

T.C
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE GÜÇ KALİTESİNİN
İZLENMESİ, ANALİZİ VE
UYGUN HARMONİK FİLTRE SEÇİMİ**

DOKTORA TEZİ

Hayrettin GÖKOZAN

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin EKİZ
Ortak Danışman : Yrd. Doç. Dr. Sezai TAŞKIN

Haziran 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE GÜÇ KALİTESİNİN
İZLENMESİ, ANALİZİ VE
UYGUN HARMONİK FİLTRE SEÇİMİ

DOKTORA TEZİ

Hayrettin GÖKOZAN

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 24 /06 /2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof.Dr.
Serhat ŞEKER

Jüri Başkanı



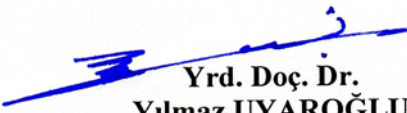
Prof. Dr.
Hüseyin EKİZ

Üye



Yrd. Doç. Dr.
Fahri VATANSEVER

Üye



Yrd. Doç. Dr.
Yılmaz UYAROĞLU
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Ahmet ZENGİN
Üye

TEŞEKKÜR

Doktora tezi olarak sunduğum bu alışma, Prof. Dr. Hüseyin EKİZ ve Yrd. Doç. Dr. Sezai TAŞKIN danışmanlığında gerçekleştirilmiştir.

Kıymetli zamanlarını bize ayıran, doktora tez çalışmamın her aşamasında çok fazla emeği ve katkısı bulunan değerli hocamız Sayın Prof. Dr. Serhat ŞEKER'e,

Çalışmalarım süresince her türlü desteği sağlayan ve yol gösteren, bilgi ve birikimlerinden faydalandığım kıymetli hocalarım Prof. Dr. Hüseyin EKİZ, Yrd. Doç. Dr. Sezai TAŞKIN ve Yrd. Doç. Dr. Serkan AYDIN'a,

Çalışmalarım sırasında yol gstericilikleri ile katkıda bulunan tez izleme jüri yeleri Sayın Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU ve Yrd. Doç. Dr. Ahmet ZENGİN'e,

Bu araştırma ve çalışmaya vermiş oldukları destekler için, Turgutlu SERAMİK SAN Seramik fabrikası ile TURELİK döküm işletmeleri yöneticileri ve teknik elemanlarına,

Beni yetiştiren, hayatım boyunca bana destek olan değerli Anne ve Babama,

Çalışmalarım süresince sabır göstererek bana destek olan sevgili eşime ve ocuklarıma,

Ayrıca tez çalışmamın her aşamasında fikir ve nerileri ile yardımlarını esirgemeyen tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Hayrettin GÖKOZAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması.....	2
1.2. Tezin İçeriği	12
1.3. Bilime Katkı	13

BÖLÜM 2.

GÜÇ KALİTESİ ve GÜÇ SİSTEMLERİNDE HARMONİKLER	14
2.1. Gerilim Çökmesi (Dip)	14
2.2. Gerilim Yükselmesi (Swell).....	15
2.3. Kısa Kesintiler (Short interruptions).....	15
2.4. Geçici Rejim (Transient).....	15
2.5. Harmonikler	16
2.6. Interharmonikler (Ara Harmonikler).....	17
2.7. Kırpışma (Flicker).....	17
2.8. Frekans Sapması.....	18
2.9. Gerilim Dengesizliği	19
2.10. Güç Kalitesi Problemlerinin Kaynakları.....	19
2.11. Güç Kalitesi Problemlerinin Etkileri.....	21

2.12. Harmonikler	22
2.13. Harmonik Üreten Kaynaklar	24
2.14. Harmoniklerin Etkileri	27
2.15. Harmoniklerle İlgili Tanımlar	30
2.15.1. Toplam harmonik bozulma	30
2.15.2. Toplam talep bozulması	31
2.15.3. Tepe faktörü	31
2.15.4. K faktörü	31
2.15.5. Harmonik faktörü(HF)	32
2.15.6. Şekil faktörü (K_f).....	32
2.15.7. Harmonik derecesi (n).....	32
2.15.8. Harmonik frekansı (f_n)	33
2.15.9. Harmonik bileşenin RMS değeri.....	33
2.15.10. Harmonik grubun RMS değeri.....	33
2.16. Harmoniklerin Filtrelenmesi	33
2.16.1. Aktif harmonik filtreler	33
2.16.2. Pasif harmonik filtreler	35

BÖLÜM 3.

TEZ ÇALIŞMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER.....	40
3.1. Fourier Dönüşüm Yöntemi	40
3.1.1. Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD)	41
3.1.2. Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD).....	41
3.1.3. Fourier Serilerinin İfade Biçimleri.....	42
3.2. Spektral Analiz Teknikleri ve Özellik Çıkarımı	42
3.2.1. Zaman frekans analiz yöntemleri	43
3.2.1.1. Kısa zaman Fourier dönüşümü.....	43
3.2.1.2. Güç spektrum yoğunluğu	44
3.3. Akıllı İzleme Sistemi Tasarımı	44
3.3.1. Yapay sinir hücresi.....	45
3.3.2. Çok katmanlı perseptron yapısı.....	46

BÖLÜM 4.

GERÇEK ZAMANLI GÜÇ KALİTESİ İZLEME ve VERİ TOPLAMA SİSTEMİ TASARIMI	48
4.1. G Programlama Dili	48
4.2. LabVIEW™ Programı	49
4.2.1. Tasarlanan program.....	51
4.2.2. LabVIEW tabanlı veri toplama	54
4.2.3. Veri toplama kartları	54
4.2.4. Örnekleme hızı (Sampling rate)	54
4.3. Sisteme Ait Donanım	55
4.3.1. Akım giriş devresi	55
4.3.2. Gerilim giriş devresi.....	55
4.3.3. Veri toplama kartı	56

BÖLÜM 5.

TASARLANAN SİSTEMİN SAHA UYGULAMALARI ve DEĞERLENDİRMELER	61
5.1. Evirici ile Sürülen Asenkron Motor Verileri için Harmonik Analizi	61
5.1.1. Tam yük şartlarında sabit durum.....	64
5.1.2. Evirici ile sürülen asenkron motor verileri için sonuçlar	67
5.1.3. Etkin harmonikler için filtre hesabı.....	68
5.2. İndüksiyon Fırını Verileri için Harmonik Analizi	70
5.2.1. Verilerin alınması, incelenmesi ve sonuçlar	71
5.2.2. Farklı yükler altındaki değişken durumlar	71
5.2.3. Tam yük şartlarında sabit durum.....	73
5.2.4. İndüksiyon fırını verileri için sonuçlar.....	76
5.3. İndüksiyon Fırınlarında Yapay Sinir Ağı Tabanlı Harmonik İzleme Sistemi	77
5.3.1. Eğitim setinin oluşturulması	79
5.3.2. Eğitilen YSA'nın farklı verilerle test edilmesi.....	83
5.3.2.1. YSA'nın 1. bölge için test edilmesi (9-9.2 s arası)	83
5.3.2.2. YSA'nın 2. bölge için test edilmesi (2.2-2.4 s arası)	86
5.3.2.3. YSA'nın 3. bölge için test edilmesi (1.3-1.5 s arası)	88

BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	92
KAYNAKLAR	96
EKLER.....	103
Ek A. DAQ Kart.....	103
Ek B. Akım Sensörü.....	105
Ek C. Gerilim Sensörü	108
ÖZGEÇMİŞ	110

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

BF	: Biçim Faktörü
DAQ	: Data Acquisition (Veri Toplama)
DF _I	: Distortion Factor (Akım Bozulma Faktörü)
DF _V	: Distortion Factor (Gerilim Bozulma Faktörü)
DSP	: Digital Signal Processing (Dijital Sinyal İşleme)
DWT	: Discrete Wavelet Transform (Ayrık Dalgacık Dönüşümü)
EKF	: Extended Kalman Filter (Genişletilmiş Kalman Süzgeci)
FACTS	: Flexible Alternative Current Transmission System (Esnek Alternatif Akım İletim Sistemi)
FFT	: Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
fn	: Harmonik Frekansı
f _r	: Rezonans Frekansı
GPIB	: General Purpose Interface Bus (Genel Amaçlı İletişim Protokolü)
HF	: Harmonik Faktörü
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers
I _{PM}	: Primer akım ölçme aralığı
I _{PN}	: Nominal primer akımı
I _R , I _S , I _T	: R, S, T Fazları Akım Değerleri
LabVIEW™	: Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench
LSE	: Least Square Error (En Küçük Kareler Hatası)
NI	: National Instrument
NN	: Neural Network (Yapay Sinir Ağı)
p.u.	: Per Unit
P _{lt}	: Uzun Zamanlı (Long time) Kırpışma
PSCAD	: Power System Computer Aided Design (Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Tasarlanması)

PSD	: Power Spectrum Density (Güç Spektrumu Yoğunluğu)
P_{st}	: Kısa Zamanlı (Short time) Kırışma
PXI	: PCI eXtention for Instrumentation (PCI genişleme modülü)
RBF	: Radial Basis Function (Radyal Tabanlı Fonksiyon)
R_L	: Yük Direnci
SMPS	: Switched Mode Power Supply (Anahtarlama Modlu Güç Kaynağı)
SSSC	: Static Synchronous Serial Compensatory (Statik Senkron Seri Kompanzator)
STATCOM	: Static Synchronous Compensatory (Statik Senkron Kompanzator)
SVC	: Static VAr Compensatory (Statik Var Kompanzator)
TF	: Tepe Faktörü
THBD	: Toplam Harmonik Bant Bozulma,
THD_I	: Akım için Toplam Harmonik Bozulma
THD_V	: Gerilim için Toplam Harmonik Bozulma
t_r	: Cevap Zamanı
TTB	: Toplam Talep Bozulması
U_R, U_S, U_T	: R, S, T Fazları Gerilim Değerleri
V_C	: Besleme Gerilimi
VI	: Virtual Instruments (Sanal Enstrüman)
V_{OUT}	: Çıkış Gerilimi (Analog)
V_{PN}	: Nominal Primer Gerilimi (RMS)
YSA	: Yapay Sinir Ağı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Gerilim çökmesi.....	14
Şekil 2.2. Gerilim yükselmesi	15
Şekil 2.3. Kısa süreli gerilim kesintisi	16
Şekil 2.4. Kısa süreli geçici rejimler	16
Şekil 2.5. Harmonik bozulma.....	17
Şekil 2.6. Güç kalitesi problemlerinin dağılımı	19
Şekil 2.7. Bir periyottaki temel bileşen ve harmonik bileşenler	23
Şekil 2.8. Paralel aktif filtrenin devreye bağlanması	34
Şekil 2.9. Seri Aktif filtrenin devreye bağlanması	35
Şekil 2.10. Seri pasif filtrenin devreye bağlanması.....	35
Şekil 2.11. Paralel pasif filtrenin devreye bağlanması	36
Şekil 2.12. Kompanzasyon sistemine seri endüktans bağlantısı	37
Şekil 3.1. İleri beslemeli çok katmanlı YSA gösterimi.....	46
Şekil 4.1a. G dili program örneği.....	49
Şekil 4.1b. C dili program örneği.....	49
Şekil 4.2. LabVIEW ile grafiksel program geliştirme ortamları.....	50
Şekil 4.3. LabVIEW programı başlangıç menüsü.....	51
Şekil 4.4. LabVIEW tabanlı güç kalitesi izleme ve ölçme ekranına ait bir ön panel görünümü	52
Şekil 4.5. Akım sinyaline ait THD değerlerinin gösterimi için kullanılan ekran	52
Şekil 4.6. LabVIEW program yapısından bir kesit.....	53
Şekil 4.7. Ölçme sistemine ait bağlantı şeması	56
Şekil 4.8. NI PCI 6221 DAQ kartı	56
Şekil 4.9. Veri giriş ünitesinin iç görünüşü.....	58
Şekil 4.10. SCB 68 bağlantı bloğu akım ve gerilim kanal bağlantıları.....	58
Şekil 4.11. Veri giriş ünitesinin dış görünüşü.....	59
Şekil 4.12. Üç fazlı dengesiz yükler için bağlantı şeması.....	60

Şekil 4.13. Üç fazlı dengeli yükler için bağlantı şeması	60
Şekil 5.1. LabVIEW™ tabanlı ölçme sistemi kullanıcı ara yüzü	62
Şekil 5.2. Faz 1, 2 ve 3'e ait gerilim değişimi.....	62
Şekil 5.3. Eviriciden beslenen motorun kaynaktan çektiği akımdaki değişimler	63
Şekil 5.4. Birinci faz akımı için zaman-frekans değişimi	63
Şekil 5.5. Birinci faz akımının 0-1000 Hz arası frekansları için zaman-frekans değişimi	64
Şekil 5.6. Asenkron motorun tam yükteki akım değişimi.....	65
Şekil 5.7. Tam yük altında, motor birinci faz akımının Güç Spektrum Yoğunluğu ..	65
Şekil 5.8. Birinci faz akımı için 0-1000 Hz arası harmonikler	66
Şekil 5.9. İndüksiyon fırınının beslemesine ait yapılan ölçüm bağlantıları	70
Şekil 5.10. İndüksiyon fırını beslemesine ait 3 faz gerilim genliklerinin değişimi ...	71
Şekil 5.11. İndüksiyon fırını beslemesine ait 3 faz akım verilerinin değişimi.....	72
Şekil 5.12. Birinci faz akımına ait zaman-frekans değişimi	72
Şekil 5.13. Birinci faz akımına ait 0-1000 Hz arası zaman-frekans değişimi	73
Şekil 5.14. İndüksiyon fırınının tam yükteki akım değişimi.....	74
Şekil 5.15. Tam yük altında, indüksiyon fırınının birinci faz akımı için GSY	74
Şekil 5.16. Birinci faz için seçilmiş GSY eşik değerlerin 0-1000 Hz arası büyütülmüş şekli	75
Şekil 5.17. Akıllı izleme sistemi akış şeması	78
Şekil 5.18. İndüksiyon fırını akım verileri	79
Şekil 5.19. YSA eğitiminde kullanılan durağan çalışma bölgesine ait veri kümesi ..	80
Şekil 5.20. YSA'nın eğitiminde kullanılan giriş/çıkış(hedef) verisi.....	81
Şekil 5.21. YSA'nın eğitim performansı.....	81
Şekil 5.22. YSA'nın eğitim sürecinde gerçek veri ile uyumlu çıkış değişimi	82
Şekil 5.23. YSA'nın eğitim sürecindeki hata değişimi	82
Şekil 5.24. Eğitilen YSA'nın test edilmesi için seçilen veri aralığı (9-9.2 s arası)....	83
Şekil 5.25. 9-9.2 s'ler arası test verilerinin normalize GSY değerleri	84
Şekil 5.26. YSA'nın eğitim ve sorgulama süreçlerine ilişkin hata değerleri	85
Şekil 5.27. Eğitilen ve sorgulanan harmoniklerin güç spektrumu yoğunlukları.....	85
Şekil 5.28. Eğitilen YSA'nın test edilmesi için seçilen veri aralığı (2.2-2.4 s arası). 86	
Şekil 5.29. Öğretilen veriye karşılık sorgulanan aralık için YSA'nın ürettiği çıkış değişimi	87

Şekil 5.30. Eğitilen ve sorgulanan verinin hata farkı	87
Şekil 5.31. Eğitilen ve sorgulan harmoniklerin güç spektrum yoğunluğu	88
Şekil 5.32. Eğitilen YSA'nın test edilmesi için seçilen veri aralığı (1.3-1.5 s arası). 89	
Şekil 5.33. Öğretilen veriye karşılık sorgulanan aralık için YSA'nın ürettiği çıkış değişimi	89
Şekil 5.34. Eğitilen ve sorgulanan hatanın mutlak değişimi	90
Şekil 5.35. Eğitilen ve sorgulanan harmoniklerin güç spektrum yoğunluğu	90
Şekil 6.1. Önerilen sistemin blok şeması	95

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Fliker şiddeti için sınır değerler	18
Tablo 2.2. Bozulma tipleri	18
Tablo 2.3. Çeşitli cihazların oluşturduğu bozucu etkiler ve görülme sıklığı	21
Tablo 2.4. Güç kalitesi, nicelik ve etkileri	22
Tablo 2.5. Akım harmonikleri için maksimum yük akımına (I_L) göre sınır değerler	28
Tablo 2.6. Bazı harmonik üreteçlerin karakteristikleri	29
Tablo 2.7. Gerilim harmonikleri için sınır değerler	30
Tablo 2.8. Kompanzasyon sistemi için endüktans seçim tablosu	38
Tablo 2.9. Pasif filtre – aktif filtre karşılaştırması	39
Tablo 4.1. Akım sensörü özellikleri	57
Tablo 4.2. Gerilim sensörü özellikleri.....	57
Tablo 5.1. Asenkron motor harmonik derecelerinin hesaplanması.....	66
Tablo 5.2. İndüksiyon fırını harmonik derecelerinin hesaplanması.....	75

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Elektrik Güç Sistemleri, Endüstriyel Tesislerde Güç Kalitesi, Harmonik Analizi, Harmonik Filtre Seçimi, Veri Toplama.

Elektrik enerjisinin kalitesi, endüstriyel tesislerde kullanılan makinelerin hatasız ve verimli çalışması bakımından oldukça önemlidir. Gün geçtikçe ilerleyen teknoloji ile sistemdeki yükler çeşitlilik gösterse de sistemdeki yüklerin her zaman lineer olması istenir. Bununla beraber son yıllarda ilerleyen güç elektroniği teknolojisinin büyük etkisi ile sistemlerde akım ve gerilim karakteristiği doğrusal(lineer) olmayan yüklerde artış görülmektedir. Aynı kaynaktan beslenen, farklı tesislerde çalışan makinelerin oluşturmuş oldukları bozucu etkiler, çevrede bulunan diğer makineleri de etkilemekte, bu da makinelerin çalışmalarında uygun olmayan karakteristikler göstermelerine sebep olmaktadır.

Sistemdeki bu lineer olmayan yükler, harmonikli akımlar ile gerilimlerin oluşmasına neden olmakta ve elektrik enerjisinin kalitesini bozan etkilerin başında bu harmonikler gelmektedir. Oluşan harmoniklerin, şebeke enerjisinin sinüsoidal formunu bozması sonucunda, çalışma özelliğinde frekansın etkili olduğu makine ve sistemler kararlı davranış sergileyememektedirler. Harmonik oluşumuna sebep olan endüstrideki başlıca yükler; güç elektroniği elemanları, motor sürücüler, kesintisiz güç kaynakları, eviriciler ve yüksek güçlü asenkron motorlar şeklinde sıralanabilir. Harmonikler; sistemlerde ek enerji kayıplarına, ısınmalara, yalıtım hatalarına ve elektronik elemanlardaki ömür kısalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, harmoniklerin oluşmadan veya oluşuktan sonra giderilmesi önem taşımaktadır.

Yapılan çalışmada; yük karakteristiği değişken olan çeşitli endüstriyel tesislerden, yüksek örnekleme frekanslarında toplanan akım ve gerilim verileri kullanılarak güç kalitesi parametrelerinden olan harmonik analizi yapılmıştır. Veri toplama işlemi için akım ve gerilim transduserlerinden alınan elektrikselsinyaller, bir veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılmıştır. Güç kalitesi izleme ve veri kaydı için LabVIEW tabanlı görsel bir kullanıcı ara yüzü tasarlanmıştır. Tasarlanan program ile her bir faza ait akım ve gerilimlere ilişkin dalga form biçimleri, fazör diyagramları, toplam harmonik bozulma seviyesi ile güç parametrelerinin değişimleri gerçek zamanlı olarak görüntülenebilmekte, ayrıca program ile kaçınıcı harmonik seviyesine kadar inceleme yapılacaksa örnekleme frekansı değiştirilerek, verilerin kaydedilmesi işlemi de gerçekleştirilmektedir. Farklı endüstriyel tesislerin değişik çalışma koşullarına ait yük durumlarındaki harmonik analizi için toplanan veriler MATLAB ortamında analiz edilmiştir. Akım ve gerilim şeklindeki zaman tanım bölgesi sinyalleri, frekans tanım bölgesinde analiz edilerek frekans-genlik ve faz bilgileri çıkartılmış, baskın harmonikler için filtre tavsiyelerinde bulunulmuştur. Ayrıca harmonikler için yapay sinir ağı tabanlı akıllı bir izleme sistemi yaklaşımı da oluşturulmuştur.

POWER QUALITY MONITORING AND ANALYSIS OF INDUSTRIAL INSTITUTIONS AND OPTIMUM HARMONIC FILTER SELECTION

SUMMARY

Key Words: Power Systems, Power Quality in Industrial Processes, Harmonic Analysis, Harmonic Filter Selection, Data Acquisition.

The quality of electric energy used in industrial institutions plays a very important role in terms of having the electrical equipments work properly and efficiently. By the technology which is being developed days by days the loads of the system gain a number of varieties. The institutions want these loads to be linear. However, by the impact of a semiconductor technology, it is observed that there has been an increase in loads that are non-linear. Non-linear loads are the loads that have non-linear current and voltage characteristics. The damaging effects of machines which work in different institutions and have the same resources affect the other machines. Thus, this causes a number of characteristics which are not appropriate for the machines in the institutions.

The loads and the system, cause harmonic currents and voltage. This harmonics are the primary damaging effects which destruct the quality of the electric energy. Harmonics give harm to the sinusoid formation of the mains energy. As a result, the electrical equipments cannot work properly. Industrial loads that cause harmonic formation such as electronic power elements, drivers, uninterruptible power supplies, inverters and high powered induction machines can be numbered. These harmonics also may be produce energy losses, heating and isolation problems and they shorten life of electronic elements. Therefore it is necessary to suppress of these harmonic effects before occurrence and afterwards.

In this study a harmonic analysis has been realized from parameters which are gathered from high sample frequencies from various industrial institutions which have a variable load characteristic in order to gather data, electric signals gathered from current and voltage transducers were loaded on a computer by a data acquisition card. In order to monitor the power quality and record the data a visual user which has a LabVIEW™ data base was designed. The software helps to monitor the waveform, total harmonic distortion level and changes in power parameters. The data gathered for a harmonic analysis which belongs to different working conditions, different industrial institutions were analyzed by MATLAB. The signals of time domain were analyzed in the frequency domain and the phase data output was taken, for the dominant harmonics, filtration has been suggested.

Also, an artificial neural network based intelligent monitoring system has been designed for harmonics.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin kullanımının kolaylığı, enerji talebindeki artışı da beraberinde getirmiştir. Elektrik enerjisini üreten, ileten ve dağıtan kuruluşların amacı; kesintisiz, ekonomik ve kaliteli bir enerjiyi tüketicilerine sunmaktır. Elektrik enerji sistemlerinde kalite kavramından; sabit şebeke frekansında, sabit ve sinüsoidal biçimli uç geriliminin sağlanması anlaşılmaktadır [1].

Enerjinin üretiminden, en son alıcıya ulaşıncaya kadar geçtiği aşamaların tümünde, gerilim ve akım büyüklüklerinin sinüsoidal formda olması istenmektedir. “Güç Kalitesi” ifadesi; elektrik enerji sistemlerinde akım ile gerilimin 50 Hz (Avrupa ve Amerika’da 60 Hz) frekansta ve sinüs eğrisi şeklinde olması, güç katsayısının 1’e yakın olması, faz gerilimlerinin dengeli olması vb. gibi şartları akla getirmektedir [2,3].

Kaliteli enerjinin sağlanması, güç sistemlerine bağlanan cihazların oluşturduğu problemler nedeni ile her zaman mümkün olamamaktadır. Güç kalitesini bozan cihazların çoğunluğu, içlerinde yarıiletken elemanlar bulunduran alıcılardır ve “doğrusal olmayan (nonlinear) yükler” olarak isimlendirilirler. Bu tür yükler, enerji kalitesini düşürerek modern elektronik cihazların enerji sistemlerinde meydana gelen bozulmalara karşı duyarlılığını önemli ölçüde etkilerler. Doğrusal olmayan yükler, enerji sistemlerine harmonik enjekte ederek düşük kaliteli enerjiye sebep olurlar [4].

Akım ve gerilim dalga biçimleri; hem yarı iletkenlerin yapısından, hem de sanayide kullanılan bazı doğrusal olmayan yüklerin (güç elektroniği elemanları, ark fırınları v.b.) etkisiyle, periyodik olmakla birlikte, temel sinüsoidal dalga ile frekans ve genliği farklı diğer dalgaların (harmoniklerin) toplamından meydana gelmektedir [5].

Temel frekans dışındaki dalgalara “harmonik” adı verilir. Bu dalgalar, Fourier analizi yardımıyla, temel frekans ve diğer frekanslardaki bileşenler cinsinden ifade edilebilir. Fourier analizi ile, sinüsoidal şekle sahip olmayan dalgalar, frekansları farklı sinüsoidal dalgaların toplamı şeklinde matematiksel olarak yazılabilir. Bu sayede harmoniklerin analizi kolaylıkla yapılabilir [1].

1.1. Literatür Taraması

Konu ile ilgili yapılan literatür taramasında elde edilen temel yaklaşımlar aşağıda özetlenmiştir.

Andria, G. vd. tarafından yapılan çalışmada, endüstriyel güç sistemlerinin harmonik analizinde kullanılan Hızlı Fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) ve Genişletilmiş Kalman Süzgeci (Extended Kalman Filter-EKF) yöntemleri anlatılmış, bir asenkron motoru süren evirici üzerinden veriler toplanarak, bu iki yöntem karşılaştırılmış ve EKF yönteminin gerçek zamanlı izleme işlemlerinde daha kullanışlı olduğu görülmüştür [6].

Barros ve Diego tarafından, dalgacık paket dönüşüm yöntemi kullanılarak, güç sistemlerinde durağan ve durağan olmayan sinyaller için harmonik analizi yapılmıştır [7].

Bath ve Kumra tarafında yapılan bir başka çalışmada, LabVIEW grafik programı ile öncelikle sinüs dalgaları üretilmiş, bunlar üzerine harmonik ve gürültü jeneratörleri ile üretilen sinyaller bindirilmiş, daha sonra oluşturulan harmonik analizörü simülatörü ile bu sinyaller içerisindeki farklı harmonik değerler, gürültü ve anahtarlamalı sinyaller, harmonik değer seviyeleri, toplam harmonik bozulmalar ölçülerek gösterilmiştir [8].

Bilik, P. vd., bilgisayar tabanlı bir güç kalitesi analizörü tasarlamışlardır. National Instrument (NI) firması tarafından geliştirilmiş CompactRIO modülü ile birlikte veri toplama kartı ve LabVIEWTM yazılımını kullanmışlardır [9].

Chandel, A. K. vd.'nin yapmış oldukları çalışmada, güç kalitesi bozulmalarını tanımlamak için dalgacık tabanlı yapay sinir ağı sınıflandırıcısı tasarlanmış ve test edilmiştir. Güç kalitesi sinyalinin özelliklerini belirlemek için, Parseval enerji teoremi ile çoklu çözünürlük analizi yapılmıştır. Bu özellikler yapay sinir ağı sınıflandırıcısının geliştirilmesinde kullanılmıştır. Sistem, çeşitli bozulmalar (gerilim çökmesi, anlık kesintiler, kondansatör anahtarlamaları vs.) altında test edilerek, elde edilen sonuçlar, %99 doğrulukla sınıflandırmanın gerçekleştiğini göstermiştir [10].

Chang, G.W. vd. yayınladıkları bir makalede, ark fırınlarının çeşitli çalışma durumlarındaki özelliklerinden bahsetmiş, Matlab/Simulink ile sistemin benzetimi yapılarak değerler elde edilmiş, çelik işleme bölgesindeki güç sisteminden alınan gerçek değerler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Gerçekleştirilmiş devre ile alınan değerler, benzetim sonucunda çıkan değerlerle örtüşmektedir [11].

Dwyer, R. yaptığı çalışmada, veri toplama kartları kullanılarak oluşturulan güç kalitesi ölçüm düzeneklerinin, harmonikler, gerilim düşmesi vb. gibi geçici bozulmaların görüntülenmesi açısından güç kalitesi analizörlerine göre daha iyi bir çözüm olduğu üzerinde durmuştur [12].

Ellis, R.G., IEEE 519-1992 ile aynı standardın 1981 sürümleri arasındaki farkları, harmonik sınırları ve endüstriyel güç müşterileri üzerindeki etkileri bakımından incelemiştir. 1981 ve 1992 sürümlerinde verilen harmonik sınır değerlerini, bir güç sistem modeli üzerinde analiz etmiştir [13].

Faisal ve Mohamed bir çalışmada, çoklu çözünürlük analizi ve yapay sinir ağı teknikleri kullanmışlardır. Malezya'daki endüstriyel bir bölgede kurulu bulunan enerji sistemine; güç kalitesi kaydetme düzenekleri bağlanarak üç ay boyunca veriler izlenmiş, daha sonra bu veriler işlenerek sınıflandırılmış, bozulmanın kaynağı tanımlanmış ve değerlendirilmiştir [14].

Hua, L. vd. tarafından yapılan çalışmada ise, güç dağıtım sistemlerinde güç kalitesi bozulmalarının sınıflandırılması için, dalgacık tabanlı yeni bir yaklaşım sunulmaktadır. Bu yaklaşım, Dalgacık dönüşüm ve yapay zekâ tabanlıdır. Dalgacık

dönüşümü ve öğrenme algoritmalarının yapısının anlatımından sonra, 14 baralı bir sistem oluşturulmuş, gerilimdeki düşme ve yükselmelerin elde edildiği benzetim sonuçları, önerilen yöntemin kullanılabilir olduğunu göstermiştir [15].

Huaying, W. vd. yaptıkları çalışmada, güç kalitesi bozulmalarındaki bozucu ve geçici sinyallerin temelini özelliklerini açıklamaya çalışmışlardır. Bu yeni yaklaşım yapay zekâ ile birleştirilerek güç sistemlerindeki kısa süreli bozulmaları ve bozulmanın yerini de tespit etmektedir [16].

Issouribehere, P. vd. tarafından, elektrik ark fırınları ile ilgili yapılan çalışmada, Arjantin Buenos Aires'te çok sayıda elektrik ark fırınının olduğu bir bölgedeki elektrik enerjisi dağıtım istasyonundaki güç kalitesi ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Çalışmada ark fırınlarının karakteristiklerinden bahsedilmiş ve ark fırınlarının çeşitli çalışma periyotlarından alınan değerleri karşılaştırılmıştır [17].

Kaewarsa ve Attakitmongcol tarafından yapılan çalışmada, güç kalitesindeki bozulmaları sınıflandırmak için geliştirilmiş dalgacık tabanlı yapay zekâ prototipi anlatılmış ve simülasyonlar test edilmiştir. Test sonuçları, geliştirilen yöntemin oldukça yetenekli olduğunu göstermiştir [18].

Moreno, A., vd. tarafından yapılan çalışmada, güç kalitesi ölçümleri için PIC 16F873 mikro kontrolör tabanlı bir donanım tasarlanmış ve sistemin seri portu aracılığı ile internet üzerinden uzaktan izlenebilirliğinden bahsedilmiştir [19].

Nikolovski S. vd. yapmış oldukları çalışmada, Yugoslavya'nın Osijek kentindeki 110/35 kV değerindeki iki transformatörün çıkışlarına bağlanan güç kalitesi analizöründen alınan değerlerin EN 50160 ve IEEE 1159–1995 standartları ile karşılaştırarak, değerleri tablo şeklinde vermişlerdir [20].

Owen, E. tarafından yapılan çalışmada, güç sistemlerinde harmoniklerin ilk kez fark edilmesinden günümüze kadar oluşan süreçler hakkında bir değerlendirme yapılmıştır [21].

Sermon, R.C., yaptığı çalışmada, güç kalitesi ölçümleri ile ilgili standartlar ve temel noktaları sunmuştur. Güç kalitesi sınır değerlerinin hangi seviyelerde olabileceği konusunda bilgiler vermiştir [22].

Taşkın ve Gökozan, 75 kW'lık bir asenkron motoru süren evirici girişlerinden toplanan akım ve gerilim verilerini analiz ederek, asenkron motorun farklı yüklenme durumlarına ilişkin harmonik seviyeleri ve sonuçlarını, çeşitli spektral analiz yöntemlerini kullanarak yorumlamışlardır [23].

Weijian ve Weili, elektrik enerjisi dağıtım sistemlerindeki güç kalitesi bozulmalarını, Kompleks Dalgacık Dönüşüm ve Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (Radial Basis Function-RBF) kullanarak ortaya çıkarmışlardır. Sinyallerdeki gürültülerin temizlenmesi ile RBF yapay zekâ öğrenme algoritmasının anlatıldığı çalışmada, radyal dağıtım güç sistemi üzerinde yapılan benzetim sonuçları ile gerçek zamanlı ölçümler için, tasarlanan sistemin uygunluğunu göstermişlerdir [24].

Yang, Z. J. vd. yaptıkları bir çalışmada, bilinen sistemlerden biri olan Hızlı Fourier Dönüşümü metodu ile bundan farklı yeni bir ölçme metodu olan En Küçük Kareler Hatası (Least Square Error-LSE) metodunu kullanarak sonuçlar almış ve her iki sonucu karşılaştırmışlardır [25].

Zang ve Yishu, yaptıkları çalışmada, güç kalitesindeki bozulmaları dalgacık dönüşümü ve çok katmanlı destek vektör makinesi yöntemi ile bulacak ve sınıflandıracak akıllı bir sistem önermişlerdir. Benzetim sonuçları, kullanılan sistemin doğruluğunu kanıtlamıştır [26].

Zhenmei, L. vd. tarafından yapılan çalışmada, bir elektriksel şebeke için, dalgacık dönüşüm yöntemine dayalı, harmonik analiz sistemi geliştirilmiştir. Yazılım aracında, Matlab programının “Dalgacık toolbox”ı Matlab Script Node olarak LabVIEW altında koşturulmuştur [27].

Vatansever, F. vd. tarafından yapılan çalışmada, güç işaretlerine ait harmoniklerin genliklerinin hesaplanması için dalgacık paket dönüşümü kullanılmıştır. Bunun

yanında harmoniklere ait toplam harmonik bant bozulma (THBB), biçim faktörü (BF) ve tepe faktörü (TF) gibi parametrelerin de dalgacık paket tabanlı olarak hesaplanması için analitik ifadeler sunularak harmonik analizleri, karşılaştırmalı olarak tasarlanan ve eğitim amaçlı da kullanılabilir grafiksel ara yüz programıyla gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde uygun filtreler kullanılarak, güç işaretlerinin harmonik dağılımının dalgacık paket tabanlı olarak büyük doğrulukla, hızlı ve etkin bir şekilde hesaplanabileceği gösterilmiştir. Klasik Fourier dönüşümdeki gibi karmaşık matematiksel işlemler gerektirmeyen dalgacık paket ayrışımıyla, işaretlerin harmoniklerinin etkin değerleri, toplam etkin değeri, toplam harmonik bozulması, biçim faktörü, tepe faktörü için analitik eşitlikler verilerek, bunlarla hesaplamaları gerçekleştiren grafiksel ara yüz programı tasarlanmıştır. Eğitim amaçlı da kullanılabilir bu programla gerçekleştirilen karşılaştırmalı benzetim sonuçları; yöntemin, uygun filtreler ve işlem parametreleri kullanılması durumunda etkinliğini göstermektedir [28].

Altıntaş, A., yapmış olduğu çalışmada, harmonik analiz sonuçlarının, geleneksel olarak sadece bir çalışma durumundaki harmoniklerin özelliklerini gösterdiğini belirtmiş, farklı çalışma durumundaki harmonik analiz sonuçları aynı grafik alanında gösterilecek olursa, bazı karışıklıkların oluşabileceğini ifade etmiştir. Bu karışıklığı engellemek için, harmonik analiz sonuçlarını göstermek amacıyla yeni bir yöntem tanıtmıştır. Sunulan bu yöntem, harmonikleri üç boyutlu ortamda göstermektedir [29].

Altıntaş, A. tarafından yapılan bir diğer çalışmada, tanımlanmış veya ölçülmüş dalga şekillerinin harmonik analizini gerçekleştirmek amacıyla, harmonik analizörü olarak kullanılabilir bir paket program geliştirilmiştir. Dalga şekli, bir arabirimle kullanıcı tarafından tanımlandıktan sonra, harmonik analizi program tarafından gerçekleştirilerek iki ve üç boyutlu analiz sonuçları gerek grafiksel olarak ve gerekse sayısal olarak görüntülenmiştir [30].

Bayhan ve Demirtaş'ın yaptığı çalışmada, enerji kalitesi bozulmalarının eşzamanlı tespiti için bir ölçüm sistemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistemde bir ölçme kartı yardımıyla, değişik yükleri besleyen bir dağıtım panosundan alınan akım ve

gerilim değerleri, bir veri toplama kartı aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayarda hazırlanan yazılım yardımıyla, elde edilen akım ve gerilim verilerinin analizi gerçekleştirilmiştir. Yazılımın hazırlanmasında LabVIEW programı kullanılmıştır. Hazırlanan yazılımda harmonik analizi için hızlı fourier donüşümü algoritması kullanılırken, anlık olayların tespiti için ayrıık dalgacık donüşümü algoritması kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, gerçekleştirilen ölçüm düzeneğinin akım ve gerilim harmoniklerinin yanında, dalga şekillerinde meydana gelen ani değişimler, gerilim yükselmesi, düşmesi veya kesilmesi gibi enerji kalitesi bozulmalarının tespitinde ve sınıflandırılmasında kullanışlı bir sistem olduğunu göstermiştir [31].

Gençoğlu, M. T., yapay sinir ağlarının güç sistemleri problemlerinde kullanılmasının önemi üzerinde durarak, güç sistemleri üzerindeki çeşitli uygulamaları incelemiştir. Ayrıca kirlenmiş yüksek gerilim izolatorlerinin atlama gerilimlerini belirleyen bir YSA yapısı geliştirerek, bu yapının güç sistemlerinde kullanımına yönelik bir uygulama yapmıştır [32].

Kakilli, A. vd., yaptıkları çalışmada, elektrik enerji sistemlerinde oluşan harmoniklerin reaktif güç kompanzasyon sistemlerine olan etkilerini incelemişlerdir. Örnek olarak, harmonik barındıran bir elektrik enerji sisteminin modeli MATLAB/SIMULINK programı ile oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sisteme, öncelikle klasik kompanzasyon sistemi uygulanmıştır. Daha sonra filtreli kompanzasyon sistemi uygulanarak bunun sistem üzerinde oluşturduğu etkiler incelenmiş, sonuçlar üzerinde yorumlar yapılmıştır [1].

Kara, A. vd. tarafından yapılan çalışmada, Niğde bölgesinde yer alan bir tekstil fabrikasının harmonik ölçümünü yapmışlardır. Yapılan ölçümler harmonik kirlenmesinin çok önemli bir sorun olduğunu ortaya koymuştur. Fabrikadaki bu harmonik kirliliğinin en önemli kaynağının, kullanılan evirici sayısının fazlalığından olduğunu tespit etmişlerdir. Toplam harmonik bozulmayı azaltmak amacıyla, fabrikadaki standart kompanzasyon panosu yerine harmonik filtreli panolarının yerleştirilmesi önerilmiştir [33].

