

131247

**ALÇAK GERİLİM GÜÇ SİSTEMLERİNDE
ENERJİ KALİTESİNİN BELİRLENMESİ**

Şener AĞALAR
Yüksek Lisans Tezi

131247

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı
Eylül – 2003**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

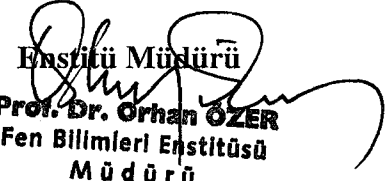
"Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca kabul edilen 000212 nolu proje kapsamında desteklenmiştir."

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Şener AĞALAR'ın **Alçak Gerilim Güç Sistemlerinde Enerji Kalitesinin Belirlenmesi** başlıklı **Elektrik-Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi **03.09.2003** tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Yard.Doç.Dr. Doğan Gökhan ECE	
Üye	: Yard.Doç.Dr. Serdar TUNABOYLU	
Üye	: Yard.Doç.Dr. Mehmet KURBAN	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **03.09.2003**... tarih ve **28/20**.. sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Orhan ÖZER
Fen Bilimleri Enstitüsü
M ü d ü r ü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALÇAK GERİLİM GÜÇ SİSTEMLERİNDE ENERJİ KALİTESİNİN BELİRLENMESİ

ŞENER AĞALAR

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Doğan Gökhan ECE
2003, 83 sayfa

Bu çalışmada, teknolojinin gelişmesine paralel olarak önem kazanan enerji kalitesinin tanımı yapılmış; enerji kalitesini etkileyen faktörler ve bunların sonucunda meydana gelen bozukluklar incelenmiştir. Enerji kalitesi analizi için gerekli olan veriler, laboratuvar ortamında kurulmuş olan deneysel enerji dağıtım setinden derlenerek bilgisayarda LabVIEW yazılımı yardımıyla analiz edilmiştir. Enerji kalitesi bozukluklarını tespit edip incelemek için iki farklı yöntem önerilmiştir. Enerji kalitesi analizinde ilk olarak Dalgacık (Wavelet) Dönüşümü kullanılarak Çoklu-Çözünürlü Ayrıştırma, daha sonra ise Simetrik Bileşenler (Symmetrical Components) yöntemi kullanılmıştır. Deney setinden alınan verilerin, Dalgacık dönüşümü ve Simetrik bileşenler yöntemleriyle incelenmesi için sanal enstrümanlar oluşturulmuştur. Deney setinde yapılan deneyler sonucunda önerilen iki yöntem arasında kıyaslama yapılmıştır. Her iki yöntem sonuçları karşılaştırılıp yorumlanmış enerji kalitesi analizi için öneriler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Kalitesi, Dalgacık Dönüşümü, Simetrik Bileşenler, Sanal Enstrüman, LabVIEW

ABSTRACT**Master of Science Thesis****POWER QUALITY DETECTION
IN LOW VOLTAGE POWER SYSTEMS****ŞENER AĞALAR****Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Program****Supervisor: Assist.Prof. Doğan Gökhan ECE
2003, 83 pages**

In this study, power quality which has been getting importance by the development of technology is described; also the factors that affect power quality are considered and the disturbances caused by these factors are analyzed. The data needed for power quality analysis have been acquired from the experimental power distribution network and analyzed by the help of LabVIEW software. Two different methods are proposed to detect and analyze power quality disturbances. First, Multi-Resolution Analysis is used with Wavelet Transform and then the Symmetrical Components are used. Virtual instruments are formed for analyzing the acquired data with both Wavelet Transform and Symmetrical Components techniques. With the results of the experiments performed in the experimental set, two methods are compared. The results of the two different methods are interpreted and then suggestions about power quality analysis are made.

**Keywords: Power Quality, Wavelet Transform, Symmetrical Components,
Virtual Instrument, LabVIEW**

TEŞEKKÜR

Asistanı olarak kendisiyle çalışmaktan büyük onur duyduğum saygı değer hocam Yard. Doç. Dr. Doğan Gökhan ECE'ye, beni bu alanda çalışmaya sevkettiği ve çalışmalarım esnasında beni yönlendirip kendi bilgi ve birikimlerini benimle paylaştığı için teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, değerli hocalarım Yard. Doç. Dr. Serdar TUNABOYLU'ya ve Yard. Doç. Dr. Mehmet KURBAN'a tez sunuşuma katılarak bana destek olduklarından dolayı teşekkür ederim.

Desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kardeşim Zeynep AĞALAR'a ve aileme, laboratuarda yaptığım deneylerde beni yalnız bırakmayıp yardımcı olan sevgili dostlarım Ahmet NASUHBEOĞLU'na, Barış CAMBAZ'a, Birkan AKBIYIK'a, Mert TUĞCU'ya ve değerli meslektaşlarım Hakkı Ulaş ÜNAL ile Murat ARTUN'a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Geçmişte Yapılmış Çalışmalar.....	3
1.2. Bu Tezde Yapılan Çalışmalar.....	5
2. ENERJİ KALİTESİ	7
2.1. Enerji Kalitesini Etkileyen Faktörler ve Meydana Gelen Bozukluklar.....	7
2.2. Enerji Kalitesi Ölçümlerinin Amacı.....	14
3. BOZUKLUKLARIN TESPİTİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER....	15
3.1. Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transform).....	15
3.1.1. Sürekli Dalgacık dönüşümü.....	18
3.1.2. Sinyallere Dalgacık fonksiyonun uygulanması.....	19
3.1.3. Çoklu-çözünürlü ayrıştırma (Multi-Resolution Analysis (MRA))..	20
3.2. Simetrik Bileşenler.....	22
3.2.1. Şebekede fazlar arasında ve fazlarla toprak arasında oluşan hatalar..	25
4. LABORATUAR ORTAMI DENEYSEL ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİ..	32
4.1. Güç sistemi donanımı.....	32
4.2. Ölçüm sistemi donanımı.....	33
5. DENEY SİSTEMİ İÇİN HAZIRLANAN PROGRAMLAR.....	35
5.1. Sanal Enstruman (Virtual Instrument (VI)) Kavramı.....	35

