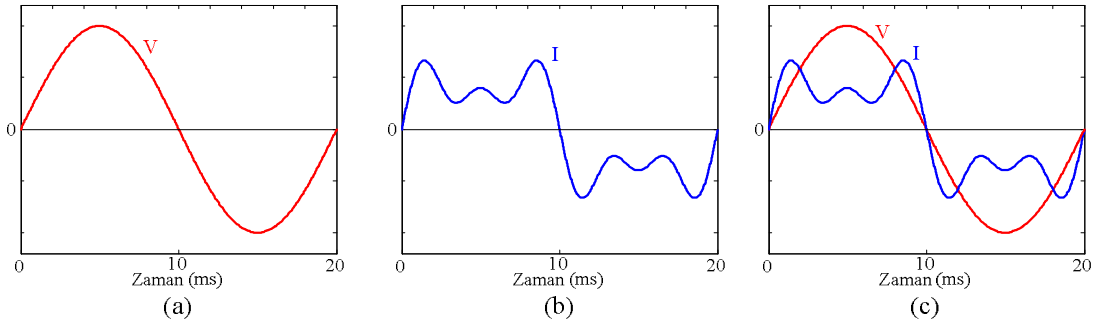
doğrusaldır. Bu tür yükler reaktif ama doğrusal denilebilir. Şekil 2.6’da doğrusal karakteristikteki çeşitli yüklerin akım- gerilim eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.6. Doğrusal yük akım-gerilim eğrileri a) Omik b) Endüktif c) Kapasitif

2.1.15. Doğrusal olmayan yük

Şebekeden çektiği akım, şebeke geriliminin bir fonksiyonu olmayan yükler doğrusal olmayan yük olarak tanımlanmaktadır. Hem doğrusal olmayan hem de reaktif yüklerde güç sistemlerinde bulunmaktadır. Şekil 2.7’de doğrusal olmayan karakteristikteki bir yükün akım- gerilim eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.7. Doğrusal olmayan yük eğrileri a) Gerilim b) Akım c) Akım-Gerilim

Demir çekirdekli bobinler, yarı-iletken malzemeler içeren elemanlar (diyot, transistör, tristör, vb.) doğrusal olmayan elemanlara örnek olarak verilebilir. Bu elemanların kullanıldığı elektronik balastlar, bilgisayar, statik VAR kompanzatörleri, kontrollü motor hız ayar devreleri, ark fırınları gibi elemanlar, doğrusal olmayan özellik gösterip harmonikli akım ve gerilimlerin oluşmasına neden olurlar.

2.2. Enerji Kalitesi ve Enerji Kalitesini Bozan Etkenler

Son yıllarda üreticilerin ve tüketicilerin enerji kalitesine olan ilgilerinin giderek artması bu kavramın çeşitli güç sistemi bozukluklarını bir çatı altında toplayan anahtar bir kavram olmasını sağlamıştır. Gerçekte bu kavramı oluşturan öğeler yeni değildir. Yeni olan bu kavramlara ayırık konular olarak değil bir sistem mantığı ile bakılmasıdır. Enerji kalitesi, yapılan incelemenin türüne veya kim tarafından yapıldığına göre tanımlanabilmektedir. Örneğin elektrik üreticisi için enerji kalitesi enerjinin güvenilir biçimde iletilmesi olarak tanımlanabileceği gibi elektrikli aletler üreticisi için enerji kalitesi, üretilen aletin öngörülen şekilde çalışması için gerekli olan elektrik biçimi olarak tanımlanabilir. Ancak elektrik üretimi kullanıcılar için yapıldığından kullanıcının bakış açısı temel alınmaktadır. Bu sebeple enerji kalitesi sorunu “Kullanıcı aletlerinin yanlış veya hiç çalışmamasına neden olacak gerilim, akım ve frekanstaki değişimler” olarak tanımlanmaktadır. Kullanıcıların enerji kalitesi hakkında bilgi düzeylerinin artması üreticilerden daha kaliteli enerji istemelerine neden olmuştur. Bunun arkasında yatan temel neden olarak kullanıcıların daha hızlı ve daha verimli üretim yapmayı istemeleri ve üreticilerinde buna destek vermelerinin kendi yararlarına olduğunu bilmeleri gösterilebilir [26-28].

Enerji kalitesini bozan etkenler IEEE 1159-1995 standardında geniş olarak ele alınmış ve sınıflandırılarak sınır değerler belirtilmiştir. Çizelge 2.1’de sınıflandırmalar ve sınır değerler verilmiştir [29].

2.2.1. Geçici olaylar

Geçici olaylar güç sistemlerindeki değişikliklerin analizinde, istenmeyen fakat kısa süreli olan olayları ifade etmek için kullanılmaktadır. Geçici olaylar bir sistemin bir kalıcı durumundan diğerine geçişi sırasında meydana gelen değişikliklerdir. Güç sistemlerinin RLC devre yapısından dolayı meydana gelen sönümlü salınımlar geçici olay olarak karşımıza çıkabilmektedir. Genel olarak geçici olaylar darbesel geçici olaylar ve salınımsal geçici olaylar olarak iki sınıfa ayrılabilir.

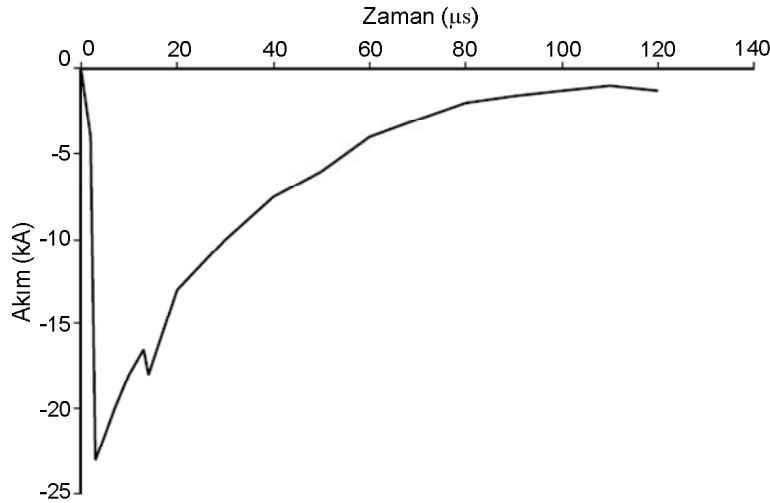
Çizelge 2.1. Enerji kalitesini bozan etkenlerin sınıflandırılması ve karakterize edilmesi

Kategori	Tipik Spektral Özellik	Süresi	Gerilim Büyüklüğü
1.0.Geçici Olay			
1.1.Darbesel			
1.1.1.Nanosaniye	5 ns yükselme	< 50 ns	
1.1.2.Mikrosaniye	1 µs yükselme	50ns -1 ms	
1.1.3.Milisaneye	0,1 ms yükselme	> 1ms	
1.2.Salınmısal			
1.2.1. Düşük Frekans	< 5 kHz	0,3 – 50 ms	0-4 pu
1.2.2. Orta Frekans	5-500 kHz	20 µs	0-8 pu
1.2.3. Yüksek Frekans	0,5-5 MHz	5 µs	0-4 pu
2.0. Kısa Süreli Değişimler			
2.1. Ani			
2.1.1. Düşme		0,5-30 saykıl	0,1-0,9 pu
2.1.2. Yükselme		0,5-30 saykıl	1,1-1,8 pu
2.2. Kısa Süreli			
2.2.1. Kesintiler		0,5 saykıl- 3 s	<0,1 pu
2.2.2. Düşme		30 saykıl- 3 s	0,1-0,9 pu
2.2.3. Yükselme		30 saykıl- 3 s	1,1-1,4 pu
2.3. Geçici			
2.3.1. Kesintiler		3s - 1 dak	<0,1 pu
2.3.2. Düşme		3s - 1 dak	0,1-0,9 pu
2.3.3. Yükselme		3s - 1 dak	1,1-1,2 pu
3.0. Uzun Süreli Değişimler			
3.1.Kalıcı Kesintiler		> 1 dak	0,0 pu
3.2.Düşüklük		> 1 dak	0,8-0,9 pu
3.3.Yükseklik		> 1 dak	1,1-1,2 pu
4.0. Gerilim Dengesizliği		Kalıcı durum	0,5-2%
5.0. Dalga Şekli Bozukluğu			
5.1.Doğru Akım Bileşeni		Kalıcı durum	0-0,1%
5.2.Harmonikler	0-100 der. kadar	Kalıcı durum	0-20%
5.3.Ara Harmonikler	0-6 kHz	Kalıcı durum	0-2%
5.4.Çentik etkisi		Kalıcı durum	
5.5. Gürültü	geniş band	Kalıcı durum	0-1%
6.0.Gerilim Dalgalanması	< 25 Hz	Kesikli	0,1-7%
7.0.Güç Frekansı Değişimleri		< 10 s	

Darbesel geçici olaylar:

Akımda, gerilimde veya her ikisinde meydana gelen ani ve tek yönlü (pozitif veya negatif) değişiklikler darbesel geçici olay olarak tanımlanmaktadır. Darbesel geçici olaylar genelde yükselme veya alçalma zamanları ile karakterize edilmektedirler. Örneğin $1,2 \times 50 \mu s$ 2000 V olarak ifade edilen darbesel geçici olayda gerilimin sıfır değerinden 2000 V olan tepe değerine $1,2 \mu s$ de çıktığı ve $50 \mu s$ sonunda da tepe değerinin yarısına düştüğü ifade edilmektedir.

Darbesel geçici olayların büyük bir çoğunluğunu yıldırım olayları oluşturmaktadır. Şekil 2.8'de yıldırım olayından dolayı meydana gelen tipik bir darbesel geçici olay gösterilmiştir. Darbesel geçici olaylar sırasında meydana gelen yüksek genlikli gerilimlerin frekansı yüksek olduğundan dalga biçimleri hızlı bir şekilde değişmektedir. Güç sisteminin doğal frekansından yüksek olan bu değişimler salınımsal geçici olaylara da neden olmaktadır.

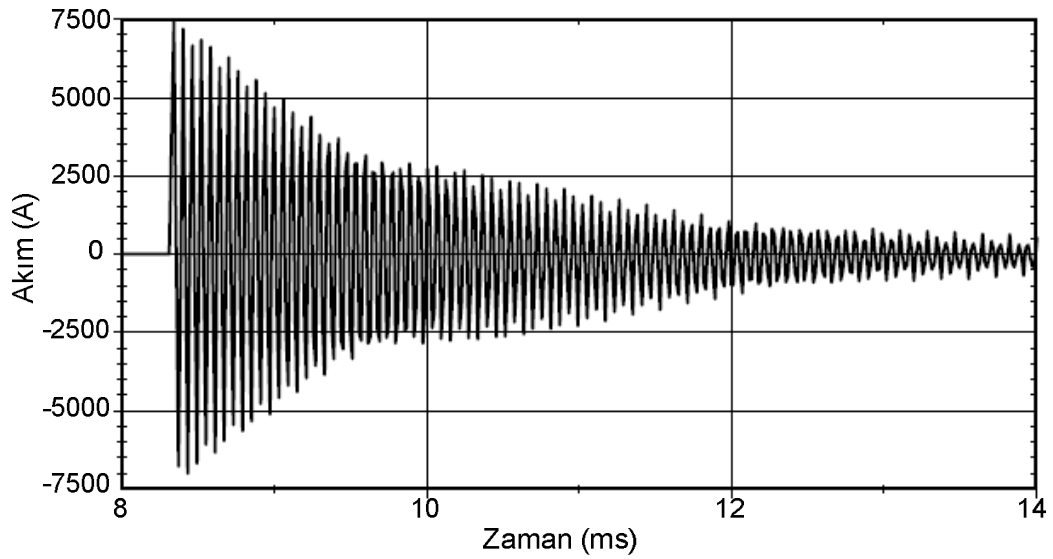


Şekil 2.8. Yıldırım düşmesi sonucu oluşan darbesel geçici olay

Salınımsal geçici olaylar:

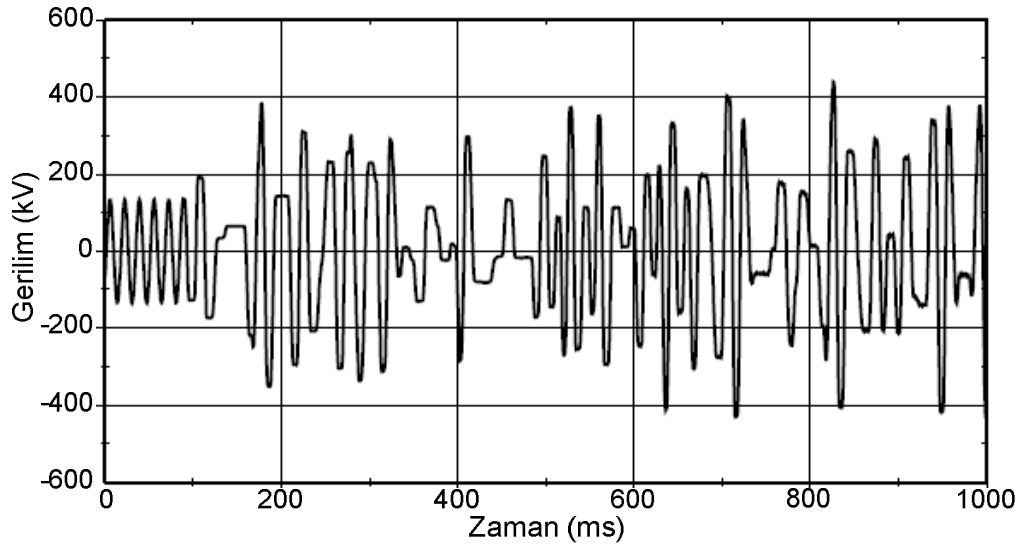
Akımda, gerilimde veya her ikisinde meydana gelen ani ve çift yönlü, yani hem pozitif hem de negatif değerler alan değişiklikler salınımsal geçici olay olarak tanımlanmaktadır. Salınımsal geçici olaylar frekans spektrumu, devamlılık süresi ve

tepe değeri ile ifade edilmektedir. Salınımsal geçici olaylar frekans spektrumuna göre düşük frekanslı, orta frekanslı ve yüksek frekanslı olarak üçe ayrılmaktadır. Temel frekans değeri 500 kHz ve üzeri ve tipik süresi μ s'ler cinsinden ifade edilen salınımsal geçici olaylar yüksek frekanslı salınımsal geçici olay olarak adlandırılır. Bu tip salınımlar genelde yerel sistemlerin darbesel geçici olaylara verdiği cevabın sonucu oluşmaktadır. Temel frekans değeri 5 kHz ile 500 kHz arasında olan ve tipik süresi $10 \times \mu$ s' ler cinsinden ifade edilen salınımsal geçici olaylar orta frekanslı salınımsal geçici olay olarak adlandırılır. Bu tip salınımlar genelde kapasitör anahtarlama sonucu oluşur [30]. Şekil 2.9'da kapasitör anahtarlama sonucu oluşan salınımsal geçici olayda 10 kHz'in katları frekansında olan akımın aldığı değer gösterilmiştir.

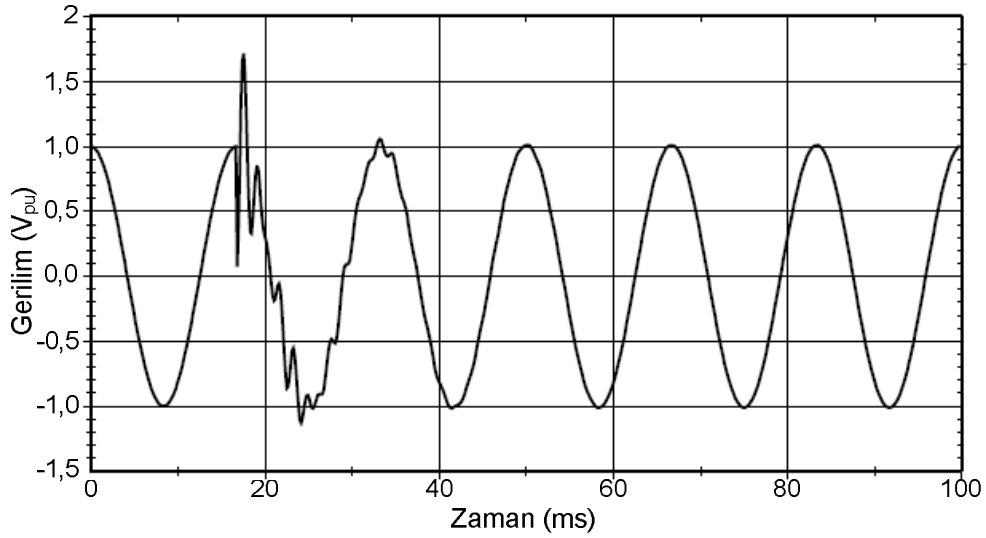


Şekil 2.9. Kapasitör anahtarlama sonrası oluşan salınımsal geçici olay

Dağıtım sistemleri içinde temel frekansı 300 Hz' den az olan salınımsal geçici olaylarda olabilir. Bunlar genellikle transformatörlerin devreye alınması sırasında oluşur. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de bu tip salınımsal geçici olaylar gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Düşük frekansta yüksüz transformatörün devreye alınması sırasında yaşanan salınımsal geçici olay



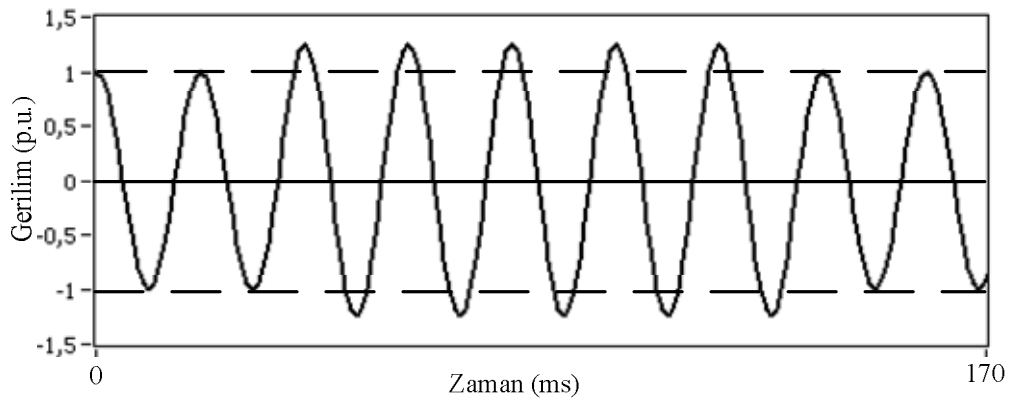
Şekil 2.11. Düşük frekansta kapasitör bankının anahtarlanması sonucu oluşan salınımsal geçici olay

2.2.2. Kısa süreli gerilim değişimleri

Sürelerine göre ani, kısa süreli ve geçici olarak sınıflandırılan kısa süreli gerilim değişimleri güç sistemlerinde yaşanan hatalar sonucu oluşmaktadır. Güç sistemlerindeki hatalara, yol verme akımları yüksek olan yüklerin devreye alınması ve dağıtım sistemindeki bağlantı kopuklukları örnek olarak gösterilebilir. Sistem durumuna ve hatanın yerine göre bu tür durumlar sadece gerilim düşmesine değil gerilim yükselmesine ve gerilim kesilmesine de neden olabilirler.

Gerilim yükselmesi:

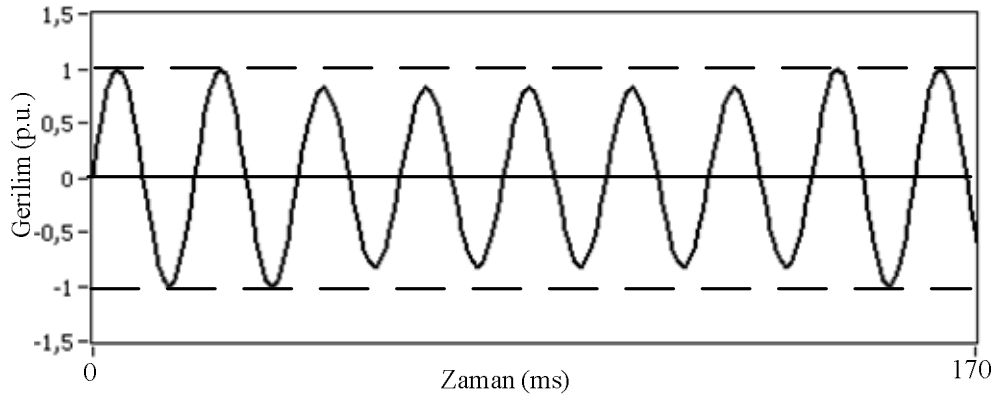
Gerilim yükselmesi güç sistemi frekansındaki gerilimin etkin değerinin 0,5 periyot ile bir dakika arasındaki bir süre boyunca 1,1 p.u. ile 1,8 p.u. arası bir değere yükselmesi olarak tanımlanmaktadır [29]. Gerilim yükselmesine faz-toprak kısa devresi sırasında hatasız olan fazda rastlanır. Gerilim yükselmesi büyük yüklerin anahtarlanması veya büyük kapasitörlerin devreye alınmasında da oluşabilir. Şekil 2.12’de faz-toprak kısa devresi sonucu oluşan ani gerilim yükselmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Tek faz-toprak kısa devresi sonucu oluşan ani gerilim yükselmesi

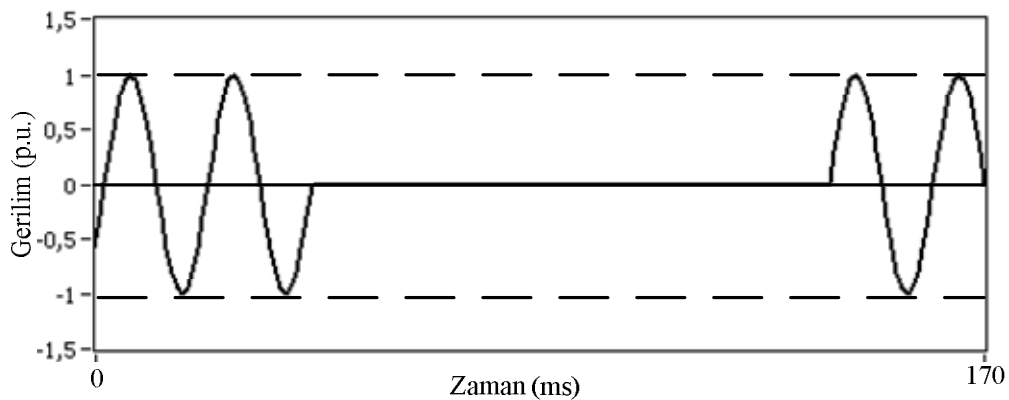
Gerilim düşmesi ve kesilmesi:

Gerilim düşmesi, güç sistemi frekansındaki gerilimin etkin değerinin 0,5 periyot ile bir dakika arasındaki bir süre boyunca 0,1 p.u. ile 0,9 p.u. arası bir değere düşmesi olarak tanımlanmaktadır [29]. Şekil 2.13’te kısa süreli gerilim düşmesi görülmektedir.