Kocatepe, C. vd. yaptıkları çalışmada, farklı yapıda ve ağırlıklı olarak harmonikli devreler için güç faktörüne bağlı olarak güçlerin nasıl bir değişim gösterdiğini incelemişlerdir. Ayrıca düzgün doğrusal olmayan (nonsinüsoidal) kaynaktan beslenen devrede sadece omik, indüktif veya kapasitif elemanların olması durumunda güçlerin değişimini ortaya koymuşlardır [34].

Salor, Ö. vd. tarafından yapılan bu çalışma, Türkiye’de elektrik ark fırınlarının oldukça yoğun olduğu bölgelerdeki güç kalitesi değerlerini göstermektedir. Mobil olarak kurulan güç kalitesi ölçüm sistemi aracılığı ile elektrik enerjisi dağıtım hatlarının belirli noktalarındaki değerleri incelemiştir. Değerler IEC 61000-4-30 standartları ile karşılaştırılmıştır [35].

Şekerci ve Akpınar tarafından yapılan çalışmada, demir çelik fabrikalarının ortak kuplaj noktasından elektrik sistemine verdikleri bozucu etkilerin net bir şekilde ayrıştırılabilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle İzmir Aliağa bölgesinde yoğun olarak bulunan demir çelik endüstrisi tesislerinde eş zamanlı olarak yapılan akım ve gerilim ölçümleri verileri kullanılarak, ark ocaklarının sisteme verdiği harmonik etkiler ayrıntılı olarak incelenmiştir [36].

Zile, M. tarafından yapılan çalışmada, üç faz transformatörlerin farklı bağlantı şekillerinde harmonik analizi yapılmış ve farklı bağlantı şekillerinin üç faz modelleri elde edilmiştir. Modelleri geçerli kılmak için kısa devre ve boşa çalışma deneyleri ile duyarlılık ve alan testleri yapılmıştır. Geliştirilen algoritmalarla, bu modeller ile Microsoft Visual C++ dilinin gelişmiş özellikleri kullanılarak, güç sistemlerinde harmonik analizi yapan bilgisayar simülasyonu oluşturulmuştur. Gerekli algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilen bu bilgisayar simülasyonu ile üç faz transformatör gruplarının manyetik doyma ve harmonik analizleri yapılmıştır [37].

Zile, M. tarafından yapılan bir başka çalışmada, güç sistemlerinde doğrusal olmayan yük akımlarının neden olduğu harmonik etkilerini tahmin eden bir uygulama programı yapılmıştır. Yazılım programı için analitik mantık, basit bir güç sistem şebekesi için geliştirilmiştir. Bu sistem bir transformatör, iki paralel kondansatör, iki

iletim hattı, bir güç kaynağı ve doğrusal olmayan yüklerden oluşmuştur. Benzetim sonuçları; geliştirilen programın doğruluğunu göstermiştir [38].

Adak, S. tarafından yapılan, “Enerji Sistemlerinde Harmonik Distorsiyonunun Azaltılması” konulu Doktora tezinde; harmonik bozulmanın azaltılması hedeflenmiş olup, üçüncü harmonik enjekte yöntemi kullanılmıştır. Enerji sistemlerinde çokça kullanılan 3 fazlı tam dalga doğrultucunun harmoniklerinin giderilmesi, kullanılan bu yöntem ile sağlanmıştır. Konu ile ilgili sayısal uygulama gerçekleştirilerek çeşitli tetikleme açıları için toplam harmonik bozulma değeri hem analitik hem de MATLAB programı ile elde edilmiştir [5].

Bilge, M. tarafından yapılan, “Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Pasif Filtrelerle Eliminasyonu” konulu Yüksek Lisans tezinde; elektrik enerjisinin kalitesini belirleyen, frekans ve sinüzoidal dalga biçiminin bozulma nedenleri ortaya konulmuş ve ‘Harmonik Analizörü’ ile harmonik ölçümü yapılmıştır. Daha sonra pasif filtre devreye alınarak tekrar harmonik ölçümü yapılmıştır. Elde edilen akım ve gerilimin Toplam Harmonik Bozunum (THD_I ve THD_V) değerleri ile mevcut durumun MATLAB ortamında simülasyonu yapılmıştır [39].

Çalışkaner, H. E. tarafından yapılan, “Endüstriyel Tesislerdeki Harmoniklerin Eliminasyonu İçin Sayısal Filtre Tasarımı” konulu Yüksek Lisans tezinde; harmonikler teorik ve pratik olarak incelenmiş, harmonik etkileri ve filtrelenmesi ele alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada harmonikler için gerekli analiz yöntemleri işlenmiştir [40].

Çelik, Ç. tarafından yapılmış, “Dağıtım Sistemlerinde Enerji Kalitesi” konulu, Yüksek Lisans tezinde; güç kalitesi problemleri harmonikler ve filtreleme yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. TEİAŞ Alçuk trafo merkezindeki sanayi yüklerini beslemekte olan çeşitli fiderlerden yapılan ölçümlere ait değerlendirmeler verilmiştir. Ayrıca sabit yüklü bir radyo verici istasyonundan alınan veriler de değerlendirilmiştir. Çeşitli filtre tasarımlarının sonuçları Matlab ortamında simüle edilmiştir [41].

Efe, S. B. tarafından yapılan “Güç Sistemlerinde Harmonikler ve Harmoniklerin Analizi” konulu Yüksek Lisans tezinde; öncelikle harmoniklerle ilgili temel bilgiler verilerek nasıl ve neden oluştukları, elektrik enerji sistemi üzerindeki etkileri ve filtreleme yöntemleri incelenmiştir. Daha sonra örnek bir elektrik enerji tesisinin modeli MATLAB programında oluşturulmuş, pasif filtrelerin etkisi incelenmiştir [42].

Ekici, S. tarafından yapılan “Elektrik Güç Sistemlerinde Akıllı Sistemler Yardımı ile Arıza Tipi ve Yerinin Belirlenmesi” konulu Doktora tezinde; iletim hatlarında meydana gelen arızaların tipini ve yerini tahmin eden ayırık dalgacık dönüşümü, destek vektör makineler ve radyal tabanlı fonksiyon ağlarını kullanan bir yöntem sunulmuştur. Arıza tipi ve yerinin tahmini için, sadece hat başından ölçülen akım ve gerilim değerleri kullanılmıştır. Prototip güç sisteminden ve Alternatif Geçici Durum Programı (Alternative Transient Program-ATP) benzetimlerinden elde edilen akım ve gerilim sinyalleri, ayırık dalgacık dönüşümü yöntemi ile analiz edilmiştir. Böylece, arıza geçici durumlarına ait ayırt edici özellikler elde edilmiştir. Özellik vektörünün boyutunu azaltmak için dalgacık detay katsayılarına entropi ölçütü uygulanmıştır. Tek-faz toprak, iki-faz, iki-faz toprak ve üç fazlı simetrik arızalarını birbirinden ayırmak için istatistiksel öğrenme teorisine dayanan destek vektör makineler yöntemi kullanılmıştır. İletim hattında meydana gelen arızaların yerini bulmak için ise, ağ mimarisi basit ve eğitim süresi diğer sinir ağ yapılarına göre daha kısa olan radyal tabanlı fonksiyon ağları kullanılmıştır. Farklı arıza dirençlerini, arıza öncesi yükleri ve hattın beslenme durumlarını içeren birçok değişik arıza durumu incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, önerilen yöntemin arıza tipinin ve yerinin belirlenmesinde oldukça başarılı olduğu görülmüştür [43].

Engin, B. tarafından yapılmış, “Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Kompanzasyon ve Enerji Kalitesi Sorunları” konulu Yüksek Lisans tezinde amaç, orta gerilim elektrik dağıtım sistemlerinde reaktif güce bağlı olarak ortaya çıkan enerji kalitesi problemlerini ve bunların çözüm yöntemlerini incelemektir. Bu kapsamda öncelikle dağıtım sistemleri incelenmiş, ardından reaktif güç kompanzasyonu hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca konunun pratiğinin anlaşılabilmesi için bir demir-çelik fabrikası

elektrik dağıtım sistemi esas alınarak bir model şebeke oluşturulmuş ve bu modelin bilgisayar benzetimi yapılmıştır [44].

Filiz, C. tarafından yapılan, “Güç Sistemlerinde Harmonikler ve Filtrelemelerin İncelenmesi” konulu Yüksek Lisans tezinde; Fourier analizi kullanılarak harmoniklerin matematiksel analizi, harmonik üreten kaynaklar, harmoniklerin sistem üzerine etkileri ve harmonik standartları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Harmoniklerin giderilmesi konusuna ise ana hatları ile değinilerek filtrelerden bahsedilmiştir. Yapılan araştırmalar ışığında varılan sonuçlar ve alınması gereken önlemler için önerilere de yer verilmiştir [45].

Karaağaç, A. tarafından yapılmış, “Güç Sistemlerindeki Harmoniklerin Ölçülmesi Analizi ve Bunların Etkileri” konulu Yüksek Lisans tezinde; orta gerilim dağıtım sistemlerindeki güç kalitesini etkileyen harmonikler incelenmiştir. Bu incelemeyi gerçekleştirmek için İzmir ilindeki sisteme bağlı bir fiderden ölçümler alınmıştır. Buradaki problemlere çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Dağıtım sisteminden alınan ölçüm değerleri MATLAB/Simulink programında analiz edilmiştir. Güçlü motorlara sahip bir sistemdeki gerilim harmoniklerine karşı bir pasif filtre tasarlanarak sonuçlar MATLAB/Simulink programında incelenmiştir. Sonuç olarak bir dağıtım hattındaki harmoniklerin ölçümü, gerilimde meydana gelen değişimler, bunların zararları ve IEEE standartlarına uygunluğu ve harmonik problemlerin giderilmesi ile ilgili çözüm önerileri sunulmuştur [46].

Sucu, M. tarafından yapılan “Elektrik Enerji Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Filtrelenmesinin Bilgisayar Destekli Modellenmesi ve Simülasyonu” konulu Yüksek Lisans tezinde; elektrik enerji sistemlerinde oluşan harmoniklerin filtrelenmesinde kullanılan pasif filtreler ile filtreli kompanzasyon sistemlerinin (seri endüktans bağlanmış kompanzasyon sistemi) yapıları ve uygulama şekilleri hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra örnek olarak ele alınmış harmonik içeren bir elektrik enerji sisteminin modeli MATLAB programı ile oluşturulmuştur. Bu sisteme, pasif filtre ve filtreli kompanzasyon sistemi uygulanarak, filtrenin sistem üzerinde oluşturduğu etkiler incelenmiş, sonuçlar üzerinde yorumlar yapılmıştır [47].

Yörür, K. tarafından yapılmış “Elektrik İletim Hatlarının Güç Kalitesi Parametrelerinin Yazılımla Hesaplanması ve Değerlendirilmesi” konulu Yüksek Lisans tezinde; şebeke gerilim ve akım verileri yardımı ile güç kalitesi parametrelerinin yazılımla hesaplanıp, hızlı bir şekilde sonuçlarının elde edilmesi, bu sonuçların belirlenen ulusal ve uluslararası güç kalitesi standartları ile karşılaştırılması, güç kalitesi parametrelerinin izlenerek problemlerin tespit edilmesi hedeflenmiştir [48].

1.2. Tezin İçeriği

Yapılan çalışmada; yük karakteristiği değişken olan ve enterkonnekte sistemin güç kalitesi parametrelerini olumsuz yönde etki eden büyük endüstriyel tesislerdeki güç kalitesi parametrelerinden harmonik analizi için, LabVIEW™ tabanlı gerçek zamanlı bir güç kalitesi izleme ve veri toplama sistemi oluşturulmuştur. Bu sistem; ölçümlerin gerçekleştirilmesi amacı ile kullanılan donanım ve verilerin izlenmesi/toplanması için tasarlanan yazılım olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir. Akım ve gerilim transduserleri aracılığı ile veriler toplanarak, 50. harmoniğe kadar olan frekansların etkileri incelenmiştir. Sinyal analizi için MATLAB tabanlı spektral analiz yöntemleri kullanılmış ve harmoniklere ilişkin özellikler çıkarılmıştır. Ayrıca, Yapay Sinir Ağı (YSA) tabanlı akıllı bir izleme sistemi de tasarlanmış, toplanan verilerden yola çıkarak, değişik çalışma koşullarındaki zaman dilimleri içerisinde ortaya çıkan harmoniklerin sorgulanması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, akıllı izleme sistemi olarak tasarlanan YSA algoritmasının, harmonik tahmininde oldukça başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tez, altı bölümden oluşmaktadır: Birinci bölümde; tez konusu ile ilgili literatür taraması özetleri, İkinci bölümde; harmonik oluşumu, nedenleri, güç kalitesi tanımları ve filtreler hakkında genel bilgiler ve matematiksel ifadeleri, standartta yer alan ifadelere göre tanımlamalar, Üçüncü bölümde; spektral analiz yöntemleri hakkında kısa bilgiler, alınan verilerin analizinde kullanılacak yöntemler, veri işleme ile ilgili temel konular ve YSA hakkında kısa bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde; LabVIEW™ tabanlı gerçek zamanlı olarak tasarlanan güç kalitesi izleme ve ölçüm düzeneğinin yapısı, kullanılan donanımların özellikleri ile bağlantı şekilleri

anlatılmıştır. Beşinci bölümde; alınan verilerin sınıflandırılması, zaman düzleminde grafiksel olarak çizdirilmesi, spektral analiz yöntemleri ile incelenmesi, fiziksel süreç ile ilişkileri ve sonuçların yorumlanması yapılmış, uygun harmonik filtre seçimi için öneriler sunulmuştur. Ayrıca YSA tabanlı akıllı izleme sistemi tasarımı sonucunda alınan değerlerden çıkarımlara yer verilmiştir. Altıncı bölümde ise; sonuçlar değerlendirilerek, veri analizi yapılan benzer karakteristikteki endüstriyel tesisler ve sistemler için şebeke güç kalitesinin iyileştirmesine fayda sağlayacak çözüm önerileri sıralanmıştır. Bunların yanında, yapılan çalışmaların ışığında elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler verilmiş olup konu ile ilgili olarak bir sonraki aşamada yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmektedir.

1.3. Bilime Katkı

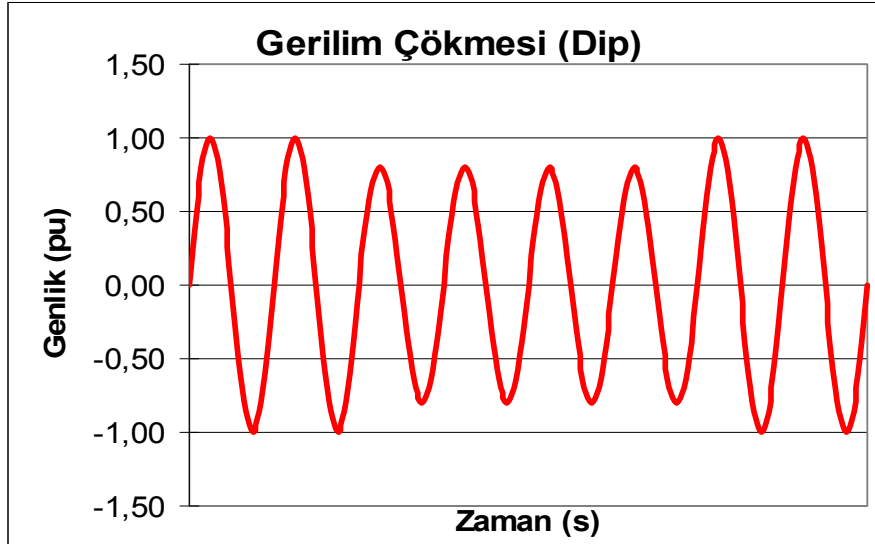
Bu tez çalışmasında amaç, seçilen uygulamaya özel bir veri toplama sistemi tasarımı oluşturulup, bu yolla elde edilen veriler üzerine Kısa-Zaman Fourier Dönüşümünü uygulamak, harmonikleri zaman-frekans ölçeğinde göstermek, sistemin durağan olmayan olaylarındaki harmonikleri de göstererek, durum geçişlerinde harmonik farklılıkları sistemin durum özelliği olarak ortaya koymaktır. Ayrıca Yapay Sinir Ağını harmoniklerin izlenmesinde, yapay bir takipçi gibi kullanarak akıllı bir izleme sistemi oluşturmaktır. Bu şekilde, bilinen yöntemlerin farklı bir kompozisyonu bu çalışmaya yeni bir yaklaşım getirmiştir.

BÖLÜM 2. GÜÇ KALİTESİ ve GÜÇ SİSTEMLERİNDE HARMONİKLER

İstenilen kalitede enerjinin sağlanması, güç sistemlerine bağlanan cihazların oluşturduğu problemler nedeni ile her zaman mümkün olamamaktadır. Cihazların oluşturması muhtemel güç kalitesi problem çeşitleri aşağıda özetlenmektedir.

2.1. Gerilim Çökmesi (Dip)

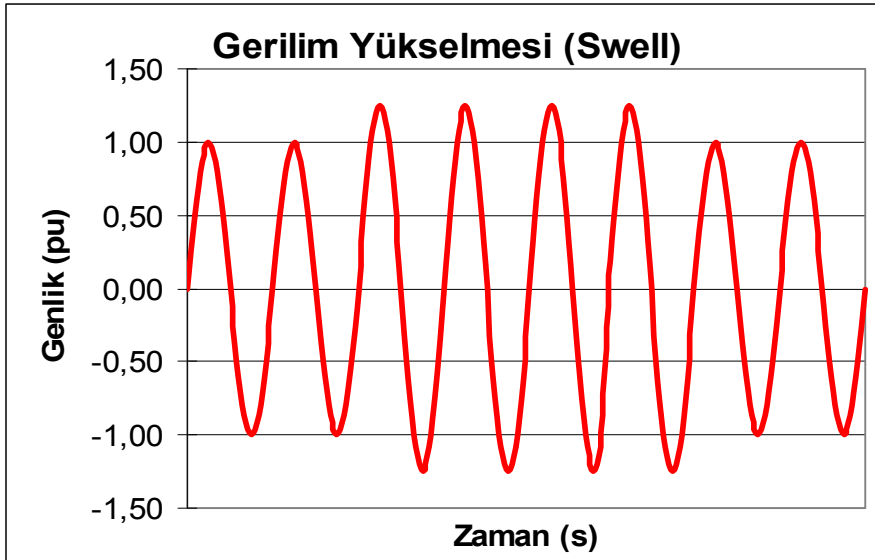
Sistem frekansındaki gerilimin etkin değerinin, yarım periyotluk süre ile 1 dakikadan daha az sürede 0,1 per unit (p.u.) ile 0,9 p.u. arası değerlerde olmasıdır. Bu durum, genellikle büyük güçlü motorların ve yüklerin devreye girmesi durumlarında görülür (Şekil 2.1) [49].



Şekil 2.1. Gerilim çökmesi

2.2. Gerilim Yükselmesi (Swell)

Sistem frekansındaki gerilimin etkin değerinin, yarım periyotluk süre ile 1 dakikadan daha az sürede 1,1 p.u. ile 1,8 p.u. arası değerlerde olmasıdır (Şekil 2.2) [49].



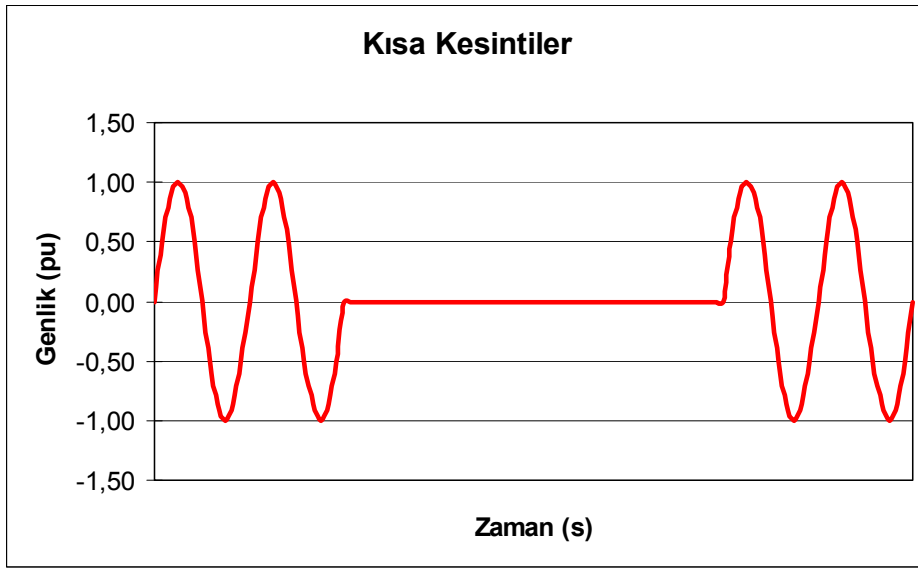
Şekil 2.2. Gerilim yükselmesi

2.3. Kısa Kesintiler (Short interruptions)

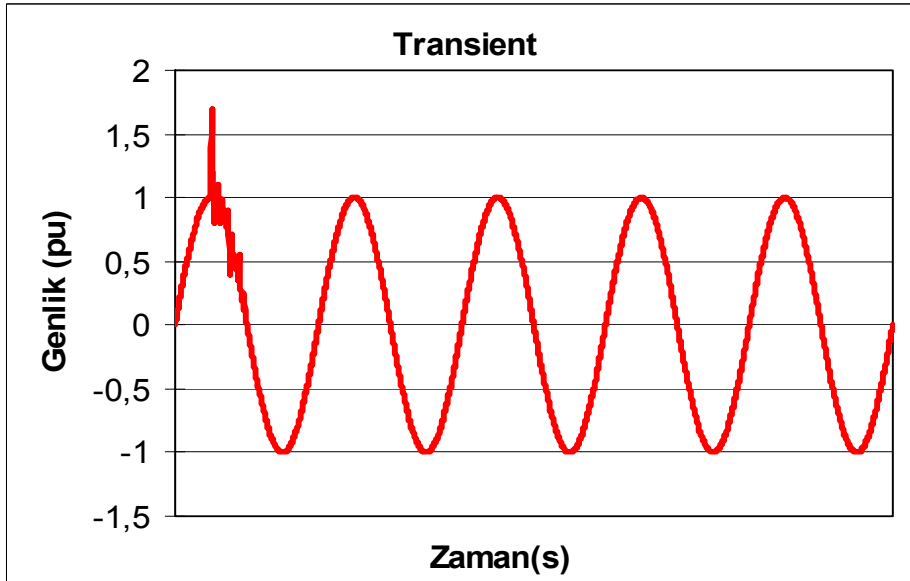
Kaynak geriliminin veya yük akımının seviyesinin, 1 dakikadan daha az sürede 0,1 p.u.'dan daha az değere düşmesidir (Şekil 2.3) [49].

2.4. Geçici Rejim (Transient)

Kaynak gerilimi veya yük akımındaki istenmeyen, anlık geçici sapmalar olarak ifade edilir. (Bkz. Şekil 2.4.) Geçici rejimler Pals ve Titreşim (osilasyon) şeklinde olmak üzere iki kısımda incelenir. Pals şeklindeki geçici rejimler, gerilim veya akımdaki güç frekansının dışındaki ve polaritedeki tek yönlü beklenmeyen ani değişimlerdir. Titreşimli geçici rejimler ise genellikle salınım şeklindeki durumlardır [49].



Şekil 2.3. Kısa süreli gerilim kesintisi

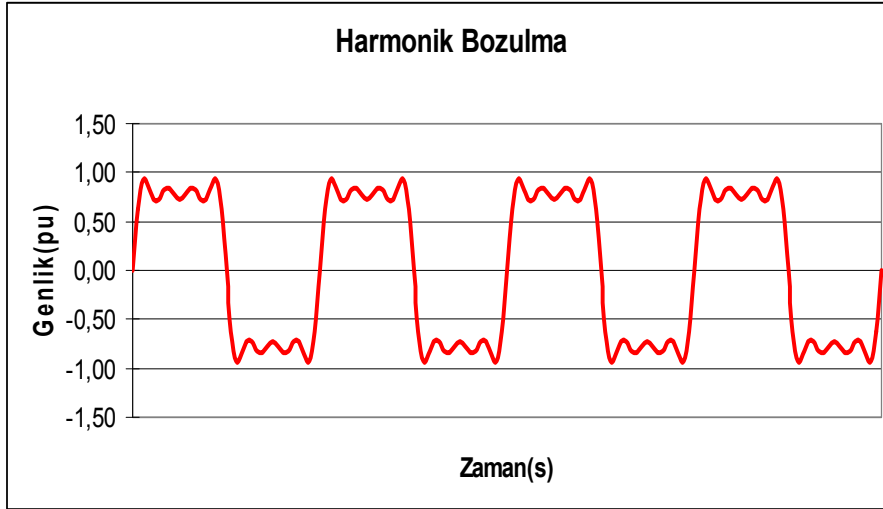


Şekil 2.4. Kısa süreli geçici rejimler

2.5. Harmonikler

Lineer olmayan yüklerin, sinüs biçiminde olmayan akımlar çekmesi nedeni ile, kaynak gerilimi veya yük akımındaki periyodik sinüs formunun bozulmasıdır. Temel frekansın tamsayı katları olarak ölçülür. Bunun için Fourier serisi analizleri kullanılır. Toplam Harmonik Bozulma (Total Harmonic Distortion-THD), bir dalga

formu içerisinde yer alan tüm harmonik bileşenlerin toplamını ifade eder (Şekil 2.5) [49].



Şekil 2.5. Harmonik bozulma

2.6. Interharmonikler (Ara Harmonikler)

Bozulmuş gerilim veya akım dalga şekillerinin tamsayı olmayan katlarındaki frekans değerlerindeki periyodik bozulmalardır [50].

2.7. Kırpışma (Flicker)

Aydınlatma elemanlarındaki (özellikle akkor flamanlı lambalarda) küçük gerilim değişmelerinin görsel etkileri olarak ifade edilir. 1 ile 30 Hz arasında, insan gözünün algılayabileceği seviyedeki dalgalanmalardır. Bu seviye UIE-IEC kırpışma ölçüm metoduna göre kısa zamanlı (short time) (P_{st} : 10 dakikalık periyotlarla ölçülen fliker şiddet endeksini) ve uzun zamanlı (long time- P_{lt}) olarak adlandırılır. Fliker şiddeti için sınır değerler Tablo 2.1’de verilmiştir. P_{lt} , iki saatlik zaman aralığı boyunca ölçülen ardışık 12 ölçüm P_{st} değerlerinden aşağıdaki denklem ile hesaplanır [51].

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} P_{st_j}^3} \quad (2.1)$$

Tablo 2.1. Fliker şiddeti için sınır değerler

Fliker Şiddeti Endeksi	Sınır Değerler
P_{st}	≤ 1.0
P_{lt}	≤ 0.8

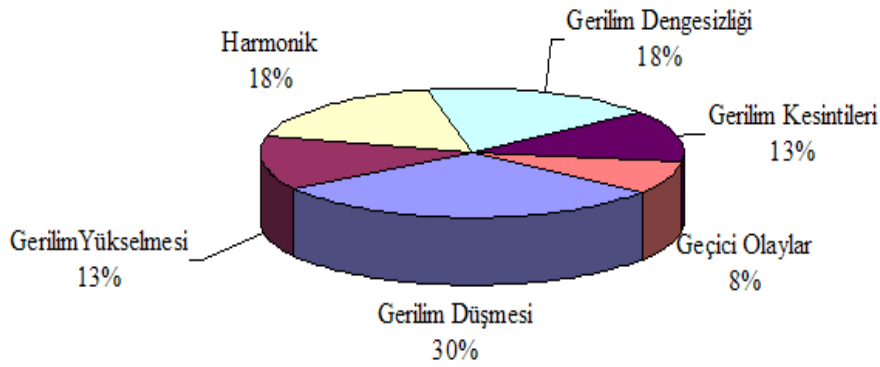
2.8. Frekans Sapması

Frekansın, temel frekans değerinin $\pm \% 0,1$ oranında altına inmesi veya üzerine çıkması olarak ifade edilir. Tablo 2.2’de frekans, gerilim, harmonik ve diğer bilgi sinyallerindeki bozulma tipleri ve değerleri verilmiştir [52].

Tablo 2.2. Bozulma tipleri

Bozulma Tipi	Bozulma Alt tipi	Zaman	Genişlik		
			Min. Değer	Max. Değer	
Frekans	Zayıf sapma	10 s	49,5 Hz	50,5 Hz	
	Keskin Sapma		47 Hz	52 Hz	
Gerilim	Nominal Gerilim	10 dak.	0,85 Un	1,1 Un	
	Kırpışma	-	-	%7	
	Çökme	Kısa	10 ms-1 s	0,1 U	0,9 U
		Uzun	1 s - 1 dak.		
		Uzun süreli bozulma	>1 dak.		
	Düşük Gerilim	Kısa	< 3 dak.	0,99 U	
		Uzun	> 3 dak.		
	Yükselme	Geçici kısa	10 ms-1 s	1,1 U	1,5 KV
		Geçici Uzun	1 s- 1 dak.		
		Geçici uzun zaman	> 1 dak.		
Aşırı Gerilim		< 10 ms	6 KV		
Harmonik ve diğer bilgi sinyalleri	Harmonikler	-	THD > %8		
	Bilgi Sinyalleri	-	Diğer bozucu etkileri içerir		

Güç kalitesi problemlerinin dağılımı, genel olarak Şekil 2.6’da görüldüğü gibi özetlenebilir. Burada en büyük pay, gerilim düşmesi nedeni ile olurken, harmonikler ve gerilim dengesizliği ikinci sırayı almaktadır [53].



Şekil 2.6. Güç kalitesi problemlerinin dağılımı

2.9. Gerilim Dengesizliği

Faz veya fazlardaki gerilimin genliğinin veya aralarındaki faz açılarının bozulması olarak ifade edilir. Gerilim dengesizliği, fazların dengesiz yüklenmelerinden ve fazlara bağlanan çeşitli bozucu etkilere sahip cihazlardan kaynaklanmaktadır [49].

2.10. Güç Kalitesi Problemlerinin Kaynakları

Güç elektroniği elemanları, güç kalitesini bir taraftan bozarken aynı zamanda da bozuk güç kalitesinden etkilenirler. Bu nedenle motor hız kontrol cihazları, güç kalitesi problemlerinden çokça zarar gören devreler olup aynı zamanda yüksek oranda gerilim çökmesi bozulmalarına ve endüstriyel sistemlerde iş hızındaki değişimler nedeni ile mekanik senkronlama sorunlarına sebep olabilirler. Bunu önlemek için, cihazların tasarım ve satış aşamaları sırasında içerisine çeşitli filtrelerin yerleştirilmesi gerekmektedir.

Tüm bilgisayarlar enerjilerini SMPS (Switched-mode power supply) güç kaynaklarından almaktadırlar. Geniş kullanım alanına sahip bu güç kaynakları, alternatif akımı doğrulturken, transformatör yerine elektronik yarıiletken anahtarlama elemanları kullandıkları için 3., 5. ve 7. harmonikler gerilim bozulmalara sebep olmaktadır [54].

Elektrik ark fırınları, ark kaynak makineleri ve elektrik deşarjlı lambalar; doğrusal olmayan yükler olup, akım dalga şeklini bozmaktadırlar. Birkaç amperden yüzlerce amper değerlerine kadar ani akım değişiklikleri, bozucu etkilere sebep olmaktadır. Tüm ark esaslı çalışan cihazlar, harmonik bozulma kaynağıdır. Ark fırınları, fazlar arası gerilim dengesini de bozmakta, geçici rejim oluşturmaktadırlar [11].

Büyük güçlü yüklerin anahtarlanması, şebekede geçici rejimlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Milisaniyeler mertebesinde olan bu geçici rejimler, hassas elektronik cihazlar üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Büyük güçlü motorlarda ilk çalışma (yol alma) sırasında anma akımlarının birkaç katına kadar akım çekilmesi, şebekede gerilim çökmelerine sebep olmaktadır. Bu durumu önlemek için birçok motor, günümüzde motor sürücü devreleri ile yol almakta ve başlangıçta çekilen akım kabul edilebilir seviyelerde kalmaktadır [49].

Gün geçtikçe sayıları artan jeneratörler de güç kalitesi problemlerine sebep olmaktadır. Elektrik enerjisine olan ihtiyacın artması ve elektrik enerjisinin kullanımının kolay olması, faydalarının zararlarından fazla olması nedeni ile de bu cihazlar zorunlu olarak kullanılmaktadırlar. Hava aralıklarındaki manyetik akının şekli, bağlantı şekilleri, güç kalitesini etkilemektedir. Aynı baraya bağlanan çeşitli jeneratörlerin (Rüzgar, doğalgaz vs) çalışma koşullarına göre oluşturdukları olumsuzluklar, tüm sistemi etkileyebilmektedir. Bunun yanında şimşek çakmaları, bölgeye çok yakın hatlarda, yüksek gerilim geçici rejimlerinin oluşmasına, yüksek gerilim hatlarına düşen yıldırımlar ise gerilimin ani yükselmesine sebep olmaktadır [54].

Yukarıda bahsi geçen güç kalitesi problemlerinin kaynakları, bunların etkileri ve görülme sıklıkları Tablo 2.3'de özet olarak verilmektedir [55].

Tablo 2.3. Çeşitli cihazların oluşturduğu bozucu etkiler ve görülme sıklığı

BOZULMALAR	Gerilim Çökmeleri	Aşırı Gerilimler	Harmonikler	Dengesizlikler	Gerilim Dalgalanmaları
Karakteristik Dalga Şekilleri					
Bozulma Kaynağı					
■ Güç Sistemi					
<input type="checkbox"/> İzolasyon hataları, nötr iletkeninin kopması					
<input type="checkbox"/> Anahtarlama, ferrezonans					
<input type="checkbox"/> Yıldırım olayları					
■ Donanım, teçhizat					
<input type="checkbox"/> Asenkron motor					
<input type="checkbox"/> Senkron motor					
<input type="checkbox"/> Kaynak makinesi					
<input type="checkbox"/> Ark fırını					
<input type="checkbox"/> Konverter					
<input type="checkbox"/> Bilgi işlem yükleri					
<input type="checkbox"/> Aydınlatma sistemi					
<input type="checkbox"/> İnvörtör					
<input type="checkbox"/> Kondansatör grupları					
 : Ara sıra karşılaşılan olaylar : Sıklıkla karşılaşılan olaylar					

2.11. Güç Kalitesi Problemlerinin Etkileri

Güç kalitesi; endüstriyel sistemlerde büyük zararlara sebep olmaktadır. Makinelerde ani bozulmalar, zaman kayıpları ve ürün kalitesindeki olumsuzluklar, üretim maliyetlerini artırmaktadır [49].

Güç kalitesindeki bozulmalar, hassas cihazlar üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadırlar. Bunlar:

- Anlık cihaz bozulmaları,
- Cihaz ömrünün kısılması,

- Cihaz verilerinde bozulmalar,
- İşlem kalitesindeki bozulmalar,
- İşlemlerin beklenmedik anlarda durması,
- Kullanıcıların ekonomik zararlarıdır.

Güç kalitesindeki bozulmaların etkileri Tablo 2.4’de görülmektedir [49]

Tablo 2.4. Güç kalitesi, nicelik ve etkileri

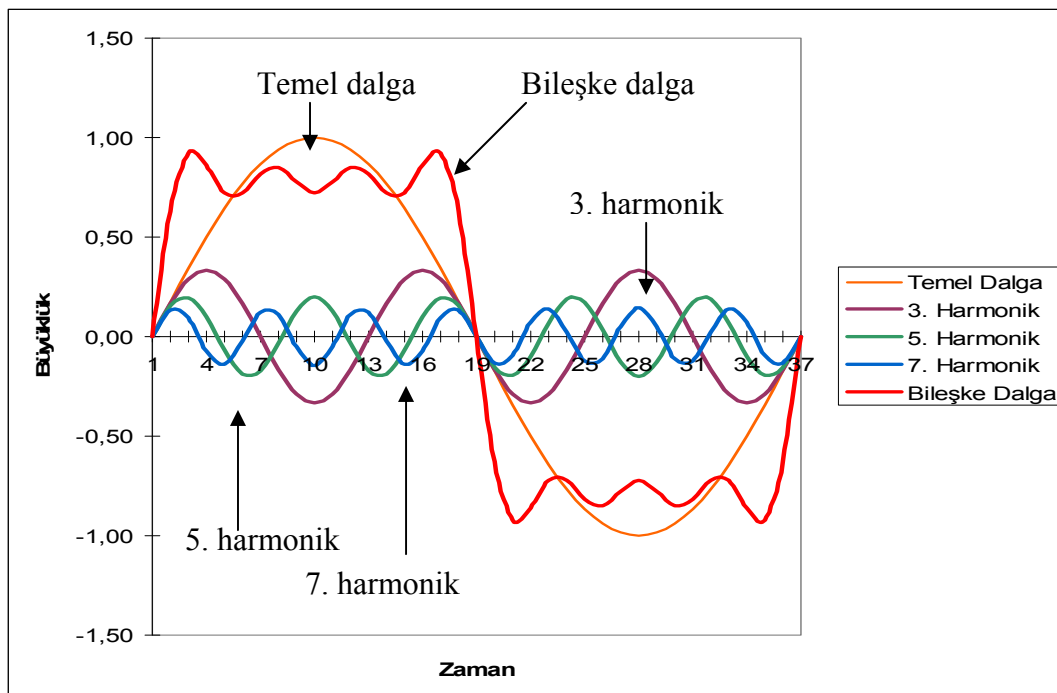
<i>Özellik</i>	<i>Etkiler</i>
Gerilim çökmesi	Makine ve işlemlerin bozulması, ürün kalitesi ve müşterilerin buna benzer sebeplerden kaynaklanan tamirat masrafları.
Geçici rejimler	Cihaz hataları, donanımların yeniden yüklenmesi gereği, yazılım problemleri, ürün kalitesindeki düşme.
Harmonikler	Transformatör ve nötr iletkenlerindeki ısınmalar sonucu kullanma ömürlerinin azalması, Seslerdeki bozulma, video görüntülerindeki titreşimler, yazılım performanslarının düşmesi, güç kaynağı arızaları.
Kırpışma	Görsel bozulmalar

2.12. Harmonikler

Günümüzde, yarı iletken sistemlerin ve güç elektroniğinin gelişmesine paralel olarak üretilen motor sürücüleri, frekans dönüştürücüleri ve doğrultucular gibi elektronik cihazlarla hemen hemen bütün endüstriyel uygulamalarda karşılaşmak mümkündür. Elektrik enerjisini oldukça verimli bir şekilde kullanan bu cihazlar, şebekeden doğrusal olmayan akım çekerler. Bunun sonucunda oluşan farklı frekanslardaki büyüklükler, sistem geriliminde ve akımında bir takım bozuklukların doğmasına sebep olur ve tüketicinin kullandığı elektrik enerjisinin dalga şekli, sinüs biçiminden uzaklaşır. Buna “harmonik bozulma” denir. Harmonikler, günümüzde elektriksel hatalar söz konusu olduğunda en çok kullanılan ve enerji kalitesini bozan en büyük etkenlerden birisidir. Doğrusal olmayan yüklerin oluşturduğu harmonik bileşenleri, sistemde harmonik gerilimlerin oluşmasına neden olur. Böylece, kendileri harmonik üretmeyen elemanlar (diğer tüketiciler) harmonik kirlenmeye maruz kalabilirler [54].