5.2. LabVIEW Yazılımında Hazırlanan Deney Seti Programları.....	38
6. DENEY SİSTEMİNDE OLUŞTURULAN GEÇİCİ VE ANLIK OLAYLAR....	46
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	72
EKLER.....	75



ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Gerilim düşmesi.....	7
2.2. Gerilim yükselmesi.....	8
2.3. Gerilimde oluşan kesinti.....	8
2.4. Gerilimde oluşan anlık geçici olay.....	9
2.5. Çentikler.....	10
2.6. Gerilimde oluşan dengesizlik.....	10
2.7. Yarı periyotta oluşan harmonik bileşenler.....	12
3.1. Fourier dönüşümü.....	16
3.2. Kısa-zamanlı fourier dönüşümü.....	16
3.3. Sinyalin zaman, frekans tabanlı ve çeşitli şekillerde alınan dönüşümlerinin gösterilmesi; (a)Shannon, (b)Fourier, (c)KZFD, (d)Dalgacık dönüşümleri.....	17
3.4. İdeal sinüs dalgası ve bir ana Dalgacık çeşidi (db10).....	17
3.5. Ana dalgacığın ölçülendirilmesi.....	19
3.6. (a) Ana Dalgacık $\Psi(t)$ ve (b) ana dalgacığın kaydırılmış şekli $\Psi(t-k)$	19
3.7. Sinyalin filtreler yardımıyla düşük ve yüksek frekanslarının ayrıştırılması.....	21
3.8. Dalgacık ayrıştırma düzeni.....	21
3.9. Bir sinyalin yaklaşık ve detay katsayılarına ayrıştırılması.....	21
3.10. Pozitif, negatif ve sıfır ardışık bileşenleri.....	23
3.11. Dengesiz dağılmış fazörler.....	23
3.12. A fazı ile toprak arasındaki hata anında faz-nötr gerilimleri.....	25
3.13. Hata anında a fazı ile toprak arasındaki faz-faz gerilimleri.....	26
3.14. Tek faz açık devre hatasında sıfır, pozitif ve negatif ardışık devreleri.....	27
3.15. Tek faz açık devre için ardışık devrelerin birleştirilmesi	28
3.16. Δ bağlı yük için (a) faz-nötr ve (b) faz-faz gerilimleri	28
3.17. (a) A tipi, (b) B tipi, (c) C tipi, (d) D tipi, (e) E tipi, (f) F tipi ve (g) G tipi çökmeler.....	31
4.1. Laboratuvar güç sistemi donanımı.....	32
4.2. Laboratuvar ölçüm sistemi donanımı.....	34
5.1. LabVIEW yazılımı (a) ön paneli ve (b) kontrol paleti	37
5.2. LabVIEW yazılımı (a) arka paneli ve (b) fonksiyon paleti	37

5.3. Analog veriyi 3 ayrı kanaldan toplayıp 3 farklı dosyaya kaydeden program..	38
5.4. Gerçek zamanda Dalgacık dönüşümü yapan Dalgacık.vi programı.....	40
5.5. Dosyadan okuduğu verilerin detay ve yaklaşık katsayılarını gösteren program..	42
5.6. Gerçek zamanda Simetrik bileşenleri gösteren sanal enstrüman.....	43
5.7. 3 farklı dosyadan okuduğu veriyi Simetrik bileşenlere çeviren program.....	44
6.1. Olay 1'in faz akımları grafiği.....	48
6.2. Olay 1'in faz-nötr gerilimleri grafiği.....	49
6.3. Olay 1'in faz-faz gerilimleri grafiği.....	49
6.4. Olay 1'deki a faz akımının ayrıntı ve detay katsayı grafiği.....	50
6.5. Olay 1'deki faz akımlarının Simetrik bileşenler grafiği.....	50
6.6. Olay 1'deki faz-nötr gerilimlerinin Simetrik bileşenler grafiği.....	51
6.7. Olay 1'deki faz-faz gerilimlerinin Simetrik bileşenler grafiği.....	52
6.8. Olay 2'nin faz akımları grafiği.....	53
6.9. Olay 2'deki a faz akımının ayrıntı ve detay katsayı grafiği.....	54
6.10. Olay 2'deki faz akımlarının Simetrik bileşenler grafiği.....	54
6.11. Olay 3'ün faz akımları grafiği.....	56
6.12. Olay 3'ün faz-nötr gerilimleri grafiği.....	56
6.13. Olay 3'ün faz-faz gerilimleri grafiği.....	57
6.14. Olay 3'teki b faz akımının ayrıntı ve detay katsayı grafiği.....	57
6.15. Olay 3'teki faz akımlarının Simetrik bileşenler grafiği.....	58
6.16. Olay 3'teki faz-nötr gerilimlerinin Simetrik bileşenler grafiği.....	59
6.17. Olay 3'teki faz-faz gerilimlerinin Simetrik bileşenler grafiği.....	60
6.18. Olay 4'ün faz akımları grafiği.....	62
6.19. Olay 4'ün faz-nötr gerilimleri grafiği.....	62
6.20. Olay 4'ün faz-faz gerilimleri grafiği.....	63
6.21. Olay 4'teki a faz akımının ayrıntı ve detay katsayı grafiği.....	63
6.22. Olay 4'teki b faz akımının ayrıntı ve detay katsayı grafiği.....	64
6.23. Olay 4'teki a-n faz-nötr geriliminin ayrıntı ve detay katsayı grafiği.....	64
6.24. Olay 4'teki b-n faz-nötr geriliminin ayrıntı ve detay katsayı grafiği.....	65
6.25. Olay 4'teki a-b faz-faz geriliminin ayrıntı ve detay katsayı grafiği.....	65
6.26. Olay 4'teki faz akımlarının Simetrik bileşenler grafiği.....	66
6.27. Olay 4'teki faz-nötr gerilimlerinin Simetrik bileşenler grafiği.....	67

