

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LABVIEW TABANLI GELİŞMİŞ GÜÇ
KALİTESİ ANALİZÖRÜ

SALİH DİNCER ÖZTÜRK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE

2010

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LABVIEW TABANLI GELİŞMİŞ GÜÇ
KALİTESİ ANALİZÖRÜ

SALİH DİNCER ÖZTÜRK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. M.HAKAN HOCAOĞLU

GEBZE

2010



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15/01/2010 tarih ve 2010/03... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 22/01/2010... tarihinde tez savunma sınavı yapılan Salih Dinçer... ÖZEL'in tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : DOÇ. DR. M. HAKAN HOCAOĞLU

ÜYE : DOÇ. DR. FEVZİ BABA

ÜYE : YRD. DOÇ. DR. M. ERHAN BALCI

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI :LABVIEW TABANLI GELİŞMİŞ GÜÇ KALİTESİ ANALİZÖRÜ

YAZAR ADI :SALİH DİNCER ÖZTÜRK

Bu çalışmada güç elektroniği teknolojisinin gelişmesine paralel olarak önem kazanan güç kalitesi tanımlanmış ve güç kalitesi parametrelerinin ölçümü için bilgisayar tabanlı gelişmiş bir güç kalitesi analizörü tasarlanarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen güç kalitesi analizöründe LabVIEW yazılımından yararlanılmış ve gerçek uygulamalarla analizörün performansı incelenmiştir. Yapılan ölçüm sonuçlarının geleneksel cihazlarla karşılaştırılması sonucunda gerekli hassasiyetin sağlandığı gözlenmiştir.

Geliştirilen analizörde Adaline algoritması kullanılarak dalga formu bozukluklarının algılanması sağlanmış, geleneksel analizörlerde kullanılan etkin değere bağlı olay yakalama yönteminin adaline algoritması ile kıyaslaması yapılarak analiz sonuçları verilmiştir. Adaline algoritmasının farklı parametre değerleri için performans testleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Literatürde harmonikli gerilim ve akım altında tanımı ve dekompozisyonu olan görünür güç ifadeleri ve geleneksel ölçü aletlerinin reaktif güç ölçme teknikleri incelenmiştir. Bu ifadelerin, geliştirilen analizör ile elde edilen ölçüm sonuçları verilmiş ve yorumlanmıştır.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS : LABVIEW BASED ADVANCED POWER QUALITY ANALYZER

AUTHOR : SALIH DİNCER ÖZTÜRK

Power quality becomes more important with improvement of the power electronics technology. In this thesis, power quality is analysed and discussed by developing an advanced computer based power quality analyzer is using LabVIEW. The developed analyser is used for measurement of power quality parameters. The performance of the developed analyzer is investigated with practical applications by comparing the results with conventional power quality analyzers. It is shown that required sensitivity achieved with greater accuracy.

In the developed analyzer, sensing of the voltage wave shape disturbances is implemented with using Adaline algorithm. RMS value compression based method that used in the conventional analyzers and Adaline algorithm are theoretically and practically compared. In addition, the performance of the developed analyzer is tested for different values of the parameters of Adaline algorithm.

Besides uncertain definitions of apparent power under harmonics in the literature and reactive power measurement techniques of conventional power quality analyzers are discussed and critically analysed. The mentioned power definitions are measured by developed analyzer and obtained results are compared with conventional power quality analyzer.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan ve yol gösteren değerli tez danışmanım Sayın Doç.Dr. M. Hakan HOCAOĞLU'na, tecrübesini ve mesaisini paylaşmaktan hiç çekinmeyerek bana her zaman ve her konuda yardımcı olan değerli hocam Sayın Y.Doç.Dr. Abdülkadir BALIKÇI'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Akademik hayatımın ilk gününden beri beni destekleyip, kendime güvenmemi sağlayan Y.Doç Dr. M.Erhan BALCI'ya, değerli görüş ve önerileri için Özgür KARACASU'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Proje asistanı olarak görev aldığım, Tübitak tarafından desteklenen 106E132 nolu "*Harmonikli Sistemlerde Güç Akışı İçin Yeni Bir Yük Modeli Geliştirmek*" başlıklı projeye maddi yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Bitirme tezim için yaptığım çalışmalarda bana destek olan arkadaşlarım H. Arda ÜLKÜ, Ahmet YILMAZ, Onur ÖZTÜRK, Ceyhun SEZENOĞLU ve Türev SARIKURT'a, yaşamlarıyla bana her zaman örnek olan aileme ve sevgisini benden esirgemeyen A. Özgü ÖZEN'e teşekkür eder sevgi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
TABLolar DİZİNİ	xviii
1 GİRİŞ	1
1.1 Arka Plan	2
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Tezin Sınırları	3
1.4 Tezin İçeriği	4
2 GÜÇ KALİTESİ	5
2.1 Güç Kalitesi	5
2.2 Güç Kalitesi Standartları	6
2.3 IEEE 1159:2009'a göre Güç Kalitesi Tanımları	10
2.3.1 Geçici Olaylar	10
2.3.2 Kısa Süreli Etkin Değer Değişimleri	11
2.3.3 Uzun Süreli Etkin Değer Değişimleri	13

2.3.4	Gerilim Dengesizliği	13
2.3.5	Dalga Şeklindeki Bozulmalar	14
2.3.6	Gerilim Dalgalanmaları	15
2.3.7	Güç Frekansı Değişimleri	15
2.4	Harmonikler	16
2.4.1	Harmoniklerin Etkileri	18
2.4.2	Harmonik Standartları	19
2.4.3	Harmoniklerin Ölçüm ve Analizi	23
2.5	Sonuç ve Özet	24
3	GÜÇ TANIMLARI VE GÜÇ ÖLÇÜMÜ	26
3.1	Güç Tanımları	26
3.2	Sinüzoidal Şartlarda Güç Tanımları	27
3.3	Sinüzoidal Olmayan Şartlar	29
3.3.1	Budeanu Güç Tanımı	29
3.3.2	Fryze Güç İfadesi	31
3.3.3	Shepherd ve Zand Güç İfadesi	32
3.3.4	Sharon Güç İfadesi	33
3.3.5	Kimbark Güç İfadesi	34
3.3.6	Czarnecki Güç İfadesi	35
3.3.7	Kusters ve Moore Güç İfadesi	36
3.4	Sinüzoidal Olmayan Şartlarda Üç Faz Güç Tanımları	38

3.4.1	Vektör Görünür Güç Tanımı	39
3.4.2	Aritmetik Görünür Güç Tanımı	40
3.4.3	IEEE std. 1459-2000 Görünür Güç Tanım ve Güç İfadesi	40
3.4.4	Buchholz'un Görünür Gücü ve DIN std. 40110 Tanımı	41
3.5	Pratikte Kullanılan Ölçüm Yöntemleri	43
3.5.1	Güç Üçgeni	44
3.5.2	Zaman Gecikmesi	44
3.5.3	Alçak Geçiren Filtre	45
3.6	Sonuç ve Özet	46
4	OLAY ALGILAMA YÖNTEMLERİ VE ADALINE	47
4.1	Giriş	47
4.2	Efektif Değer (RMS) Yöntemi	48
4.2.1	RMS Yöntemi için Nümerik Analizler	49
4.3	DFT Yöntemi	52
4.4	Kalman Filtreleme Yöntemi	52
4.5	Dalgacık Dönüşümü	53
4.6	Adaline	53
4.6.1	Adaline Eğitimi	55
4.6.2	Adaline ile Güç Kalitesi Olaylarının Algılanması	56
4.6.3	Adaline için Simülasyon Sonuçları	57
4.6.3.1	Gerilim Düşmesi	57

4.6.3.2	Gerilim Yükselmesi	59
4.6.3.3	Gerilim Kesilmesi	60
4.6.3.4	Geçici Bozulmalar	61
4.6.4	Hassasiyet Analizi	63
4.6.4.1	Öğrenme Katsayısının (α) Etkisi	63
4.6.4.2	Giriş Sayısının (P) Etkisi	64
4.6.4.3	Örnekleme Frekansının Etkisi	65
4.7	Sonuçlar	66
5	LABVIEW TABANLI GELİŞMİŞ GÜÇ KALİTESİ ANALİZÖRÜ	68
5.1	LabVIEW Yazılımına Genel Bakış	68
5.2	Sistem Donanımı	69
5.3	Güç Analizörü	70
5.3.1	Scope-Metre Uygulaması	71
5.3.2	Güç Ölçüm Uygulaması	73
5.3.3	Harmonik Uygulaması	75
5.3.4	Fazör Diyagramı Uygulaması	77
5.3.5	Olay Yakalama Uygulaması	77
5.3.6	Darbe Ölçüm Uygulaması	78
5.3.7	Veri Okuma Uygulaması	81
5.4	Güç İfadeleri için Analizler	82
5.4.1	Analizler	82

	xi
5.4.2 Sonuçlar	85
6 SONUÇLAR VE İLERİYE YÖNELİK ÇALIŞMALAR	86
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	94
EK-1	
EK-2	
EK-3	
EK-4	
EK-5	
EK-6	
EK-7	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission
EN	European Norm
Adaline	Adaptive Linear Neuron
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench
CF	Krest faktör.
D_B	Budeanu bozulma gücü.
D_K	Kimbark bozulma gücü.
D_S	Kaydırılmış güç.
D_H	Üretilen harmonik gücü.
f	Frekans
F_{HL}	Harmonik kayıp faktörü.
φ	Faz açısı.
φ_n	n.harmonik faz açısı.
G_n	n.harmonik konduktansı.
G_e	Eşdeğer konduktansı.
I	Akımın etkin değeri.
I_{da}	Akımın doğru akım bileşeni.
I_n	Akımın n.harmoniğinin etkin değeri.
I_m	Akımın azami değeri.

I_{Aktif}	Fryze güç tanımında akımın aktif bileşenin etkin değeri.
I_{Reaktif}	Fryze güç tanımında akımın reaktif bileşenin etkin değeri.
I_R	Shepherd ve Zand ile Czarnecki güç tanımında akımın aktif bileşeni.
I_X	Shepherd ve Zand güç tanımında akımın reaktif bileşeni.
I_D	Shepherd ve Zand güç tanımında akımın bozulma bileşeni.
I_{Re}	Czarnecki güç tanımında akımın reaktif bileşeni
I_S	Czarnecki güç tanımında kayma akımı.
I_H	Czarnecki güç tanımında üretilen harmonik akımı.
$i(t)$	Akımın zamana bağlı ifadesi.
P_1	Temel harmonik aktif gücü.
P	Aktif güç.
Q_B	Budenau reaktif gücü
Q_1	Temel harmonik reaktif gücü.
Q_F	Fryze reaktif gücü
Q_K	Kimbark reaktif gücü.
Q_R	Czarnecki reaktif gücü.
Q_C	Kapasitif reaktif güç.
Q_L	İndüktif reaktif güç.
S_R	Shepherd ve Zand aktif görünür gücü
S_X	Shepherd ve Zand reaktif görünür gücü
S_D	Shepherd ve Zand distorsiyon görünür gücü

S_Q	Sharon reaktif görünür gücü
S_C	Sharon tamamlayıcı görünür gücü
S	Görünür güç.
t	Saniye olarak zaman
THD_X	Akım (yada Gerilimin) toplam harmonik bozulması.
V_m	Gerilimin azami değeri
V	Gerilimin etkin değeri.
V_{da}	Gerilimin doğru akım bileşeni.
V_n	Gerilimin n.harmoniğinin etkin değeri.
V_{m_n}	Gerilimn n.harmoniğinin azami değeri.
$v(t)$	Gerilimin zamana bağlı ifadesi.
ω	Açısal frekans
ω_n	n.harmoniğin açısal frekansı
$WTHD$	Ağırlık toplam harmonik bozulması.

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 IEEE 1159:2009'a göre kısa süreli değişimler	11
2.2 Tam dalga doğrultucu devresi	16
2.3 Tam dalga doğrultucu devresindeki gerilim dalga formları	17
2.4 Tam dalga doğrultucu devresindeki akım dalga formları	17
2.5 Farklı frekanslardaki sinüzoidal dalga şekilleri	23
3.1 Ani aktif, ani reaktif ve ani gücün zamana göre değişimi	28
3.2 Güç üçgeni	44
3.3 Zaman gecikmesi	45
3.4 Alçak geçiren filtre	45
4.1 Gerilim çökmesine ait dalga şekli	50
4.2 Yarım periyotluk pencere içinde örnek kaydırma	50
4.3 Yarım periyotluk pencere kaydırma	50
4.4 Bir periyotluk pencere içinde örnek kaydırma	50
4.5 Bir periyotluk pencere kaydırma	50
4.6 Harmonikli gerilim içeren dalga şekli	51
4.7 Yarım periyot pencere içinde örnek kaydırma	51
4.8 Yarım periyot pencere kaydırma	51
4.9 Bir periyot pencere içinde örnek kaydırma	51

4.10 Bir periyot pencere kaydırma	51
4.11 Adaline yapısı	54
4.12 Gerilimdeki değişim ve adaline tepkisi	55
4.13 Zamandaki sinyale ait örnekler	55
4.14 Gerilimin %50 düşmesine ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)	58
4.15 Gerilimin %10 düşmesine ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)	58
4.16 Gerilimin %20 yükselmesine ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)	59
4.17 Gerilimin %80 yükselmesine ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)	60
4.18 Gerilimin kesilmesine ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)	61
4.19 Gerilim çentiğine ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)	62
4.20 Bozuk gerilime ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)	62
4.21 Farklı α değerleri için adaline hatası	64
4.22 Farklı giriş sayıları için adaline hatası	65
4.23 Farklı örnekleme frekansları için adaline tepkisi	66
5.1 Güç analizörünün blok diyagramı	71
5.2 Scope arayüzü	72
5.3 Metre arayüzü	72

5.4 Üç fazlı güç ifadelerini LabVIEW blokları. (a) Aritmetik görünür güç, (b) Vektör görünür güç, (c)IEEE std. görünür güç, (d) DIN std. görünür güç ifadesi.	73
5.5 Üç faz güç ölçüm arayüzü	74
5.6 Tek faz güç ölçüm arayüzü	74
5.7 LabVIEW FFT algoritması	75
5.8 Harmonik ölçüm arayüzü	76
5.9 Fazör diyagramı arayüzü	77
5.10 Olay yakalama arayüzü	78
5.11 Algılanan farklı üç gerilim darbesi	79
5.12 Geliştirilen darbe ölçüm uygulaması ile algılanan olay	80
5.13 Darbe ölçüm arayüzü	81
5.14 Veri okuma arayüzü	81
5.15 Test sistemine ait şematik	82
5.16 Üç faz güç ölçüm sonuçları	83
5.17 Geleneksel ölçü aleti güç ölçümü	84
5.18 Güç kaynağı ölçüm sonuçları	84
5.19 Tek faz güç ölçümleri	85

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 IEC 61000-2-5:1995'e göre güç sistemi elektromanyetik olayları	8
2.2 IEEE 1159:2009'da tanımlanan güç kalitesi olayları	9
2.3 Harmonikler hakkında oluşturulmuş IEEE, IEC ve EN standartları	20
2.4 IEC 61000-3-6'ya göre orta ve yüksek gerilim harmonik sınır değerleri	21
2.5 IEEE gerilim harmonik sınırları	21
2.6 Standartlarda belirtilmiş harmoniklere ait bazı indisler	22

1 GİRİŞ

Elektrik enerjisi; kullanımı, üretimi ve iletimi kolay, temiz, yüksek verimli bir enerji türüdür. Su gücü (hidrolik), rüzgâr, güneş enerjisi gibi doğal ve yenilenebilir kaynaklardan üretilebildiği gibi fosil ya da nükleer yakıtlar kullanılarak da üretilebilmektedir. Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesine paralel olarak elektrik enerjisine olan talep de gün geçtikçe artmaktadır. İnsan yaşamını ilgilendiren hemen her türlü alanda kullanılan elektrik enerjisi ülkemizde genellikle yerleşim yerlerinin uzağında bulunan kaynaklardan üretilir, iletim kayıplarını azaltmak amacıyla transformatörler ile yüksek gerilimlere çıkarılır, AC (alternatif) gerilim şeklinde iletilir. Bu yüksek gerilimler dağıtım noktasında tekrar transformatörler aracılığıyla alçak gerilimlere indirilerek dağıtılır. Bu süreç içerisinde elektrik enerjisinin kirletilmeden, kaliteli olarak tüketiciye ulaştırılması gerekmektedir. Bu bakımdan, tüketicilere ulaştırılan elektrik enerjisinin kesintisiz, dalga formunun sinüzoidal, genlik ve frekansının ise standartlarda belirtilen toleranslar dahilinde bulunmasını ifade eden “güç kalitesi” elektrik enerjisinden azami yarar sağlanması açısından önemlidir [1]

Dolayısıyla şebekedeki güç kalitesi parametrelerini ölçmek, gücün standartlarda belirtilen kalitede olup olmadığının tespit edilmesi, iletim hatlarında oluşan problemlerin giderilmesini ve finansal kayıpların azaltılmasını sağlamak için elzemdir. Dalga formundaki geçici bozulmalar ve harmonikler gibi güç kalitesini belirleyici parametreler kayıt altına alınarak gerekli koruyucu planlar hazırlanabilir. Ayrıca sistemin sürekli olarak izlenmesi, meydana gelen problemlerin istatistiksel analizi için gerekli verileri sağlar. Bu verilerden yola çıkılarak olayların nerede ve nasıl ortaya çıktığı belirlenebilir. Uygulanacak ölçüm yöntemleri, elde edilen sonuçlar üzerinde birlik sağlanması amacıyla standartlarca desteklenmektedir. Bunların en önemlileri, sinüzoidal ve sinüzoidal olmayan şartlarda güç tanımlarını anlatan IEEE Std. 1459-2000 [2], harmonik limitleri ve güç sistemlerine etkileriyle alakalı örnek analizler içeren IEEE Std. 519-1992 [5], elektromanyetik uyumluluk testlerinin anlatıldığı IEC 61000 3-2 [6], IEC 61000 3-4 [7], IEC 61000 3-6 [9] ve güç kalitesi ölçüm yöntemlerini anlatan IEC 61000 4-30 [8] standartlarıdır.

Ülkemizde elektrik enerjisi verimliliğini artırmak ve iletim sisteminde enerji kalitesine etki eden bileşenleri ölçüme dayalı izlemek amacıyla *Güç Kalitesi Milli Projesi* oluşturulmuştur. Türkiye Elektrik İletim AŞ.(TEİAŞ), TÜBİTAK-Bilten, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), Hacettepe Üniversitesi (HÜ), Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ) ve Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) kurumlarının ortak olarak yer aldığı proje kapsamında IEEE std. 1159-2009 [11]'da tanımlanan güç kalitesi parametrelerinin ölçümü yapılmaktadır [58].

1.1 Arka Plan

Gelişen bilgisayar teknolojisine paralel olarak güç kalitesi parametrelerinin gerçek zamanlı olarak ölçülmesi ve izlenmesine yönelik literatürde yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır [13]–[16]. Bu çalışmalardan bazılarında mevcut ölçüm ve güç kalitesi standartları temel alınmıştır [17], [18].

Bununla birlikte adaline algoritmasının güç kalitesi olaylarını algılamak ve sınıflandırmak için kullanıldığı güncel çalışmalar giderek önem kazanmaktadır [19], [20]. Bu çalışmalar, adaline'nın sadece güç kalitesi olaylarını algılamaya yönelik değil harmonik analizlerinde FFT'ye bir alternatif olarak kullanılabileceğini de göstermektedir.[21], [22]. Ancak bu çalışmalar simülasyon olarak yapılmış olup, gerçek zamanlı ölçümlerle test edilmemiştir.

Literatürde geniş olarak yer bulan, sinüzoidal olmayan şartlarda tek fazlı sistemler için oluşturulmuş güç tanımları sırasıyla; Budeanu [25], [26], Fryze [26], [27], Shepherd ve Zand [28], Sharon [29], Kimbark [30], Czarnecki [31] ile Kusters ve Moore [32] tarafından verilmiştir. Sinüzoidal olmayan şartlarda, tek fazlı sistemler için oluşturulan ve yaygın olarak bilinen güç ifadeleri üzerinde literatürde birçok inceleme yapılmıştır [33]–[35].

1.2 Tezin Amacı

Güç kalitesi olaylarının takibinde ve analizinde kullanılmak üzere kolay kullanım sağlayan bilgisayar tabanlı güç kalitesi analizörü ve gelişmiş güç ölçer yapılması amaçlanmıştır. Literatürde belirtilen güç ifadelerinin karşılaştırması yapılmış, her bir ifadenin ayrıntılı ölçüm ve hesaplama sonuçları oluşturularak gelişmiş bir güç ölçer yazılımı hazırlanmıştır. Klasik etkin değer izlemeye bağlı olay yakalama yöntemi, yapay zekaya dayalı bir şekilde geliştirilmiş ve dalga formunu izleyen daha hassas bir olay yakalama sistemi gerçekleştirilmiştir. Donanım tabanlı tetikleme kullanılarak gerilimdeki darbe şeklinde olayları yakalamak için darbe ölçüm uygulaması geliştirilmiştir.

1.3 Tezin Sınırları

Tez içerisinde incelenilen konularda ve bu konularla alakalı analizlerde;

3 fazlı ve 1 fazlı sistemler incelenmiş ve ölçülebilecek en yüksek gerilim ve akım, kullanılan cihazlar sebebiyle sürekli halde 1000V – 1000A ile sınırlanmıştır. Kullanılan ölçüm kartı diferansiyel ölçüm yapabildiğinden sistemin topraklı olması gerekmemektedir.

Harmonik ölçümlerinde IEC-61000-3-6 ve IEEE-519-1992 standartları temel alınarak gerilim harmoniklerinin bu standartlara uygunluğu incelenmiştir.

Literatürde mevcut olan bütün güç tanımları dikkate alınmamış sadece yaygın olan tanımlar incelenmiştir.

Olay algılama yöntemi olarak Adaline yapay zeka algoritması kullanılmıştır.

1.4 Tezin İçeriği

Tez altı ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, güç kalitesi ve ölçümü hakkında genel bir bilgi verilmiş, bu konu ile ilgili olarak geçmişte yapılan çalışmalar incelenmiş ve tezin amacı ve kapsamı hakkında bilgiler verilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde, standartlarda belirtilen güç kalitesi tanımı ayrıntılı olarak incelenmiş ve güç kalitesinin takibi için gerekli ölçüm parametreleri anlatılmıştır. Ayrıca harmonik konusu detaylı olarak incelenmiş harmoniklerin güç sistemleri ve güç ölçümleri üzerindeki etkileri açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, elektriksel güç hakkında bilgi verilmiş ve görünür, aktif ve reaktif güç tanımlamaları kısaca anlatılmıştır. Sinüzoidal olmayan şartlar için literatürde tek faz ve üç faz ifadeleri verilen başlıca güç tanımlamaları açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, güç kalitesi ölçümlerinde kullanılan algılama yöntemleri ve “Adaline” algoritması incelenmiştir. Etkin değer hesabı detaylı olarak anlatılmış, gerilim dalga formundaki farklı bozulmaların etkin değer hesaplama yöntemi ile algılanmasına yönelik benzetimler gerçekleştirilmiştir. Aynı benzetimler Adaline yapay zeka algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar etkin değer hesaplamasıyla kıyaslanmıştır.

Beşinci bölümde, güç kalitesi parametrelerinin hesaplanması ve güç ölçümü için geliştirilen analizör anlatılmıştır. Öncelikle geliştirilen analizörün yapımında yararlanılan LabVIEW uygulaması tanıtılmıştır. Sonra geliştirilen analizörün kullanıcı arabirimi anlatılmış ve her bir uygulamaya ait ekran görüntüleri verilmiştir. Ardından, geleneksel analizörlerde karşılaşılan problemler anlatılmış ve geliştirilen analizörün mevcut analizörlerden farkları açıklanmıştır.

Son bölümde, yapılan çalışmalar ışığında sonuçlar özetlenmiş ve gelecek çalışmalara ilişkin açıklamalar verilmiştir.

2 GÜÇ KALİTESİ

Bu bölümde güç kalitesi kavramı hakkında genel bir giriş yapılarak güç kalitesi problemleri kısaca anlatılacaktır. Güç kalitesine etki eden unsurlar hakkında bilgi verildikten sonra bu konudaki standartlar incelenecek ve bu standartlardan biri olan IEEE 1159:2009'da belirtilen güç kalitesi parametrelerinin tanımları verilecektir. Güç kalitesi unsurlarından biri harmonikler hakkında detaylı bilgi verilecek ve sistem üzerindeki etkileri incelenecektir.

2.1 Güç Kalitesi

Elektrik enerjisi, ticari ve endüstri alanında en çok kullanılan ham maddelerden bir tanesidir. Süreklilik gerektirdiği ve depolanamadığı için kullanımdan önce herhangi bir kalite güvencesi ve denetimi sağlanamamaktadır. Bu sebeple üreticinin kaliteli ve güvenilir olması gerekmektedir. Elektrik üretiminin, kullanım alanlarından çok uzakta yapılması, birden fazla farklı generatörün üretimde yer alması ve tüketim noktasına kadar farklı transformator ve kabloların kullanılması kalite ve güvenilirliği olumsuz etkilemektedir.

Tüketici tarafından bakıldığında sorun oldukça karmaşık bir hale gelmektedir. Generatörlerle sorunsuz bir şekilde üretilen enerji, tüketiciye üretildiği kalitede iletilmemektedir. Kesintiler, gerilim seviyesindeki kısa süreli değişimler birçok kullanıcıyı olumsuz olarak etkilemektedir. Bu sebeple güç kalitesi tanımı şebeke üzerinde herhangi bir noktada yapılabilmesine karşın, genelde tüketici tarafında önem kazanır. Güç kalitesini basit olarak tanımlamak gerekirse şebekenin herhangi bir noktasında, gerilimin genlik ve frekansının anma değerlerini koruması ve dalga şeklinin sinüzoidal olmasıdır [1].

- Gerilim genliğinin dalgalanması,
- Kesintiler,
- Darbe şeklinde değişimler,
- Harmonikler,
- Frekansın değişimi,
- Kırpışma,

–Üç faz dengesizlikleri

başlıca güç kalitesi problemleri olarak görülmektedir.

Şebekeden sinüzoidal olmayan akım çeken yükler, iletim ve dağıtım sistemlerinde ciddi bir harmonik kirliliğine sebep olmakta ve hatlarda, gerilim dalga formunu bozacak şekilde gerilim düşümleri oluşturmaktadırlar. Bu sebeple üreticiler, hassas tüketicilerin maliyeti üstlenerek kendi kalite önlemlerini alması gerektiğini düşünmektedir. Üreticinin her tüketici için yüksek kalitede üretim ve iletim yapması ekonomik olmamaktadır. Bununla birlikte üretici de şebeke tasarımında problem yaratabilecek noktaların oluşmasını önlemeli veya risk tahmini yaparak riskli noktaları tespit etmelidir. Dondurucu soğuklar, güçlü rüzgarlar ve yıldırım düşmesi gibi üreticiden kaynaklanmayan doğal olayların sonucu bozucu etkenlerden sayılabilir ve doğru hesaplamalarla bu sorunlar azaltılabilir.

Üretilen enerjinin kalitesinin artırılması ve bu yönde çözüm üretilebilmesi için, öncelikle oluşan kalitesizliklerin sebepleri bulunmalı, bunların oluşma zamanları belirlenmeli ve elde edilen bu veriler doğrultusunda çeşitli sınıflandırmalar yapılmalıdır. Güç kalitesinin ölçümü ile gerilim ve akım değişimleri gibi parametreler kayıt altına alınarak, bu ölçüm sonuçlarına göre gerekli önlemler hazırlanabilir, sistemin sürekliliği sağlanabilir ve program dışı kesintilerin önlenmesi ile ticari açıdan büyük kazançlar sağlanabilir. Şebekenin sürekli izlenmesi, güç sistemlerinde meydana gelen problemlerin istatistiksel analizi için gerekli verilerin elde edilmesini sağlar ve bu şekilde gelecekte ne tür önlemler alınabileceği belirlenebilir.

2.2 Güç Kalitesi Standartları

Üretilen elektrik enerjisinin esasta gerilimi üzerinde bir etkide bulunabileceği düşünüldüğünde, güç kalitesi kavramı üzerinde yapılan tanımlamaların büyük çoğunluğunun gerilim üzerine olduğu görülür. Sistemden çekilen akım yüke bağlı olacağından, akım dalga formu öngörülememektedir. Kısa devre olaylarında olduğu gibi akımdaki büyük değişimler gerilimi etkilese de temel ölçüt gerilimdir. Bu sebeple standartlar ve tanımlar yapılırken gerilim dalga formu ve etkin değeri temel alınmaktadır.

Güç kalitesi hem üretici hem de tüketici ile alakalı olduğundan kalite ile ilgili standartlar bu doğrultuda iki gruba ayrılabilir. Birinci gruptaki standartlar IEC 61000-2-5:1995 [10] ve EN 50160:2000 [12] gibi cihaz veya ürün temelli standartlardır. Bir cihaz veya ürünün sahip olması gereken uyumluluk sınırlarının verir.

Tüm elektrikli cihazların çevrelerindeki diğer cihazlar ile hiçbir elektromanyetik etkileşim içinde olmadan çalışmasını beklemek doğru bir yaklaşım değildir. Ancak bu etki belirli toleranslar içinde olmalıdır. Cihazların hangi elektromanyetik olaylara ne boyutta neden olacağı ve hangi boyuttaki elektromanyetik olaylardan ne nispette etkileneceği ve bu etkilenmelerin nelere yol açacağı belirlenmelidir. Bu mantıktan yola çıkılarak hazırlanan IEC 61000-2-5:1995'e göre tüm bozulmalar üç ana başlık altında incelenebilir. Bunlar;

–Düşük frekans olayları (<9 kHz),

–Yüksek frekans olayları (>9 kHz),

–Elektrostatik deşarj olaylarıdır.

Her bir olay kendi içinde ışıma (radyasyon) ve iletim olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Işıma bozulmaları cihazların çevresinde görülen elektrik alan ve manyetik alan ile meydana gelen ve havadan iletilen bozulmaları, iletim bozulmaları ise metalik yolla iletilen bozulmaları ele almaktadır. IEC 61000-2-5:1995'e göre güç sistemi elektromanyetik olayları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 IEC 61000-2-5:1995'e göre güç sistemi elektromanyetik olayları

Düşük frekans olayları (<9kHz)	- İletim bozulmaları	- Harmonik ve ara harmonikler - Haberleşme gerilimleri - Gerilim dalgalanmaları - Gerilim çukurlaşması (dip) ve kesilmeler - Gerilim dengesizlikleri - Güç frekansı değişimleri - İndüklenen alçak frekanslı gerilimler - A.C. şebekelerde D.C. kullanımı
	- Işıma bozulmaları	- Manyetik alan - Elektrik alan
Yüksek frekans olayları (>9kHz)	- İletim bozulmaları	- İndüklenen sürekli formda akım ve gerilim - Tek yönlü geçicilikler - Salımlı geçicilikler
	- Işıma bozulmaları	- Manyetik alan - Elektrik alan - Elektromanyetik alan <input type="checkbox"/> Sürekli <input type="checkbox"/> Geçici
Elektrostatik deşarj olayları		
Nükleer elektromanyetik darbe		

Alçak ve orta gerilim dağıtım şebekesinin sahip olması gereken vasıfların sıralandığı EN 50160:2000 standardında gerilim, frekans, genlik, kesilme, dengesizlik gibi kavramların sınırları belirtilmiştir. EN50160 bir EMC standardı değildir ama Avrupa'da istenen gerilim kalitesini tanımlamaktadır. Standart incelendiğinde genel olarak olayların tanımlandığı, nedenlerinin gösterildiği ancak kesin sınırlar çizilmediği görülmektedir.