Elektrik enerjisinin faydalı frekansı (50 Hz) dışında kalan bütün frekanslara, “elektriksel harmonik” denmektedir. Harmonikler, genel olarak devredeki elemanın özelliğine ve kaynağın durumuna göre ortaya çıkarlar. Devrede doğrusal olmayan elemanların veya kaynakların birisinin veya her ikisinin bulunması durumunda enerji sistemindeki sinüsoidal dalga biçimi bozulabilir ve bozuk dalgalar, “doğrusal olmayan dalga” olarak adlandırılır.

Doğrusal olmayan dalga biçimleri, periyodik olmakla birlikte sinüsoidal dalga ile frekans ve genliği farklı diğer sinüsoidal dalgaların toplamından oluşmaktadır. Temel dalga dışındaki sinüsoidal dalgalara “harmonik bileşen” adı verilir. Güç sistemindeki sinüsoidal dalganın simetrisinden dolayı 3., 5., 7.,11,.... gibi tek harmonik bileşenleri bulunur. Çift harmonikli bileşenler bulunmaz. Şekil 2.7’de bir periyottaki temel bileşen ve harmonik bileşenler görülmektedir [5].



Şekil 2.7. Bir periyottaki temel bileşen ve harmonik bileşenler

Harmoniklerin basamakları yükseldikçe genliklerinin küçülmesine karşılık frekansları büyür. Çok büyük frekanslı harmoniklerin genlikleri çok küçük olacağından, temel dalgaya olan etkileri dikkate alınmayabilir. 3. harmoniğin

frekansı, temel dalga frekansının (50 Hz'nin) 3 katı (150 Hz), 5. harmoniğin frekansı ise temel dalga frekansının 5 katıdır (250 Hz) [56].

2.13. Harmonik Üreten Kaynaklar

Harmonikler genel olarak, doğrusal olmayan elemanlar ile sinüsoidal olmayan kaynaklardan herhangi biri veya ikisinin aynı anda sistemde bulunmasından meydana gelirler. Harmonikli akım ve gerilimin güç sistemlerinde bulunması, sinüsoidal dalganın bozulması anlamına gelir. Bozulan dalgalar, "sinüsoidal olmayan dalga" olarak adlandırılır. Fourier analizi yardımıyla temel frekans ve diğer frekanslardaki bileşenler cinsinde ifade edilebilir. Bu analiz ile sinüsoidal olmayan dalgalar, frekansları farklı sinüsoidal dalgaların toplamı şeklinde matematiksel olarak yazılabilir. Bu sayede harmoniklerin analizi kolaylıkla yapılabilir. Harmonikler güç sistemlerinde; ek kayıplar, ek gerilim düşümleri, rezonans olayları, güç faktörünün değişmesi v.b. gibi teknik ve ekonomik problemlere yol açar.

Yarı iletken malzemeler modern güç elektroniği cihazlarının temelini oluşturmaktadır. Bunlar, açık-kapalı anahtarların matrissel bir formundaki güç elektroniği konvertörlerinde kullanılır ve enerji dönüşümüne yardım ederler. Anahtarlama modlu enerji dönüşümü yüksek bir verimlilik sağlarken aynı zamanda anahtarların nonlinear bir özelliğe sahip olmalarından dolayı yük ve kaynak tarafında harmonik üretmeleri onların bir dezavantajıdır. Güç anahtarlama elemanlı cihazlar tarafından üretilen harmonikler, şehir elektrik şebekesine doğru akarlar ve ciddi enerji kalite problemlerine sebep olurlar. Güç anahtarlarının çoğu farklı çalışma karakteristiklerine sahiptir. Bu yüzden farklı mertebe ve farklı genlikli harmonikler üretirler [29].

Son yıllarda yapılan araştırmaların sonucuna göre; harmonik kaynakları, günümüzde mevcut olan klasik harmonik kaynakları ile gelecekte oluşabilecek yeni harmonik kaynakları olarak iki grupta incelenebilir.

Klasik harmonik kaynakları:

- Çıkık kutuplu senkron makinelerde hava aralığındaki relüktans değişiminin oluşturduğu harmonikler,

- Doyma bölgesinde çalışan transformatörlerin mıknatıslanma akımları,
- Elektrik makinelerindeki diş ve olukların meydana getirdiği harmonikler,
- Senkron makinelerde ani yük değişimlerinin manyetik akı dalga şekillerindeki bozulmalar ve hava aralığı döner alanının harmonikleri,
- Şebekedeki doğrusal olmayan yükler.

Yeni harmonik kaynakları:

- Direkt frekans çevirici ile beslenen momentini büyük, hızı küçük motorlar,
- Doğru akım ile enerji nakli,
- Elektrikli taşıtların yaygınlaşması ve akü şarj devrelerinin etkileri,
- Enerji tasarrufu amacıyla kullanılan cihazlar,
- Kesintisiz güç kaynakları,
- Motor hız kontrol düzenleri,
- Statik VAR jeneratörleri.

Harmonik üretilmesine neden olan en önemli elemanları ise şöyle sıralayabiliriz [45]:

- Ark fırınları,
- Bilgisayarlar,
- Doğru akım ile enerji nakli,
- Dönen elektrikli makineler,
- Elektronik balastlar,
- Fotovoltaik sistemler,
- Gaz deşarjlı aydınlatma,
- Güç elektroniği elemanları,
- Kesintisiz güç kaynakları,
- Statik VAR jeneratörleri,
- Transformatörler.

Çelik ve metal endüstrisinde ark fırınları yaygın olarak kullanılmaktadır. Eritilecek metaller ile elektrotlar arasındaki düşük gerilim ve yüksek akım sonucu arkın meydana getirdiği ısı ile malzemeler eritilir. Elektrotların metallere yaklaşım uzaklaşması sonucu oluşan dalgalanmalardan harmonikler oluşmaktadır [11].

Bilgisayarlar içerisinde bulunan güç kaynakları SMPS özellikli kaynaklar oldukları için harmonik oluşumuna neden olmaktadır.

Üretilen alternatif akım önce doğru akıma çevrilmekte, bu şekilde iletdikten sonra kullanma yerinde tekrar alternatif akıma dönüştürülmektedir. Bu işlemler sırasında yarıiletken tabanlı elemanlar kullanılmaktadır. Bu elemanlar harmonik oluşturmaktadırlar.

Senkron ve asenkron makinelerin hava aralıklarındaki değişken manyetik akılar da harmonik kaynaklarındandır. Senkron motorlarda daha çok düz kutup, jeneratörlerde ise yuvarlak kutuplar tercih edilir. Asenkron makinelerde de yine hava aralığındaki dalga şeklinin manyetik doyumlar ve kaçak akılar nedeni ile sinüs şeklinde olmaması nedeni ile harmonikler oluşmaktadır [45].

Gün geçtikçe yaygınlaşmaya başlayan elektronik balastlar da içlerinde bulundukları yarıiletken malzemeler nedeni ile harmonik üreteçleri olarak sayılmaktadırlar. Özellikle filtre kullanılmadan üretilen ve yüksek frekanslı çalışma şartlarında oluşan harmonikler, sistemi olumsuz etkilemektedir. Oldukça yaygın olarak kullanılan kompakt flüoresan ampuller, içlerindeki elektronik balastlar nedeni ile aynı zamanda birer harmonik üreteçleridirler.

Güneş ışığının etkisi ile elektrik üreten güneş panelleri vb. cihazlarda üretilen DC gerilim, eviriciler aracılığı ile AC gerilime çevrildiği için, bu tür sistemler de genel anlamda harmonik üreticilerdir.

Gaz deşarjlı aydınlatma cihazları, lineer olmayan karakteristikli cihazlardır. Bu tür aydınlatma sistemlerinde, armatürlerin ilk çalışmaları sırasında oluşan ateşleme anında harmonikler oluşmaktadır.

Güç elektroniği elemanlarının kullanımı, verimlerinin yüksek olması, istenilen şekilde kontrol edilebilmeleri nedeni ile oldukça yaygınlaşmıştır. Bu elemanların gerilimi doğrultma, kontrol etme, frekans değiştirme sistemlerinde kullanımının yaygınlaşması, harmonik kaynakların da yaygınlaşmasını sağlamıştır.

Kesintisiz güç kaynakları da yine içlerinde çeşitli güç elektroniği elemanları barındırmaları nedeni ile harmonik kaynaklarıdır. Şehir şebekesinin önce DC gerilime çevrilmesi, akü gruplarının doldurulması, ayrıca buradan alınan gerilimin de tekrar AC gerilime çevrilmesi sonucunda sistemde harmonikler oluşmaktadır.

Hızlı reaktif güç değişimine sahip cihazların olduğu tesislerdeki kompanzasyon sistemleri için kullanılan statik VAr jeneratörleri, içlerinde buldukları yarıiletken güç elektroniği elemanları nedeni ile harmonik oluşumuna sebep olmaktadır.

Manyetik nüveye sahip bobinler, enerjilendiğinde harmonik oluşumuna sebep olurlar. Bunun nedeni, manyetik nüvenin mıknatıslanma karakteristiğinin bir sonucu olarak doyuma ulaşmasıdır. Transformatörlerin bu etkileri, bağlantı şekli ve gruplarına göre giderilebilir veya en az seviyelere indirilebilir.

2.14. Harmoniklerin Etkileri

Enerji sistemlerindeki harmonikler, gerilim ve akım dalga şekillerini bozabilirler ve sonuçta çok çeşitli problemlere yol açabilirler. Bunlar;

- Elektrik aygıtlarının ömrünün azalması,
- Endüksiyon tipi sayaçlarda yanlış ölçmeler,
- Enerji sistemindeki elemanlarda ve yüklerde kayıpların artması,
- Jeneratör ve şebeke geriliminin bozulması,
- Gerilim düşümünün artması,
- İzolasyon malzemesinin delinmesi,
- Kompanzasyon tesislerinin aşırı reaktif yüklenme ve dielektrik zorlanma nedeniyle zarar görmesi,
- Koruma ve kontrol düzenlerinde sinyal hataları,
- Mikroişlemciler üzerinde hatalı çalışma,
- Senkron ve asenkron motorlarda, moment salınımlarının ve aşırı ısınmanın meydana gelmesi,
- Sesli ve görüntülü iletişim araçlarında parazit ve anormal çalışma,

- Şebekede rezonans olayları, rezonansın neden olduğu aşırı gerilimler ve akımlar,
- Uzaktan kumanda, yük kontrolü v.b. yerlerde çalışma bozuklukları.

Bu etkiler içinde teknik ve ekonomik yönden en olumsuz sonuçlara yol açanları; kayıplardaki artış ve sistem ölçü cihazlarındaki hata paylarının artması şeklinde özetlemek mümkündür. Bunlardan birincisi, omik direnç içeren tüm tesis elemanları üzerinde ek harmonik kayıplara yol açmaktadır. İkincisi ise, ölçü ve kayıt cihazlarındaki istenmeyen hata miktarlarının oluşması, bir başka deyişle kayıt/ölçüm hatalarının artmasıdır [45].

12 Kasım 2008 tarihinde Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından yayınlanan yönetmelik çerçevesinde, akım harmonikleri için maksimum yük akımına göre sınır değerler Tablo 2.5’de görülmektedir [51].

Bu tabloda I_{SC} , sistemin kısa devre (Short-circuit) akımını, I_L , yüke ait (15 veya 30 dakikalık ortalamalarla) maksimum akımı, TTB ise toplam talep bozulmasının değerini göstermektedir. TTB değerinin THD’den farkı, denklem 2.4’de ifade edildiği gibi, temel bileşen akımının yerine I_L akımının kullanılmış olmasıdır.

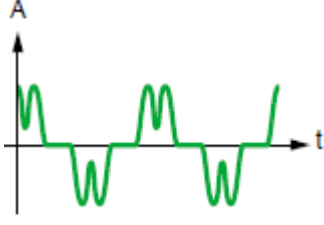
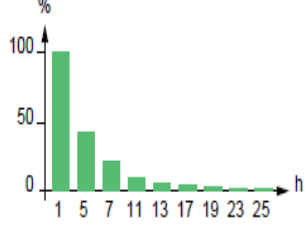
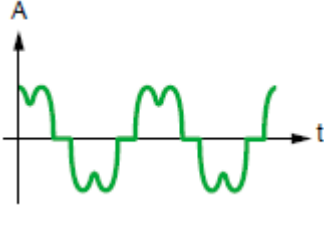
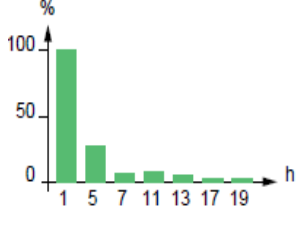

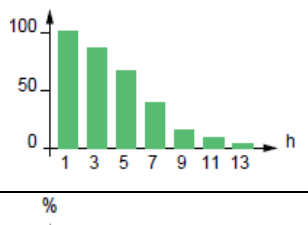
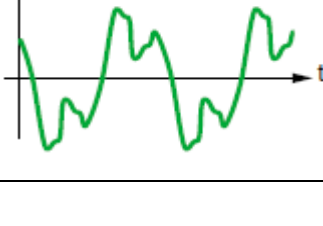
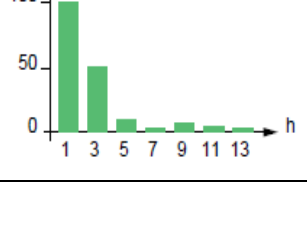
Tablo 2.5. Akım harmonikleri için maksimum yük akımına (I_L) göre sınır değerler

Tek Harmonikler						
I_{SC}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TTB(%)
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

* Çift harmonikler, kendinden sonraki tek harmonik için tanımlanan değerlerin %25’i ile sınırlandırılmıştır.

Harmonik üreten yüklerin bazıları ile akım dalga şekilleri ve harmonik spektrumları Tablo 2.6'da görülmektedir [55].

Tablo 2.6. Bazı harmonik üreteçlerin karakteristikleri

Lineer olmayan yükler	Akım dalga şekli	Spektrum	THB
Hız sürücü devreler			%44
Doğrultucular/Şarj Cihazları			%28
Bilgi İşlem Yükleri			%115
Fluoresant Lambalar			%53

Tablo 2.7'de ise yine 12 Kasım 2008 tarihinde Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından yayınlanan yönetmelik ile izin verilen gerilim harmonikleri için sınır değerler belirtilmektedir [51].

Tablo 2.7. Gerilim harmonikleri için sınır değerler

Tek Harmonikler				Çift Harmonikler	
3'ün Katları Olmayanlar		3'ün Katları Olanlar			
Harmonik Sırası h	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası h	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası h	Sınır Değer (%)
5	% 6	3	% 5	2	% 2
7	% 5	9	% 1,5	4	% 1
11	% 3,5	15	% 0,5	6.....24	% 0,5
13	% 3	21	% 0,5		
17	% 2				
19	% 1,5				
23	% 1,5				
25	% 1,5				

2.15. Harmoniklerle İlgili Tanımlar

Bu kısımda harmoniklere ilişkin temel tanımlamalar verilmiştir.

2.15.1. Toplam harmonik bozulma

Toplam harmonik bozulma, akım veya gerilim için harmonikli efektif değerlerin, esas bileşenin efektif değerine oranı olarak ifade edilir. Harmonikli bileşenlerin, temel bileşene bakarak seviyelerinin belirlenmesinde dikkate alınan en önemli ölçüdür.

Gerilim için bu değer,

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (2.2)$$

Akım için ise,

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.3)$$

eşitliklerinden faydalanılarak bulunur [54].

Akım ve gerilim için toplam harmonik bozulma; harmonikli bileşenlerin efektif değerinin, temel bileşenin efektif değerine yüzde (%) olarak oranı şeklinde de ifade edilebilir.

2.15.2. Toplam talep bozulması

Toplam talep bozulması, yük ile ilgili bir değer olup, toplam harmonik akım bozulması olarak tanımlanır ve bu değer aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$TTB = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_L} \quad (2.4)$$

Burada I_L ; yıl boyunca talep edilen maksimum akımların ortalamasını, I_n ise, harmonik akımını gösterir.

2.15.3. Tepe faktörü

Bu faktör, doğrusal olmayan akım veya gerilimin maksimum değeri ile temel bileşenin etkin değerine oranı olarak tanımlanır ve sinüsoidal olmayan dalgalar için bu değer şu şekildedir.

$$TF = \text{Harmonikli dalganın tepe değeri} / \text{Temel bileşen etkin değeri} \quad (2.5)$$

2.15.4. K faktörü

Gücü genellikle 500 kVA'nın altındaki doğrusal olmayan yüklerle yüklenen trafolarında yüklenme kapasitesinin ölçüsüdür. Aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$K = \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 (p.u.) n^2 \quad (2.6)$$

Burada;

I_n : n. harmonik bileşen akımıdır.

2.15.5. Harmonik faktörü(HF)

Herhangi bir harmonik bileşenin temel bileşen içerisindeki seviyesini belirlemek için kullanılır.

Gerilim için,

$$HF_n = \frac{V_n}{V_1} \quad (2.7)$$

Akım için,

$$HF_n = \frac{I_n}{I_1} \quad (2.8)$$

şeklinde gösterilir.

Buralarda V_n ve I_n ; n. harmonik etkin değerlerini, V_1 ve I_1 ise temel bileşen etkin değerlerini gösterir.

2.15.6. Şekil faktörü (K_f)

Bu değer düzgün doğrusal olmayan bir dalga için aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$K_f = \text{Etkin Değer} / \text{Ortalama Değer} \quad (2.9)$$

2.15.7. Harmonik derecesi (n)

Harmonik frekansının, temel frekansa oranı olarak ifade edilir [57].

$$n = \frac{f_n}{f_1} \quad (2.10)$$

2.15.8. Harmonik frekansı (f_n)

Temel frekansın tam sayı katı olan frekans değeridir [3,57].

$$f_n = n * f_1 \quad (2.11)$$

2.15.9. Harmonik bileşenin RMS değeri

Harmonik bileşenin RMS değeri, sinüsoidal olmayan bir dalga biçiminin analiz edilmesinde, harmonik bir frekansa sahip bileşenlerden birinin RMS değeridir. Böyle bir bileşen, basitçe ‘harmonik’ olarak adlandırılabilir [57].

2.15.10. Harmonik grubun RMS değeri

Harmonik grubun RMS değeri, zaman penceresinde bir harmoniğin ve bu harmoniğin yanındaki spektral bileşenlerin RMS değerleridir [57].

2.16. Harmoniklerin Filtrelenmesi

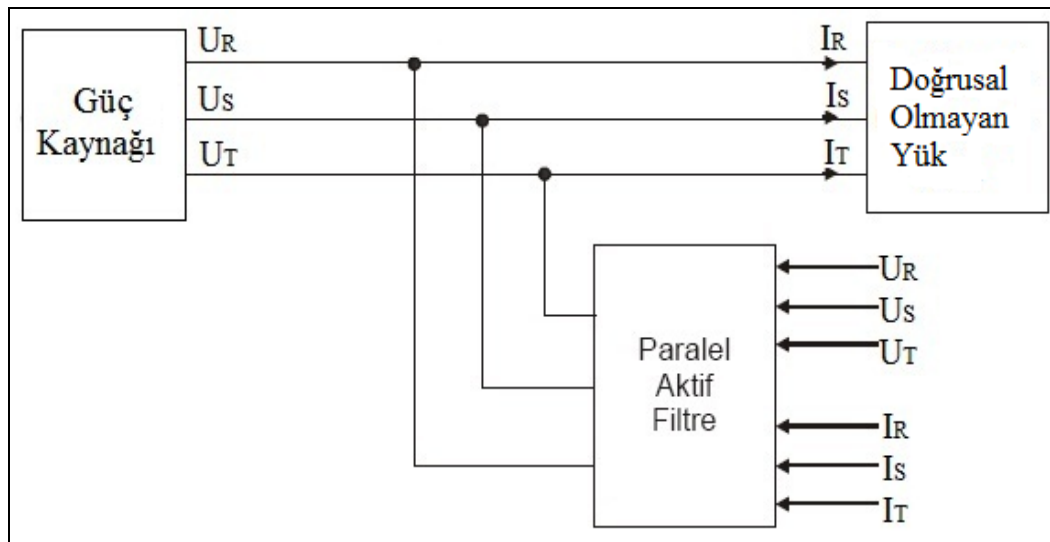
Güç sistemlerindeki harmonikler; harmonik üreten cihazların, harmonik üretmeyecek şekilde tasarım ve üretiminin yapılması veya özel filtreleme devreleri kullanılarak engellenebilir. Bu özel devreler, “harmonik filtre” olarak adlandırılır. Harmonik akımlarını düzeltmek; gerilimin sinüsel dalga şeklindeki bozulmaların düzelmesi, güç faktöründe iyileşme, enerji verimliliği, trafo ve kablolardaki gerilim düşümü ve ısı kayıplarda azalma, kompanzasyon ve sisteme bağlı diğer yüklerde arızaların azalması gibi kazançlar sağlamaktadır. Harmonik filtreler, istenen frekanstaki akım ve gerilim değerlerinin, güç sistemi üzerindeki olumsuz etkilerini yok etmekte veya azaltmaktadır. Aktif ve Pasif harmonik filtreler olmak üzere iki çeşittir.

2.16.1. Aktif harmonik filtreler

Aktif harmonik filtre, sistemdeki akımı ölçüp, sistemde bulunan harmoniklerin tam ters işaretlisini kendi tetikleme devresi ile üreterek sisteme veren ileri teknolojiye

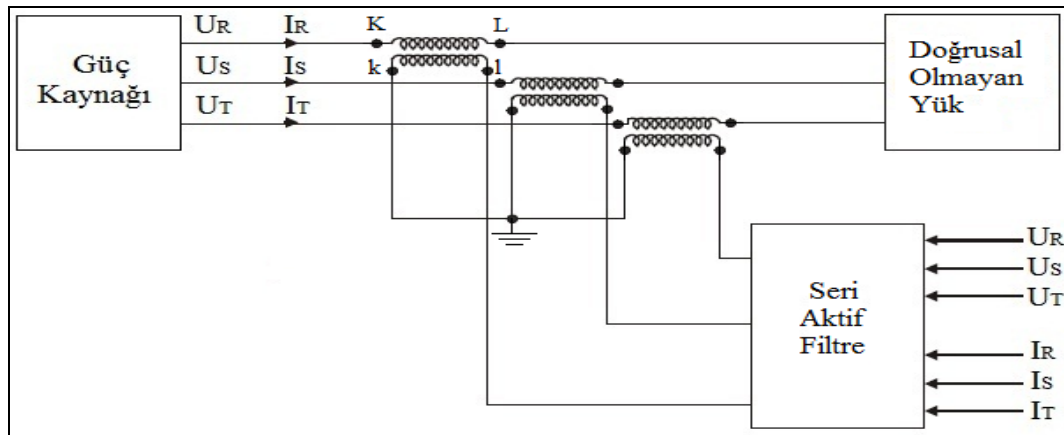
sahip üründür. Aktif filtreler, Dijital sinyal işleme (Digital Signal Processing-DSP) sistemini kullanır. Aktif filtreler, giriş akımı ve yük tarafında oluşan çıkış akımını parametre olarak alıp, oluşan harmonikleri yok edecek şekilde filtreleme akımı oluştururlar. Aktif filtreler, doğrusal olmayan yükün ürettiği akım harmoniklerini azaltabilmekte, reaktif güç çekebilme veya üretebilmektedir [58].

Paralel aktif harmonik filtreler, uygulama açısından en kolay sistemlerdir ve sisteme paralel bağlanırlar (Şekil 2.8) [42]. Paralel aktif filtre, akım kaynağı gibi davranan doğrusal olmayan yükler için etkilidir. Paralel aktif filtre, akım ile ilgili kompanzasyonları (reaktif güç kompanzasyonu, akım dengesizlikleri) yapar. Paralel aktif Filtreler, aşırı yük riski taşımaz ve kapasitesi kadar harmonikleri bastırır [59].



Şekil 2.8. Paralel aktif filtrenin devreye bağlanması

Seri aktif filtreler ise, sisteme bir akım transformatörü üzerinden bağlanır (Şekil 2.9) [47]. Seri aktif filtre ile gerilim harmonikleri filtrelenir. Harmonikli gerilim kaynağı gibi davranan kaynaklar için etkilidir. Seri aktif filtre ile gerilime bağlı kompanzasyonlar (gerilim dengesizlikleri, dalgalanmaları ve regülasyonu) gerçekleştirilir [45].

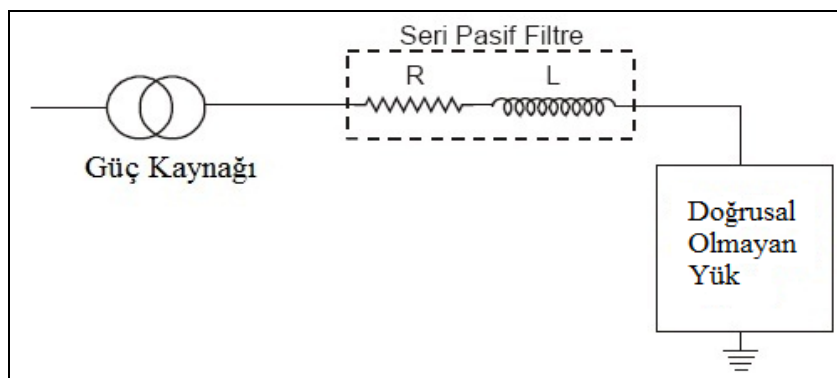


Şekil 2.9. Seri Aktif filtrenin devreye bağlanması

2.16.2. Pasif harmonik filtreler

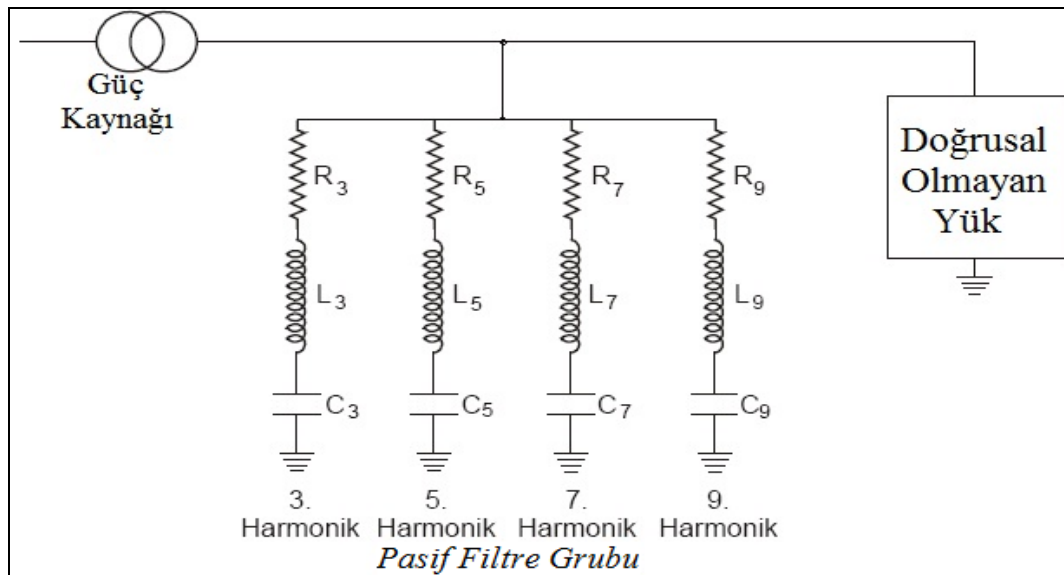
Pasif filtreler; sistemde, kaynak ile alıcı arasına yerleştirilen ve istenen frekanstaki bileşenleri yok etmek için bobin, kondansatör ve bazı durumlarda direnç kullanılarak oluşturulan devrelerdir. Pasif filtrelerde amaç, yok edilmek istenen harmonik bileşen frekansında rezonansa gelecek bobin ve kondansatör değerlerini belirlemektir. Her bir harmonik için onu rezonansa getirecek ayrı bir filtre uygulanması gerekmektedir [41].

Seri pasif filtreler, kaynak ile alıcı arasına seri bağlanırlar (Şekil 2.10). Temel frekans dışındaki diğer frekans değerlerinin geçişine engel olurlar. Bu tür filtrelerde göz önünde tutulması gereken en önemli nokta, filtrede kullanılacak iletken kesitinin, yükün çekeceği akım değerine uygun olmasıdır [59].



Şekil 2.10. Seri pasif filtrenin devreye bağlanması

Paralel pasif filtreler, alıcının enerji aldığı baraya paralel bağlanır (Şekil 2.11). Filtrelenmek istenen harmonik frekansına yakın değerde rezonansa gelecek bobin ve kondansatörler seri bağlanarak, devre oluşturulur [47].



Şekil 2.11. Paralel pasif filtrenin devreye bağlanması

Endüstri tesislerinde reaktif güç kompanzasyonu amaçlı kullanılan güç kondansatörlerine, uygun değerde endüktanslar seri bağlanırsa, kompanzasyon görevi yanında harmonik filtreleme de yapabilir (Şekil 2.12) [1]. Bu devre gerçekleştirildiğinde harmonik akımları filtrelenmiş olur [60].

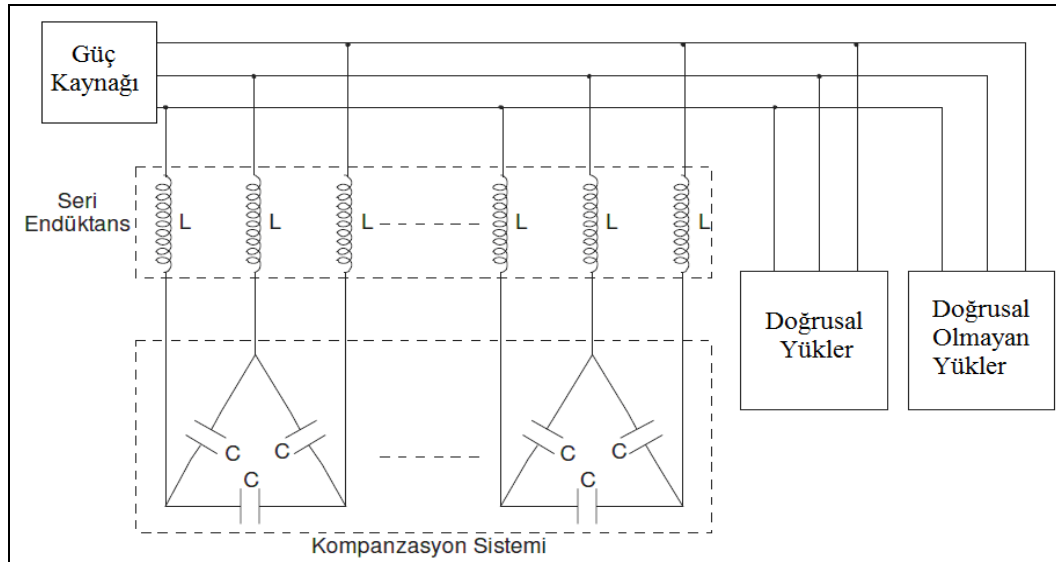
Rezonans risklerinden kaçınmak için genellikle, rezonans frekansı;

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} \quad (2.12)$$

değerinin % 20 kadar ötelinde endüktans seçilir. Pasif filtreler için en yaygın kullanılan frekans değerleri, 3. harmonik için 189 Hz, 5. harmonik için ise 210 Hz'dir. Kapasitöre seri bağlanacak reaktörün reaktansı X_L , kapasitörün reaktansı X_C olmak üzere reaktör değeri p, % olarak,

$$\%p = \frac{X_L}{X_C} \quad (2.13)$$

% 7 ve % 5,67'ye denk gelmektedir. Bu yöntem, ekonomik olması nedeni ile tercih edilmektedir [60].



Şekil 2.12. Kompanzasyon sistemine seri endüktans bağlantısı

Böyle bir sistemde filtreyi istenen harmoniğe uyarlamak için, öncelikle yükün güç katsayısını düzeltmekte gerekli olan kondansatör büyüklüğü seçilir.

$$Q_C = P.(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (2.14)$$

Burada:

Q_C : İstenilen güç faktörü değerine ulaşabilmesi için sisteme bağlanması gereken kondansatör gücü (kVAr),

P : Toplam aktif güç (kW),

$\tan \varphi_1$: Kompanzasyon yapılmadan önceki güç açısı,

$\tan \varphi_2$: Kompanzasyon uygulandıktan sonraki elde edilmek istenen güç açısı.

Kondansatörün reaktansı;

$$X_C = \frac{U^2}{Q_c} \quad (2.15)$$

ve kapasitesi;

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} \quad (2.16)$$

denklemini yardımı ile bulunur. Rezonans frekansında $X_C = X_L$ olduğuna göre bobinin endüktansı;

$$X_L = 2\pi fL \quad (2.17)$$

ve reaktör rezistansı; reaktörün gücü ile kondansatör akımından faydalanarak hesaplanır. Tablo 2.8'de kompanzasyon sistemi için endüktans seçim tablosu verilmektedir [60].

Tablo 2.8. Kompanzasyon sistemi için endüktans seçim tablosu

Kondansatör Gücü (kVAr) 50 Hz			Kondansatör Kapasitesi (μ F)	Bobin Endüktansı L_n (mH)		Anma Akımı (A)	Kayıp (W)
400V	440V	525V		P=%5,67 210 Hz	P=%7 189 Hz		
4,7	5,7	8,1	3x32	6,12	--	7,65	50
4,7	5,6	8	3x31	--	7,66		
9,4	11,4	16,2	3x63	3,06	--	15,3	65
9,3	11,2	16	3x62	--	3,84		
14,1	17,1	24,3	3x93	2,04	--	23	76
13,9	16,8	23,9	3x93	--	2,56		
18,8	22,8	32,4	3x125	1,53	--	30,6	100
18,5	22,4	31,8	3x125	--	1,92		
23,6	28,5	40,6	3x156	1,22	--	38	130
23,2	28,1	40	3x154	--	1,53		
28,2	34,1	46,6	3x188	1,02	--	46	140
27,8	33,6	47,8	3x185	--	1,28		
37,9	45,8	65,2	3x252	0,76	--	61	150
37	44,8	63,8	3x247	--	0,96		
47,2	57,1	81,3	3x314	0,61	--	76,5	160
46,2	55,8	79,5	3x308	--	0,77		

Harmonik üreten cihazların yoğun olduğu ve enerji verimliliği çalışmaları yapılan tesislerin kurulumu aşamasında, sistem analiz edilerek Pasif ya da Aktif filtre uygulamasına karar verilir. Tablo 2.9’da, Aktif ve Pasif filtrelerin karşılaştırılması görülmektedir [58].

Tablo 2.9. Pasif filtre – aktif filtre karşılaştırması

KONU	PASİF FİLTRE	AKTİF FİLTRE
Harmonik akımlarının kontrolü	Her harmonik frekansı için bir filtre ister	Aynı anda birçok harmonik akımının kontrolü mümkündür
Harmonik frekanslarının değişiminin etkisi	Filtrenin etkinliği azalır	Etkilenmez
Empedans modifikasyonu etkisi	Rezonans riski vardır	Etkilenmez
Akım yükselmesi riski	Aşırı yüklenme ve bozulma riski vardır	Aşırı yüklenme riski yoktur
Sisteme yeni yük ilave edilmesi	Filtrenin değiştirilmesi gerekebilir	Herhangi bir probleme yol açmaz
Sistemdeki temel dalganın frekans değişimi	Ayarlanması mümkün değil (değiştirilmesi gerekir)	Ayar ile uyum mümkün
Boyutlar ve ağırlık	Harmonik genliğine ve derecesine göre çok değişken	Oldukça küçük
Maliyet	İlk maliyet düşük, orta vadede bakım maliyetleri yüksek	İlk maliyet yüksek, orta vadede bakım maliyetleri yok.

BÖLÜM 3. TEZ ÇALIŞMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu bölümde, toplanan akım ve gerilim verilerinin incelenmesi amacı ile, spektral analiz yöntemleri ve akıllı izleme sistemi oluşturmak için kullanılan Yapay Sinir Ağları ile ilgili olarak kısa bilgiler verilmiştir.

3.1. Fourier Dönüşüm Yöntemi

Temel frekans bileşeni ve bu temel frekansın tam katlarından oluşan harmonik bileşenlerinin toplamını, bir zaman aralığında herhangi bir periyodik fonksiyon olarak ifade edebilmek Fourier serileri ile mümkün olmaktadır. Bu seriler, zaman ve frekans düzleminde fonksiyonlar arasında ilişki kurmaktadır [61].

Sinyal işleme alanında ilk sunulan teorem olan Fourier dönüşümü; 1807 yılında Fransız matematikçi Joseph Fourier tarafından geliştirilmiştir. Bu teorem sinyallerin spektrumlarının incelenmesinde ve frekans bölgesinde sunulmasında oldukça başarılıdır [62].

Bir $f(t)$ fonksiyonunun Fourier dönüşümü,

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (3.1)$$

biçiminde tanımlanır ve $F(\omega)$ 'nin ters Fourier dönüşümü,

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t} dt \quad (3.2)$$

olarak tanımlanır. (3.1) ve (3.2) eşitlikleri, genellikle Fourier dönüşüm çifti olarak adlandırılır ve bu eşitlikler, zaman veya frekans boyutunun $(-\infty, \infty)$ aralığındaki herhangi bir fonksiyonu, ters boyutta sürekli bir fonksiyona dönüştürmek için kullanılır. Fourier dönüşümünün avantajı, hem zaman ve hem de frekans boyutunda frekans veya dalga şeklini incelemesidir. Bir fonksiyon $f(t)$ biçiminde zaman boyutunda ya da $F(\omega)$ biçiminde frekans boyutunda ifade edilebilir. Zaman boyutunda verilen bir fonksiyon (3.1) eşitliği ile frekans boyutuna, frekans boyutunda verilen bir fonksiyon ise (3.2) eşitliği ile zaman boyutuna dönüştürülür[61].

Herhangi bir periyodik düzgün doğrusal olmayan dalganın frekans spektrumunun saptanmasında, frekans boyutu analizi logaritması, en çok ayrık Fourier dönüşümüne veya hızlı Fourier dönüşümüne dayandırılmaktadır[61].

3.1.1. Ayrık Fourier dönüşümü (AFD)

Sayısal değerlendirmeye en uygun olan Fourier dönüşümüdür ve sonlu uzunluktaki dizilerin Fourier dönüşümü için kullanılır. Ölçüm bilgisi bir örnekleme zaman fonksiyonu formunda daima elde edilebildiği için, ayrık Fourier dönüşümü, harmonik ölçümlerinde çok kullanılır. Ayrık Fourier dönüşümleri, hızlı Fourier dönüşümü algoritmalarının kullanımıyla hesaplanabilir[61].

3.1.2. Hızlı Fourier dönüşümü (HFD)

Hızlı Fourier dönüşümü, ayrık Fourier dönüşümünü kolaylaştırmak için geliştirilmiştir.

$$W = e^{-2j\pi/N} \quad (3.3)$$

tanımı yapılarak elde edilen $[W^{kn}]$ matrisindeki elemanların benzerliğinden faydalanılmaktadır. Hızlı Fourier dönüşümünde, örneklerin sayıları ikinin tam katı olmalıdır, yani dalganın periyodu ikinin tam katı olduğu zaman kullanılabilir[61].

3.1.3. Fourier serilerinin ifade biçimleri

Sinüsoidal olmayan periyodik bir işaretin Fourier analizi sonrasında zaman boyutu denklemi aşağıdakilerden herhangi biri ile gösterilebilir.