6.28. Olay 4'teki faz-faz gerilimlerinin Simetrik bileşenler grafiği.....	68
---	----



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

a	: Ölçülendirme Parametresi
A_n	: Sinyalin n 'inci mertebedeki yaklaşık kısmı
b	: Öteleme Parametresi
D_n	: Sinyalin n 'inci mertebedeki detay kısmı
I	: Akım
I_{eff0}	: Akımın Doğru Bileşeni
N	: Harmonik Mertebe
R	: Gerçek Sayılar
V	: Gerilim
V_{eff0}	: Gerilimin Doğru Bileşeni
Z	: Tam Sayılar
Ψ	: Ana Dalgacık
γ_n	: N 'inci Harmonik Akımın Faz Açısı
δ_n	: N 'inci Harmonik Gerilimin Faz Açısı
AC	: Alternatif Akım
ADD	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
DC	: Doğru Akım
EMTP	: ElectroMagnetic Transient Program
IGBT	: Isolated Gate Bipolar Transistor
KGK	: Kesintisiz Güç Kaynağı
KZFD	: Kısa-Zamanlı Fourier Dönüşümü
LabVIEW	: Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
MATLAB	: Matrix Laboratory
MRA	: Çoklu-Çözünürlü Ayırıştırma
MOSFET	: Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor
PC	: Kişisel Bilgisayar
PCI	: Peripheral Component Interconnect

RL	: Resiztif-Endüktif
SDD	: Sürekli Dalgacık Dönüşümü
VI	: Sanal Enstrüman (Virtual Instrument)
THD	: Toplam Harmonik Bozulma
TV	: Televizyon



1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte teknolojiyi besleyecek enerjiye olan talep de hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu süreçte elektrik enerjisi, kullanım açısından diğer enerji kaynaklarına göre önemli bir yer tutmaktadır. Elektrik enerjisinin tüketicilere ulaşmasını sağlayan elektrik şebekesini basit olarak açıklamak gerekirse; generatör, iletim hatları, dağıtım hatları, yükler ve bunlar arasındaki trafolardan oluşur. Üretilen ve daha sonra hatlar vasıtasıyla dağıtılan enerjinin elektriksel bakımdan kirletilmeden, temiz bir şekilde tüketicilere ulaştırılması değişen ve gelişen dünyada gün geçtikçe büyük önem kazanmaktadır. Elektriksel bakımdan temiz, hiçbir dış etkene maruz kalmamış enerji, kaliteli enerji olarak tanımlanabilir.

Elektrik güç sistemlerinde “enerji kalitesi”; şebekenin tanımlanan herhangi bir noktasındaki gerilimin genlik ve frekans olarak anma değerlerini koruması olarak tanımlanabilir. Enerji kalitesini daha basitçe açıklamak gerekirse; şebekedeki akımın veya gerilimin normal çalışma koşullarındaki karakteristiğinin, ideal bir sinüs dalgasından sapmasının ölçütüne “enerji kalitesi” adı verilir [1].

Dünyada yaşanan gelişmelere bakılacak olursa enerji kalitesi, temel olarak başlıca üç ana sebepten dolayı elektrik şirketleri, hizmet sektörü ve endüstriyel alanlarda çalışan işletme, bakım ve yönetim personeli ile cihaz üreticileri için stratejik bir konu haline gelmiştir. Bu nedenler sıralanacak olursa:

1-İlgili işletmelerin rekabet ortamındaki güçlerini arttırmalarında ekonomik bir gereklilik olması: Güç kaynağının sürekliliğinin kaybolması ve tedarik edilen enerjideki kalitesizlik problemlerine bağlı olarak maliyetlerin artması, elektrik enerjisi kullanan işletmeleri zor durumda bırakmaktadır. Kesinti maliyetleri içinde; üretim kayıpları, büyük üretim tesislerinin kesinti sonunda yeniden üretime başlatılması, üretilen ürünlerdeki kalitesizlik ve dağıtımdaki gecikmeler hesaba katıldığında maliyet, üreticiler açısından ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Ayrıca; bilgisayar, aydınlatma ve güvenlik sistemleri gibi hayati önem taşıyan ve bir o kadar da değerli cihazlarda yaşanan arızalar, bunların ani kapanmaları yada düzensiz çalışmaları insan hayatını da riske etmektedir [2]. Hastaneler, havaalanı aydınlatma sistemleri ve yüksek binalar; hayati risklere örnek olarak verilebilir. Ayrıca olası sorunların tahmin edilmesi için hedeflenen yüksek kalitede koruyucu bakım önlemleri de maliyetlere dahildir. Yerinde bakım sağlanabilmesi için

sorumluluk giderek kullanıcıdan cihaz üreticisine geçmektedir. Sonuç olarak cihaz üreticisiyle elektrik dağıtıcısı, sağlanan enerjide meydana gelen herhangi bir bozukluk yüzünden karşı karşıya gelebilmektedir.

2-Gerilim kesintilerine yol açan cihazlarla birlikte gerilim kesintisine karşı hassas cihazların yaygın kullanımı: Sağladıkları sayısız avantaj (kullanım esnekliği, mükemmel verim, yüksek performans seviyeleri, vb.) nedeniyle endüstriyel alanda otomasyon sistemleri ile hız kontrol cihazları kullanılmaktadır. Ayrıca hizmet sektörü ile yerel sektörlerde de bilişim sistemleri ve kompakt floresan aydınlatma sistemleri geliştirilip yaygın biçimde kullanılmaktadırlar. Bu tip cihazlar, hem gerilim bozulmalarına karşı hassastırlar, hem de bu bozulmaların birçoğunu kendileri tetiklemektedirler [3]. Bir sonraki bölümde bu konuya daha detaylı biçimde değinilecektir. Farklı proseslerde, bu tip cihazların birkaçının beraber kullanılması sonucunda, süreklilik ve kalite anlamında yüksek performanslı enerji kaynaklarına ve dağıtım hatlarına gereksinim duyulmaktadır. Zincirin sadece tek bir halkasının bile geçici bir süreyle devre dışı kalması, tüm üretim tesislerinin veya hizmetlerin durmasına sebep olabilir.