İkinci gruba ise IEEE 1159:2009 standardı örnek gösterilebilir. Bu standartta, şebeke üzerinde ortak etkileşim noktası olarak tanımlanan bir noktada oluşabilecek bozulmalar sınırlandırılmakta ve güç kalitesi olayları sürelerine ve genliklerine göre tanımlanmaktadır.

IEEE 1159:2009'da tanımlanan güç kalitesi olaylarının süre ve genliklerine göre değişimi Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2 IEEE 1159:2009'da tanımlanan güç kalitesi olayları

SINIF		FREKANS SPEKTRUMU	SÜRESİ	GERİLİM TEPEDEĞERİ
Darbe şeklinde geçici olay	Nano saniye	5 ns yükselme	<50ns	
	Mikro saniye	1 µs yükselme	50 ns-1 ms	
	Mili saniye	0.1 ms yükselme	>1 ms	
Salımlı geçici olay	Düşük frekans	< 5 kHz	0,3-50 ms	0-4 p.u
	Orta frekans	5-500 kHz	20 µs	0-8 p.u
	Yüksek frekans	0,5-5 MHz	5 µs	0-4 p.u
Anlık kısa sürelili değişimler	Düşme		0,5-30 periyod	0,1-0,9 p.u
	Yükselme		0,5-30 periyod	1,1-1,8 p.u
Anlık-geçici kısa süreli değişimler	Kesilme		0,5-3s	<0,1 p u
	Düşme		30periyod-3s	0,1-0,9 p.u
	Yükselme		30periyod-3s	1,1-1,4 p u
Geçici kısa sürelili değişimler	Kesilme		3s-1 dakika	<0,1 p u
	Düşme		3s-1 dakika	0,1-0,9 p.u
	Yükselme		3s-1 dakika	1,1-1,2 p.u
Uzun süreli değişimler	Kesinti		>1 dakika	0 p u
	Düşme		>1 dakika	0,8-0,9 p u
	Yükselme		>1 dakika	1,1-1,2 p u
	Dengesizlik		Kalıcı durum	0-%0,1
Dalga şekli bozukluğu	DC Bileşen		Kalıcı durum	0-%0,1
	Harmonikler	0-9kHz	Kalıcı durum	0-%20
	Ara harmonikler	0-9kHz	Kalıcı durum	0-%2
	Çentik etkisi		Kalıcı durum	
	Gürültü		Kalıcı durum	0-%1
	Gerilim dalgalanması	< 25Hz	Kesikli	0,1-%7
Güç frekansı değişimi			<10s	± 0,10Hz

Yarım periyottan daha kısa sürede gerçekleşen olaylar geçicilikler, yarım periyottan bir dakikaya kadar olan olaylar kısa süreli değişimler ve bir dakikadan uzun süren olaylar uzun süreli değişimler olarak tanımlanmaktadır. Dengesizlikler, bozulmalar, dalgalanmalar ve güç frekansındaki değişimler ayrıca tanımlanmıştır.

2.3 IEEE 1159:2009'a göre Güç Kalitesi Tanımları

Bu tezde güç kalitesi ile ilgili tanımlamalarda IEEE 1159:2009 standardından yararlanılmıştır.

2.3.1 Geçici Olaylar

Geçici olay tanımlaması güç sistemlerinin analizinde uzun süredir kullanılan bir kavramdır. Frekansın 3 MHz'ye kadar ulaştığı çok kısa süreli olaylardır. Gerilimin dalga formunda görülen geçici olay darbe şeklinde ve salınımlı olmak üzere iki kısımda incelenebilir.

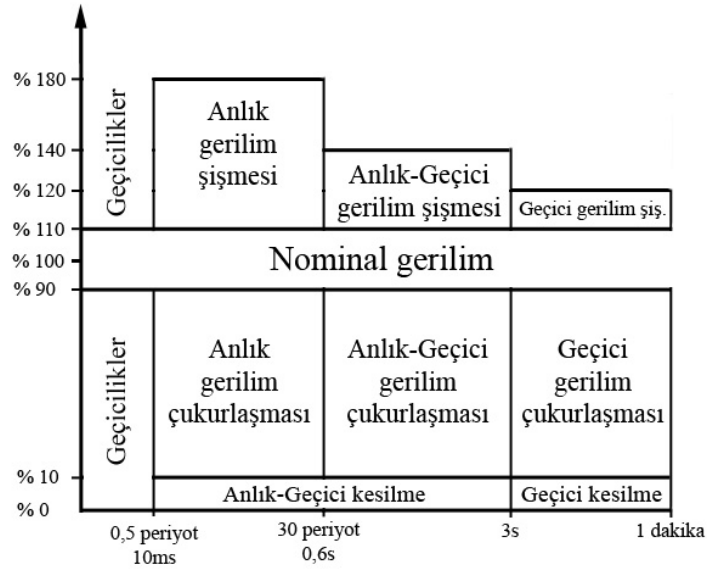
Darbeler akımda ve/veya gerilimde meydana gelen ani ve tek yönlü (pozitif veya negatif) bozulmalardır. Darbe şeklinde geçici değişimlerin sebebi genellikle yıldırım olaylarıdır. Ayrıca rezonans devrelerini etkileyebilir ve salınımlı geçici bozulmalara sebep olabilir.

Salınımlı geçici olaylar ise akımda ve/veya gerilimde meydana gelen, çift kutuplu yani hem pozitif hem de negatif değerler alan bozulmalardır. Akımın veya gerilimin çok hızlı bir şekilde polaritesinin değişmesidir. Ayrıca bu tür bozulmaların ölçümü yapılırken temel frekans bileşeni içerip içermediğinin belirtilmesi önemlidir.

Salınımlı geçici olaylar, düşük, orta ve yüksek frekanslı olmak üzere üçe ayrılırlar. Temel frekans değeri 500kHz'den büyük ve süresi 5 μ s' ye kadar olan bozulmalar yüksek frekanslı salınımlı geçici olaylardır. Büyük çoğunlukla anahtarlama olayları sonrasında görülmekle birlikte sistemin, darbe şeklinde geçici olaylara verdiği cevabın sonucunda da oluşabilmektedir. Güç elektroniği devreleri, haberleşme ve snubber devreleri nedeniyle gerilimde salınımlı bozulmalar oluşabilmektedir. Temel frekans değeri 5-500kHz ve süresi 20 μ s' ye kadar olan bozulmalar ise orta frekanslı salınımlı geçici olaylardır. Temel frekans değeri 5kHz'den küçük ve süresi 0,3-50ms aralığında olan bozulmalar ise düşük frekanslı geçici olaylardır. Orta ve düşük frekanslı salınımlı bozulmalar güç sistemlerinin iletim ve dağıtım aşamasında özellikle kondansatör gruplarının enerjilendirilmesi sırasında görülmektedir.

2.3.2 Kısa Süreli Etkin Değer Değişimleri

Gerilim etkin değerinin kısa süreli değişimini Tablo 2.2’de tanımlanan süreler doğrultusunda anlık, anlık-geçici ve geçici olmak üzere üç kısma ayırabiliriz. Bu süreler koruyucu devre donanımlarının işlem süreleriyle bağlantılıdır. IEEE 1159:2009’a göre kısa süreli değişimlerin tanımlanan zaman ve genlik değerleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 IEEE 1159:2009'a göre kısa süreli değişimler

Kısa süreli gerilim değişimleri; kalkış akımları yüksek olan yüklerin devreye alınması ve çıkartılması, enerji dağıtım sistemindeki bağlantı kopuklukları, kısa devreler gibi sebeplerle ortaya çıkmaktadır. Bu değişimler sistemin durumuna ve hatanın olduğu yere göre gerilim yükselmesi (swells), gerilim çukurlaşması (sags) veya gerilim kesilmesi şeklinde görülmektedir. Süre ve genlik olarak akımdaki değişimler de kısa süreli bozulmalar olarak sınıflandırılabilir.

Besleme geriliminin veya yük akımının 1 dakikayı aşmayacak şekilde etkin değerinin 0,1 pu altında olmasına kesinti denir. Güç sistemleri hataları ve donanımsal kusurlar kesinti nedeni olabilmektedir. Kesinti, gerilim genliğinin sürekli olarak %10 seviyesinin altında kaldığı süre ile ölçülür. Genellikle gerilim çukurlaşmasından sonra görülür. İletim hattındaki gerilim çukurlaşmasından hemen sonra koruyucu

donanımların devreye girmesiyle kesinti oluşabilmektedir. Kesintinin süresi koruyucu cihazın geri kapama başarımına bağlıdır.

Gerilimin etkin değerinin yarım periyottan 1 dakikaya kadar bir süre içinde 0,1 pu ile 0,9 pu arasında azalmasına gerilim çukurlaşması (sags) denir. Gerilim çukurlaşması tanımlanırken ne seviyede çukurlaşma olduğu değil, elde kalan gerilim seviyesi göz önüne alınmaktadır. Örnek olarak gerilim çukurlaşmasının %80 olması demek gerilimin etkin değerinin nominal işletme gerilimi baz alınarak 0,8 pu olması demektir. Gerilim çukurlaşması sistemdeki arızalardan kaynaklandığı gibi yüksek akım çeken yüklerin devreye alınmasından kaynaklanabilir. Bir indüksiyon motoru kalkış anında nominal akımının 6 ile 10 kat fazlasını çekmektedir. Sistem empedansından dolayı bu yüksek akımlar gerilim seviyesinin çukurlaşmasına sebep olmaktadır. Genelde süre olarak yarım periyot ile 1 dakika arası olarak tanımlanır. Yarım periyottan kısa süren gerilim çukurlaşmalarında rms değerini değişimi fazla olmadığından yarım periyottan kısa süren çukurlaşmalar geçici durum olarak sınıflandırılmaktadır.

Gerilimin etkin değerinin yarım periyottan 1 dakikaya kadar bir süre içinde 1,1 pu üzerinde olmasına gerilim yükselmesi (swells) denir. Oluşan gerilimin genliği ile belirtilir ve değeri her zaman 1 pu'dan büyüktür. Gerilim çukurlaşması kadar sık görülmemektedir. Gerilim çukurlaşmasında olduğu gibi, iletim veya dağıtım sistemlerindeki arızalardan kaynaklanmaktadır. Genellikle tek faz-toprak arızası sırasında sağlıklı fazlarda görülmektedir. Bununla birlikte büyük yüklerin devreden alınması ve büyük kondansatör gruplarının enerjilendirilmesi sırasında da oluşabilmektedir.

Gerilim yükselmesinin şiddeti, hatanın durumuna, yerine, sistem empedansına ve topraklamaya bağlı olarak değişir. Topraksız bir sistemde tek faz-toprak arızası sırasında sağlıklı fazdaki faz-toprak gerilimi 1,73 pu'ya kadar yükselmektedir. Etkin bir şekilde topraklanmış istasyona yaklaştıkça herhangi bir gerilim yükselmesi oluşmayacaktır. Çünkü dağıtım merkezi transformatörü genellikle üçgen-yıldız (Δ -Y) bağlı olup arıza akımı için düşük empedanslı sıfır sıraya sahiptir.

2.3.3 Uzun Süreli Etkin Değer Değişimleri

Nominal frekanstaki gerilimin rms değerinin değişimi 1 dakikadan daha uzun bir süreyi kapsıyorsa bu tür bozulmalar uzun süreli olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma dahilindeki toleranslar Tablo 2.2’de verilmiştir.

Uzun süreli değişimler gerilim düşmesi veya yükselmesi olarak görülebilmektedir. Gerilim düşmesi veya yükselmesi genelde sistemdeki arızaların bir sonucu olmayıp, sistemdeki yük değişimlerinin ve anahtarlamaların bir sonucudur.

Gerilim yükselmesi, işletme geriliminin 1 dakikadan daha uzun bir süre etkin değerinin 1,1 pu’dan fazla olmasıdır. Genellikle büyük güçteki yüklerin devreden çıkarılması sırasında veya sistemdeki kompanzasyon elemanlarının devreye alınması sırasında görülür. Transformatörlerin uygun olmayan kademe ayarları da gerilim yükselmesine sebep olabilmektedir.

Gerilim düşmesi işletme geriliminin 1 dakikadan daha uzun bir süre etkin değerinin 0,9 pu’dan az olmasıdır. Genellikle gerilim yükselmesine sebep olan olayların tersi durumlarda görülmektedir.

2.3.4 Gerilim Dengesizliği

Dengesizlik, üç fazlı sistemlerde negatif sıra bileşeninin genliğinin pozitif sıra bileşeninin genliğine yüzde oranı olarak belirtilir.

$$\%Dengesizlik = \frac{|V_{neg}|}{|V_{poz}|} \times 100 \quad (2.1)$$

Bu tanım hem gerilim hem de akım için geçerlidir. Genellikle üç fazlı sistemlerde gerilim dengesizliği %3’ün altında olmaktadır. Akım dengesizliği ise özellikle tek fazlı yüklerin olduğu durumlarda gerilime göre daha fazladır. Gerilim dengesizliği üç fazlı sistemlerde kondansatör gruplardan herhangi bir faza ait olanının devre dışı kalmasından oluşabilmektedir.

2.3.5 Dalga Şeklindeki Bozulmalar

Güç sistemindeki elemanların hepsinin lineer olduğu kabul edilirse, elektrik enerjisinin üretilmesi, iletilmesi ve dağıtılmasına ilişkin hesaplamalarda akım ve gerilimler sinüzoidal olacaktır. Akım ve gerilim dalga şekillerinin nominal frekansta sinüzoidal olmaması dalga şekli bozukluğu olarak tanımlanmaktadır.

5 genel dalga şekli bozulması söz konusudur.

- DC bileşen
- Harmonikler
- Araharmikler
- Çentik oluşumu
- Gürültü

Güç sistemlerinde doğru akım veya doğru gerilimin varlığı DC bileşen olarak ifade edilir. Çok uzun iletim hatlarında yeryüzünün tabii manyetik alanının etkisi veya yarım dalga doğrultucular DC bileşenin temel oluşma sebeplerindedir. Sistemde doğru akımın bulunmasının transformatör doyumunda ve ısısında artış, yalıtım problemleri gibi zararları vardır.

Enerji sisteminin çalışması için belirlenen frekansın (temel frekans) tam katları frekanslarda olan sinüzoidal akım ve gerilim dalga formlarına harmonik denir. Temel frekanstaki dalga formu ile birleşince dalga şeklinde bozulmalara sebep olmaktadır. Harmoniklerin genel oluşma sebebi, sistemde lineer olmayan karakteristiğe sahip güç elektroniği elemanlarının bulunmasıdır.

Genellikle şebekede sadece temel frekansın tam katı olan bileşenler bulunmamaktadır. Şebekenin temel frekansının tam katı olmayan frekans bileşenleri içeren gerilim ve akım değerlerine araharmik denir. Araharmikler bütün gerilim seviyelerinde görülebilmektedir. Ark fırınları, endüksiyon ocakları ve statik frekans çeviriciler gibi temel frekans ile eşzamanlı olmayan donanımlar araharmik oluşumuna sebep olmaktadır.

Dalga formundaki bir diğ er bozulma ise ç entik oluşumudur. AC-DC çeviricilerde komutasyon sırasında oluş an periyodik gerilim bozulmaları olarak tanımlanabilir. Komutasyon sırada sistemde kısa devre oluş ur ve gerilim anlık olarak azalır. Bu durum ç ok yüksek frekansta ve periyodik olmasından dolayı harmonik veya geçicilik olayları sınıfına alınmamaktadır.

Güç sistemlerinde sıklıkla görülen diğ er bir bozulma ise gürültüdür. 200kHz'den küçük frekans aralığına sahip, gerilimde veya akımda görülen istenmeyen elektriksel sinyallerdir. Genliğı genellikle gerilimin %1'inden az olmaktadır. Mikroişlemciler ve mikrodenetleyiciler gibi ç ok hassas elektronik donanımlara hasar verebilir. Güç elektroniğı ve kontrol devreleri, ark yapan donanımlar ve anahtarlamalı güç kaynakları gürültüye neden olan başlıca donanımlardır. Hatalı topraklama yapılması da gürültü etkisini artırabilmektedir. Filtre veya yalıtım transformatörü kullanılarak gürültü sorunu giderilebilir.

2.3.6 Gerilim Dalgalanmaları

Gerilim dalgalanmaları, gerilim genliğinin 0,95-1,05 pu aralığında sistematik veya rastlantısal değışimi olarak tanımlanır. Kaynak makinesi ve kompresör gibi güçlü donanımlar ile ark fırınları gibi değışken empedanslı yükler gerilim dalgalanmasına sebep olmaktadır. Kondansatör kullanılan donanımlarda performans kayıplarına sebep olmakla birlikte kontrol sistemlerinin düzensiz ç alışmasını da sağlayabilmektedir.

2.3.7 Güç Frekansı Değışimleri

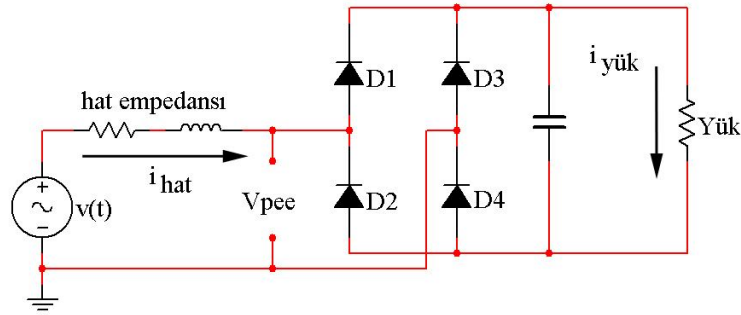
Enerji sisteminin ç alışma frekansının (50Hz, 60Hz) normal değıerinden sapsması olarak tanımlanır. Kalıcı halde şebeke frekansı sistemdeki generatörlerin dönme hızları ile orantılıdır. Frekans sürekli olarak yük ve üretim arasındaki dinamik dengeye bağılıdır ve bu dengeden dolayı frekansta küçük değışimler olmaktadır. Frekanstaki bu salınımların büyüklüğü ve süresi yük karakteristiğıne ve generatörün yük değışimlerine karşı vereceğı cevaba bağılıdır. Küçük, anlık frekans değışimleri hemen her türlü anahtarlama sırasında görülmektedir. Frekanstaki bu değışimler,

dönen makinelerin ve işlem zamanını temel frekanstan türeten elektronik devrelerin çalışmasını etkileyebilmektedir.

2.4 Harmonikler

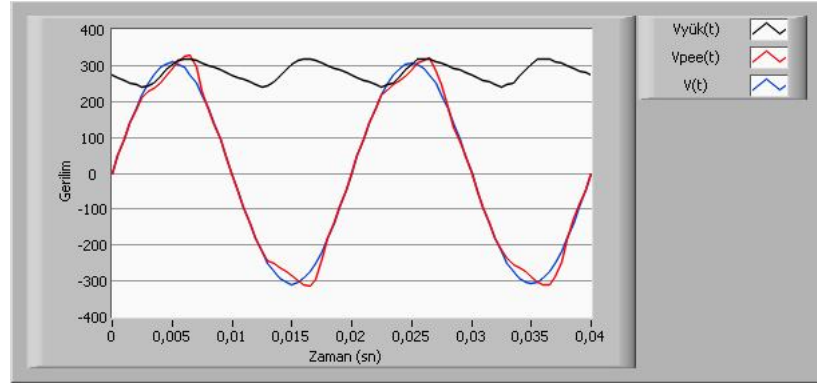
Harmonik oluşumu 1920'li yılların başlarında sadece trafolar, motorlar ve doğrultucular ile sınırlıyken gelişen teknolojiyle birlikte sanayide doğrusal olmayan yüklerin kullanımı harmonik oluşumunu arttırmıştır. Bu yüklerin güçleri küçük değerde olsalar bile enerji sistemlerinde çok sayıda oldukları düşünüldüğünde, gerilim dalga şeklinin bozulmasına ve ek kayıplara neden olması mümkündür [1].

Güç sistemlerinde harmonik üretiminin sebeplerinden olan güç elektroniği devresine ilişkin bir örnek (tam dalga doğrultucu devresi) Şekil 2.2'de verilmiştir.

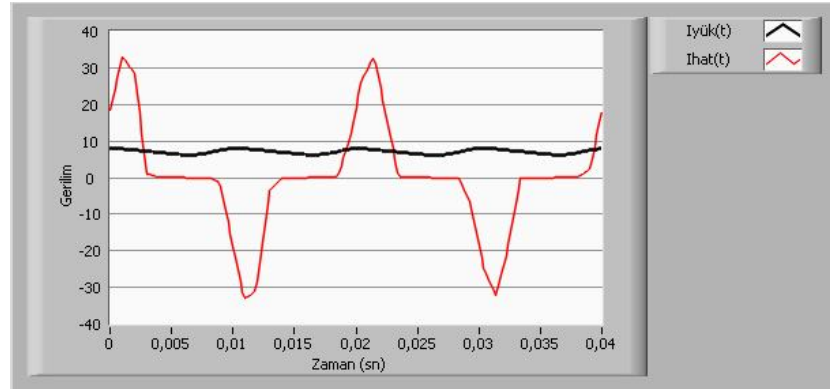


Şekil 2.2 Tam dalga doğrultucu devresi

Şekil 2.2'de verilen devrenin Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te gösterilen akım ve gerilim dalga formları; yarı iletken teknolojisi ile üretilmiş cihazların oluşturduğu harmonik etkisinin ne kadar büyük olduğunu göstermektedir. Burada $V(t)$ hat başındaki sinüzoidal şebeke gerilimidir. $V_{pee}(t)$, doğrultucunun bağlı olduğu terminal gerilimidir. $V_{yük}(t)$ ise tam dalga doğrultucu çıkışındaki doğrultulmuş yük gerilimidir. Akımlara bakacak olursak $I_{yük}(t)$ yükün çektiği akımı, $I_{hat}(t)$ ise doğrultucunun terminalden çektiği akımını göstermektedir.



Şekil 2.3 Tam dalga doğrultucu devresindeki gerilim dalga formları



Şekil 2.4 Tam dalga doğrultucu devresindeki akım dalga formları

Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, tam dalga doğrultucunun bağlı olduğu noktadaki gerilim ve yükün çektiği akım sinüzoidal olmayan formdadır. Lineer olmayan akım karakteristiğine sahip güç elektroniği devreleri ile kontrol edilen yüklerin güç sistemlerinde ortak noktaya bağlı olması halinde bu noktadan kaynağa doğru bakıldığında görülen eşdeğer empedans üzerinde sinüzoidal olmayan gerilim düşümleri ortaya çıkar. Harmonik içeren gerilim düşümü, bağlantı noktasındaki gerilimin de sinüzoidal biçimden uzaklaşmasına sebep olacaktır. Oluşan bu harmonikli gerilimler ise aynı sisteme bağlı doğrusal veya doğrusal olmayan yüklerden harmonikli akımlar akıtırlar. Böylece kendisi harmonik üretmeyen elemanlar harmonik bozulmasından etkilenirler.

2.4.1 Harmoniklerin Etkileri

Harmonikler, sadece yüklerin dalga şekillerinde bozucu etkilerde bulunmayıp aynı zamanda güç sistemindeki elemanlar üzerinde de olumsuz etkilere neden olmaktadır. Motorlar, generatörler, transformatörler, kondansatörlerde ilave kayıplara neden olmakla birlikte bu elemanların zarar görmesine veya devre dışı kalmasına da neden olabilirler. Senkron ve asenkron motorlarda salınımların oluşması sebebiyle aşırı ısınmalar ve ek gürültüler oluşmaktadır.

Ek kayıpların oluşması ve gerilim düşümünün artması sebebiyle güç üretimi, iletimi ve dağıtımında verim azalacaktır. Ayrıca harmonikler sebebiyle sistemde temel frekansın dışında farklı frekans bileşenleri olacağından rezonans olayının meydana gelme olasılığı artacaktır. Rezonans sonucu oluşabilecek yüksek akım ve gerilimler şebekeye bağlı eleman ve yüklere ciddi zararlar verecektir.

Şebekenin temel frekansı için tasarlanmış kompanzasyon gruplarındaki kondansatörler, harmonik frekanslarında düşük direnç göstermeleri sebebiyle aşırı akım çekerek zarar görürler.

Mikroişlemciler gibi hassas elektronik elemanlar hatalı çalışarak kontrol sistemlerinde bozulmalara sebep olurlar. Sesli ve görüntülü iletişim araçlarında parazit ve gürültü görülür.

Aydınlatma elemanlarında ve monitörlerde titreşime sebep olarak insan sağlığına doğrudan etki ederler. Ayrıca floresan lambalarda kulağın duyabileceği gürültülerle birlikte demir kayıplarının artışında etkindir. Harmonikler ayrıca koruma ekipmanlarının hatalı çalışmasına ve cihazların ömrünün kısılmasına da sebep olmaktadır.

Bu zararlı etkilerin azaltılması için çeşitli standartlar oluşturulmuştur. Harmoniklerin standartlarla sınırlandırılması, sistemde oluşan ek kayıpların azaltılması, kullanılan cihazların tam kapasitesinde çalışabilmesi ve oluşabilecek zorlanma ve arızaların giderilmesi bakımından son derece önemlidir.

2.4.2 Harmonik Standartları

Gelecekte harmonik problemlerinin daha da artacağı göz önüne alındığında nonlinear yükler içeren tesislerin kuruluş şamasında düşük seviyede harmonik üretmesi için önlemler alınmalıdır. Sistemin doğru ve sürekli olarak ölçülerek bu standartlara uygunluğu sağlanmalıdır.

IEEE ve IEC'nin harmonik standartlarında gerekli tanım, indisler ve sınırlamalar yapılmış, harmonik bozulmasının olduğu durumlarda güç sistemleri elemanlarının ömürlerinin kısaltmaması ve zarar görmemeleri için alınması gereken önlemler belirtilmiştir. IEC tarafından ön görülen standartların mantığında, sisteme bağlı her bir yükten kaynaklanan harmoniklerin sınırlandırılması söz konusudur. Böylece harmoniklerin toplam etkisinin sınırlandırılacağı düşünülmüştür. Bu sebeple IEC tarafından önerilen yöntem herhangi bir nonlinear yükün bağlandığı noktada uygulanmaktadır. IEEE tarafından ön görülen standartlarda hem akım hem de gerilim harmoniklerine sınırlar getirilmekte ve yöntem olarak birden fazla nonlinear yükün bağlandığı merkezi baralara uygulanmaktadır. Harmoniklere ait IEEE, IEC ve EN standartlarından önemlileri Tablo 2.3 ile özet olarak verilmiştir [36].

Tablo 2.3 Harmonikler hakkında oluşturulmuş IEEE, IEC ve EN standartları

STANDART	BAŞLIK	İÇERİĞİ
IEEE Std 1459-2000	Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions	Sinüzoidal, sinüzoidal olmayan, dengeli ve dengesiz durumlarda güç tanımlamalarını anlatan ve örnek analizlerle bu tanımlamaları açıklayan standarttır.
IEEE Std 519-1992	Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems	Harmonik kaynakları, harmoniklerin elektrik güç sistemindeki elemanlara etkisi, sinüzoidal olmayan şartlarda reaktif güç kompanzasyonu ve harmonik kontrol, harmonik analizi ve ölçüm yöntemlerinden bahsedilmektedir.
IEEE Std C57.110-1998	Recommended practice for establishing transformer capability when supplying nonsinusoidal load currents	Transformatörlerde sinüzoidal olmayan yükleri beslerken oluşan ek kayıpları ve bu kayıplara göre transformatörün verebileceği maksimum akım ve görünür gücün belirlenmesine ait prosedür anlatılmaktadır.
EN 50160	Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems	Alçak gerilim ve orta gerilim seviyeleri için geçerli olan gerilim kalitesini etkilen gerilimdeki harmonik sınırlamalarına ilişkin standarttır.
IEC 61000-2-2	Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems	Düşük gerilim güç sistemlerinde düşük frekans iletimli bozunma ve sinyalleri için elektromagnetik uyumluluk seviyelerini belirleyen standarttır.
IEC 61000-3-2	Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)	Düşük gerilim güç sistemlerinde her faz için 16A değerine kadar giriş akımına sahip cihazlar için harmonik akım emisyonu için belirlenmiş limitlere ilişkin standarttır.
IEC 61000-3-4	Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A	Düşük gerilim güç sistemlerinde 16A'den 75A'e kadar giriş akımı değerine sahip cihazlar için harmonik akım emisyonu için belirlenmiş limitlere ilişkin standarttır.
IEC 61000-3-6	Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems	Orta ve yüksek gerilim güç sistemlerine bağlı cihazlar için harmonik emisyon limitlerini belirler.

Bu standartlara uyulduğu takdirde, güç kalitesinin iyi hale gelmesi ve harmoniklere bağlı maddi kayıpların azaltılması temin edilir. IEC 61000-3-6'ya göre belirlenen orta ve yüksek gerilim harmonik sınır değerleri Tablo 2.4 ile verilmiştir. Gerilim değerleri, temel bileşen etkin değerinin yüzdesi olarak gösterilmiştir.

Tablo 2.4 IEC 61000-3-6'ya göre orta ve yüksek gerilim harmonik sınır değerleri

3'ün katı olmayan tek sayılı harmonikler			3'ün katı olan tek sayılı harmonikler			Çift sayılı harmonikler		
Harmonik sırası (h)	Harmonik gerilimi (%)		Harmonik sırası (h)	Harmonik gerilimi (%)		Harmonik sırası (h)	Harmonik gerilimi (%)	
	Orta gerilim	Yüksek gerilim		Orta gerilim	Yüksek gerilim		Orta gerilim	Yüksek gerilim
5	5	2	3	4	2	2	1,8	1,4
7	4	2	9	1,2	1	4	1	0,8
11	3	1,5	15	0,3	0,3	6	0,5	0,4
13	2,5	1,5	21	0,2	0,2	8	0,5	0,4
$17 \leq h \leq 49$	$(1,9 \cdot 17/h) - 0,2$	$1,2 \cdot 17/h$	$21 < h \leq 45$	0,2	0,2	$10 \leq h \leq 50$	$(2,5/h)^+$ 0,22	$(1,9/h)^+$ 0,16

Orta gerilim seviyesi için THD=%6,5; Yüksek gerilim seviyesi için THD=%3

IEEE'nin gerilim için belirlediği harmonik bozulma sınır değerleri ise Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5 IEEE gerilim harmonik sınırları

Bara gerilimi (V_n)	Tekil harmonik büyüklüğü (%)	THD _{VN} (%)
$V_n \leq 69\text{kV}$	3,0	5,0
$69 < V_n \leq 161\text{kV}$	1,5	2,5
$V_n > 161\text{kV}$	1,0	1,5

Harmoniklere ait oluşturulmuş tanım ve indisler, daha iyi bir güç kalitesi düzeyine ulaşmak ve güç sistem elemanlarının harmoniklerden nasıl etkilendiklerini belirlemek açısından önemlidirler. Bu sebeple standartlarda belirtilmiş harmoniklere ait yaygın olarak kullanılan indisler Tablo 2.6'de verilmiştir [36],[37].