Şekil 2.13. Kısa süreli gerilim düşüklüğü

Kesinti ise, referans geriliminin yüzde birkaçına kadar olan özel bir gerilim düşüklüğü türüdür (genel olarak %1-10 arası). Sadece süre olmak üzere tek bir parametre ile karakterize edilirler. Kısa kesintiler bir dakikadan daha az sürer (şebekenin işletme koşullarına bağlı olarak üç dakikaya kadar çıkabilir) ve genellikle, uzun süreli kesintilerden kaçınmak amacıyla tasarlanmış bir devre kesicinin açılması veya otomatikman kapanmasıyla sonuçlanır. Şekil 2.14'te kısa süreli bir gerilim kesintisinin dalga şekli görülmektedir. Kısa ve uzun süreli kesintiler hem kaynaklarına göre hem de meydana gelmelerini önlemek veya azaltmak amacıyla getirilen çözümlere göre farklılık gösterirler.



Şekil 2.14. Kısa süreli gerilim kesintisi

Gerilim düşmesi ve kısa süreli kesintiler ağırlıklı olarak, gözlem noktasıyla kesinti kaynağı arasındaki elektriksel mesafe oranında azalan bir büyüklükle, şebeke empedansları boyunca bir gerilim düşmesiyle sonuçlanan yüksek gerilimlere neden

olan çok özel durumlarda kendini gösterir. İletim (YG) veya dağıtım (AG veya OG) şebekelerinde veya tesisatın kendisinde meydana gelen hatalar tüm kullanıcılarda gerilimin düşmesine neden olmaktadır. Düşüşün süresi genellikle koruyucu cihazların çalışma süresiyle güçlendirilmektedir. Hataların koruyucu cihazlarla (devre kesiciler, sigortalar) yalıtılması, güç sisteminin hatalı bölümünden beslenen kullanıcıların kesintilere (kısa veya uzun) maruz kalmasına neden olmaktadır.

Kısa süreli kesintiler genellikle,(hızlı ve/veya yavaş) otomatik devre kesicisi gibi şebeke üzerinde bulunan otomatik sistemlerin çalıştırılması veya trafo ile generatör arasındaki kilitleme düzeneğinin çalıştırılması veya hatların fazlarının tersine çevrilmesinin bir sonucudur.

Gerilim düşmesi ve kesintileri, trafo kullanılarak daha alçak gerilim seviyelerine aktarılır. Etkilenen faz sayısı ve gerilim düşüklüklerinin derinliği hata tipine ve trafo bağlantısına bağlıdır.

Kötü hava şartlarına maruz kalan havai şebekelerde, yeraltı şebekelerine oranla daha fazla sayıda gerilim düşmesi ve kesintisine rastlanır. Ancak, havai veya karışık şebekeler gibi aynı hat sistemine bağlı bir yeraltı kaynağı da havai iletim hatlarını etkileyen hatalar nedeniyle gerilim düşmesinden etkilenmektedir.

Gerilim düşmesi ve kesintileri, tesisata bağlı birçok cihazda problem yaratmaktadır. Bunlar, çok sık olarak enerji kalitesi problemlerine de neden olmaktadır. Birkaç yüz milisaniyelik bir gerilim düşüklüğü veya kesintisi, birkaç saat süren zararlı sonuçlar yaratabilmektedir.

En hassas uygulamalar şunlardır:

- Herhangi bir öğenin geçici bir süre için kapanmasını tolere edemediği kesintisiz üretim hattı (baskı, çelik işleri, kâğıt fabrikaları, vb)
- Aydınlatma ve güvenlik sistemleri (hastaneler, havaalanı, vb)
- Bilgisayarlar (bilgi işlem merkezleri, bankalar, telekomünikasyon, vb)

2.2.3. Uzun süreli gerilim değişimleri

Uzun süreli gerilim değişimleri 1 dakikadan uzun süren güç frekansındaki etkin değer değişimlerini ifade etmektedir. Uzun süreli gerilim değişiklikleri aşırı gerilim, düşük gerilim ve kalıcı gerilim kesintisi olarak incelenmektedir. Aşırı gerilim ve düşük gerilime sistem hataları değil sistemdeki yük değişiklikleri ile anahtarlamalar neden olmaktadır. Bu tür değişiklikler genelde etkin değer - zaman grafikleri yardımıyla gösterilmektedir.

Aşırı gerilim:

Bir cihaza gerilim verilirken üst değerinin, bir standart veya özellikte belirlenen sınır değerleri aşması durumunda ortaya çıkan duruma aşırı gerilim denir. Aşırı gerilimin etkileri aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Cihaza (elektronik parçalara vb.) önemli ve kalıcı hasar veren bozulmalar.
- Cihazın, eskime nedeniyle değer kaybetmesi (zarar veren aşırı gerilimlerden çok tekrarlayan aşırı gerilimler).
- Cihazın bozulması ile ortaya çıkan uzun kesintiler (dağıtım şirketi için satış kaybı, endüstriyel şirketler için üretim kaybı).
- Kontrol sistemlerinde ve düşük akım haberleşme devrelerinde kesinti.
- Havai şebekeler, yıldırıma karşı çok duyarlıdır ancak eğer yıldırım bulundukları yere yakın bir yerde gerçekleşmişse yüksek gerilimden dolayı yer altı şebekeleri tarafından beslenen tesisatlar da durumdan etkilenebilir.
- Anahtarlama aşırı gerilimleri birbiri ardına meydana gelmektedir ve meydana gelme olasılıkları yıldırıma göre daha yüksek ve daha uzun sürelidirler. Bunlar, en az yıldırım kadar ciddi bozulmalara neden olabilir.

Aşırı gerilimler genel olarak üç başlık altında incelenebilir:

Güç frekansı aşırı gerilimi:

50/60 Hz'lik güç frekanslarında oluşurlar. Farklı durumları söz konusudur.

Yalıtım hatası: Yalıtımlı nötr bir sistemde, faz ve toprak arasında bir yalıtım hatası oluşırsa, toplu fazlardan toprak hattına verilen gerilim, fazlar arası gerilim değerine ulaşabilir.

Ferrezonans: Bu durum cihaz için genellikle tehlikelidir. Kondansatör ve bobin içeren bir devrede üretilen, doğrusal olmayan, nadir görülen bir olaydır.

Reaktif gücün fazla karşılanması: Paralel kondansatörler, kaynaktan bulundukları yere doğru verilen gerilimde bir artışa sebep olurlar. Bu gerilim, özellikle düşük yük sürelerinde yüksektir.

Anahtarlama aşırı gerilimi:

Bunlar, şebeke yapısında meydana gelen hızlı değişimler sonucu ortaya çıkmaktadır, koruyucu cihazın açılması, vb. Örneğin, bir kondansatör bankının enerjilenmesi ilk tepe değerinin anma gerilimin etkin değerinin $2\sqrt{2}$ katına ulaşabildiği geçici bir aşırı gerilime sebep olur.

Yıldırım aşırı gerilimleri:

Yıldırım, fırtınalar boyunca oluşan doğal bir olaydır. Doğrudan yıldırım çarpması (bir hat veya yapıya) ve yıldırım çarpmasının dolaylı etkileri arasında bir ayırım yapılmıştır (aşırı gerilime sebep olma ve toprak potansiyelinde artış gibi).

Düşük gerilim:

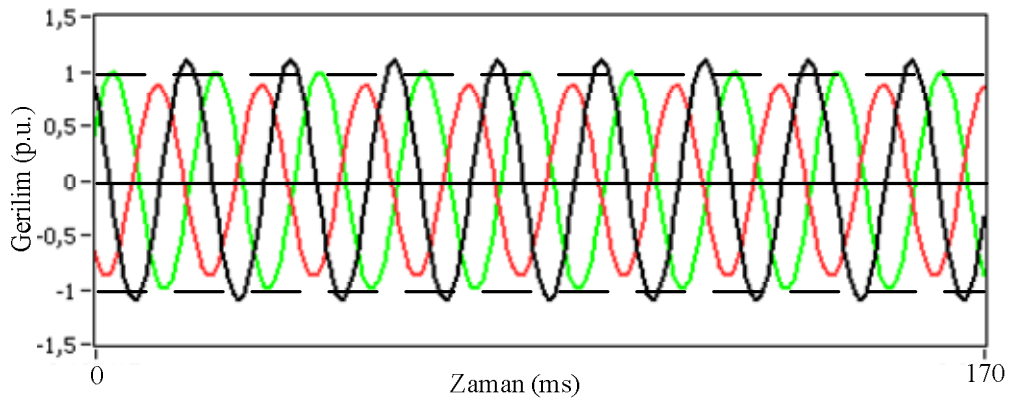
Düşük gerilim, geriliminin 1 dakikadan uzun bir süre boyunca güç frekansındaki etkin değerinin %90'nın altına düşmesidir. Düşük gerilime neden olan olaylar yüksek gerilime neden olan olayların tersidir. Yük anahtarlanması, kapasitörlerin devreden çıkarılması gibi olaylar gerilim düzenleyici araçların sistemi tekrar eski gerilim seviyesine getirmesine kadar geçen sürede düşük gerilime neden olurlar. Aşırı yüklenmiş devrelerde düşük gerilime neden olabilirler.

Uzun süreli gerilim kesintisi:

Uzun süreli gerilim kesintisi, gerilimin 1 dakikadan uzun bir süre boyunca etkin değerinin sıfıra düşmesidir. Bir dakikayı aşan kesintiler genelde sistem bakımına neden olmaktadır.

2.2.4. Gerilim dengesizliği

Gerilim ve akım genlikleri aynı, fazlar arası 120° olan üç-fazlı bir sistem, dengeli veya simetrik bir sistem olarak adlandırılır. Bu özelliklerden biri veya her ikisi de söz konusu olmadığı takdirde sistem, dengesiz veya asimetrik olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.15'te dengesiz bir şebeke için gerilim dalga şekilleri görülmektedir.



Şekil 2.15. Dengesiz bir sistemdeki gerilim dalga şekilleri

Sistemi işletenler, dağıtım sistemi ile müşteri tesisatının ortak bağlantı noktasında dengeli bir sistem gerilimi sağlamaya çalışırlar. Normal şartlar altında, bu gerilimler:

- Generatörlerin terminal gerilimleri
- Elektrik sisteminin empedansı
- İletim ve dağıtım hatlarına bağlı yüklerin çektiği akımlar tarafından belirlenmektedir.

Büyük merkezi enerji santrallerinde kullanılan, senkron generatörlerin yapısı ve çalışma özellikleri nedeniyle üretilen gerilimlerin simetrisi genel olarak yüksek olmaktadır. Bu nedenle, merkezi üretimin dengesizliğe katkısı genellikle söz konusu

olmaz. Hatta bazı tip rüzgâr türbinlerinde kullanılan asenkron generatörlerde bile dengeli üç-fazlı gerilimler düzenli üretilmektedir.

Elektrik sistem yapılarının empedansı her bir faz için aynı değildir. Havai hatların geometrik düzeni, örneğin zemin toprağına göre asimetrik olduklarından hattın elektrik parametrelerinde farklılık yaratır. Genel olarak, bu farklılıklar çok küçüktür ve hatların dönüşümlü yerleştirilmeleri gibi bazı önlemler alındığı takdirde etkileri ihmal edilebilir. Uygulamaların çoğunda karşılaşılan dengesizliklerin ana nedeni yüklerdeki asimetridir.

Alçak gerilim yükleri, bilgisayar ve aydınlatma sistemlerinde olduğu gibi genellikle tek fazlıdır ve bu nedenle fazlar arası dengenin garanti edilmesi zordur. Bu gibi yüklerin beslendiği bir tesisatta yük devreleri, bir apartmanın her katını veya ofislerin her birini veya sıra halindeki meskenlerin her birini bir faz besleyecek şekilde üç faz arasında dağıtılmıştır. Buna rağmen, her bir yükün işlevsel olarak istatistikî dağılımı nedeniyle eşdeğer yüklerin merkezi transformatördeki denge durumu değişime uğrayabilir.

Normal olmayan sistem şartları faz dengesizliğinin diğer bir nedenidir. Faz-toprak, faz-faz ve açık iletken hataları tipik örneklerdir. Bu hatalar fazların birinde veya birçoğunda gerilim azalmalarına neden olmakta ve hatta dolaylı olarak diğer fazlar üzerinde aşırı gerilimlere yol açmaktadır.

2.2.5. Dalga şekli bozukluğu

Dalga şekli bozukluğu temel frekanstaki sinüsoidal sinyalin bozulması olarak tanımlanmakta ve spektrumsal olarak karakterize edilmektedir. Beş çeşit temel dalga şekli bozukluğu vardır. Doğru akım bileşeni, harmonikler, ara harmonikler, çentik etkisi ve gürültü.

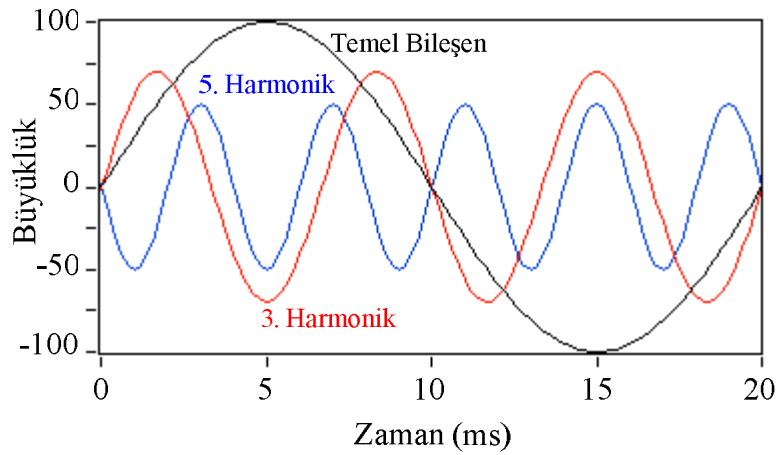
Doğru akım bileşeni:

Güç sistemlerinde doğru akım bileşeni yarım dalga doğrultucular gibi yüklerden dolayı oluşur. Örneğin akkor telli lambaların ömrünü uzatmak için kullanılan diyot

içeren devreler bu sonucu doğurur. Alternatif akım şebekelerinde doğru akım bileşeni transformatörlerin normal çalışma durumlarında doymaya geçmelerine neden olabilirler. Bu da normalin üstünde ısınmaya dolayısıyla da transformatörlerin kayıplarının artmasına ve ömürlerinin azalmasına neden olur. Doğru akım bileşeni aynı zamanda toprak bağlantılarının ve diğer bağlantıların aşınmasına da neden olurlar.

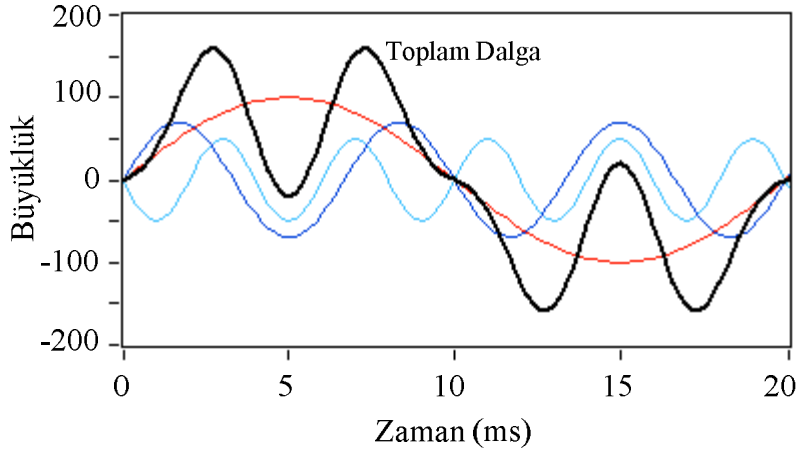
Harmonikler:

Harmonik frekanslar, şebeke frekansının tam katları şeklindedir. Örneğin, 50 Hz temel bileşen için üçüncü harmonik 150 Hz, beşinci harmonik ise 250 Hz'dir. Şekil 2.16'da temel bir sinüs eğrisi üçüncü ve beşinci harmoniklerle birlikte gösterilmektedir [31].



Şekil 2.16 Temel bileşen ile 3. ve 5. harmonik dalga şekilleri

Şekil 2.17'de, %70 üçüncü harmonik ve %50 beşinci harmoniklerin ilave edildiği bir şebeke görülmektedir. Dikkat edilirse uygulamalarda karşılaşılan bozulmuş akım dalga şekilleri bu gösterilenden çok daha karmaşıktır ve daha çok sayıda harmonikler ile daha karmaşık faz ilişkileri içermektedirler.



Şekil 2.17. Harmonikli akım dalga şekli

Açıkça görüldüğü gibi bu dalga şekli bir sinüs eğrisi değildir ve dolayısıyla etkin değer kalibreli multimetreler gibi normal ölçü aletleri ile yapılan ve ortalama değeri gösteren ölçümler yanlış olmaktadır. Her bir devirde iki değil altı adet sıfır noktası bulunur, bu nedenle referans olarak sıfır noktasını alan cihazlarla yapılan ölçümler hatalı sonuçlar verecektir.

Dalga şekli, şebeke frekansından farklı frekanslar içermektedir ve değerlendirmelerin de buna göre yapılması gerekir. Harmonikler akım harmonikleri olarak oluşur ve olumsuzlukların çoğu da bu akımların etkisi ile ortaya çıkmaktadır; bu nedenle, enerji tesislerinde harmonikler söz konusu edildiğinde akım harmonikleri anlaşılmaktadır.

Bir dağıtım sistemine yayılan harmonik akımlar, bu akımların taşınması ile alakası olmayan alt devrelerde gerilim harmonikleri olarak taşınmaktadırlar. Ölçülen gerilim ve akım değerlerinin ayrı ayrı net bir şekilde tanımlanarak kullanılması son derece önemlidir. Uygulamada; akım sapması ölçümleri 'I' sembolü ile (%35 THD_I gibi), gerilim sapması ölçümleri de 'V' sembolü ile (%4 THD_V gibi) gösterilmektedir.

Harmonikler güç sistemlerinde; ek kayıplar, ek gerilim düşümleri, rezonans olayları, güç faktörünün değişmesi vb. gibi teknik ve ekonomik problemlere yol açmaktadırlar.

Son 50 yıldır yapılan teorik ve uygulamalı araştırmaların sonucuna göre; harmonik kaynakları, günümüzde mevcut olan klasik harmonik kaynakları ve gelecekte oluşabilecek yeni harmonik kaynakları olarak iki grupta incelenebilir [32].

Klasik harmonik kaynakları:

- Elektrik makinelerindeki diş ve olukların meydana getirdiği harmonikler
- Çıkık kutuplu senkron makinelerde hava aralığındaki relüktans değişiminin oluşturduğu harmonikler,
- Senkron makinelerde ani yük değişimlerinin manyetik akı dalga şekillerindeki bozulmalar,
- Senkron makinelerinin hava aralığı döner alanının harmonikleri,
- Doyma bölgesinde çalışan transformatörlerin mıknatıslanma akımları,
- Şebekedeki nonlinear yükler; doğrultucular, eviriciler, kaynak makineleri, ark fırınları, gerilim regülâtörleri, frekans çeviriciler, v.b.

Yeni harmonik kaynakları:

- Motor hız kontrol düzenleri,
- Doğru akım ile enerji nakli (HVDC),
- Statik VAR generatörleri,
- Kesintisiz güç kaynakları,
- Gelecekte elektrikli taşıtların yaygınlaşması ve bunların akü şarj devrelerinin etkileri,
- Enerji tasarrufu amacıyla kullanılan aygıt ve yöntemler,
- Direkt frekans çevirici ile beslenen momentli büyük hızı küçük motorlar.

Harmonik üretilmesine neden olan en önemli elemanları ise şöyle sıralayabiliriz:

- Transformatörler
- Döner makineler
- Güç elektroniği elemanları
- Doğru akım ile enerji nakli (HVDC)
- Statik VAR generatörleri
- Ark fırınları
- Kesintisiz güç kaynakları
- Gaz deşarjlı aydınlatma
- Elektronik balastlar

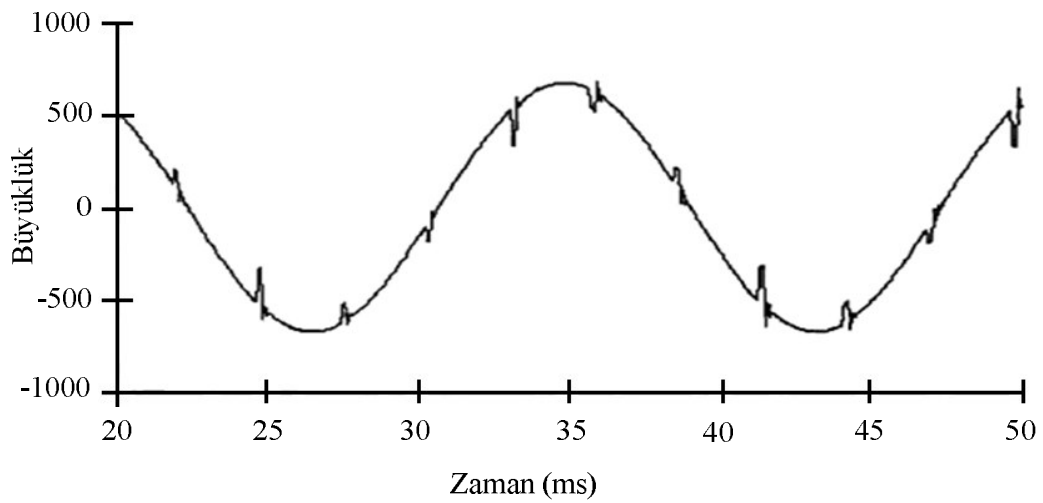
- Fotovoltaik sistemler
- Bilgisayarlar

Ara harmonikler:

Ara harmonikler besleme sisteminin temel frekansının tam katları olmayan frekans dağılımına sahip gerilim ve akımlardır. Ara harmonikler ayırık frekanslarda veya geniş band spektrumunda bulunabilirler Ara harmoniklerin tüm gerilim sınıflarındaki şebekelerde bulunmaları da mümkündür. Ara harmoniklerin temel kaynağı statik frekans çeviricileri ve ark fırınlarıdır [26, 33].