3-Elektrik piyasasının giderek serbestleşmesi: Türkiye için şimdilik geçerli olmasa da Avrupa ülkeleri ve Amerika'da elektrik üretimi ve dağıtımı rekabete açılmış, tekelcilik ortadan kalkmaya başlamış ve bunun sonucunda; elektrik kullanıcısına kendi tedarikçisini seçebilme imkanı sağlanmıştır. Bu uygulamalar sonucunda kullanılan enerjideki kalite, ayrıcalık faktörü olarak ortaya konmuş ve kullanıcıların enerji tedarikçisi ararken başvurduğu potansiyel bir seçim kriteri haline gelmeye başlamıştır [4, 5].

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak enerji kalitesi kavramı da son yıllarda önemini daha çok artırmıştır. Teknolojik bakımdan yeni icat edilen aletler ve geliştirilen eski cihazlar tüketiciye kolaylık ve verim açısından büyük kazançlar sağlasalar da bunların çoğu beslendikleri elektrik şebekelerini elektriksel bakımdan farklı oranlarda ciddi biçimde kirletmektedirler. Bunun sonucunda tüketicilere sağlanan elektrik enerjisinde kalitesizlikler oluşmaktadır. Sağlanan enerjinin kalitesinin artırılması ve bunu sağlayacak çözüm önerileri için, öncelikle meydana gelen kalitesizliklerin sebepleri bulunmalı, bunların oluştukları zamanlar tespit edilmeli ve elde edilen veriler ışığında çeşitli sınıflandırmalar yapılmalıdır [4].

1.1 Geçmişte Yapılan Çalışmalar

Teknolojideki ve elektronik cihazlardaki baş döndürücü gelişmelere paralel olarak özellikle son yıllarda enerji kalitesi üzerine hem teorik hem de uygulamaya yönelik ciddi çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan en önemlilerine göz atılacak olursa; ilk olarak enerji kalitesi ölçümleri ve oluşan bozuklukların sınıflandırılmalarının yapılabilmesi için önerilen çeşitli indisler dikkat çekmektedir. Önceleri Jaramillo ve ark. [6] tarafından yapılan çalışmada tepe değeri, rms, bant genişliği ve güç faktörü gibi indislerin enerji kalitesi analizi ve sınıflandırmasındaki özelliklerine değinilmiştir. Melhorn ve McGranaghan [7] ise bunlara ek olarak ortalama değer, gerçek rms, harmonik spektrum ve frekans değişim indislerini önermişlerdir. Santoso ve ark. [8], Chaari ve ark. [9], Liu ve ark. [10], Cheok ve ark. [11], Oliver ve ark. [2], ve Bollen [1] tarafından yayınlanan makale ve kitaplarda çeşitli olaylar sonucu dalga karakteristiğinde meydana gelen bozukluk tiplerine yer verilmiştir. Oluşan bozuklukların tespitindeki esas amaç; bunların oluştukları zamanların belli bir matematiksel yöntem ile saptanması ve ne tip bir bozucu olduğunun sınıflandırılma yoluyla belirlenmesidir. Bu tip analizler için çok çeşitli matematiksel yöntemler, çeşitli bilimadamları tarafından önerilmiştir. Bu yöntemler içinde üzerinde en çok durulanlar frekans tabanlı yöntemlerdir. Önceleri Fourier, sonra kısa zamanlı Fourier ve en sonunda ise Dalgacık dönüşümü yöntemleri bozucuların oluştukları zamanların saptanması ve bunların sınıflandırılması için tavsiye edilmiştir. Santoso ve ark. [8], Lee ve ark. [12], Robertson ve ark. [13] ve Heydt ve ark. [5] tarafından yayınlanan makalelerde Fourier'den Dalgacığa doğru gelişen frekans dönüşüm yöntemlerinin enerji kalitesi analizindeki avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuş ve güç sistemlerinde oluşan bozuklukların tespitinde bu yöntemlerin uygulanabilirlikleri araştırılmıştır. Ayrıca Arrilaga ve ark. [14]'nın bu yöntemler üzerine olan çalışmaları kitap halinde yayınlanmış; Lee ve ark. [12] tarafından da frekans yöntemlerinin güç sistemlerinde hata tespitinde kullanılmaları üzerine ciddi ve detaylı bir literatür taraması yapılmıştır.

Frekans yöntemleri içinde, son zamanlarda Dalgacık dönüşümü (Wavelet Transform) araştırmacılar tarafından kullanılmakta ve konu üzerine ciddi araştırmalar yapılmaktadır. Yayınlanan makalelerde ve yaptıkları çalışmalarda Chaari ve ark. [9], Cheok ve ark. [11] ve Gaouda ve ark. [15] tarafından