Tablo 2.6 Standartlarda belirtilmiş harmoniklere ait bazı indisler

İndis	Tanımı	İfadesi
THD	Gerilim veya akım dalga formunda olan temel harmoniğin dışındaki harmoniklerin toplam etkin değerinin temel harmoniğin etkin değerine oranı toplam harmonik bozulması olarak tanımlanmaktadır.	$THD_x = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N X_n^2}}{X_1} \quad (2.2)$
Krest Faktörü	Dalga formunun tepe değerinin etkin değerine oranı olarak tanımlanmıştır.	$CF = \frac{X_{\max}}{X} \quad (2.3)$
K Faktörü	Akım dalga formunda bulunan harmonik frekanslarının ve etkin değerlerinin dikkate alınarak transformatör gibi şebeke elemanları üzerindeki sinüzoidal olmayan akımların ısı etkilerini belirlemek amacıyla oluşturulmuş bir indistir.	$k - \text{faktör} = \sum_1^{n_{\max}} n^2 \cdot \left(\frac{I_n}{I_R} \right)^2 \quad (2.4)$
F _{HL} Faktörü	Harmoniklerin transformatör kayıplarına etkisini incelemek için oluşturulmuş bir indistir	$F_{HL} = \frac{\sum_1^{n_{\max}} \left[\frac{I_n}{I_1} \right]^2 \cdot n^2}{\sum_1^{n_{\max}} \left[\frac{I_n}{I_1} \right]^2} \quad (2.5)$
TIF Faktörü	Harmonik akım ve gerilimlerinin ürettiği magnetik ve elektrik alanları haberleşme sistemlerinin performansını olumsuz yönde etkilemektedir. TIF faktörü çeşitli frekansların ses bandındaki bağıl parazit etkisini hesaplayan bir indistir.	$TIF = \frac{\sqrt{\sum (I_n \cdot \omega_n)^2}}{I} \quad (2.6)$
WTHD Faktörü	Ağırlıklı toplam harmonik bozunma faktörü olarak tanımlanmıştır. Motor gibi uygulanan gerilimin bozunmasına göre çalışması değişebilen ve kayıpları artan elemanların yeniden oranlanması için kullanılan bir faktördür.	$WTHD = \sqrt{\sum V_n^2 \cdot n^{-0,8}} \quad (2.7)$

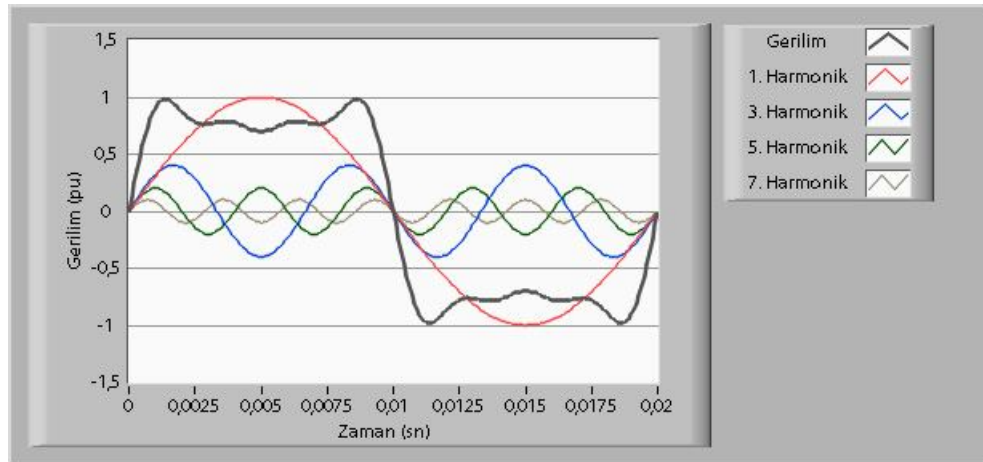
K-faktörü üreticilerin oluşturduğu harmoniklerin transformatörler üzerinde meydana getirdiği ısı kayıpları belirlemek için bağımsız bir kuruluş olan “Underwriters Laboratory (UL)” tarafından oluşturulan bir indistir. Bu değer 1 olması lineer bir yükün şebekeden akım çektiğini ve sistemde harmonik olmadığını belirtir. 1’den büyük değerler ise sistemde harmonik olduğunu ve bu

harmoniklerin transformatörler üzerinde ısınmaya sebep olduğunu göstermektedir. F_{HL} , IEEE tarafından harmoniklerin transformatörlerde meydana getirdiği ısı kayıpları belirlemek için k-faktöre karşılık olarak oluşturulmuş bir indistir. F_{HL} , transformatörün anma akımına bağlı olmadığından dolayı, aynı harmonik spektrumuna sahip yük için farklı anma akımdaki transformatörlerde aynı değerdedir. Transformatör anma akımına bağlı olduğu ve bu sebeple aynı harmonik spektrumuna sahip yük için, farklı anma akımına sahip transformatörlerde K-faktörü farklı değerler alır.

Krest faktör ise kondansatör gibi dielektrik malzemeye sahip elemanların dayanabilecekleri azami gerilim değerini belirlemede kullanılan bir indistir. WTHD faktörü, sinüzoidal olmayan gerilim ile beslenen motordan alınabilecek azami çıkış gücünün belirlenmesinde kullanılan bir indistir.

2.4.3 Harmoniklerin Ölçüm ve Analizi

Sinüzoidal olmayan dalga şekillerinin ifadesi ve analizleri için genellikle Fourier serileri kullanılır. Fransız matematikçisi J. Fourier sinüzoidal olmayan periyodik dalgaların, genlik ve frekansları farklı sinüzoidal işaretlerin toplamı şeklinde ifade edilebildiğini göstermiş ve bu ifadeye “*Fourier serileri*” denmiştir [1] Şekil 2.5’te sinüzoidal olmayan periyodik bir dalgayı oluşturan 1-3-5 ve 7. harmonik değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Farklı frekanslardaki sinüzoidal dalga şekilleri

Fourier serisi kullanılarak sinüzoidal olmayan akım $i(t)$ ve gerilim $v(t)$ dalga formları;

$$i_s(t) = I_{da} + \sum_1^n \sqrt{2} \cdot I_n \cdot \sin(n\omega_1 t + \theta_n) \quad (2.8)$$

$$v_s(t) = V_{da} + \sum_1^n \sqrt{2} \cdot V_n \cdot \sin(n\omega_1 t + \delta_n) \quad (2.9)$$

olarak ifade edilebilir. Burada I_n ve V_n n . harmonik derecesi için akım ve gerilim etkin değerleri, ω_1 temel bileşene ait açısal frekans θ_n ve δ_n ise n . harmonik için akım ve gerilime ait faz açılarıdır. Sinüzoidal olmayan akım ve gerilimlerin etkin değeri ise;

$$I = \sqrt{\sum_{n=1}^N I_n^2} \quad (2.10)$$

$$V = \sqrt{\sum_{n=1}^N V_n^2} \quad (2.11)$$

eşitlikleri yardımı ile hesaplanabilir [4].

2.5 Sonuç ve Özet

“Güç kalitesi” terimi bozulmuş sinüzoidal gerilim ve akım veya tasarlandığı sınırlar dışındaki gerilim, akım ve frekans olarak tanımlanabilir [23]. Buna göre, güç kalitesi problemlerini; kesilmeler, düşük gerilimler, gerilim dalgalanmaları, aşırı gerilimler, ani gerilim olayları, açılı kaymaları ve üç faz dengesizlikler, bozulmalar olarak yedi ana grup altında tanımlanabilir [24].

Artan enerji ihtiyacı ile birlikte balastlı lambalar, monitörler ve klimalar gibi nonlineer yüklerin günlük hayatta sıklıkla kullanılması güç kalitesi kavramını önemli bir hale getirmiştir. Bu sebeple güç kalitesi olaylarını denetim altına alacak, üreticiyi ve son kullanıcıyı koruyacak standartlar oluşturulmuştur. Ayrıca şebekedeki harmoniklerin sınırlandırılmasıyla cihazların daha verimli kullanılması ve oluşabilecek arızaların önlenmesi amaçlanmıştır.

Bu hususta güç kalitesi analizörleri ile gerekli ölçümler yapıp tüketicinin elektrik enerjisinden daha sağlıklı bir şekilde yararlanması sağlanabilir. Elde edilen ölçüm ve analiz sonuçları ile üreticilerin geleceğe yönelik planlar yapması ve öngörülen güç kalitesi problemlerini gidermesi sağlanabilir. Bu sebeple şebekenin, tanımlanan standartlar dahilinde incelenmesi ve analiz edilmesi elektrik enerjisinden en verimli şekilde yararlanabilmek adına önem taşımaktadır.

3 GÜÇ TANIMLARI VE GÜÇ ÖLÇÜMÜ

Bu bölümde sinüzoidal şartlarda elektriksel güç ifadesi kısaca anlatılacak ve sinüzoidal olmayan şartlar için oluşturulan güç tanımları açıklanacaktır. Bu güç tanımlarına göre analizler yapılarak birbirleriyle kıyaslanacaktır.

3.1 Güç Tanımları

Alternatif akımın iletim ve dağıtım sistemlerinde kullanılmasıyla güç ifadesi, enerji analizi üzerinde çalışan bilim adamlarının araştırma konusu olmuştur. Kaynaktan çekilen akımın bir kısmı net enerjiyi taşıyan “aktif akım” olmasına karşın, diğer kısmı enerji taşımayan “reaktif akım” olarak adlandırılmış ve enerji taşımayan bu reaktif kısmın hat kayıplarının arttırdığı görülmüştür. Aktif akımın oluşturduğu aktif gücün literatürde kabul görmüş geçerli bir tanımı olmasına rağmen reaktif akımın oluşturduğu gücün özellikle üç fazlı sistemlerde ve sinüzoidal olmayan şartlarda üzerinde uzlaşılabilmiş bir tanımı yoktur. Genel olarak, üretilen ve dağıtılan elektrik gücü belirli frekans ve büyükte olup sinüzoidal kabul edilir. Ancak generatör, motor, transformatör gibi manyetik doyum karakteristiği olan elemanlar ile balastlı aydınlatmalar, monitörler gibi çeşitli güç elektroniği devrelerinden dolayı güç sistemlerinde akım ve gerilimler sinüzoidal dalga şeklinde değildirler. Bu sebeple güç faktörü ve reaktif güç konusunda 1888’den sonra (Steinmetz ile başlayan) çalışmalardan bu yana sinüzoidal olmayan şartlarda güç hesaplama ihtiyacına cevap vermek amacıyla farklı güç tanımları oluşturulmuştur [33]–[35], [38]–[41]. Sinüzoidal olmayan şartlar için oluşturulmuş bu güç tanımlarından en önemlileri Budeanu [25],[26], Fryze [26],[27], Shepherd ve Zand [28], Sharon [29], Kimbark [30], Czarnecki [31] ile Kusters ve Moore [32] tarafından verilmiştir.

Bununla birlikte günümüzde bu görünür güç tanımları ve güç ifadelerinden biri üzerinde fikir birliğine varılamadığından standartlarda çeşitli görünür güç tanımları ve güç bileşenleri desteklenmiştir. Bu standartlarda desteklenen güç tanımları literatürde çeşitli niteliksel ve niceliksel analiz çalışmalarının konu olmuştur [43], [44]. Bazı çalışmalarda ise bu görünür güç tanımlarının ve güç bileşenlerinin, gerçek test sistemlerinde ölçülebilmesi için donanımsal ve metotsal farklılıklara sahip birçok güç ölçer önerilmiştir [45]–[48]. Yapılan bu çalışmalar, güç tanımlarının ve bileşenlerinin

fiziksel anlamlarının ölçüm temelli analizlerle incelenebilmesi için önemlidir. Ayrıca harmonik üreten yüklerin modellenmesinde bulunan problemler sebebiyle, harmoniklerin bulunduğu sistemlerde ölçüm temelli analizler halen önemini korumaktadır [49],[50]. Günümüzde bilgisayarların ve buna paralel olarak sinyal işleme yöntemlerinin gelişmesi, bizlere güç ölçümü ve farklı güç tanımlarının analizini yapmakta kolaylık sağlamaktadır.

Bunlarla birlikte klasik görünür güç tanımı IEEE Std 1459-2000 tarafından güçlendirilmiş ve hala diğer alternatifler daha yararlı olarak kabul edilmemiştir [4].

3.2 Sinüzoidal Şartlarda Güç Tanımları

Sinüzoidal şartlarda ani gerilim ve akım;

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega t) \quad (3.1)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (3.2)$$

şeklindedir. Bu değerlerin çarpımından ani güç;

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = 2 \cdot V \cdot I \cdot \sin(\omega t) \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (3.3)$$

biçiminde elde edilir.

Ani güç yarım açı formülleri kullanılarak

$$p(t) = V \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \cos 2\omega t) - V \cdot I \cdot \sin \varphi \cdot \sin 2\omega t \quad (3.4)$$

biçimine dönüştürülebilir. Bu denklemde;

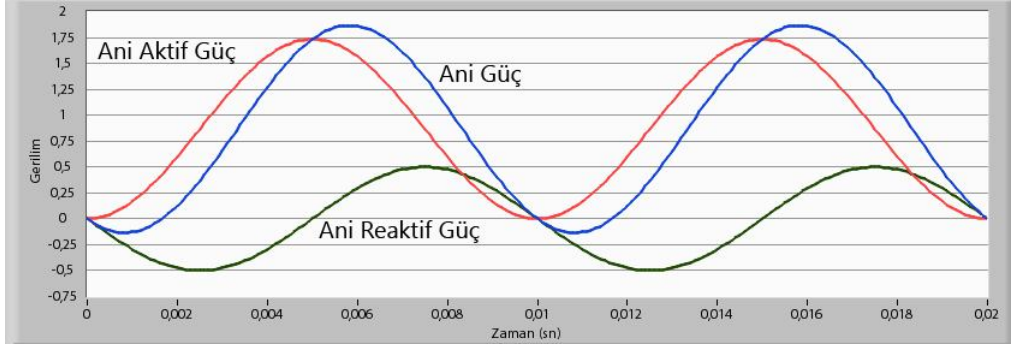
$$p_a(t) = V \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \cos 2\omega t) \quad (3.5)$$

ifadesi ani aktif güç,

$$p_r(t) = -V \cdot I \cdot \sin \varphi \cdot \sin 2\omega t \quad (3.6)$$

ifadesi ise ani reaktif güçtür.

Denklem (3.4), (3.5) ve (3.6)'da belirtilmiş olan ani güç, ani aktif ve ani reaktif güçlerin zamana göre değişimleri Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Ani aktif, ani reaktif ve ani gücün zamana göre değişimi

Şekil 3.1'den görüldüğü gibi ani aktif gücün bir periyot boyunca işareti değişmez. Bu, ani aktif gücün ortalama değerinin sıfırdan farklı olduğunu gösterir. Ani aktif gücün ortalama değeri aktif güç olarak tanımlanmıştır ve bu değer ani gücün ortalama değerine eşittir. Ani reaktif gücün bir yarı periyottaki akış yönü diğer yarı periyottakinin tersi yönde olduğu için ortalama değeri sıfırdır. Ani reaktif gücün azami değeri reaktif güç olarak tanımlanmıştır.

Aktif güç (3.5)'te verilen ani aktif gücün ortalama değeri;

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (3.7)$$

ifadesi ile hesaplanabilir [4].

(3.6)'da verilen anlık reaktif gücün azami değeri;

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (3.8)$$

ifadesi ise reaktif güç olarak tanımlanmıştır [4].

Görünür güç sinüzoidal şartlarda aktif ve reaktif güçlerin vektör toplamıdır ve (3.9) verilen ifadeden hesaplanabilir [4].

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.9)$$

Verimlilik ölçmeye yönelik bir terim olan güç faktörü (g.f) aktif güç ile görünür gücün birbirine oranı olan;

$$g.f = \frac{P}{S} = \frac{P}{V \cdot I} \quad (3.10)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır [4]. Sinüzoidal şartlarda indüktif özellikte yüke sahip bir devrede $Q_C=Q_L$ eşitliğini sağlayan kapasite değeri yüke paralel bağlanırsa g.f=1 yapılabilir.

3.3 Sinüzoidal Olmayan Şartlar

Buraya kadarki kısımda sinüzoidal şartlarda anlık güçten görünür güce geçişi gördük. Sinüzoidal olmayan şartlarda anlık gücün bileşenlerine ayrılması, gerilim ve akımın farklı harmonikleri arasındaki çarpaz çarpımlar sebebiyle sinüzoidal şartlarda olduğu gibi açık bir işlem değildir. Bununla birlikte kaynağın verimi, hat empedansı üzerindeki gerilim düşümü ve faz açısı gibi indisler hakkında bilgi edinebilmek için anlık gücün fazör domeninde bileşenlerine ayrılması gereklidir. Kompanzasyon, iletim verimi ve hat gerilim düşümü gibi elektrik tesislerine ait özellikler hakkında bilgi veren reaktif güç tanımı sinüzoidal şartlarda var olmasına rağmen, sinüzoidal olmayan şartlarda bunların hepsi hakkında bilgi veren bir reaktif güç tanımı yoktur. Ayrıca sinüzoidal olmayan şartlarda güç hesabı için belirlenmiş yöntemler reaktif gücün fiyatlandırılması açısından gereklidir. Sonuç olarak, literatürde farklı özelliklere sahip birçok güç ifadesi ortaya konmuştur.

3.3.1 Budeanu Güç Tanımı

Sinüzoidal olmayan şartlar için önerilmiş ilk güç ifadesi Budeanu'nun çalışmasında yer almaktadır. Budeanu görünür gücü ilk aşamada aktif ve aktif olmayan güç biçiminde tanımlamış böylece iki dik bileşene ayırmıştır [25],[26]. Aktif gücü;

$$P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T v(t) \cdot i(t) dt = V_0 \cdot I_0 + \sum_{n \in N^+} V_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n \quad (3.11)$$

biçiminde, zaman domeyninde anlık gücün ortalaması veya frekans domeyninde konvolusyon işlemi ile hesaplanabilir şekilde ifade etmiştir.

Budeanu aktif gücü, fiziksel anlamda işe dönüşen gerçek güç hakkında bilgi vermesi sebebiyle seçmiştir. Aktif olmayan gücü ise *Reaktif* ve *Bozulma Gücü* olmak üzere iki dik bileşene ayırmıştır. Budeanu, Reaktif Gücü her harmoniğe ait reaktif güçler toplamı olarak tanımlamıştır. Budeanu reaktif gücü denklem (3.12)'de verildiği gibi tüm harmoniklere ait reaktif güçlerin toplamından oluşmaktadır.

$$Q_B = \sum_1^n V_n I_n \cdot \sin(\varphi_n) \quad (3.12)$$

Budeanu yönteminde bozulma gücü ise gerilim ve akımın farklı harmoniklerine ait çapraz çarpımlarını içeren;

$$\begin{aligned} D_b &= \sqrt{S^2 - P^2 - Q_b^2} \\ &= \sqrt{\sum_{n \neq k} V_n^2 \cdot I_k^2 + V_k^2 \cdot I_n^2 - 2 \cdot V_n \cdot V_k \cdot I_n \cdot I_k \cdot \cos(\varphi_n - \varphi_k)} \end{aligned} \quad (3.13)$$

ifadesiyle tanımlamıştır.

Budeanu reaktif güç bileşenini basit bir kondansatör ile tamamen kompanze edilebilir. Bozulma gücü için ise $n \neq m$ şartıyla (3.13)'deki $V_m \cdot I_n$ ile $V_n \cdot I_m$ çapraz çarpımları basit bir kapasite ile sıfır yapılamayacağından kompanze edilebilme durumu yoktur. Bu sebeple reaktif güç bileşenin basit kondansatör ile tamamen kompanze edildiği durumda güç faktörünün azami değeri elde edilemez. Diğer bir deyişle Budeanu'nun tanımladığı reaktif güç kapasitif kompanzasyon bakımından kullanılamaz.

3.3.2 Fryze Güç İfadesi

Budeanu reaktif güç ifadesi basit bir kapasite ile kompanze edilebilen reaktif güç tanımına sahip olmasına rağmen, tanımdaki aktif ve reaktif güç ifadeleri kaynak verimi hakkında yeterli bilgi vermemektedir. Bununla birlikte Budeanu güç ifadesi harmonik domeninde hesaplamalara ve daha özel ölçüm aletleri gerektirmektedir. Bu durum karşısında Fryze, akımı aktif ve reaktif olmak üzere iki dik bileşene ayırmıştır [26],[27]. Aktif bileşen;

$$i_a(t) = \frac{P}{V^2} v(t) \quad (3.14)$$

reaktif bileşen ise;

$$i_r(t) = i(t) - i_a(t) \quad (3.15)$$

olarak ifade edilir.

Gerilimin etkin değeri ile akımın reaktif bileşeninin etkin değerlerinin çarpımı Fryze'nin tanımlamış olduğu reaktif güçtür. Buna göre Fryze'nin reaktif güç tanımı;

$$Q_F = V \cdot I_{\text{reaktif}} \quad (3.16)$$

olarak ifade edilir.

Bu yöntemde aktif güç ile reaktif gücün vektör toplamı olan;

$$S = \sqrt{P^2 + Q_F^2} \quad (3.17)$$

ifadesi görünür güç olarak belirlenmiştir.

Bu ifadelerdeki akımın reaktif bileşeni fiziksel olarak iş yapmayan akım bileşenidir. Fryze yönteminin akımı böyle aktif ve reaktif olarak iki bileşene ayırması sonucunda elde edilen aktif ve reaktif güç tanımları kaynağın verimliliği hakkında bilgi verir ve sıradan ölçü aletleriyle ölçülebilir. Ancak reaktif güç bileşeni, basit bir kondansatör ile reaktif güç kompanzasyonu için uygun değildir.

3.3.3 Shepherd ve Zand Güç İfadesi

Denklem (3.11)'de tüm harmoniklere ait aktif güçler toplamı verilmiştir. İşareti negatif olan harmonik güçleri yükten kaynağa doğru akmaktadır. Ana harmonik gücü ise pozitif değerde olduğu için denklem (3.11) ile verilen toplam aktif güç ana harmonik aktif gücünden küçük olabilmektedir. Bu duruma Shepherd ve Zand tarafından dikkat çekilmiştir [28]. Shepherd ve Zand akımı aktif, reaktif ve bozulma akımı olmak üzere üç dik bileşene ayrılmıştır. Aktif akım;

$$I_R = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 \cdot \cos^2 \varphi_n} \quad (3.18)$$

reaktif akım;

$$I_X = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 \cdot \sin^2 \varphi_n} \quad (3.19)$$

ve bozulma akımları;

$$I_D = \sqrt{I^2 - I_R^2 - I_X^2} \quad (3.20)$$

şeklinde ifade edilirler.

Shepherd ve Zand' in oluşturduğu güç tanımı;

$$S^2 = S_R^2 + S_X^2 + S_D^2 \quad (3.21)$$

biçiminde ifade edilmiştir. Buna göre aktif görünür güç harmonik akımlarının aktif parçalarının toplam etkin değeri ile gerilimin etkin değerinin çarpımı olarak, S_R ;

$$P \neq S_R = \sqrt{\sum_1^n V_n^2 \cdot \sum_1^n I_n^2 \cdot \cos^2 \varphi_n} \quad (3.22)$$

reaktif görünür güç, harmonik akımlarının reaktif parçalarının toplam etkin değeri ile gerilimin etkin değerinin çarpımı olarak, S_X ;

$$Q_B \neq S_X = \sqrt{\sum_1^n V_n^2 \cdot \sum_1^n I_n^2 \cdot \sin^2 \phi_n} \quad (3.23)$$

ve bozulma görünür gücü ise gerilim ve akımın ortak olmayan harmonik numaralarına ait bileşenlerden kaynaklanan güç olarak, S_D ;

$$D_B \neq S_D = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2 \cdot \sum_{k=1}^{\infty} I_k^2 + \sum_{u=1}^{\infty} V_u^2 \cdot \left(\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 + \sum_{k=1}^{\infty} I_k^2 \right)} \quad (3.24)$$

biçimindedir ve

k: Akımın içerdiği gerilimin içerdiğinden farklı harmonik numaraları,

u: Gerilimin içerdiği akımın içerdiğinden farklı harmonik numaraları,

n: Hem akım hem de gerilimin içerdiği ortak harmonik numaraları,

olarak tanımlanmıştır. Ancak gerçek sistem şartlarında kaynak empedansından dolayı gerilim ve akımda aynı harmonik numaraları bulunduğundan bozulma görünür gücü pratikte sıfırdır.

Sonuç olarak; bu güç tanımının aktif ve reaktif bileşenleri kaynak ve hattan meydana gelen sistemin yüklenme şartları hakkında anlamlı bir bilgi sağlamaktadır. Fryze'nin tanımladığı reaktif güçte olduğu gibi bu ifadede yer alan görünür reaktif güç bileşeninin basit kondansatörle minimize edildiği durumda güç faktörü azami değerine ulaşır. Ancak güç ifadesinin ortalama güç bileşenine sahip olmamasından dolayı bu ifade güç faktörünün hesaplanmasına uygun değildir.

3.3.4 Sharon Güç İfadesi

Sharon güç ifadesi, reaktif bileşen olarak Shepherd ve Zand'nin reaktif görünür gücünü, aktif bileşen olarak ise Shepherd ve Zand'ın güç ifadesi içinde yer almayan

ortalama gücü kabul eden P aktif gücünü içermektedir [29]. Sharon güç tanımına göre reaktif görünür güç;

$$S_Q = V \cdot \sqrt{\sum_{n \in n_1} I_n^2 \cdot \sin^2 \varphi_n} \quad (3.25)$$

olarak ifade edilmiştir. Sharon güç tanımında görünür güç; ortalama güç, reaktif görünür güç ile tamamlayıcı görünür gücün vektör toplamı olan;

$$S^2 = P^2 + S_Q^2 + S_C^2 \quad (3.26)$$

ifadesiyle tanımlanmıştır.

Sharon güç tanımı hem hatlardaki reaktif güce bağlı yüklenme şartları hem de güç faktörü hakkında bilgi veren bir güç tanımıdır.

3.3.5 Kimbark Güç İfadesi

Kimbark görünür gücü aktif ve aktif olmayan güç olmak üzere iki dik bileşene ayırmıştır [30]. Bu güç tanımında aktif güç ani gücün ortalama değeri olarak ifade edilmiştir. Aktif olmayan güç ise iki dik bileşenden meydana gelmektedir. Bunlar ilki (3.27) ile verilen reaktif güç;

$$Q_K = Q_1 = V_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1 \quad (3.27)$$

diğeri ise denklem (3.28) ile verilen bozulma gücüdür.

$$D_K = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_K^2} \quad (3.28)$$

Kimbark'a göre devre parametreleriyle en kolay şekilde ilişkilendirilebilecek reaktif güç, temel dalganın akım ve gerilim bileşenleriyle hesaplanabilen reaktif güç tanımıdır. Buna göre reaktif güç bileşeni temel frekansta yapılan ölçümlerle kolayca hesap edilebilir ama diğer harmonikleri dikkate almadığı için en iyi kompanzasyon kondansatörünün sistemde var olan gerilim şartlarında çekeceği güç hakkında bir bilgi vermez.

3.3.6 Czarnecki Güç İfadesi

Czarnecki sinüzoidal olmayan dalga formundan dolayı kaynak verimindeki azalmanın tanımlanma ihtiyacı doğrultusunda bir güç ifadesi meydana getirmiştir. Czarnecki'nin kaynak ve yükün lineer olmama durumuna yönelik akım ifadesi;

$$I^2 = I_{Aktif}^2 + I_R^2 + I_S^2 + I_H^2 \quad (3.29)$$

biçiminde oluşturulmuştur [31]. Bu ifadede akım bileşenleri;

yükün suseptans parametresinden dolayı çektiği ve gerilime dik fazda olan reaktif akım;

$$I_R = \sqrt{\sum_{n \in N} \beta_n^2 \cdot V_n^2} \quad (3.30)$$

yükün n.harmonik iletkenliği ile eşdeğer iletkenliği arasındaki farktan kaynaklanan kaydırılmış akım;

$$I_S = \sqrt{\sum_{n \in N} (G_n - G_e)^2 \cdot V_n^2} \quad (3.31)$$

akımda olup gerilimde bulunmayan harmonik bileşenlerini içeren, üretilen harmonik akımı;

$$I_H = \sqrt{\sum_{n \in N} I_n^2} \quad (3.32)$$

olarak tanımlanmıştır.

(3.33)'de yer alan eşdeğer admitans G_e ise;

$$G_e = \frac{P}{V^2} \quad (3.33)$$

biçiminde elde edilir. G_n ise harmonik numarasına bağlı olarak yükün admitans değeridir. Böylece Czarnecki gerilimin efektif değeriyle bu akım bileşenlerinin efektif değerlerinin çarpımı sayesinde görünür gücü aktif, reaktif, kaydırılmış ve üretilen harmonik güç bileşenlerine ayırmıştır. Buradan;

$$S = \sqrt{P^2 + D_S^2 + Q_R^2 + D_H^2} \quad (3.34)$$

biçiminde oluşturulmuş ve güç bileşenleri:

reaktif güç;

$$Q_R = V \cdot I_{Re} \quad (3.35)$$

kaydırılmış güç;

$$D_S = V \cdot I_S \quad (3.36)$$

üretilen harmonik gücü;

$$D_H = V \cdot I_H \quad (3.37)$$

biçiminde tanımlanmıştır.

Bu güç tanımının en önemli avantajı kaynak akımındaki lineer olmama durumundan kaynaklanan artışı belirlemesidir. Diğer taraftan Czarnecki'nin üretilen harmonik güç tanımı Shepherd ve Zand'in bozulma görünür gücünde olduğu gibi pratikte sıfırdır. Böylece pratikte her iki ifadenin reaktif güç bileşenleri aynı değeri verir.

3.3.7 Kusters ve Moore Güç İfadesi

Fryze, Shepherd-Zand ve Sharon'un güç ifadelerinde tanımlı reaktif bileşenler en iyi kompanzasyon kondansatörünün gücü hakkında direkt bilgi vermezler. Bu sebeple Kusters ve Moore en iyi pasif kompanzasyonda kullanılacak kondansatör veya indüktörün sistemde var olan gerilim altında çekeceği gücü veren bir güç ifadesi ortaya koymuştur [32]. Bu güç ifadesinde akım aktif, kapasitif reaktif veya indüktif reaktif artık reaktif akım olmak üzere üç bileşene ayrılmıştır. Bu ayrımın amacı kompanze edildiğinde güç faktörünün maksimum olduğu güç bileşenini bulmaktır. Bu akım bileşenleri sırasıyla aktif akım;

$$i_a(t) = \frac{P}{V^2} \cdot v(t) \quad (3.38)$$

indüktif özellikli yüklerde kapasitif reaktif akım;

$$i_{qc}(t) = \frac{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T v(t) \cdot i(t) dt}{\bar{V}} \cdot v(t) \quad (3.39)$$

ve artık reaktif akım;

$$i_{qcr}(t) = i(t) - i_a(t) - i_{qc}(t) \quad (3.40)$$

biçimindedir.

Yük kapasitif özellikli ise reaktif bileşen indüktif reaktif akım;

$$i_{ql}(t) = \frac{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \bar{v}(t) \cdot i(t) dt}{\bar{V}} \cdot \bar{v}(t) \quad (3.41)$$

ve artık reaktif akım;

$$i_{qlr}(t) = i(t) - i_a(t) - i_{ql}(t) \quad (3.42)$$

biçiminde ifade edilir. Kusters ve Moore bu akım bileşenlerine göre güç ifadesini;

$$S = \sqrt{P^2 + Q_{kus}^2 + Q_{kusr}^2} \quad (3.43)$$

olacak biçimde oluşturmuştur. Bu ifadede reaktif güç indüktif özellikli yük için;

$$Q_{kus} = V \cdot I_{qc} \quad (3.44)$$

ve artık reaktif güç;

$$Q_{kusr} = V \cdot I_{qcr} \quad (3.45)$$

biçiminde tanımlanmıştır.

Eğer yük kapasitif özellikli ise, reaktif güç;

$$Q_{kus} = V \cdot I_{ql} \quad (3.46)$$

ve artık reaktif güç;

$$Q_{kusr} = V \cdot I_{qlr} \quad (3.47)$$

olarak tanımlanmıştır.

Denklem (3.46) verilen kapasitif reaktif güç;

$$Q_{kus} = V \cdot \frac{\sum_{n \in N^+} n \cdot V_n \cdot I_n \cdot \sin \varphi_n}{\sqrt{\sum_{n \in N^+} n^2 \cdot V_n^2}} \quad (3.48)$$

ve Denklem(3.44)'de verilen indüktif reaktif güç;

$$Q_{kus} = V \cdot \frac{\sum_{n \in N^+} \frac{V_n \cdot I_n \cdot \sin \varphi_n}{n}}{\sqrt{\sum_{n \in N^+} \frac{V_n^2}{n^2}}} \quad (3.49)$$

biçiminde harmonik domeyninde hesaplanabilir.