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \sin nt + B_n \cos nt) \quad (3.4)$$

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin(nt + \phi_n) \quad (3.5)$$

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(nt + \phi_n) \quad (3.6)$$

Bu denklemlerde;

$n=1,2,3,\dots$ (pozitif tam sayı) harmonik mertebesi, t =bağımsız değişken, A_0 =sabit terim olup literatürde bunun yerine $A_0/2$ 'de kullanılmaktadır. Diğer katsayılara ($A_1, A_2, \dots, A_n, B_1, B_2, \dots, B_n$) $f(t)$ fonksiyonunun harmonik katsayıları denir. $C_1 \cdot \sin(t + \omega t)$ terimine $f(t)$ fonksiyonunun birinci harmoniği ya da temel dalga denir[61].

3.2. Spektral Analiz Teknikleri ve Özellik Çıkarımı

Genel anlamda sinyal işleme, sinyalde bulunan bilgilerin çıkarımında kullanılan teknikleri içerir. Sinyal işleme tekniği, kaynak sistem davranışının sinyallerdeki yansımalarının belirlenmesi veya sinyalde istenen değişiklikleri yerine getirecek bir sistemin tasarlanması işidir. Özellikleri zamanla değişmeyen sinyaller, “durağan sinyaller” olarak adlandırılır. Durağan ve durağan olmayan sinyalleri incelemek için çeşitli Fourier dönüşümü teknikleri kullanılır [63].

Sürekli zamandaki bir $f(t)$ işareti için zamandaki frekans bileşeni, kısmi olarak incelenebilir. Klasik Fourier dönüşümü, sinyalin frekans içeriğini vermesine karşılık zamanla ilgili hiç bir bilgi içermez. Eğer aralıklar arasında, sinyalin frekans bileşeni

önemli ölçüde değişiyorsa, Fourier dönüşümüyle bu sinyalin analiz edilmesi halinde, bu dönüşüm bütün zaman eksenini kaplar ve örneğin yüksek frekans bilgisinin kaybolması gibi işaretteki her tür kısmi düzensizlikleri kaldırır. Bu nedenle durağan olmayan işaretler ve gerçek zaman işaretlerinin incelenmesinde Fourier dönüşümü tek başına yeterli olamamaktadır. Durağan olmayan işaretler için zaman-frekans analiz metodu kullanılması, işaretin zamana karşı ani frekans bileşenlerinin belirlenebilmesini sağlar [63].

3.2.1. Zaman frekans analiz yöntemleri

Zaman frekans analizi için; “Kısa Zaman Fourier Dönüşümü” ya da diğer bir deyişle “Pencerelenmiş Fourier Dönüşümü” kullanılmaktadır. Kısa Zaman Fourier Dönüşümü’nde esas olan, bir sinyalin frekans bileşeninin zaman değişmesini ortaya çıkarabilmek, başka bir ifade ile frekansın hangi anlarda önemli değişiklikler gösterdiğini bulmaktır.

Aşağıda, bu tez çalışması kapsamında kullanılan spektral analiz yöntemleri ile ilgili olarak kısa bilgiler verilmektedir.

3.2.1.1. Kısa zaman Fourier dönüşümü

Fourier dönüşümü durağan işaretlerde başarılı sonuçlar verirken, dinamik sinyallerde yetersiz kalmaktadır. Bu durum 1946 yılında Denis Gabor tarafından ortaya atılan “Kısa Zaman Fourier Dönüşümü-KZFD” (Short Time Fourier Transformation-STFT) yöntemiyle aşılabılır. KZFD’ne göre dinamik bir sinyal zamanda durağan kabul edilebilecek kadar küçük parçalara bölünerek analiz edilir. Bunun için sinyal çeşitli pencerleme fonksiyonları kullanılarak pencerelenir ve her bir pencere içerisinde sinyal durağan kabul edilir. KZFD, matematiksel olarak;

$$KZFD(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)g(t-\tau)\exp[-j2\pi ft]dt \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Eşitlikte kullanılan $x(t)$ orijinal işareti, $g(t)$ pencere fonksiyonunu, f frekansı ve τ ise zamanda öteleme miktarını temsil etmektedir. Eşitlikten de görüleceği gibi her bir f ve t değeri için yeni KZFD katsayıları hesaplanır. Bu yöntemin başarılı sonuç vermesi pencere genişliği ile ilgilidir. Pencerenin genişliği sinyalin durağan kabul edildiği miktar kadar olmalıdır [62].

3.2.1.2. Güç spektrum yoğunluğu

Zaman tanım bölgesindeki bir sinyalin frekans özellikleri hakkındaki bilginin çıkarımı için yaygın yaklaşım, sinyalin Fourier dönüşümünün hesaplanması yoluyla frekans düzlemine dönüştürülmesidir. N-örnek uzunluğundaki bir veri için, $m\Delta f$ frekansındaki ayırık dönüşüm aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır [23].

$$X(m\Delta f) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k\Delta t) \exp[-j2\pi km / N] \quad (3.8)$$

Burada Δf ve Δt , sırasıyla frekans ve örnekleme zamanındaki çözünürlüktür. Bu bağlamda N- örnek uzunluğundaki zaman serisi $x(t)$ 'nin öz-güç spektrumu yoğunluğu, $S_{xx}(f)$ ile denklem 3.9'daki gibi verilir.

$$S_{xx}(f) = \frac{1}{N} |X(m\Delta f)|^2, \quad f = m\Delta f \quad (3.9)$$

$x(t)$ ve $y(t)$ gibi verilen iki zaman serisi arasında tanımlanan çapraz güç-spektrumu yoğunluğu kestirimi de benzer şekilde gösterilebilir. Denklem 3.9'daki kestirimin istatistiksel doğruluğu, ayırık veri sayısının artması veya belli sayıda veriyi içeren veri bloklarının sayısının artmasıyla artar.

3.3. Akıllı İzleme Sistemi Tasarımı

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin çalışma mekanizmasını taklit ederek beynin öğrenme, hatırlama, genelleme yapma yolu ile yeni çıkarımlar türetebilme gibi temel işlevlerini gerçekleştirmek üzere geliştirilen algoritmalarıdır. Günümüzde yapay sinir

ağları (YSA); fizik, matematik, elektrik elektronik ve bilgisayar mühendisliği gibi farklı bilim dallarında farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. YSA'nın pratikte kullanımı, genelde değişik formlarda ve yapılarda bulunan sistemleri modelleme, verileri sınıflandırma, tahmin etme ve kontrol üzerinedir. Aslında mühendislik uygulamalarında YSA'nın geniş çaplı kullanımının en önemli nedeni, klasik yöntemlerle çözümü zor olan problemlere daha kolay çözüm getirmesidir. YSA, geniş bir alana yayılmış bilim ve mühendislik problemlerinin çözümü için matematiksel modeller kullanmak yerine gözleme dayalı veya deneyler sonucu elde edilen verilere dayanan benzetimler kullanır [64].

Son yıllarda YSA, güç sistemlerinin incelemelerinde ve hesaplamalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Mevcut verilerden öğrenerek karmaşık konularla başa çıkmak için eğitilmiş olan uygun sistemlerin tasarımına ilave olarak, optimizasyon problemlerine ve kontrol uygulamalarına kadar pek çok alanda YSA kullanılmaktadır [65-67].

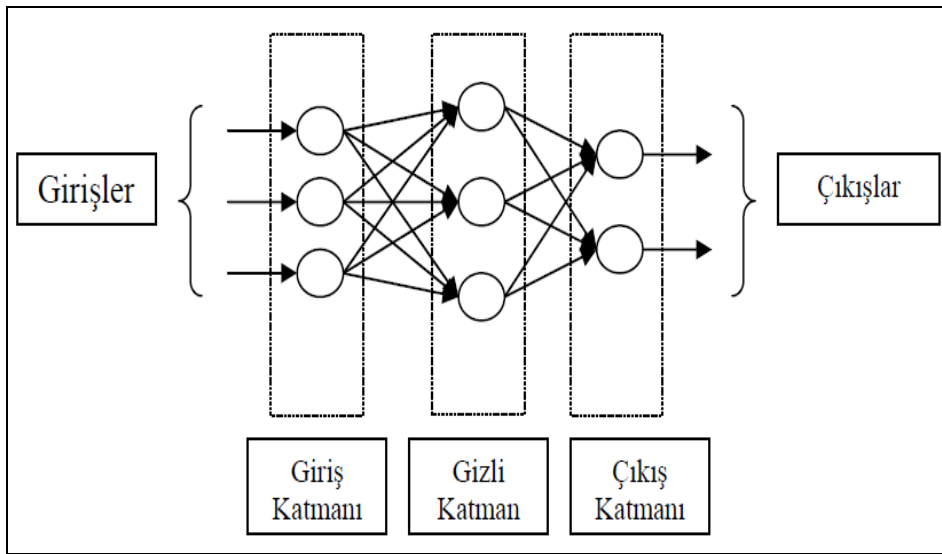
Yapay sinir ağları aynı zamanda çeşitli arıza analizleri ile, doğrusal olmayan yükler içeren güç sistemlerindeki harmonik kaynaklarını izlemek ve tanımak için de kullanılmıştır [68-70].

Bu yaklaşım, sistemdeki harmoniklerin direkt ölçümlerini yeterli görmüştür ve üç katmanlı perceptron kullanılmıştır. Bu YSA, değişik yük şartları için benzetim sonuçları kullanılarak eğitilmiştir. YSA, harmoniklerin kaynağını göstermek için bir durum değerlendiricisiyle birlikte kullanılmıştır. Bu yaklaşım önceden tanımlanmamış olan bir harmonik kaynağını tanıyabilmektedir. Bu tez çalışmasındaki YSA ise bu yaklaşımlardan farklı olarak bir "Yapay Takipçi" gibi kullanılmıştır.

3.3.1. Yapay sinir hücresi

Yapay sinir hücreleri, YSA'nın çalışmasına esas teşkil eden en küçük bilgi işleme birimi olup, girdiler, ağırlıklar, birleştirme fonksiyonu, aktivasyon (etkinleştirme) fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere beş bileşenden meydana gelir. Girdiler; diğer dış

ortamlardan hücreye giren bilgilerdir. Bilgiler, bağlantılar üzerindeki ağırlıklar üzerinden hücreye girer ve ağırlıklar, ilgili girişin hücre üzerindeki etkisini belirler. Birleştirme fonksiyonu, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur ve genellikle net girdi, girişlerin ilgili ağırlıkla çarpımlarının toplamıdır. Aktivasyon fonksiyonu ise birleştirme fonksiyonundan elde edilen net girdiyi, bir işlemden geçirerek hücre çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur [71]. Geliştirilen ağ modellerinde bazı farklılıklar olmakla birlikte genel özellikleri ile bir yapay sinir ağı modeli Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. İleri beslemeli çok katmanlı YSA gösterimi

3.3.2. Çok katmanlı perseptron yapısı

Çok katmanlı perseptron; bir giriş, bir çıkış ve bir veya daha fazla gizli katman olmak üzere üç tip katmandan oluşur. Giriş katmanındaki nöronlar, giriş sinyallerini, gizli katmandaki nöronlara dağıtan bir tampon gibi davranır. Gizli katmandaki her bir nöron, giriş sinyalini, birer ağırlık değeriyle çarparak toplar ve çıkış değerini üretir [72].

YSA’da hücre elemanlarının bağlantılarının ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine ağız eğitilmesi denir. Bir ağız eğitilmesi, ağız ağırlık değerlerinin, bir eğitme algoritması ile ayarlanmasıdır. Eğitme algoritmaları, ağ tarafından üretilen

çıkış ile gerçek değerlerin farklarının karesini, minimuma indirecek ağırlıkların hesaplanmasını gerçekleştirirler. Bu ağırlıklara her iterasyonda bir düzeltme değerinin eklenmesi ile ayarlama işlemi gerçekleşir. Yeteri kadar küçük hata değerine veya önceden belirlenen iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar ağırlıkların değiştirilmesine devam edilir. Düzeltme değerinin hesaplanması, seçilen eğitime algoritmasına bağlıdır. Ağırlıkların sürekli yenilenip istenilen sonuca ulaşılanaya kadar geçen zamana öğrenme denir. Yapay sinir ağı öğrendikten sonra daha önce verilmeyen girişler uygulanarak ağ çıkışları gözlemlenir. Eğitimde kullanılan örnekler setine eğitim seti denir [72].

Eğitime algoritmaları, birinci (gradyent matrisi kullananlar) ve ikinci (hessian matrisi kullananlar) merteye algoritmalar olmak üzere ikiye ayrılabilir. Birinci merteye algoritmaları olan gradyent azalması, resilient yayılım ve ölçekli eşlenik gradyent algoritmaları, hatanın gradyentini kullanarak ağırlıkları değiştirmektedirler. Buna karşın Quasi-Newton ve Levenberg-Marquardt algoritmaları, yaklaşık Hessian matrisini kullanmaktadırlar [73].

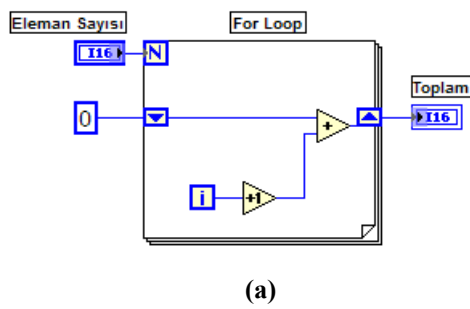
BÖLÜM 4. GERÇEK ZAMANLI GÜÇ KALİTESİ İZLEME ve VERİ TOPLAMA SİSTEMİ TASARIMI

Bu bölümde, güç kalitesi parametrelerine ait değişkenlerin ölçümü ve izlenmesi amacıyla oluşturulan LabVIEW™ tabanlı program yapısı ile ölçme düzeneğine ait bilgiler verilmektedir.

4.1. G Programlama Dili

G programlama dili, blok diyagramdaki nesnelere arasındaki ilişkilerin ve bağlantıların tanımlanması için kullanılan grafiksel bir dildir. G dili, birçok yönden metin tabanlı dillerden farklıdır. Program, lineer olarak komutların icra edilmesi şeklinde yürütülürken, G dili farklı karakteristiklere sahiptir. Bir grafiksel blok, yalnızca girişleri tanımlandığında veya belirlendiğinde yürütülebilir. Bunun anlamı; bir kaç paralel blok diyagramının oluşturulabilmesi ve aynı anda birçok işlemin eş zamanlı olarak yürütülebilmesidir [74].

G dilinde yazılan her bir program, Sanal Enstrüman (Virtual Instrument-VI) olarak isimlendirilir. Veri tipleri farklı renk ve şekillerde gösterilir. Örneğin, mavi renkli bağlantılar tam sayı (integer), turuncu renkli bağlantılar gerçel sayı veya karmaşık sayıları (float), pembe renkli bağlantılar metin karakterleri ile yapılan işlemleri, yeşil renkli bağlantılar ise ikil (boolean) veri (0-1), vb. olduğunu gösterir. Kullanıcı tanımlı tipler ise diğer renklerle gösterilebilir. Şekil 4.1'de, G dilinde yazılan grafik tabanlı gösterim ile C programlama dilinde yazılan metin tabanlı program örnekleri sunulmaktadır [74].



C programlama diline göre program kodu:

```
scanf ("%d", &Elm_Say;
sum = 0;
for (i=0; i< Elm_Say; i++)
sum += i + 1;
printf ("%d", sum);
```

(b)

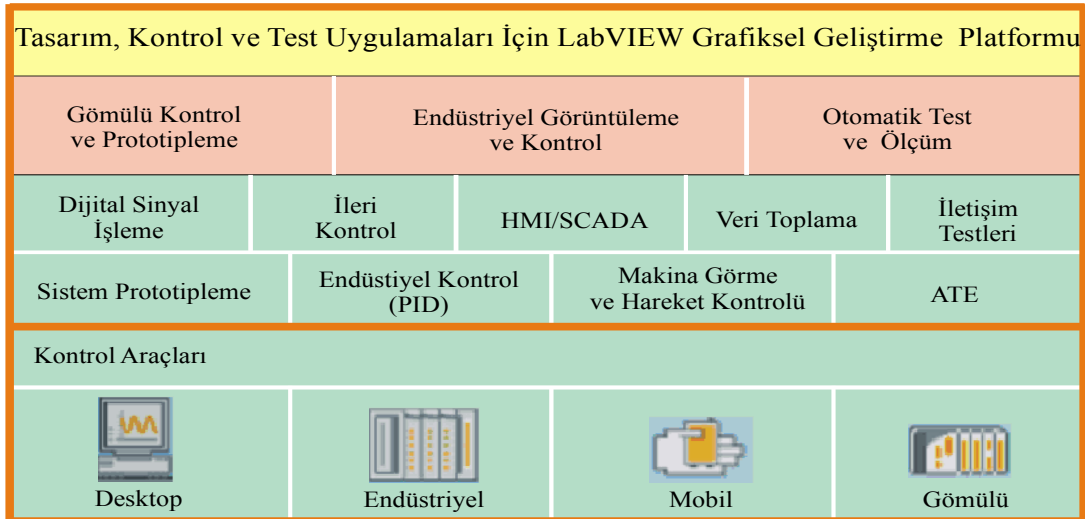
Şekil 4.1a. G dili program örneği
b. C dili program örneği

4.2. LabVIEW™ Programı

Programcılar, çeşitli durumlarda üretkenliği ve verimliliği artırmak amacıyla sürekli yazılım uygulamaları geliştirmektedirler. LabVIEW; bu amaçlara ulaşmaya yardımcı olmak için kullanılabilir, güçlü araçlara sahip bir programlama dilidir. “**L**aboratory **V**irtual **I**nstruments **E**ngineering **W**orkbench” kelimelerinden kısaltılarak adlandırılan LabVIEW, “National Instruments” firması tarafından geliştirilmiş grafiksel tabanlı (G dili) bir programlama dilidir [74].

G programlama dili; grafiksel yapısı nedeniyle, test-ölçüm, otomasyon, cihaz kontrolü, veri toplama ve veri analizi uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu özellikler, üretkenliğin geliştirilmesi durumlarında, G programlama diline diğer bilinen programlama dillerinden oldukça önemli üstünlükler sağlamaktadır. Şekil 4.2’de LabVIEW programı uygulama alanları özetlenmektedir [74].

LabVIEW’de kullanılan ve G dili olarak adlandırılan veri akışı programlama modeli, programcuyu metin tabanlı dillerin lineer mimarisinden kurtarır. Çünkü LabVIEW’deki işletim sırasının ardı ardına metin satırları şeklinde değil, bloklar arası veri akışı şeklinde olması ve aynı anda çalışan diyagramlar oluşturmanın mümkün olmasıdır. LabVIEW, ayrı yollardan farklı işler görebilen bir sisteme sahiptir [74].



Şekil 4.2. LabVIEW ile grafiksel program geliştirme ortamları

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 [75].

Deneysel çalışmalarda kullanılan LabVIEW 8.5 programı açılış ekranı Şekil 4.3'de verilmektedir.

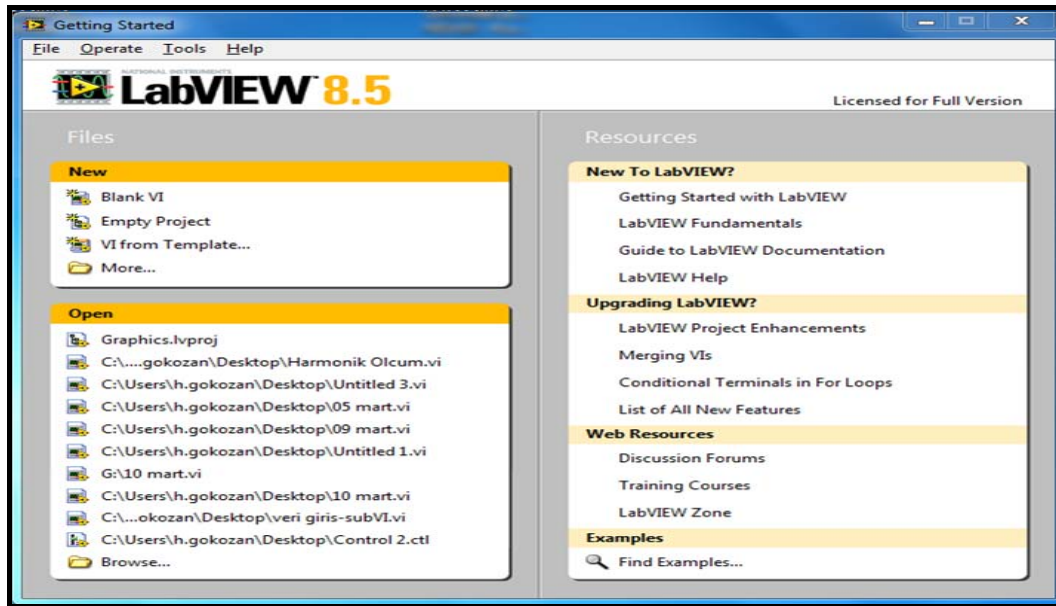
LabVIEW programları, Sanal Enstrümanlar (Virtual Instruments-VI) olarak adlandırılır. Çünkü görünüşleri ve yürütülmesi, osiloskoplarda ve multimetrelerde olduğu gibi fiziksel enstrümanlara benzemektedir. Her VI, kullanıcı arabiriminden gelen giriş bilgilerinin yürütülmesi için fonksiyonlar kullanır.

Bir VI, aşağıdaki üç komponenti içerir.

Ön (Front) Panel: Kullanıcı arabirimi olarak tasarlanır.

Block Diagram: VI'nin işlevselliğini belirleyen grafiksel kaynak kodu içerir.

İkon ve bağlantı penceresi: VI'nin başka bir VI içinde kullanılabilmesini tanımlar. Bir VI, eğer başka bir VI içinde kullanılıyorsa, subVI olarak isimlendirilir. Bir subVI, metin tabanlı programlama dillerinde altyordama karşılık gelir [74].



Şekil 4.3. LabVIEW programı başlangıç menüsü

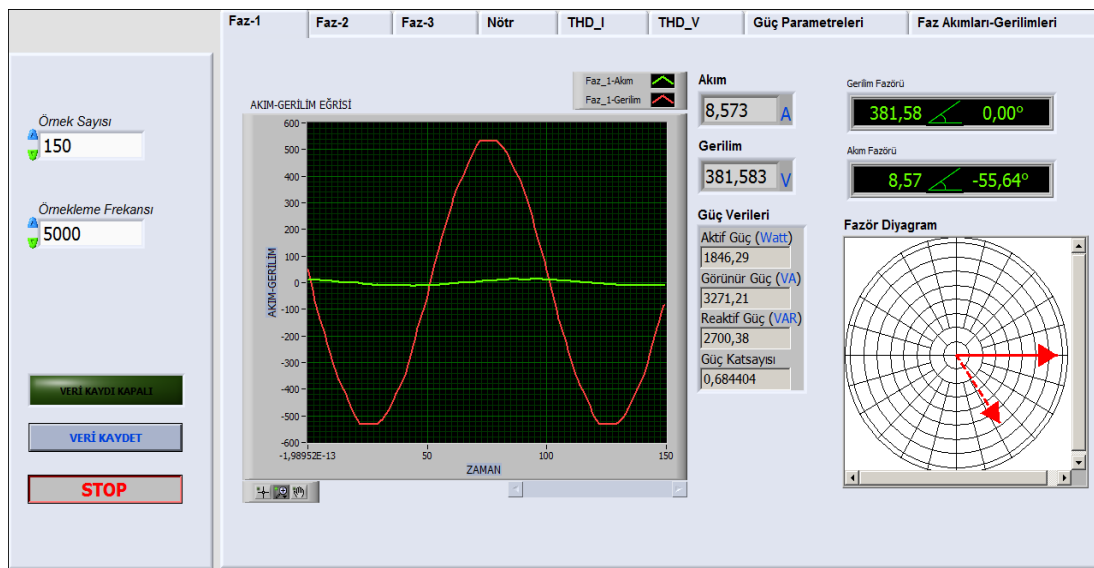
Ön panel, VI'nin interaktif giriş ve çıkış terminallerine karşılık gelen gösterge ve kontrollerle oluşturulabilir. Kontroller; potansiyometre tipi yuvarlak eksenli anahtarlar, push butonlar vb. diğer giriş cihazları olabilir. Göstergeler de, grafikler, LED lambaları vb. gibi diğer araçlardır[74].

LabVIEW'de bir program oluşturmak için, ön panel'e yukarıda adı geçen elemanlardan sürükle-bırak işlemiyle istenilen kontrol veya gösterge simgesi konulduktan sonra, ön panel nesnelere kontrol etmek için blok diyagram üzerine grafiksel kod eklemeleri yapılır[74].

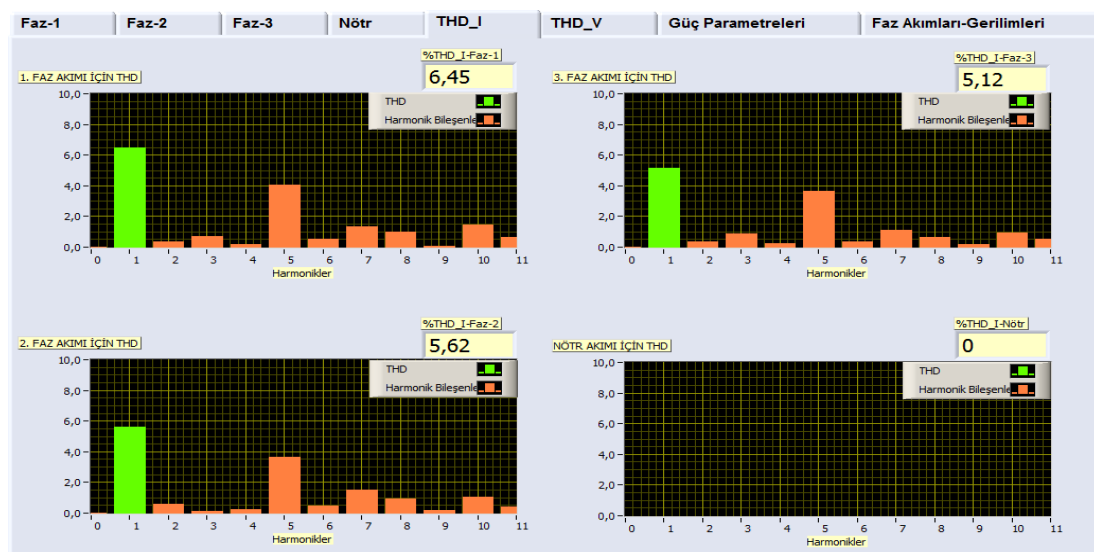
4.2.1. Tasarlanan program

LabVIEW' de bir araç seti ve nesnelere kullanıcı arabirimi oluşturulabilmektedir. Kullanıcı arabirimi ön panel olarak isimlendirilirken, ön paneldeki nesnelere fonksiyonlarını kontrol edebilmek için kodlama işlemleri, grafiksel blok diyagramlar yoluyla yapılır. Blok diyagram, akış şemalarına benzer ve programlama, veri akışı yapısına dayanır [75].

Programın kullanıcı ara yüzünde, her bir faza ait akım ve gerilim verilerinin dalga form biçimleri ve bunların RMS değerleri, fazör diyagram üzerinde birbirleri arasındaki açı farkı ile güç parametrelerine ait değişkenler anlık olarak görüntülenebilmektedir. Ayrıca, veri kaydetme butonu ve örnekleme zamanının değiştirilebildiği bir nümerik kontrol girişi de bulunmaktadır. Her bir faz üzerindeki THD değerlerinin değişimi de bar grafik olarak izlenebilmektedir. Şekil 4.4, yapılan programa ait bir ön panel görüntüsünü içermektedir.

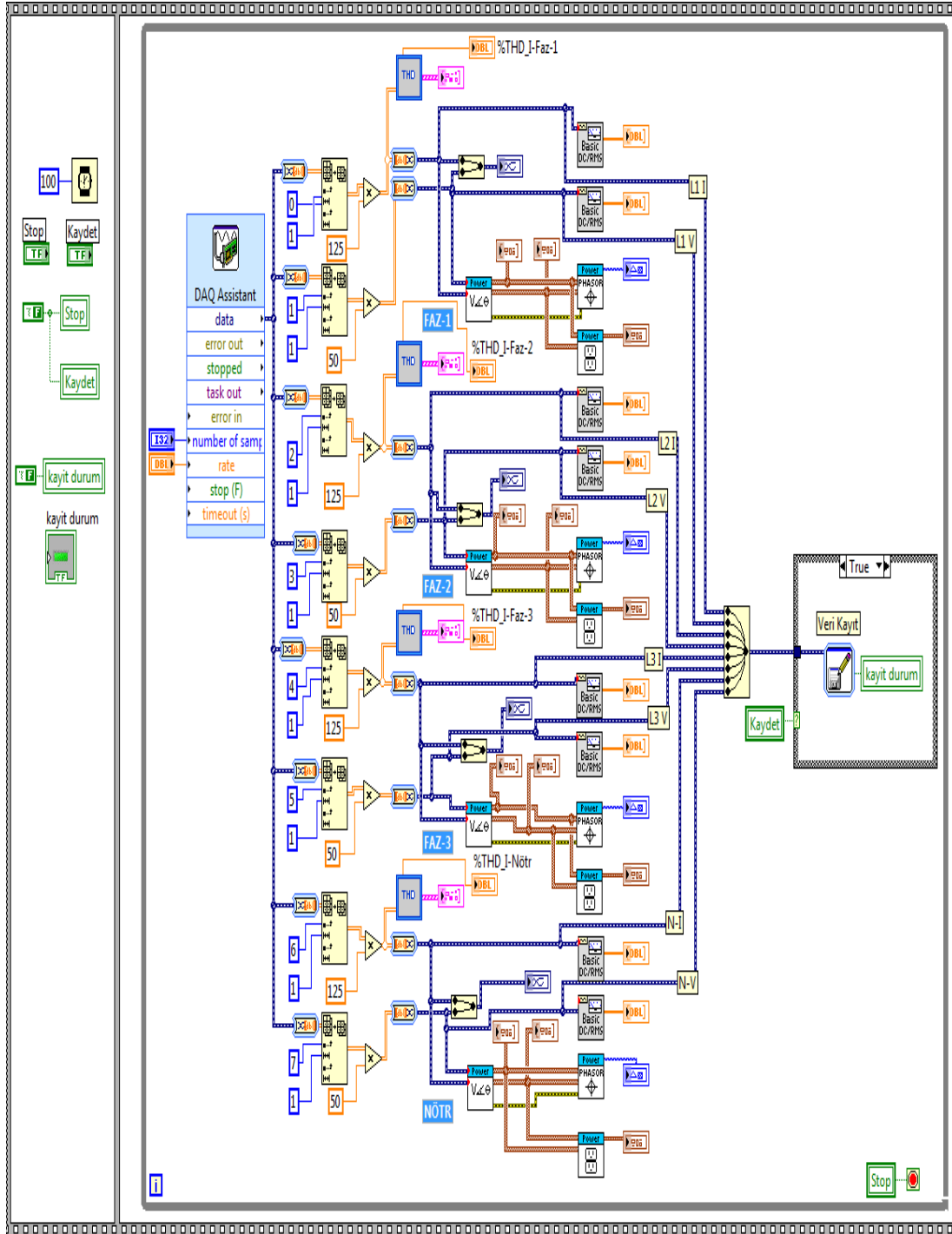


Şekil 4.4. LabVIEW tabanlı güç kalitesi izleme ve ölçme ekranına ait bir ön panel görünümü



Şekil 4.5. Akım sinyaline ait THD değerlerinin gösterimi için kullanılan ekran

Şekil 4.5, akım sinyaline ait THD değerlerinin anlık olarak bar grafik şeklinde gösterimi için tasarlanan ara yüz ekranını içermektedir. Şekil 4.6'da ise LabVIEW tabanlı güç kalitesi izleme ve veri toplama yazılımına ait program yapısından bir kesit gösterilmiştir.



Şekil 4.6. LabVIEW program yapısından bir kesit

4.2.2. LabVIEW tabanlı veri toplama

Ölçme sistemleri, gerçek dünyadaki fiziksel büyüklükleri, kullanıcının anlayabileceği şekle/formata dönüştürmek amacıyla kullanılır. Basınç, sıcaklık, ağırlık, yükseklik, uzaklık vb. fiziksel büyüklükler sayısal/ikili formata çevrilerek bilgisayara aktarılır. DAQ (Data Acquisition), GPIB (General Purpose Interface Bus), PXI (PCI eXtention for Instrumentation) ve RS-232 aygıtları/elemanları, veri aktarımında en çok kullanılan araçlardır. Veri analizi sürecinde ham verinin anlamlı bilgiye dönüştürülmesi aşamasında; eğri uydurma, frekans cevabı, istatistiksel analiz vb. yöntemler kullanılırken verilerin gösteriminde grafik, tablo, termometre veya diğer görsel araçlar kullanılabilir [75,76].

4.2.3. Veri toplama kartları

Veri toplama kartları, dış dünyadan alınan verilerin, bilgisayar ortamına aktarılmasında kullanılır. PCI şeklinde bilgisayarın ana kartına takılabilen çeşitleri olduğu gibi, USB tipinde olanları da bulunmaktadır. İsteğe bağlı olarak tamamen kullanıcılar tarafından hazırlanarak sisteme ait akım, gerilim, basınç, sıcaklık vb. bilgiler alınabilir. Alınan bilgiler, uygun yazılımlar aracılığı ile istenen formata/şekle çevrilebilir [77].

4.2.4. Örnekleme hızı (Sampling rate)

Veri toplama kartlarının örnekleme hızı, alınacak verilerin doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Örnekleme hızının yüksekliği, alınacak veri sıklığını ifade eder. Örnekleme hızının, alınacak verinin değişiminden her zaman daha büyük olması gerekir. Çok yavaş örneklenmiş bir sinyal, ölçülen sinyalden tamamen farklı bir şekilde ortaya çıkabilmektedir. Sinyalin bu şekilde bozulması, "Aliasing" olarak isimlendirilir. Nyquist teoremine göre, analog bir işaretin sayısallaştırıldıktan sonra tekrar elde edilebilmesi için, bu sinyal içerisindeki en yüksek frekanslı bileşenden en az iki kat frekansta örnekleme yapılmalıdır [54,78].

Bu çalışmada, 50. harmoniğe kadar olan bozulmalar incelenecektir. Şebekenin temel frekansı 50 Hz olduğuna göre, 50. harmoniğe kadar inceleme yapabilmek için; $50 \times 50 = 2500 \text{ Hz}$. 'e kadar olan frekansın incelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle örnekleme hızı Nyquist teoremine göre 5000 örnek/s olarak seçilmiştir.

4.3. Sisteme Ait Donanım

Harmoniklerin ölçülebilmesi için, akım ve gerilim bilgilerinin uygun devreler kullanılarak alınması gerekmektedir. Bu devrelerin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

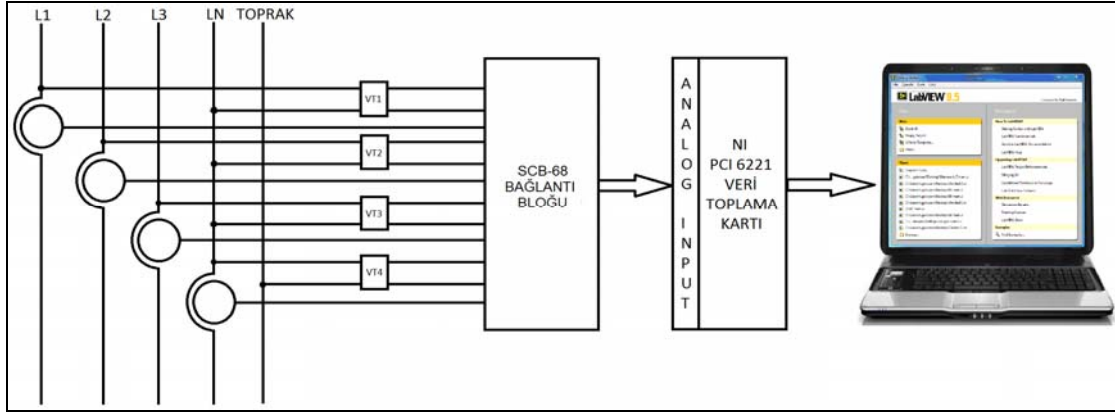
4.3.1. Akım giriş devresi

Akım giriş devresi, analiz edilmesi gereken akımlar için uygun olmalıdır. Giriş devresi, harmonik akımların doğrudan ölçülmesini sağlamalı ve ilave olarak, direnç özelliği gösteren harici şöntlerle birleştirilebilen düşük gerilimli, yüksek empedanslı bir gerilim girişine sahip olmalıdır (ya da direnç özelliğine sahip şöntleri olan akım trafo birleşimi). Uygun giriş devresi duyarlılıkları, 0,1 Volt ile 10 Volt arasındadır [57].

4.3.2. Gerilim giriş devresi

Gerilim giriş devresi, analiz edilecek besleme geriliminin en yüksek gerilimi ve frekansı için uygun olmalı ve karakteristiği ile doğruluğunu, en yüksek gerilimin 1,2 katında değişmeden tutmalıdır. Ölçme işlemleri için en az 1,5 değerinde tepe faktörü yeterlidir [57].

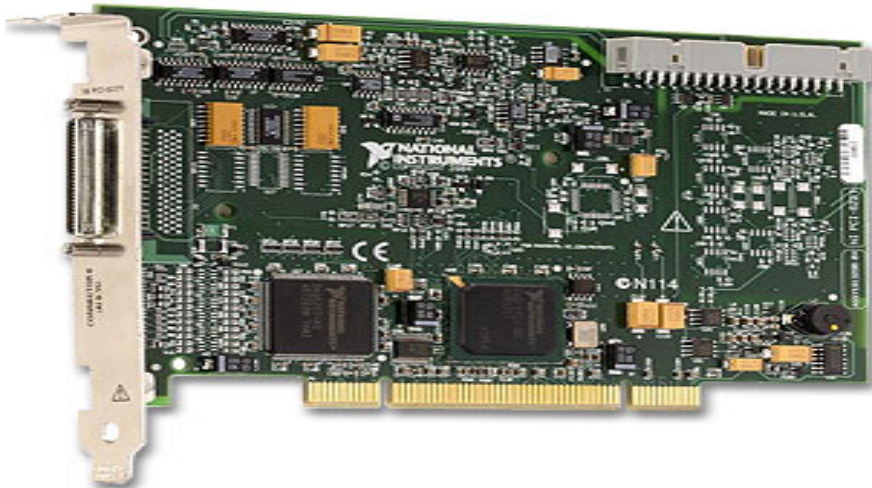
Bu çalışmada; üç faz akım ve gerilim değerleri ile nötr akım değerleri ölçülerek analizleri gerçekleştirilmiştir. Enerji kalitesinin bilgisayar tabanlı ölçüm ve analizi, donanım ve yazılım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Donanım kısmı tasarlanan bir ölçme devresi, eşzamanlı örnekleme özelliğine sahip bir veri toplama kartı ve kişisel bilgisayardan meydana gelmektedir. Gerçekleştirilen sistemin blok diyagramı Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.7. Ölçme sistemine ait bağlantı şeması

4.3.3. Veri toplama kartı

Veri toplama işlemi, National Instrument (NI) firması tarafından üretilen Şekil 4.8’de görülen PCI-6221 kartı kullanılarak yapılmıştır. Kart ile ilgili bilgi sayfaları Ek 3’de verilmiştir. Kartın örnekleme hızı 250 kS/s, çözünürlüğü 16 Bit, 16 analog giriş, 2 analog çıkış, 10 digital giriş-çıkış bağlantı noktası bulunmaktadır. Akım ve gerilim sensörlerinden gelen sinyaller NI SCB-68 bağlantı bloğu aracılığı ile veri toplama kartına iletilmektedir.