Dalgacıklar incelenmiş, Dalgacıkların kullanım yerleri ve özellikleri belirtilmiştir. Dalgacıkların Haar, Morlet, Daubechie, vs. gibi çok çeşitli tipleri vardır ve hepsinin de kendine has özelliği, başlangıcı ve sonu sıfır olan salınımsal birer fonksiyon olmalarıdır. Enerji kalitesi bozukluklarının tespitinde, araştırmacılar tarafından Daubechie-4 Dalgacık tipi temel Dalgacık olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun sebebi, Daubechie-4 Dalgacığının oluşan bozuklukların karakteristiğine yakın bir karakteristik sergilemesidir. Bu konu üzerine yapılan çalışmalara örnek verilecek olursa; Meliopoulos ve Lee [16], Lee ve ark. [12], Liu ve ark. [10], Driesen ve Belmans [17] ve Williams ve Amaratunga [18] tarafından enerji kalitesi üzerine yapılan çalışmalarda Daubechie-4 temel Dalgacığının kullanımı sayılabilir. Dalgacık dönüşümü, aynı Fourier dönüşümünde olduğu gibi hem sürekli hem de kesikli olarak yapılabilmektedir. Kesikli zaman Dalgacık dönüşümünün özelleştirilmiş haline Çoklu Çözünürlü Ayrıştırma (Multi Resolution Analysis (MRA)) adı verilir. Çoklu çözünürlü ayrıştırmada esas amaç, incelenen sinyali seviye seviye alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirerek sinyali ayrı ayrı sabit alt frekans bantlarına bölmektir. Cheok ve ark. [11], Gaouda ve ark. [15], Pandey ve Satish [19], Santoso ve Hofmann [20], Williams ve Amaratunga [18] ve Youssef [21] tarafından yapılan enerji kalitesi ve Dalgacık dönüşümü çalışmalarında Çoklu Çözünürlü Ayrıştırma üzerinde durulmuştur. Ayrıca Çoklu Çözünürlü Ayrıştırma, Zhang ve Yan [22] tarafından dijital sensörlerle ilgili çalışmalarda, Chaari ve ark. [9] tarafından ise dijital rölelerle ilgili çalışmalarda kullanılmıştır. Enerji kalitesi analizinde Santoso ve ark. [23, 24] tarafından Dalgacık dönüşümüyle beraber yapay sinir ağlarından da yararlanılarak oluşan bozuklukların sınıflandırılması için değişik bir yöntem önerilmiştir.

Enerji kalitesi analizi için kullanılan yöntemlerden diğeri ise Simetrik bileşenler metodudur. Simetrik bileşenler yöntemi üç ve çok fazlı sistemler için kullanılan bir tekniktir. Sistemde bulunan üç fazı, pozitif, negatif ve sıfır bileşenleri olmak üzere üç farklı bileşene ayırır. Grainger ve Stevenson [25] tarafından hazırlanan kitapta, Simetrik bileşenler yöntemi detaylı olarak anlatılmıştır. Bollen [1] ise, çeşitli dergilerde yayınlanan makalelerinden ve diğer çalışmalarından yararlanarak derlediği kitabında; Simetrik bileşenlerin enerji kalitesi analizindeki kullanım alanlarını, oluşan üç faz hataların Simetrik bileşenler ile tespitini ve bu hataların sınıflandırılmalarını detaylı bir şekilde

açıklamıştır. Gerardus [26] ve Bollen [27] tarafından yayınlanan makaleler bu alandaki çalışmalara örnek olarak verilebilir.

Buraya kadar anlatılan çalışmaların hepsinin ortak özelliği, analiz edilecek olan sinyallerin, yapay olarak bilgisayar ortamındaki çeşitli programlar kullanılarak oluşturulmalarıdır. Örnek olarak; Zhang ve Yan [22], Chaari ve ark. [9], Gaouda ve ark. [15] ve Youssef [21] tarafından yapılan çalışmalarda, EMTP ve MATLAB gibi matematiksel programlar kullanılarak enerji kalitesi olayları simüle edilmiştir.

1.2 Bu Tezde Yapılan Çalışmalar

Anadolu üniversitesi bilimsel araştırma projeleri komisyonu desteğiyle yürütülen bu çalışmada, verilerin gerçek bir sistemden toplanarak bu verilerin incelenmesi için laboratuvar ortamında küçük bir deneysel alçak gerilim dağıtım sistemi oluşturulmuştur. Bu deney sistemi, araştırmacılar tarafından çeşitli enerji kalitesi olaylarının deneysel olarak oluşturulduğu güç donanım sistemi ve bu verilerin güç donanım sisteminden toplanarak analiz edildiği ölçüm sistemlerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada, enerji kalitesi analizi ve meydana gelen bozuklukların sınıflandırılmasında kullanılmak amacıyla toplam 5 adet sanal enstrüman (virtual instrument) hazırlanmıştır. Bu sanal enstrümanlar, LabVIEW endüstriyel veri alma ve işleme yazılımı vasıtasıyla analog giriş sinyallerini toplayıp kullanıcının istekleri doğrultusunda bunları işlemektedirler. Hazırlanan beş programdan üç tanesi gerçek zamanda deneysel enerji dağıtım sisteminden tek veya üç faz olmak üzere analog verileri, veri toplama kartı vasıtasıyla toplayarak analiz etmektedir. Diğer iki program ise önceden kaydedilmiş olan sistem verilerini dosyadan okuyarak kullanıcıya istekleri doğrultusunda analiz imkanı sağlamaktadır. Daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak, sistem verileri gerçek bir sistemden toplanmıştır, önceki çalışmalarda yapıldığı gibi herhangi bir programla simüle edilmemiştir. Toplanan gerçek sistem verileri gerçek zamanda işlenmiştir. Ayrıca, kullanıcıya belli şartlara bağlı kalarak bozukluğun olduğu anda alarmlar vasıtasıyla sisteme müdahale edilmesi hususunda yardım imkanı verilmiştir. Sonuç olarak, toplanan veriler Dalgacık dönüşümü ve Simetrik bileşenler yöntemleriyle analiz edildikten sonra çeşitli enerji kalitesi olaylarının sınıflandırılıp karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere bilgisayara kaydedilerek saklanmışlardır. Bu

işlemler sırasında LabVIEW’de oluşturulan beş adet sanal enstrüman kullanılmıştır. Ayrıca bu tezde yapılan deneyler ve yürütülen çalışmalar sonucunda; [28], [29] ve [30]’da belirtilen bildiriler hazırlanmış ve çeşitli ulusal kongrelerde başarıyla sunulmuşlardır.