Kusters ve Moore'un güç ifadesinin en önemli özelliği Fryze reaktif gücünü iki dik bileşene ayırmasıdır. Bu bileşenlerden birincisi gerilimin türeviyle aynı dalga şeklinde olan akım ile gerilimin çarpımı veya gerilimin integraliyle aynı şekilde olan akımla gerilimin çarpımı olan reaktif güçtür. Diğer bileşen ise artık reaktif güçtür.

3.4 Sinüzoidal Olmayan Şartlarda Üç Faz Güç Tanımları

Klasik tanımda, üç fazlı sistemler için görünür güç ve güç ifadesi; her bir fazın ayrı bir tek fazlı sistem olarak kabul edilmesiyle tek faz görünür güç bileşenlerinden elde edilmiştir. Bu yaklaşımı kullanarak literatürde; üç fazlı sistemler için aritmetik ve vektör görünür güç tanımları ortaya konmuştur [53]. Diğer taraftan; Steinmetz,

güç sistemlerinde sinüzoidal olmayan akım ve gerilimlerin bulunması durumunda; sinüzoidal şartlar için oluşturulmuş görünür güç ifadesinin kullanılmayacağını 1892 yılında elektrik ark yüklerini dikkate alarak yaptığı çalışmada belirtmiştir [42]. Ayrıca, üç fazlı sistemlerde; sinüzoidal olmayan şartlar yanında dengesizliğin var olduğu durumlar için, her bir fazın ayrı bir sistem olarak dikkate alınmasının doğru bir kabul olmadığı Buchholz tarafından görülmüştür [43]. Böylece, sinüzoidal olmayan ve dengesiz akım ve/veya gerilim şartlarına sahip tek ve üç fazlı sistemler için çeşitli görünür güç tanım ve ifadeleri oluşturulmuştur.

3.4.1 Vektör Görünür Güç Tanımı

Sinüzoidal-dengeli şartlarda her bir faza ait aktif ve reaktif güçlerin vektör toplamından hesaplanan vektör görünür gücün, sinüzoidal olmayan ve dengesiz şartlar için Budeanu'nun güç bileşenleri kullanılarak yapılan tanımı IEEE std. 1459-2000'de verilmiştir. Bu standarda göre; vektör görünür güç (SV);

Toplam aktif güç (P);

$$P = \sum_{m=a,b,c} P_m, \quad P_m = \sum_h V_{mh} I_{mh} \cos(\theta_{mh}) \quad (3.50)$$

Toplam reaktif güç (Q);

$$Q = \sum_{m=a,b,c} Q_m, \quad Q_m = \sum_h V_{mh} I_{mh} \sin(\theta_{mh}) \quad (3.51)$$

ve toplam bozulma güçlerinin (D);

$$D = \sum_{m=a,b,c} D_m, \quad D_m = \sqrt{S_m^2 - P_m^2 - Q_m^2} = \sqrt{\left(\sum_h V_{mh}^2 \right) \left(\sum_h I_{mh}^2 \right) - P_m^2 - Q_m^2} \quad (3.52)$$

vektörel toplamıdır;

$$S_V = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (3.53)$$

Denklem (3.38), (3.39) ve (3.40)'ta verilen P_m , Q_m ve D_m Budeanu'nun sinüzoidal olmayan tek fazlı sistemler için tanımladığı aktif, reaktif ve bozulma güçleridir.

3.4.2 Aritmetik Görünür Güç Tanımı

Aritmetik görünür güç, her bir fazın görünür güçlerinin aritmetik toplamıdır.

$$S_A = \sum_{m=a,b,c} S_m = \sum_{m=a,b,c} \sqrt{\left(\sum_h V_{mh}^2 \right) \left(\sum_h I_{mh}^2 \right)} \quad (3.54)$$

3.4.3 IEEE std. 1459-2000 Görünür Güç Tanım ve Güç İfadesi

IEEE std. 1459-2000 eşdeğer gerilim etkin değeri (V_e);

$$V_e = \sqrt{\frac{V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2}{9}} = \sqrt{\frac{V_a^2 + V_b^2 + V_c^2}{3}} \quad (3.55)$$

ve eşdeğer akım etkin değeri (I_e);

$$I_e = \sqrt{\frac{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 + I_n^2}{3}} \quad (3.56)$$

tanımlamalarını yaparak görünür gücü;

$$S_{IEEE} = 3 \cdot V_e \cdot I_e \quad (3.57)$$

biçiminde ifade etmiştir. Bu IEEE std.1459:2000 görünür güç tanımı iki ana bileşen içermektedir. Bunlardan ilki temel harmonik efektif görünür gücü olup bu güç bileşeni (3.43) ve (3.44)'te verilen ifadelerde sadece temel harmonik gerilimleri ve akımlarının kullanılmasıyla hesaplanan temel harmonik eşdeğer gerilim (V_{e1}) ve temel harmonik eşdeğer akım (I_{e1}) etkin değerlerinden;

$$S_{e1} = 3 \cdot V_{e1} \cdot I_{e1} \quad (3.58)$$

biçiminde tanımlanmıştır. Diğeri ise temel olmayan görünür güçtür;

$$S_{eN} = \sqrt{S_e^2 - S_{e1}^2} \quad (3.59)$$

Temel harmonik efektif görünür güç, temel harmonik-pozitif sıra görünür gücü ve temel harmonik dengesizlik görünür gücünün vektör toplamıdır:

$$S_{e1} = \sqrt{(S_1^+)^2 + S_{U1}^2} \quad (3.60)$$

Temel harmonik-pozitif sıra görünür güç (S_1^+), temel harmonik pozitif sıra aktif ($P_1^+ = 3V_1 I_1 \cos\theta_1$) ve temel harmonik pozitif sıra reaktif ($Q_1^+ = 3V_1 I_1 \sin\theta_1$) güçlerinin vektör toplamıdır:

$$S_1^+ = \sqrt{(P_1^+)^2 + (Q_1^+)^2} \quad (3.61)$$

Bunlarla birlikte temel olmayan görünür güç (S_{eN}); akım bozulma gücü;

$$D_{eI} = 3 \cdot V_{e1} \cdot I_{eH} \quad (3.62)$$

gerilim bozulma gücü;

$$D_{eV} = 3 \cdot V_{eH} \cdot I_{e1} \quad (3.63)$$

ve harmonik görünür gücü;

$$S_{eH} = 3 \cdot V_{eH} \cdot I_{eH} \quad (3.64)$$

bileşenlerinin vektör toplamı biçiminde ifade edilmiştir:

$$S_{eN} = \sqrt{D_{eI}^2 + D_{eV}^2 + S_{eH}^2} \quad (3.65)$$

3.4.4 Buchollz'un Görünür Gücü ve DIN std. 40110 Tanımı

Buchollz üç fazlı sistemleri tek bir sistem olarak kabul ederek kolektif gerilim ve kolektif akım etkin değer tanımlarını;

$$V_{\Sigma} = \sqrt{\sum_m V_{m0}^2} \quad (3.66)$$

$$I_{\Sigma} = \sqrt{\sum_m I_m^2} \quad (3.67)$$

yapmış ve bu tanımları kullanarak görünür gücü;

$$S_{\Sigma} = V_{\Sigma} I_{\Sigma} \quad (3.68)$$

biçiminde ifade etmiştir [43].

Bu görünür güç tanımı DIN std. 40110'da Depenbrock'un kolektif akım için oluşturduğu ifade doğrultusunda üç güç bileşenine ayrılmıştır [3]. Bunlar sırasıyla aktif (P), yük dengesizliğinden kaynaklanan aktif olmayan ($Q_{tot\Sigma\parallel}$) ve gerilime dik akımlardan dolayı sistemden çekilen aktif olmayan ($Q_{tot\Sigma\perp}$) güçlerdir:

$$P = \frac{1}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} \sum_m v_{m0} \cdot i_m dt \quad (3.69)$$

$$Q_{tot\Sigma\parallel} = V_{\Sigma} \cdot \sqrt{\sum_m (G_m - G)^2 \cdot V_{m0}^2} \quad (3.70)$$

$$Q_{tot\Sigma\perp} = V_{\Sigma} \cdot \sqrt{\sum_m [I_m^2 - G_m^2 \cdot V_{m0}^2]} \quad (3.71)$$

Bu güç bileşen ifadelerinde kullanılan m. faz iletkenliği (Gm)

$$G_m = P_m / V_{m0}^2 \quad (3.72)$$

ve eşdeğer iletkenlik (G);

$$G = P / V_{\Sigma}^2 \quad (3.73)$$

olarak tanımlanmıştır. Buna ek olarak m.faz ile hayali nötr noktası arasındaki gerilimin etkin değeri;

$$v_{m0} = v_{mn} - \frac{1}{4}(v_{an} + v_{bn} + v_{cn}) \quad (3.74)$$

ifadesi ile hesaplanabilmektedir.

3.5 Pratikte Kullanılan Ölçüm Yöntemleri

Geleneksel ölçü aletleri görünür, aktif ve reaktif güç ölçümü yapmaktadır. Görünür güç gerilim ve akımın etkin değerlerinin çarpımı şeklinde kolaylıkla hesaplanmaktadır. Bu ölçümdeki hassasiyet tamamen cihazın etkin değer hesaplamasıyla ilgilidir. Aktif güç ise akıma ve gerilime ait sinyallerin çarpımının ortalama değeri olarak hesaplanabilmektedir. Bununla birlikte reaktif güç ölçümü basit bir şekilde yapılamamaktadır.

Sinyal işleme yöntemleri kullanılarak yapılan reaktif enerji ölçümleri, teorideki sonuçlara çok yakın olmasına rağmen hala reaktif enerjinin ölçüm yöntemleri hakkında bir fikir birliğine varılabilmemiş değildir. Genellikle reaktif enerjiyi faturalandırmak amacıyla elektromekanik ölçü aletleri kullanılmaktadır. Her ne kadar bu ölçü aletleri şebekedeki harmonikleri dikkate almasalar da reaktif enerji sayacı olarak IEC-1268 uluslararası standardı tarafından desteklenmektedir. Standarttaki tanıma göre reaktif enerji ölçümü şebekenin temel frekansında yapılmalıdır. Reaktif güç IEEEstd. 100-1996 sözlüğünde;

$$\text{Reaktif güç} = \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cdot I_n \cdot \sin(\varphi_n) \quad (3.75)$$

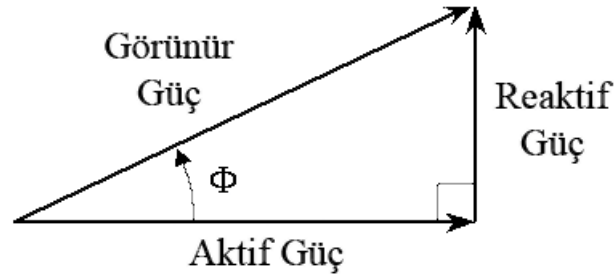
şeklinde tanımlanmıştır. Burada V_n ve I_n gerilim ve akımın n . harmonik için etkin değerini belirtmektedir. φ_n ise n .harmonikteki gerilim ve akım arasındaki faz farkıdır.

Sabit frekanstaki saf sinüs gerilim ve akım dalga formunda reaktif güç ölçümü oldukça kolaydır ve hatasızca uygulanabilir. Ancak dalga formlarının sinüzoidal formdan uzaklaşması ve harmonikler ölçüm hatalarına neden olmaktadır. Çünkü

Fourier teoremine göre sinüsoidal olmayan her dalga formu sinüs ve cosinüslü terimlerin toplamı şeklinde yazılabilir ancak bu toplam sonsuz sayıda olduğunda hatasız sonuç alınabilir. Bu sebeple reaktif gücü, tanımda belirtildiği gibi ölçebilecek hassas elektronik ölçü cihazların maliyeti yüksek olmaktadır. Bunun üstesinden gelmek amacıyla pratikte reaktif gücü ölçmek için *Güç Üçgeni*, *Zaman Gecikmesi* ve *Alçak Geçiren Filtre* olmak üzere üç yöntem kullanılır [51].

3.5.1 Güç Üçgeni

Güç üçgeni yöntemi görünür, aktif ve reaktif olmak üzere üç ifadenin Şekil 3.2'de gösterildiği formda olduğunu kabul eder.



Şekil 3.2 Güç üçgeni

Buradan;

$$\text{Reaktif Güç} = \sqrt{\text{Görünür Güç}^2 - \text{Aktif Güç}^2} \quad (3.76)$$

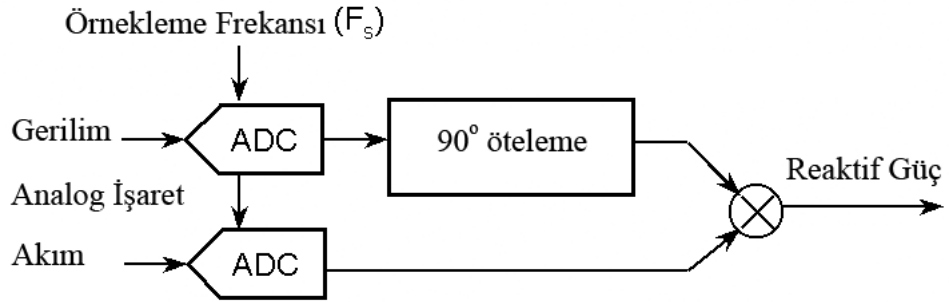
biçiminde hesaplanmaktadır. Bu yöntem saf sinüs dalga formunda çok iyi sonuç vermeye birlikte harmonikli dalga formlarında dikkate değer hatalar üretmektedir.

3.5.2 Zaman Gecikmesi

Zaman gecikmesi, akım veya gerilim dalga formlarından herhangi birinin temel frekansta 90 derece kaydırılıp bu iki dalga formunun çarpılması şeklinde ifade edilir.

$$\text{Reaktif Enerji} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i\left(t + \frac{T}{4}\right) dt \quad (3.77)$$

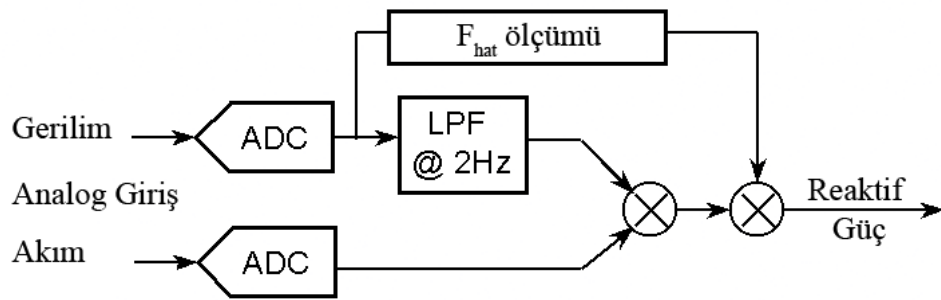
Burada T temel frekanstaki sinyalin periyodunu göstermektedir. Elektronik ölçü aletlerinde bu yöntem zaman domeyninde, Şekil 3.3'te görüldüğü gibi temel frekanstaki örneklenmiş sinyalin çeyrek periyoza denk olacak şekilde herhangi bir girişin ötelenmesiyle gerçekleştirilir. Ancak şebeke frekansındaki değişimler sebebiyle kaydırılacak örnek sayısının çeyrek periyoza denk olmaması durumunda ölçüm hatalı olacaktır.



Şekil 3.3 Zaman gecikmesi

3.5.3 Alçak Geçiren Filtre

Bu yöntem ölçüm cihazların bir girişine tek kutuplu alçak geçiren filtre takılarak uygulanmaktadır. Sistemin zaman domeynine ait şematik görüntüsü Şekil 3.4'te verilmektedir.



Şekil 3.4 Alçak geçiren filtre

Alçak geçiren filtrenin kesim frekansı şebekenin temel frekansından çok düşük seçilirse filtrenin uygulandığı giriş 90 derece ötelenmiş olur.

3.6 Sonuç ve Özet

Nonlineer yüklerin giderek artması reaktif enerjiyi faturalandıran enerji sağlayıcılarının hassas ölçüm yapmasını gerektirmektedir. Mevcut kullanılan yöntemler her ne kadar uluslar arası standartlar tarafında belirlense ve desteklense de harmonikli veya frekansın değiştiği şebekelerde doğru sonuç vermemektedir. Bununla birlikte geleneksel ölçüm yöntemlerinin yanı sıra literatürde tanımlanmış güç ifadelerinin ölçüm sonuçlarını karşılaştırmalı olarak gösterecek bir cihaza gereksinim vardır. Piyasada bulunan cihazlar literatürde tanımlanan diğer güç bileşenlerini ölçmediğinden bu tez kapsamında gelişmiş bir güç ölçer yazılımı gerçekleştirilmiş ve farklı durumlar için analizler yapılmıştır.

4 OLAY ALGILAMA YÖNTEMLERİ VE ADALINE

4.1 Giriş

Son yıllarda bilgisayar ve diğer mikroişlemci temelli uygulamaların kullanımının artmasıyla gelişen cihazlar, güç kalitesi olaylarına karşı giderek daha büyük hassasiyet göstermektedir. Besleme geriliminin genliğindeki ve frekansındaki ufak değişimler bile işletme ve son kullanıcı için pahalı sonuçlara sebep olmaktadır. Ev veya endüstriyel kuruluşlar üzerinde ekonomik etkisinin büyük oluşu ve diğer güç kalitesi olaylarına kıyasla daha sık görülmesi sebebiyle gerilim çukurlaşması, gerilim şişmesi, gerilim kesilmesi gibi gerilime bağlı olaylar, en önemli güç kalitesi olaylarındandır.

Gerilime bağlı olayları algılamak amacıyla literatürde bazı yöntemler belirtilmiştir. Gerilim düşmesi, yükselmesi gibi olay tanımları etkin değer (rms) olarak yapıldığından, rms ile olay yakalama yöntemi en yaygın ve en bilinen yöntemdir. Bununla beraber Fourier ve dalgacık dönüşümü spektral analizlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Gerilime bağlı bir olay anında gerilim, rms değeri, temel bileşenin tepe değeri kullanılarak hesaplanabilir. Bu yöntemler saf sinüzoidal gerilim kaynağı için birbirine denk sonuçlar verecektir. Ancak harmonikler veya dalga formundaki ani değişimler altında, kullanılan sinyal işleme yöntemine bağlı olarak sonuçlarda farklılık gözlemlenecektir ve olay algılamada belirlenen eşik değeri hassasiyetini iyice kaybedecektir. Bu yüzden klasik yöntemlerden farklı olarak, yapay zeka algoritmaları geliştirilmiş ve dalga formunun bozukluğuna olan bağlılık azaltılmaya çalışılmıştır. Yapay zeka uygulamaları geliştirildikçe çeşitli güç kalitesi olaylarının algılanmasında kullanımı artmakta ve hesaplama işlemlerini kolaylaştırmaktadır.

Gerçekleştirilen güç analizöründe gerilime bağlı güç kalitesi olaylarının algılanması için literatürde bulunan çeşitli yöntemler tezin bu bölümünde incelenmiş ve bu yöntemler simülasyon ile karşılaştırılarak bunlar içinde en başarılı, en hızlı ve

basit yapıda olan adaline (Adaptive Linear Neuron) gerçek zamanlı olarak uygulanmıştır.

4.2 Efektif Değer (RMS) Yöntemi

Güç sistemlerinde gerilim ölçümü amacıyla kullanılan en genel hesaplama yöntemi, *root mean square (rms)* yani sinyalin karesinin ortalamasının karekökünü almaktır. Elektrik mühendisliğinde fiziksel anlamı ise alternatif akımın doğru akım karşılığı olarak ifade edilebilir. Alternatif akımda ortalama sıfır olduğundan yapılacak işlemlerin ve ölçümlerin anlaşılır olması için rms değeri kullanılır.

Basit bir hesaplama yöntemi olduğundan ve ideal şartlar altında doğru sonuç verdiğinden dolayı olay yakalama yöntemi olarak kullanılmaktadır. Yöntemin basit oluşu bir avantaj sayılmakla birlikte elde edilecek sonucun, kullanılan pencereye ve pencere kaydırma yöntemine göre gecikme süresine bağlı olması bir dezavantajdır. Dolayısıyla bu parametrelere bağlı olarak ölçümler farklı sonuçlar verebilir [54],[55].

Temel rms gerilim ölçümü için $U_{rms(1/2)}$ genliği IEC 61000-4-30 tarafından tanımlanmıştır [8]. Bu tanıma göre rms gerilim ölçümü 1 periyot veya daha fazla sürmeli, sıfır geçiş anında başlamalı ve her yarım periyotta bir yenilenmelidir. Sürekli zaman ve ayrık zaman denklemleri;

$$f_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [f(t)]^2 dt} \quad T_1 \leq t \leq T_2 \quad (4.1)$$

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}} \quad (4.2)$$

şeklindedir.

Görüldüğü üzere bu yönteminin hesaplaması basittir ve uygulaması kolaydır ancak gerilim genliğindeki değişimleri algılamada ve gerilime bağlı olayların süresi hakkında bilgi vermede hassas değildir. Özellikle kısa süreli olaylarda ve genliğin fazla değişmediği durumlarda gerçekçi değerler verememektedir. Yöntemin kısıtlı

kaldığı bir diğer durum ise faz açısı bilgisine sahip olmamasıdır. Dolayısıyla açılal bozulmalar doğru bir biçimde algılanamamaktadır.

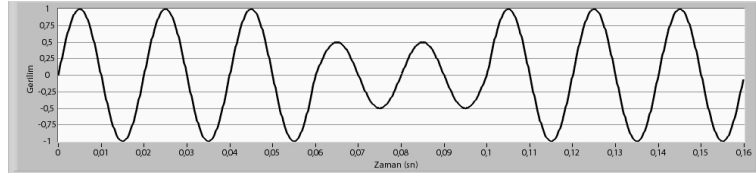
Geleneksel rms izleme yöntemi, sinyalin dalga formuna çok bağılı olmadığından, dalga formu değışimlerinden az etkilenmektedir. Ayrıca bu yöntem olay algılama için belirlenen eşik seviyesine bağılılık göstermektedir. Belirlenen eşik seviyesine göre, yanlış olay algılama veya gerçekleşen herhangi bir olayı algılayamama söz konusudur. Ayrıca rms işleminin yapılabilmesi ve doğru sonuç verebilmesi için en az bir periyot veri işlenmek zorundadır.

4.2.1 RMS Yöntemi için Nümerik Analizler

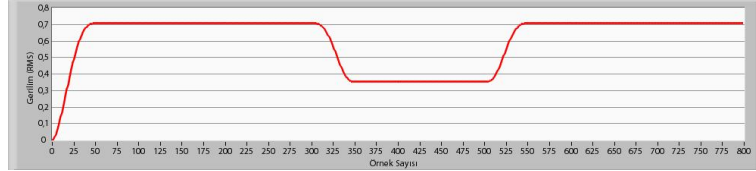
Bu bölümde rms hesabının gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi ve harmonikli gerilim için farklı pencere durumlarına göre değışimi incelenmiştir.

Analizlerde iki türlü rms hesaplaması yapılmıştır ve grafikleri verilmiştir. İlk olarak belirli bir pencerenin içinde, verinin örnek örnek kaydırılması ile işlem yapılmıştır. Bu sayede daha hassas bir sonuçla karşılaşılmakla beraber her bir örnek için hesaplama yapılmaktadır. İkinci olarak yapılan hesaplar ise belirli bir pencerenin kaydırılması ile elde edilmiştir. Bu sayede daha az işlem yapılmakla beraber hassasiyet kaybolmuş ve pencere içine veri geldiğinde hesaplama yapıldığı için pencere boyutuna bağılı bir gecikme oluşmuştur.

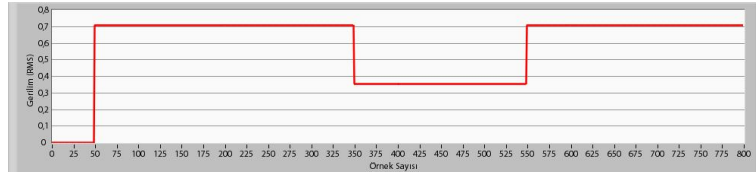
Gerilimde iki periyotluk (40 ms) bir çökme oluşması haline ilişkin grafik Şekil 4.1'de verilmiştir. Yarım periyotluk pencere kullanılarak elde edilen ölçümler ise Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir. Görüldüğü üzere yarım periyotluk pencere içinde örneklerin kaydırılmasıyla yapılan hesaplama tüm pencerenin kaydırılmasıyla yapılan hesaplama göre daha gerçekçi sonuç vermiştir ve neredeyse hiçbir gecikme söz konusu değildir. Bir periyotluk pencereler kullanılarak yapılan ölçümler ise Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmiştir. Açıkça görüldüğü üzere bir periyotluk pencere kaydırılarak elde edilen ölçüm geri kalmaktadır.



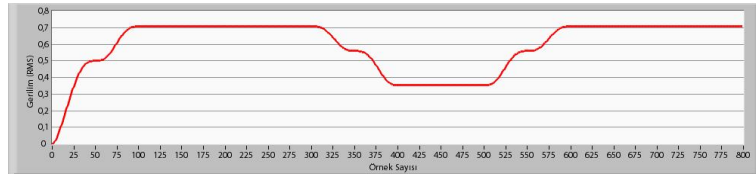
Şekil 4.1 Gerilim çökmesine ait dalga şekli



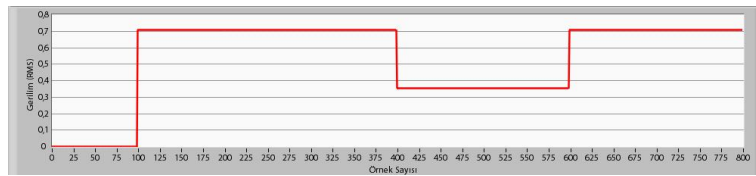
Şekil 4.2 Yarım periyotluk pencere içinde örnek kaydırma



Şekil 4.3 Yarım periyotluk pencere kaydırma



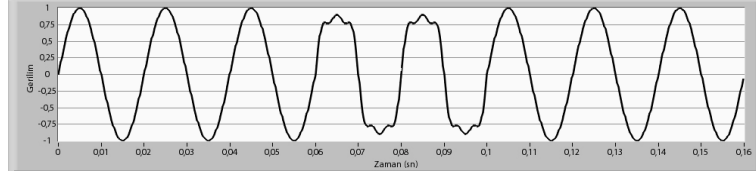
Şekil 4.4 Bir periyotluk pencere içinde örnek kaydırma



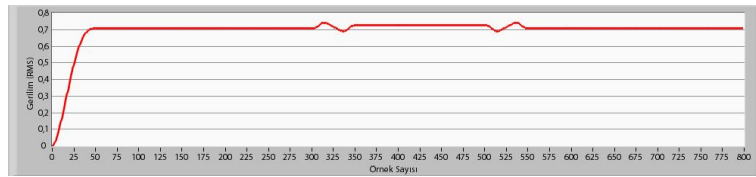
Şekil 4.5 Bir periyotluk pencere kaydırma

Gerilimin harmonikli olarak bozulmasına ilişkin grafik Şekil 4.6'da verilmiştir. Dalga formu, 0.3pu üçüncü harmonik ve 0.15pu beşinci harmonik içermektedir. Bu veriye ait yarım periyotluk pencere içinde örnek kaydırılarak yapılan hesap grafiği Şekil 4.7'de yarım periyotluk pencere kaydırılarak yapılan hesap grafiği ise Şekil 4.8'de verilmiştir. Bir periyotluk pencere ile yapılan hesaplamalar ise Şekil 4.9 ve

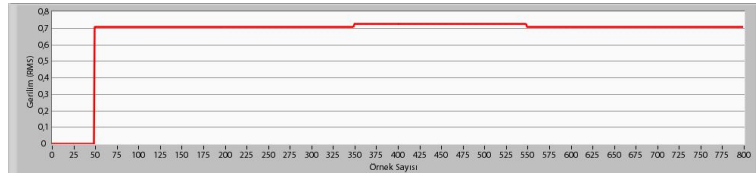
Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Pencere kaydırılarak yapılan hesaplama doğal olarak geri kalmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere dalga formunun değişimine karşın rms hesaplarında çok ufak değişimler söz konusudur. Gerçek uygulamalarda bu küçük değişimleri olay olarak algılamak rms yöntem ile oldukça zordur.



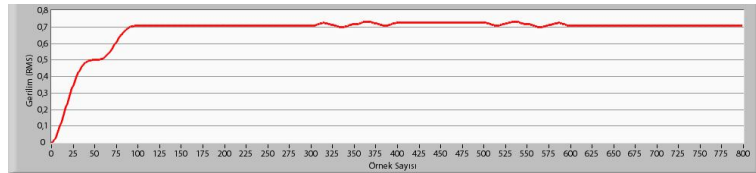
Şekil 4.6 Harmonikli gerilim içeren dalga şekli



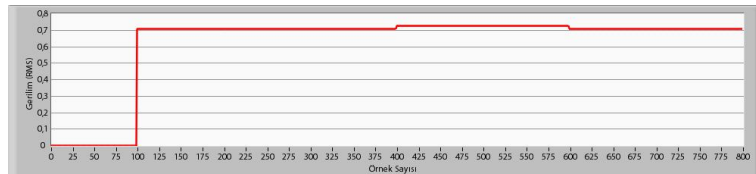
Şekil 4.7 Yarım periyot pencere içinde örnek kaydırma



Şekil 4.8 Yarım periyot pencere kaydırma



Şekil 4.9 Bir periyot pencere içinde örnek kaydırma



Şekil 4.10 Bir periyot pencere kaydırma

4.3 DFT Yöntemi

Ayrık Fourier Dönüşümü (Discrete Fourier Transform) dijital sinyal üzerindeki temel bileşeni ve harmonik bileşenlerini elde etmekte kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Matematiksel ifadesi;

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i2\pi k \frac{n}{N}} \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (4.3)$$

şeklindedir.

DFT yöntemi de rms gibi kullanılan pencere boyutuna bağlıdır. Bununla birlikte daha karmaşık hesaplama yapmakta ve daha fazla işlem gücüne gereksinim duymaktadır. Ancak rms hesaplamasının aksine harmonik bileşenlerinin genliğini ve açısını vermesi bir avantaj sayılabilir.

Bu dönüşüm pencere içerisindeki zamana bağlı veriyi periyodik kabul ettiğinden dalga formu periyodik olmayan gerilimlerde doğru sonuç vermeyecektir. Bu olumsuzluğu gidermenin yolu Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (Short Time Fourier Transform) yapmaktır. STFT, sinyalin durağan kabul edildiği aralıklarda sinyali zaman parçalarına ayırır ve her parçaya DFT uygular.

4.4 Kalman Filtreleme Yöntemi

Güç sistemlerindeki gerilim olaylarını analiz ve algılamada kullanılan alternatif yöntemlerden biri de Kalman filtreleme yöntemidir. Kalman filtreleme yöntemi rms yöntemden farklı olarak bize faz genliği ve açısını vermekle birlikte olayın gerçekleştiği anı da herhangi bir gecikme olmadan göstermektedir.

Kalman filtrenin algılama özellikleri, tahmin hassasiyeti ve gerilim olayının süresi kullanılan sistem modeline bağlıdır. Genel olarak, gerilime bağlı bir olay oluştuğunda filtre, olay bittiği ana göre daha iyi sonuç vermektedir. Özellikle kısa süreli veya genlikteki değişimin fazla olduğu durumlarda bu görülmektedir. Bunun sebebi olay olduğu anda filtrenin katsayılarının olay bitene kadar ki süreçte yeni değerlere yakınsayamamasıdır.

Lineer olmayan durumlar için gerilime bağılı olayların yakalanmasında filtrenin daha iyi sonuç vermesini sağlamak amacıyla *Gelişmiş Kalman Filtresi* kullanılmaktadır.