Çentik etkisi:

Çentik etkisi güç elektroniği aletlerinin normal çalışma şartlarında bir fazdan diğerine geçmeleri sırasında oluşan periyodik gerilim bozulmalarıdır. Çentik etkisi periyodik olduğundan harmonik spektrumu ile karakterize edilebilmesine rağmen genelde özel bir durum olarak değerlendirilir. Bunun nedeni çentik etkisi ile ilişkili olan harmonik frekansının yüksek olması nedeni ile harmonik analizi için kullanılan aletler tarafından algılanamayabilmesidir. Şekil 2.18’de üç fazlı doğrultucu tarafından oluşturulan çentik etkisi gösterilmiştir. Çentik etkisi sırasında kısa süreli bir kısa devre oluşur ve gerilim, sistemin izin verdiği miktarda azalır.



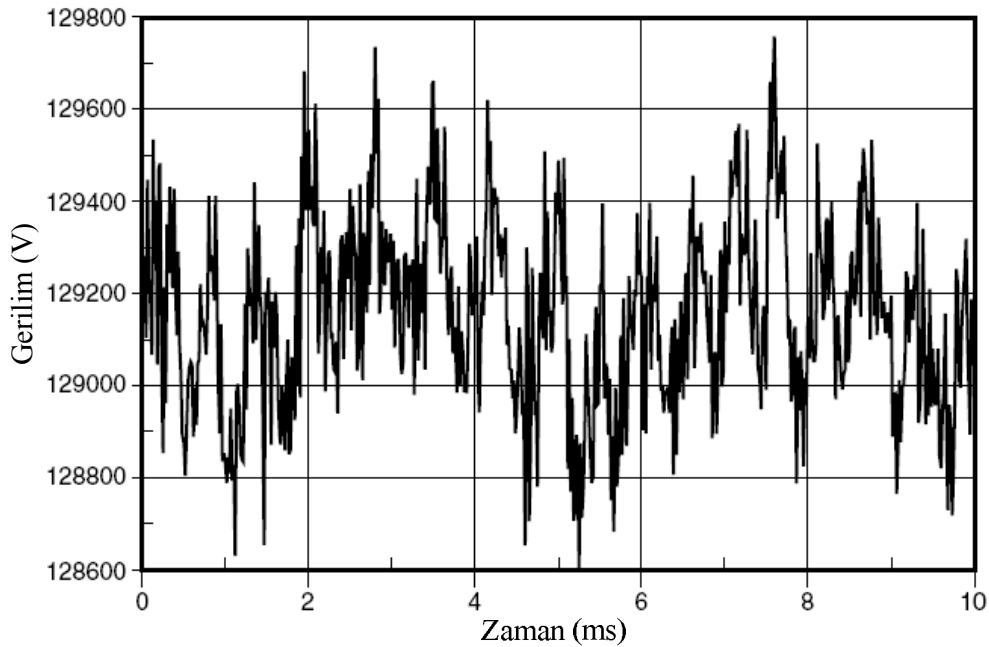
Şekil 2.18. Üç fazlı doğrultucu nedeniyle oluşan çentik etkisi

Gürültü:

Gürültü güç sistemlerinde bulunan 200 kHz'den küçük bir frekans spektrumuna sahip sinyaller olarak tanımlanmaktadır. Güç sistemlerindeki gürültüler güç elektroniği aletleri ve kontrol devreleri gibi işleme bağlı elemanlardan kaynaklanabilir. Gürültü sorununu önemli hale getiren neden bu işaretleri gerektiği gibi güç sistemlerinden uzaklaştıramayan yetersiz topraklama sistemleridir. Genel olarak gürültü harmonik veya geçici olay olarak sınıflandırılmayan bozulmaları içermektedir. Gürültü mikroişlemciler veya programlanabilir kontrolörlerin çalışmasını bozabilir. Bu sorun filtre kullanımı ile azaltılabilmektedir.

2.2.6. Gerilim dalgalanmaları

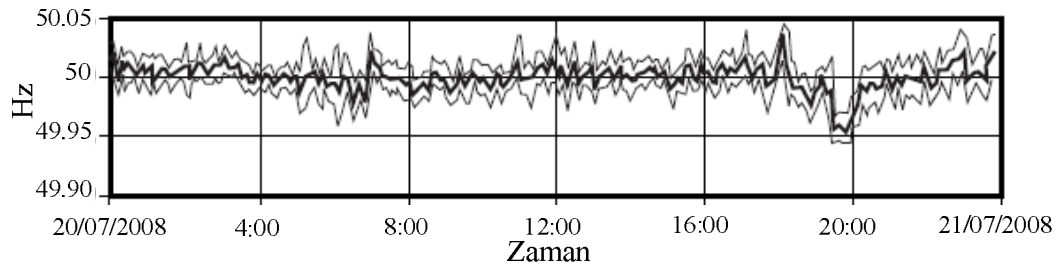
Gerilim dalgalanmaları normalde 0,9 p.u. ile 1,1 p.u. seviyesini aşmayan rastlantısal veya sistematik gerilim değişiklikleridir. Gerilim dalgalanmasının çeşitli biçimleri tanımlanabilir. Fliker (kırpışma) da bu sınıfta bir bozulmadır. Şekil 2.19'da ark ocağı tarafından oluşturulan gerilim dalgalaması gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Ark ocağının neden olduğu gerilim dalgalanması

2.2.7. Güç frekansı değişimleri

Güç frekansı değişimleri, sistemin temel frekansının anma frekansından sapması olarak tanımlanır. Güç sistemi frekansı besleme sistemindeki senkron generatörlerin dönme hızları ile orantılıdır. Yük ve üretim arasındaki dinamik dengeden dolayı frekansta değişimler olmaktadır. Frekans değişimlerinin miktarı ve süresi yük karakterine ve generatör kontrol sistemlerinin yük değişimine verdiği cevaba göre değişmektedir. İzin verilen sınırların dışına taşan frekans değişimlerine şebeke grubundaki hatalar, büyük güçlü yük bloklarının bağlantı kesmeleri veya önemli miktarda güç üreten generatörlerin devre dışı kalmaları neden olabilir. Şekil 2.20’de 50 Hz’lik bir şebekede yaşanan güç frekansı değişimi görülmektedir.



Şekil 2.20. Güç frekansının zamana göre değişim eğrisi

3. LabVIEW PROGRAMLAMA DİLİ ve VERİ TOPLAMA KARTLARI

Son yıllarda hazırlanan yazılımlar incelendiğinde görsellik ve kullanılabilirlik ön plana çıkmaktadır. Özellikle test ve ölçüm üzerine hazırlanan yazılımlarda kullanılan görsel öğelerin, gerçek ölçüm cihazlarına benzer şekilde hazırlanması kullanıcı dostu arayüzlerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bu amaçla en yaygın kullanılan programlama dili LabVIEW programlama dilidir. Çeşitli ölçümleri gerçekleştiren sistemlerde dış dünyadan verilerin toplanması işlemi genellikle veri toplama kartları yardımıyla yapılmaktadır [34].

3.1. LabVIEW Programlama Dili

LabVIEW, verilerin toplanması, analizi ve sunumunda kullanılan, grafik tabanlı program geliştirme ortamıdır. Metin tabanlı programlama dillerine oranla daha güçlü programlama yeteneği ve esnekliğine sahip olan LabVIEW test ve ölçme işlemlerinde, veri toplama ve kontrolünde, bilimsel araştırma çalışmalarında, işlem takibinde, fabrika otomasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yazılımın hazırlanmasında ihtiyaç duyulabilecek hemen hemen her tip fonksiyon LabVIEW programında hazır olarak kullanıcıya sunulduğu için yazılım geliştirmek için harcanan zaman, diğer metin tabanlı programlara oranla önemli ölçüde azaltılmıştır. LabVIEW programlama dilinin avantajları beş kategoride gruplandırılabilir:

- LabVIEW, yazılım geliştirmeye harcanan zamanı azaltır.
- LabVIEW, bilgisayar ve enstrümantasyon donanımına yapılan ekonomik yatırımı etkinleştirir.
- LabVIEW, kendi çözümlerini geliştirebilmeleri için daha geniş kullanıcı kitlesini yetkilendirir.
- LabVIEW, karmaşık geliştirme araçlarına gerek bırakmayan işlem yapabilme esnekliğine sahiptir.
- Sürekli geliştirilen güçlü ek yazılımlarıyla karmaşık geliştirme işlemlerini basitleştirmektedir.

LabVIEW programı yardımıyla, geleneksel anlamda program yazmak yerine bir anlamda program çizilmektedir. Böylece yazılım sisteminin aktif kontrolünü sağlayan kullanıcı ön panelinin oluşturulması oldukça kolay bir hale gelmektedir.

Ölçme ve enstrümantasyon odaklı olarak geliştirilen LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments For Engineering Workbench) bugün bir yazılım üretme platformu olarak diğer yapısal ve nesne tabanlı programlama dillerinin hemen hemen her yeteneğine sahiptir. LabVIEW, grafiksel programlama dili teknolojisi (GPL) ile programlamada yeni bir dönemi başlatmıştır. GPL metin tabanlı kodlama yerine tamamen sembolleştirilmiş komut setine sahiptir. Dolayısı ile komut ezberleme zorluğunu ortadan kaldırmıştır. Programcı, kullanıcı arabirimlerinden ihtiyacı olan fonksiyonları alarak bir akış şeması oluşturur gibi yazılım üretmektedir. National Instrument firması tarafından üretilmiş ve LabVIEW ile entegre çalışabilen çeşitli donanımlar bir çok mühendislik uygulamalarında veri toplama, analizi ve sunumu aşamalarında çok hassas ölçümler yapmayı da sağlamaktadır [35].

3.1.1. LabVIEW programlama dilinin tarihsel gelişimi

1976 yılında ABD'nin Texas eyaletinde Austin şehrinde kurulan National Instruments firması ilk çalışmalarına GPIB (General Purpose Interface Bus-IEEE 488) kartlar ile başlamıştır. Daha sonraki yıllarda MAC makineler için veri toplama kartı üreten şirket 1983 yılında programlama için gereken zamanı azaltacak yollar aramaya başlamıştır. Nisan 1983 tarihinde görsel kullanıcı arayüzünü içeren ön paneli, yenilikçi blok diyagramı programlama yöntem bilimi ile birleştirilerek verimli, yazılım tabanlı bir grafiksel ölçme sistemi olan LabVIEW sanal enstrümantasyon (ölçme) kavramı geliştirilmiştir.

Bu çalışmalar sonrasında ilk prototip LabVIEW adı altında Macintosh üzerinde yaratılmıştır. DOS tabanlı PC'lerin 620 kB engeli yüzünden LabVIEW prototipi ilk başlarda yalnızca Macintosh uyumlu olarak tasarlanmıştır. Macintosh ölçme uygulamalarında sık kullanılmadığı halde diğer işletim sistemleri LabVIEW programını destekleyene kadar Macintosh teknolojisi için LabVIEW sürüm 1 adı altında en uygun seçenek olmuştur.

Ocak 1990'da LabVIEW nesneye dayalı programlama teknikleri ile baştan tekrar tasarlanarak yürütme hızı, C programlama dilinde yaratılmış programlarla kıyaslanabilir bir düzeye getirilmiştir. Grafiksel işletim sistemlerinin piyasaya çıkması ile birlikte National Instruments LabVIEW teknolojisini Eylül 1992'de LabVIEW 2.5 adı altında PC'ler ve diğer iş istasyonu platformlarına taşıyarak LabVIEW programının kullanılabilirliğini artırmıştır.

Temmuz 1993'te LabVIEW 3 sürümü, başka platformlarda da yürütülebilir özellikte hazırlanmıştır. Nisan 1996'da LabVIEW sürüm 4 tanıtılmış ve bu sürüm kullanıcılara çok kolay kullanım özellikleri getirmiştir. Kontroller, fonksiyonlar ve araçlar, isteğe bağlı kayan panolara yerleştirilerek, menüler tekrar gözden geçirilmiştir. Mart 1998'de sistemin bir programın ayrı ayrı parçalarını aynı anda çalıştırabilme, geri alma ve bağlanırlık özellikleriyle LabVIEW 5.0.1 kullanıcılara tanıtılmıştır.

2002 yılları başlarında kontrol uygulamaları, test ve görüntüleme için grafiksel geliştirme ortamı sağlayan LabVIEW 6'nın piyasaya çıkarıldığı duyurulmuş ve bir yıl sonra Express VI özelliği eklenmiş olan LabVIEW 7 Express piyasaya sunulmuştur. 38 adet express VI içeren LabVIEW Express ile I/O, analiz ve sunum ihtiyaçları için LabVIEW blok diyagramları geliştirilmek çok daha kolay hale getirilerek, basit bir veri toplama sisteminden ileri düzey tümleşik yazılım geliştirme işlemi için kolay üretkenlik sağlanır hale gelmiştir.

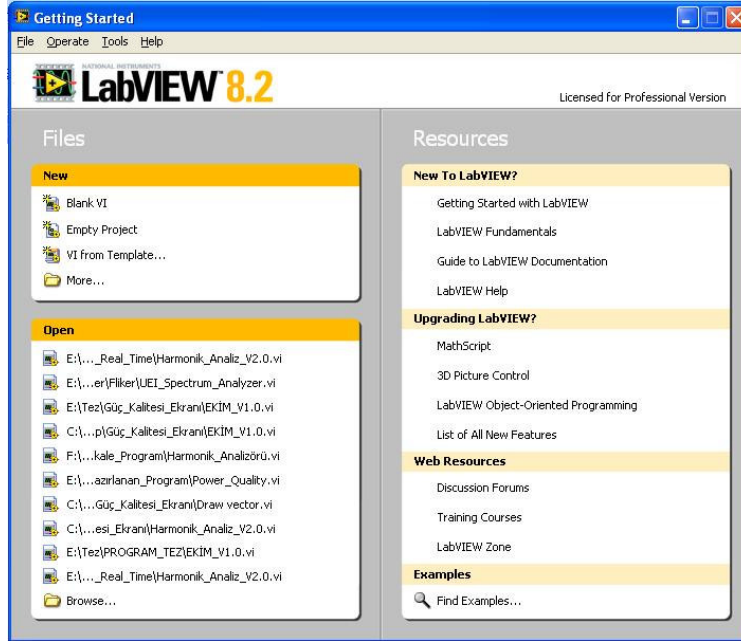
NI, LabVIEW 7 Express'den sonra 2004 yılında genişletilmiş DAQ asistan ve Real-time NI-DAQmx içeren LabVIEW 7.1'i LabVIEW kullanıcılarının hizmetine sunmuştur. LabVIEW 7.1 yardımıyla hiç programlama bilgisi gerektirmeyen easy-to-configure diyalogları kullanarak yüksek hızlı dijital I/O kartları için analog ve dijital uyarıcı sinyaller kolay ve hızlı bir şekilde oluşturulabilir ve değiştirilebilir hale gelmiştir. Bu sürüm en son network protokolleri ile daha fazla cihaza ve akıllı sensörlere bağlanma imkanı veren yeni fonksiyonları ve zamanlanmış döngüleri de içermektedir.

2005 sonlarına doğru yeniden düzenlenmiş açılış arayüzü, menüleri ve paletleri ile LabVIEW 8.0 kullanıma sunulmuştur. Bu sürümde kaydetme, değişkenlerin kullanımı, proje ve uygulama geliştirme, web uygulamaları, güvenlik, VI ve fonksiyonlar gibi bir çok konuda LabVIEW yetenekleri artırılmıştır. 2006'da LabVIEW 8.2 sürümüne nesne yönelimli programlama, kullanıcı arayüzü geliştirme, kod ile DLL'lere bağlanabilme, .NET web uygulama servisleri, yüksek hızlı dosya giriş ve çıkışı, MathWorks firmasının Matlab dil yazım kuralları ile M-File yazabilme için yeni araçlar eklenmiştir. LabVIEW 8.2.1 sürümü ile Windows Vista işletim sistemi için hazır hale getirilmiştir.

LabVIEW, 20 yılı aşkın bir süredir gelişmekte olmasına rağmen, teknolojiadaki sınırlamalardan dolayı dünyada ve ülkemizde beklenen hızda yaygınlaşamamıştır. 90'lı yılların sonuna doğru teknolojik gelişmeler LabVIEW'i gerek GPL (grafiksel programlama dili) olarak gerekse ölçme ve enstrümantasyon alanında yeterli seviyeye getirmiştir. Programlamaya getirdiği kolaylıklarla birlikte veri toplama için sağladığı tümleşik devreler sayesinde, çok hassas ölçümler, pratik bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. 2000'li yılların başından itibaren de hem endüstride üretimin çeşitli alanlarında hem de üniversitelerde akademik seviyede hızla yaygınlaşmaya başlamıştır [35].

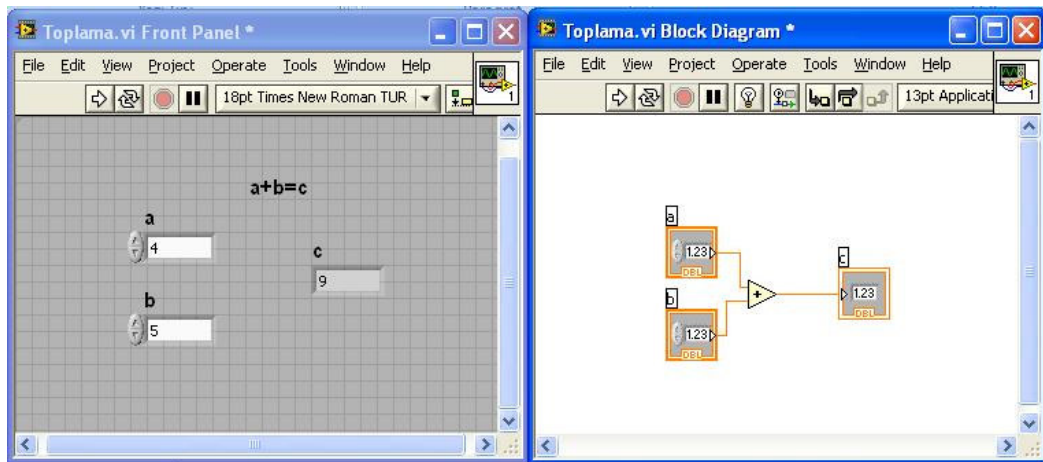
3.1.2. LabVIEW kullanıcı arayüzünün tanıtılması

LabVIEW programı başlatıldığında kullanıcı bir başlangıç menüsü ile karşılaşmaktadır. Bu başlangıç menüsü üzerinde yeni bir sanal enstrüman oluşturma, yeni bir proje oluşturma veya var olan hazır şablonları kullanarak program hazırlama gibi seçenekler bulunmaktadır. Bunun yanında başlangıç menüsü üzerinde son açılan dosyalar hazır olarak bulunduğu için kullanıcının son çalıştığı dosyaya çabuk ulaşımı sağlanmaktadır. LabVIEW programının karşılama menüsü Şekil 3.1'de görülmektedir.