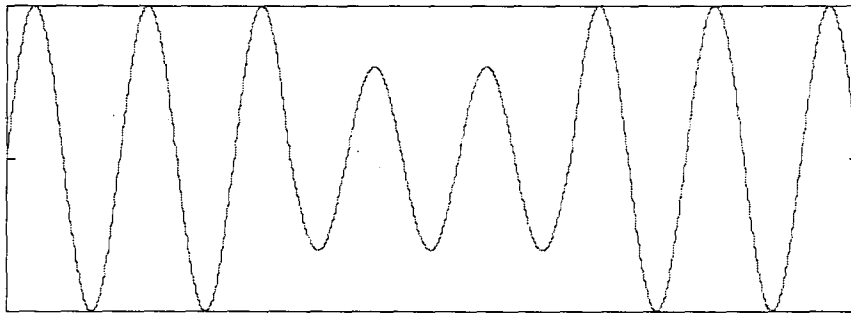
2. ENERJİ KALİTESİ

2.1 Enerji Kalitesini Etkileyen Faktörler ve Meydana Gelen Bozukluklar

Enerji kalitesi çoğunlukla yük tarafında bozulur. Gerilim-akım karakteristiği doğrusal olmayan yükler şebekeden ideal sinüs olmayan akım çekerler. Sonuç olarak bu akımlar, sistemde sinüs olmayan gerilim düşümleri oluşturarak besleme noktasındaki gerilimin dalga şeklini bozarlar. Dalga şeklindeki bozulmalar gruplandırılacak olursa;

Gerilim Düşmesi (Voltage Sag):

Gerilimin tepe değerinin, dolayısıyla efektif değerinin, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi süre olarak yarım dalga boyundan daha uzun bir süre boyunca nominal değerinin %10’u ile %90’ı arasındaki değerlere düşmesi olarak tanımlanabilir. Gerilim düşmelerine çok çeşitli olaylar sebep olabilir. Şebeke yetersizliği, aşırı yüklenme, büyük motorlara yol verme sırasında şebekeden anlık olarak 5 ile 10 kat daha fazla akım çekilmesi, sistemde oluşan kısa devreler sonucunda hata akımlarının şebekede dolaşması gibi sebepler gerilim düşmelerine yol açarlar. Bunun sonucunda şebekede zararlı etkiler oluşabilir. Deşarj lambalarının boşalması, çeşitli kontrol cihazlarının hatalı çalışması, motorlarda hız değişikliklerinin oluşması ve ani durmalar, kontaktörlerin hatalı anahtarlama yapması, bilgisayar sistemlerinin çökmesi, hat komütasyonlu eviricilerde komütasyon arızaları oluşan hatalardan bazılarıdır. Oluşabilecek zararlı etkileri azaltmak için kesintisiz güç kaynakları (KGK) ve güç iyileştiricileri (power conditioners) kullanılabilir.

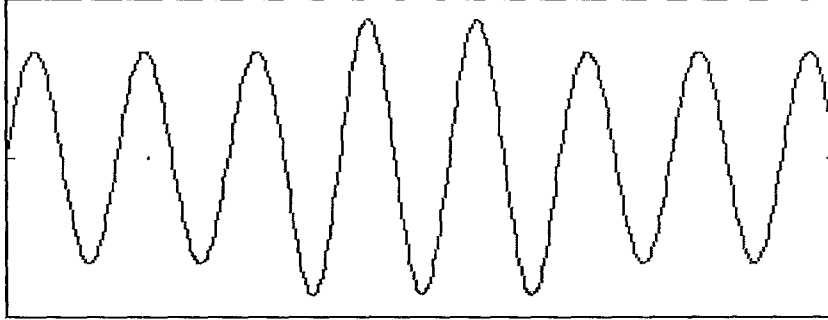


Şekil 2.1 Gerilim Düşmesi

Gerilim Yükselmesi (Voltage Swell):

Gerilim yükselmesi, gerilimin tepe değerinin yarım dalga boyundan daha uzun bir süre boyunca nominal değerinin üstüne çıkmasıdır. Şekil 2.2, gerilim

yükselmesine örnek olarak verilebilir. Bu düzensizliğin sebepleri şebekede bulunan büyük güçte ve yüksek akım çeken yüklerin aniden devreden çıkması, şebekedeki düzensiz planlamadan ötürü oluşan regülasyon zayıflıkları, üç ve daha çok fazlı devrelerde oluşan hatlar arası oluşan kısa devrelerdir [6].

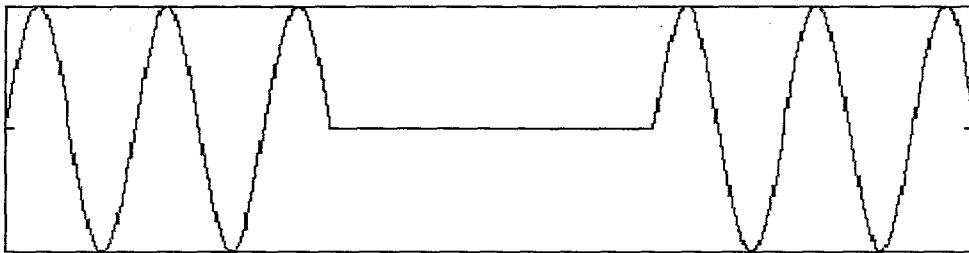


Şekil 2.2 Gerilim yükselmesi

Gerilim düşmesinde olduğu gibi gerilim yükselmesinin de çeşitli zararlı etkileri vardır. Bunlar arasında; elektrik kontrol ünitelerinin bozulması, motor sürücülerinin düzensiz çalışması, hassas elektronik parçaların etkilenip ömürlerinin kısılması sayılabilir. Yine bu tip arızaların etkilerini azaltmak için KGK ve güç iyileştiricileri kullanılabilir.