4.5 Dalgacık Dönüşümü

Güç kalitesi olaylarının algılanmasında ve analizinde kullanılan bir diğer yöntem ise dalgacık dönüşümüdür. Güç sistemlerinde oluşacak kalitesizliğin izlenebilmesi için zaman-frekans dönüşüm yöntemi olarak önerilmiş ve başarılı bir şekilde uygulanmıştır [56]. Fourier dönüşümü gibi dalgacık dönüşümü de durağan ve durağan olmayan sinyallerin işlenmesi ve frekans bilgisinin elde edilmesini sağlar.

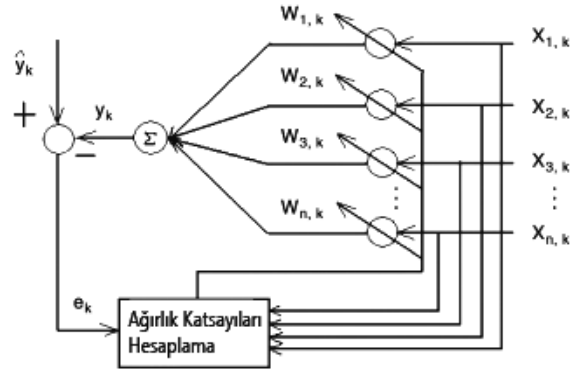
Dalgacık dönüşümü, tarihsel yönden daha yeni bir yöntemdir ve temeli Joseph Fourier'e kadar uzanmaktadır. Özellikleri zamanla değişmeyen, durağan bir sinyale uygulanabilecek en uygun dönüşüm zaman ve frekans domeyni arasında ilişki sağlayan Fourier dönüşümüdür. Bu yöntem sonsuz zaman aralığında tanımlı olduğundan, durağan sinyalin frekans bileşenleri hakkında bilgi verir, zaman bilgisi vermez. Bundan dolayı dalgacık dönüşümü yeni bir teknik olarak ortaya çıkmıştır. Belirli bir zaman penceresinde değeri sıfırdan farklı olan özel salınım fonksiyonlarına “dalgacık” adı verilir. Belirlenen pencere dışında fonksiyonun değeri sıfırdır. İncelenen sinyal dalgacık fonksiyonu ile çarpılır ve her bir kısım için dönüşüm yapılır.

Dalgacık dönüşümü sürekli ve ayrık olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Sürekli dönüşüm daha fazla işlem gerektirdiğinden tercih edilmemektedir. Ayrık dönüşümde ise sinyal belli sayıda ölçeklere ayrılmakta ve bu ölçekler üzerinde hesaplama yapılmaktadır. Ancak herhangi bir olay başlangıcında ve bitişinde yüksek frekanslı bileşenler oluşmuyorsa dalgacık dönüşümü bu olayları algılamada sıkıntı yaşamaktadır.

4.6 Adaline

Adaline, harmonik analizi [20],[22], frekans takibi [52] ve sinyal bozulmalarının algılanmasında kullanılabilen etkili bir yapıya sahip yapay zeka algoritmasıdır. Örneklenmiş veri ile çalışan ve doğrusal sinyalleri öğrenip takip eden

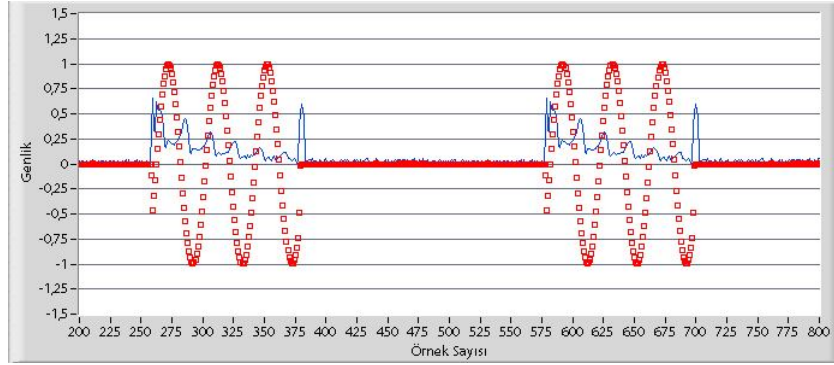
bir algoritmadır. Çok girişli ve tek çıkışlı bir yapıya sahip olmakla beraber sinyaldeki değişimlere kendisini adapte edebilir ve ağırlık katsayılarını bu girişlere göre ayarlayabilir. Basit hesaplamalar içerdiğinden dolayı donanımsal olarak tasarlanması kolaydır. Grafikselsel olarak adaline yapısı Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



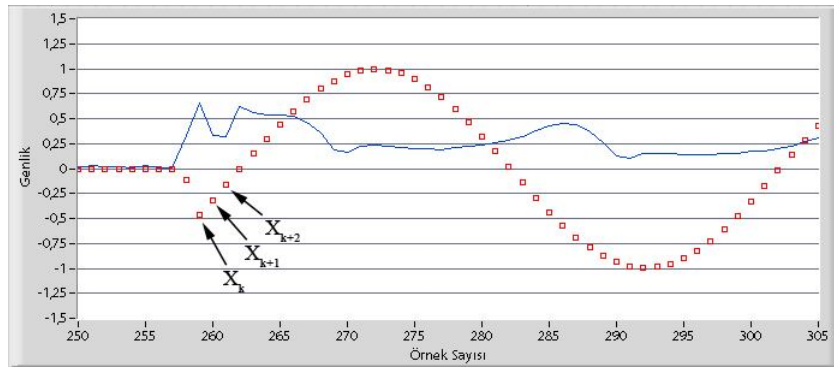
Şekil 4.11 Adaline yapısı

Burada k zaman indeksini göstermektedir. Zaman düzlemindeki işarete ait giriş vektörü $X_k = [x_{1,k}, x_{2,k}, \dots, x_{n,k}]$ ile sembolize edilmiştir. $W_k = [w_{1,k}, w_{2,k}, \dots, w_{n,k}]$ ise giriş vektörüne ait ağırlık katsayılarını göstermektedir. $y_k = \sum_{i=1}^n w_{i,k} \times x_{i,k} = W_k \times X_k^T$ olmak üzere $e_k = \hat{y}_k - y_k$ adaline hatasını vermektedir. Burada \hat{y}_k , zaman düzlemindeki hedeflenen örneği göstermektedir. Adaline izlediği sinyali öğrenme süreci boyunca bir hata verecektir. Öğrenme işlemi tamamlanınca bu hata oluşmayacak, genlik ve frekansın değişimine göre dalga formu değiştiğinden bu hata azalacak veya artacaktır. Adaline algoritmasının vereceği hataya göre sinyaldeki değişimler gözlemlenebilecektir.

Örneklenmiş gerilim ve bozuk sinyal altında oluşan adaline hatasının mutlak değerinin karekökü Şekil 4.12’de, adaline için kullanılan giriş vektörüne ait örnekler ise Şekil 4.13’te gösterilmektedir.



Şekil 4.12 Gerilimdeki değişim ve adaline tepkisi



Şekil 4.13 Zamandaki sinyale ait örnekler

4.6.1 Adaline Eğitimi

Algoritmanın genel avantajı izlenen sinyal üzerinden kendi kendisini eğitebilmesidir. Böylece eğitim süreci için ek bir sinyale veya hesaplama gereke kalmamış ve işlem kolaylığı sağlanmıştır. Adaline eğitimi girişte kullanılan vektörün ağırlık katsayılarının istenilen çıkış ve en düşük hata oluşacak şekilde ayarlanması

olarak tanımlanabilir. İlk olarak çıkış $y_k = \sum_{i=1}^n w_{i_k} \cdot x_k = W_k \cdot X_k^T$ ve hata $e_k = \hat{y}_k - y_k$

şeklinde hesaplanır. Elde edilen hata, giriş vektörü (X_k) ve öğrenme katsayısı (α) ile çarpılır. Daha sonra bu çarpım X_k vektörünün en büyük değerine bölünür. Bölme işleminin amacı algoritmanın giriş vektörünün değerlerinden bağımsız olarak 0–1 aralığında çalışmasını sağlamaktır. Böylece daha kararlı bir öğrenme katsayısı elde

edilebilmektedir. Bu işlemler sonucunda ΔW_k bulunur ve $W_{k+1} = W_k + \Delta W_k$ olacak şekilde yeni ağırlık katsayıları hesaplanır. Öğrenme katsayısı (α), 0 ile 1 arasındadır ve öğrenme hızı üzerinde etkilidir. Eğer α büyük seçilirse öğrenme çabuk gerçekleşir ancak fazla büyük olması durumunda sistemde kararsızlık olabilir ve hata sürekli artabilir. Küçük seçilmesi durumunda ise sistemin öğrenme süreci uzar. İstenen en uygun değer birkaç deneme sonucunda bulunabilir.

Güç kalitesi olaylarının algılanmasında adaline algoritmasının performansı iki temel etkene dayanmaktadır. Bu etkenler öğrenme katsayısı (α) ve giriş vektörünün boyutudur. Bu etkenlerin değişimi ve performans etkileri çeşitli yayınlarda gösterilmektedir [19],[20].

4.6.2 Adaline ile Güç Kalitesi Olaylarının Algılanması

Algoritmanın öğrenme süreci sonunda izlediği sinyali tahmin ederek sinyale adapte olması, güç kalitesi olaylarının algılanmasında kullanımını sağlamıştır [19],[20]. Zamandaki sinyal üzerindeki ardışık örneklerle çalışması sonucunda, sinyaldeki herhangi bir bozulma adaline'nın tahmininden farklı olacağı için yüksek bir hata oluşacaktır. Oluşan bu hatayı izleyerek sinyaldeki herhangi bir bozulma kolayca algılanabilmektedir. Öğrenme sürecindeki ağırlık katsayıları, bozulan yeni sinyale adapte oluncaya kadar hata devam edecek, yeni sinyal öğrenilince de hata tekrar sıfıra inecektir. Hatanın izlenmesiyle algılanan olay, sürekli değil sadece bozulmanın olduğu anın yakalanmasını ve kaydedilmesini sağlayacaktır. Bütün bir veri kaydedilmemiş sadece olayın gerçekleştiği an yakalanmış olacaktır. Bu da gereksiz veri kalabalığından kurtaracak ve gerekli işlemlerin yapılması için hız kazandıracaktır. Ayrıca donanıma binen yükü de azaltacaktır.

Yapılan çalışma ile gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi, gerilim kesilmesi ve gerilim üzerindeki geçici bozulmalar (transient) gibi güç kalitesizliği olayları algılanmıştır.

4.6.3 Adaline için Simülasyon Sonuçları

Bu bölümde gerilime ait düşme, yükselme, kesilme ve geçici bozukluklar gibi olaylar karşısında, adalinenin vereceği tepkiler simülasyon olarak gösterilmiştir. Yapılan analizlerde 1kHz örnekleme frekansında 50Hz'lik dalga formu kullanılmıştır. Ayrıca öğrenme katsayısı 0,4 alınmış ve dört elemanlı giriş vektörü ile çalışılmıştır. Bütün kalitesizlik olaylarına ait benzetimlerde, dalga formuna ait doğrusallığın en az etkilendiği sıfır geçişler temel alınmış ve kalitesizlik olaylarının sıfır geçiş anlarında oluşması sağlanmıştır. Diğer bir deyişle, sıfır geçiş anında oluşacak olan bozulmalar dalga formunun doğrusallığını en az etkileyecek ve adaline algoritmasının en az hatayı vermesini sağlayacaktır. Böylelikle algoritma açısından en zor koşulların test edilmesi amaçlanmıştır.

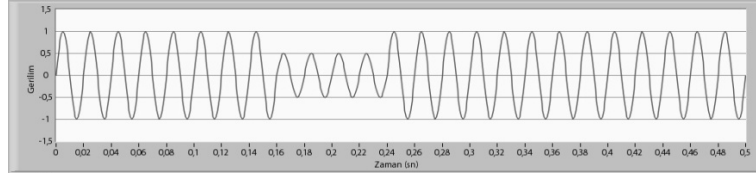
Benzetim sonucunda elde edilen grafiklerin ilkinde giriş vektörü olarak kullanılan gerçek şebeke gerilimi gösterilmiştir. İkinci olarak adaline algoritmasının, giriş vektörünü öğrenmesi sonucu kendi oluşturduğu sinyal verilmiştir. Son olarak ise bu iki dalga formu arasında farkın mutlak değerinin karekökü gösterilmiştir. Bu fark adaline algoritmasının hata değerini vermektedir. Analizlerde, bu hatanın sürekli pozitif yönde olmasını sağlamak amacıyla mutlak değeri alınmıştır. Ayrıca kolay görülebilmesi için karekökü alınmış ve böylece değeri yükseltilmiştir. Oluşan hatanın takip edilmesi ile gerilimdeki bozulmalar ve kalitesizlik olayları algılanabilmektedir.

Bütün bu niceliksel örnekler bir faz için yapılmakla beraber üç faz için de uygulanabilmektedir.

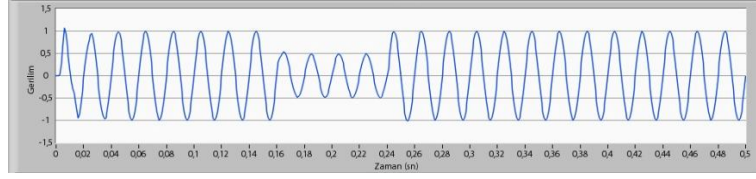
4.6.3.1 Gerilim Düşmesi

Gerilim tepe değerinin 80 milisaniye boyunca %50 düşmesi durumuna ait dalga formu Şekil 4.14a'da, adaline tahmini Şekil 4.14b'de, hatanın mutlak değerinin karekökü Şekil 4.14c'de verilmiştir. %10 düşmesi durumuna ait dalga formu Şekil 4.15a'da, adaline tahmini Şekil 4.15b'de, hatanın mutlak değerinin karekökü Şekil 4.15c'de verilmiştir. Adaline'nın yaklaşık iki periyotluk öğrenme süreci ve gerilim düşmesi anında oluşturduğu hata görülmektedir. Gerilimin %10 azalması durumunda dalga formunun doğrusallığı fazla değişmediğinden hata daha az olmaktadır. Hatanın

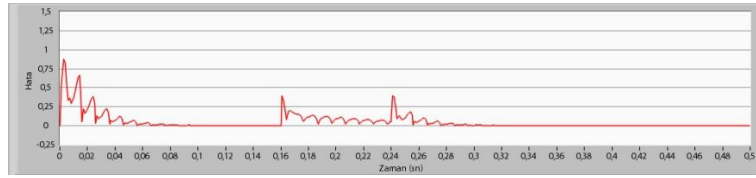
az olması, olay yakalamayı zorlaştıracığından bu gibi durumlar algoritmanın dezavantajı sayılabilir.



(a)

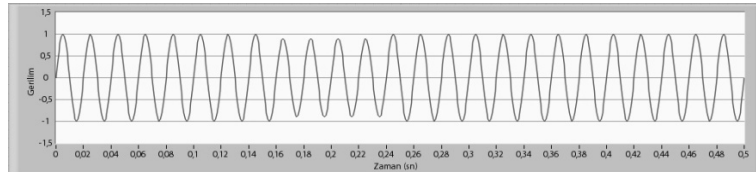


(b)

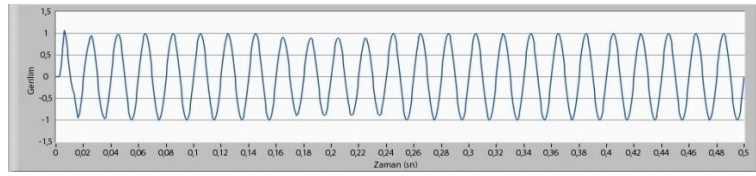


(c)

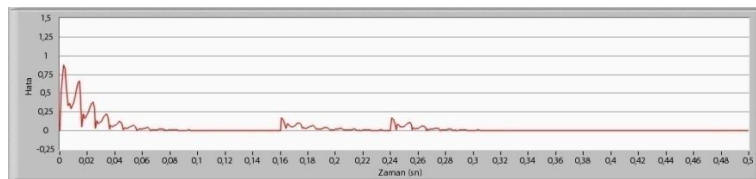
Şekil 4.14 Gerilimin %50 düşmesine ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)



(a)



(b)

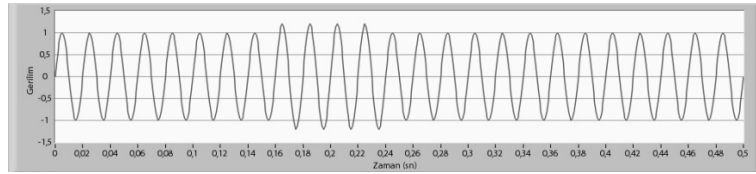


(c)

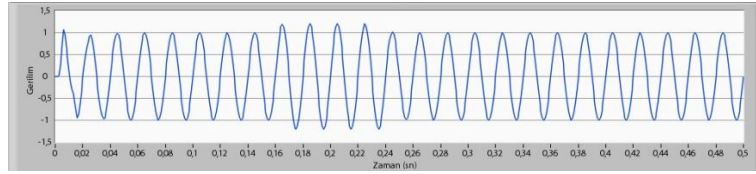
Şekil 4.15 Gerilimin %10 düşmesine ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)

4.6.3.2 Gerilim Yükselmesi

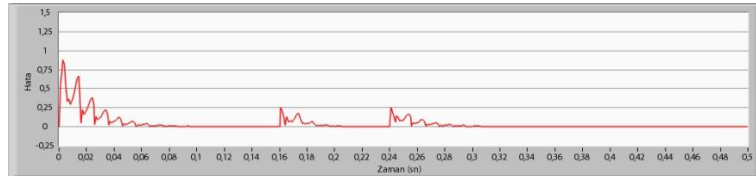
Gerilim tepe değerinin 80 milisaniye boyunca %20 yükselmesi durumuna ait dalga formu Şekil 4.16a'da, adaline tahmini Şekil 4.16b'de, hatanın mutlak değerinin karekökü Şekil 4.16c'de verilmiştir. %80 yükselmesi durumuna ait dalga formu Şekil 4.17a'da, adaline tahmini Şekil 4.17b'de, hatanın mutlak değerinin karekökü Şekil 4.17c'de verilmiştir. Adaline'nın yaklaşık iki periyotluk öğrenme süreci ve gerilim düşmesi anında oluşturduğu hata görülmektedir. Gerilim düşmesinde de gözlemlendiği üzere dalga formundaki ufak değişimlere tepki daha az olmaktadır.



(a)

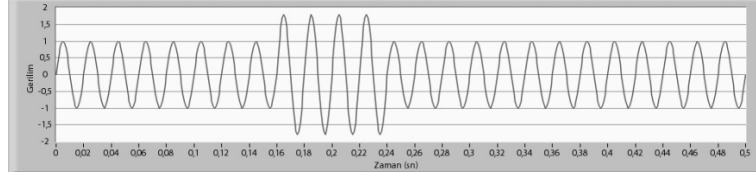


(b)

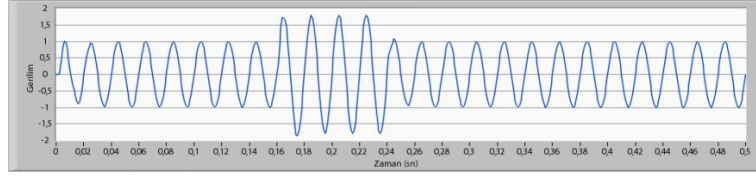


(c)

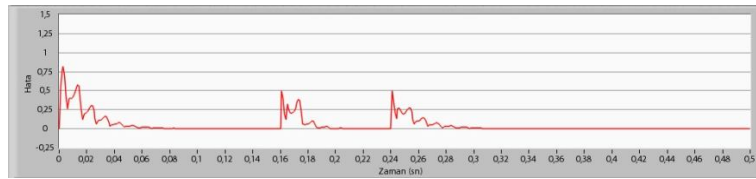
Şekil 4.16 Gerilimin %20 yükselmesine ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)



(a)



(b)

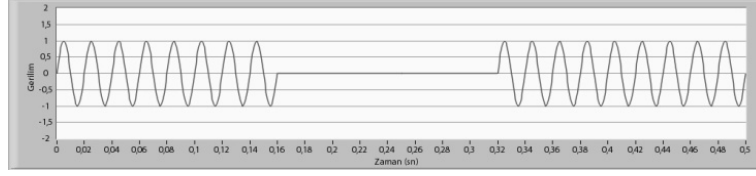


(c)

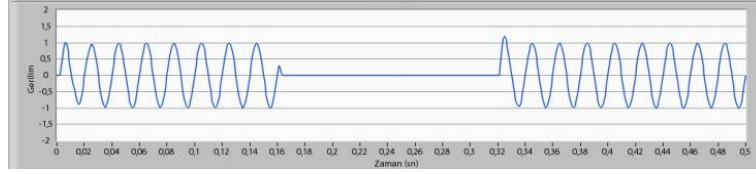
Şekil 4.17 Gerilimin %80 yükselmesine ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)

4.6.3.3 Gerilim Kesilmesi

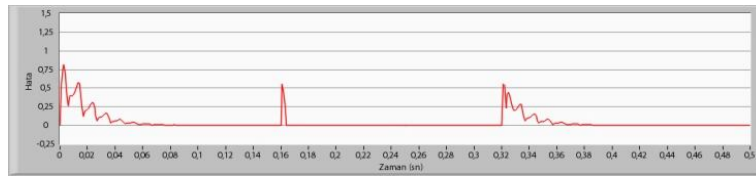
Gerilime ait kalitesizlik olaylarından birisi de kesilmelerdir. Adaline bu tip bir olaya çok belirgin bir tepki vermektedir. Gerilim kesilmesine ait dalga formu Şekil 4.18a'da, adaline tahmini Şekil 4.18b'de, hatanın mutlak değerinin karekökü Şekil 4.18c'de verilmiştir. Burada görüldüğü üzere olayın başladığı ve bittiği anda yüksek bir hata oluşmuştur.



(a)



(b)

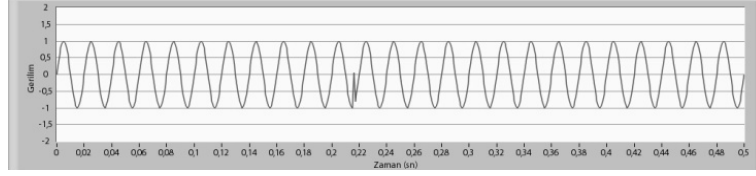


(c)

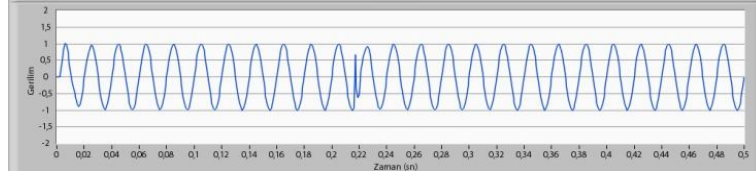
Şekil 4.18 Gerilimin kesilmesine ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)

4.6.3.4 Geçici Bozulmalar

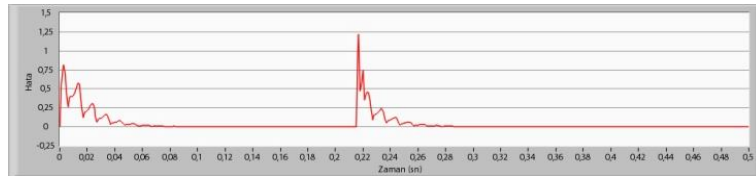
Gerilim üzerindeki anlık bozulmalar en önemli ve en sık görülen kalitesizlik olaylarındandır. Algılanması ve önlenmesi zor olduğundan elektronik donanımlara hasar vermede öncüdür. Özellikle rms ile takip ve algılama yapılıyorsa, gerilimin rms değerini çok az değiştirdiğinden fark edilememektedir. Ancak adaline gibi dalga formunu takip eden algoritmalar sayesinde kolaylıkla algılanabilmektedir. En çok karşılaşılan anlık olaylardan gerilim çentikleşmesi Şekil 4.19'da, gerilim dalga formundaki düzensiz bozulmalar ise Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Buradan görüldüğü üzere adaline bu tip kalitesizlik olaylarına, dalga formu çok bozulduğu için yüksek tepki vermiştir.



(a)

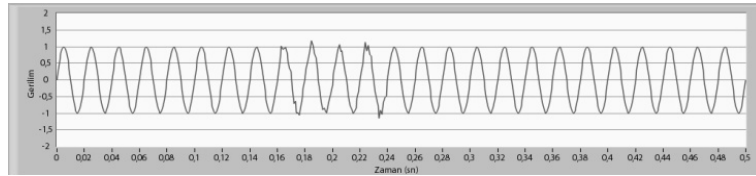


(b)

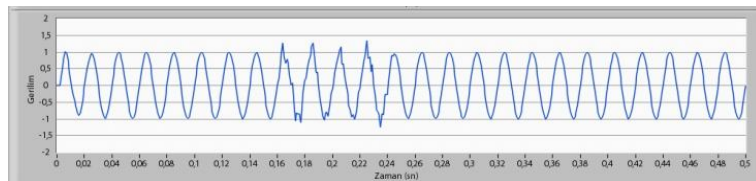


(c)

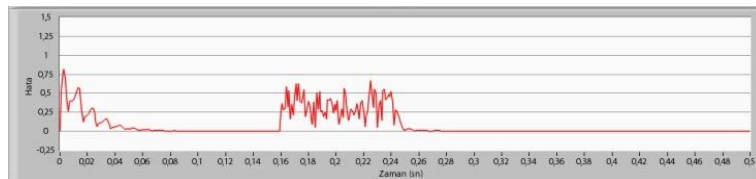
Şekil 4.19 Gerilim çentiğine ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)



(a)



(b)



(c)

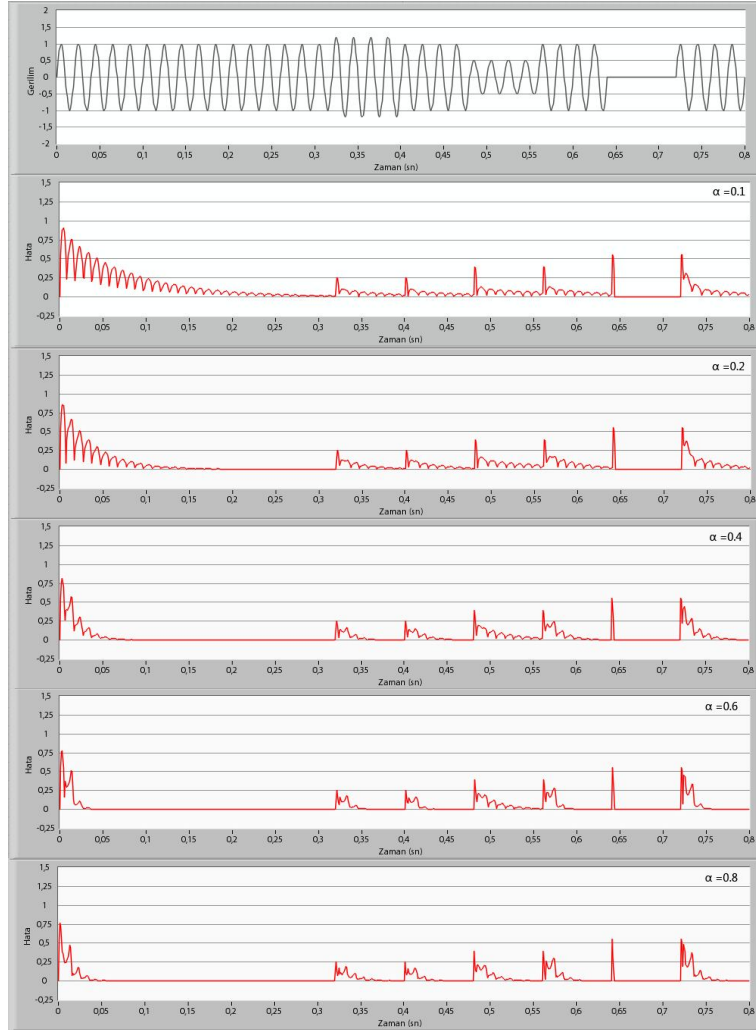
Şekil 4.20 Bozuk gerilime ait işaret (a); tahmin edilen işaret (b); hatanın mutlak değerinin karekökü (c)

4.6.4 Hassasiyet Analizi

Adaline'nın performansını etkileyen unsurlar öğrenme oranı, adaline için kullanılacak giriş sayısı ve giriş sinyalinin örnekleme frekansıdır. Bu bölümde öğrenme katsayısının, giriş sayısının (P) ve örnekleme frekansının, öğrenme sürecine etkisi ve farklı durumlar için adaline tepkisi incelenmiştir.

4.6.4.1 Öğrenme Katsayısının (α) Etkisi

Öğrenme katsayısı adaline'nın öğrenme sürecinde dolayısıyla vereceği tepki üzerinde doğrudan etkilidir. Öğrenme katsayısının küçük seçilmesi izlenen sinyalin öğrenilme sürecini uzatır ve bu sebeple sürekli bir hata oluşmasına sebep olur. Bu da normal koşullarda bile olay algılanmasını sağlar. Diğer taraftan öğrenme katsayısının yüksek olması hızlı bir öğrenme süreci sağlar ve bir olay olması anında yüksek hataya sebep olur. Ancak fazla büyük seçilmesi durumunda (>1) ağırlık katsayıları sürekli salınacak ve takip edilen sinyal bir türlü öğrenilemeyecektir. Yapılan çalışmalar sonucunda 0,3 ve 0,6 aralığındaki öğrenme katsayıları güç kalitesi olaylarının algılanmasında en uygun sonucu vermektedir [20]. Benzetimlerde giriş sayısı dört alınmış, örnekleme frekansı 1kHz seçilmiş ve sadece öğrenme katsayısı değiştirilmiştir. Öğrenme katsayısının değişimine göre oluşan hata grafikleri Şekil 4.21'de verilmiştir.



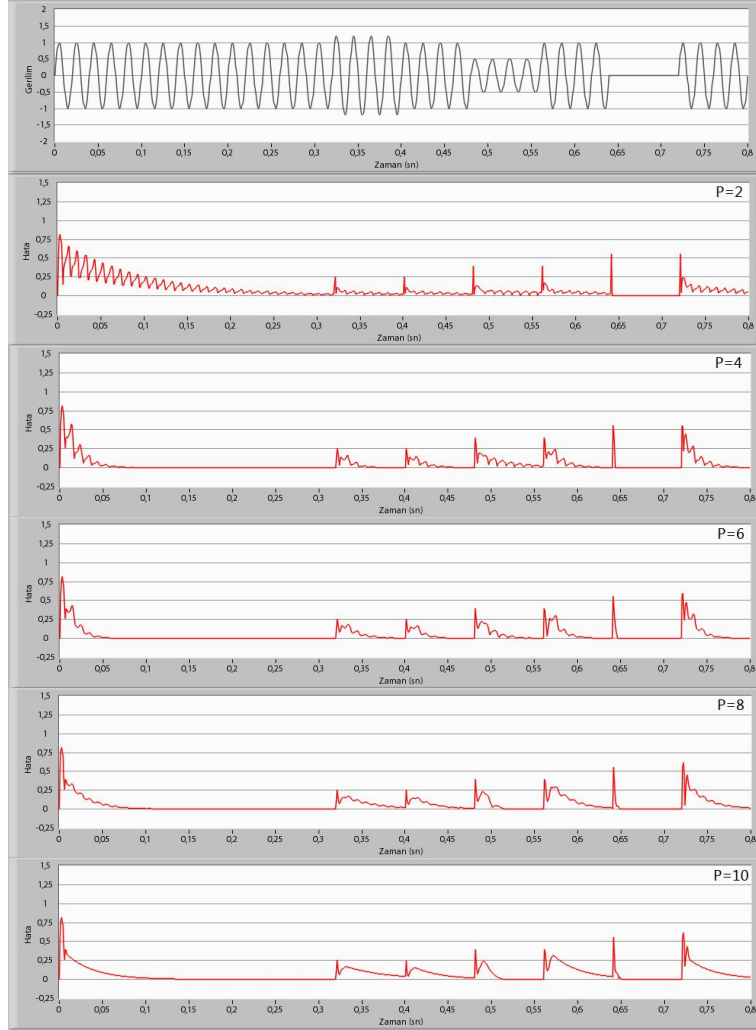
Şekil 4.21 Farklı α değerleri için adaline hatası

4.6.4.2 Giriş Sayısının (P) Etkisi

Bu bölümde öğrenme katsayısını 0,4 alarak, giriş sayısının değişiminin adaline performansına etkisi incelenecektir. Örnekleme frekansı ise 1kHz seçilmiştir.