Şekil 4.8. NI PCI 6221 DAQ kartı

Akım giriş devresi için kullanılan LEM HTR 500-SB kodlu akım sensörünün özellikleri Tablo 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1. Akım sensörü özellikleri

I_{PN}	Nominal primer akımı (RMS)	500 A
I_{PM}	Primer akım ölçme aralığı	± 1000 A
V_{OUT}	Çıkış gerilimi (Analog)	± 4 V
R_L	Yük direnci	> 10 k Ω
V_C	Besleme gerilimi	$(\pm 5\%) \pm 12 \dots 15$ V
I_C	Akım tüketimi	(max) 20 mA
t_r	Cevap zamanı	< 10 μ s

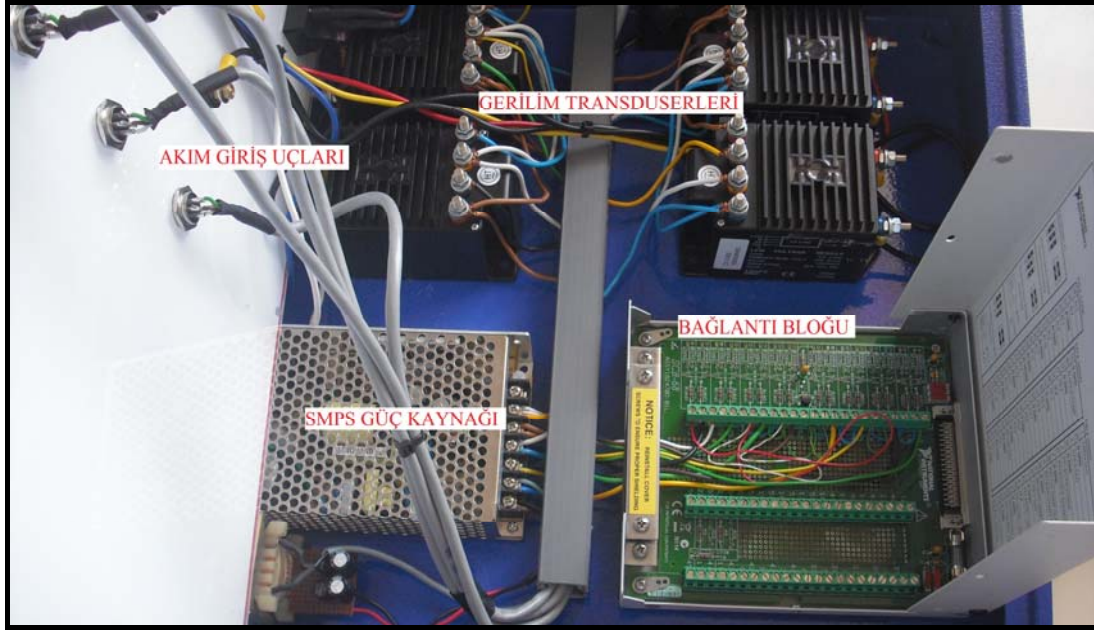
Gerilim giriş devresi için kullanılan LEM CV 3-500 kodlu gerilim sensörünün özellikleri Tablo 4.2’de sunulmaktadır.

Tablo 4.2. Gerilim sensörü özellikleri

V_{PN}	Nominal primer gerilimi (RMS)	350 V
V_P	Primer gerilim ölçme aralığı	$0 \dots \pm 500$ V
V_S	Çıkış gerilimi (Analog)	max 10 V
R_L	Yük direnci	1 k Ω
V_C	Besleme gerilimi ($\pm 5\%$)	± 15 V
I_C	Akım tüketimi	$32 + V_S / R_L$ mA
t_r	Cevap zamanı	0.3 μ s

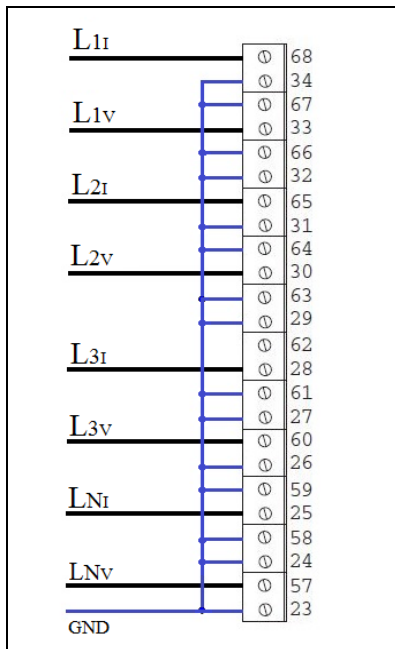
Akım ve gerilim transduserlerinin çalışabilmesi için gerekli olan ± 15 V besleme gerilimi, SMPS ile sağlanmıştır.

Şekil 4.9’da veri giriş işlemleri için hazırlanmış olan ünitenin iç görüntüsü bulunmaktadır. Gerilim transduserleri, güç kaynağı ve bağlantı bloğu görülmektedir.



Şekil 4.9. Veri giriş ünitesinin iç görünüşü

Şekil 4.10'da, DAQ kartı ile sensörler arasındaki veri iletişimini sağlamak için kullanılan bağlantı bloğuna akım ve gerilim girişlerinin yapılışı görülmektedir. Bağlantı bloğu ile kart arasındaki iletişim ise SHC68-68-EPM kablo aracılığı ile yapılmaktadır [79].



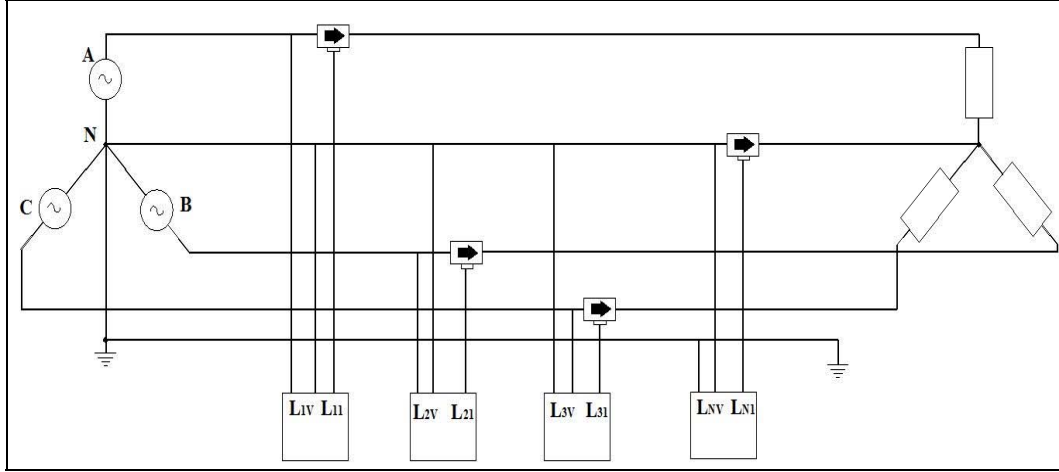
Şekil 4.10. SCB 68 bağlantı bloğu akım ve gerilim kanal bağlantıları



Şekil 4.11. Veri giriş ünitesinin dış görünüşü

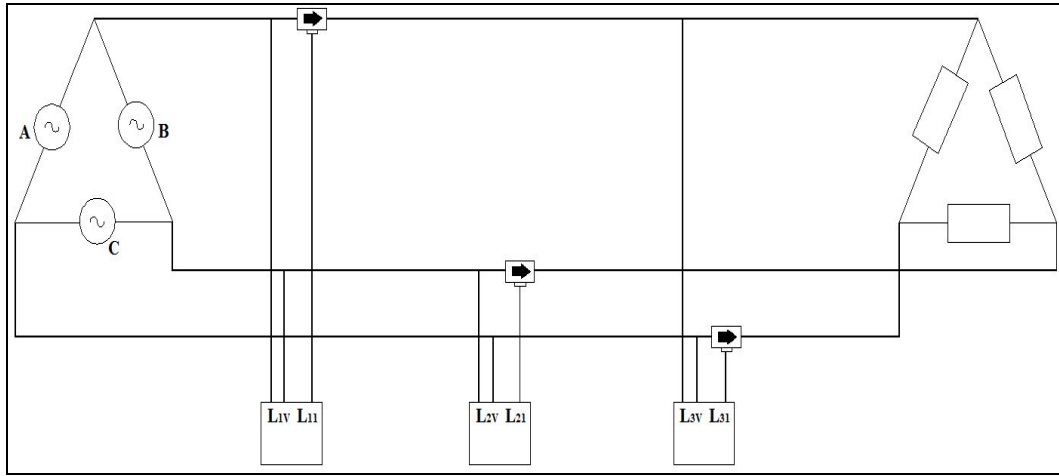
Sistem, taşınabilir bir güç kalitesi veri toplama ünitesi haline getirilmiştir. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi gerilim girişleri L_{1v} , L_{2v} , L_{3v} ve L_{Nv} olarak adlandırılmış olup, born vida bağlantı klemensi ile gerekli girişler yapılabilmektedir. Her bir faz giriş uçları için ayrı renklerde born vida kullanılmış olup bunlar sırası ile Kırmızı, Sarı ve Mavi renklerdir. Beyaz uç, toprak bağlantı ucudur. Çıkış uçları da Siyah renkli olarak yapılmıştır. Akım girişleri ise DIN 5 soket aracılığı ile yapılmaktadır. Akım giriş uçları; L_{1i} , L_{2i} , L_{3i} ve L_{Ni} olarak adlandırılmıştır.

Şekil 4.12’deki bağlantı, dengesiz yüklerde, nötr hattının da kullanıldığı devrelerde uygulanmaktadır. Her faz için akım ve gerilim bilgilerinin yanında, nötr hattı akım değeri ile nötr-toprak arası gerilim değeri de girilmektedir.



Şekil 4.12. Üç fazlı dengesiz yükler için bağlantı şeması

Şekil 4.13'deki bağlantı, dengeli yüklerde, nötr hattının kullanılmadığı devrelerde uygulanmaktadır. Her faz için akım ve fazlar arası gerilim bilgileri girilmektedir.



Şekil 4.13. Üç fazlı dengeli yükler için bağlantı şeması

BÖLÜM 5. TASARLANAN SİSTEMİN SAHA UYGULAMALARI ve DEĞERLENDİRMELER

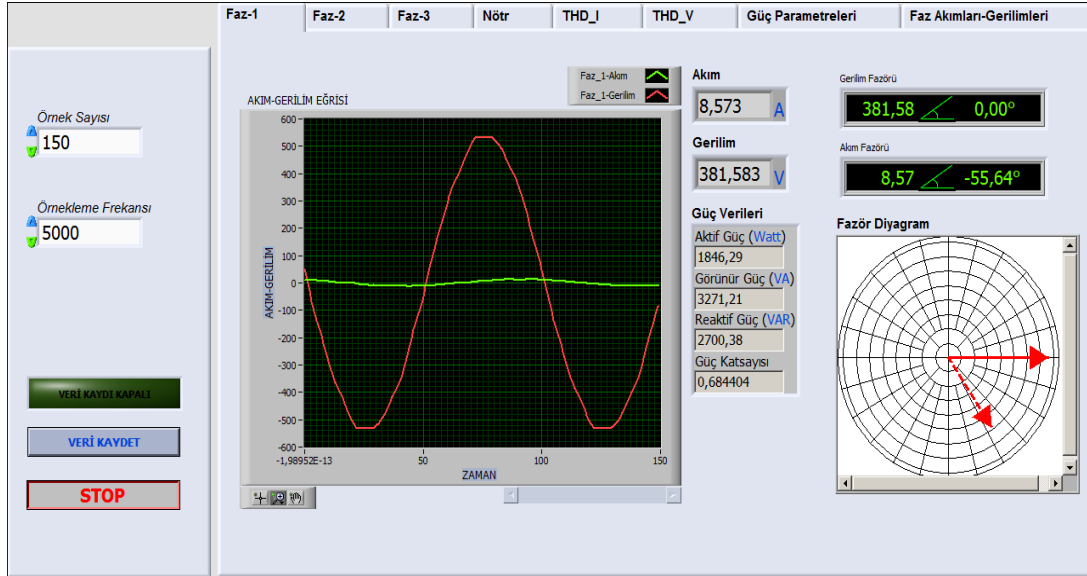
Bu bölümde; evirici ile sürülen bir asenkron motor ve bir indüksiyon fırını için veri toplama işleminin sonuçları, Kısa Zaman Fourier Dönüşümü-KZDF tekniği ile analiz edilip, sistem davranışlarının harmoniklere yaptığı yansımalar detayları ile incelenmiştir.

5.1. Evirici ile Sürülen Asenkron Motor Verileri için Harmonik Analizi

Bu uygulama, Manisa ili Turgutlu ilçesinde bulunan “SERAMİKSAN” seramik fabrikasında 2500 kVA gücündeki bir transformatörden beslenen ve basınçlı hava sağlayan kompresörlerden bir tanesinin 75 kW gücündeki asenkron motor üzerinde yapılmıştır.

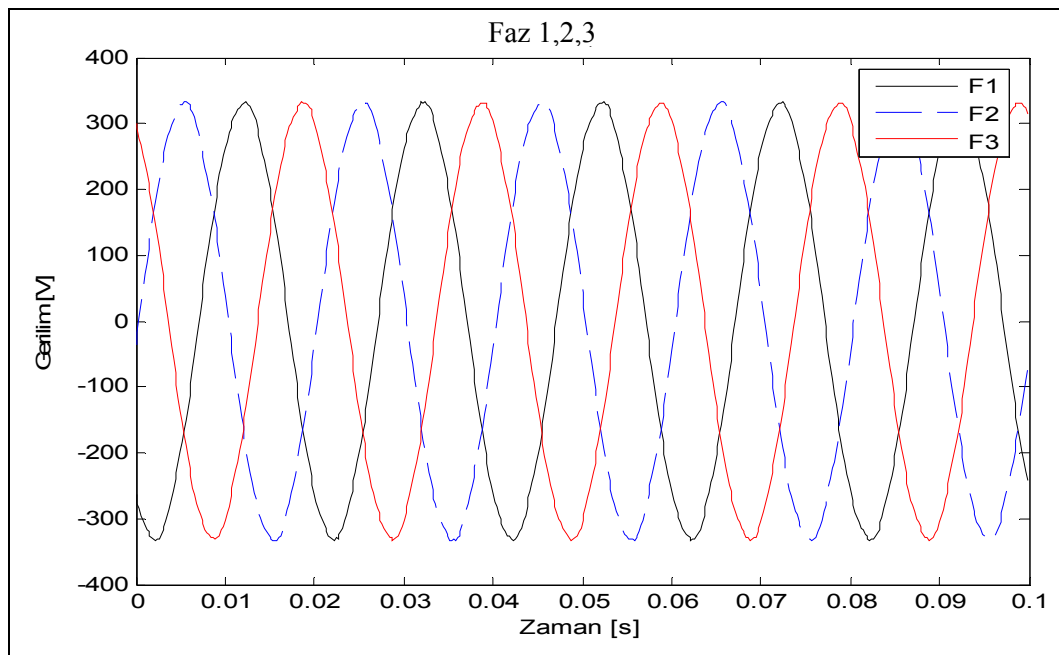
Akım ve gerilim bilgileri, motoru besleyen evirici önüne bağlanan termik manyetik şalter çıkışından alınmıştır. Tasarlanan veri toplama sistemi ile üç faz akım ve gerilim sinyalleri ölçülmüştür. Giriş sinyalleri, DAQ kart aracılığı ile gerçek zamanlı olarak izlenmekte ve bilgisayara kaydedilmektedir.

Şekil 5.1’de LabVIEW™ tabanlı güç kalitesi ölçüm sisteminin ön paneli görülmektedir. Veriler, IEEE-519-1992, EN 50160, IEC 61000-4-7 ve IEC 61000-4-30 standartlarında belirtildiği üzere her bir kanal için saniyede 5000 örnek olacak şekilde kaydedilmektedir. Her bir veri alımı için 13s’lik duruma ait zaman süresi belirlenmiştir. Dolayısı ile toplam veri sayısı, her bir fazın akım ve gerilimi için 65000 adettir.

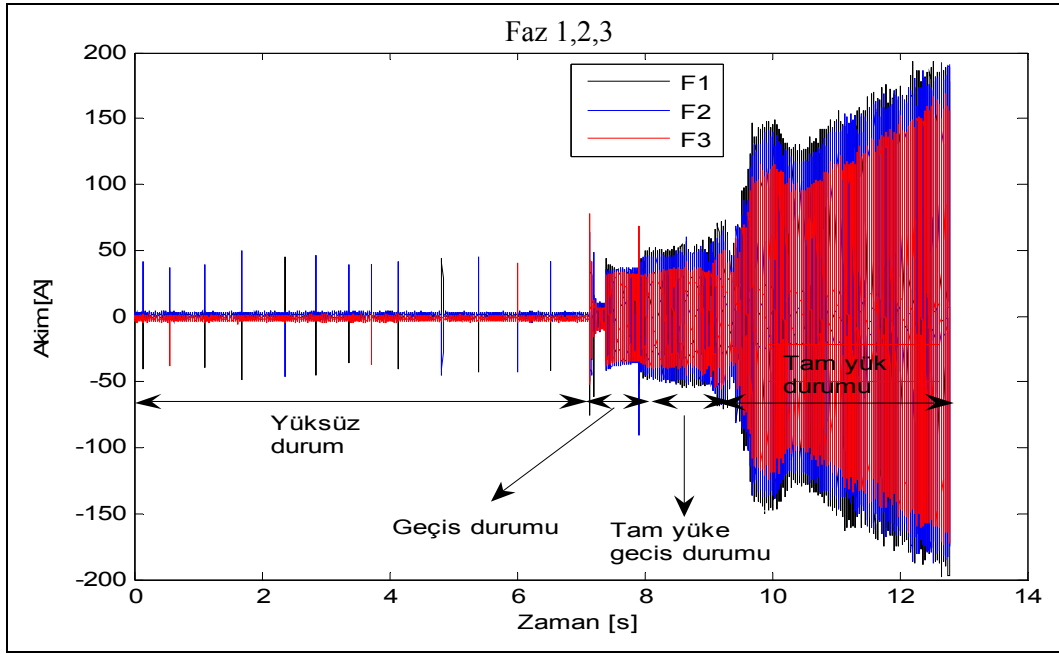


Şekil 5.1. LabVIEW™ tabanlı ölçme sistemi kullanıcı ara yüzü

Şekil 5.2’de, 75 kW’lık motoru süren evirici girişinden ölçülen üç faz gerilim değişimi görülmektedir. Şekil 5.3’de gösterilen üç faz akımının değişimi dört kısım olarak incelenmiştir: Motorun 0-7.14 s arası yüksüz durumu, 7.14-8 s arası ilk çalışma geçiş durumu, 8-9.15 s arasında tam yüke geçiş durumu ile 9.5-13 s arasında ise tam yük durumu.

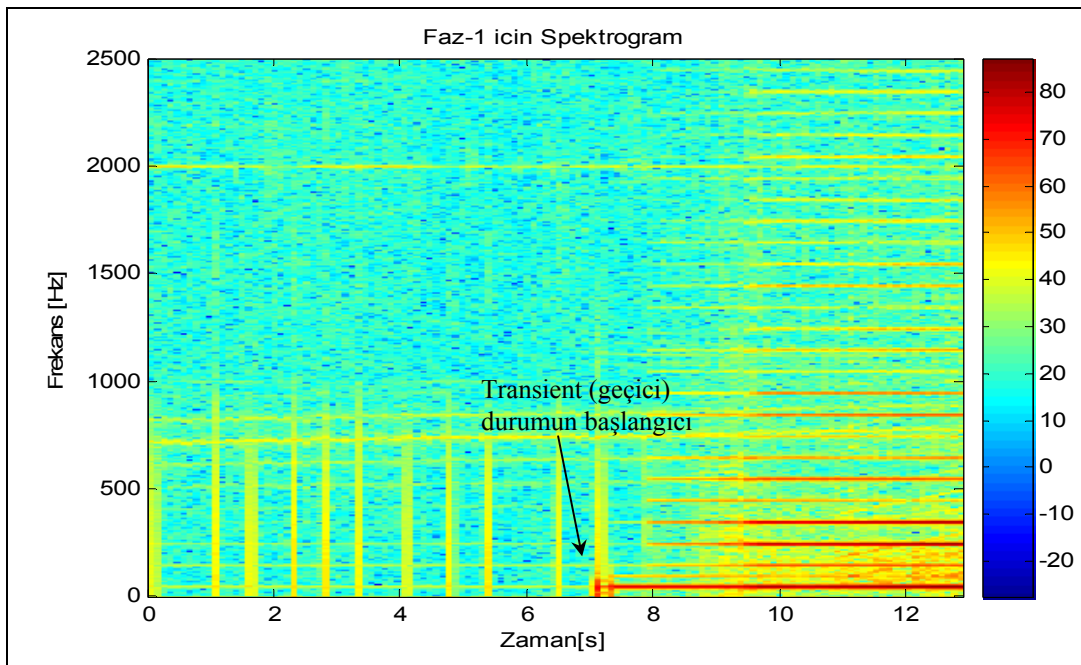


Şekil 5.2. Faz 1, 2 ve 3’e ait gerilim değişimi



Şekil 5.3. Eviriciden beslenen motorun kaynaktan çektiği akımdaki değişimler

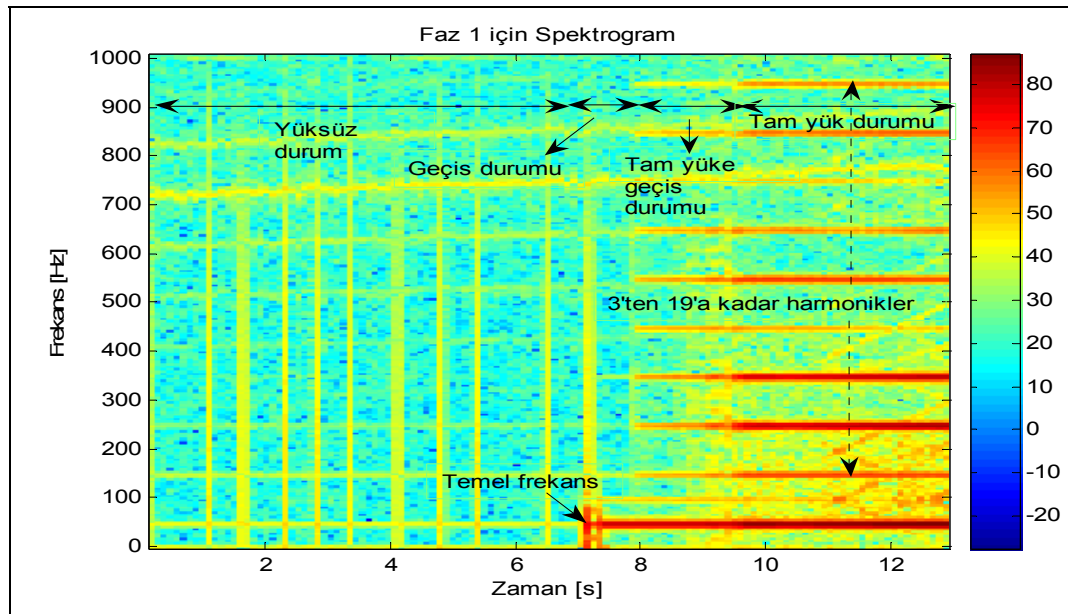
Şekil 5.3'de gösterilen akım sinyaline ait spektrogram çizdirildiğinde, Şekil 5.4'deki zaman ve frekans bilgisi içeren grafik elde edilir.



Şekil 5.4. Birinci faz akımı için zaman-frekans değişimi

Şekil 5.4'de 9.5 ile 12 s arasındaki tam yük altında en baskın harmonik değerleri görülmektedir. Burada 3, 5, 7, 11, 13, 17 ve 19. harmonikler etkindir. Bununla birlikte geçiş durumunda 50 Hz frekanslı temel dalga ile takip eden 2 saniye içerisinde diğer 5. ve 7. harmonikler de görülmektedir. Tam yük durumunda 0 ile 1000 Hz arasındaki (19. harmoniğe kadar) frekans değerleri Şekil 5.5'de görülmektedir.

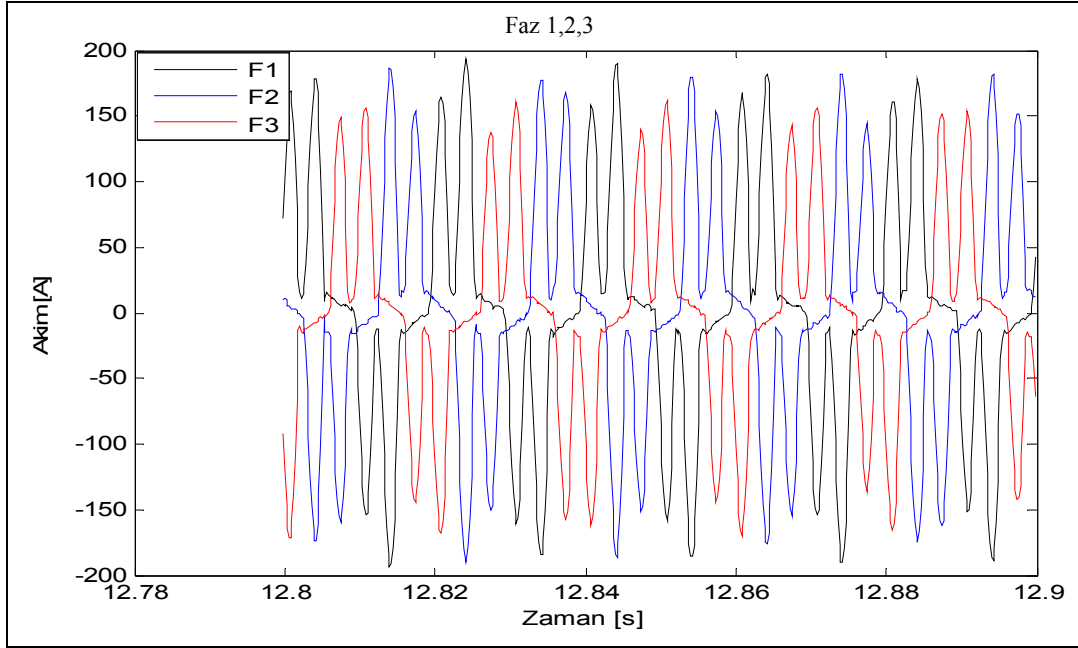
Şekil 5.5'de görüldüğü gibi etkin olan harmonikler 3., 5., 7., 11., 13., 17. ve 19. harmoniklerdir. 100 Hz frekanslı 2. harmonik değerinin etkisi geçiş bölgesinde görülmektedir. 720 Hz civarında tüm zamanlarda görülen frekans bilgisi ölçmedeki gürültü etkisi olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte gürültü etkisine benzer kötü veri etkileri de bu frekans civarında geçiş zamanından önce görülmektedir.



Şekil 5.5. Birinci faz akımının 0-1000 Hz arası frekansları için zaman-frekans değişimi

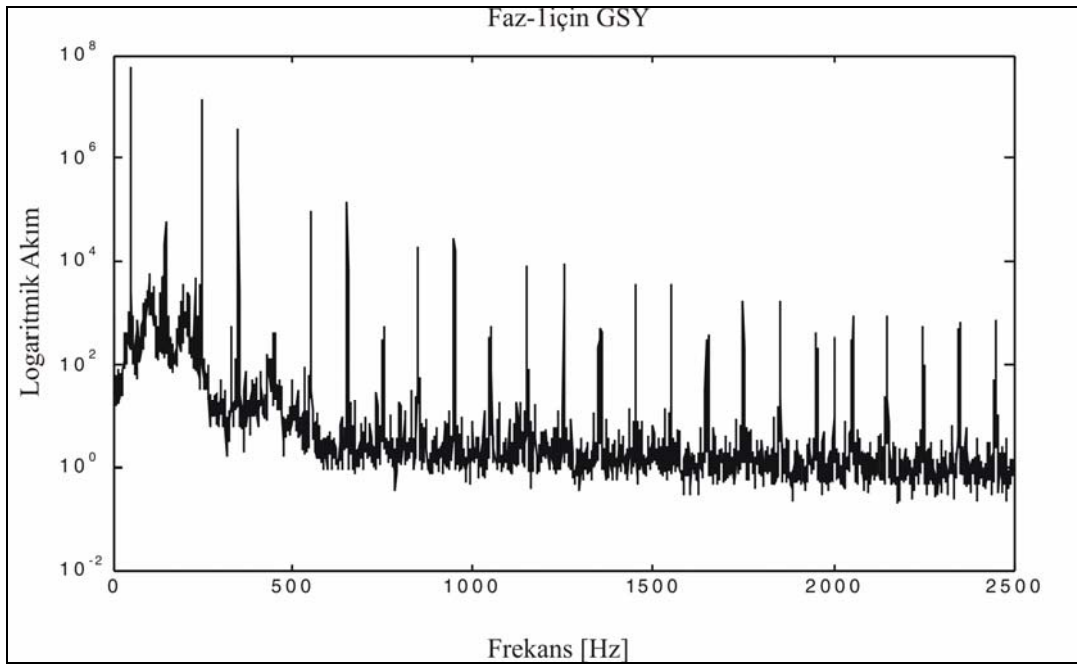
5.1.1. Tam yük şartlarında sabit durum

Bu bölgede motor akımının zaman ve frekans bölgelerindeki değişimleri görülmektedir. Şekil 5.6'da, tam yükte kısa süreli üç faz akım değişimleri görülmektedir.



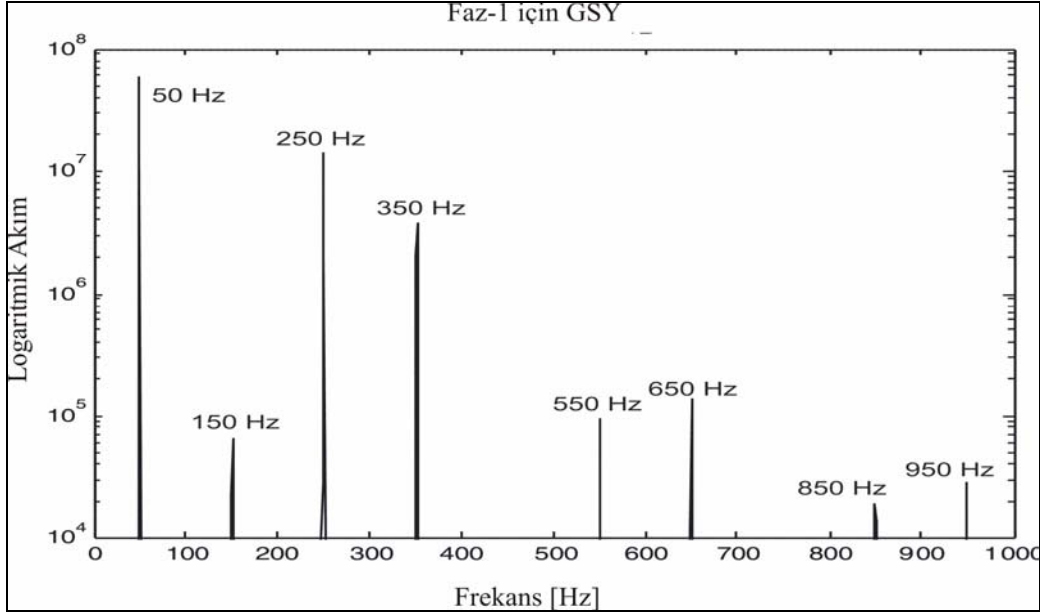
Şekil 5.6. Asenkron motorun tam yükteki akım değişimi

Şekil 5.7’de akım sinyalleri için çizdirilen güç spektrum yoğunluğu (Power Spectrum Density-PSD) görülmektedir. Burada 50. harmoniğe kadar olan tüm frekanslar görülmesine rağmen etkin frekanslar 19. harmoniğe kadardır.



Şekil 5.7. Tam yük altında, motor birinci faz akımının Güç Spektrum Yoğunluğu

Burada, anlamlı bir tanımlama yapabilmek için bir eşik değeri seçilmesi gerekmektedir. Bu gereksinimden hareketle eşik değeri logaritmik akım ekseninde 10^4 olarak seçilmesi durumunda oluşan 0-1000 Hz arasındaki harmoniklerin genlikleri Şekil 5.8’de gösterilmektedir.



Şekil 5.8. Birinci faz akımı için 0-1000 Hz arası harmonikler

Şekil 5.8’de etkin harmonik frekanslar olan 150, 250, 350, 550, 650, 850 ve 950 Hz değerleri ele alınmıştır. Bunlar sırasıyla 3., 5., 7., 11., 13., 17. ve 19. harmoniklerdir. Bölüm 2, formül 2.3 göz önüne alınarak akım sinyallerindeki her bir harmonik için THD değeri hesaplandığında Tablo 5.1’de verilen değerler elde edilir.

Tablo 5.1. Asenkron motor harmonik derecelerin hesaplanması

Harmonikler	Harmonik Oranı(%)
50 Hz, Temel frekans	100
150 Hz, 3. Harmonik	0,11
250 Hz, 5. Harmonik	23,99
350 Hz, 7. Harmonik	6,31
550 Hz, 11. Harmonik	0,16
650 Hz, 13. Harmonik	0,23
850 Hz, 17. Harmonik	0,032
950 Hz, 19. Harmonik	0,047

Tabloda en etkili harmonik seviyesi 5. harmoniktir. 7. harmonik seviyesi de diğer önemli bir seviyedir. Bunun anlamı 5. ve 7. harmonik değerleri, toplam harmonik bozulma (THD) seviyelerinin IEEE standartlarında belirtilen (IEEE-519-1992) kabul edilebilir %5 kritik seviyelerden daha üst değerlerdedir. Bu nedenle belirtilen harmoniklerin sisteme uygun filtre seçilerek süzülmesi gerekmektedir.

5.1.2. Evirici ile sürülen asenkron motor verileri için sonuçlar

Bu çalışma, evirici aracılığı ile sürülen bir asenkron motorun, şebekeden çekmiş olduğu akım ile gerilim bilgileri ışığında, oluşan harmonik seviyeleri ile bazı bozulma oranlarını tespit etmek için yapılmıştır. Bu amaçla iki örnek çalışma bölgesi oluşturulmuştur. Birincisi yavaş değişen yük altında çalışma, diğeri ise tam yük altında çalışmadır. Bu çalışmalar ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

1. Değişken yük şartlarında alınan akım sinyal verileri dört bölgeye ayrılmaktadır. Bunlar yüksüz bölge, geçiş bölgesi, geçiş bölgesi ile tam yük arası bölge ve tam yük bölgesidir.
 - Bu bölgeler, harmonik seviyelerini belirlemek için kullanılmaktadır.
 - Yüksüz durumda harmonik seviyeler görülmemektedir.
 - Geçiş bölgesinde baskın frekans, temel frekans olan 50 Hz'dir.
 - Tam yüke geçiş bölgesinde temel frekans ile özellikle 9. harmonik, 3. harmonik ile 13. harmonik arasındaki tüm frekanslar görülmektedir.
 - Tam yük bölgesinde, 3. harmonik ile 19. harmonikler arasında, 9. ve 15. harmonikler haricindeki tüm harmonikler görülmektedir.
2. Tam yük durumunda; eşik değerler olan 150, 250, 350, 550, 650, 850 ve 950 Hz frekanslar seçilmiştir. Bu değerler 3., 5., 7., 11., 13., 17. ve 19. harmoniklerdir. Bahsi geçen harmonik değerleri, geçiş durumundan tam yük durumu da dahil olmak üzere tüm çalışma şartlarında etkili olmaktadır.

Sonuç olarak, bu harmonik seviyeleri evirici kullanmanın sonucunda ortaya çıkan etkidir. Tam yüklü çalışmada toplam harmonik bozulma (THD) % 24.81 olarak bulunmuştur.

5.1.3. Etkin harmonikler için filtre hesabı

75 kW gücündeki asenkron motorun güç katsayısını 0,85'den 0,98'e çıkarmak için gerekli kondansatör kapasitesi:

$$Q_c = P.(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

olup,

$$Q_c = 75.(0,619 - 0,163) = 34,2 \text{ kVAr 'dır.}$$

Bu kapasite değeri, hem 5. harmonik, hem de 7. harmonik frekansları yok etmek için kullanılırsa her bir kademe için gerekli güç;

$$34,2/2=17,1 \text{ kVAr}$$

olur.

Çalışma gerilimi 440 Volt olan kondansatör seçildiğinde, kapasitif reaktans;

$$X_c = \frac{U^2}{X_c} = \frac{440^2}{17100} = 11,32 \Omega$$

bulunurken, kondansatör kapasitesi,

$$C = \frac{1}{2.\pi.f.X_c} = \frac{1}{2.\pi.50.11,32} = 281 \mu F$$

olarak bulunur.

5. Harmonik rezonans frekansı, şayet bobin manyetik nüveli olacaksa, uygulamalarda 210 Hz civarında seçilir. Hava nüveli bobinlerde rezonans frekansı harmoniğin kendi frekansında seçilir. Bundan maksat, 5. harmoniği baskın olan sistemde sistemi 5. harmoniğin frekansı olan 250 Hz de rezonansa getirirsek bu

durumda 5. harmoniğin bütün genliği kompanzasyon sistemine akacak, bu da kompanzasyon sistemine zarar verebilecektir. Bu yüzden filtre sistemi, sistemde mevcut olan baskın harmoniğin frekansına yakın frekanslarda rezonansa getirilmekte ve böylece sistemde baskın olan harmoniğin genliği önemli ölçüde azaltılmaktadır. Bu, baskın olmayan diğer harmonik mertebeleri üzerinde de etki göstereceğinden sistemdeki THB seviyesi önemli ölçüde düşecektir. Yukarıda bahsedilen, 5. harmonik için 210 Hz değerı zamanla uygulamadan kazanılan tecrübelerden elde edilmiş verilerdir [47].

Bu durumda kondansatörün reaktansı;

$$X_C = \frac{10^6}{2.\pi.210.281} = 2,698 \Omega$$

elde edilir.

210 Hz frekansta $X_C = X_L$ olacağından, bobinin endüktansı;

$$L = 2,04 \text{ mH}$$

olacaktır.

Tablo 2.8'den, bu ihtiyacı karşılayacak reaktör kayıp gücü 76 W. ve akım 23 A. seçilirse, reaktörün omik direnci;

$$R=0,145 \Omega$$

elde edilir.

7. harmonik için 320 Hz frekans, reaktör kayıp gücü 50 W. ve akım 20 A. göz önüne alınarak değerler hesaplandığında;

$$L=0,88 \text{ mH}$$

ve

$$R=0,125 \Omega$$

elde edilir.

5.2. İndüksiyon Fırını Verileri için Harmonik Analizi

Bu uygulama ise, Manisa ili Turgutlu ilçesinde bulunan TURÇELİK metal döküm firmasında, 630 kVA gücündeki bir transformatörden beslenen ve fabrikadaki döküm malzemelerinin eritildiği 3x380 V. girişli, 350 kVA gücündeki frekans çeviricisi ile çalışan iki adet metal ergitme potası bulunan 1000 Hz frekansla metal ergitme işlemi yapan sistem üzerinde yapılmıştır. Akım ve gerilim bilgileri, fırını besleyen panodaki termik manyetik şalter çıkışından alınmıştır. Oluşturulmuş sistem aracılığı ile indüksiyon fırınına besleyen üç faz akım ve gerilim sinyallerinin alınması için gerekli bağlantı Şekil 5.9’da görülmektedir.