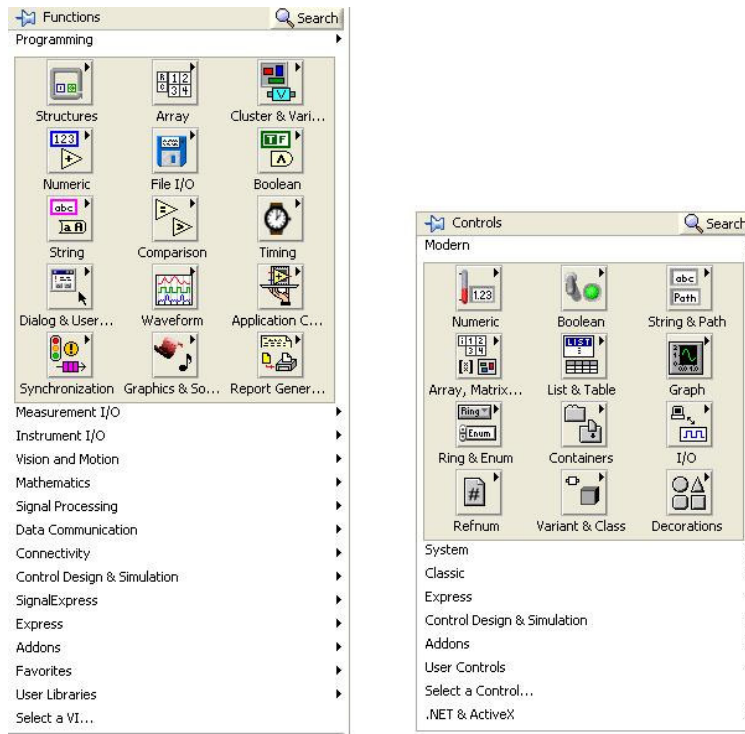
Şekil 3.1. LabVIEW programı başlangıç menüsü

Kullanıcı başlangıç menüsünden yeni bir sanal enstrüman oluşturmak için seçenek yaptığında karşısına iki farklı ekran gelecektir. Bunlar “Front Panel” ve “Block Diagram” ekranlarıdır. Sırası ile bu iki kısım ön panel ve blok diyagram olarak adlandırılmaktadır ve LabVIEW genel olarak bu iki ana ekrandan oluşmaktadır. Blok diyagram görsel programlama dillerinde kod yazma bölümüne, ön panel ise kullanıcı ara yüzünün hazırlandığı formlara karşılık gelmektedir. Şekil 3.2 de ön panel ve blok diyagram görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.2. “Ön Panel” ve “Blok Diyagram” görüntüleri

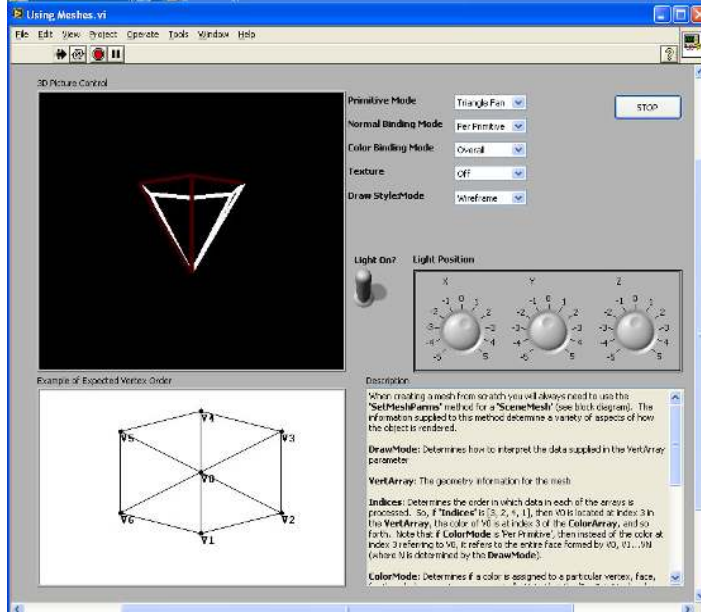
Ön panel kullanıcı etkileşimli olup, blok diyagram arka planda çalışan ve ön panelden gerekli verileri alan ve bu veriler üzerinde işlemler yaparak ön panele gönderen kısımdır. Ön panelde ve blok diyagramda program hazırlanırken kullanılan iki önemli palet bulunmaktadır. Bu paletlerden ön panelde kullanılan palet “Kontrol Paleti”, blok diyagramda kullanılan palet ise “Fonksiyon Paleti” denmektedir. Bu paletler normalde gizli durumdadır ve ekranın herhangi bir yerinde farenin sağ tuşuna basınca aktif hale gelmektedir. Bu paletlere ait görünüm Şekil 3.3’ te görülmektedir.



Şekil 3.3. “Fonksiyon Paleti” ve “Kontrol Paleti” ön görünüşleri

Kontrol paleti üzerinde bulunan kontroller ve göstergeler kullanılarak ön panelde kullanıcı arayüzü oluşturulmaktadır. Kontrol paleti üzerinde bulunan kontroller (controls) blok diyagrama veri girişi sağlarken, göstergeler (indicators) blok diyagramda üretilen sonuçları görüntülemektedir. Kontrollere örnek olarak sayısal kontroller, butonlar ve metin girişleri gösterilebilir. Göstergelere ise sayısal göstergeler, grafik ekranlar, ledler, tablolar örnek gösterilebilir. Şekil 3.4’te kontroller ve göstergelerin yer aldığı bir ön panel görüntüsü verilmiştir. Görüldüğü

üzere kontrol paleti üzerinde bulunan nesnelerin ön panele eklenmesiyle çok kısa sürede kullanıcı arayüz ekranı hazırlanabilmektedir.



Şekil 3.4. Ön panel görüntüsü

Ön panele eklenen her kontrol ve gösterge blok diyagram ekranına da, onu temsil eden bir nesne olarak otomatik olarak eklenmektedir. Bu nesneler terminal olarak adlandırılmaktadır. Her bir terminalin rengi ve sembolü o terminalin veri tipini göstermektedir. Kontrol elemanları göstergelere göre daha kalın bir çerçeveye sahiptir. Bununla birlikte sembollerde terminalin kontrol veya gösterge olduğunu işaret eden bir ok vardır. Eğer ok sağ tarafta ise terminal kontrol, sol tarafta ise terminal göstergedir. Blok diyagramı paneline eklenen terminaller ve fonksiyon panelinden alınan nesneler uygun şekilde bağlanarak program hazırlanmaktadır. Şekil 3.5'te yukarıda verilen ön panelin çalışmasını sağlayan blok diyagram panelinin bir parçası görülmektedir. Görüldüğü gibi program, grafiksel olarak terminallerin ve fonksiyonların birbiri aralarında uygun biçimde bağlanmaları ile oluşturulmuştur. Fonksiyonlar LabVIEW programının temel işlem elemanlarıdır. Fonksiyonlar ön panellere veya blok diyagramlara sahip olmamakla birlikte bağlantı noktalarına sahiptir. Ayrıca fonksiyonların içleri açılmaz veya düzenlenemez.

Ön panelde ve blok diyagramda ortak kullanılan bir başka palet ise araç paletidir. Araç paletinin görünümü Şekil 3.6’ da görülmektedir. Buradaki araçlar fare işaretçisinin özel işlem biçimleridir. Fare işaretçisi araç paletinden seçilen ikona dönüşür. Buradaki araçlar blok diyagramdaki ve ön paneldeki nesnelerin düzenlenmesinde ve işletilmesinde kullanılır. Araç paletinin en üstündeki “Automatic Tool Selection” butonu eğer seçili ise yeşil led yanmaktadır. Böylece LabVIEW ihtiyacımız olan aracı tasarım anında otomatik olarak seçmektedir.

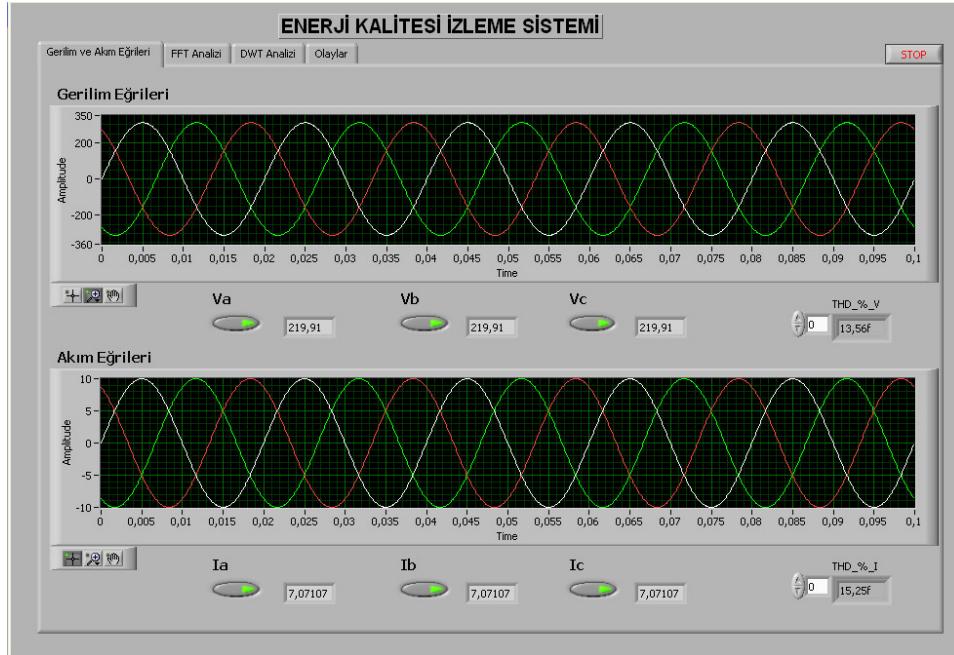


Şekil 3.6. Araç paleti

3.1.3. Sanal enstrümantasyon (VI)

LabVIEW’ de bir araç seti ve nesneler ile kullanıcı arabirimi oluşturulabilmektedir. Kullanıcı arabirimi ön panel olarak isimlendirilirken ön paneldeki nesnelerin fonksiyonlarını kontrol edebilmek için kod yazma grafiksel blok diyagramlar yardımıyla sağlanmaktadır. Başka bir deyişle blok diyagram akış şemalarına benzemektedir. Programlama veri akışı yapısına dayanmaktadır [36].

LabVIEW programları görünüş ve çalışma şekli ile laboratuarlarda kullanılan osiloskop, sinyal jeneratörü gibi fiziksel enstrümanlara benzediği için sanal enstrüman (virtual instruments-VIs) veya VI olarak adlandırılmaktadır. Her VI kullanıcı arabiriminden veya başka kaynaklardan gelen bilgileri kullanabilir ve bu bilgileri görüntüleyebilir veya başka dosyalara ve bilgisayarlara taşıyabilir. Şekil 3.7’de bir sanal enstrümanın ön panel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.7. LabVIEW ile hazırlanan sanal enstrüman

Bir sanal enstrüman şu üç bileşeni içermektedir:

- Ön panel :Kullanıcı arabirimi olarak hizmet eder
- Blok Diyagram :Grafiksel kaynak kodlarını içerir.
- İkon ve Bağlantı Pencereleeri :Bir sanal enstrüman içinde kullanılabilen diğer sanal enstrümanları tanımlar.

3.1.4. LabVIEW ile veri toplama

Bütün ölçü sistemlerinin temel görevi gerçek dünyadaki fiziksel büyüklükleri ölçmek veya üretmektir. Ölçme aygıtları ölçülmek istenilen verileri elde ederken, analiz ederken veya görüntülerken yardımcı olmaktadır.

Veri elde ederken ölçülen fiziksel büyüklükler sayısal formatta; gerilim, akım, basınç, sıcaklık gibi büyüklüklere çevrilerek bilgisayara aktarılır. DAQ(Data AcQuisition), GPIB (General Purpose Interface Bus), PXI(PCI eXtention for Instrumentation) ve RS-232 aygıtları veri elde etmede en çok kullanılan metotlardır.

Veri analizi süresince, ham veri anlamlı bilgiye dönüştürülürken eğri uydurma, istatistiksel analiz, frekans cevabı ve diğer sayısal işlemler yapılmaktadır. Verilerin sunulmasında ise grafik, tablo, termometre veya diğer görsel araçlar kullanılabilmektedir.

3.2. Veri Toplama Kartları

Veri toplama kartları, verileri birçok kanaldan elde eden veya üreten aygıtlar olarak tanımlanmaktadır. Veri toplama kartları yardımıyla herhangi bir harici donanımdan analog ve dijital sinyaller okunabildiği gibi aynı sinyaller veri toplama kartları aracılığıyla da üretilebilmektedir. Bu aygıtlarla doğrudan bilgisayarların dahili veri yolları ile bağlantı kurulabilmektedir. Veri toplama kartları bilgisayara kurulan bir yazılım yardımıyla dış dünyadan alınan verileri bilgisayarın kullanabileceği sayısal sinyallere çevirmektedir [37].

Veri toplama kartlarının genel özelliklerine ait bilgi sayfaları kartın yapabileceklerini ve doğruluğu hakkında ön bir fikir verir. Bu bilgi sayfalarında her veri toplama kartı için analog kanal sayısı, örnekleme hızı, çözünürlük ve sinyal giriş aralığı gibi değişken parametreler belirtilir. Uygun veri toplama kartı seçimi yapılırken kart hakkındaki çeşitli kavramların iyi bilinmesi ve buna göre seçimin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

3.2.1. Tek uçlu-fark uçlu giriş (Single-differential ended)

Veri toplama kartına uygulanacak sinyalin tek uçlu veya fark uçlu analog giriş olduğunun belirlenmesi kart seçiminde gereklidir. Tek uçlu girdilerin hepsi ortak bir toprak noktasına göre referanslandırılmıştır. Referanslandırılmamış tek uçlu girdiler ise analog giriş algılanmasına (AI-SENSE) göre referanslandırılmışlardır. Bu girdiler genellikle 1 Volttan daha büyük seviyedeki giriş sinyalleri için kullanılmaktadır. Eğer kullanılacak sinyaller bu seçimleri karşılamıyor ise, fark uçlu girdiler kullanılmaktadır. Fark uçlu ölçüm sisteminin hiç bir girdisi sabit bir referansa bağlı değildir. İdeal fark uçlu bir ölçüm sistemi sadece iki terminal arası potansiyel farkına, (+) ve (-) girdilere yanıt verir. Farksal modda çalıştırılan bir veri toplama

kartının gürültü hataları azaltılmış olur. Çünkü farksal-modda gürültü toplayan bağlantılar iptal olmaktadır ve her kanal için iki giriş uygulanmaktadır.

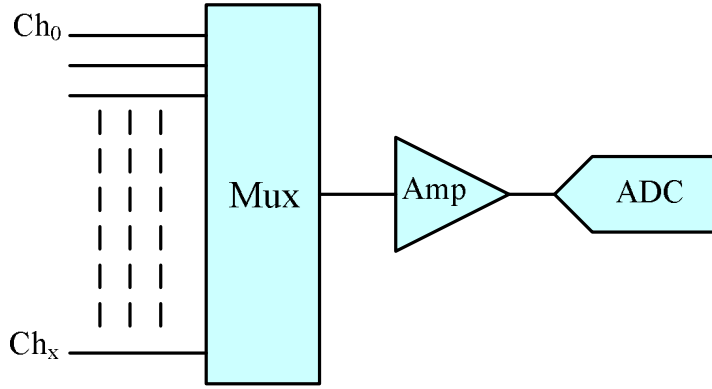
3.2.2. Örneklemme hızı (Sampling rate)

Veri toplama kartlarında önemli bir parametre olan örneklemme hızı, giriş sinyalinin ne sıklıkta okunacağını belirlemektedir. Örneklemme hızı ne kadar yüksek olursa, ölçüm yapılan sinyalden daha fazla örnek alınacağı için sinyal gerçeğe çok daha yakın bir şekilde elde edilebilmektedir. Veri toplama kartı tarafından okunan sinyal veri toplama kartının örneklemme hızından daha hızlı bir şekilde değişiyor ise ölçülen veriler hatalı olacaktır. Başka bir ifade ile çok yavaş örneklenmiş bir sinyal tamamen farklı bir sinyal şeklinde ortaya çıkabilmektedir. Sinyalin bu şekilde bozulması “Aliasing” diye adlandırılır. Nyquist teoremine göre aliasing problemini engellemek için işaret içinde en yüksek frekanslı bileşenin en az iki katı frekansta örneklemme yapılmalıdır. Örneklemme frekansının yarısına karşılık gelen frekans değerine Nyquist frekansı denir. Teorik olarak Nyquist frekansı ya da bunun altındaki frekanslara sahip olan sinyallere ait bilgiler yeniden elde edilebilirken Nyquist frekansı üzerindeki frekanslardaki sinyaller kaybolmaktadır. Örneğin bir mikrofon tarafından elektrik sinyallerine çevrilen ses sinyalleri genellikle 20 kHz civarında bir frekansa sahiptir. Bu sinyali uygun olarak elde edebilmek için seçilen veri toplama kartının 40kS/s’den daha yüksek bir örneklemme hızına sahip olması gerekmektedir.

3.2.3. Örneklemme yöntemleri (Sampling methods)

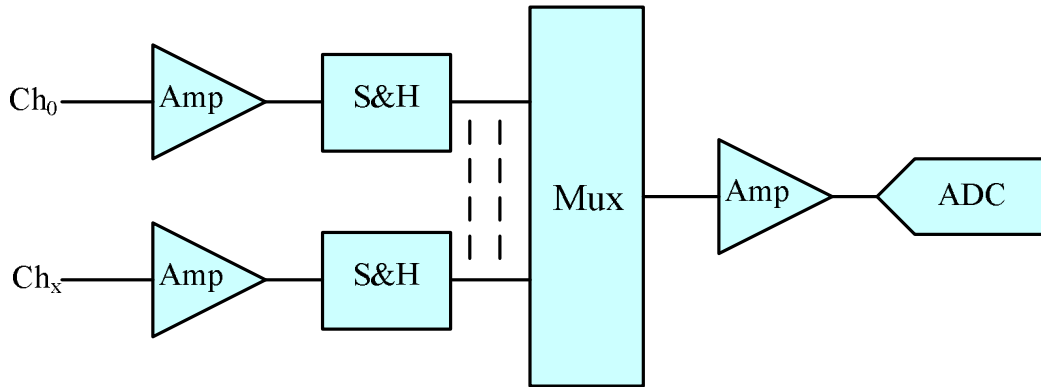
Bir veri toplama kartının değişik giriş kanallarından veri toplanırken, analog çoğullayıcı (multiplexer) her sinyali sabit bir hız oranıyla A/D çeviriciye bağlar. Sürekli tarama (Continuous scanning) olarak bilinen bu metod her giriş kanalı için ayrı bir yükselteç ve A/D çeviriciye sahip olan kartların aksine önemli derecede ucuzdur ve çok yaygın kullanım alanına sahiptir. Bu yöntemde çoğullayıcı kanallar arasında anahtarlama (switching) yapıldığından her kanal arasında bir zaman eğilmesi (time skew) oluşmaktadır. Bu yöntem örneklenmiş kanallar arasında zamana bağlı bir ilişkinin önemli olmadığı uygulamalar için uygundur. Diğer bir deyişle çok

hassas gerçek zaman uygulamalarının dışındaki uygulamalarda kullanılmaktadır. Şekil 3.8’de bu yöntem ile örnekleme yapan bir kartın blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.8. Analog multiplexer yöntemi ile örnekleme alınması

AA sinyallerinin faz analizi gibi girişler arasındaki zaman ilişkisinin önemli olduğu uygulamalarda ise eşzamanlı (simultaneous) örnekleme ihtiyacı duyulmaktadır. Böyle bir durumda veri toplama kartlarında eşzamanlı örnekleme yapılabilmesi için her girişin kendi örnekle ve tut (“sample and hold”) devresi veya A/D çeviricisi olması gerekir. Şekil 3.9’da bu yöntem ile örnekleme yapan bir kartın blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.9. Eş zamanlı yöntemi ile örnekleme alınması

Bu kart yardımıyla girişler eş zamanlı olarak okunduğu için kanallar arasında bir gecikme yaşanmamaktadır.

3.2.4. Çoklama (Multiplexing)

Çok sayıda giriş bilgisinin zaman paylaşımı olarak sırayla çıkışa aktarılması olayı, çoklama olarak tanımlanmaktadır. Veri toplama kartlarında bir tane A/D çevirici ile birden fazla sinyali ölçmek için çoklama devreleri kullanılmaktadır. Çoklama devreleri yardımıyla veri toplama kartının girişine uygulanan sinyallerden birisi seçilerek, A/D çeviriciye yönlendirilir ve bu bilgiler sıra ile anahtarlanarak çalışma tekrar eder. ADC birden fazla kanalı örneklediğinden etkin örnekleme hızı kanal sayısı arttıkça düşmektedir. Örneğin bir veri toplama kartı 250 kS/s hızla 10 tane kanalı örnekliyorsa bu kanallardan her birinin örnekleme hızı 25 kS/s olmaktadır.

3.2.5. Çözünürlük (Resolution)

Bu kavram, A/D çeviricilerde analog sinyali temsil etmesi için kullanılan bit sayısını tanımlamaktadır. Çözünürlük ne kadar yüksek olursa gerilim aralığı daha fazla sayıda bölüme ayrılacaktır. Örneğin bir A/D çeviricinin çözünürlüğü 12 bit ise $2^{12}=4096$ aralık, 16 bit ise çıkartılırsa $2^{16}=65536$ aralık ile işaretin daha gerçeğe yakın gösterilimi elde edilebilir. Aralık, A/D çeviricinin ölçebildiği minimum ve maksimum gerilim seviyelerini tanımlamaktadır. Bazı çok fonksiyonlu veri toplama kartları ayar edilebilir ölçme aralığı seçeneklerini sunmaktadırlar. Bu esneklik sayesinde farklı giriş gerilim değerlerinde çalışılabilir, işaret aralığı ADC'in giriş seviyesine eşitlenebilir ve var olan çözünürlüğün en iyi şekilde kullanılması sağlanabilir.

3.2.6. DNL (Differential nonlinearity)

İdeal durumlarda veri toplama kartlarına uygulanan sinyalin gerilim seviyesi artırıldıkça A/D çeviricinin çıkışındaki sayısal kodlarında doğrusal bir şekilde artması gerekmektedir. DNL, merdiven çıkmak olarak düşünülebilir. İyi bir DNL özelliği olan veri toplama kartında her basamak ideal yükseklikte ve genişliktedir. Kötü bir DNL özelliğe sahip bir kartta veya kayıp kodlarda basamaklardan, bazıları daha uzun bazıları daha geniştir. DNL özelliğinin kötü olması kartın doğruluğunu azaltan bir özelliktir.

3.2.7. Bağıl doğruluk (Relative accuracy)

Bağıl doğruluk ideal bir veri toplama kartının transfer fonksiyonundan sapmanın en kötü durumdaki ölçüsüdür. Sapma LSB (Least Significant Bit) cinsinden ifade edilmektedir. Diğer bir anlatımla sayısallaştırılmış noktaların birleştirilmesi sonucu ortaya düzgün bir çizgi çıkar. Eğer hesaplanan bu düz çizgiyi sayısallaştırılan değerlerden çıkartıp alınan sonuç çizilirse sıfırdan sapma elde edilir. Sıfırdan maksimum sapma, veri toplama kartının bağıl doğruluğunu vermektedir. Veri toplama kartları için bağıl doğruluk önemli bir özelliktir. Çünkü bu özellik ölçülen sinyalin gerçek geriliminden A/D çeviricinin ikilik koduna çevrilen değerine doğruluğunu garanti etmektedir.