Kesinti (Outage):

Kesinti, gerilimin tepe değerinin yarım dalga boyundan daha uzun süreler boyunca sıfır değerini almasıdır. Örneğin, Şekil 2.3'te gerilimde oluşan kesintiye yol açan etkenler arasında; sisteme enerji sağlayan kaynaklardaki kesintiler, şebekede bulunan koruyucu sigortaların yanması, aşırı yüklenmeler sonucunda kesicilerin devreye girmesi gibi olaylar sayılabilir. Sistemde oluşan kesintiler işletmelerde üretim kayıplarına neden olmakta ve bilgisayar sistemleri devre dışı kalmaktadır. KGK kullanımı bu zararı azaltıcı yönde etki yapar.

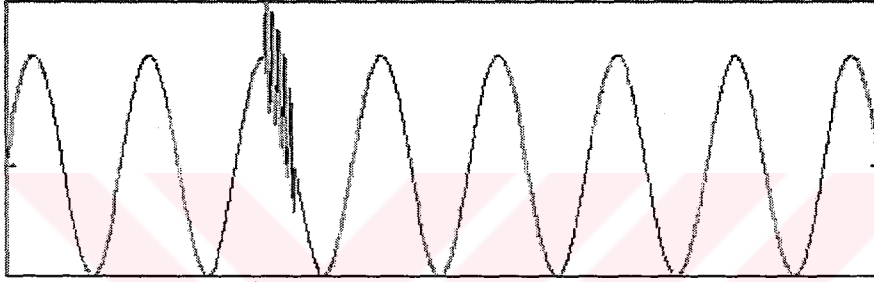


Şekil 2.3 Gerilimde oluşan kesinti

Geçici olaylar (Transients):

Daha önce bahsedilen gerilim düşmesi ve gerilim yükselmesinden farklı olarak, Şekil 2.4'teki gibi süre bakımından anlık, yarım dalga boyundan daha kısa

sürede meydana gelen bozukluklara geçici olay adı verilir. Bu süreç içinde gerilimin genliği 5-10 kat artabilir. Geçici olayları meydana getiren etkenler; şebekede yapılan anahtarlamalar, sistemdeki ani yük değişimleri, yük ve şebeke arası açmalar, yıldırımlar, kontaklar arası arklar ve yalıtımda oluşan bozulmalar olarak gruplandırılabilir. Geçici olaylar sonucunda oluşan olumsuzluklar, gerilim düşmesi ve yükselmesi sırasında oluşan zararlarla hemen hemen aynıdır, ayrıca çok hassas cihazlar, etkisi anlık olan geçici olaylar sonucunda arızalanabilmektedirler. Bu tür arızaları önlemek için yüksek gerilimlerde, aşırı gerilim yönlendiricileri (high voltage diverters) ve ark hücreleri, alçak gerilimlerde ise çığ diyotları (avalanche diodes) kullanılır [1].



Şekil 2.4 Gerilimde oluşan anlık geçici olay

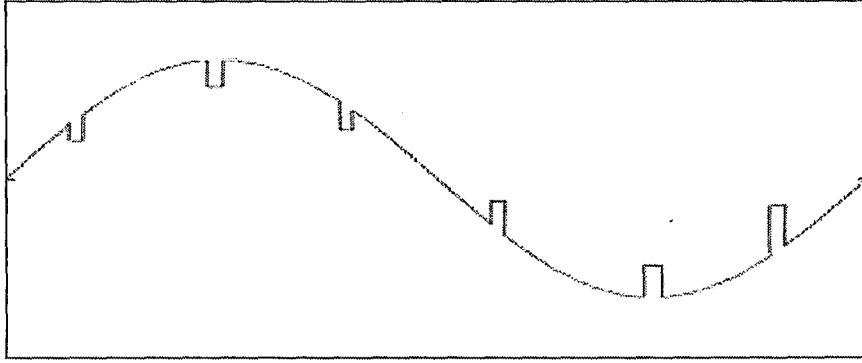
Gerilim Çentikleri (Voltage Notches):

Genellikle ac/dc çeviricilerin gerilim eğrilerinde ortaya çıkan çentikler, her bir periyotta çeviricide oluşan darbe sayısı kadar tekrarlanan, gerilimde oluşan anlık çökmelerdir. Bunların sebebi, komütasyon işlemi sırasında meydana gelen çok kısa süreli faz-faz arası kısa devrelerdir. Bu kısa devreler anlık olduğu için bu esnada çok yüksek frekanslı salınımlar ortaya çıkar. Bu salınımlar anahtarlama yapan cihazlara bağlanan bastırıcı devreler (snubbers) ile giderilip, düzleştirilmiş çentikler oluşturulabilir. Çentiklerin oluşmasının bir diğer nedeni de doğrultucuları besleyen trafo ve hat endüktansının anahtarlama akımının akışını geciktirmesidir. Doğrultucunun gerilim karakteristiğine bakılarak darbe sayısı hakkında bilgi edinilebilir. Altı darbeli doğrultucularda bir periyotta altı tane çentik bulunurken, on iki darbeli doğrultucularda on iki tane çentik gözlenmektedir. Şekil 2.5 altı darbeli doğrultucunun çıkış grafiğidir. Gerilimde oluşan çentikler, çok hassas elektronik elemanlara zarar vermektedirler. Bu zararlar genellikle alçak gerilimde ortaya çıkmaktadır. Çünkü orta ve yüksek

gerilim değerlerine çıkarken kullanılan güç trafoları (power transformers) sayesinde yüksek frekanslı bileşenlerin üst seviyelere çıkışı engellenir.