Giriş sayısı da öğrenme katsayısı gibi adaline üzerinde oldukça etkilidir. Fazla giriş kullanılması takip edilen sinyalin hemen öğrenilmesini sağlar. Bundan dolayı dalga formundaki değişimler karşısında adaline dikkate değer bir hata üretmez. Giriş sayısının az olması durumunda ise öğrenme süreci ve bununla birlikte

hatanın oluşma süresi uzayacaktır. Farklı giriş sayılarına ait grafikler Şekil 4.22’de verilmiştir.



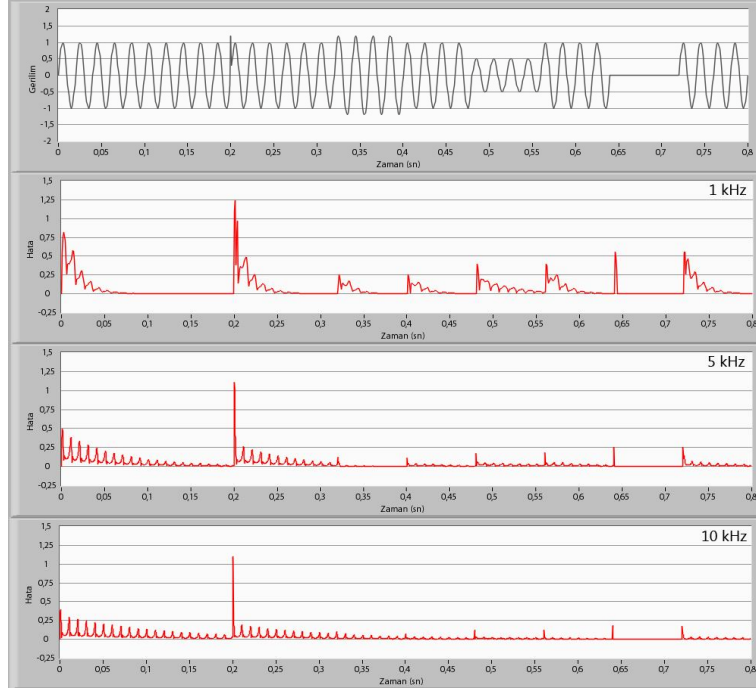
Şekil 4.22 Farklı giriş sayıları için adaline hatası

4.6.4.3 Örnekleme Frekansının Etkisi

Adaline algoritması sadece örneklenmiş sinyal üzerinde çalışmaktadır. Doğrusal sinyallerin takibinde kullanılmak üzere geliştirilen bir algoritma olmasından ötürü, örnekleme frekansının buna uygun olarak seçilmesi gereklidir. Yüksek örnekleme frekansında izlenen sinyal daha doğrusal olacağından genlik

değişimlerine karşı hassasiyet azalmaktadır. Ancak yüksek örnekleme frekansı dalga formundaki çentik ve transient gibi yüksek frekanslı bozulmaların daha kolay yakalanmasını sağlayacaktır.

Yapılan benzetimlerde öğrenme katsayısı 0,4 alınmış ve 4 giriş kullanılmıştır.



Şekil 4.23 Farklı örnekleme frekansları için adapte tepkisi

4.7 Sonuçlar

Yapılan analizler sonucunda adapte algoritmasının dalga formu değişimine karşı etkin değerle kıyaslandığında daha hızlı ve belirgin tepki verdiği görülmüştür.

α 'nın küçük olması öğrenme sürecini uzatmıştır. 0,4 ve daha büyük değerler ise yaklaşık aynı sonucu vermiştir. Güç kalitesi olaylarını algılamak için 0,4 değeri yeterli olabilmektedir.

Oluşan hatanın büyüklüğü ve süresi dikkate alındığında giriş olarak 4 örnek kullanılması adapte için uygun olmaktadır. Daha fazla örnek kullanıldığında hatanın süresi uzamaktadır. Bu da olay yakalama tetikleyicisi olarak hata sinyalinin kullanılmasını güçleştirmektedir.

5kHz ve üstündeki örnekleme frekanslarında tepki fazla değişmemekle birlikte 50Hz şebeke frekansı temel alınırsa yüksek örnekleme frekanslarında sinyalin doğrusallığı arttığından, hata genliği azalmıştır. 1kHz örnekleme gerilim düşmesi ve gerilim yükselmesi için daha belirgin sonuç vermektedir.

5 LABVIEW TABANLI GELİŞMİŞ GÜÇ KALİTESİ ANALİZÖRÜ

Bu bölümde, tezin ikinci ve üçüncü bölümünde anlatılan güç kalitesi parametrelerini ve güç ifadelerini ölçen yazılım anlatılacaktır. Öncelikle geliştirilen yazılımın tasarımı hakkında genel bilgiler verilecektir. Daha sonra her bir güç kalitesi parametresinin hesaplanması için geliştirilen algoritmalar açıklanacaktır. En son olarak da geliştirilen güç kalitesi analizörünün arayüzü verilecektir.

5.1 LabVIEW Yazılımına Genel Bakış

Güç kalitesi olaylarının izlenmesi amacıyla LabVIEW ile PC kontrollü, kullanımı kolay ve anlaşılır, gelişmiş bir güç analizörü yapılmıştır. LabVIEW veri toplama analiz etme ve cihaz kontrolünde kullanılan G programlama dili tabanlı grafiksel bir yazılım geliştirme ortamıdır. İçinde bulundurduğu kütüphaneler ve hazır paketler sanal enstrümanlar (virtual instruments, VI) olarak adlandırılırlar. Sanal enstrümanları kullanarak daha esnek veri toplama ve analizi yapılabilmektedir. Çünkü sanal enstrümanlar kullanıcı tarafından, istenilen uygulamaya göre hazırlanır. Dolayısıyla sabit olan geleneksel cihazlar (voltmetre, osiloskop,...) bu esnekliği sağlayamaz. Bu tür cihazlar kullanıcılar tarafından bir kez, çoğu zaman da büyük paralar ödenerek satın alınırlar. Ancak kullanım süreleri boyunca herhangi bir performans artışı veya yeni bir işlevsellik kazanmadıklarından her zaman kullanıcı beklentilerini karşılayamazlar. Sanal enstrümanlar da ise sadece uygulama için gerekli olan işlemlerin yapılması amaçlanır ve istenildiği takdirde uygulamaya yönelik geliştirmeler yapılarak işlevsellik ve performans artışı sağlanabilir [57]. Bilgisayar tabanlı olduğundan bilgisayar teknolojisi tarafından sürekli desteklenmekte ve performansı artmaktadır. Bu gelişme potansiyeli sebebiyle geleneksel yaklaşımlar yerine sanal enstrüman kullanımı hızla artmaktadır. Özellikle günümüz bilgisayarlarının fiyat/performans oranlarının artması, pahalı ve esnek olmayan geleneksel ölçüm, analiz ve test sistemlerinin yerine sanal enstrümanlar kullanılmasını sağlamış ve böylece daha ekonomik çözümler üretilmiştir.

LabVIEW temel olarak ön ve arka panel olmak üzere iki arayüzden oluşmaktadır. Bu arayüzler birbiriyle bağlantılıdır. Ön panel sistemin aktif olarak

kullanıldığı, kontrol edildiği ve izlendiği bölümdür. Bir cihazın dış yüzü gibi kullanıcının etkileşimde olduğu kısım olarak düşünülebilir. Arka panel ise grafiksel kodların oluşturulduğu, verinin işlendiği, hesaplamaların yapıldığı bölümdür. Kullanıcı bu bölümü kullanarak sanal enstrümanın işlevini ayarlar ve uygulamayı geliştirir. Arka panelde hazırlanan kod metin tabanlı değildir. Akış diyagramı gibi birbirlerine bağlantılı bloklardan oluşan komut setleri bulunmaktadır. Bu görsel tasarım, programlamayı kolaylaştırdığı gibi metin tabanlı programlarda yapılan yazım hatalarının önüne geçmiştir.

5.2 Sistem Donanımı

Hazırlanan gelişmiş güç kalitesi analizörü, bilgisayara bağlı veri kartından sürekli olarak veri almakta ve bu veriyi gerekli ölçüm ve analizleri yapmakta kullanılmaktadır. Analizör 3 faz akım ve gerilim ölçümü, RMS izleme ve fazör diyagramlarını çizilebilmektedir. Ayrıca üç faz gerilim ve akım harmoniklerini ölçmekte ve gerilimin 22. harmoniğe kadar IEEE-519-1992 ve IEC-61000-3-6 harmonik standartlarına uygunluğunu göstermektedir. Bununla birlikte literatürde, tanımı hala sıkıntı yaratmakta olan görünür üç faz ve tek faz güç ifadelerini güç kalitesi eğitimlerinde kullanılabilir şekilde karşılaştırmalı olarak grafiksel ve sayısal şekilde kullanıcıya sunmaktadır. Olay yakalama yöntemi olarak adaline algoritması kullanılmıştır. Bu işlemler için PC ye veri aktarımı, IOtech 512 model bir DAQ cihazı ile sağlanmaktadır.

IOtech wavebook 512, taşınabilir, 8 kanallı ve 12 bitlik dijital veri toplama kartıdır. Tamamen PC uyumlu olup verileri, yüksek bir hızda bilgisayara aktarabilmektedir. PC bağlantısı LPT port üzerinden yapılmaktadır. Genel özellikleri şöyle sıralanabilir:

- 12bit çözünürlükte 1Mhz örnekleme frekansı
- 8 analog giriş
- 8-kanal eşzamanlı örnekleme ve tutma kartı
- Ayarlanabilir, çoklu kanaldan tetikleme
- Yüksek gerilim giriş problemleri (1000V)

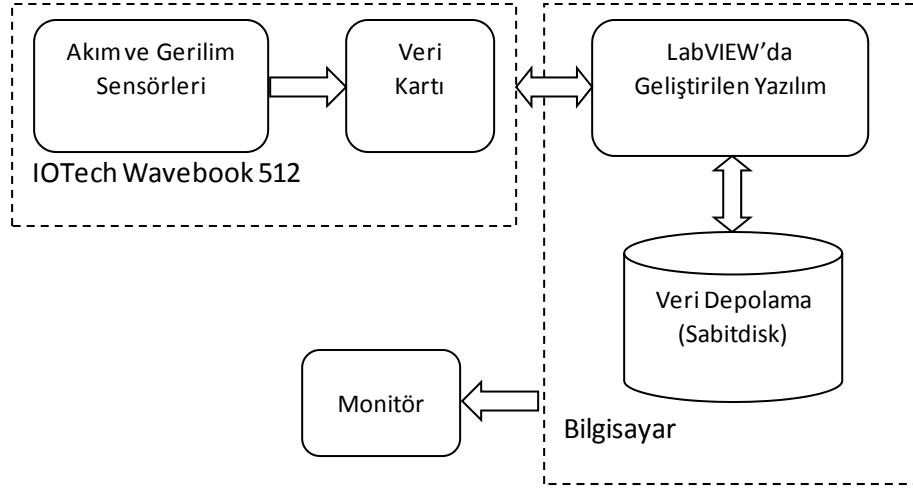
Akım ölçümleri için Fluke i1000S AC 1000A akım probları kullanılmıştır. Problemlerin genel özelliği şöyle sıralanabilir.

- Ölçüm Aralığı 0.01~1000A
- Doğruluk 0.1% +1A (48~65Hz)
- Çözünürlük 1 mV/A, 10 mV/A, 100 mV/A
- Çalışma Voltajı 600V AC rms. çene ile toprak arası
- Frekans Sahası 5Hz ~ 100kHz

Alınan verileri işlemek ve kaydetmek için 3GHz Pentium4 işlemcili WindowsXP işletim sistemi çalıştıran bir bilgisayar kullanılmıştır.

5.3 Güç Analizörü

LabVIEW ile hazırlanan analizör kullanıcıya şebekedeki güç kalitesi olaylarını ölçüm ve izleme olanağı tanımaktadır. Analizör, DAQ kartından sürekli olarak 3 faz akım ve gerilim değerlerini almakta ve bilgisayara göndermektedir. Gönderilen veriler bilgisayarda işlenerek kaydedilebilmektedir ve kaydedilen veriler istenildiği takdirde izlenebilmektedir. Hesaplanan bütün güç kalitesi parametreleri kullanıcı isteğine göre kaydedilmektedir. Ölçülen parametrelerin ne sıklıkla kaydedileceği ve toplam kayıt süresi, veri kalabalığını önlemek için kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Bu parametreler minimum, maksimum, ortalama olarak kaydedilmektedir ve LabVIEW ile görüntülenebildiği gibi herhangi bir metin düzenleyici (Notepad, Excel vs.) ile de görüntülenebilmektedir. İstendiği takdirde anlık veri sürekli olarak kaydedilebilmektedir.

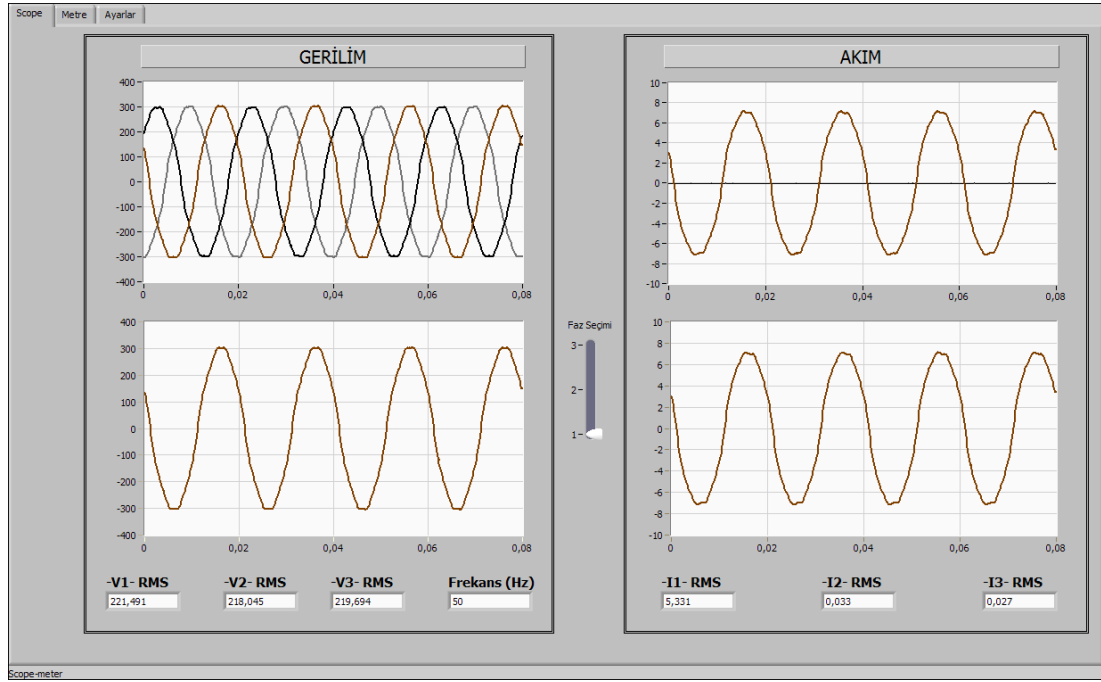


Şekil 5.1 Güç analizörünün blok diyagramı

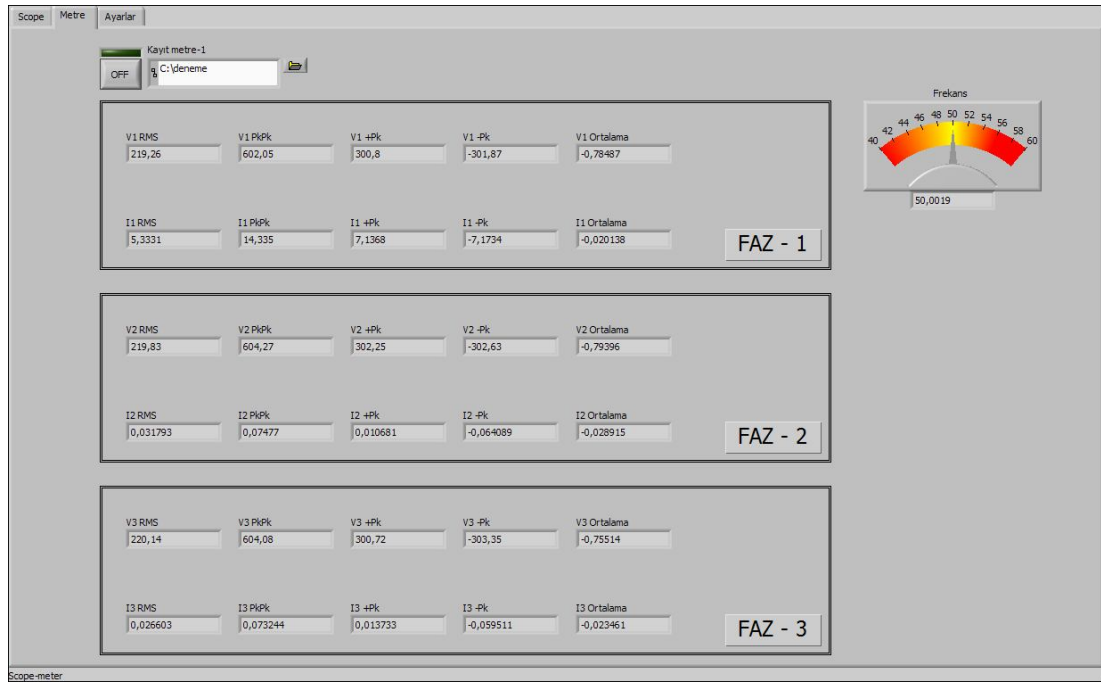
LabVIEW kullanmanın verdiği esneklik sayesinde birçok parametre kullanıcı tarafından istenilen işleme uygun olarak değiştirilebilir ve bu sayede daha hassas sonuç alınabilir. Kullanıcı isteğine bağlı olarak yeni işlevsellikler programa kolayca adapte edilebilir. Bu tez kapsamında hazırlanan analizör Scope-Metre, Güç Ölçüm, Harmonik, Fazör Diyagramı, Olay Yakalama, Darbe Ölçüm ve Veri Okuma olmak üzere yedi uygulamadan oluşmaktadır.

5.3.1 Scope-Metre Uygulaması

Bu uygulamada zaman domeninde 3 faz akım ve gerilim için dalga formları çizilmekte ayrıca her bir faz için etkin, ortalama, en yüksek ve en düşük değerler ile tepeden tepeye ve birinci faz için frekans ölçümü yapılmaktadır. Grafiklerde üç faz aynı anda görülebildiği gibi her bir faz ayrı olarak da gösterilmektedir. Ölçülen bütün veriler kullanıcının belirlediği sıklıkta, bir dosyaya kaydedilip istenilen herhangi bir zamana ait ölçüm değerleri daha sonra incelenebilmektedir. Kayıt işlemi her bir parametre için en yüksek, en düşük ve ortalama değer olarak yapılmaktadır. Geliştirilen güç analizörünün scope ve metre arayüz ekranları Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 ile verilmiştir.



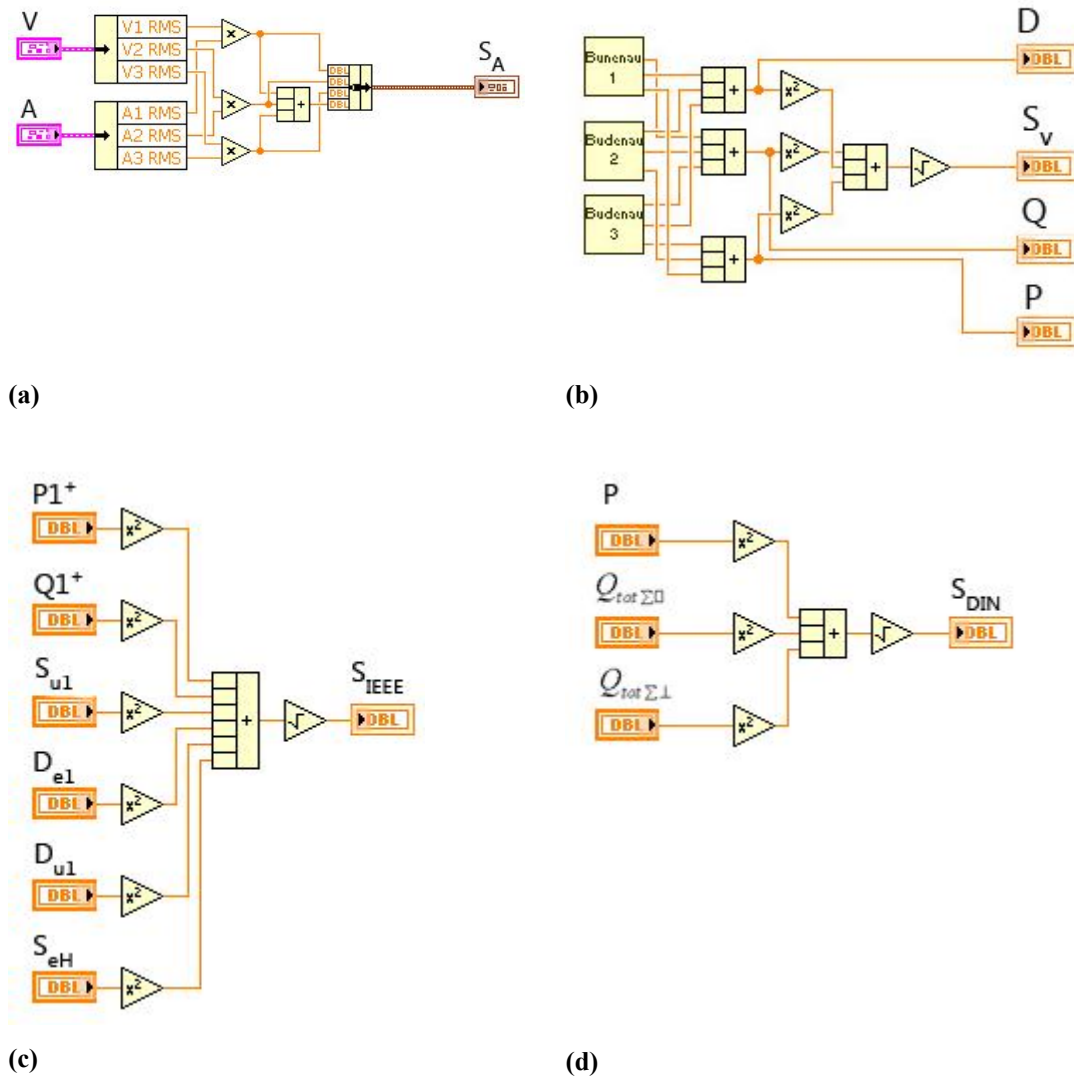
Şekil 5.2 Scope arayüzü



Şekil 5.3 Metre arayüzü

5.3.2 Güç Ölçüm Uygulaması

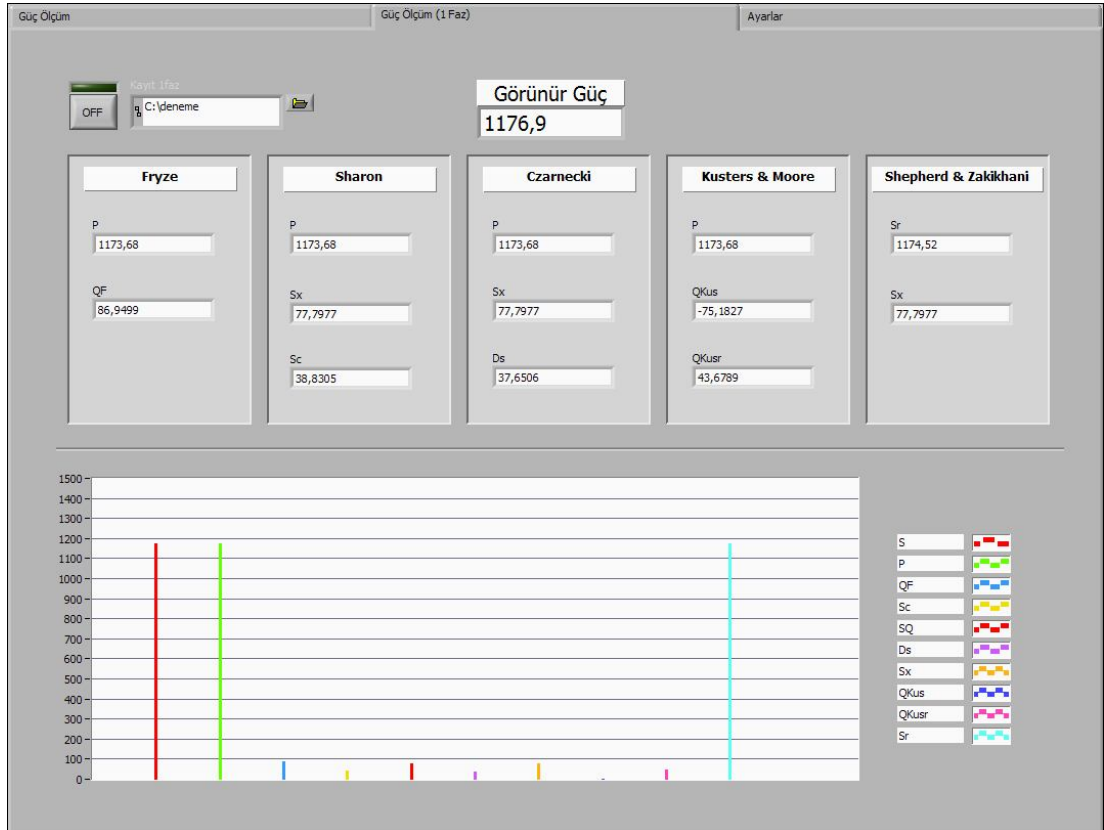
Bu uygulamada tezin üçüncü bölümünde anlatılan güç ifadeleri hesaplanmaktadır. Uygulama üç faz ve tek faz olmak üzere iki kısma ayrılmış ve bütün güç ifadelerinin bileşenleri sayısal ve grafiksel olarak gösterilmiştir. Böylece farklı güç ifadelerinin karşılaştırmaları yapılabilmektedir. Geliştirilen analizörün güç ölçüm ekranları Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde matematiksel denklemleri verilen üç fazlı güç ifadelerinin LabVIEW blokları Şekil 5.4 ile verilmiştir.



Şekil 5.4 Üç fazlı güç ifadelerini LabVIEW blokları. (a) Aritmetik görünür güç, (b) Vektör görünür güç, (c) IEEE std. görünür güç, (d) DIN std. görünür güç ifadesi.



Şekil 5.5 Üç faz güç ölçüm arayüzü

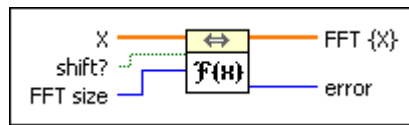


Şekil 5.6 Tek faz güç ölçüm arayüzü

5.3.3 Harmonik Uygulaması

Bu uygulamada gerilime ve akıma ait harmonik bileşenleri sayısal ve grafiksel olarak gösterilmektedir. Her bir fazın 50. harmoniğe kadar grafiği çizilmekte, istenilen herhangi bir harmonik seviyesi gösterilmekte ve toplam harmonik bozulması (THD) değeri yüzde olarak verilmektedir. Ayrıca gerilim harmoniklerinin kullanıcı tarafından seçilmek üzere IEC-61000-3-6 veya IEEE-519-1992 standartlarında belirlenmiş limit değerleri denetlenmektedir. Seçilen standarda uyulmaması halinde kullanıcı görsel olarak uyarılmaktadır. Bununla birlikte elde edilen verileri kaydetmek suretiyle, istenilen herhangi bir zaman aralığındaki harmonik değerlerini görmek mümkündür.

Harmonik analizi için akım ve gerilim sinyallerinin her biri bir periyotta 128 örnek olacak şekilde ölçülmüştür. Örnek sayısı kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Alınan örnek sayısının 2'nin kuvveti olmasından dolayı LabVIEW içinde hazır bulunan FFT algoritması kullanılmıştır. Kullanılan blok Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Burada " X " giriş vektörü olup zaman domenyindeki sinyale ait örneklerdir. " $FFT\ size$ ", uygulamak istenilen FFT uzunluğunu belirtir. Eğer buraya girilen değer, giriş vektöründeki örnek sayısından fazla ise, giriş vektörüne sıfır eklenerek istenen değer sağlanır. Giriş vektöründen daha az değer girilmesi durumunda, giriş vektörünün " $FFT\ size$ " ile belirtilen değer kadar örneği işleme alınır. Sıfır veya negatif sayı girilmesi durumunda ise giriş vektörünün tamamı kullanılarak FFT işlemi gerçekleştirilir. Yapılan uygulamada giriş vektörünün tamamı kullanılmıştır. " $Shift$ " girişi doğru-yanlış değeri almakta ve DC bileşenin ortalanıp ortalanmayacağını belirtmektedir. " $FFT\ \{X\}$ " giriş sinyalinin FFT'sidir. " $Error$ " ise yapılan işlemde hata oluşması halinde uyarı mesajı vermek için kullanılmaktadır.