3.2.8. Yerleşme zamanı (Settling time)

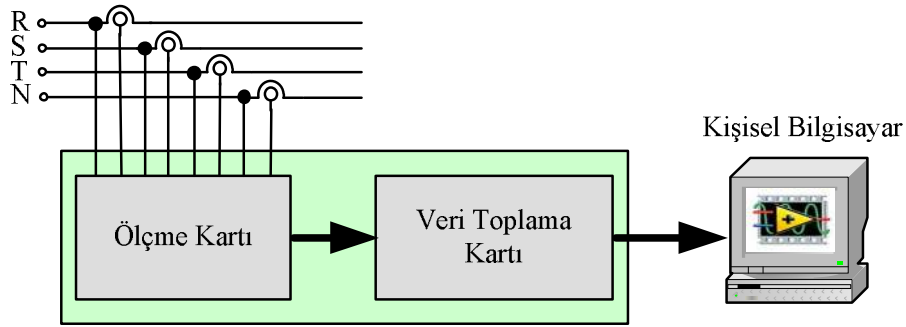
Genel olarak kullanılan veri toplama kartlarında ölçülen sinyal, çoklayıcı tarafından seçilerek A/D çeviriciye gönderilmeden önce bir enstrümantasyon kuvvetlendiricisi tarafından yükseltilmektedir. Kuvvetlendirici, çoklayıcı kanallar arasında anahtarlanırken çıkışı takip etmeli ve yerleşme zamanının da kısa olması gerekmektedir. Eğer yerleşme zamanı büyürse, A/D çevirici bir önceki kanalın değeriyle o an okunan kanalın değeri arasında geçiş bölgesinde kalır. Genellikle yüksek hız ve yüksek kazançlı örnekleme yapılan ölçümlerde kuvvetlendiricinin yerleşme zamanı büyümektedir. Kötü yerleşme zamanı büyük bir problemdir. Çünkü gerçek sinyal ile okunan sinyalin doğru olmama miktarı genellikle kazanca ve örnekleme oranına göre değişir.

3.2.9. Gürültü (Noise)

Sistem tasarımında en çok karşılaşılan olumsuzluk gürültü diye tanımlanan elektromanyetik ve elektrostatik girişim dalgalarıyla karşılaşmaktır. Sinyaller üzerinde olması gereken değerlerden farklı her değer gürültü (Distortion) olarak tanımlanmaktadır. Gürültü, hemen hemen her yerden sisteme karışabilmektedir. Teorik olarak gürültüsüz bir ortam yoktur. İyi tasarlanmış bir veri toplama sistemi seçilen bileşenlerinin performansı kadar bazı dış etkenlerede yakından bağlıdır.

4. TASARIM VE UYGULAMA

Bu çalışmada üç faz akım ve gerilim değerleri ile nötr akım değerleri ölçülerek analizleri gerçekleştirilmiştir. Enerji kalitesinin bilgisayar tabanlı ölçüm ve analizi çalışması donanım ve yazılım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Donanım kısmı tasarlanan bir ölçme kartı, eşzamanlı örnekleme özelliğine sahip bir veri toplama kartı ve kişisel bilgisayardan meydana gelmektedir. Yazılım kısmında ise LabVIEW programı yardımıyla hazırlanan özgün kullanıcı arayüz programı bulunmaktadır. Gerçekleştirilen sistemin blok diyagramı Şekil 4.1’ de görülmektedir.



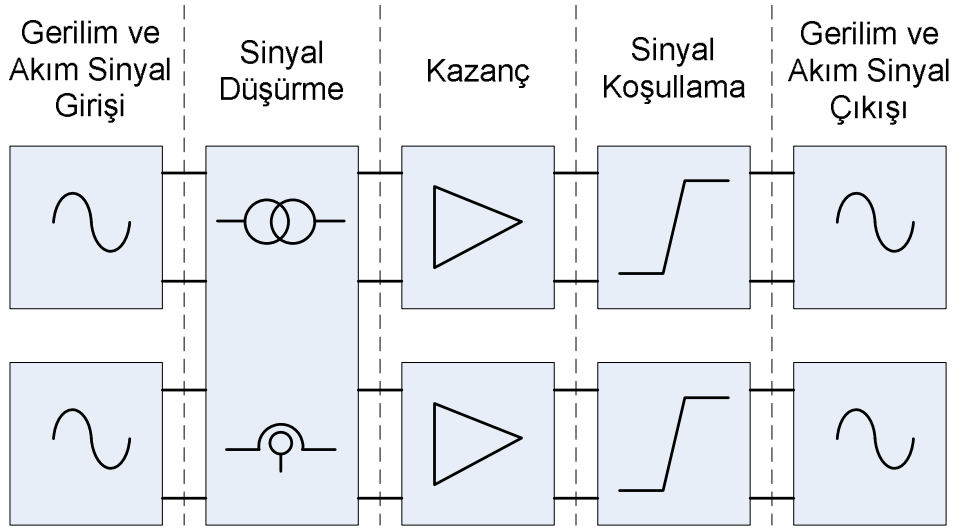
Şekil 4.1. Gerçekleştirilen sistemin blok diyagramı

4.1. Donanım

Donanım ölçme kartı, veri toplama kartı ve kişisel bilgisayardan oluşmaktadır. Tasarlanan ölçme kartı yardımıyla üç faz gerilim ve akım sinyalleri ile birlikte nötr akım sinyali okunarak veri toplama kartının analog giriş katmanına uygun düzeye dönüştürülmektedir. Akım ve gerilim bilgilerinin ölçme kartından okunarak bilgisayara aktarılması için eş zamanlı örnekleme özelliğine sahip bir veri toplama kartı kullanılmıştır.

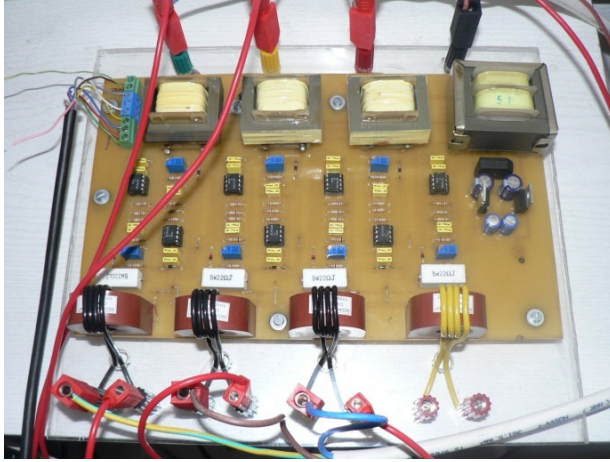
4.1.1. Ölçme kartı

Faz gerilimlerini, akımlarını ve nötr akımını veri toplama kartının girişine uygun düzeye sinüs sinyali olarak dönüştürmek amacıyla bir ölçme devresi tasarlanmıştır. Tasarlanan ölçme devresinin blok diyagramı Şekil 4.2’de görülmektedir.



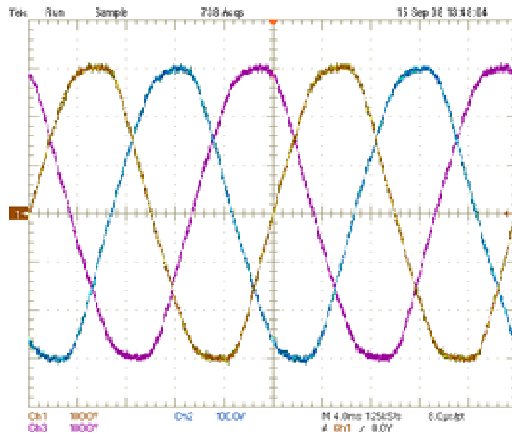
Şekil 4.2. Bir faz için ölçme devresi blok diyagramı

Tasarlanan ölçme devresinde, ölçüm yapılacak güç sisteminden üç faz gerilim ve akım bilgileri ile nötr akım bilgisi, gerilim ve akım trafoları yardımıyla okunarak uygun seviyeye düşürülmektedir. Bu amaçla akım bilgisi 1000/1 dönüştürme oranına sahip akım trafoları ile gerilim bilgisi ise akım trafolarının bağlı olduğu fazlara bağlanan 250/13,5 Volt gerilim trafoları yardımıyla okunmaktadır. Uygun seviyeye düşürülen gerilim ve akım sinyalleri yükseltme devrelerinin girişlerine uygulanarak gerekli kazançlar elde edildikten sonra girişte yaşanabilecek herhangi bir yükselmeyi sınırlamak için sinyal koşullama devrelerinin girişlerine uygulanmaktadır. Güç sistemlerinde yaşanabilecek ani salınımlara karşı giriş değerleri bu devre üzerinde sınırlanmaktadır. Bu devre sistemin kararlılığını sağladığı gibi kısa süreli ani değişimlere hızlı tepki vermesini engellemek amacıyla yönelik olarak ta kullanılmıştır. Sinyal koşullama devresinin çıkışından alınan sinüsoidal akım ve gerilim sinyalleri veri toplama kartının girişine uygulanmaktadır. Resim 4.1’de tasarlanan ölçme kartının görünümü verilmiştir.

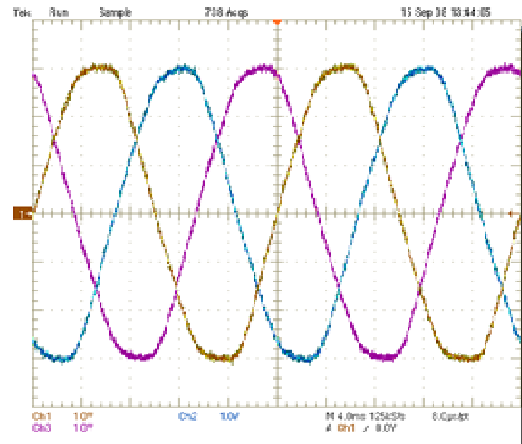


Resim 4.1. Tasarlanan ölçme kartı

Bu ölçme kartı yardımıyla şebekeden okunan gerilim sinyalleri giriş ve çıkış noktasına göre osiloskop yardımıyla ölçülmüş ve bu sinyaller Şekil 4.3'te verilmiştir.



(a) Kart Girişi



(b) Kart Çıkışı

Şekil 4.3. Ölçme kartının giriş ve çıkış noktası gerilim sinyalleri

Osiloskop sinyallerinden görüldüğü gibi tasarlanan ölçme kartı yardımıyla giriş sinyallerinin sadece genlik olarak değeri düşürülerek çıkışa aktarılmıştır.

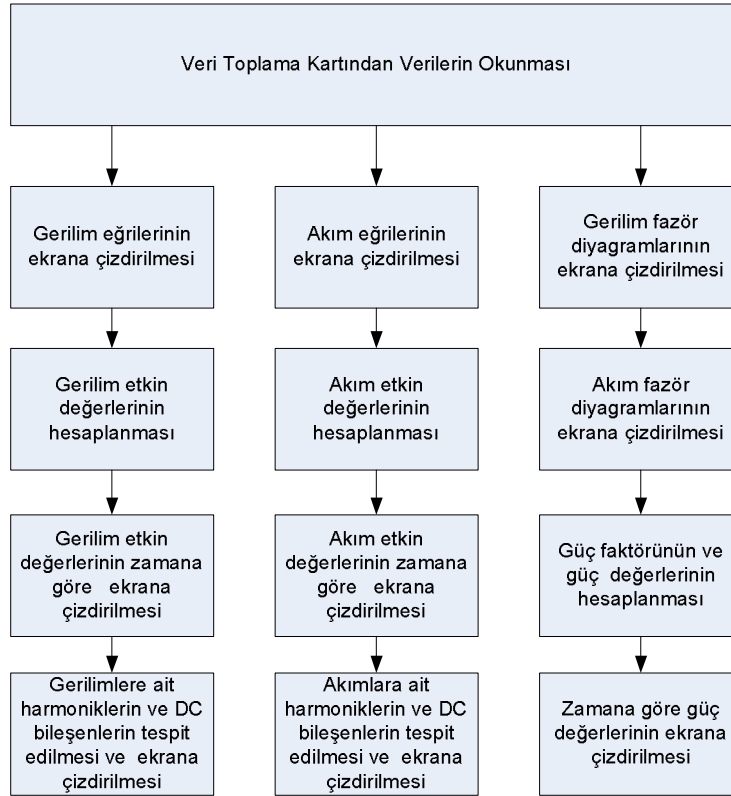
4.1.2. Veri toplama kartı

Ölçme kartı yardımıyla okunan akım ve gerilim sinyalleri veri toplama kartı aracılığıyla bilgisayara aktarılmaktadır. Alternatif akım sinyallerinin faz analizi gibi girdiler arasındaki zaman ilişkisinin önemli olduğu uygulamalarda eşzamanlı

örneklemeye ihtiyaç duyulduğundan bu çalışmada kullanılan veri toplama kartı eşzamanlı örnekleme özelliğine sahip olacak şekilde seçilmiştir. Veri toplama kartı olarak “United Electronics” firmasına ait PowerDNA model bir veri toplama küpü ve bu küp üzerinde bulunan iki adet eşzamanlı örnekleme özelliğine sahip analog giriş katmanını kullanılmıştır. Veri toplama küpü üzerinde bulunan ethernet girişi yardımıyla veriler bilgisayara ethernet haberleşmesi üzerinden aktarılmaktadır. Bu sayede ölçüm yapılan sistem ile sunucu bilgisayarın aynı noktada olması gerekmediğinden daha esnek bir ölçüm sistemi elde edilmiştir. Veriler veri toplama küpü üzerine yerleştirilen iki adet, 4 kanala sahip eşzamanlı örnekleme yapabilme özelliğine sahip analog giriş katmanları yardımıyla okunmaktadır. Bu analog giriş katmanları birbirinden bağımsız 18 bit çözünürlükte ADC giriş katmanına sahip olmakla beraber maksimum 100 kHz/kanal örnekleme hızına sahiptir [38].

4.2. Yazılım

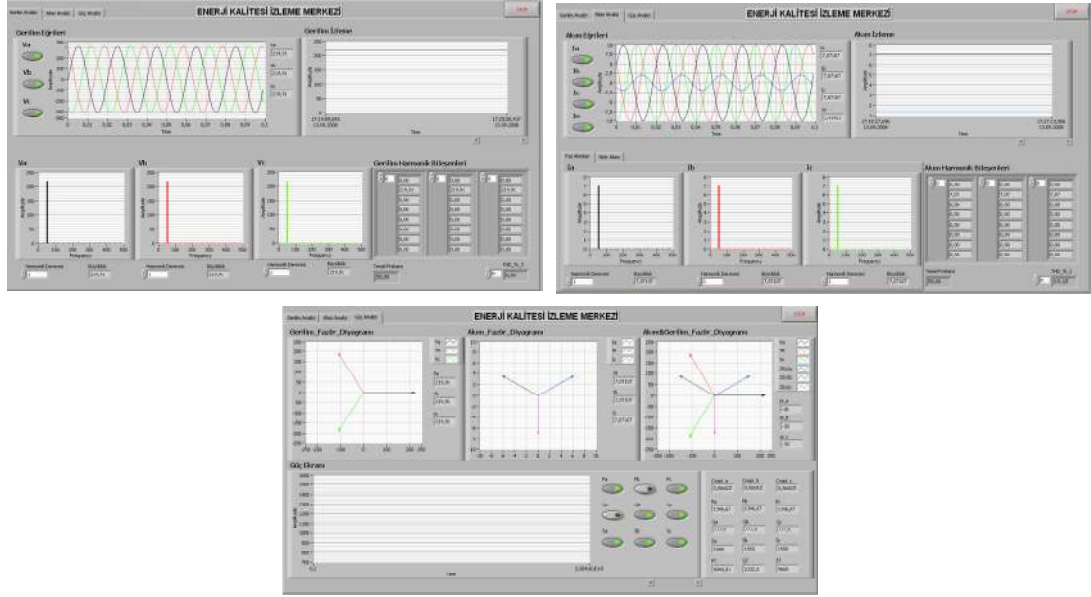
Gerçekleştirilen bu çalışmada veri toplama kartından verilerin alınması ve alınan bu verilerin analiz edilerek kulacıya sunulması LabVIEW programında hazırlanan yazılım yardımı ile yapılmaktadır. Hazırlanan yazılımın akış diyagramı Şekil 4.4’ te verilmiştir. İlk basamakta veri toplama kartından verilerin okunması yer almaktadır. Gerçekleştirilen bu sistemle yapılan ölçümlerde veriler IEC 61000-4-30/Sınıf B [39] standardına göre toplanmakta ve IEC 61000-4-7/Sınıf B [40] ve IEEE 1159-1995 [29] standartlarına uygun olarak eşzamanlı veri analizi yapılmaktadır. Gerçek zamanlı ham veri 12800 örnek/saniye/kanal hızında birbirini kapsamayan 1 saniyelik pencereler kullanılarak okunmaktadır. Analizi gerçekleştirilen veriler işlenerek sırası ile gerilim ve akım eğrileri, gerilim ve akımlara ait fazör diyagramları, gerilim ve akıma ait etkin değerler zamana bağlı olarak ekrana çizdirilmektedir. Akım ve gerilime ait harmonik değerleri tespit edilmekte ve çubuk grafik şeklinde ekrana çizdirilmektedir. Bunun dışında güç faktörü tespit edilerek, güç değerleri hesaplanmakta ve zamana bağlı olarak ekrana çizdirilmektedir.



Şekil 4.4. Hazırlanan yazılımın akış diyagramı

Gerçekleştirilen yazılım kullanıcı etkileşimli olup, hazırlanan yazılımın kullanıcı arayüz görüntüleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Tek bir ekran içerisine üç bilgilendirme penceresi şeklinde hazırlanan kullanıcı arayüz programının bilgilendirme pencereleri aşağıda verilmiştir:

- Gerilim Analizi Penceresi
- Akım Analizi Penceresi
- Güç Analizi Penceresi

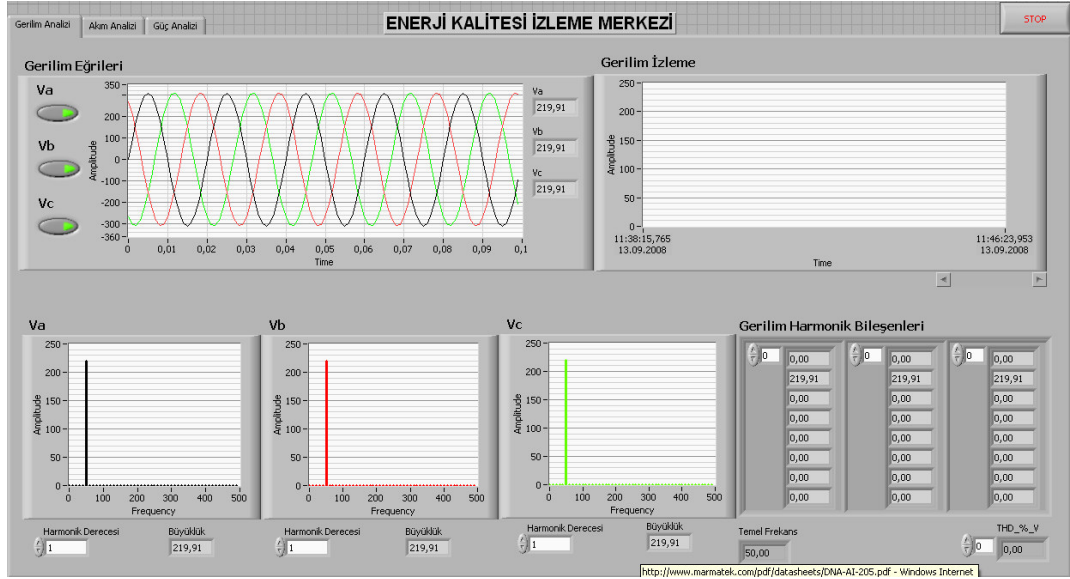


Şekil 4.5. Enerji kalitesi izleme merkezi programı ön görünüşleri

4.2.1. Gerilim analizi penceresi

Hazırlanan arayüz programında ilk bilgilendirme penceresi şebekeden okunan gerilim bilgilerinin analiz edilip görüntülediği ekrandır. Bu ekran yardımıyla üç faz gerilim eğrileri izlenebilmekte, üç faz etkin gerilim değerleri görülebilmekte, üç faz etkin gerilim değerlerinin zamana göre değişimi izlenebilmekte, gerilimlere ait harmonik analiz sonuçları görüntülenebilmekte ve harmonik değerleri tabloya yazdırılmaktadır. Bu ekrana ait görünüm Şekil 4.6’ da görülmektedir. Gerilim eğrileri ekranın sol tarafına yerleştirilen butonlar yardımıyla tek tek izlenebileceği gibi hep beraber görüntülenebilmektedir. Faz gerilimlerine ait etkin değerler gerilim eğrilerinin görüntülediği ekranın sağ tarafına yerleştirilen bilgilendirme kutucuklarından takip edilebilmektedir. Gerilim izleme ekranı yardımıyla ise üç faz gerilim etkin değerleri zamana bağlı olarak izlenebilmekte ve bu değerler sabit diskte saklanmaktadır. Ekranın alt tarafına yerleştirilen üç adet çubuk grafik ekran yardımıyla faz gerilimlerine ait harmonik bileşenler izlenebilmekte ve ekranların alt taraflarına yerleştirilen butonlar ile istenen harmonik bileşenin etkin değeri kolaylıkla okunabilmektedir. Ayrıca ara harmonik değerlerinin de yer aldığı harmonik değerleri ekranın sağ alt tarafında bulunan tabloya yazdırılarak kullanıcının tüm harmonik değerlerini görmesi sağlanmıştır. Bunun dışında bu ekran üzerinde bulunan

bilgilendirme kutucukları yardımıyla gerilim frekans değeri ile her faz için gerilimde yaşanan toplam harmonik distorsiyon değerleri de görüntülenmektedir.