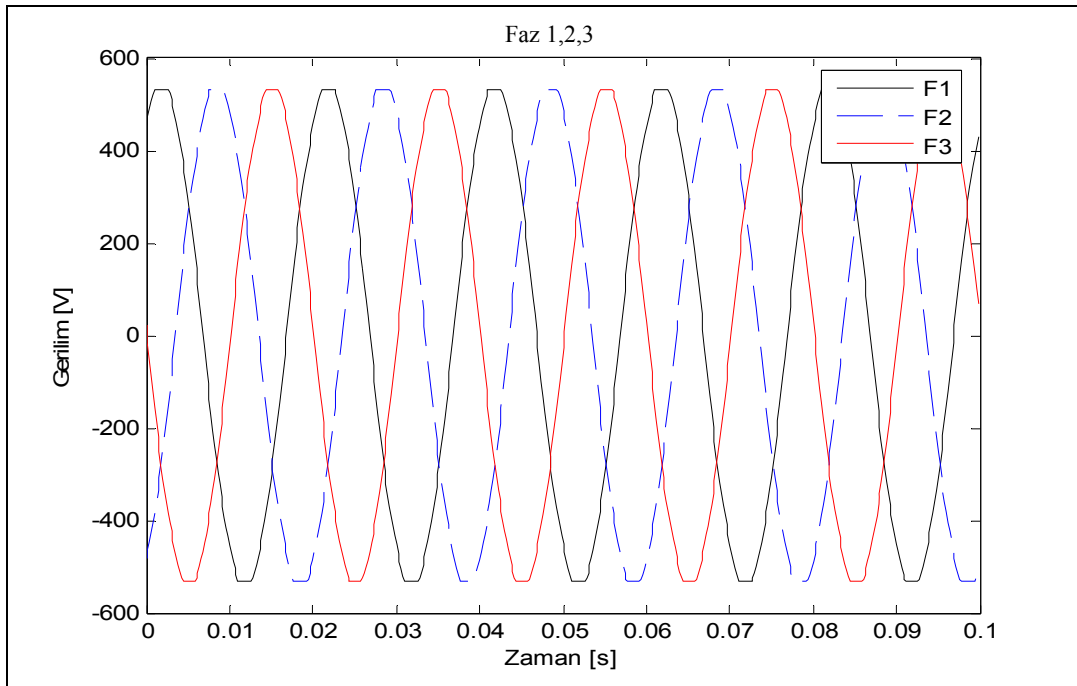
Şekil 5.9. İndüksiyon fırınının beslemesine ait yapılan ölçüm bağlantıları

5.2.1. Verilerin alınması, incelenmesi ve sonuçlar

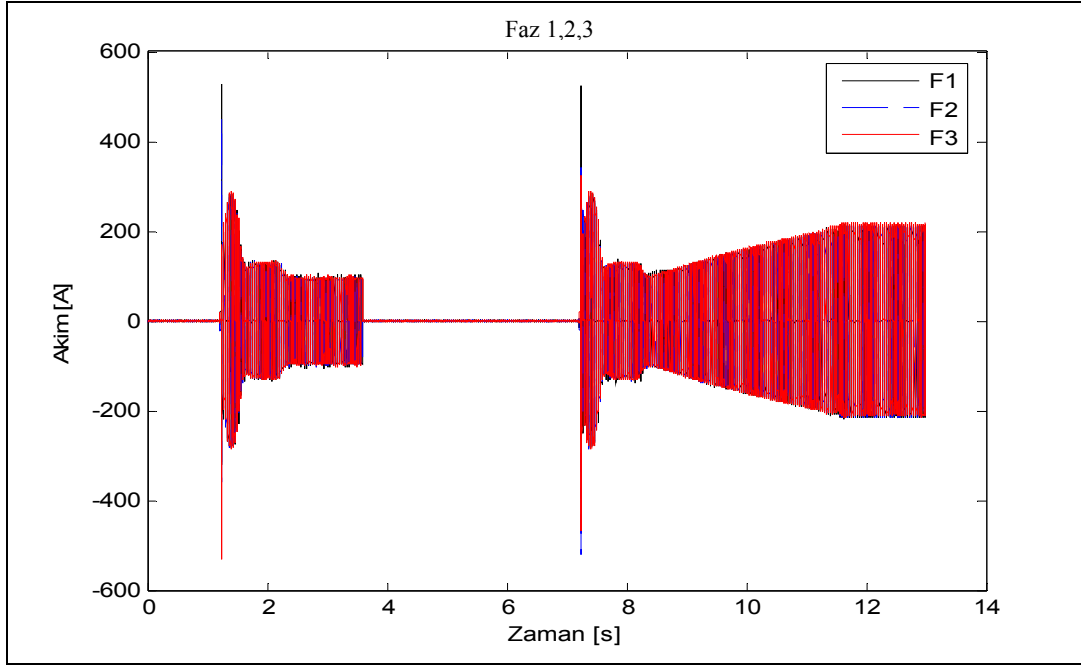
Veriler üç durum gerçekleştirilerek toplanmıştır. Bunlar indüksiyon fırınının ön ısıtma işlemi ile başlayıp, daha sonra tekrar çalışmaya başlaması ve tam yüke geçmesi sırasında adım adım değerlerin alınması şeklindedir.

5.2.2. Farklı yükler altındaki değişken durumlar

350 kVA gücündeki indüksiyon fırınının uç gerilimleri ve çektiği akım değerleri kaydedilmiştir. İndüksiyon fırınına ait üç faz geriliminin değişimi Şekil 5.10'da verilmektedir. Üç faz akımının değişiminin beş kısım olarak incelenmesi ile elde edilen değerler Şekil 5.11'de sunulmaktadır. İncelenen beş farklı kısım: fırının 0-1.2 s arası yüksüz çalışma, 1.2-3.6 s arası ilk çalışmaya geçiş, 3.6-7.2 s arasındaki yüksüz çalışma, 7.2-11.4 s arası tekrar çalışmaya başlayıp tam yüke geçiş, 11.4-13 s arasında tam yükle çalışma anlarıdır.

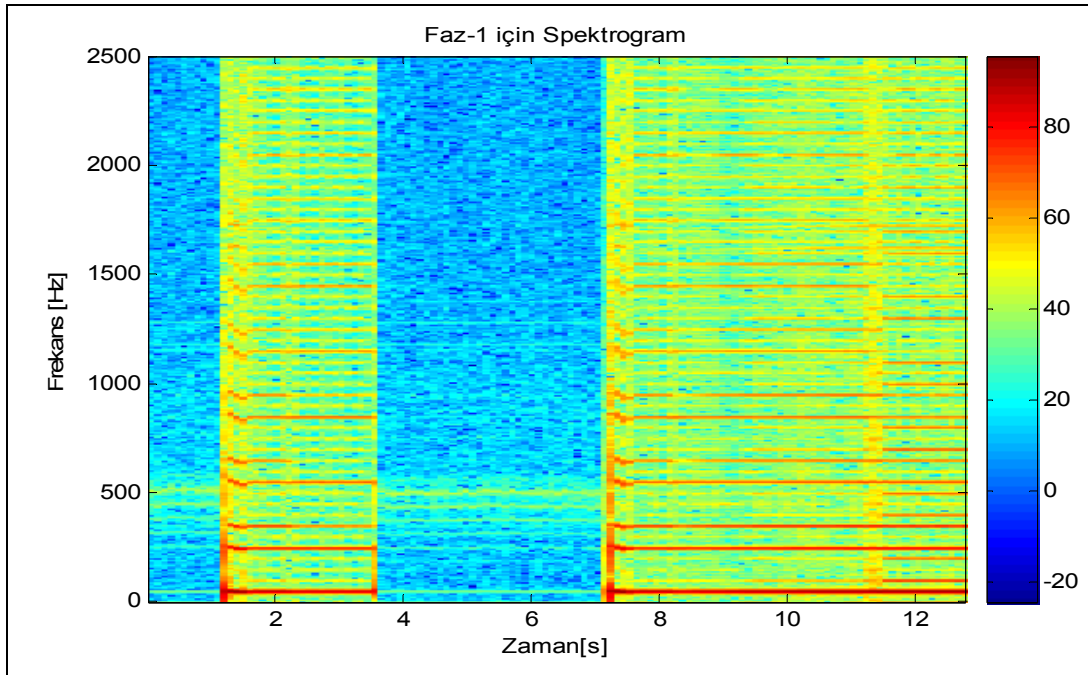


Şekil 5.10. İndüksiyon fırını beslemesine ait 3 faz gerilim genliklerinin değişimi



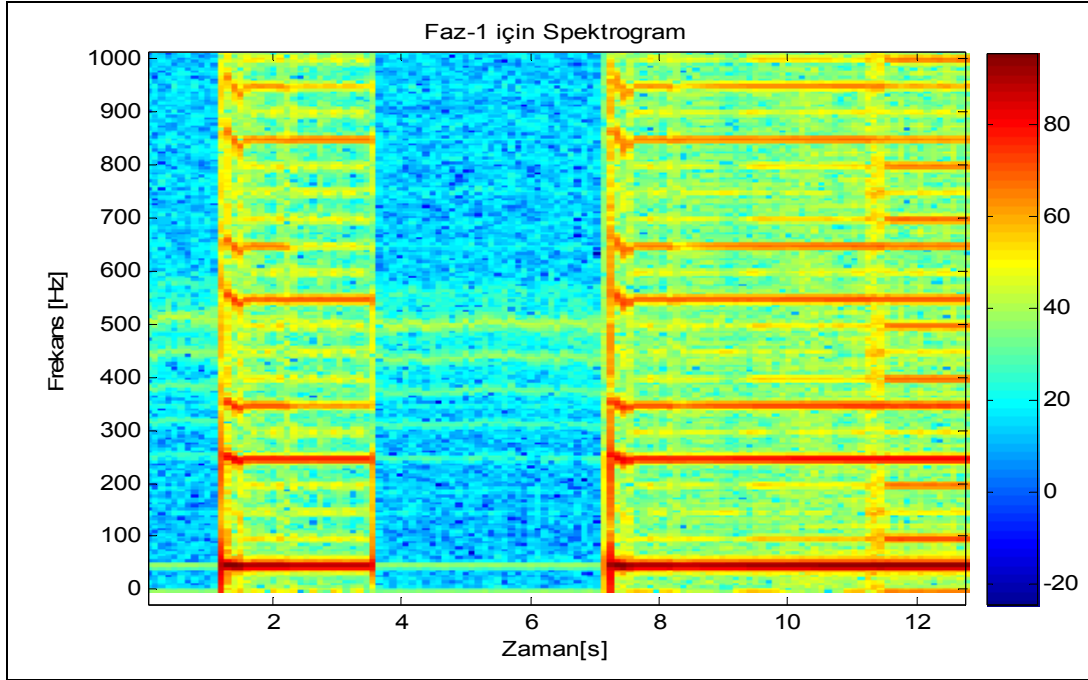
Şekil 5.11. İndüksiyon fırını beslemesine ait 3 faz akım verilerinin değişimi

Akım sinyallerindeki özellikler birbirine benzer varsayılarak birinci faz akım değerleri kullanılarak spektral analiz yapılarak elde edilen ilgili spektrogram Şekil 5.12'de sunulmaktadır.



Şekil 5.12. Birinci faz akımına ait zaman-frekans değişimi

Şekil 5.12’de, 11.4 ile 13 s arasındaki tam yük altında en baskın harmonik değerleri görülmektedir. Burada 5, 7, 11, 13, 17 ve 19. harmonikler etkindir. Bununla birlikte çalışma durumlarının hepsinde 50 Hz frekanslı temel dalga görülmektedir. Tam yük durumunda 0 ile 1000 Hz arasındaki frekans değerleri Şekil 5.13’de görülmektedir.

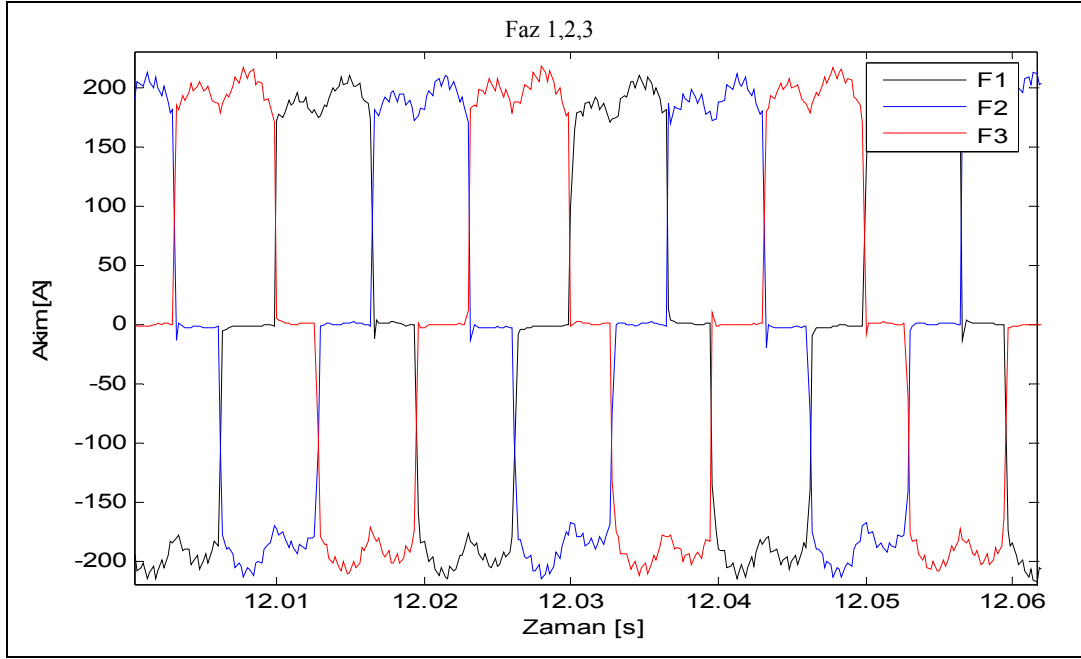


Şekil 5.13. Birinci faz akımına ait 0-1000 Hz arası zaman-frekans değişimi

Şekil 5.13’de etkin olan frekanslar, temel frekans olan 50 Hz ile 5., 7., 11., 13., 17. ve 19. harmoniklerdir. 100 Hz frekanslı 2. harmonik ile 200 Hz frekanslı 4. harmonik değerinin küçük etkisi de görülmektedir.

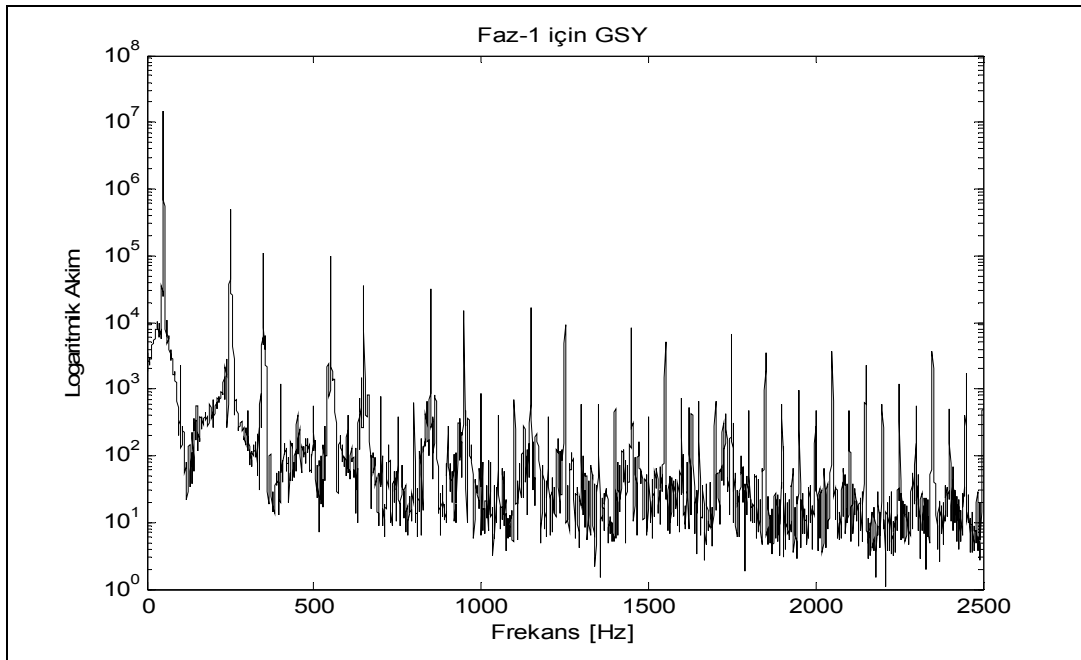
5.2.3. Tam yük şartlarında sabit durum

Bu bölgede indüksiyon fırını akımının zaman ve frekans bölgelerindeki değişimleri görülmektedir. Tam yükte kısa süreli üç faz akım değişimleri Şekil 5.14’deki gibidir.



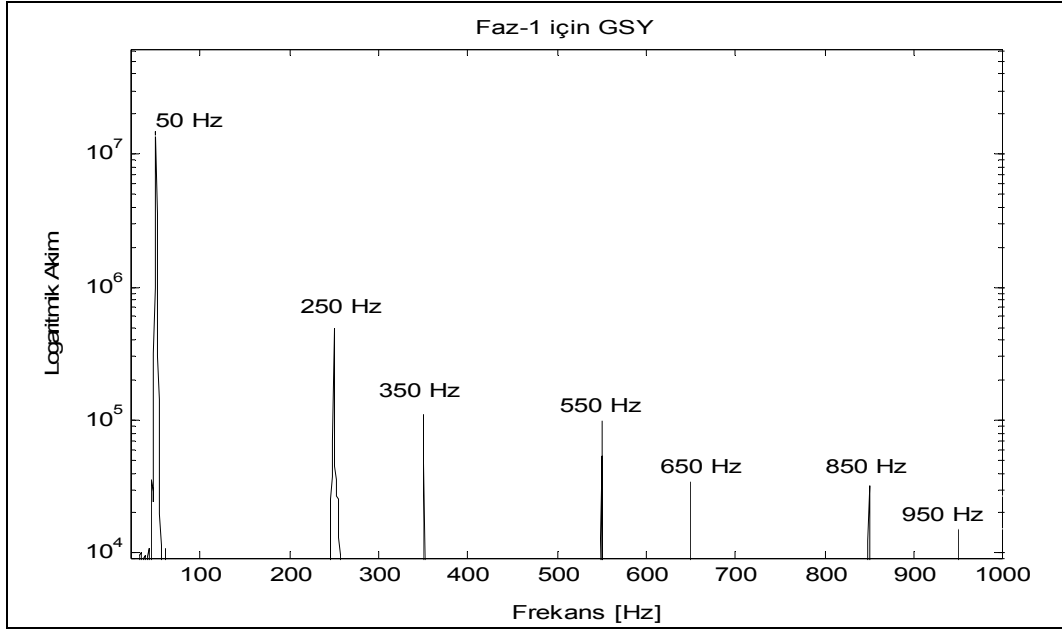
Şekil 5.14. İndüksiyon fırınının tam yükteki akım değişimi

Şekil 5.15’de indüksiyon fırınına ait akım sinyali için çizdirilen Güç Spektrum Yoğunluğu (GSY) grafiği görülmektedir. Burada 5. ile 49. harmonikler arasında, etkin frekans değeri; 5. ile 19. harmoniklere tekabül eden frekanslardır.



Şekil 5.15. Tam yük altında, indüksiyon fırınının birinci faz akımı için GSY

Burada, anlamlı bir tanımlama yapabilmek için benzer şekilde bir eşik değeri göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bu gerçekten hareketle eşik değeri logaritmik akım ekseninde 10^4 seçilmesi durumunda oluşan durum, Şekil 5.16'da sunulmaktadır.



Şekil 5.16. Birinci faz için seçilmiş GSY eşik değerlerinin 0-1000 Hz arası büyütülmüş şekli

Şekil 5.14'te etkin harmonik frekanslar olan 250, 350, 550, 650, 850 ve 950 Hz değerleri ele alınmıştır. Bunlar sırasıyla 5., 7., 11., 13., 17. ve 19. harmoniklerdir. Bu nedenle, bu harmoniklerin geçiş durumunda ortaya çıktığı Şekil 5.13'de, bazı önemli harmonik seviyeleri de Tablo 5.2'de görülmektedir. THD ise benzer yöntemle %4 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.2. İndüksiyon fırını harmonik derecelerinin hesaplanması

Harmonikler	Harmonik Oranı(%)
50 Hz, Temel frekans	100
250 Hz, 5. Harmonik	6,3
350 Hz, 7. Harmonik	1
550 Hz, 11. Harmonik	1
650 Hz, 13. Harmonik	< 1
850 Hz, 17. Harmonik	< 1
950 Hz, 19. Harmonik	< 1

Tabloda en etkili harmonik seviyesi 5. harmonik olup bu değer, toplam harmonik bozulma (THD) seviyesinin IEEE standartlarında belirtilen (IEEE-519-1992) kabul edilebilir % 5 kritik seviyelerden daha üst değerlerdedir. Bu nedenle 5. harmonik, uygun donanımlarla filtre edilmelidir.

5.2.4. İndüksiyon fırını verileri için sonuçlar

Bu çalışma, bir frekans çeviricisi aracılığı ile sürülen bir indüksiyon fırınının, şebekeden çekmiş olduğu akım ile gerilim bilgileri ışığında, oluşan harmonik seviyeleri ile bazı bozulma oranlarını tespit etmek için yapılmıştır. Bu amaçla iki örnek çalışma bölgesi oluşturulmuştur. Bunlardan birincisi yavaş değişen yük altında, diğeri ise tam yük altındadır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen aşağıda özetlenmektedir.

1. Değişken yük şartlarında alınan akım sinyal verileri dört bölgeye ayrılmaktadır. Yüksüz bölge, geçiş bölgesi, geçiş bölgesi ile tam yük arası bölge ve tam yük bölgeleridir.

- Bu bölgeler, harmonik seviyelerini belirlemek için kullanılmıştır.
- Yüksüz durumda harmonik seviyeler görülmemektedir.
- Geçiş bölgesinde baskın frekans, temel frekans olan 50 Hz'dir.
- Tam yüke geçiş bölgesinde temel frekans ile özellikle 5. harmonik ile 19. harmonik arasındaki tüm frekanslar görülmektedir.
- Tam yük bölgesinde, 5. harmonik ile 19. harmonikler arasında, 9. ve 15. harmonikler haricindeki tüm harmonikler görülmektedir.

2. Tam yük durumunda; eşik değerler olan 250, 350, 550, 650, 850 ve 950 Hz frekanslar seçilmiştir. Bu değerler 5., 7., 11., 13., 17. ve 19. harmoniklerdir. Bu harmonik değerleri geçiş durumundan tam yük durumu da dahil olmak üzere tüm çalışma şartlarında etkili olmaktadır.

Sonuç olarak, bu harmonik seviyeleri, yüksek frekans çeviricisi kullanmanın sonucunda ortaya çıkan etkidir. Tam yüklü çalışmada THB değeri %4 olarak hesaplanmıştır.

5.3. İndüksiyon Fırınlarında Yapay Sinir Ağı Tabanlı Harmonik İzleme Sistemi

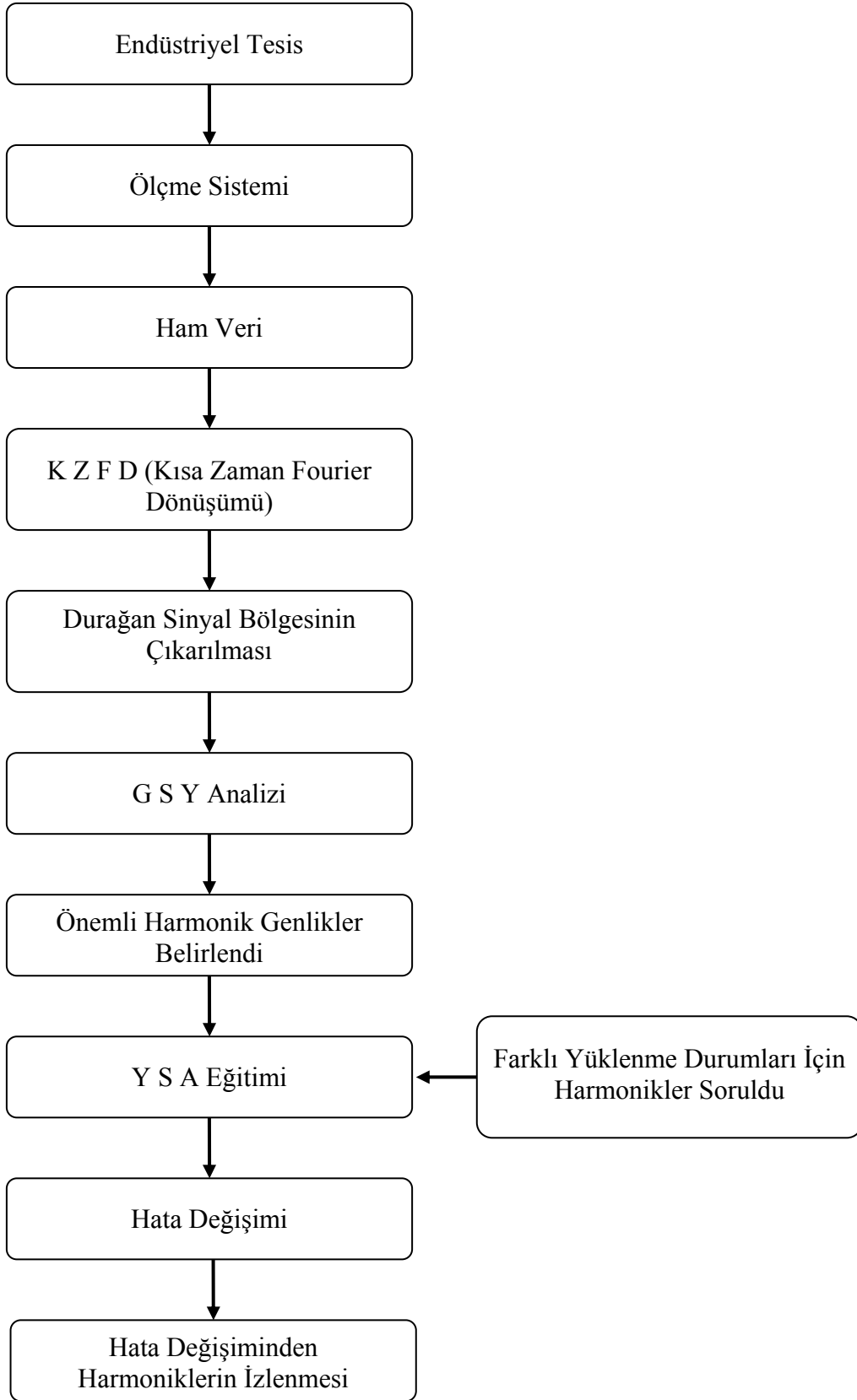
Tez çalışmasında kullanılan YSA tabanlı akıllı izleme sistemi için tasarlanan modele ait akış şeması Şekil 5.17’de verilmiştir.

YSA’nın eğitim sürecinde, indüksiyon fırınının tam yüklenme bölgesinde yer alan ham verisi (durağan çalışma bölgesi), ön işlemeye tâbî tutulup, bu kısmın GSY hesaplanmıştır. Bunun sonucunda, durağan çalışma bölgesindeki önemli harmonikler belirlenmiştir.

GSY’nun bu değişimleri YSA’ya öğretilip, sistemin normal durumunu temsilen hatası minimize edecek şekilde eğitilmiş ve çıkış düğümlerinde daha önceden belirlenen harmoniklerin genlikleri üretilmiştir.

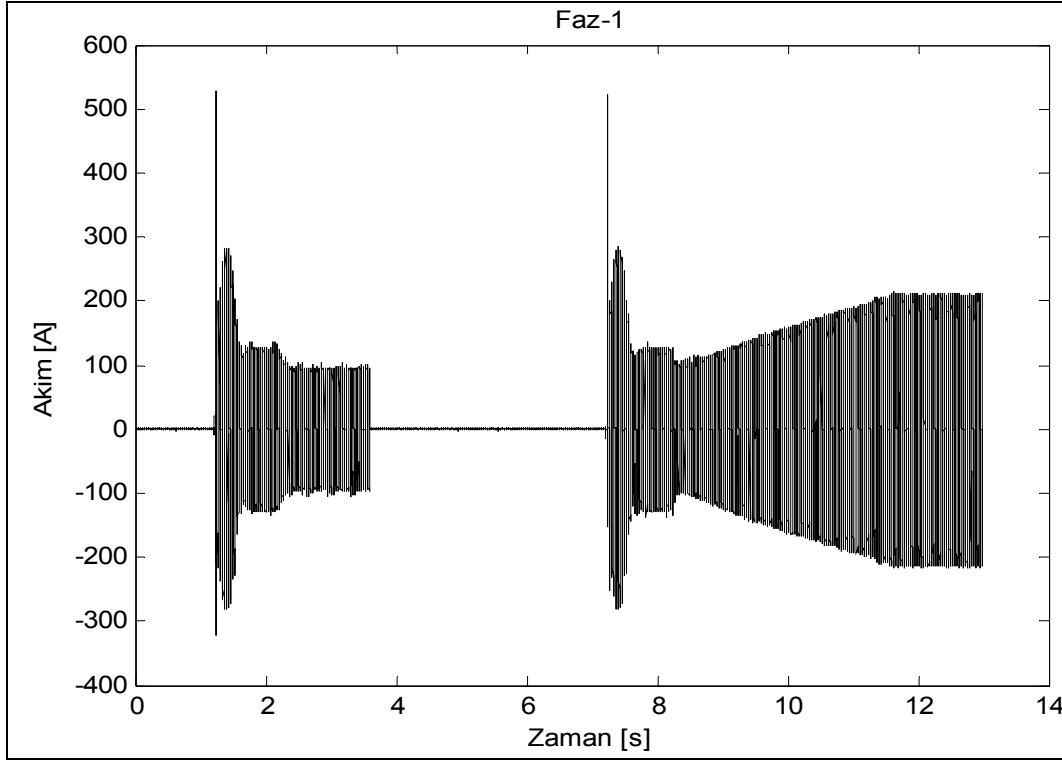
Bundan sonra, normal durumu öğrenen YSA’ya, öğrenmediği duruma ilişkin farklı yüklenme bölgeleri için harmonik frekanslarındaki genlik değişimlerinin bilgileri çıkartılmıştır.

Bu şekilde YSA, harmoniklerin izlenmesi ve farklı fiziksel durumları belirlemede yapay takipçi olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.17. Akıllı izleme sistemi akış şeması

YSA ile gerçekleştirilen “Akıllı İzleme Sistemi”nde, 19x5x19 büyüklüğünde bir YSA tasarlanmış olup, kullanılan indüksiyon fırını verileri, ham veri olarak aşağıda gösterilmiştir. Şekil 5.18, indüksiyon fırınına ait trafo beslemesi çıkışından alınan 5000 veri/s’lik örnekleme hızı ile toplanmış 13 s’lik veri grafiğidir.

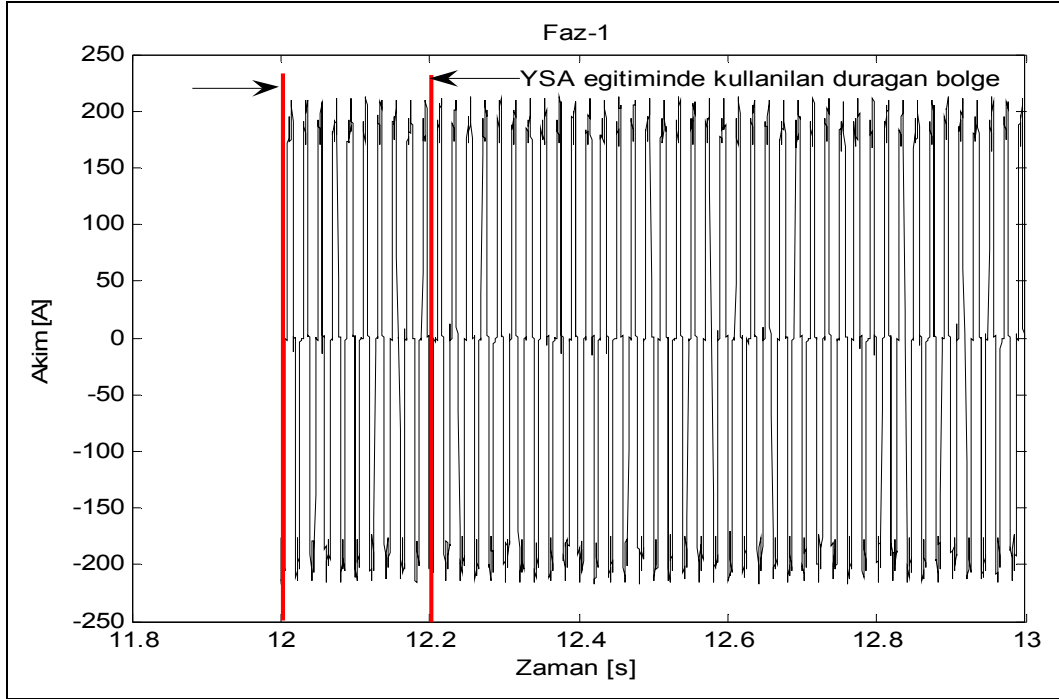


Şekil 5.18. İndüksiyon fırını akım verileri

Bu verinin 7-13 s’leri arasındaki yük arttırma sürecinde, durağan özellikler, 12. ve 13. s’ler arasında görüldüğü için, bu kısım, eğitim kümesinde kullanılmak üzere belirlenmiştir.

5.3.1. Eğitim setinin oluşturulması

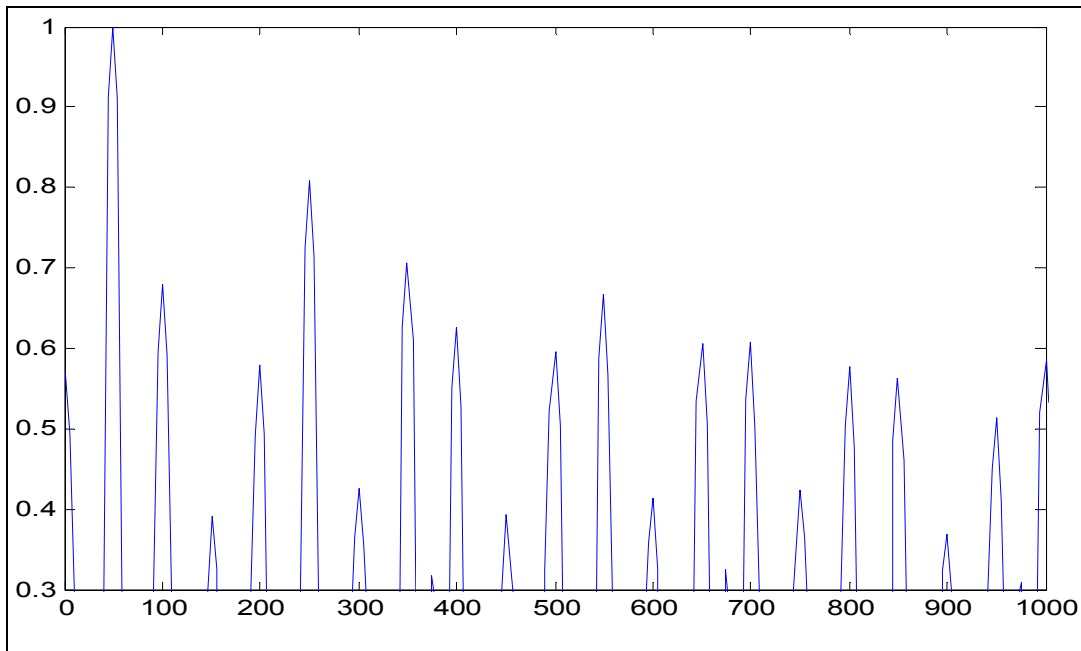
Eğitim için kullanılan veri (eğitim seti); 60.000 ile 65.000’nci verileri kapsayan ve 12-13 s aralığına karşılık gelen çalışma bölgesinde, 12-12.2 s arasındaki verilerdir. Çünkü 12-13 s aralığındaki bu bölgede, akım harmonikleri durağan özellik göstermektedir. Bu durumlar Şekil 5.19’da gösterilmiştir.



Şekil 5.19. YSA eğitiminde kullanılan duragan çalışma bölgesine ait veri kümesi

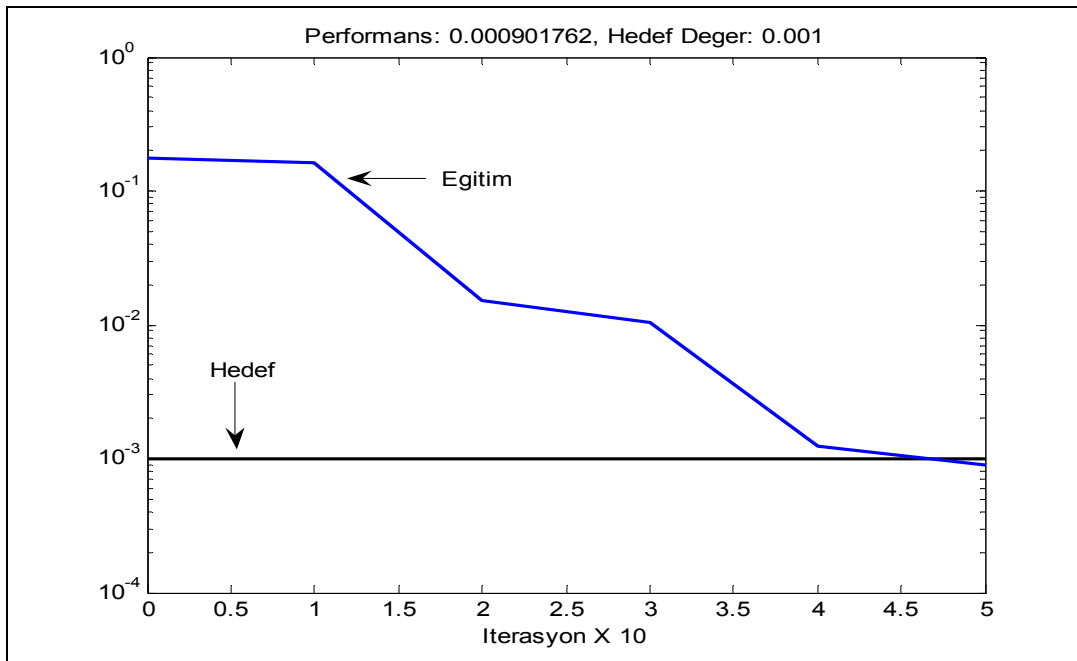
Bu nedenle, $19 \times 5 \times 19$ büyüklüğündeki (topolojisindeki) YSA, giriş ve çıkış verileri aynı olacak şekilde öz-ilişkili (**auto-associative**) bir YSA biçiminde eğitilmiştir. Bu şekilde giriş verisi 1000'erlik veri blokları şeklinde 5 bloğa ayrılmış olup, bunların normalize güç spektrum yoğunlukları (NGSY), 0-1000 Hz ve logaritmik genliği 0.3 eşik değerinin üzerinde seçilerek frekans tanım bölgesindeki örüntüler (patterns) tanımlanmıştır. Bununla ilgili bir örüntü örneği 12 ile 12.2 s'leri arasında aşağıdaki gibi şekil 5.20'de gösterilmiştir.