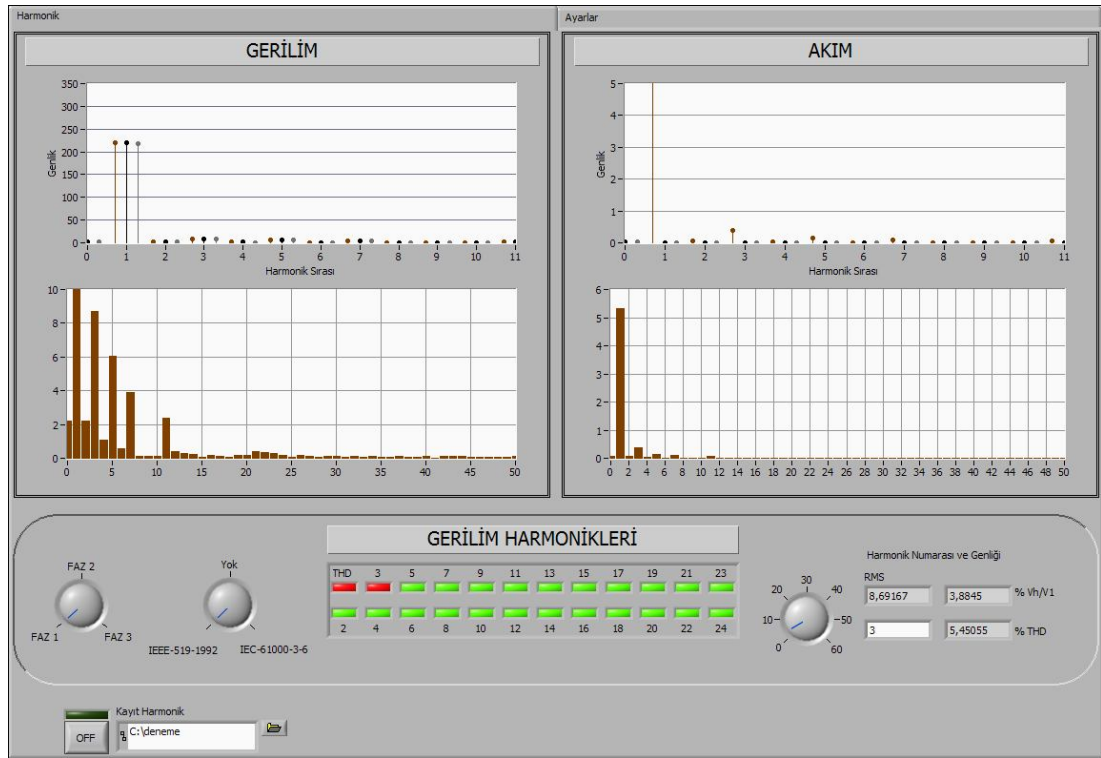


Şekil 5.7 LabVIEW FFT algoritması

LabVIEW'daki FFT bloğunun matematiksel formülü aşağıda verilmiştir.

$$y_k = \sum_n^{N-1} x_n e^{-i2\pi kn/N} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (4.4)$$

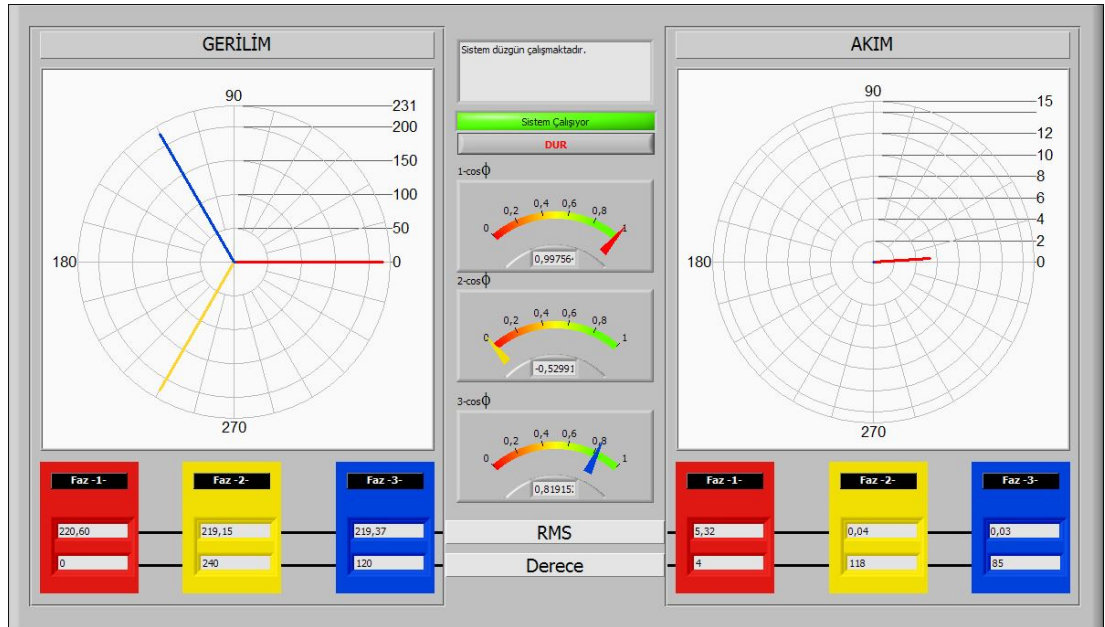
Burada x_n , giriş vektörü, N , giriş vektörüne ait örnek sayısını, y ise dönüşüm sonucunu vermektedir. Frekans çözünürlüğü ise örnekleme frekansının giriş vektöründeki örnek sayısına bölünmesiyle elde edilmektedir. Dolayısıyla frekans çözünürlüğünün azaltılıp araharmoniklerin hesaplanması için 1 periyottan daha fazla veri girilmelidir. Kullanıcı istediği örnekleme frekansını ve giriş vektörünü kullanarak daha hassas sonuçlar elde edebilmektedir. Geliştirilen harmonik ölçüm uygulamasına ait ekran görüntüsü Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8 Harmonik ölçüm arayüzü

5.3.4 Fazör Diyagramı Uygulaması

Bu uygulamada gerilim ve akım için fazör diyagramları çizilmektedir. Ayrıca her bir fazın etkin değerleri ile derece biriminden açı değerleri verilmekte, 3 faz için de $\cos\phi$ hesaplanmaktadır. Hesaplamalar yapılırken 1. Fazın geriliminin açısı sıfırlanmış ve bütün açı değerleri buna göre verilmiştir. Dalga formlarının FFT'si alınarak açılar bulunmuştur. Sistem sadece üç faz gerilimi de varken çalışmakta, fazlardan herhangi birinin gerilim değeri 3 voltun altındaysa hesaplama yapmamaktadır. Böylelikle hesaplama yükü azaltılmıştır. İstenirse bu denetleme kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Geliştirilen fazör diyagramına ait ekran görüntüsü Şekil 5.9'da verilmiştir.

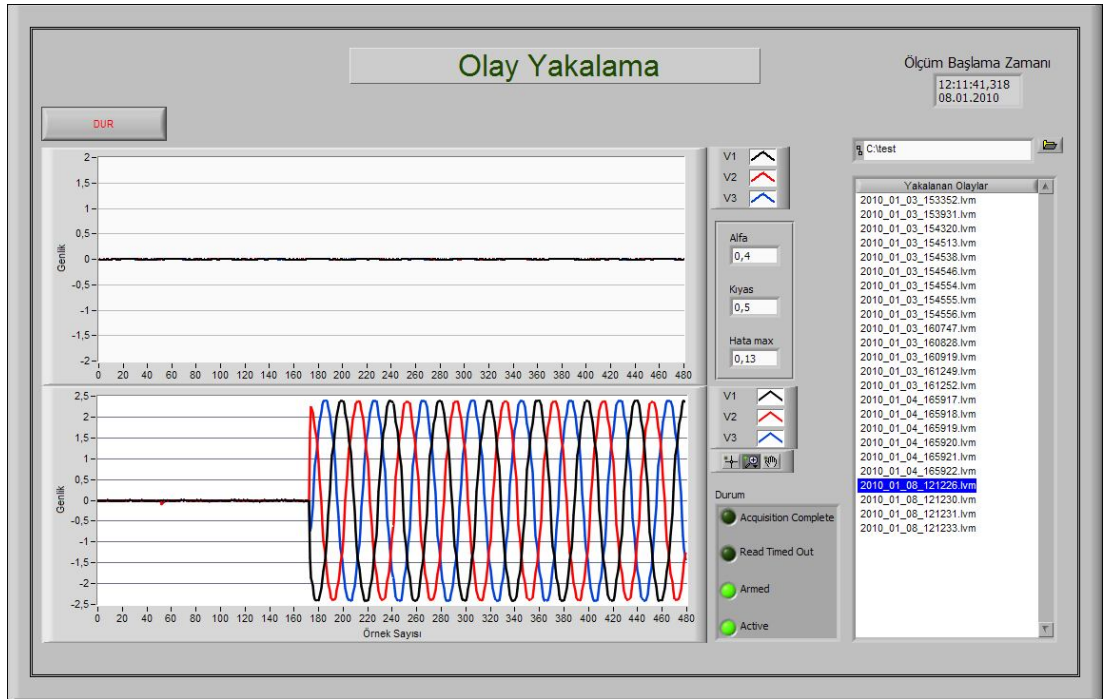


Şekil 5.9 Fazör diyagramı arayüzü

5.3.5 Olay Yakalama Uygulaması

Bu uygulamada tezin dördüncü bölümünde anlatılan adaline algoritması kullanılarak gerilim dalga formundaki değişimler takip edilmektedir. Üç faz gerilim verisinin her birine adaline algoritması uygulanmış böylece fazların dalga formu bozukluğunun yakalanması amaçlanmıştır.

Sistem bir periyotluk pencerelerle çalışmaktadır. Gerilim dalga formunda oluşacak bir bozulma adalinenin hata vermesini sağlayacak ve bu hatanın eşik değerini geçmesi durumunda olay kaydedilecektir. Algılanan olaylar bir periyot öncesi ve sonrası ile birlikte kullanıcının sabit diskte belirttiği adrese kaydedilmektedir. Kaydedilecek pencere boyutu ve hatanın eşik değeri kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Kaydedilen olaylar uygulamanın sağ tarafındaki menüde tarih ve saat şeklinde listelenmektedir. Böylece gerilim dalga formunda oluşan arızanın zamanı belirlenmiş olmaktadır. Kullanıcı bu listeden istediği olayı seçerek grafik ekranda yakalanan olayı görüntüleyebilmektedir. Geliştirilen olay yakalama uygulamasının ekran görüntüsü Şekil 5.10'da verilmiştir.

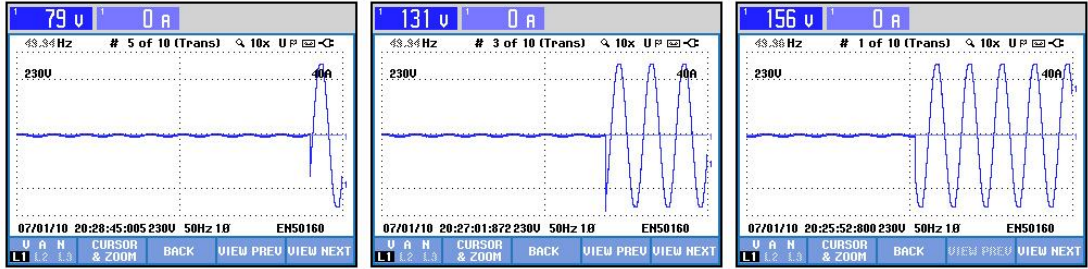


Şekil 5.10 Olay yakalama arayüzü

5.3.6 Darbe Ölçüm Uygulaması

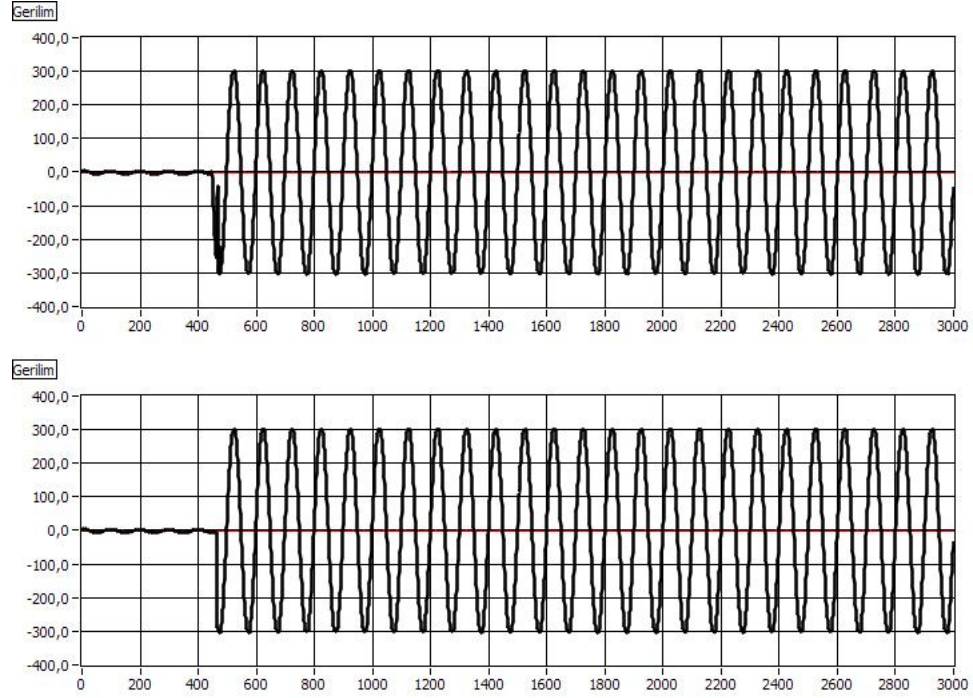
Bu uygulamada gerilimdeki darbe şeklinde değişimler yakalanmaktadır. IOtech wavebook 512 donanımsal olarak gerilim sinyallerinden tetikleme almakta ve kullanıcının istediği zaman aralığında olayları yakalamaktadır.

Taşınabilir klasik ölçü aletleri, herhangi bir hesaplama yapabilmek için ekranda gösterdikleri veriyi kullanırlar. Gösterdikleri veri, hafıza ile sınırlı bir pencere boyutuna bağlıdır. Hafızaları düşük olduğundan kullandıkları pencere boyutu büyük olamamaktadır. Bu sebeple pencere içerisindeki verinin analizi yapılırken algılanacak herhangi bir olayın yerine bakılmaz. Bu da tetikleme geldiğinde, algılanan olayın küçük pencere boyutu sebebiyle zaman ekseninde sabit kalmamasına, olayın oluşma zamanına göre pencerenin kendisini adapte edememesine sebep olmaktadır. Böylece algılanan olayın öncesi veya sonrası hakkında yeterli bilgi elde edilememektedir. Olayın öncesinde veya sonrasında gereksiz veri kullanıcıya gösterilmekle birlikte istenilen verinin gösterilmemesi de mümkündür. Geleneksel ticari bir güç analizörünün ardışık olarak algılanan farklı gerilim darbeleri Şekil 5.11’de görülmektedir. Olayın karakteristiği aynı olmasına rağmen pencere içindeki yerleşimleri farklıdır. Bu sebeple geleneksel ticari güç analizörleri yakalanan olayların görüntülenmesini konusunda sıkıntı yaşamaktadır.



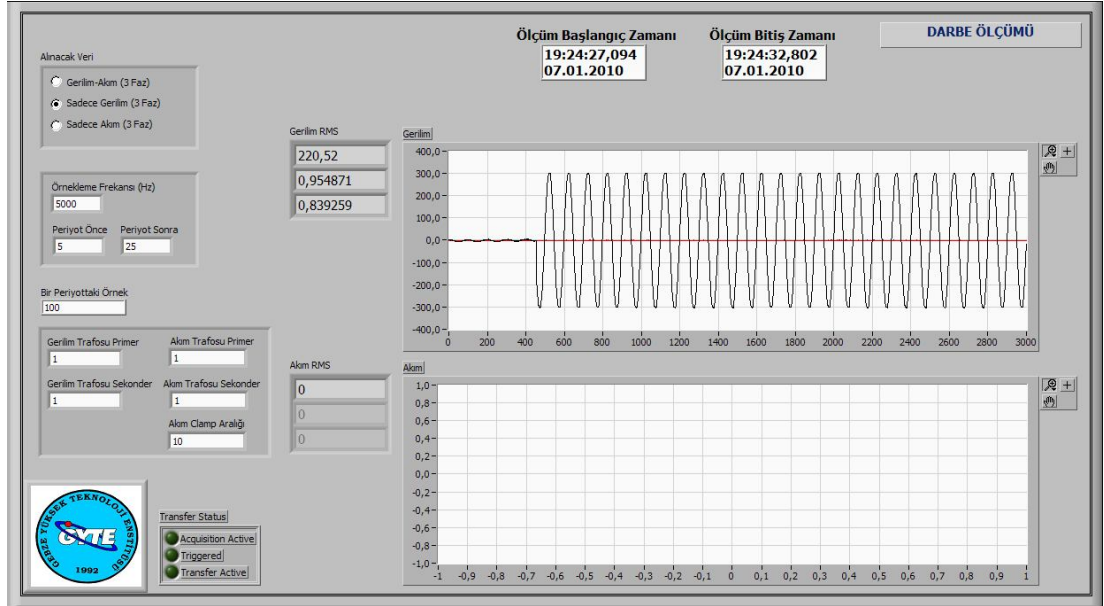
Şekil 5.11 Algılanan farklı üç gerilim darbesi

Geliştirilen darbe ölçüm uygulaması ise algılanan olayın kaç periyot öncesi ve sonrasının kaydedileceğini kullanıcıya sormakta ve böylece pencere içinde sadece istenilen verinin olması sağlanmaktadır. Örnekleme frekansının 5kHz, olayın öncesi için 5 periyot ve olayın sonrası için 25 periyot seçildiğinde geliştirilen darbe ölçüm uygulaması ile algılanan farklı iki olayın ekran görüntüsü Şekil 5.12 ile verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere gerilim darbesi kullanıcının belirlediği pencere boyutuna uygun olarak yakalanmıştır.



Şekil 5.12 Geliştirilen darbe ölçüm uygulaması ile algılanan olay

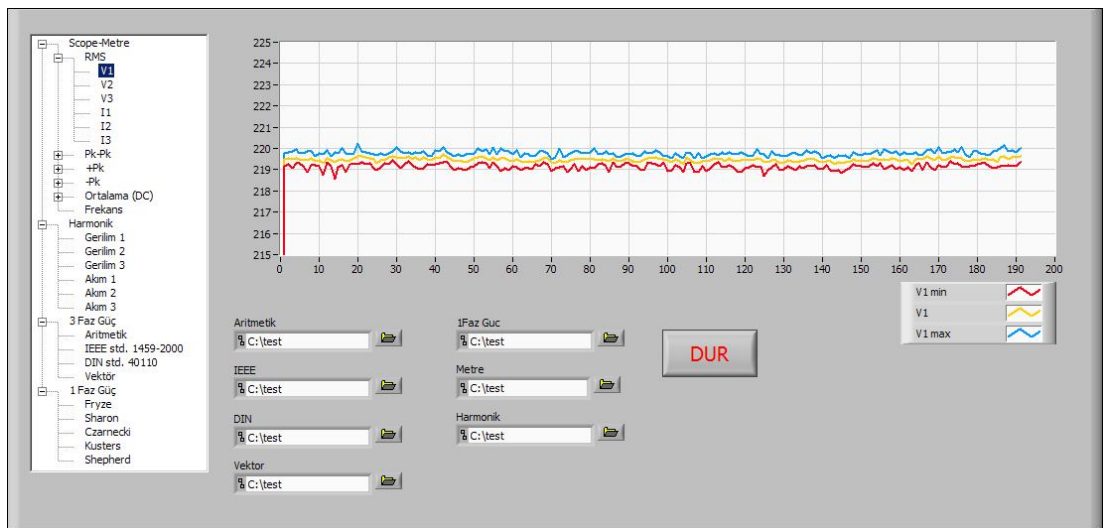
Uygulamada kullanılan Wavebook 512 donanımsal olarak giriş sinyalini izleyip kullanıcının belirlediği eşik değere göre tetikleme almaktadır. Bu işlem süresince bilgisayar hafızası kullanılmakta ve tetikleme sinyali geldiğinde hafızada bulunan veri kullanıcının belirlediği süre aralığında kaydedilmektedir. Veri kaydedilip kullanıcıya gösterildikten sonra sistem durmaktadır. Yeni bir darbe ölçümü için uygulama yeniden başlatılmalıdır. Böylece kullanıcının farkında olmadan sistemi meşgul etmesi ve olay yakalaması önlenmiştir. Ayrıca herhangi bir tetikleme oluştuğunda sistem görsel olarak kullanıcıyı uyarmaktadır. Geliştirilen darbe ölçüm uygulamasına ait ekran görüntüsü Şekil 5.13 ile verilmiştir.



Şekil 5.13 Darbe ölçüm arayüzü

5.3.7 Veri Okuma Uygulaması

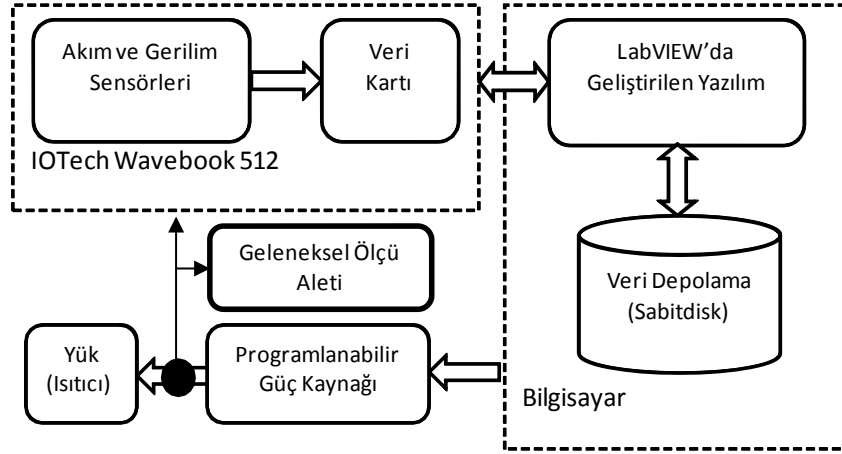
Hazırlanan bu uygulama ile önceden kaydedilmiş akıma ve gerilime ait veriler grafiksel olarak gösterilmektedir. Uygulama penceresinin sol tarafındaki listeden görülmek istenen değer seçilerek, bu değerler kullanıcıya grafik olarak verilmektedir. Grafik olarak izlendiğinden, her bir fazın ölçüm değerlerinin zaman içinde nasıl değişim gösterdiği kolay bir şekilde anlaşılmaktadır. Geliştirilen veri okuma uygulamasının ekran görüntüsü Şekil 5.14’te verilmiştir.



Şekil 5.14 Veri okuma arayüzü

5.4 Güç İfadeleri için Analizler

Bu bölümde gerilim ve akımın sinüzoidal olmadığı durum için güç ifadelerinin analizleri yapılmıştır. Üç fazlı sistemlerde yük dengesizliği göz önünde bulundurulmuş ve güç bileşenlerinin dengesizlik ve harmonikler altında karşılaştırması yapılmıştır. Test sistemine ait şematik Şekil 5.15'te verilmiştir.



Şekil 5.15 Test sistemine ait şematik

Sistemde bulunan üç fazlı programlanabilir güç kaynağı test için gerekli gerilim dalga formunu oluşturmaktadır. Ölçümlerin, geliştirilen güç analizörü ile kıyaslanması amacıyla geleneksel ölçü aleti ve programlanabilir güç kaynağının kendi ölçüm sonuçları kullanılmıştır.

5.4.1 Analizler

Sinüzoidal olmayan üç faz dengeli gerilim ve bir fazlı ısıtıcı yüke göre güç ifadelerinin analizi yapılmıştır. Programlanabilir güç kaynağı ile 1200W etiket değerine sahip elektrikli ısıtıcı beslenmiştir. Geliştirilen güç analizörü ile yapılan ölçümler, geleneksel ölçü aletiyle ve programlanabilir güç kaynağının kendi ölçüm verileriyle karşılaştırılmıştır.

Yapılan analiz için faz-nötr gerilimlerin ve hat akımlarının dalga şekilleri Şekil 5.16'da verilen güç ölçüm ekranında görülmektedir. Burada faz-nötr gerilimlerine ait THD değerleri 5% olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.16 Üç faz güç ölçüm sonuçları

Yük sadece birinci faza bağlanarak dengesiz bir yüklenme olması amaçlanarak, ideal şartlarda fark yaratmayan güç bileşenlerinin farklarının belirgin olarak görülmesi amaçlanmıştır. Şekil 5.16'dan güç ölçerinin S_V (vektör görünür güç) ile S_1 (Aritmetik görünür güç)'i 1171 VA ölçtüğü görülmektedir. Bu durumdan test sistemi şartlarında S_V ve S_A 'ya göre hesaplanan güç faktörlerinin yaklaşık 1 olduğu görülmektedir. Ancak IEEE std. güç ifadesine ait bileşenler olan P_1^+ (temel harmonik pozitif sıra aktif gücü) 1155W, S_{u1} (temel harmonik dengesizlik görünür gücü) 2593VA, S_{e1} (temel harmonik efektif görünür gücü) 2841VA, D_{eV} (gerilim bozulma gücü) 127VA, D_{eI} (akım bozulma gücü) 300VA ve S_{eh} (harmonik görünür gücü) 13VA ölçülmüştür. Q_1^+ (temel harmonik pozitif sıra reaktif gücü) ise -91VAR olarak hesaplanmıştır. Bu ifade lerden IEEE std. görünür gücü 2859VA olup bu tanıma göre

güç faktörü (P/S_{IEEE}) 0,403 olarak hesaplanmıştır. DIN std. görünür gücü ise yük dengesizliğinden kaynaklanan aktif olmayan güç $Q_{tot\Sigma II}$ ve gerilime dik akım bileşenlerinden kaynaklanan aktif olmayan güç $Q_{tot\Sigma \perp}$ sebebiyle 2859VA olarak ölçülmüştür. Bu tanımdan güç faktörü (P_{DIN}/S_{DIN}) yaklaşık olarak 0,407 olarak hesaplanabilir. Diğer taraftan geleneksel ölçü aleti ve programlanabilir güç kaynağı ile elde edilen ölçüm ekranları sırasıyla Şekil 5.17’de ve Şekil 5.18’de gösterilmiştir. Geleneksel ölçü aletinde görünür, aktif ve reaktif güçler ölçülmektedir. Programlanabilir güç kaynağında ise sadece görünür ve aktif güçler ölçülmektedir. Bu ölçüm sonuçlarında güç faktörünün 1 olduğu görülmektedir.

Power & Energy				
FULL		0:00:28		
	L1	L2	L3	Total
kW	1.151	0.000	0.000	1.152
kVA	1.155	0.004	0.002	2.004
kVAR	±0.088	±0.004	±0.002	±0.093
PF	1.00	0.03	-.--	0.57
Cosφ	1.00	-.--	-.--	
A rms	5.25	0.02	0.01	
	L1	L2	L3	
V rms	219.8	220.3	220.6	
09/01/10 17:10:45 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160				
VOLTAGE		ENERGY		TREND
▲ ▼				HOLD RUN

Şekil 5.17 Geleneksel ölçü aleti güç ölçümü

Measurements:			
Freq (Hz):	50,00		
	Phase A	Phase B	Phase C
<input checked="" type="checkbox"/> Voltage (V rms):	220,10	217,77	217,35
<input checked="" type="checkbox"/> Current (A rms):	5,381	0,027	0,023
<input checked="" type="checkbox"/> Phase (°):	0,0	240,8	120,4
<input checked="" type="checkbox"/> Power (kW):	1,183	0,000	0,000
<input checked="" type="checkbox"/> Appt.Power (kVA):	1,184	0,006	0,005
<input checked="" type="checkbox"/> Power Factor:	0,99	0,06	0,02
<input type="checkbox"/> Peak Curr (A): <input type="button" value="clr"/>	0.0	0.0	0.0
<input type="checkbox"/> Crest Factor:	0.00	0.00	0.00
<input type="checkbox"/> DC Offset:	0.00	0.00	0.00

Şekil 5.18 Güç kaynağı ölçüm sonuçları

Aynı yük için gerilim dalga formu değiştirilmeden, geliştirilen analizör ile yapılan tek faz ölçümleri Şekil 5.19'da verilmiştir. Farklı amaçlar için tasarlanan tek faz güç ifadelerinin bu doğrultuda farklı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Fryze	Sharon	Czarnecki	Kusters & Moore	Shepherd & Zakikhani
P 1167,78	P 1167,78	P 1167,78	P 1167,78	Sr 1166,96
QF 98,9036	Sx 92,5478	Sx 92,5478	QKus -88,4629	Sx 92,5478
	Sc 34,8829	Ds 35,505	QKusr 44,2293	

Şekil 5.19 Tek faz güç ölçümleri

5.4.2 Sonuçlar

Günümüzde sinüzoidal olmayan gerilim ve akım şartlarına sahip tek ve üç fazlı sistemler için oluşturulan tanım ve ifadelerin biri üzerinde fikir birliğine varılamamıştır. Bu sebeple güç tanımlarının ve fiziksel anlamlarının, ölçüm temelli analizlerle incelenmesi önemlidir. Ticari amaçla üretilen klasik ölçü aletleri ile bu ölçümler yapılamamaktadır. Bundan dolayı literatürde belirtilen güç tanımlarının fiziksel anlamlarının ve geçerliliklerinin gerçek ölçüm sonuçlarıyla incelenmesi için bir araç teşkil etmesi amacıyla gelişmiş bir güç analizörü yapılmıştır. Geliştirilen analizör ile üç ve tek fazlı sistemler için farklı güç tanımları gerçek zamanlı ölçülerek elde edilen veriler gerekli analizlerde kullanılabilir. Bununla birlikte güç kalitesi eğitimlerinde bir araştırma aracı teşkil ederek güç ifadelerinin karşılaştırmalı olarak gösterilmesini sağlamaktadır.

6 SONUÇLAR VE İLERİYE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada LabVIEW yazılımı kullanılarak gelişmiş bir güç analizörü uygulaması yapılmıştır. Yapılan analizörün ölçüm sonuçları gerçek uygulamalarla test edilmiş ve doğruluğu onaylanmıştır.

Geliştirilen analizör ile sinüzoidal olmayan şartlarda tanımı sıkıntı yaratan görünür güç ifadelerini ölçülmesi amaçlanmıştır. Mevcut ölçü aletleri bu tanımları ölçmemekte ve reaktif güç ile ilgili olarak karşılaştırmalı bir sonuç vermemektedir. Yapılan analizör ile daha kapsamlı bir güç ölçümü yapılarak şebeke gücü hakkında detaylı bilgi verilmektedir.

Geliştirilen yazılım ile AKSA Akrilik Kimya Sanayi A.Ş. Yalova fabrikasına ait TR10-3 no'lu transformatörün güç kalitesi ölçümleri yapılmış ve istenilen parametreler kayıt altına alınarak raporlanmıştır.

Mevcut geleneksel analizörlerde bulunan etkin değere bağlı olay algılama yöntemi, dalga formu değişimine ve harmoniklere çok bağımlı değildir. Adaline algoritması ile dalga formu izleyerek geliştirilen algılama yöntemi bu konuda daha başarılı sonuçlar vermiştir. Ayrıca FFT ve dalgacık dönüşümüne kıyasla basit hesaplamalar gerektirmesi açısından daha verimli bir olay yakalama yöntemi olarak kullanılabilir. İleride adaline algoritmasının, FFT ye alternatif olarak harmonik analizinde ve şebeke frekansı ölçümlerinde kullanılmasına yönelik çalışmalar geliştirilebilir. Algılanan olayların bu yöntem ile sınıflandırılması ise ayrı bir çalışma konusu olabilir.

Geleneksel analizörler transformatör ve motor enerjilendirilmesi gibi olaylar sırasında gerilim ve akım darbelerini kullanıcının istediği aralıkta sunmada yetersiz olmaktadır. Bu sebeple darbe ölçüm uygulaması geliştirilmiş, daha kararlı ve kullanıcının istediği zaman aralığında sonuçlar veren bir yazılım hazırlanmıştır. Geliştirilen uygulama ile Konya TM2 380kV/154kV 250MVA transformatörünün boşa devreye alma testi yapılmıştır. Transformatörün enerjilendirilmesi sırasında oluşan darbeler başarılı bir şekilde yakalanmış ve istenilen aralıkta raporlanmıştır.

Gelecek çalışmalarda, kullanılan veri örnekleme kartı maliyeti dūřürmek amacıyla daha basit yapıda seçilebilir. Ayrıca geliştirilen yazılım bilgisayardan bağımsız olarak çalışabilecek hale getirilebilir. Hazırlanan arayüz geliştirilerek daha kullanıcı dostu bir görünüm elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., Arıkan, O.; “Elektrik Tesislerinde Harmonikler”, Birsen Yayınevi, Kasım 2003.
- [2] IEEE Std. 1459-2000, IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities under Sinusoidal, Non-sinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions. IEEE Standard. September 2002
- [3] AC Quantities, DIN 40110, Part 1: Single-Phase Circuits March 1994, Part 2: Polyphase Circuits, November 2002. (in German).
- [4] IEEE Std 1459; “Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers,2000.
- [5] IEEE Std. 519-1992; “Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1993.
- [6] IEC 61000 3-2; “Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 3 : Limits. Section 2 : Limits for Harmonic Current Emissions”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2000.
- [7] IEC 61000 3-4; “Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 3 : Limits. Section 4 : Limitation of Emission of Harmonic Currents in Low-Voltage Power Supply Systems for Equipment with Rated Current Greater Than 16A”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1998.
- [8] IEC 61000 4-30: Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods
- [9] IEC 61000 3-6; “Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 3 : Limits. Section 6: Assessment of Emission Limits for Distorting Loads in MV and HV Power Systems”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1996.