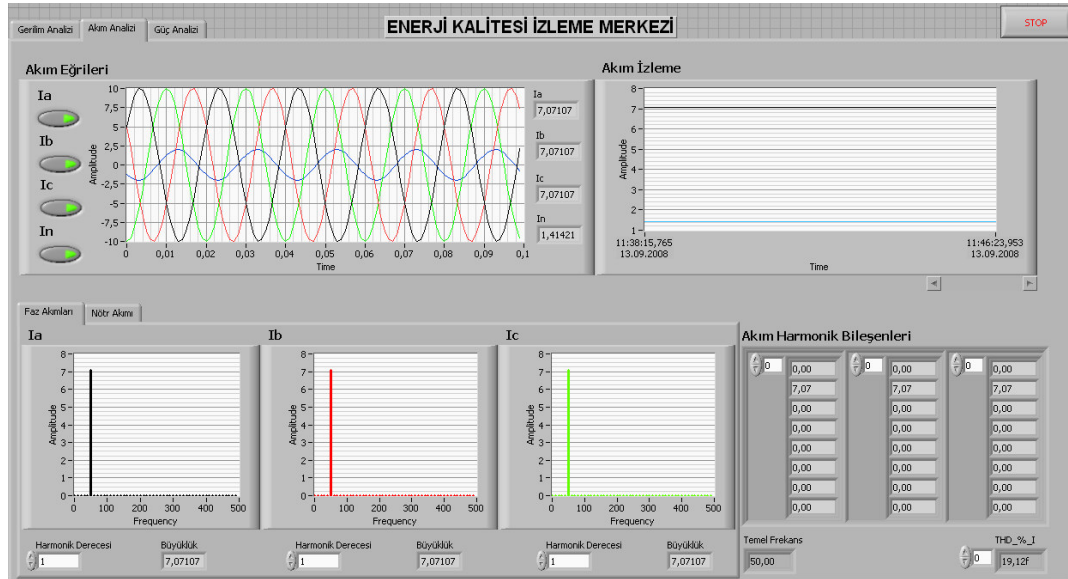


Şekil 4.6. Gerilim analizi penceresi

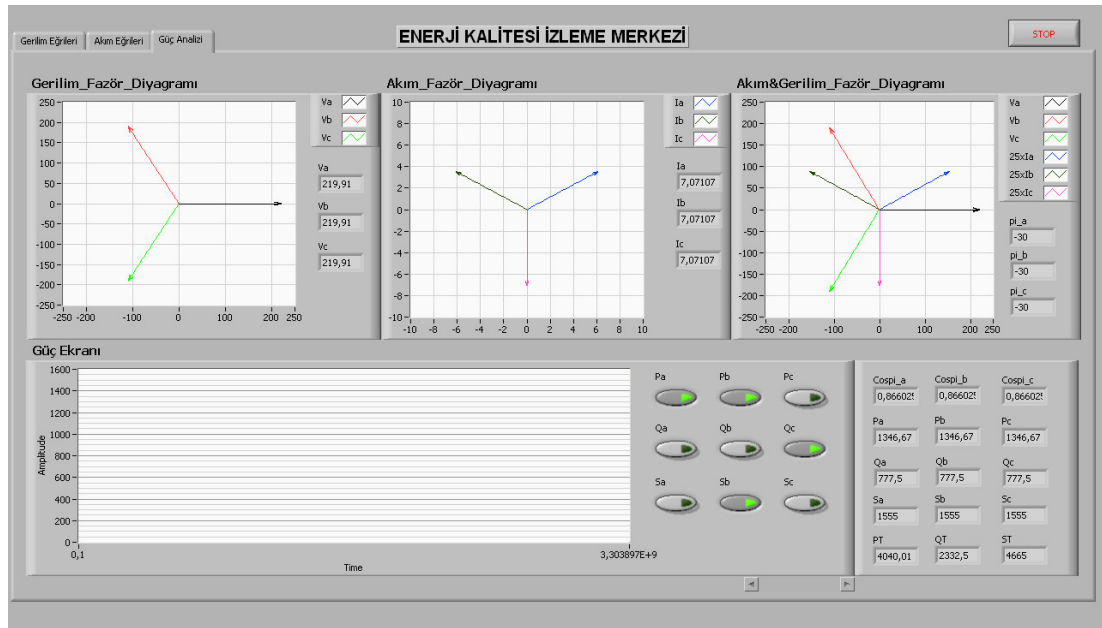
4.2.2. Akım analizi penceresi

Hazırlanan arayüz programında ikinci bilgilendirme penceresi şebekeden okunan akım bilgilerinin analiz edilip görüntülediği ekrandır. Bu ekran yardımıyla üç faz akım eğrileri ile birlikte nötr akımı da izlenebilmekte, üç faz ve nötr etkin akım değerleri görülebilmekte, üç faz ve nötr etkin akım değerlerinin zamana göre değişimi izlenebilmekte, akımlara ait harmonik analiz sonuçları görüntülenebilmekte ve harmonik değerleri tabloya yazdırılmaktadır. Bu ekrana ait görünüm Şekil 4.7' de görülmektedir. Akım eğrileri ekranın sol tarafına yerleştirilen butonlar yardımıyla tek tek izlenebileceği gibi hep beraber görüntülenebilmektedir. Faz akımlarına ve nötr akımına ait etkin değerler akım eğrilerinin görüntülediği ekranın sağ tarafına yerleştirilen bilgilendirme kutucuklarından takip edilebilmektedir. Akım izleme ekranı yardımıyla ise üç faz ve nötr akım etkin değerleri zamana bağlı olarak izlenebilmekte ve bu değerler sabit diskte saklanmaktadır. Ekranın sol alt tarafına yerleştirilen sekme kontrolü yardımıyla faz akımları ve nötr akımına ait harmonik bileşenlerin ayrı ayrı izlenmesi sağlanmıştır. İlk sekme üzerinde yer alan üç adet çubuk grafik ekran yardımıyla faz akımlarına ait harmonik bileşenler izlenebilmekte

iken ikinci sekme üzerinde yer alan çubuk grafik ekran yardımıyla nötr akımına ait harmonik bileşenler izlenebilmektedir. Ayrıca her çubuk grafik ekranlarının alt taraflarına yerleştirilen butonlar ile istenen harmonik bileşenin etkin değeri kolaylıkla okunabilmektedir. Gerilim analizinde olduğu gibi faz ve nötr akım sinyallerine ait ara harmonik değerlerinin de yer aldığı harmonik değerleri ekranın sağ alt tarafında bulunan tabloya yazdırılarak kullanıcının tüm harmonik değerlerini görmesi sağlanmıştır. Bunun dışında bu ekran üzerinde bulunan bilgilendirme kutucukları yardımıyla temel frekans değeri ile her faz ve nötr için akımda yaşanan toplam harmonik distorsiyon değerleri de görüntülenmektedir.



edinebilmektedir. Alt tarafa eklenen Güç ekranı yardımıyla üç faz aktif, reaktif ve görünür güç değerleri zamana bağlı olarak ekrana çizdirilmektedir. Ayrıca güç ekranının sağ tarafına yerleştirilen güç seçme butonları yardımıyla istenen faza ait istenen güç değeri ekranda görüntülenebilmektedir. Akım ve gerilim bilgileri kullanılarak hesaplanan güç faktörü ve güç değerleri ekranın sağ alt tarafına yerleştirilen bilgi kutucuklarına yazdırılarak görüntülenmektedir.



Şekil 4.8. Güç analizi penceresi

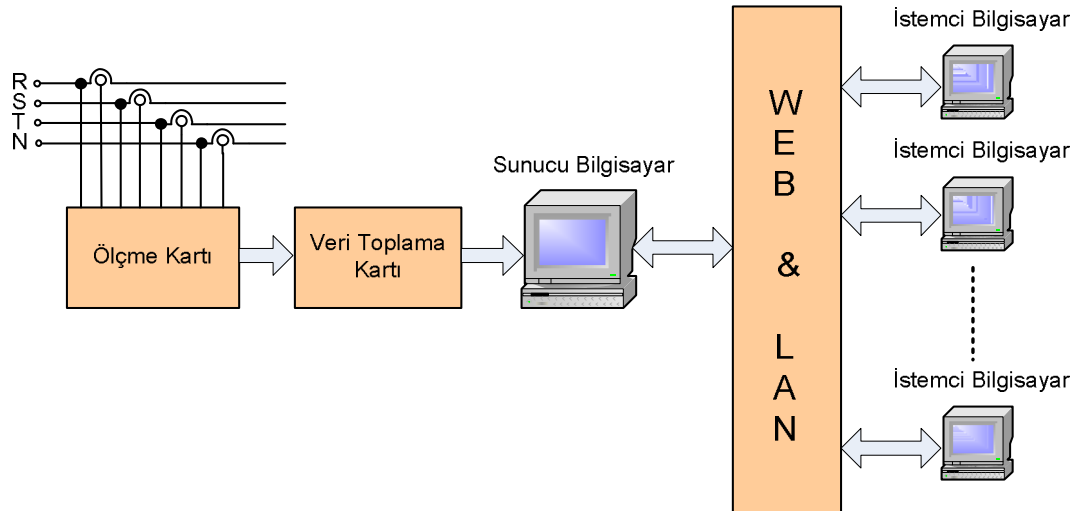
4.3. Enerji Kalitesinin İnternet Tabanlı Ölçüm ve Analizi

Enerji kalitesinin ölçüm ve analizi için geliştirilen sistemler yerel kullanılabileceği gibi uzaktan erişimli ölçüm sistemleri de geliştirilmiştir. Geliştirilen bütün ölçüm sistemleri bilgisayar tabanlı olmakla beraber uzaktan erişim SCADA, WEB, GPS, LAN veya WAN teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir.

Uzaktan erişim teknolojilerine bakıldığında internet teknolojisi ön plana çıkmaktadır. Günümüz bilişim teknolojisinde yaşanan hızlı gelişmeler sonucu, internet üzerinden bankacılık işlemleri, e-devlet uygulamaları, uzaktan eğitim uygulamaları [41, 42], otomasyon sistemlerinin uzaktan kontrolü [21], uzaktan ölçüm uygulamaları [43] gibi farklı uygulamaların gerçekleştirilebilmesi mümkün olmaktadır. Bu

uygulamaların gerçekleştirilmesi yardımıyla toplumsal yaşamda kolaylık, hızlilik, işgücünden tasarruf, verilerin alınması ve değerlendirilmesinde esnek ve pratik çözümler sunulmaktadır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada enerji kalitesinin uzaktan görüntülenebilmesi için internet teknolojisinden yararlanılmıştır. Şekil 4.9’da gerçekleştirilen uzaktan görüntüleme sisteminin blok diyagramı verilmiştir. Burada sunucu bilgisayara kadar olan donanım önceki bölümde anlatıldığı gibi yapılmakla birlikte sunucu bilgisayar üzerindeki yazılıma ilave özellik eklenerek enerji kalitesinin ölçüm ve analizi uzaktan erişime açılmıştır.



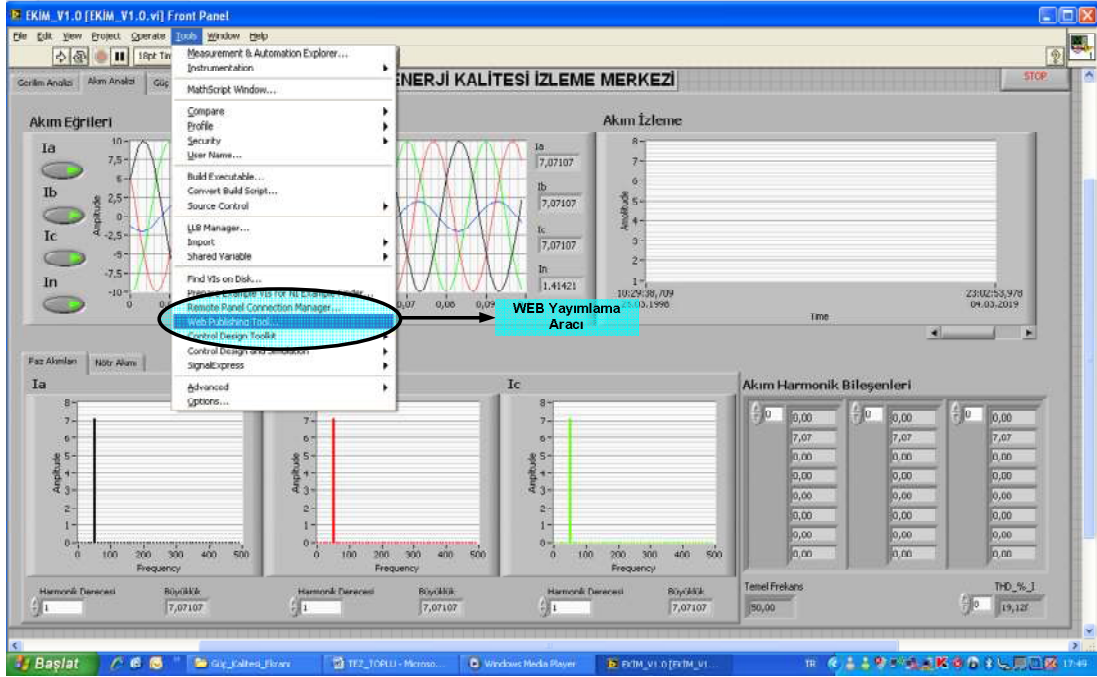
Şekil 4.9. Gerçekleştirilen uzaktan görüntüleme sisteminin blok diyagramı

Uzaktan erişime açılan Enerji Kalitesi İzleme Merkezi programına ulaşım tasarlanan bir web sitesi üzerinden yapılmaktadır. Tasarımı gerçekleştirilen web sitesi yardımıyla kullanıcıların Enerji Kalitesi konusunda bilgilendirilmeleri sağlandığı gibi hazırlanan Enerji Kalitesi İzleme Merkezi programı bu web sitesi içinden bağlantı verilerek kullanıcıların kullanımına sunulmuştur.

4.3.1. Uzaktan erişim yardımcı programının kurulması

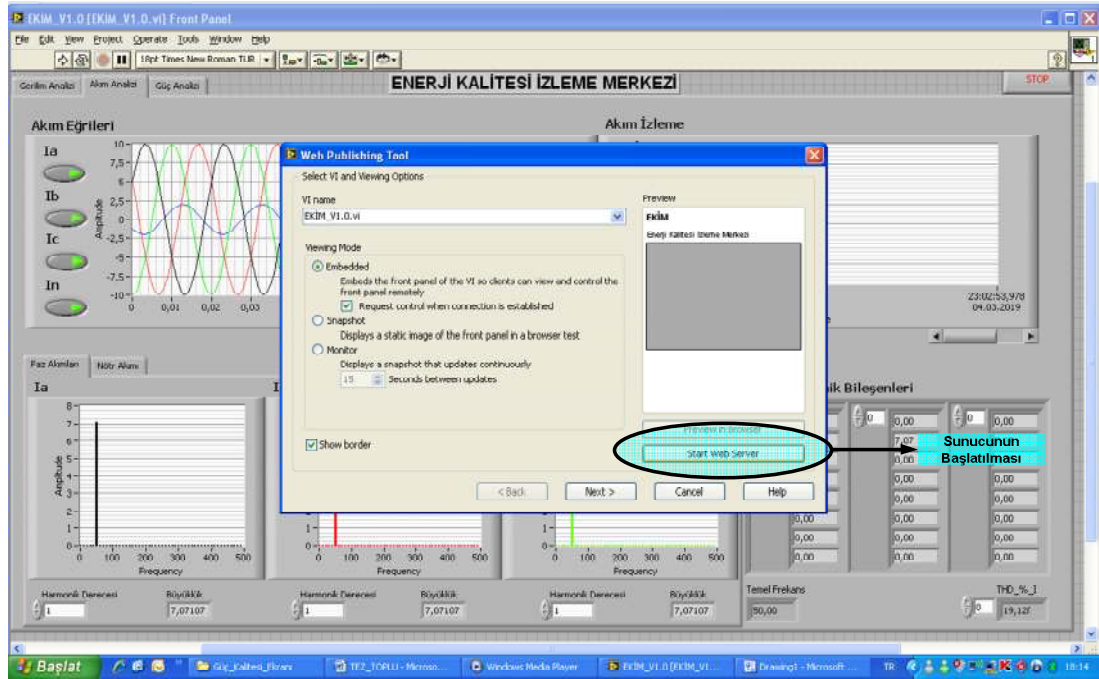
Uzaktan erişim için LabVIEW programına ait “Web Publishing Tool” aracından yararlanılmıştır. Bu araca ulaşmak için LabVIEW programının araç menüsünde yer

alan “Tools” menüsüne girilerek “Web Publishing Tool” aracı seçilmelidir. Bu ekrana ait görünüm Şekil 4.10’ da görülmektedir.

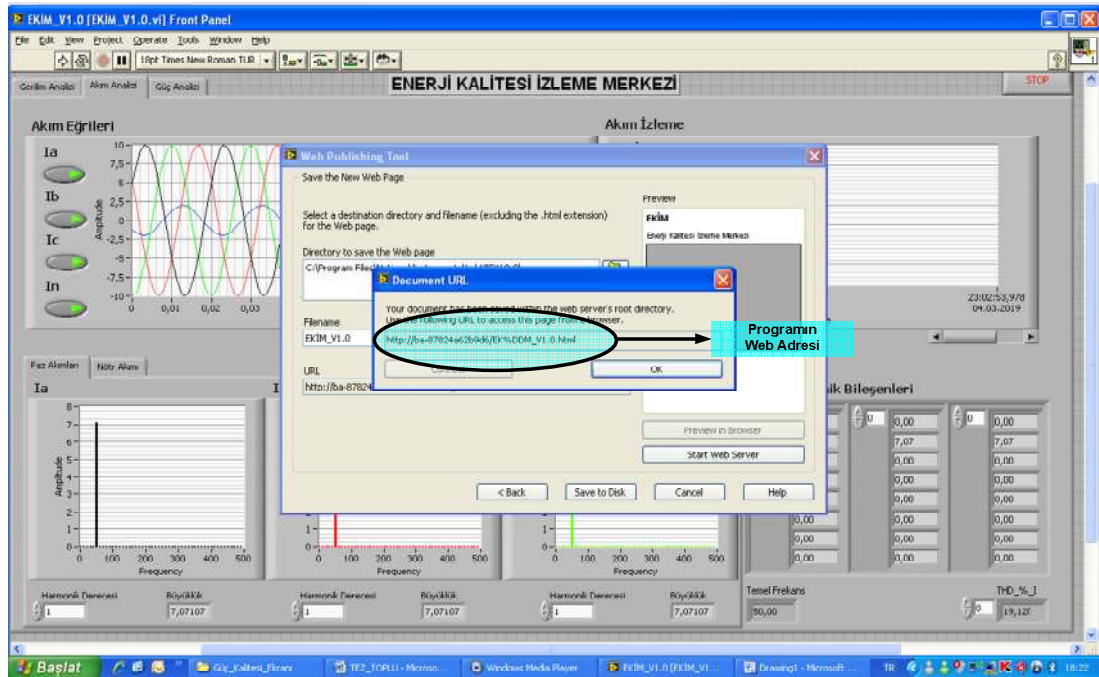


Şekil 4.10. WEB yayımlama aracının çalıştırılması

Bu araç seçildiğinde kullanıcı Şekil 4.11’de gösterilen ekran ile karşılaşacaktır. Burada gerekli ayarları yapan kullanıcı “Start Server” butonuna tıklayarak kişisel bilgisayar üzerinde bulunan LabVIEW Server uygulamasını çalıştırmış olacaktır. Böylece yerel kullanımda olan kişisel bilgisayar sunucu özelliği kazanarak uzaktan erişime açılmıştır. Hazırlanan enerji kalitesi izleme programının Web adresi bir sonraki ekranda “Save to Disk” butonuna basılarak elde edilmektedir. Bu ekrana ait görünüm Şekil 4.12’ de görülmektedir. Bu son işlemle birlikte kullanılan “Web Publishing Tool” aracı yardımıyla hazırlanan yazılıma uzaktan erişim özelliği kazandırılmıştır. Uzaktan sisteme bağlanmak isteyen kullanıcı internet tarayıcı programının adres çubuğuna hazırlanan yazılımın adresini yazarak sisteme ulaşabilmektedir.