Şekil 5.20'de gösterilen verinin genlik değerleri ile eğitilen YSA, 50 iterasyon sonucunda seçilen hedef hata değeri 0.001'e ulaşarak, eğitimini akımın duragan bölgesi için tamamlamıştır.

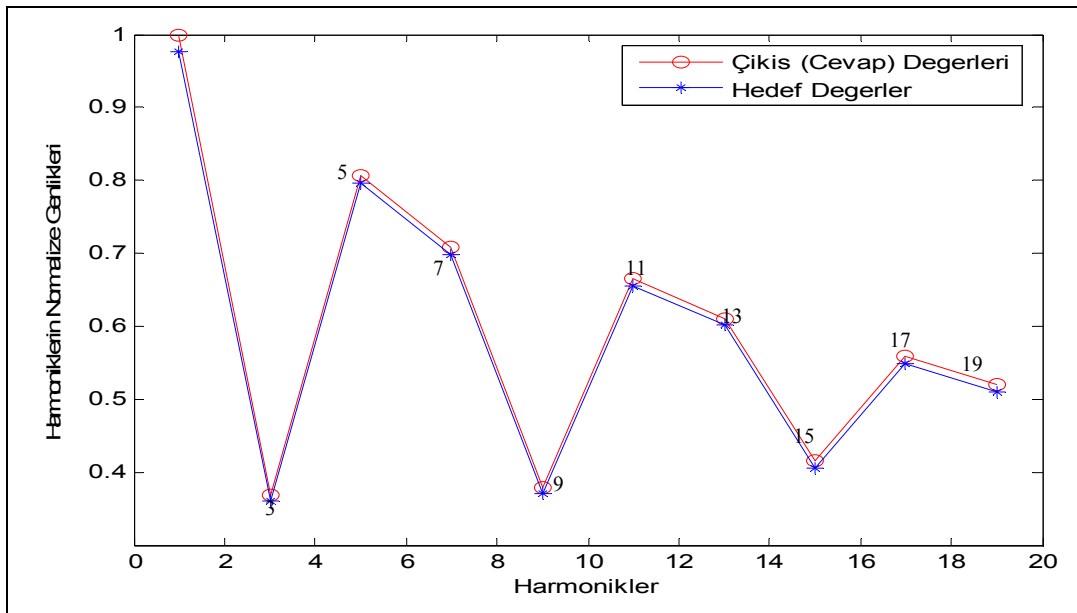


Şekil 5.20. YSA'nın eğitiminde kullanılan giriş/çıkış(hedef) verisi

YSA'nın eğitim sürecinin hata değişimi ve hedef hataya ulaşma performansı Şekil 5.21'de gösterilmiştir.

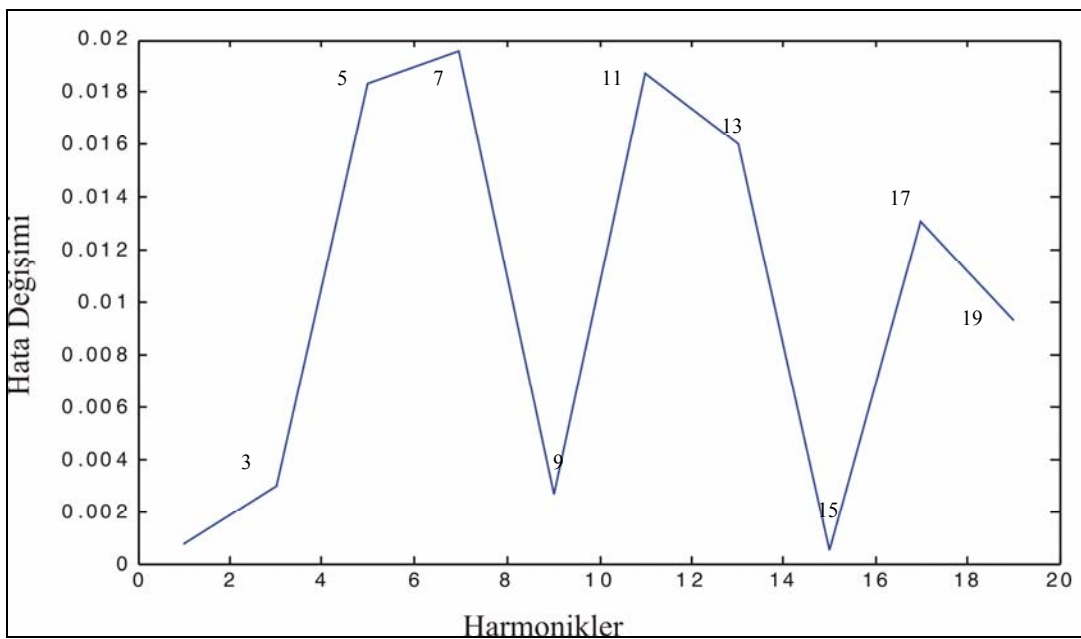


Şekil 5.21. YSA'nın eğitim performansı



Şekil 5.22. YSA'nın eğitim sürecinde gerçek veri ile uyumlu çıkış değişimi

Bu bağlamda YSA'nın Şekil 5.21'de gösterilen performans ölçütüne göre öğretilen veriye karşılık ürettiği çıkış değişimi aşağıdaki Şekil 5.22'de gösterilmektedir. Harmoniklerin gerçek değerleri ile YSA çıkış bilgisi arasındaki hatalar Şekil 5.23'de görülmektedir. Bu şekle göre yatay eksen harmonikler, dikey eksen hata değişimi olup, bu değer %2 ve %0,2'lik bir aralıkta değişim göstermektedir.



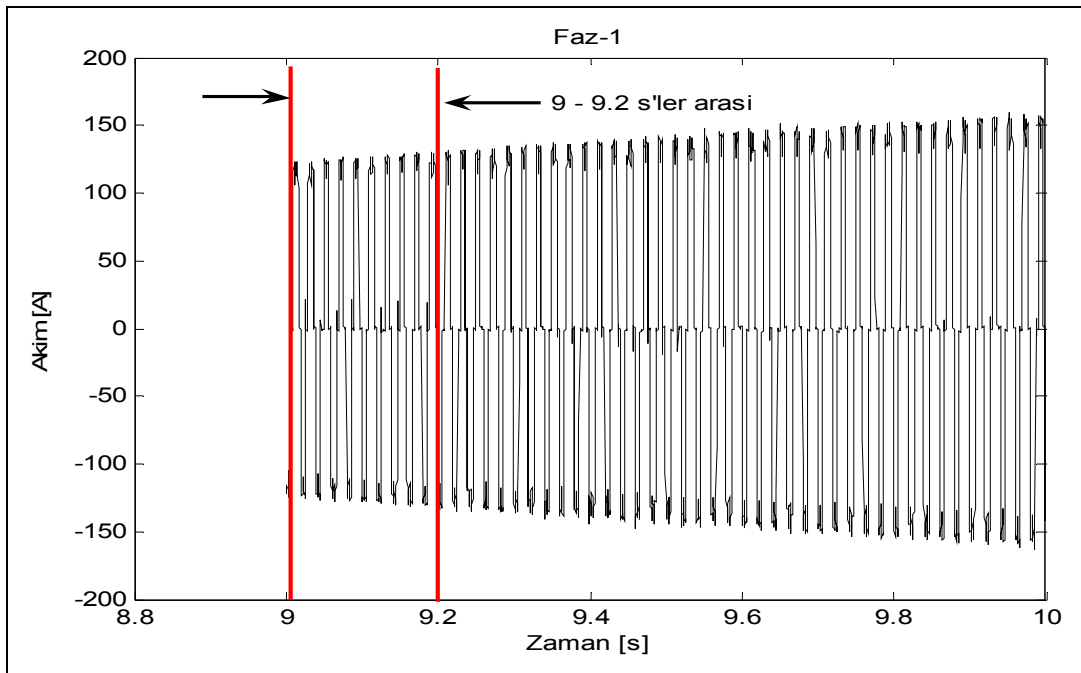
Şekil 5.23. YSA'nın eğitim sürecindeki hata değişimi

5.3.2. Eğitilen YSA'nın farklı verilerle test edilmesi

Eğitilen YSA, 3 değişik bölge verileri ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar her bölge için aşağıda ayrı ayrı incelenmiştir.

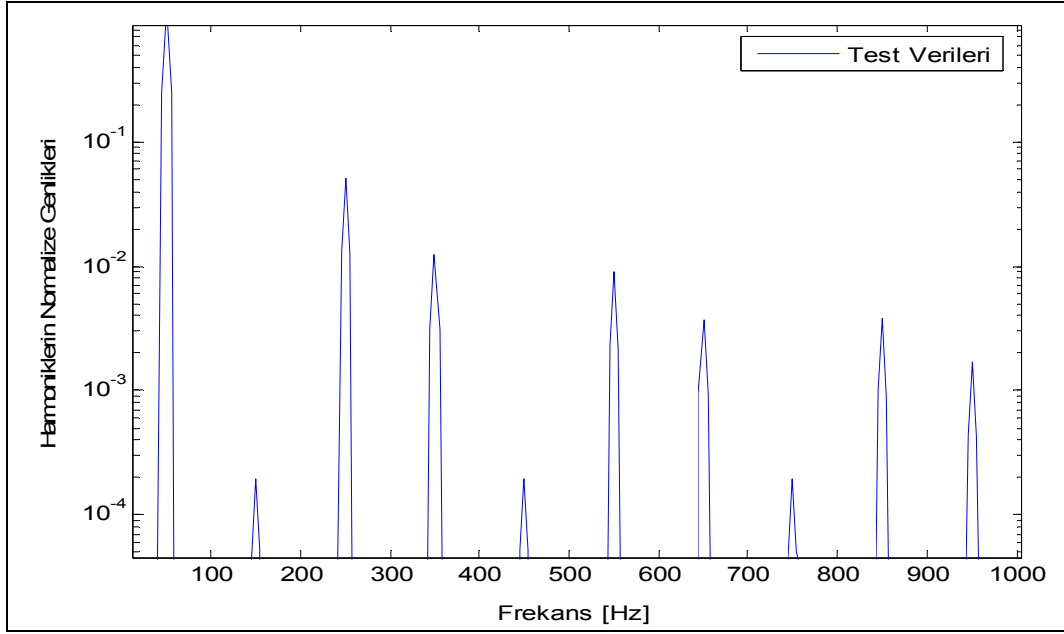
5.3.2.1. YSA'nın 1. bölge için test edilmesi (9-9.2 s arası)

Eğitim sürecini tamamlayan YSA, test sürecinde aynı verinin eğitiminin dışında durağan olmayan bölgesinde 45000-46000 (9-9.2 s) verileri arasında seçilerek farklı durumda YSA'nın öğrenmediği bir duruma karşı vereceği cevabın hata değişiminden harmonik izlemesi yapılmıştır. Şekil 5.24'de bu veri aralığının içinde yer aldığı akım bilgisinin değişimi görülmektedir.



Şekil 5.24. Eğitilen YSA'nın test edilmesi için seçilen veri aralığı (9-9.2 s arası)

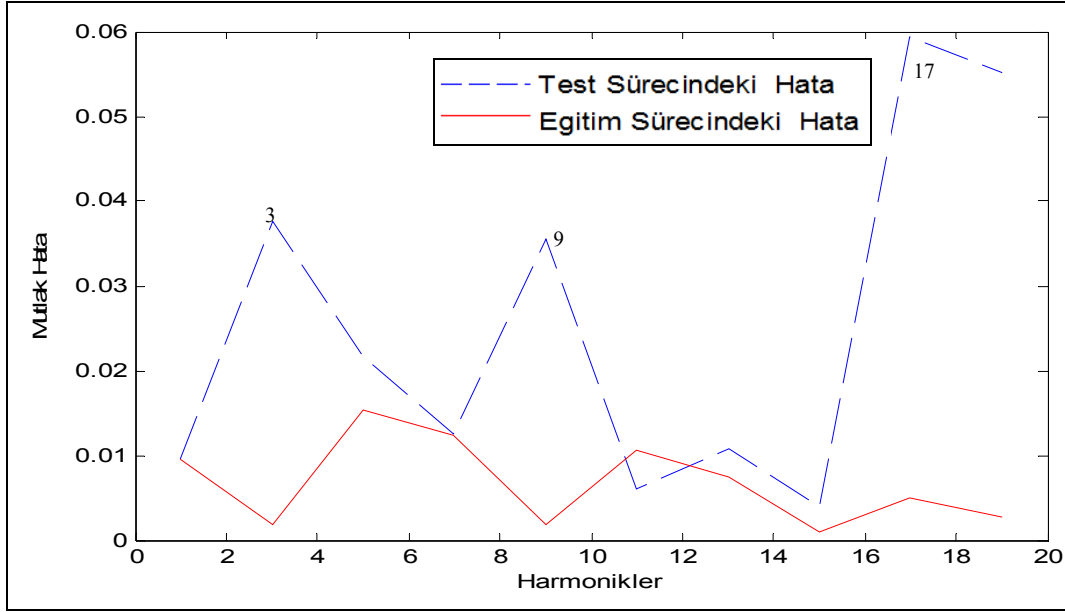
Testte kullanılan verinin normalize güç spektrumu yoğunluğu değişimi Şekil 5.25'de gösterilmiştir.



Şekil 5.25. 9-9.2 s'ler arası test verilerinin normalize GSY değerleri

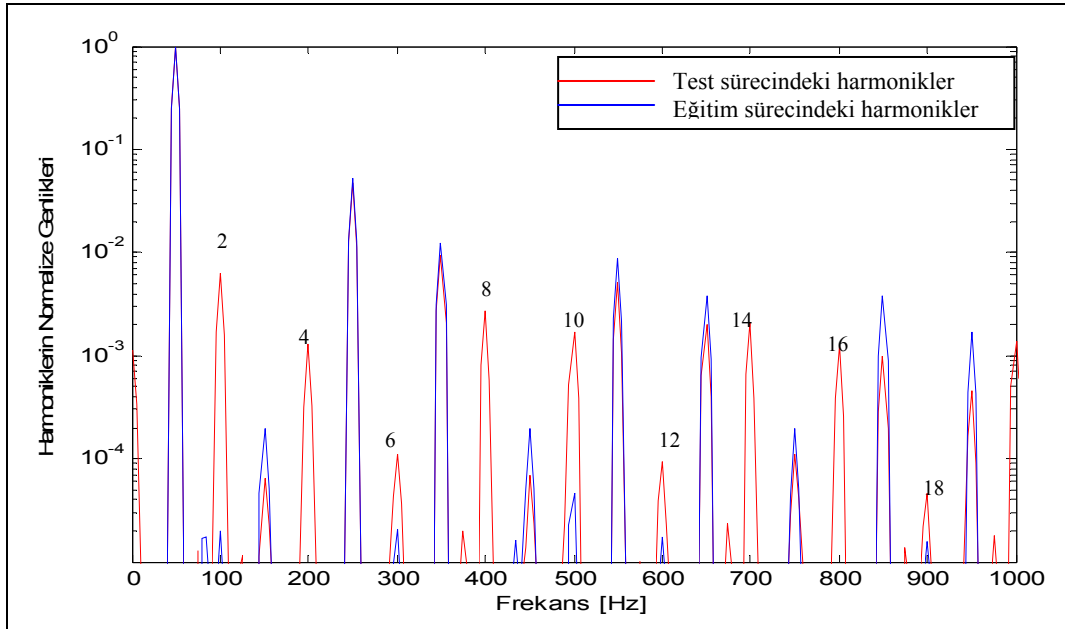
Buradan görüleceği gibi test verisi tek harmonikleri içermektedir. Test edilen veriye karşı YSA'nın üreteceği hata değişimi karşılaştırmalı olarak Şekil 5.26'da verilmiş olup, burada eğitim sürecindeki hata değişimi ile YSA'nın öğrenmediği bir veri girişine karşı ürettiği hata değişimi gösterilmektedir.

Buradaki büyük değişimler tek harmonikler etrafında gözlemlense de, bu değişimler aslında çift ve tek harmoniklerdeki değişimlerin her ikisini de içermektedir. Yani değişim hassas değildir. Ancak YSA sistemi Şekil 5.25'deki test verisindeki tek harmonik özelliğini hata değişimindeki gibi 3., 9. ve 17. harmoniklerle (tek harmoniklerle) takip edebilmektedir.



Şekil 5.26. YSA'nın eğitim ve sorgulama süreçlerine ilişkin hata değerleri

Şekil 5.26'da görüleceği gibi özellikle 3, 9 ve 17.ci harmoniklerde büyük değişimler gözlemlenmektedir. Bu ise sorgulanan verinin akım sinyalindeki fiziksel karşılığının bir özelliğini göstermektedir. Ancak buradaki değişim hassasiyeti tüm harmonikleri içermemektedir. Yani değişimin çözünürlüğü iyi değildir.

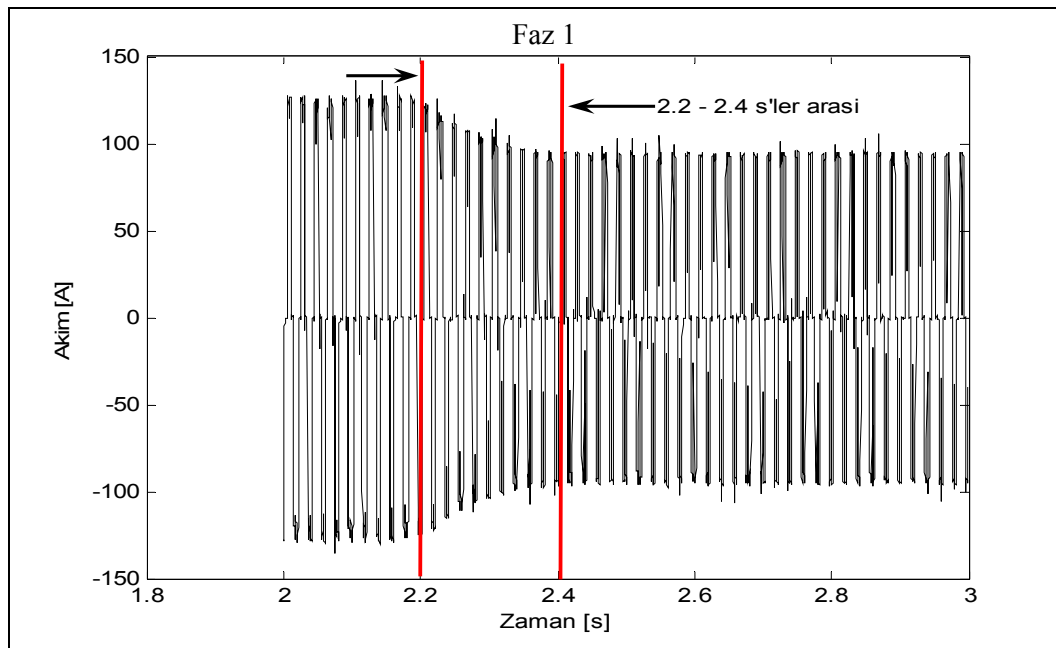


Şekil 5.27. Eğitilen ve sorgulanan harmoniklerin güç spektrumu yoğunlukları

Bunun yerine Şekil 5.27'deki gibi eğitim/test sinyalleri arasındaki değişimler incelenirse çift harmoniklerin büyük değişimler gösterdiği gözlemlenir. Bu da indüksiyon fırınlarının fiziksel bir karşılığıdır. Çünkü indüksiyon fırını durağan modda çok yüksek genlikli çift harmonikler içermektedir. Bu nedenle geçici durum ve durağan durum arasındaki fark çift harmoniklere dayanmaktadır.

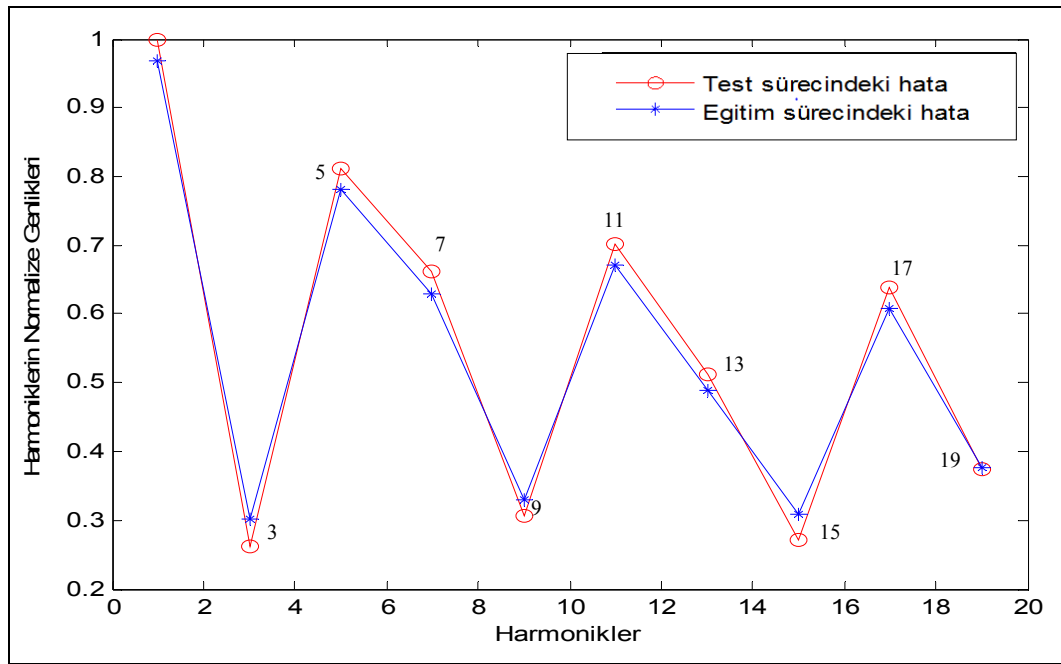
5.3.2.2. YSA'nın 2. bölge için test edilmesi (2.2-2.4 s arası)

Bu kısımda veri aralığı 11000-12000 (2.2 s – 2.4 s arası) olan duruma ilişkin inceleme yapılmıştır. Şekil 5.28'de bu veri aralığının içinde yer aldığı akım bilgisinin değişimi görülmektedir.

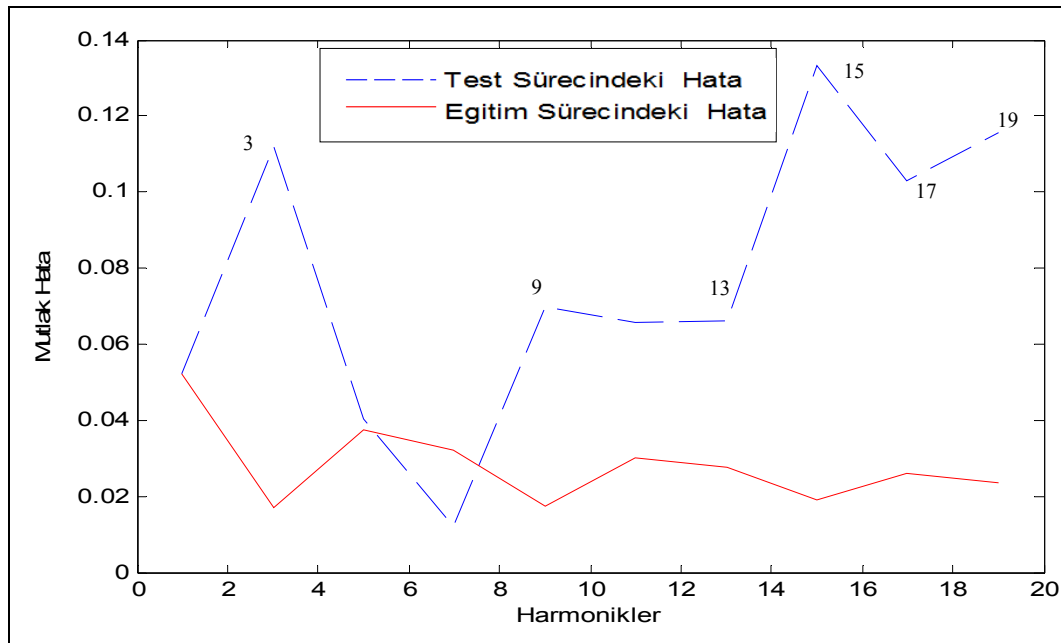


Şekil 5.28. Eğitilen YSA'nın test edilmesi için seçilen veri aralığı (2.2-2.4 s arası)

Şekil 5.29'da ise gerçek veriler ile YSA'nın ürettiği çıkış değerleri gösterilmektedir. Burada, durağan bölge olan 12-12.2 s'leri aralığındaki veri ile eğitilen YSA'nın, 2.2-2.4 s'leri arasındaki veri aralığında yapılan sorgulamasında başarılı sonuçlar alınmıştır.



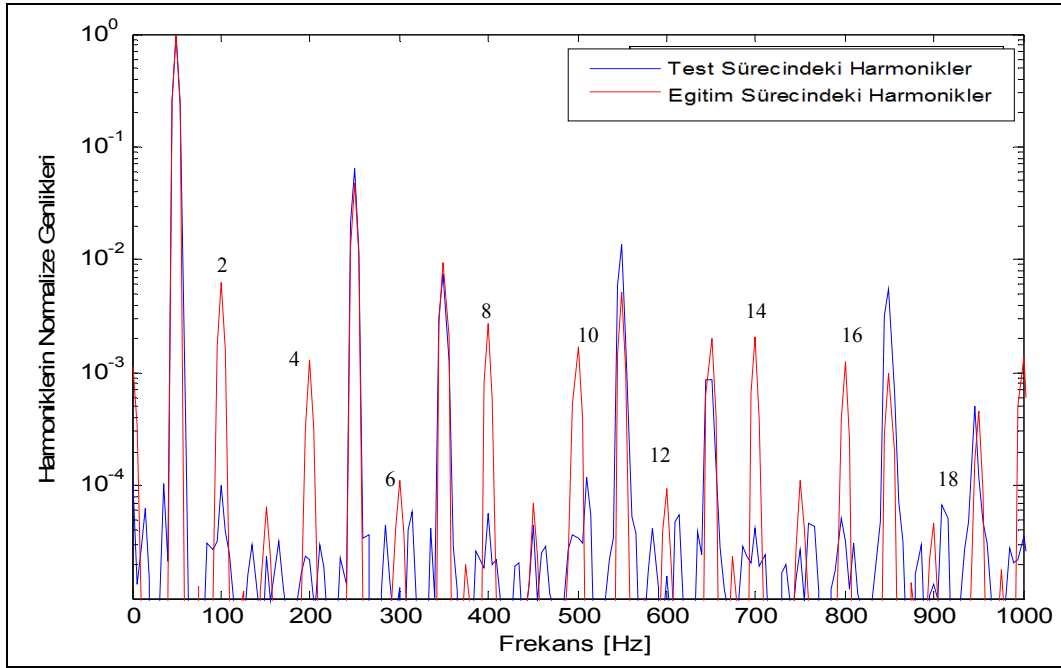
Şekil 5.29. Öğretilen veriye karşılık sorgulanan aralık için YSA'nın ürettiği çıkış değişimi



Şekil 5.30. Eğitilen ve sorgulanan verinin hata farkı

Şekil 5.30'da, eğitilen veri ile sorgulanan veri arasındaki hata farkı görülmektedir. Burada en büyük hata oranları 3., 9., 13., 15. 17. ve 19. harmoniklerde görülmektedir. 3. ve 15. harmoniklerde hata oranı % 13 civarında olmasına karşılık diğerlerinde hata oranı % 10'dan küçük olmaktadır. Bu da bize YSA eğitiminin

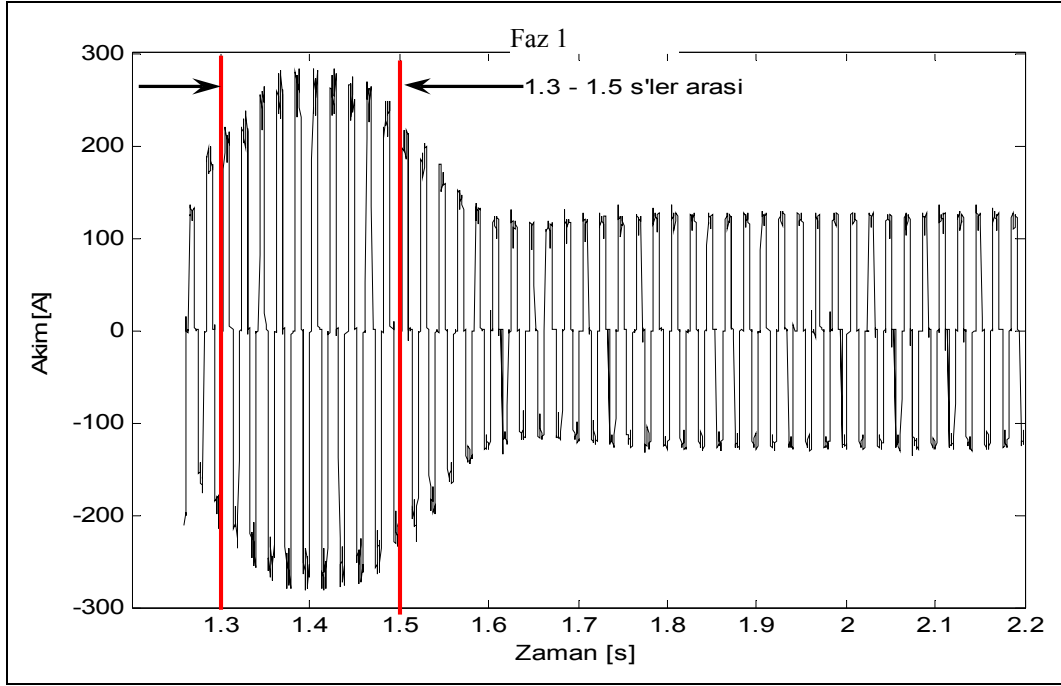
oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Ancak bu hata değişimi de önceki uygulama gibi kabaca bir değişimi gösterip daha çok tek harmonikler ve onun civarındaki çift harmoniklerde ortaya çıkmaktadır. Bu hassas bir saptama değildir. Ama yine de harmonik değişiminin varlığını göstermektedir. Bunun yerine Şekil 5.31'deki gibi harmonik frekanslar karşılaştırılırsa çift harmoniklerin yine baskın olduğu görülür.



Şekil 5.31. Eğitilen ve sorgulan harmoniklerin güç spektrum yoğunluğu

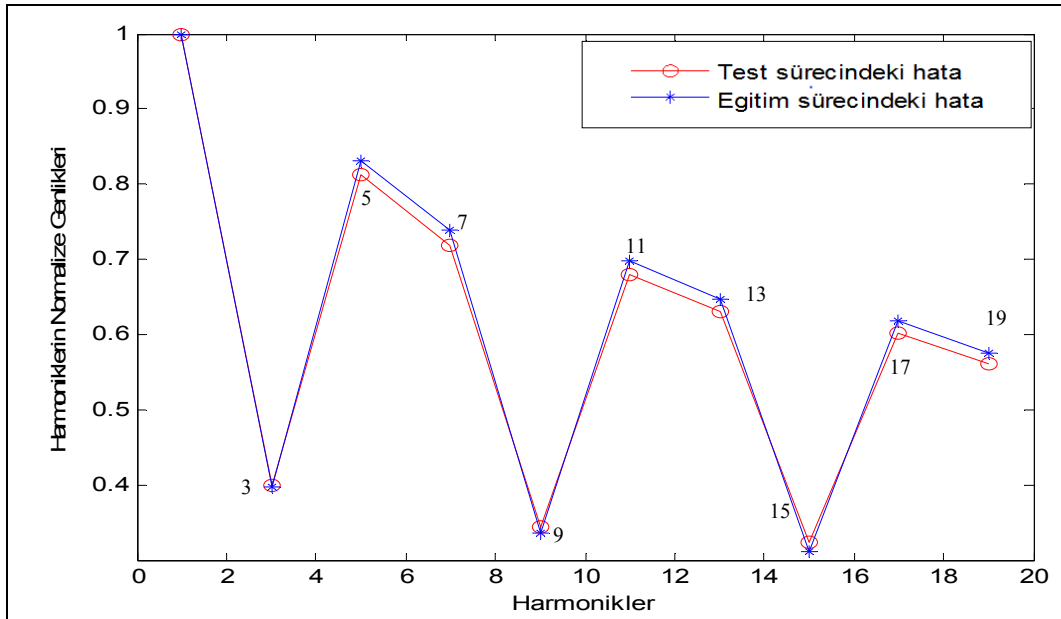
5.3.2.3. YSA'nın 3. bölge için test edilmesi (1.3-1.5 s arası)

Bu kısımda veri aralığı 6500-7500 (1.3-1.5 s arası) olan duruma ilişkin inceleme yapılmıştır. Şekil 5.32'de bu veri aralığının içinde yer aldığı 1 s'lik akım bilgisinin değişimi görülmektedir.



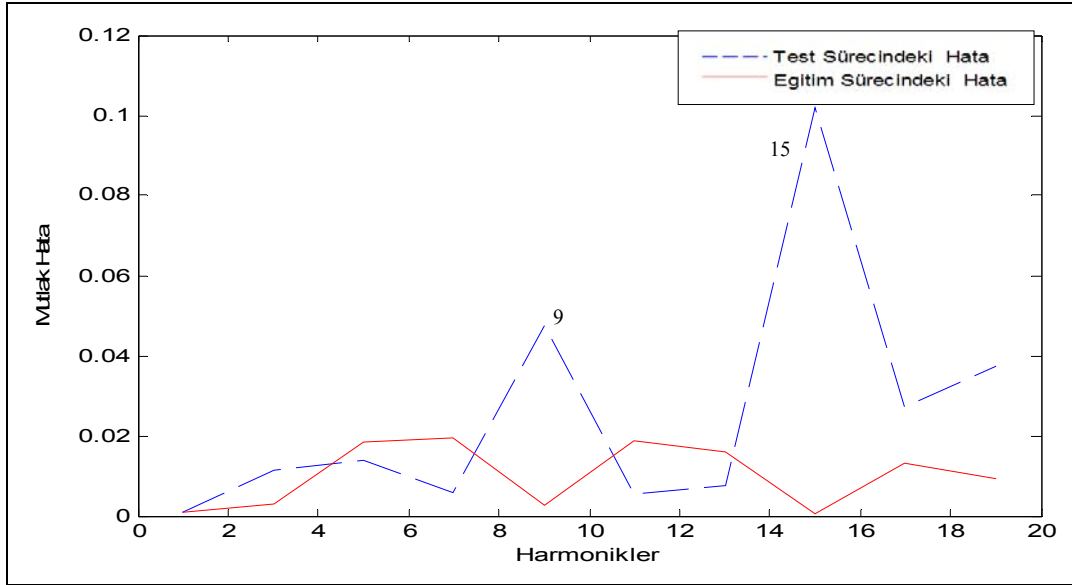
Şekil 5.32. Eğitilen YSA'nın test edilmesi için seçilen veri aralığı (1.3-1.5 s arası)

Şekil 5.33'de, öğretilen veriye karşılık YSA'nın ürettiği çıkış değerleri gösterilmektedir. Burada, daha önce eğitilmiş YSA, 1.2-2.2 s'leri arasındaki veri aralığından test edilmiştir. Yapılan sorgulamada başarılı sonuç alınmıştır.

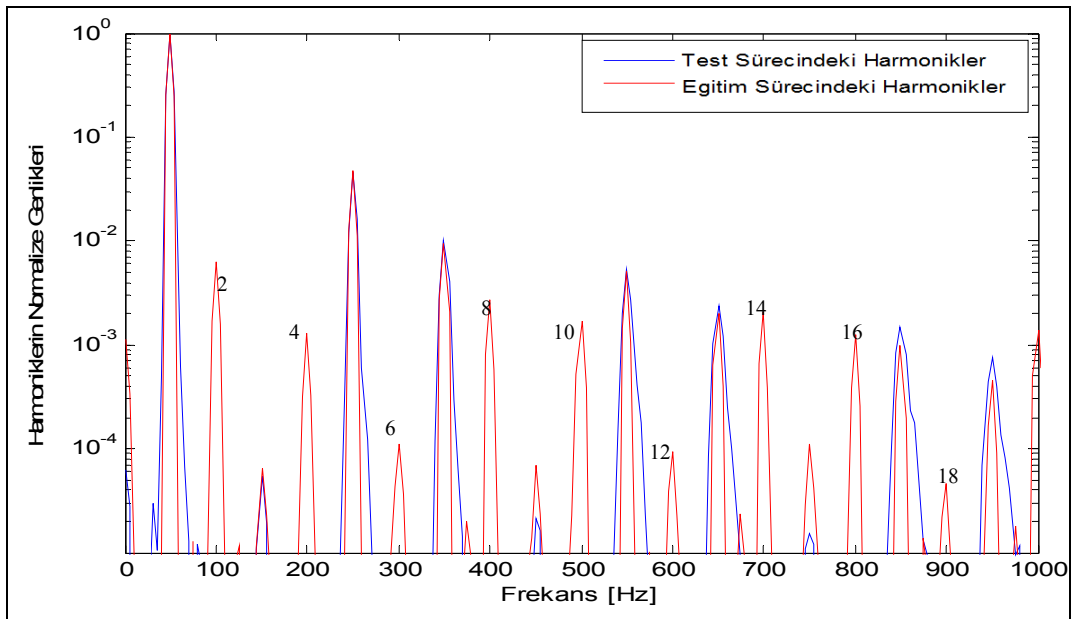


Şekil 5.33. Öğretilen veriye karşılık sorgulanan aralık için YSA'nın ürettiği çıkış değişimi

Şekil 5.34’de, eğitilen veri ile sorgulanan veri arasındaki hata farkı görülmektedir. Burada en büyük hata oranları ise 9. ve 15. harmoniklerde görülmektedir. Bu oranlar 9. harmonikte %4, 15. harmonikte ise %10 olarak görülmektedir. Sorgulama bölgeleri akımın durağan olmadığı bölgeler olmasına rağmen hatalardaki oranların düşük olması, YSA’nın başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.34. Eğitilen ve sorgulanan hatanın mutlak değişimi



Şekil 5.35. Eğitilen ve sorgulanan harmoniklerin güç spektrum yoğunluğu

Şekil 5.35’de eğitilen ve sorgulanan harmoniklerin güç spektrum yoğunluğu görülmektedir. Burada da yine çift harmoniklerin etkisi görülmektedir.