- [10] IEC 61000-2-5:1995: '*Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 2: Environment, section 5*': Classifications of Electromagnetic Environments Descriptions of the Environments.
- [11] IEEE 1159:2009: '*IEEE recommended Practice on monitoring Electric Power Quality*', ISBN 978-0-7381-5940-9
- [12] BS EN 50160:2000: '*Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems*', BRITISH STANDART INSTITUTION, 2000
- [13] J. Batista, J. S. Martins, J. L. Afonso, "Low-Cost Power Quality Monitor Based on a PC", ISIE'2003 - IEEE Int. Symp. Ind. Electronics, R.J., Brasil, 9-11 Jun 2003, ISBN: 0-7803-7912-8.
- [14] Kadir, M. Z. A Ab, Othman S. S. Tuan, Lombigit, L., "On-Line Power Quality Monitoring System Using CompactRIO Device", European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.21 No.2, 288-295 (2008).
- [15] Khan, S.; Arshad, A.M.; Islam "PC-Based Measurement of Signal Distorting Disturbances On Low Voltage Power Line", M.Emerging Technologies, 2006. ICET apos;06. International Conference on Volume , Issue , 13-14 Nov. 2006 Page(s):291 – 297
- [16] McEachern, A., "A New Ultra-low-cost Power Quality Measurement Technology", 9th EPQU - International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, Barcelona, Spain, 2007
- [17] A. Broshi, "Monitoring Power Quality Beyond EN 50160 and IEC 61000-4-30", in Power Engineering Society Conference and Exposition in Africa, IEEE, PowerAfrica 2007, pp. 1-7.
- [18] A.Nikolic, D.Naumovic-Vukovic, S.Skundric, D.Kovacevic, V.Milenkovic, "Methods for power quality analysis according to EN 50160", 9th International Conference Electrical Power Quality and Utilization EPQU 2007, Barcelona, Spain, October 2007.

- [19] Q. Ai, Y. Zhou, and W. Xu, "Adaline and its application in power quality disturbances detection and frequency tracking," J. Electr. Power Sys. Res., in press.
- [20] T.K. Abdel-Galil, E.F. El-Saadany, and M.M.A. Salama, "Power quality event detection using Adaline," J. Electr. Power Syst. Res., vol. 64, pp. 137_144, 2003
- [21] P.K. Dash, D. P. Swain, A. C. Liew, and S. Rahman, "An adaptive LinearCombiner For On-line Tracking of Power System Harmonics," IEEE Trans. on Power Systems, vol. 11, no. 4, pp. 1730–1736, 1996.
- [22] P.K.Dash, D.P.Swain, A.Routray, A.C.Liew, "Harmonic estimation in a power system using adaptive perceptrons", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, No. 6, November 1996
- [23] BOLLEN, M.H.J., ZHANG, L.: 'A Method for Characterization of Three-Phase Unbalanced Dips (Sags) from recorded voltage waveshapes', Telecommunication Energy Conference, 1999, Page(s): 9 pp
- [24] BOLLEN Math H. J.: '*Understanding power quality problems: voltage sags and interruptions*', IEEE Publication, Newyork, 2000, ISBN 0-7803-4713-7
- [25] Budeanu, C. I.; "Puissances Reactives et Fictives", Instytut Romain de L'Energie, 1927, Bucharest.
- [26] Arrilaga, J., Watson, N. R., Chen, S.; "Power System Quality Assessment", John Wiley & Sons, 2000.
- [27] Fryze, S.; "Active-, Reactive-, and Apparent Powers in Networks with Nonsinusoidal Waveforms of Voltage and Current", ETZ, Bd.53, 1932 (in German).
- [28] Shepherd, W. and Zand, P.; "Energy Flow and Power Factor in Nonsinusoidal Circuits", Cambridge University Press, 1979.

- [29] Sharon, D.; “Reactive Power Definition and Power Factor Improvement in Nonlinear Systems”, Proc. IEE, 120, pp. 704-706, 1973.
- [30] Kimbark, E. W., “Direct Current Transmission”, Wiley&Interscience, 1971.
- [31] Czarnecki, L.S.;“Comparison of Power Definitions for Circuits with Nonsinusoidal Waveforms”, IEEE Tutorial Course 90EH0327-7-PWR, p.43-50.
- [32] N.L. Kusters and W.J.M. Moore, On the Definition of Reactive Power under Nonsinusoidal Conditions, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 99 (5) (1980) 1845-1854.
- [33] IEEE Working Group on Nonsinusoidal Situations: Effect of Meter Performance and Definitions of Power; “Practical Definitions for Powers in Systems with Nonsinusoidal Waveforms and Unbalanced Loads: A Discussion”, IEEE Trans. Power Delivery, Vol.11, pp.79-101, No.1., January, 1996.
- [34] Czarnecki, L.S., Swiatlicki; T.; “Discussion to Powers in Nonsinusoidal Situations - A Review of Definitions and Physical Meaning”, IEEE Trans. Power Delivery., Vol.5, No.3, pp.1377-1378, July 1990.
- [35] Filipski, P. S., Baghzouz, Y., Cox,M. D.; “Discussion of Power Definitions Contained in the IEEE Dictionary”,. IEEE Trans. on Power. Delivery., Vol.9, No.1, pp.1237-1244, 1994.
- [36] Dugan, R. C., McGranagan, M. F. and Beaty, H. W.; “Electrical Power Systems Quality”, Mc Graw-Hill, 1996.
- [37] Pankaj K. S., Hector, A. L.; “Derating of Induction Motors Due to Waveform Distortion”, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 26, No : 6, November/December 1990.
- [38] Emanuel, A. E.; “Powers in Nonsinusoidal Situations A Review of Definitions and Physical Meaning”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.5, No: 3, July 1990.

- [39] Slonim, M.A., Van Wyk, J.D.; “Power Components in A System with Sinusoidal and Nonsinusoidal Voltages and/or Currents”, IEE Proceedings, Vol.135, Pt.B, No: 2, March 1988.
- [40] Slonim, M. A.; “Distortion Power in Linear and Non-Linear Systems”, Int. J. Electronics, 1990, Vol. 68, No: 5, 769-778.
- [41] Czarnecki, L.S.; “Budeanu and Fryze : Two Frameworks for Interpreting Power Properties of Circuits with Nonsinusoidal Voltages and Currents”, Archiv fur Elektrotechnik, (81), No : 2, pp. 5-15, 1997.
- [42] P.Ch. Steinmetz, Is a phase-shift in the current of an electric arc? (in German), Elektrotechnische Zeitschrift, Heft vol.42, pp.567-568, 1892.
- [43] F. Buchholz, Das Begriffsystem Rechteistung, Wirkleistung, totale Blindleistung. Selbstverlan Miincheq, 1950.
- [44] J.L.Willems, J.A. Ghijsselen, A.E. Emanuel, Addendum to the Apparent Power Concept and the IEEE Standard 1459-2000, IEEE Transactions on Power Delivery. 20 (2) (2005) 885 - 886
- [45] C. Gherasim, J. Van den Keybus, J. Driesen, and R. Belmans, DSP Implementation of Power Measurements According to the IEEE Trial-Use Standard 1459, IEEE Trans. Instrum. Meas. 53 (4) (2004) 1086– 1092.
- [46] A.C. Moreira, S.M. Deckmann, F.P. Marafao, E.G. De Lima, M.A. Bini, Virtual Instrumentation Applied to the Implementation of IEEE-STD 1459-2000 Power Definitions, IEEE PESC 2005. (2005) 1712-1718.
- [47] C. N. Orfanos and F.V. Topalis, Single-phase Virtual Power and Energy Analyzer in Compliance with IEEE Std 1459–2000 for Harmonic Measurements on Discharge lamps, IEEE Powertech 2005. (2005) 1-6.
- [48] A. Cataliotti, V. Cosentino and S. Nuccio, A Virtual Instrument for the Measurement of IEEE Std. 1459-2000 Power Quantities, IEEE Trans. Instrum. Meas. 57 (1) (2008) 85–94.

- [49] G. Chang, C. et all. Modeling devices with nonlinear voltage-current characteristics for harmonic studies, *IEEE Trans. on Power Delivery*. 19 (4) (2004) 1802–1811.
- [50] L. Sainz, J. J. Mesas, A. Ferrer, Characterization of Non-linear Load Behavior, *Electric Power Systems Research*. 78 (10) (2008) 1773-1783.
- [51] Moulin, E., 2002. Measuring Reactive Power in Energy Meters, *MeteringInternational*, ISSUE 1, 52-54
- [52] P.K. Dash, D.P. Swain, “A. Routray, A.C. Liew, An adaptive neural network approach for the estimation of power system frequency”, *J. Electr. Power Sys. Res.* 41 (3) (1997) 203/210.
- [53] Preliminary Report of Special Joint Committee: Power Factor in Polyphase Circuits. *J. Of AIEE* (1920) 1449-1450
- [54] N. Kagan and E.L. Ferrari, “Influence of RMS Variation Measurement Protocols on Electrical System Performance Indices for Voltage Sags and Swells,” 9th IEEE Int. Conf. on Harmonics and Quality of Power 2000, Orlando, Florida, USA, Oct. 1-4, 2000, Vol. 3, pp. 790 – 795.
- [55] M. Albu and G.T. Heydt, “On the Use of RMS Values in Power Quality Assessment,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 18, No. 4, October 2003, pp. 1586-1587.
- [56] S. Santoso, E.J. Powers and W.M. Grady, “Electric Power Quality Disturbance Detection using Wavelet Transform Analysis,” *IEEE – SP Int. Symposium on Time-Frequency and Time Scale Analysis*, PA, October 1994, pp. 166-169.
- [57] National Instruments “LabVIEW User Manual” April 2003 Edition Part Number 320999E-01
- [58] Güç kalitesi milli projesi

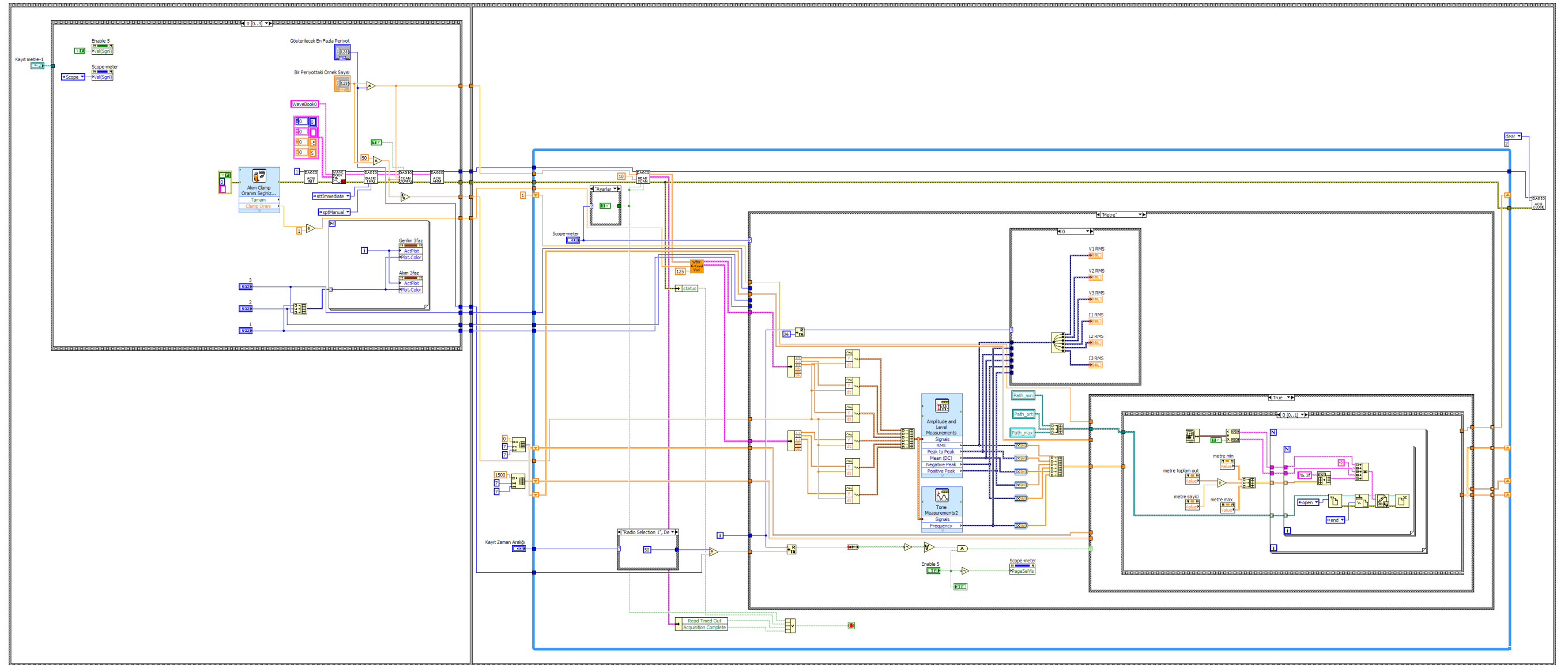
<http://www.guckalitesi.gen.tr> (Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2010)

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında İstanbul-Kadıköy'de doğdu. Lise öğrenimini Tuzla Lisesi'nde tamamladı. 2001 yılında girmeye hak kazandığı Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden Eylül 2006'da mezun oldu. Şubat 2007'de Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı.

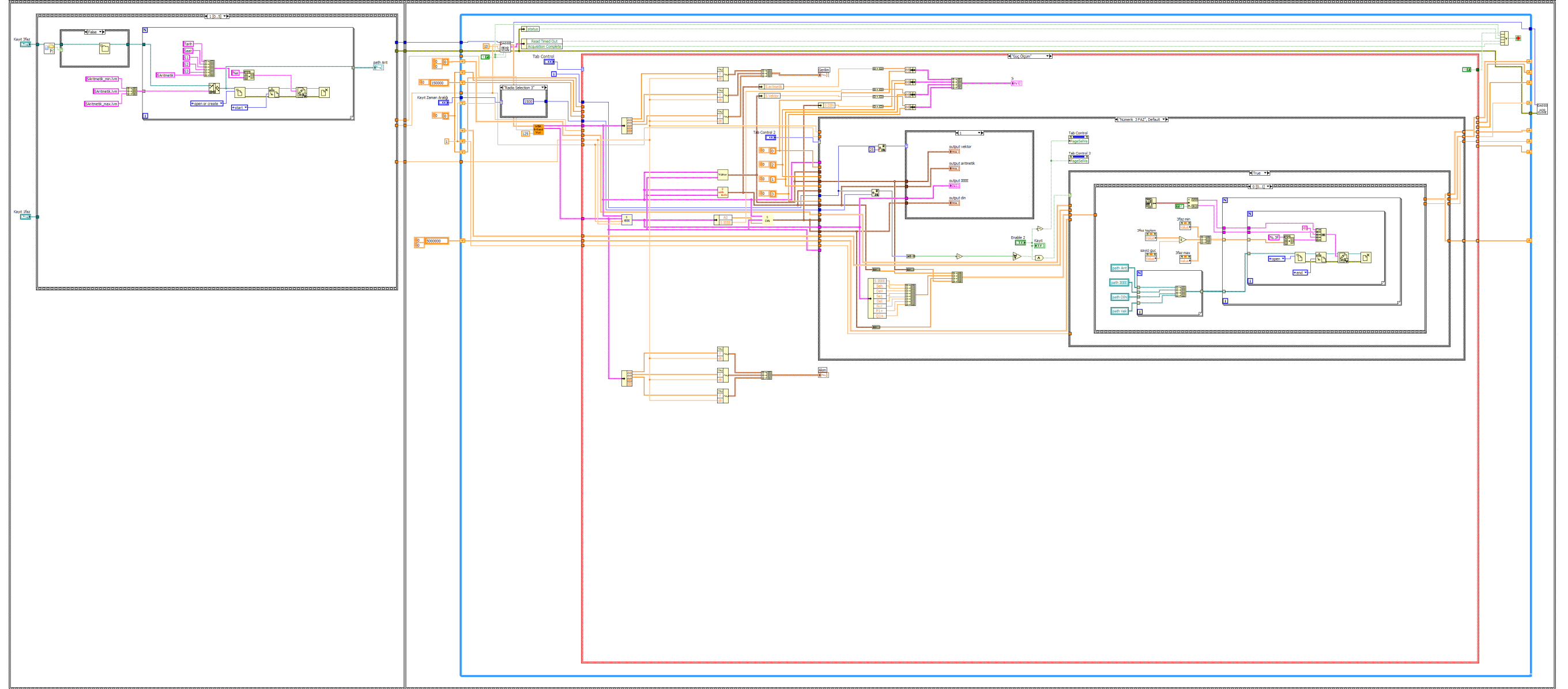
Ek-1

Tez kapsamında geliştirilen “Scope-Metre” uygulamasının blok diyagramı :



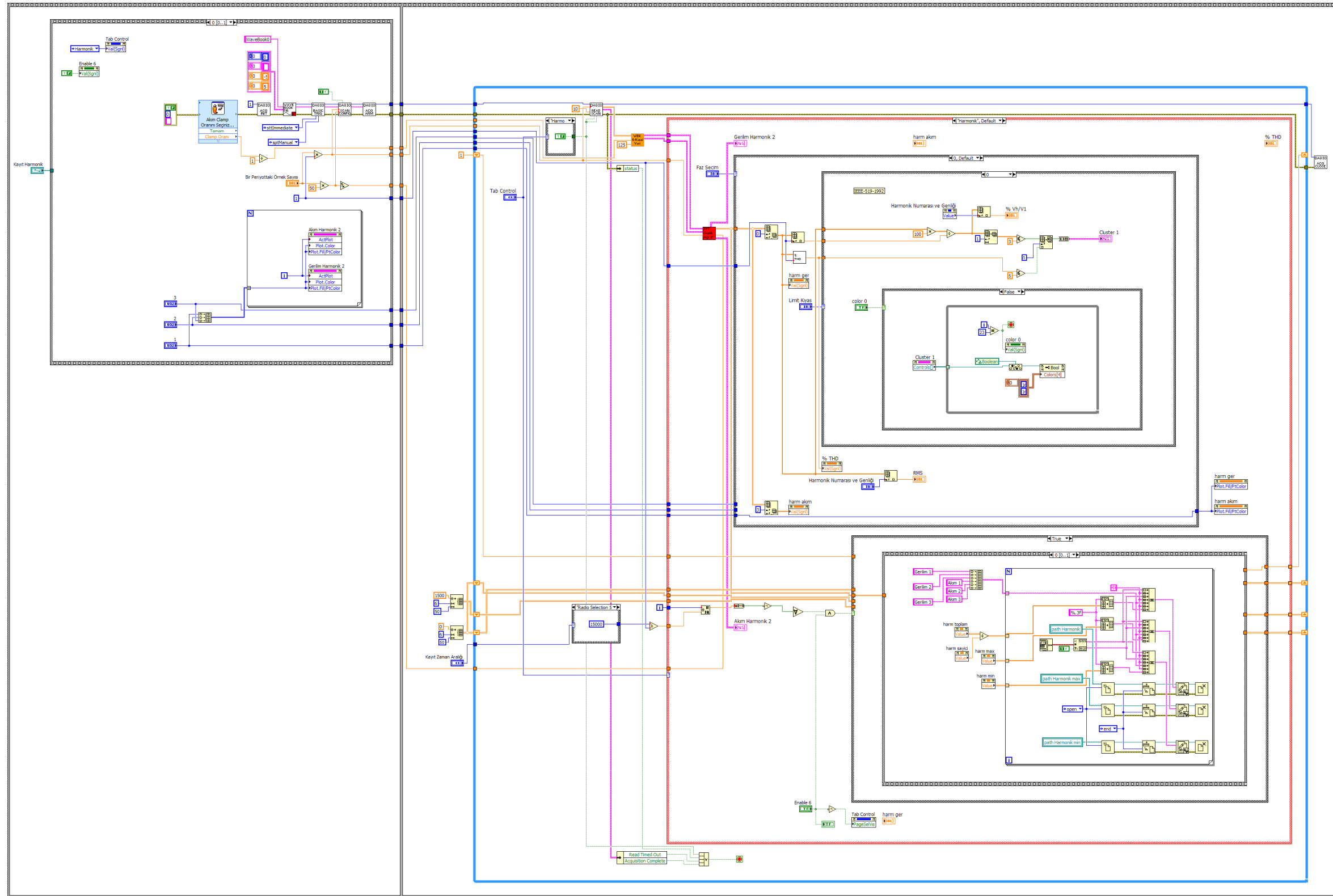
Ek-2

Tez kapsamında geliştirilen ‘‘Güç Ölçüm’’ uygulamasının blok diyagramı :



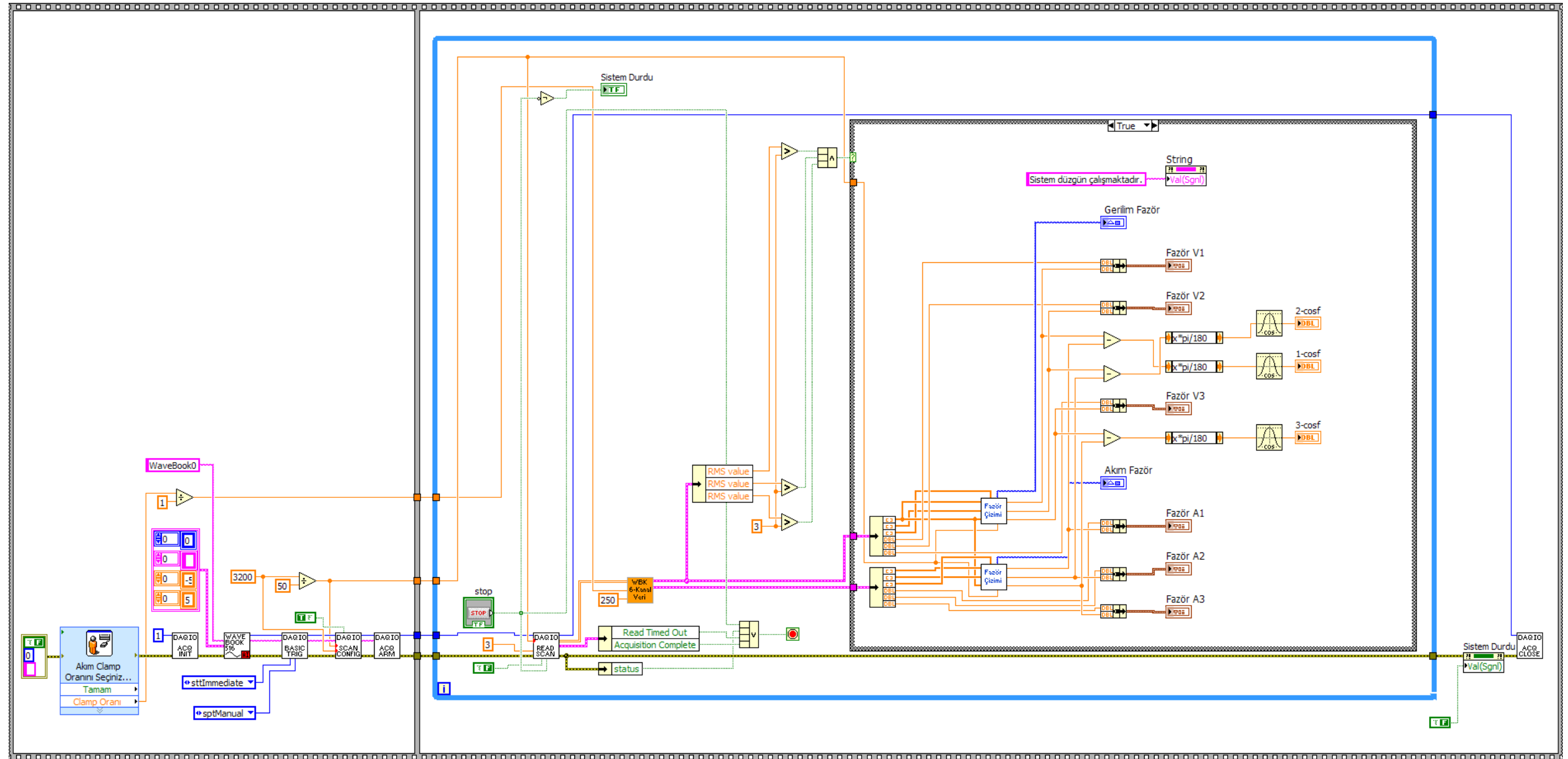
Ek-3

Tez kapsamında geliştirilen “Harmonik” uygulamasının blok diyagramı :



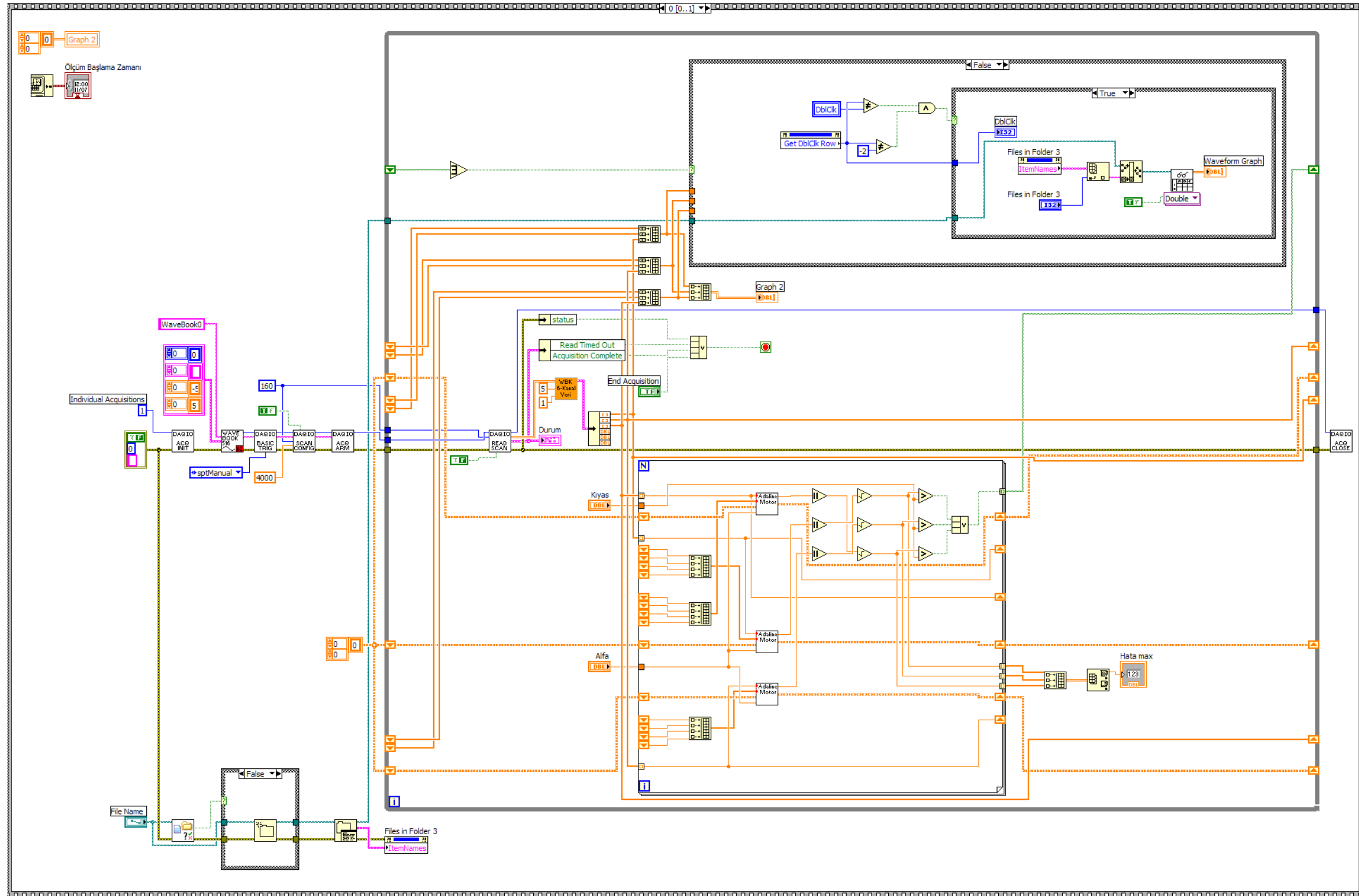
Ek-4

Tez kapsamında geliştirilen "Fazör Diyagramı" uygulamasının blok diyagramı :



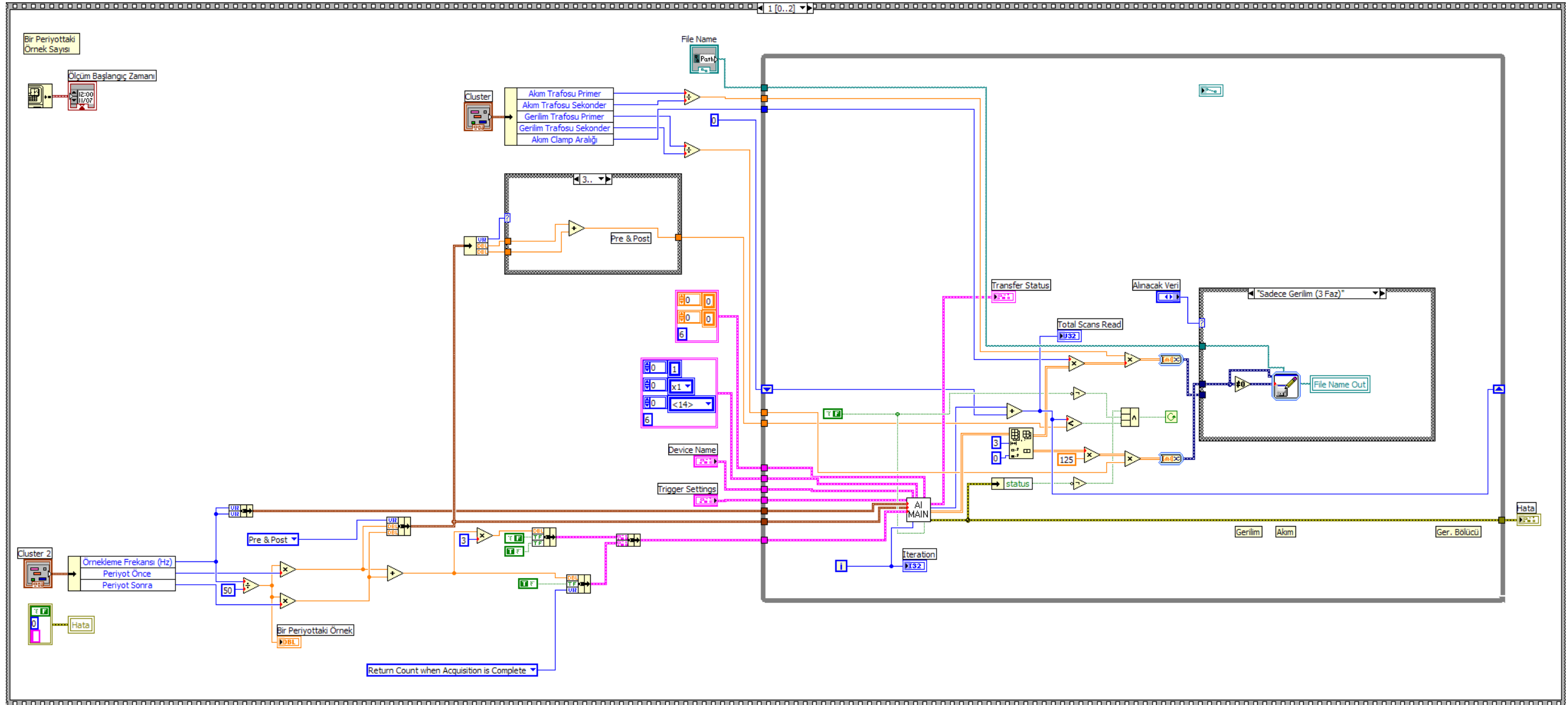
Ek-5

Tez kapsamında geliştirilen ‘‘Olay Yakalama’’ uygulamasının blok diyagramı :



Ek-6

Tez kapsamında geliştirilen “Darbe Ölçüm” uygulamasının blok diyagramı :



Ek-7

Tez kapsamında geliştirilen "Veri Okuma" uygulamasının blok diyagramı :