Şekil 4.11. LabVIEW WEB sunucusunun başlatılması

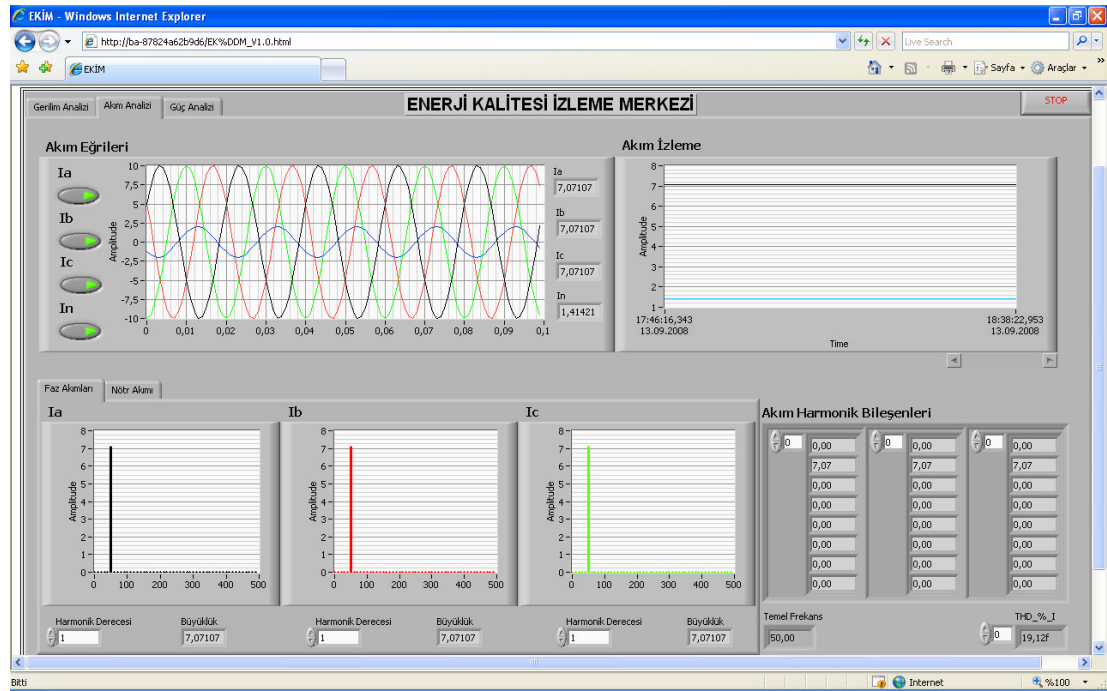


Şekil 4.12. Hazırlanan programın Web adresinin elde edilmesi

Gerek yerel ağ gerekse internet üzerinden sisteme bağlanabilmek için istemci bilgisayar üzerinde internet tarayıcı programının bulunması gerekmektedir. Ayrıca sunucu bilgisayar üzerindeki yazılımın uzaktan çalıştırabilmesi için istemci

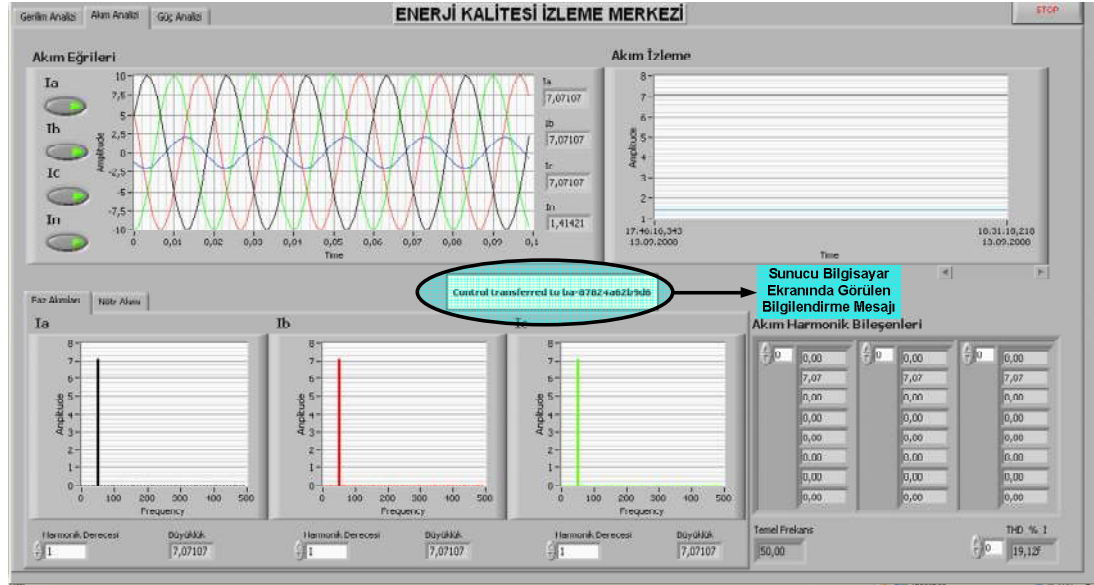
bilgisayar için gerekli olan ActiveX uygulaması bir defaya mahsus istemci bilgisayara yüklenmelidir. Eğer istemci bilgisayarın internet bağlantısı var ise bu uygulama otomatik olarak sisteme ilk bağlanmak istenildiğinde istemci bilgisayara yüklenmektedir.

Yazılım normal olarak sunucu bilgisayar üzerinde çalıştırıldığında tüm kontroller bu bilgisayar üzerinden yapılmaktadır. Her hangi bir istemci bilgisayardan sisteme bağlanmak isteyen kullanıcı istemci bilgisayar üzerindeki internet tarayıcı programını çalıştırıp adres çubuğuna sunucu bilgisayar üzerinde hazırlanan yazılımın adresini yazdığında bağlantı hızına bağlı olarak Şekil 4.13’de görülen ekran istemci bilgisayarda görüntülenecektir.



Şekil 4.13. İstemci bilgisayar üzerindeki program görüntüsü

Bu anda tüm kontroller istemci bilgisayara devredilmektedir, bu sayede uzaktan sisteme bağlanan kullanıcı sunucu bilgisayar üzerindeki programı kullanarak tüm analizleri anlık olarak gerçekleştirebilmektedir. Bu arada sunucu bilgisayar ekranında bir bilgilendirme penceresi açılarak kontrolün hangi bilgisayara aktarıldığı bilgisi yer alacaktır. Bu ekrana ait görünüm Şekil 4.14’te görülmektedir.



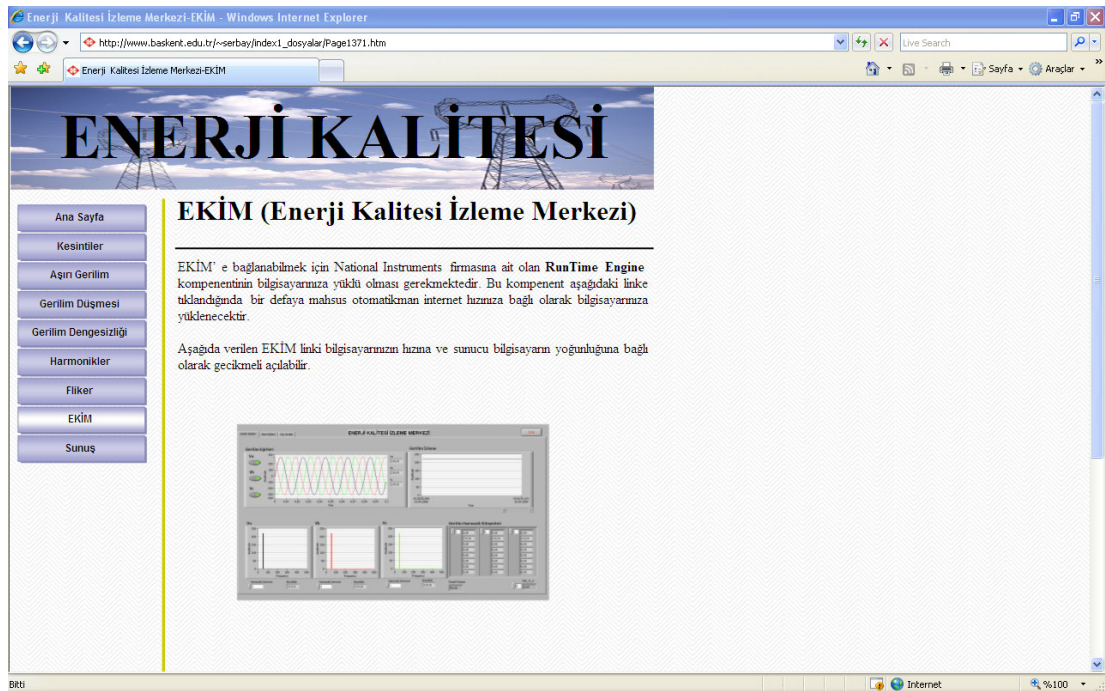
Şekil 4.14. Program kontrolünün istemci bilgisayara aktarılması sonrası sunucu bilgisayar ekranındaki bilgilendirme mesajı

4.3.2. İnternet üzerinden sisteme ulaşılması

Bu çalışmada kullanıcıların internet üzerinden EKİM'e bağlanabilmesi için bir web sitesi tasarlanmıştır. Kullanıcılar tasarlanan bu web sitesi yardımıyla enerji kalitesi kavramları hakkında bilgi sahibi olurken aynı zamanda EKİM'e bağlanarak enerji kalitesini gerçek zamanlı olarak ölçebilmektedir. Kullanıcı, tasarlanan web sitesinin adresini internet tarayıcı programına yazdığında Şekil 4.15'te yer alan Ana Sayfa ile karşılaşmaktadır. Kullanıcılar enerji kalitesi konusunda detaylı bilgilerin bulunduğu sayfaları, ekranın sol tarafında bulunan ilgili butonlara tıklayarak gezinebilmektedir. EKİM'e bağlanmak isteyen kullanıcı EKİM butonuna tıkladığında Şekil 4.16'da yer alan ekran ile karşılaşmaktadır. Sisteme ilk kez bağlanacak kullanıcılar için bir bilgilendirme mesajının görüntülediği sayfanın hemen altında bulunan linke tıkladığında sunucu bilgisayarın yoğunluğuna ve istemci bilgisayar ile internet hızına bağlı olarak istemci bilgisayar, sunucu bilgisayara bağlanarak hazırlanan EKİM programının kontrolünü ele almaktadır.



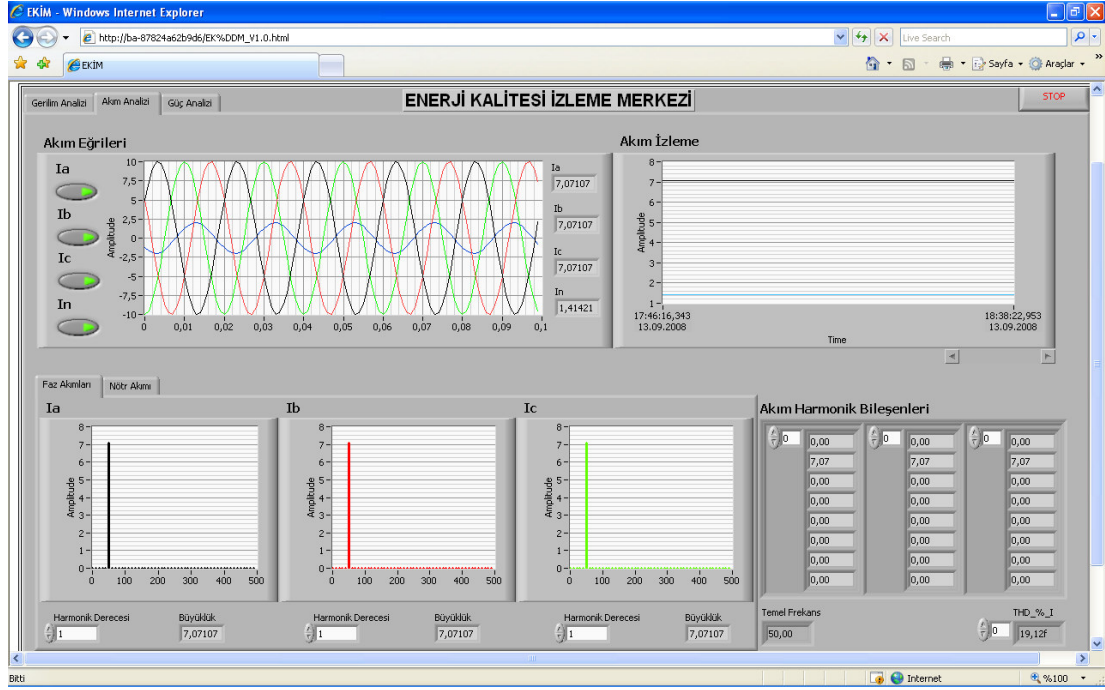
Şekil 4.15. Hazırlanan web sitesi ön görünüşü



Şekil 4.16. Hazırlanan web sitesi üzerinden EKİM'e bağlanma ekranı

Bu andaki istemci bilgisayar ekran görüntüsü Şekil 4.17'de verilmiştir. Önceden bahsedildiği gibi bütün kontroller istemci bilgisayara devredildiği için kullanıcı tüm

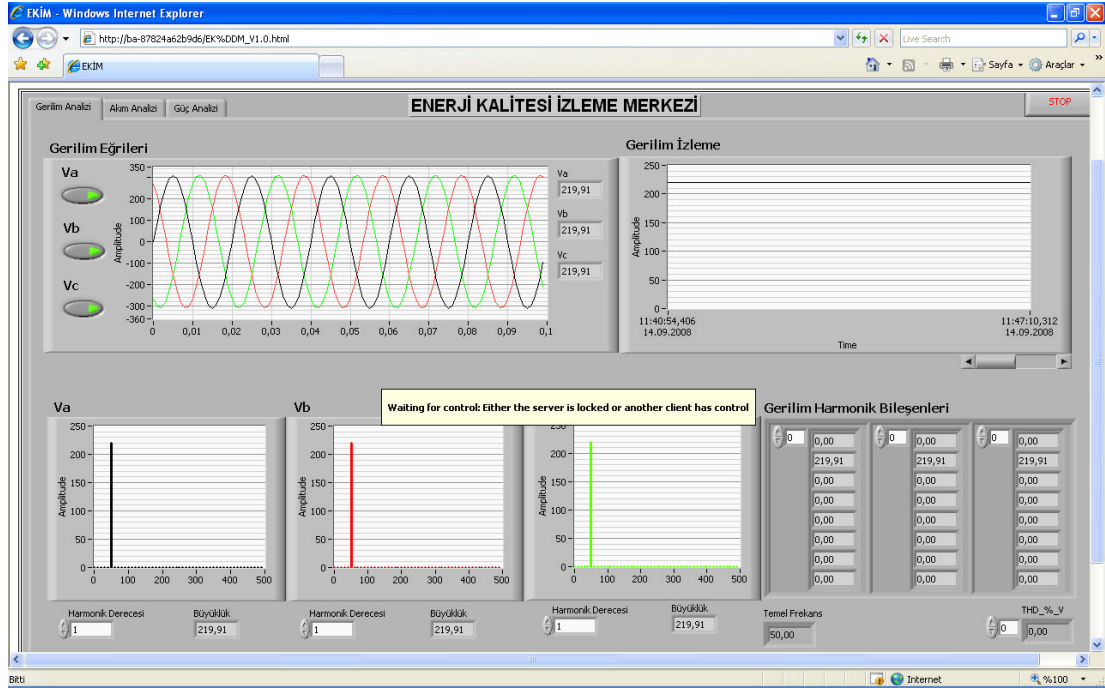
ölçüm ve analizleri eşzamanlı olarak bu web sayfası üzerinden gerçekleştirebilmektedir.



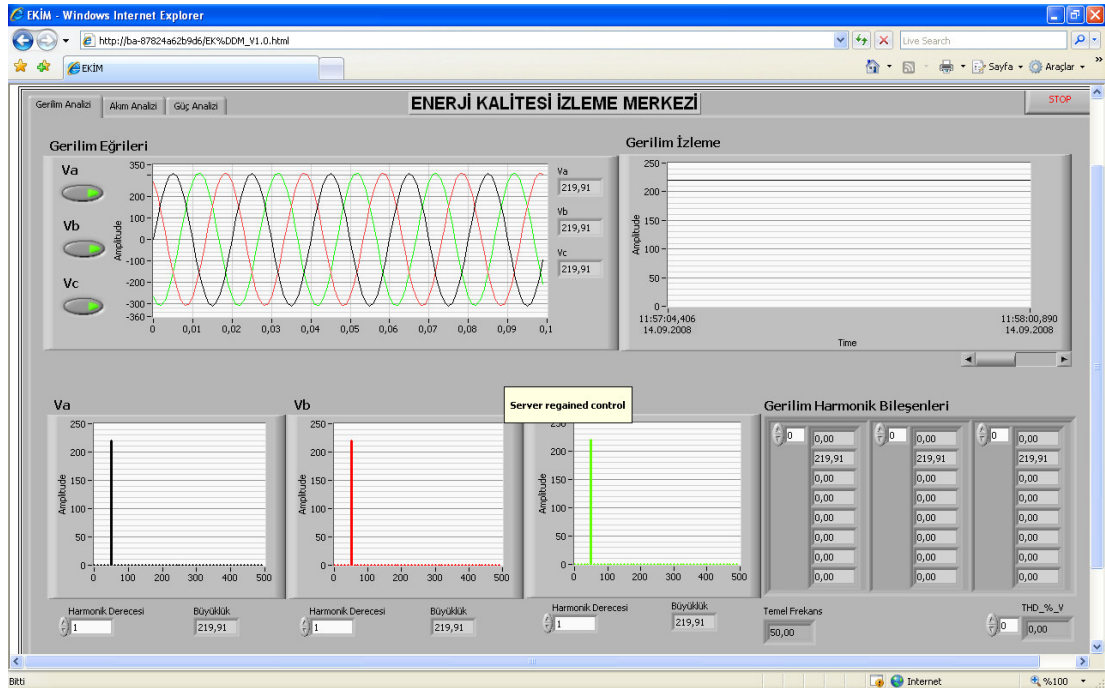
Şekil 4.17. Sisteme bağlanan istemci bilgisayar ekran görüntüsü

Herhangi bir istemci bilgisayar EKİM'e bağlı iken yani tüm kontrolleri elinde bulundururken başka bir istemci bilgisayar sisteme bağlanmak istediğinde yeni bağlanmak isteyen istemci bilgisayar ekranında bir uyarı mesajı belirterek sistem kontrolünün başka bir istemci bilgisayarda olduğu bilgisi kullanıcıya verilmektedir. Bu ekrana ait görünüm Şekil 4.18'de görülmektedir. Ancak EKİM'e önceden bağlanmış diğer kullanıcının yaptığı tüm ölçümleri yeni bağlanan kullanıcılarda izleyebilmektedir. Sunucu bilgisayar yeni bağlanan istemci bilgisayarları sıraya koyarak sistemin kontrolünü bırakan istemci bilgisayar yerine sıradaki istemci bilgisayara kontrolü vermektedir.

Eğer istemci bilgisayar üzerindeki kullanıcı EKİM programı üzerinde ayarlanan süre boyunca hiçbir işlem yapmaz ise programın tüm kontrolleri tekrar sunucu bilgisayara devredilmektedir ve istemci bilgisayar ekranında "Server regained control" mesajı belirterek kullanıcıya sunucunun tekrar kontrolü aldığı bilgisi verilmektedir. Bu ekrana ait görünüm Şekil 4.19'da görülmektedir.



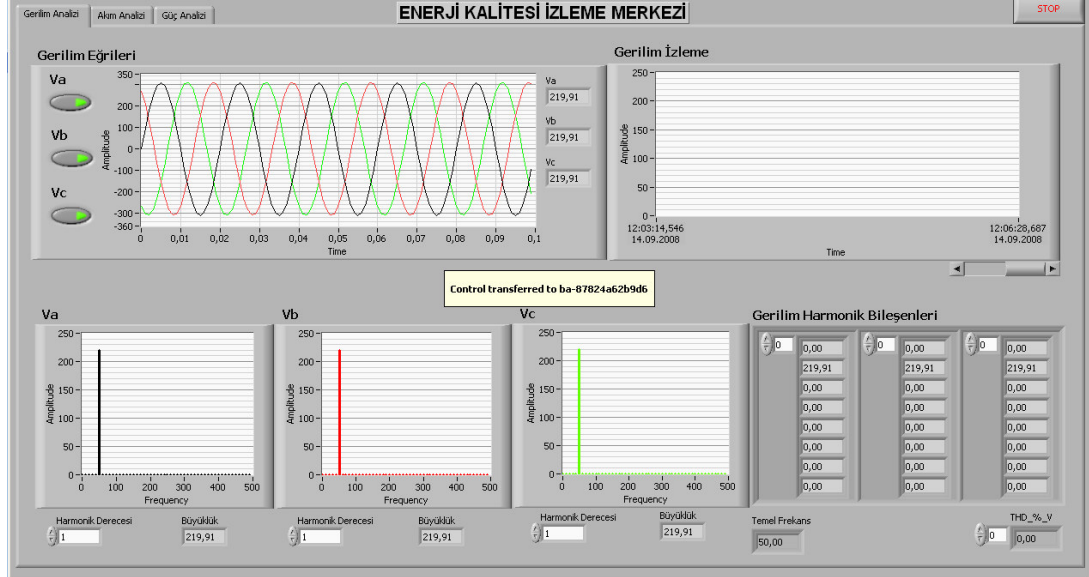
Şekil 4.18. Kontrol bir istemci bilgisayarda iken diğer istemci bilgisayar ekran görünümü



Şekil 4.19. Kontrolün sunucu bilgisayara aktarılması sonrası istemci bilgisayar ekranı

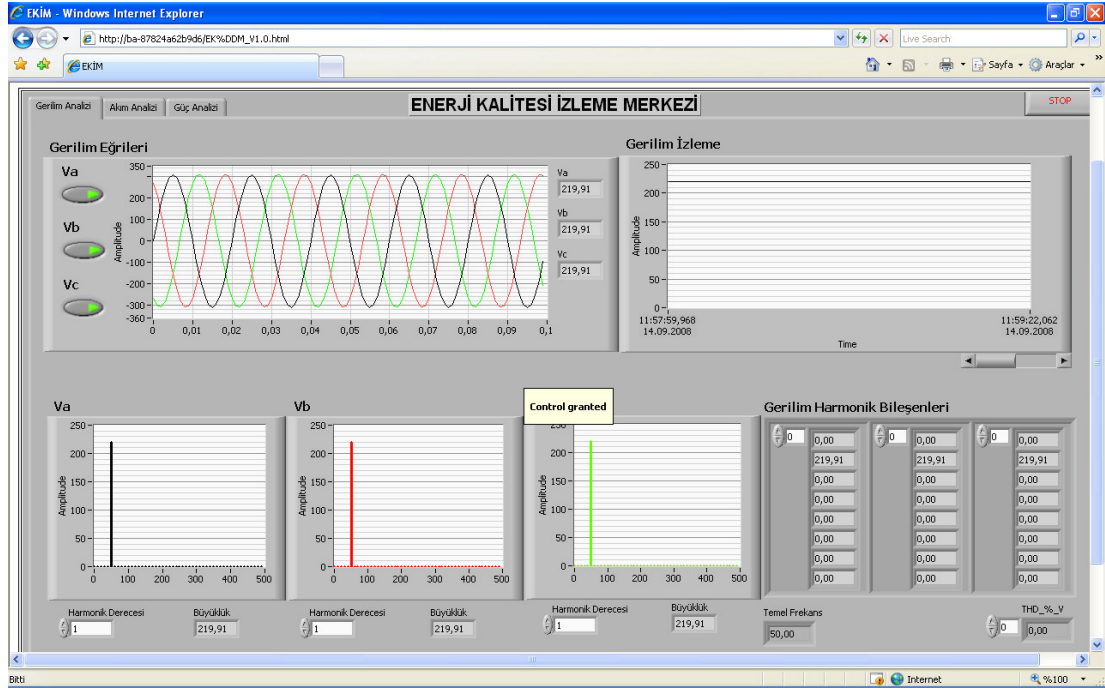
Bu anda sunucu bilgisayar sırada bekleyen bir başka istemci bilgisayar olup olmadığını kontrol etmekte ve eğer bekleyen istemci bilgisayar var ise kontrolü

sıradaki istemci bilgisayara aktarmaktadır. Bu anda sunucu bilgisayar ekranında kontrolün hangi bilgisayara aktarıldığı mesajı belirlemektedir. Bu ekrana ait görünüm Şekil 4.20’de görülmektedir.