12-12.2 s’ler arasındaki verilerle eğitilen YSA’nın testi, 1.3-1.5 s, 2.2-2.4 s ve 9-9.2 s’ler arasındaki veriler olmak üzere 3 değişik bölgede gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerin sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde, elde edilen hata değerlerinin çift harmoniklerin belirlenmesinde etkin olduğu gözlemlenir. Bu da doğaldır. Çünkü YSA normal durumda tek ve çift harmoniklerin birçoğunu Şekil 5.20’de görüldüğü gibi içermektedir. Geçici durumda ise daha çok tek harmonikler baskındır. Dolayısı ile hata değişimi çift harmoniklerde gözlemlenmektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında “LabVIEW™” görsel programlama yazılımı aracılığı ile geliştirilen güç kalitesi izleme ve veri toplama sistemi kullanılarak, endüstriyel tesislerdeki elektriksel yükler için harmonik analizi yapılmıştır. Bu amaçla, evirici ile sürülen bir asenkron motordan ve bir frekans çeviricisi ile sürülen indüksiyon fırınından veri toplanmış olup, veri toplama sistemi uygulamaya özel olarak tasarlanmıştır. Yapılan ölçmeler sonunda elde edilen verilerin harmonik içeriği, Kısa-Zaman Fourier Dönüşümü ile Zaman-Frekans düzleminde spektrogram şeklinde görüntülenmiştir. Zaman-Frekans değişimlerinden ise fiziksel sistemin değişen durumlarına karşı, hangi frekansların hangi zamanlarda (durumlarda) ortaya çıktığı belirlenmiştir. Böylece ortaya çıkan frekans ile fiziksel durum arasında bire-bir ilişki kurulmuştur. Kurulan bu ilişki sonucunda harmoniklere dayalı temel özellikler tanımlanmıştır. Ayrıca harmonik bozulma seviyeleri hesaplanıp bunlara ilişkin olarak filtre önerisinde de bulunulmuştur.

Evirici aracılığı ile sürülen 75 kW’lık bir asenkron motorun şebekeden çekmiş olduğu akım ve gerilim bilgileri ışığında, oluşan harmonik seviyelerini tespit etmek amacıyla yapılan ilk çalışmada, motorun farklı yüklenme koşullarındaki durumu analiz edilmiştir. Değişken yüklenme koşullarında toplanan sinyaller, dört bölgede incelenmiştir. Motorun yüklenme koşullarını tanımlayan bu bölgeler; yüksüz bölge, geçiş bölgesi, geçiş bölgesi ile tam yük arası bölge ve tam yük bölgeleridir. Analiz sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Yüksüz durumda harmonik frekansları görülmemekte olup, geçiş bölgesinde baskın frekans temel frekans olan 50 Hz’dir.
- Geçiş bölgesi ile tam yük arası bölgede 3., 5., 7., 9., 11. ve 13. harmoniklerin etkisi görülmektedir.

- Tam yük bölgesinde ise, 9. ve 15. harmonikler haricindeki 3-19. ve arasındaki tüm harmonikler görülmektedir.
- Yapılan hesaplamalar sonucunda, IEEE-519 standardında verilen sınır değerleri aşan 5. harmonik akımı için THD_1 değeri % 24, 7. harmonik akımı için ise % 6.3 olarak bulunmuştur.
- 5. harmonik etkisinin elimine edilebilmesi için yapılan pasif filtre hesabında, $R=0,145 \Omega$, $L = 2,04 \text{ mH}$; 7. harmonik için ise $R=0,125 \Omega$, $L=0,88 \text{ mH}$ olarak elde edilmiştir.

630 kVA gücündeki bir trafo üzerinden beslenen ve bir frekans çeviricisi ile sürülen 350 kVA'lık bir indüksiyon fırınının çekmiş olduğu akım ve gerilim bilgilerinin analizi amacıyla yapılan bir diğer çalışmada ise, veriler üç durum gerçekleştirilerek toplanmıştır. Bunlar; indüksiyon fırınının ön ısıtma işlemi ile başlayıp, daha sonra tekrar çalışmaya başlaması ve tam yüke geçmesi sırasında adım adım verilerin toplanması şeklindedir. Elde edilen sonuçlar, evirici ile beslenen asenkron motor verilerinden elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermekte olup şu şekilde özetlenebilir.

- Yüksüz durumda harmonik seviyeleri görülmemekte olup geçiş bölgesinde baskın frekans, temel frekans olan 50 Hz'dir.
- Tam yüke geçiş bölgesinde, temel frekans ile birlikte 5. harmonik ile 19. harmonik arasındaki tüm frekanslar görülmektedir.
- Tam yük bölgesinde ise, 5. harmonik ile 19. harmonikler arasında, 9. ve 15. harmonikler haricindeki tüm harmonikler görülmektedir.
- Tam yüklü çalışmada IEEE-519 standardında verilen sınır değerleri aşan 5. harmonik seviyesi değeri % 6.3 ve toplam harmonik bozulma THD % 4 olarak hesaplanmıştır.
- Evirici ile beslenen asenkron motor verilerinin analizinden elde edilen sonuçlardan farklı olarak, indüksiyon fırınında tam yüke geçiş bölgesi ile tam yük bölgesinde 3. harmonik etkisi görülmemektedir.

Çalışmanın YSA uygulama kısmında ise sadece indüksiyon fırını göz önünde bulundurulmuştur. Burada YSA giriş/çıkış çifti, aynı düğüm sayısında 1-19.

harmonikleri işaret edecek şekilde 19 giriş/çıkış düğümü ile belirlenmiş olup, bir gizli katman ve 5 gizli düğümden (eleman) oluşan 19x5x19 topolojisinde tasarlanmıştır.

YSA'nın eğitim sürecinde, indüksiyon fırınının Şekil 5.18'de gösterilen ham verisi, sadece durağan çalışma durumunu ifade eden kısmı için ön işlemeye tâbî tutulup, bu kısmın GSY hesaplanmıştır. Bunun sonucunda da indüksiyon fırınının durağan çalışma bölgesinde hem çift hem de tek harmoniklerin varlığı belirlenmiştir. GSY'nun bu değişimleri 19x5x19 topolojisindeki YSA'ya öğretilip, sistemin normal durumunu temsilen hatası minimize edilecek şekilde eğitilmiş ve çıkış düğümlerinde 1-19. harmoniklerin genlikleri üretilmiştir.

Bundan sonra normal durumu öğrenen YSA'ya öğrenmediği duruma ilişkin farklı fiziksel durumlar sorulduğunda vereceği cevap ve bunun normal duruma bağlı olarak üreteceği hata değişiminin gözlemlenmesiyle, indüksiyon fırınının harmonik frekanslardaki genlik değişimlerinin bilgileri çıkartılmıştır. Bu anlamda Şekil 5.18'deki verinin geçici durumlarına ilişkin kısımları test verileri olarak hazırlanmıştır. Şekil (5.24), (5.28) ve (5.32), bu farklı bölgeleri göstermektedir. Bu kısımlar, GSY değişimleri bakımından tek harmonikler olarak zengindir (Şekil 5.25). Bu nedenle normal durumla karşılaştırıldığında, normal durum hem çift hem de tek harmonikleri içerdiğinden, farklılıklar çift harmoniklerde gözlemlenmiştir. (Bkz: Şekil 5.27, Şekil 5.31, Şekil 5.35)

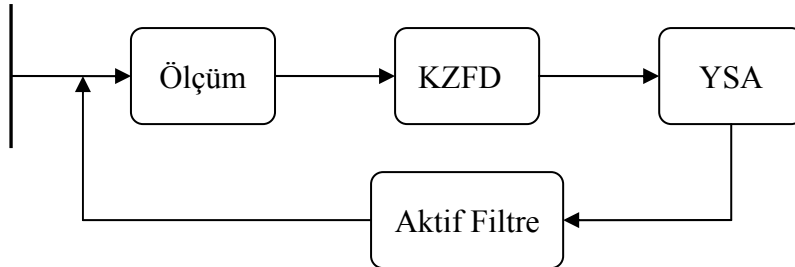
Böylece YSA, harmoniklerin izlenmesi ve farklı fiziksel durumları belirlemede yapay takipçi olarak kullanılmıştır. Yani YSA, bu tez çalışmasında hem harmonik genliklerin izlenmesinde hem de geçici durum belirlenmesinde kolaylıkla kullanılmıştır.

Bu doktora tez çalışmasının en belirgin ve en önemli katkısı; harmoniklerin izlenmesinde, zaman-frekans analizlerine bağlı olarak verilerin bir ön işlemeyden geçirilmesinden sonra, öz-ilişkili YSA ile durum/harmonik seviyesinin birbirleri ile ilişkilendirilerek izlenmesini sağlamasıdır. Bu anlamda ilgili literatüre katkı sağlanmakta olup, arka planda pratik bir uygulamayı da beraberinde sunmaktadır.

Tez çalışmasının genişletilmesi kapsamında gelecekte yapılabilecek çalışmalar için şu öneriler verilebilir:

- Tasarlanan veri toplama düzeneği ile diğer güç kalitesi parametreleri olan gerilim düşmesi ve yükselmesi, kısa kesintiler, geçici rejimler ve kırpışma değerleri için ayrı ayrı incelemeler yapılabilir.
- Çalışma kapsamında toplanan veriler kullanılarak, ara harmoniklerin etkileri incelenebilir.
- LabVIEW tabanlı olarak geliştirilen güç kalitesi izleme ve veri toplama amacıyla daha fonksiyonel yapıda programlar tasarlanabilir.
- YSA uygulaması, gerçek zamandaki uygulamalar bakımından geliştirilip bu tip ölçme sistemlerine eklenerek daha pratik bir hale getirilebilir.
- YSA ile elde edilen bilgiler, aktif filtre girişine verilerek uygun çıkışlarla harmonikler bastırılabilir. Bu duruma ilişkin genel blok şema aşağıdaki gibi önerilebilir.

Hat



Şekil 6.1. Önerilen sistemin blok şeması

- Veri girişlerinde harmoniklerin yanında yükün tipini de karakterize edebilecek yapıda bir YSA modeli tasarlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] KAKILLI, A., TUNÇALP, K., SUCU, M., Harmoniklerin reaktif güç kompanzasyon sistemine etkilerinin incelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20,1, 109-115, 2008.
- [2] IEEE Standardı 1159-1995, Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 8-12.
- [3] Türk Standardı, TS EN 61000-4-30, Elektromanyetik Uyumluluk(EMU)-Bölüm 4-30: Deneyler ve Ölçme Teknikleri-Güç Kalitesini Ölçme Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Şubat 2007.
- [4] GÜNTÜRKÜN, R., İleri Beslemeli ve Elman Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Harmoniklerin Kompanzasyonu, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2-23, Sakarya, 2003.
- [5] ADAK, S., Enerji Sistemlerinde Harmonik Distorsiyonunun Azaltılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2-38, 2003.
- [6] ANDRIA, G., SALVATORE, L., SAVINO, M., TROTTA, A., Techniques for Identification of Harmonics in Industrial Power Systems, IMTC '92, 9th IEEE, Instrumentation and Measurement Technology Conference,114-119, 1992.
- [7] BARROS, J., DIEGO, R. I., Analysis of Harmonics in Power Systems Using the Wavelet-Packet Transform, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol: 57, No1, Page(s): 63-69, 2008.
- [8] BATH, S. K., KUMRA, S., Simulation and Measurement of Power Waveform Distortions using LabVIEW, IEEE International Power Modulators and High Voltage Conference, Page(s): 427-434, 2008 .
- [9] BILIK, P., KOVAL, L., HAJDUK, J., CompactRIO Embedded System in Power Quality Analysis, IMCSIT 2008 Computer Science and Information Technology, Page(s): 577-580, 2008.
- [10] CHANDEL, A.K., GULERIA, G., CHANDEL, R., Classification of Power Quality Problems Using Wavelet Based Artificial Neural Network, T&D IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, Page(s): 1-5, 2008.

- [11] CHANG, G. W., LIU, Y. J., HUANG, H. M., CHU, S. Y., Harmonic Analysis of the Industrial Power System with an AC Electric Arc Furnace, IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2006.
- [12] DWYER, R., Power Quality Measurements Using General Purpose Data Acquisition Systems vs. Dedicated PQ Analyzers, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Volume: 1 Page(s): 379 – 381, 1999.
- [13] ELLIS, R. G., Harmonic Analysis of Industrial Power Systems , IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.32, No.2, pp. 417-420, March/April 1996.
- [14] FAISAL, M. F., MOHAMED, A., A New Technique for Power Quality Based Condition Monitoring, 20th International Conference on Electricity Distribution CIRED 2009 Session 2, Paper 0062, 1-4, 2009.
- [15] HUA, L., BAOQUN, Z., GUANGJIAN, W., Application of Wavelet Network for Automatic Power Quality Disturbances Recognition in Distribution Power System, CCC 2007 Chinese Control Conference, Page(s): 254-258, 2007.
- [16] HUAYING, W., JINGBO, L., XIUFA, S., A Novel Intelligent System for Analysis and Recognition of Power Quality Disturbance Signal, CCDC'09 Control and Decision Conference, Page(s): 3915-3918, 2009.
- [17] ISSOURIBEHHERE, P. E., BARBERO, J. C., ISSOURIBEHHERE, F., BARBERA, G. A., Power Quality Measurements in A Steel Industry With Electric Arc Furnaces, 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Page(s):1-8, 2008.
- [18] KAEWARSA, S., ATTAKITMONGCOL, K., Wavelet-Based Neural Network Approach to Power Quality Disturbance Recognition, IPEC 2005 The 7th International Power Engineering Conference, 2005.
- [19] MORENO-MUNOZ, A., SANCHEZ, J.A., DE LA ROSA, J.J.G., LUNA, J.J., Application of Smart Sensors to the Measurement of Power Quality, IMTC 2008 Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, Page(s): 218-222, 2008.
- [20] NIKOLOVSKI, S., KLAIC, Z., KRAUS, Z., SLIPAC, G., Online Power Quality Measurements and Voltage Sags Analysis, UPEC 2008 43rd International Universities Power Engineering Conference, Page(s): 1-5, 2008.
- [21] OWEN, E. L., A History of Harmonics in Power Systems, IEEE Industry Applications Magazine, p. 6-12, January/February 1998.

- [22] SERMON, R. C., An Overview of Power Quality Standards and Guidelines from the End-User's Point-of-View, REPCON 2005 Rural Electric Power Conference, Page B1/1-B1/5, 2005.
- [23] TAŞKIN, S., GÖKOZAN, H., "Determination of the Spectral Properties and Harmonic Levels for Driving an Induction Motor by an Inverter Driver under the Different Load Conditions", Electronics and Electrical Engineering, No.2(108), pp.79-84, 2010.
- [24] WEIJIAN, H., WEILI, H., Automatic Power Quality Recognition and Analysis System Using Wavelet-based Neural Network, CCC 2008 27th Chinese Control Conference, Page(s): 222-225, 2008.
- [25] YANG, J., YU, C., LIU, C., A New Method for Power Signal Harmonic Analysis, IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 20, Issue: 2, Part: 2, Page(s): 1235-1239, 2005.
- [26] ZANG, H., YISHU, Z., Intelligent Identification System of Power Quality Disturbance, GCIS'09 WRI Global Congress on Intelligent Systems, Volume 1, Page(s) 258-261, 2009.
- [27] ZHENMEI, L., JIN, S., TIANZE, L., SHULIAN, Y., Harmonic Analysis System of Power Network Based on Wavelet Transform, ICEMI'07 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments, Page(s) 3/536-3/539, 2007.
- [28] VATANSEVER, F., UYAROĞLU, Y., ÖZDEMİR, A., Dalgacık Paket Tabanlı Harmonik Analizi, IATS'09, 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 1-5, Mayıs 2009.
- [29] ALTINTAŞ, A., Güç Elektroniği Uygulamalarında Harmonik Analiz Sonuçlarının Yüzey Uydurma İle Üç Boyutlu Gösterimi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10, 61-74, Mayıs 2006.
- [30] ALTINTAŞ, A., Tanımlanmış veya Ölçülmüş Dalga Şekilleri İçin Bir Harmonik Analizörü, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 10, Sayı 2, 6-15, 2006.
- [31] BAYHAN, S., DEMİRBAŞ, Ş., Güç Sistemlerinde Enerji Kalitesi Bozukluklarının Eşzamanlı Tespit Edilmesi, E-Journal of New World Sciences Academy, Fırat Üniversitesi dergisi, Volume 4, Number 2, 120-135, 2009.
- [32] GENÇOĞLU, T. M., Güç Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları Uygulamaları, Kaynak Elektrik, 221, 167-174, Ekim, 2007.
- [33] KARA A., CEYLAN Y., AYASUN S., YALÇINÖZ T., Bir tekstil fabrikasının harmonik analizi, 3e Electrotech, No 142, 118-122, Nisan 2006.

- [34] KOCATEPE, C., KÖROĞLU, S., ARIKAN, O., Nonsinüsoidal Şartlar Altında Güç Faktörünün ve Güç Tanımlarının İncelenmesi, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sayı 2, Sayfa 117-126, 2005.
- [35] SALOR, Ö., GÜLTEKİN, B., BUHAN, S., BOYRAZOĞLU, B., İNAN, T., ATALIK, T., AÇIK, A., TERCİYANLI, A., ÜNSAR, Ö., ALTINTAŞ, E., AKKAYA, Y., ÖZDEMİRCİ, E., ÇADIRCI, I., ERMİŞ, M., Electrical Power Quality of Iron and Steel Industry in Turkey, 42nd IAS Industry Applications Conference Annual Meeting Conference Record of the 2007 IEEE, Page(s): 404-423, 2007.
- [36] ŞEKERCİ, H., AKPINAR, E., Elektrik Ark Ocaklarının Enerji Sistemi Üzerindeki Bozucu Etkilerinin Analizi, Ulusal Elektrik Tesisat Kongresi, İzmir, 1-5, Mayıs 2009.
- [37] ZİLE, M., Farklı Bağlantılardaki Üç Fazlı Transformatörlerde, Harmoniklerin Bilgisayar Simülasyonu İle Hesaplanması, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4, 1, 89-98, 2008.
- [38] ZİLE, M., Üç Fazlı Transformatörlerde Harmonik Analizler İçin Geliştirilen Bir Uygulama Programı, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3, 2, 169-176, 2007.
- [39] BİLGE, M., Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Pasif Filtrelerle Eliminasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, 3-20, 2008.
- [40] ÇALIŞKANER, H. E., Endüstriyel Tesislerdeki Harmoniklerin Eliminasyonu İçin Sayısal Filtre Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2-15, Sakarya, 2008.
- [41] ÇELİK, Ç., Dağıtım Sistemlerinde Enerji Kalitesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 23-78, 2008.
- [42] EFE, S. B., Güç Sistemlerinde Harmonikler ve Harmoniklerin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, 2-58, 2006.
- [43] EKİCİ, S., Elektrik Güç Sistemlerinde Akıllı Sistemler Yardımıyla Arıza Tipi ve Yerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, 28-37, Elazığ, 2007.
- [44] ENGİN, B., Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Kompanzasyon ve Enerji Kalitesi Sorunları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 22-82, 2008.
- [45] FİLİZ, C., Güç Sistemlerine Harmonikler ve Filtrelerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, 2-58, 2006.

- [46] KARAAĞAÇ, A., Güç Sistemlerindeki Harmoniklerin Ölçülmesi Analizi ve Bunların Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 6-25, 2006.
- [47] SUCU, M., Elektrik Enerji Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Filtrelenmesinin Bilgisayar Destekli Modellenmesi ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, 8-67, 2003.
- [48] YÖRÜR, K., Elektrik İletim Hatlarının Güç Kalitesi Parametrelerinin Yazılımla Hesaplanması ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 6-33, 2008.
- [49] Edited by LAUGHTON, M.A., WARNE, D.F., Electrical Engineer's Reference Book, STONES, J., Section H. Power Systems, 43. Power Quality, 2-9, Elsevier, 2003.
- [50] TESTA. A., AKRAM. M.F., BURCH, R., CARPINELLI, G., CHANG, G., at all, Interharmonics: Theory and Modeling, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.22, No.4, 2335-2348, 2007.
- [51] Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, Sayı:27052, 12 Kasım 2008.
- [52] MONEDERO, I., LEON, C., ROPERO, J., GARCIA, A., ELENA, J. M., MONTANO, J. C., Classification of Electrical Disturbances in Real Time Using Neural Network, IEEE Transactions on Power Delivery, 22, 3, 1288-1296, 2007.
- [53] GENCER, Ö., "Güç Kalitesi ve Harmonik Temelleri", Sanayide Enerji Yöneticiliği Sertifika Eğitimi, İstanbul, 2009.
- [54] ARRILLAGA, J., WATSON, N.R., Power System Harmonics, John Wiley&Sons Ltd. 20-386, 2003.
- [55] <http://www.schneider-electric.com>, Cahier Technique Power Quality No. 199/sayfa 9. Erişim: Ağustos 2010.
- [56] PEŞİNT, M.A., Senkron Makinalar, Yüksek Teknik Öğretmen Okulu Yayınları, Yayın No:27, 55-65, Ankara, 1975.
- [57] Türk Standardı, TS EN 61000-4-7, Elektromanyetik Uyumluluk(EMU)-Bölüm 4-7: Deneyler ve Ölçme Teknikleri- Güç Kaynağı Sistemlerinde ve Bunlara Bağlı Cihazlardaki Harmonik ve Ara Harmoniklerin Ölçmeleri ve Ölçme Cihazı İçin Genel Kılavuz, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 2005.
- [58] İnternet Sayfası <http://www.inform.com.tr/faydali-bilgiler/aktif-harmonik-filtreler.html>. Erişim: Nisan 2010.

- [59] TUNÇALP, K., SUCU, M., Elektrik Enerji Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Filtrelenmesinde Pasif Filtre ve Filtreli Kompanzasyonun Kullanımı ve Simülasyon Örnekleri, Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi, Cilt 9, Sayı 4, 263-269, 2006.
- [60] http://www.hilkar.com/harmonik_filtre_reaktorleri.htm. Erişim: Haziran 2010
- [61] KOCATEPE, C., UZUNOĞLU, M., YUMURTACI, R., KARAKAŞ, A., ARIKAN, O. Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi, 2-1-2-4, İstanbul, 2003.
- [62] ŞEKER, S., TAŞKIN, S., AKINCI, T. Ç., “Bir Yolcu Otobüsünün Yakıt Deposuna İlişkin Titreşim Sinyallerinin Analizi”, IEEE 16. Sinyal İşleme, İletişim ve Uygulamaları Kurultayı, 20-22 Nisan 2008, pp.42-45, Didim, Aydın.
- [63] AKINCI, T.Ç., “Dalgacık (Wavelet) Tabanlı Dağıtım Sistemleri Koruma Algoritması”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Eylül 2005.
- [64] İNAN, A., “Yapay Sinir Ağlarının Güç Sistemlerinde Kullanım Alanları”, Kaynak Elektrik, Sayı 119, 104-114, 1999.
- [65] KALOGIROU, S.A., “Applications of Artificial Neural-Networks for Energy Systems”, Applied Energy, Vol 67, 17-35, 2000.
- [66] KALOGIROU, S.A., “Applications of Artificial Neural Networks in Energy Systems: A Review”, Energy Conversion and Management, Vol 40, No 10, 1073-1087, 1999.
- [67] AYDIN, S., Mobil Robotlarda Evrimsel Metotlar ile Hareket Planlama, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 85 s, 2003.
- [68] DASH, P.K., LIEW, A.C. ve RAHMAN, S., “An Adaptive Linear Combiner for On-Line Tracking of Power System Harmonics”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol 11, No 4, 1730-1735, 1996.
- [69] BAHGAT, A.B.G., HELWA, N.H., AHMAD, G.E., ve EL SHENAWY, E.T., “Maximum Power Point Tracking Controller for PV Systems Using Neural Networks”, Renewable Energy, Vol 30, No 8, 1257-1268, 2005.
- [70] OCRAN, T.A., CAO, J., CAO, B., ve SUN, X., “Artificial Neural Network Maximum Power Point Tracker for Solar Electric Vehicle”, Tsinghua Science & Technology, Vol 10, No 2, 204-208, 2005.
- [71] EROL, V., BAŞLIGİL, H., İşletmelerde Yönetim Bilişim Sistemi Yazılımı Seçimi için Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Yapay Sinir Ağları Modeli, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 107-120, 2005/4.

- [72] ZURADA, M. J., Introduction to Artificial Neural Systems, West Publishing Company, 187-192, New York, 1992.
- [73] JANG, R.J.S., SUN, C.T., MIZUTANI, E., Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. Prentice Hall, New Jersey, 640s, 1997.
- [74] TAŞKIN, S., MPS Modüler Üretim Sisteminin Bilgisayar Destekli Gerçek Zamanlı Kontrolü ve Teknik Eğitime Uygulanması, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, 68-72, 2007.
- [75] BAYHAN, S., Enerji Kalitesinin İnternet tabanlı Ölçüm ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2-58, 2008.
- [76] ERTUĞRUL, N., LabVIEW for Electric Circuits, Machines, Drives and Laboratories, 34-42, Prentice Hall, 2002.
- [77] GÜNER, Y., LabVIEW Programı ile Veri Toplama, Veri İşleme ve Veri İzlemenin E-Öğrenme Olarak Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, 32-35, 2005
- [78] LIN, H. C., An Interactive Framework for Power System Harmonics Measurement Using Graphical Programming and the Internet, Wiley Periodicals Inc, Comput Appl Eng Educ 14: 44-52, 2006.
- [79] LabVIEW Measurements Manual, National Instrument, 19-150, 2003.

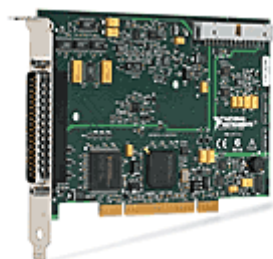
EKLER

Ek A. DAQ Kart



NI PCI-6221 (37-Pin) 16-Bit, 250 kS/s, 16 Analog Inputs with 37-Pin D-Sub

- Two 16-bit analog outputs (833 kS/s) 10 digital I/O lines; 32-bit counters; digital triggering
- Correlated DIO (2 clocked lines, 1 MHz)
- 37-pin D-Sub connector to reduce connectivity costs by 80%
- Select high-speed M Series for 5X faster sampling rates or high-accuracy M Series for 4X resolution.
- NI-DAQmx driver software and NI LabVIEW SignalExpress interactive data-logging software



Specifications

General

Product Name	PCI-6221 (37-Pin)
Product Family	Multifunction Data Acquisition
Form Factor	PCI
Part Number	779418-01
Operating System/Target	Linux , Mac OS , Windows , Real-Time
LabVIEW RT Support	Yes
DAQ Product Family	M Series
Measurement Type	Digital , Frequency , Quadrature encoder , Voltage
RoHS Compliant	Yes

Analog Input

Channels	16,8
Single-Ended Channels	16
Differential Channels	8
Resolution	16 bits
Sample Rate	250 kS/s
Max Voltage	10 V
Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V

Maximum Voltage Range Accuracy	3100 μ V
Maximum Voltage Range Sensitivity	97.6 μ V
Minimum Voltage Range	-200 mV , 200 mV
Minimum Voltage Range Accuracy	112 μ V
Minimum Voltage Range Sensitivity	5.2 μ V
Number of Ranges	4
Simultaneous Sampling	No
On-Board Memory	4095 samples

Analog Output

Channels	2
Resolution	16 bits
Max Voltage	10 V
Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	3230 μ V
Minimum Voltage Range	-10 V , 10 V
Minimum Voltage Range Accuracy	3230 μ V
Update Rate	833 kS/s
Current Drive Single	5 mA

Digital I/O

Bidirectional Channels	10
Input-Only Channels	0
Output-Only Channels	0
Number of Channels	10 , 0 , 0
Timing	Hardware , Software
Max Clock Rate	1 MHz
Logic Levels	TTL
Input Current Flow	Sinking , Sourcing
Output Current Flow	Sinking , Sourcing
Programmable Input Filters	Yes
Supports Programmable Power-Up States?	Yes
Current Drive Single	24 mA
Current Drive All	176 mA
Watchdog Timer	No
Supports Handshaking I/O?	No
Supports Pattern I/O?	Yes
Maximum Input Range	0 V , 5 V
Maximum Output Range	0 V , 5 V


Counter/Timers

Counters	2
Number of DMA Channels	2
Buffered Operations	Yes
Debouncing/Glitch Removal	Yes
GPS Synchronization	No
Maximum Range	0 V , 5 V
Max Source Frequency	80 MHz
Minimum Input Pulse Width	12.5 ns
Pulse Generation	Yes
Resolution	32 bits
Timebase Stability	50 ppm
Logic Levels	TTL

Timing/Triggering/Synchronization

Triggering	Digital
Synchronization Bus (RTSI)	Yes






Ek B. Akım Sensörü



Current Transducer HTR 50 to 500-SB

$I_{PN} = 50 \dots 500 \text{ A}$

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).

Electrical data

Type	Primary nominal current rms I_{PN} (A)	Primary current, measuring range I_{PM} (A)	
HTR 50-SB	50	± 100	
HTR 100-SB	100	± 200	
HTR 200-SB	200	± 400	
HTR 300-SB	300	± 600	
HTR 400-SB	400	± 800	
HTR 500-SB	500	± 1000	

V_{OUT}	Output voltage (Analog)	± 4	V
R_L	Load resistance	> 10	kΩ
V_{CC}	Supply voltage (± 5 %)	± 12 .. 15	V
I_C	Current consumption (max)	20	mA

Features

- Open loop Hall effect transducer
- Busbar mounting or panel mounting.
- Isolated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Advantages

- Low power consumption
- Split core easy for mounting
- High isolation between the primary and the secondary circuit
- Through-hole, no insertion losses.

Applications

- Power supplies for TELECOM (monitoring & measuring)
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Electrical chemistry
- Chopper
- Battery supplied applications.

Application domain

- Industrial.

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy ¹⁾ @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$, @ ± 12 .. 15 V (± 5 %)	≤ ± 2	%
ε_L	Linearity error ¹⁾	≤ ± 1	%
V_{OFF}	Electrical offset voltage @ $I_p = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ ± 45	Max ± 65 mV
V_{OM}	Magnetic offset voltage @ $I_p = 0$ and specified R_L after an overload of 3 x I_{PN}	± 10	± 20 mV
V_{OT}	Temperature variation of V_{OFF} - 10°C .. + 70°C	± 70	± 240 mV
TC_{ε_O}	Thermal drift of the gain, $T_A = - 10 \dots + 70^\circ\text{C}$	± 140	± 450 mV
t_r	Response time to 90 % of I_{PN} step	< 10	μs
di/dt	di/dt accurately followed	> 50	A/μs
BW	Frequency bandwidth (- 1 dB)	DC .. 10	kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	- 10 .. + 70	°C
T_S	Ambient storage temperature	- 20 .. + 85	°C
m	Mass	80	g
	Standard	EN 50178	

Note: ¹⁾ Excludes the electrical offset.





Current Transducer HTR 50 to 500-SB

Isolation characteristics

V_s	Rms voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 min	3	kV
\hat{V}_w	Impulse withstand voltage 1.2/50 μ s	> 6	kV
V_p	Partial discharge extinction voltage rms	> 1.5	kV
		Min	
dCp	Creepage distance ¹⁾	28.1	mm
dCl	Clearance distance ²⁾	17.1	mm
CTI	Comparative Tracking Index (group IIIa)	225	

Applications examples

According to EN 50178 and IEC 61010-1 standards and following conditions:

- Over voltage category OV 3
- Pollution degree PD2
- Non-uniform field

	EN 50178	IEC 61010-1
dCp, dCl, \hat{V}_w	Rated isolation voltage	Nominal voltage
Single isolation	1000 V	1000 V
Reinforced isolation	500 V	500 V

Notes: ¹⁾ On housing from pin to primary hole

²⁾ On housing from pin to primary hole.

Safety



This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the manufacturer's operating instructions.



Caution, risk of electrical shock

When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (eg. primary busbar, power supply).

Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage.

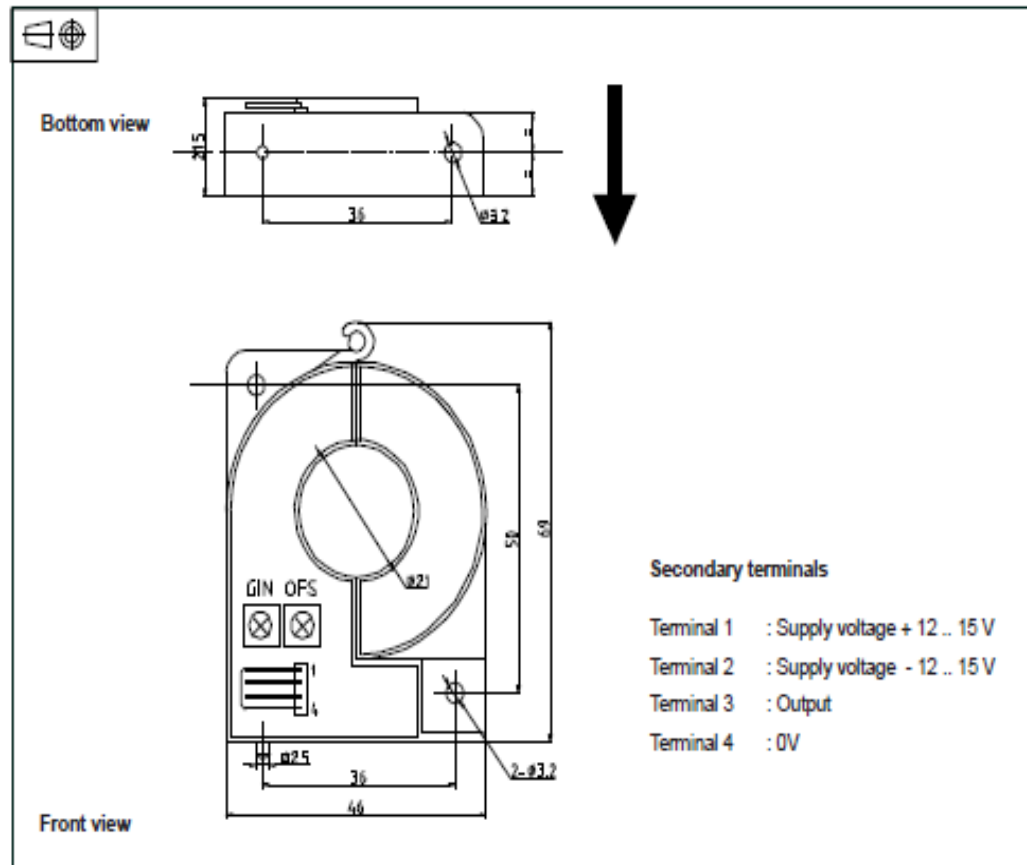
This transducer is a build-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation.

A protective housing or additional shield could be used.

Main supply must be able to be disconnected.



Dimensions HTR 50 to 500-SB (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)



Mechanical characteristics

- General tolerance ± 1 mm
- Primary through hole $\varnothing 21$ mm
- Fastening 2 holes $\varnothing 3.2$
- Distance between holes axes 50 x 36 mm
or 1 hole $\varnothing 3.2$ and 1 spigot $\varnothing 2.5$
- Distance between hole and spigot axes 36 mm
- Connection of secondary Molex 5046-04/AG
"Mating connector provided with the transducer"

Remarks

- V_{out} is positive when I_p flows in the direction of the arrow.
- The return busbar and primary conductor elbow must be located at least at 2.5 x window length more far away from the transducer case.
- Temperature of the primary busbar cannot exceed 80°C.
- Dynamic performances are best with a primary busbar completely filling the primary aperture.
- This is a standard model. For different versions (supply voltages, different output, unidirectional measurements ...), please contact us.

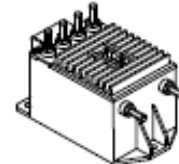
Ek C. Gerilim Sensörü



Voltage Transducer CV 3-500

For the electronic measurement of voltages : DC, AC, pulsed..., with a galvanic isolation between the primary circuit (high voltage) and the secondary circuit (electronic circuit).

$$V_{PN} = 350 \text{ V}$$



Electrical data

V_{PN}	Primary nominal r.m.s. voltage	350	V
V_p	Primary voltage, measuring range	0 .. ± 500	V
V_s	Secondary analog voltage @ $V_{p \text{ max}}$	10	V
K_N	Conversion ratio	500 V / 10 V	
R_L	Load resistance	≥ 1	k Ω
C_L	Capacitive loading	≤ 5	nF
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	± 15	V
I_C	Current consumption	$32 + V_s/R_L$	mA
V_d	R.m.s. voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 mn	6	kV
V_a	R.m.s. voltage for partial discharge extinction @ 10 pC	2	kV

Features

- Closed loop (compensated) voltage transducer
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0
- Patent pending.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Power supplies for welding applications.

Accuracy - Dynamic performance data

			Typ	Max	
X_G	Overall accuracy @ $V_{p \text{ max}}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ -40°C .. +85°C		± 0.2	%
V_O	Offset voltage @ $V_p = 0$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ -40°C .. +85°C		± 0.6	%
t	Response time ¹⁾ @ 90 % of $V_{p \text{ max}}$		0.3		μs
dv/dt	dv/dt accurately followed		500		V/ μs
f	Frequency bandwidth (-1 dB) @ V_{PN}		DC .. 300		kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	-40 .. +85	°C
T_S	Ambient storage temperature	-45 .. +90	°C
P	Total primary power loss	3.1	W
R_i	Primary resistance	40	k Ω
m	Mass	560	g
	Standards ²⁾	EN 50155	

Notes : ¹⁾ With a dv/dt of 500 V/ μs

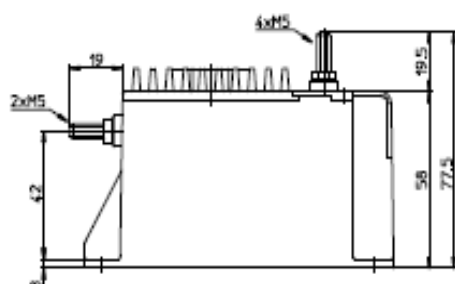
²⁾ A list of corresponding tests is available

980720/7

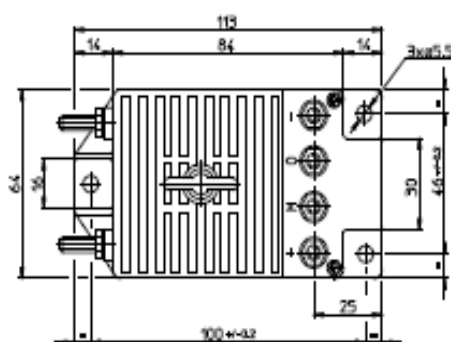
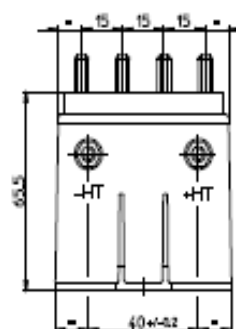


Dimensions CV 3-500 (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)

Front view



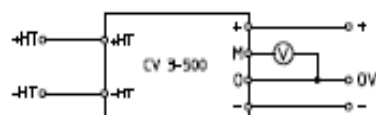
Left view



Secondary terminals

- Terminal + : supply voltage + 15 V
- Terminal M : measure
- Terminal 0 : 0 V
- Terminal - : supply voltage - 15 V

Connection



Top view

Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.3 mm
- Fastening 3 holes $\varnothing 5.5$ mm
- Connection of primary M5 threaded studs
- Connection of secondary M5 threaded studs
- Fastening torque 2.2 Nm or 1.62 Lb. -Ft.

Remarks

- V_p is positive when V_s is applied on terminal +HT.
- CEM tested with a shielded secondary cable.
Shield connected to 0 V at both ends, or disconnected.
- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.

ÖZGEÇMİŞ

1962 yılında Denizli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini burada tamamladı. 1983 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. Milli Eğitim Bakanlığı’na bağlı Balıkesir ve Çankırı’daki okullarda öğretmenlik yaptı. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi’nde 1993-2000 yılları arasında Öğretim Görevlisi olarak çalıştı. 1998-1999 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans yaptı. 2000-2004 yılları arasında Adapazarı Federal Elektrik’te İnsan Kaynakları Eğitim Sorumlusu olarak çalıştı. 1999 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı’nda Doktora eğitimine başladı ve halen doktora çalışmalarını sürdürmektedir.