Şekil 4.20. Kontrolün sırada bekleyen istemci bilgisayara aktarılması sonrası sunucu bilgisayar ekranı

Eğer sırada bekleyen bir istemci bilgisayar yok ise tüm kontrolleri sunucu bilgisayar kendi üzerine almaktadır. Sırada bekleyen istemci bilgisayarın kontrolü alması sonrası ekranda “Control granted” mesajı belirerek kullanıcı kontrolün kendisine geçtiğini anlamakta ve programı kullanmaya başlamaktadır. Bu ekrana ait görünüm Şekil 4.21’de görülmektedir.



Şekil 4.21. Sırada bekleyen istemci bilgisayarın kontrolü alması sonrası ekran görünümü

4.4. DeneySEL çalışmalar

Enerji kalitesinin internet tabanlı ölçüm ve analizi için gerçekleştirilen sistem değişik yükleri besleyen bir dağıtım panosuna bağlanarak sistemin tepkisi gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen ölçüm düzeneğinin görünümü Resim 4.2’de görülmektedir.



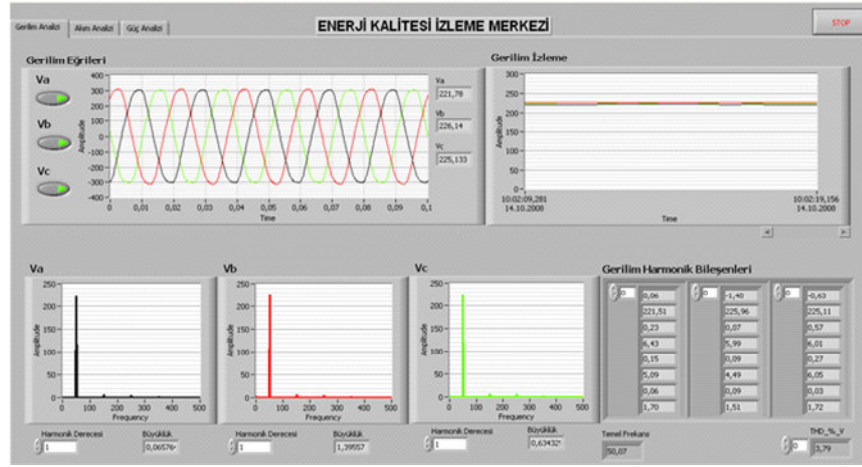
Resim 4.2. Gerçekleştirilen sistemin görünümü

Gerçekleştirilen deneysel çalışmaların ilkinde omik karakterli bir yükün sisteme etkisi incelenmiştir. Saf omik yük olarak her biri 1 kW gücündeki 3 fazlı direnç grubu kullanılmıştır. Bu yüke ait görünüm Resim 4.3'te görülmektedir.

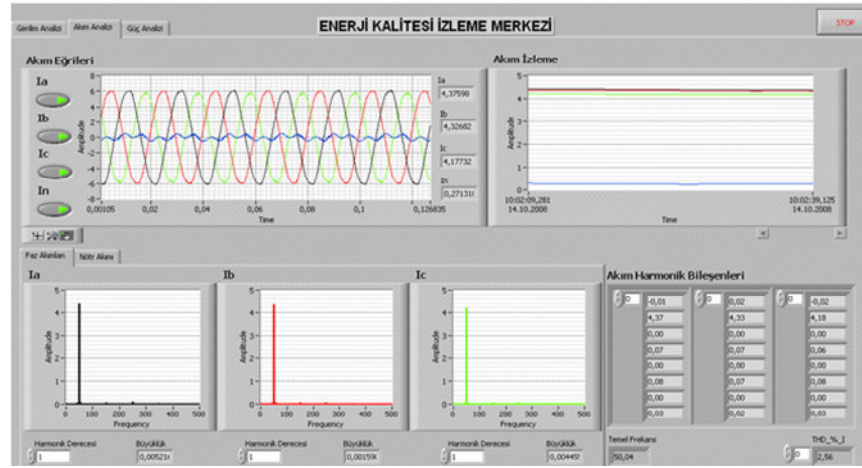


Resim 4.3. Kullanılan omik yükün görünümü

Şekil 4.22'de ise internet üzerinden sisteme bağlanan istemci bilgisayarın ekran görüntüleri yer almaktadır. Akım ve gerilim dalga şekilleri ile bunlara ait fazör diyagramlar incelendiğinde akım ile gerilimin aynı fazda olduğu ve güç sisteminden sadece aktif güç çekildiği görülmektedir. Harmonik analiz sonuçları incelendiğinde ise sadece 50 Hz değerli temel bileşen görülmektedir. Bunun nedeni olarak omik karakterli yüklerin doğrusal özelliğe sahip olmaları gösterilebilir.



(a)

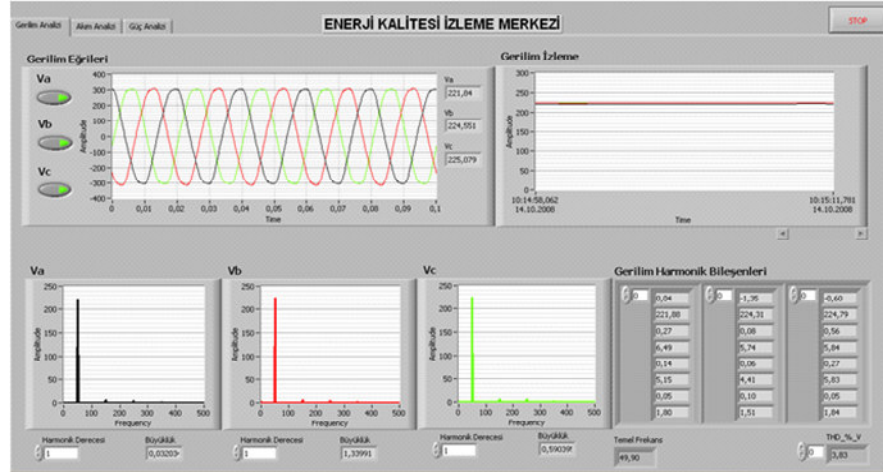


Gerçekleştirilen ikinci deneysel çalışmada sisteme etiket değeri 0,37 kW olan iki adet asenkron motor bağlanmış ve sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir. Resim 4.4’de şebekeye bağlanan 2 adet asenkron motor görülmektedir.

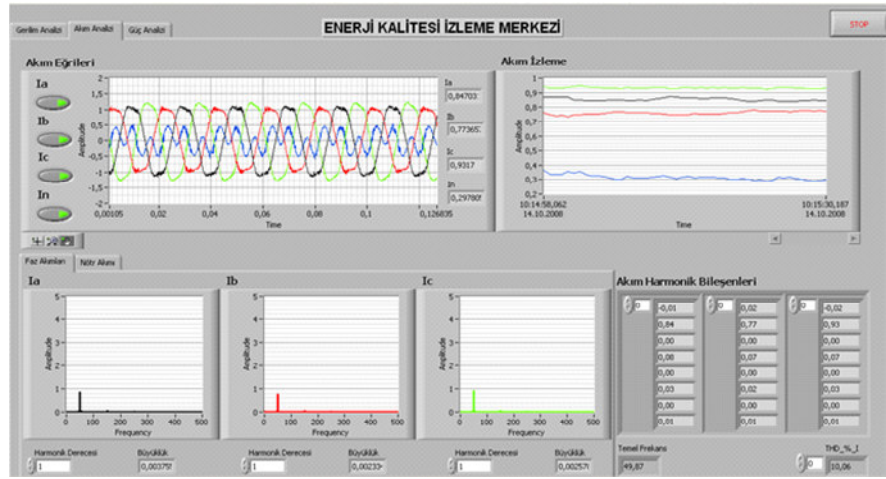


Resim 4.4. Kullanılan asenkron motorların görünümü

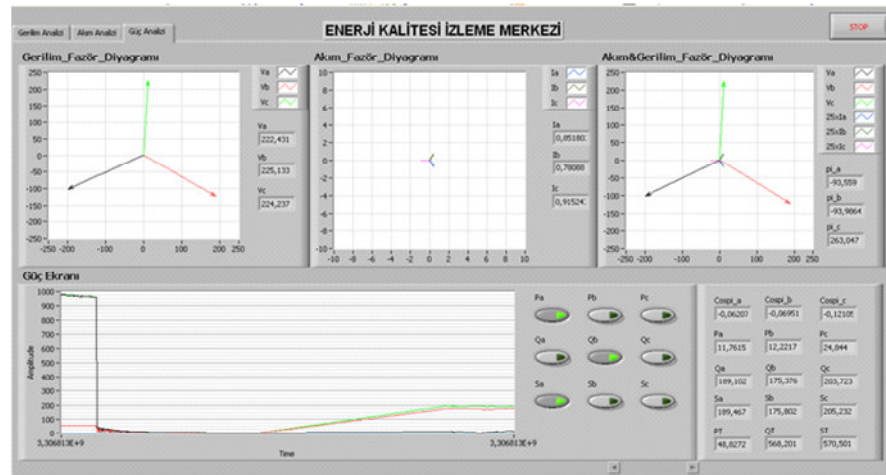
Şekil 4.23’te yine internet üzerinden sisteme bağlanan istemci bilgisayarın ekran görüntüleri yer almaktadır. Akım ve gerilim dalga şekilleri ile bunlara ait fazör diyagramlar incelendiğinde akım ile gerilim arasında bir faz farkı olduğu ve sistemden çekilen gücün aktif bileşeni yanında reaktif bileşeni olduğu da görülmektedir. Analiz sonuçları incelendiğinde asenkron motorun şebekeden çektiği akımların harmonik bileşenler içerdiği ve akım dalga şekillerinin sinüsoidalden uzaklaştığı görülmektedir. Asenkron motorlar doğrusal olmayan bir karakteristik gösterdiklerinden şebekeden çektikleri akımlarda doğrusal olmamaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.23. Asenkron motorlar bağlı iken istemci bilgisayar üzerindeki ekran görüntüleri a) Gerilim analizi penceresi b) Akım analizi penceresi c) Güç analizi penceresi

Yapılan bu ölçümlerde kullanılan yükler küçük güçlü olmalarından dolayı, şebekeden düşük değerli akım çekilmekte ve akım harmonikleri de düşük değerli olmaktadır. Bu nedenle, şebeke üzerinde akım harmoniklerinden kaynaklanan gerilim düşümü de düşük olmaktadır. Temel gerilim dalga şeklinin yanında, harmoniklerin meydana getirdiği gerilim düşümü çok küçük kaldığından, gerilimdeki toplam harmonik bozulumu sıfıra yakın olmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada güç sistemlerinde yaşanan enerji kalitesi problemlerinin eşzamanlı olarak ölçülmesi ve analiz edilmesi için internet tabanlı bir görüntüleme sistemi tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem ile 3 faz gerilim, 3 faz akım ve nötr akım değerleri tasarlanan bir ölçme kartı yardımıyla okunarak eşzamanlı örnekleme özelliğine sahip bir veri toplama kartı aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayara aktarılan bu veriler işlenerek sırası ile gerilim ve akım eğrileri, gerilim ve akımlara ait fazör diyagramlar, gerilim ve akıma ait etkin değerler zamana bağlı olarak ekranda görüntülenmektedir. Ayrıca akım ve gerilime ait harmonikler tespit edilmekte ve çubuk grafik şeklinde ekranda görüntülenmektedir. Bunlara ilave olarak, güç faktörü tespit edilmekte ve güç değerleri hesaplanarak bunların zamana bağlı olarak ekranda gösterilmesi sağlanmıştır. Hazırlanan yazılımına eklenen özellik yardımıyla kullanıcı tüm bu ölçüm ve analiz sonuçlarına internet ortamından da ulaşabilmiştir.

Geliştirilen bu ölçüm sistemi yardımıyla güç sistemini izleyen kullanıcının sistem başında beklemesine gerek kalmadan tüm analizleri uzaktan gerçekleştirebilmesi mümkün olmuştur. Deneysel sonuçlar, gerçekleştirilen ölçüm düzeneğinin güç sistemlerinde yaşanan enerji kalitesi bozulmalarının yerel ve uzaktan görüntülenmesinde ekonomik, kullanışlı bir sistem olduğunu göstermiştir. Ayrıca gerçekleştirilen sistem ile ayrı bir donanıma gerek kalmadan yazılımda yapılacak değişiklikler ile diğer güç kalitesi problemlerinin (flicker, vb.) ölçülmesi mümkündür. Gerçekleştirilen çalışmanın geliştirilmesiyle, birden fazla ölçüm noktasının tek merkezden izlenmesi mümkün görülmektedir. Bu sayede elektrik enerjisi üreticileri kullanıcıları denetleyerek bozulmanın yaşandığı noktalarda gerekli tedbirleri almalarını isteyebilecektir.

KAYNAKLAR

1. Melhorn, C., McGranaghan, M., "Interpretation and Analysis of Power Quality Measurements", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 31(6): 1363-1370 (1995).
2. Poisson, O., Rioual, P., Meuner, M., "New Signal Processing Tools Applied to Power Quality Analysis", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 14(2): 561-568 (1999).
3. Vega, Y.,T., Roig, F.,V., Segundo, H., "Evolution of Signal Processing Techniques in Power Quality", **9th International Conference Electrical Power Quality and Utilisation**, Barcelona, 1-5 (2007).
4. Katsaprakakis D.A., Christiakis, D.G., Zervos, A., Voutsinas, S., "A Power-Quality Measure", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 23(2): 553-561 (2008).
5. McGranaghan, M. "Trends in Power Quality Monitoring" *IEEE Power Engineering Review*, 21(10): c1-c1 (2001).
6. Barros, J., Diego, R.I., "Analysis of Harmonics in Power Systems Using the Wavelet-Packet Transform", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 57(1) 63-70 (2008).
7. Basu, M., Basu, B., "Analysis of Power Quality (PQ) Signals by Continuous Wavelet Transform", *Power Electronics Specialists Conference*, Orlando, 2614-2618 (2007).
8. Boyrazoğlu, B., Ünsar, Ö., Polat, B., "Elektrik İletim Sisteminde Akım ve Gerilimdeki Harmonik Bileşenlerin Gerçek Zamanlı Ölçülmesi", *II.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 323-327 (2007).
9. Khan, A.K., "Monitoring Power for The Future", *Power Engineering Journal*, 15(2): 81-85 (2001).
10. Chen, S., "Open Design of Networked Power Quality Monitoring Systems", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 53(2): 597-602 (2004).
11. Wang, M., Mamishev, A.V., "Classification of Power Quality Events Using Optimal Time-Frequency Representations-Part 1: Theory", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 19(3): 1488-1485 (2004).

12. Costa, J.C.C., Pregitzer, R.C., Sousa, T.N., Batista, J., Afonso, J.L., "A Case of Power Quality Assessment Using a Developed Power Quality Monitor", *IEEE 1st International Conference on Electrical Engineering*, Portugal, 334-339 (2005).
13. Buhan, S., Boyrazoğlu, B., Ünsar, Ö., Altıntaş, E., Haliloğlu, B., Polat, B., Özdemirci, E., "Türkiye Elektrik İletim Sisteminde Mobil Güç Kalitesi Ölçümleri", *II.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 217-221 (2007).
14. Batista, J., Afonso, J., Martins, J.S., "Low-Cost Power Quality Monitor Based on PC", *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Brasil, 323-328 (2003).
15. Pecen, R., Salim, M., Zora, A. "A LabVIEW Based Instrumentation System for a Wind-Solar Hybrid Power Station" *Journal of Industrial Technology*, 20(3): 1-8 (2004).
16. Lin, T., Domijan, A., "On Power Quality Indices and Real Time Measurement", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(4): 2552-2562 (2005).
17. Haliloğlu, B., Buhan, S., Boyrazoğlu, B., "Elektrik İletim Sisteminde Güç Kalitesi Bozulmalarının Tespiti ve Ölçülmesi", *II.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 114-119 (2007).
18. Altıntaş, E., Boyrazoğlu, B., Buhan, S., Özdemirci, E., Salor, Ö., "LabVIEW Yazılımı Kullanılarak Kırpışma Ölçer Tasarlanması ve Gerçek Zamanlı Ölçümler", *II.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 453-457 (2007).
19. Radil, T., Matz, V., Janeiro, F., Ramos, P., Serra, A., "On-line Detection and Classification of Power Quality Disturbances in a Single-phase Power System", *POWERENG*, Portugal, 713-718 (2007).
20. Lee, R.P.K., Lai, L.L., Tse, N., "A Web-Based Multi_Channel Power Quality Monitoring System for A Large Network", *Power System Management and Control*, London, 112-117 (2002).
21. Lin, H., "A Precise Multi_location Riveting System using Remote Monitoring and Control" *Conference on Robotics, Automation and Mechatronics*, Singapore, .578-583 (2004).
22. Chan, S.Y., Teng, J.H., Su, Y.T., "Internet-Based Virtual Power Quality Recorders", *TENCON* 287-290 (2004).

23. Leou, R., Chang, Y., Teng, J. "A Web-Based Power Quality Monitoring System". *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Canada, 1504-1508 (2001).
24. Whitaker, J.C. "AC Power Systems", *CRC Press*, California, 169-179 (2007).
25. Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., Arıkan, O., "Elektrik Tesislerinde Harmonikler", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 2.1-2.5,3.1-3.5 (2003).
26. Avşaroğlu, M.K., "Elektrik Güç Kalitesi ve Uygulamaları", *Kocaeli Üniversitesi, Proje A*, 5-27 (2004).
27. Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., Santoso, S., Beaty, H.W., "Electrical Power Systems Quality", *McGraw-Hill*, USA, 11-65 (2002).
28. Reid, W.E., "Power Quality Issues-Standards and Guidelines", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 32(3): 625-633, (1996).
29. IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, *IEEE Standard 519-1995* (1995).
30. Shin, Y.J., Powers, E.J., Grady, M., Arapostathis, A., "Power Quality Indices for Transient Disturbances", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 21(1): 253-261 (2006).
31. Adak, S., "Enerji Sistemlerinde Harmonik Distorsiyonunun Azaltılması", Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-15 (2003).
32. Chapman, D. "Power Quality Application Guide, Harmonics", *Leonardo Power Quality Initiative Press*, Belgium, 3-13 (2001).
33. Hanzelka, Z., Bien, A. "Power Quality Application Guide, Interharmonics", *Leonardo Power Quality Initiative Press*, Belgium, 2-10 (2004).
34. Ertuğrul, N., "LabVIEW for Electric Circuits, Machines, Drives and Laboratories", *Prentice Hall* (2002).
35. Ünsaçar F., Eşme, E., "Grafik Programlama Dili LabVIEW" *Seçkin Yayıncılık* (2007)
36. Gedra, T.V., "Virtual Instrumentation in an Undergraduate Electrical Machines Lab", *Midwest Section ASEE Conference*, Columbia, 1-7 (1997).
37. İnternet, "Veri toplama ve kontrol", <http://www.bilesim.com.tr/tr/index.nsf?lf=/tr/leftbarfuarcilik.html&rf=http://www.bilesim.com.tr/mistoportal/showmakale.nsf?xd=721.xml> (2008)

38. İnternet: United Electronic Industries “PowerDNA DNA-PPCX Data Sheet”, <http://www.ueidaq.com/pdf/datasheets/dna-ppcx.pdf> (2008)
39. Testing and Measurement Techniques-Power Quality Measurement Methods Power Quality Measurement Standard, *IEC Standard 61000 4-30*, (2002).
40. Testing and Measurement Techniques-General Guide on Harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto, *IEC Standard 61000-4-7*, (2002).
41. Irmak E. “Doğru Akım Motorunun Temel Giriş Sinyallerine Tepkisinin İnternet Üzerinden Benzetimi”, *Politeknik Dergisi*, 9(2): 71-77 (2006).
42. Demirbaş, Ş., “İnternet Tabanlı PI Kontrollü Bir Doğru Akım Motoru Deney Seti”. *Gazi Ünv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 22(2): 401-410 (2007).
43. Asumadu, J.A., Tanner, R., Fitzmaurice, J., Kelly, M., Ogunleye, H., Belter, J., Koh, S.C., “A Web-Based Electrical and Electronics Remote Wiring and Measurement Laboratory (RwmLAB) Instrument”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 54(1): 38-44 (2005).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAYHAN,Sertaç
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 17.04.1981 Şanlıurfa
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 505 404 25 83
e-mail : serbay@baskent.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	M. tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ TEF Elektrik Eğitimi Bölümü	2006
Lise	Siverek E.M.L./ Elektrik Bölümü	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2007	Emniyet Müdürlüğü (ANKARA)	Bilgi-İşlem Sor.
2007-Halen	Başkent Üniversitesi (ANKARA)	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Ş. Demirbaş, E. Irmak, **S. Bayhan**, İ. Çolak, “Mikrodenetleyici ile Rotoru Sargılı Asenkron Motorun Rotor Direncinin Değiştirilerek Tork ve Hız Kontrolü”, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi (Kab. Tarihi: Haziran 2008)
2. R. Bayındır, İ. Çolak, İ. Garip, **S. Bayhan**, “Alternatörler İçin Mikrodenetleyici Tabanlı Faz Sırası Doğruluğu ve Faz Kopukluğu Uyarı Sistemi” Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi (Kab. Tarihi: Aralık 2008)
3. Ş. Demirbaş, **S. Bayhan**, “Güç Sistemi Harmoniklerinin Uzaktan İzlenebilmesi için LabVIEW Tabanlı Görüntüleme Sistemi Gerçekleştirilmesi”, e-Journal of New World Sciences Academy (Kab. Tarihi: Aralık 2008)
4. **S. Bayhan**, D. Yılmaz, “Güç Sistemlerindeki Dalga Şekli Bozukluğunun Tespiti”, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisleri Sempozyumu ELECO 2008, 26-30 Kasım 2008, Bursa/TÜRKİYE