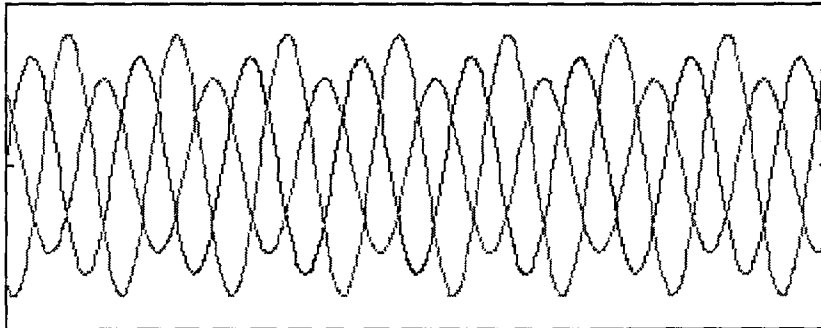
Gerilim Dengesizliği (Voltage Unbalance):

Üç fazlı sistemlerde, herbir fazın aynı genlikte olması ve birbirlerini faz açısı olarak 120 dereceyle takip etmesi dengeli bir sistemin en önemli özelliğidir. Şebekede meydana gelen herhangi bir bozukluk sonucunda fazlardan birinde veya



Şekil 2.5 Çentikler

birkaçında genlik yada faz açısı bakımından bir sapma olursa sistem dengesiz duruma düşer. Şekil 2.6'da bu durum gözlenebilir. Dengesizliği tespit edebilmek için Simetrik bileşenler yöntemi kullanılır. Bu yöntem bölüm 3.2'de detaylı olarak ele alınacaktır. Gerilimde oluşan dengesizliklerin sebepleri çok çeşitlidir. Bunların en başında elektrik trenleri gibi büyük ve tek fazlı yüklerin sadece tek faza yüklenmesi veya çaprazlanmamış (anti transposed) iletim hatları sayılabilir. Bu dengesizlik sonucunda dengesiz gerilim altında çalışan makineler, dengesiz akımlar çekerler ve bunun devamında ise makinede aşırı ısınma oluşarak sargılar yanabilir. Ayrıca çok fazlı ac/dc dönüştürücülerde dengesizlik sonucu dc tarafta istenmeyen tepecikler (ripples) ve ac tarafta da karakteristik olmayan harmonikler oluşur [4].



Şekil 2.6 Gerilimde oluşan dengesizlik

Elektromanyetik Girişim (Electromagnetic Interference-EMI):

Genel olarak; genliği 100 μ V ile 100 V, frekansı ise 10 KHz ile 1 GHz aralığında olan küçük enerjili ve bozucu etki yapan dalgalardır. Elektromagnetik girişimin nedenleri arasında; anahtarlama güç kaynakları, motor kontrol devreleri, telsiz yayınları ve güç hatları üzerinden yapılan haberleşme olarak sayılabilir.

Doğru Akım Bileşeni (Dc Component):

Alternatif gerilimin pozitif ve negatif yarım dalga alanlarının birbirine eşit olmamasıdır [2].

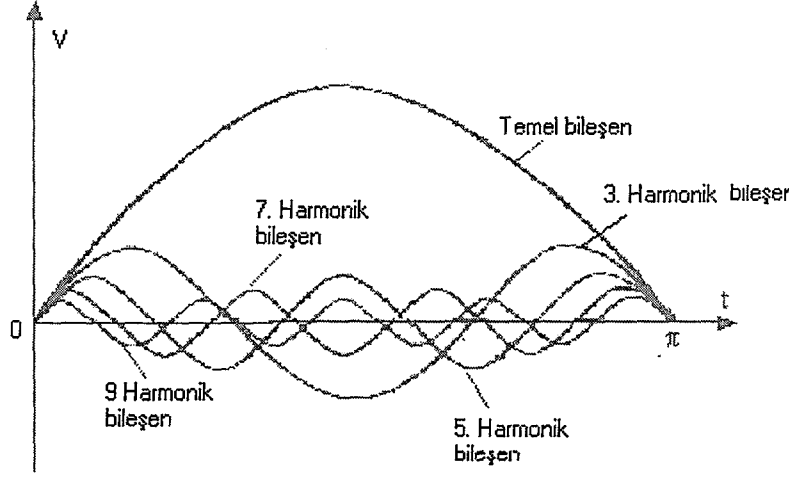
Gerilim bozulması - Harmonikler (Voltage Distortion-Harmonics):

Elektriksel olarak yükler, doğrusal ve doğrusal olmayan yükler olarak ikiye ayrılırlar. Doğrusal olan yükler, şebekeden ideal sinüs biçiminde akım çekerler. Gerilimle akım arasında faz kaymasının olması doğrusallığı etkilemez. Kondansatörler, üç faz motorlar, akkor lambalar ve dirençli ısıtıcılar doğrusal tip yüklere örnek verilebilir.

Günümüzde endüstriyel yöntemlerin modernizasyonu, elektriksel cihaz ve makineler hakkında çok fazla bilgi sahibi olunması, güç elektroniğinin de oldukça hızlı bir biçimde gelişmesine imkan tanımıştır. Bu gelişimin sonucu Tristör, IGBT, MOSFET gibi yüksek frekanslarda anahtarlama yapabilen sistemler endüstride sıkça kullanılmaya başlanmıştır.

Bu sistemler, elektriksel karakteristiklerinden dolayı doğrusal olmayan yük olarak tanımlanmaktadır. Doğrusal olmayan yükler şebekeden ideal sinüs eğrisinden farklı şekillerde akım çekerler. Tristör ayarlı cihazlar, KGK, TV, ark fırınları, kaynak makinaları, frekans değiştiriciler, doğrultucular, bilgisayarlar, floresan lambalar, statik ac/dc dönüştürücüler, eviriciler, dc motorlar, elektroliz üniteleri, endüksiyon ısıtması, doğru akımla enerji iletimi ve elektrikli ulaşım sistemleri bu tip yüklere örnek verilebilir. Görüldüğü gibi doğrusal olmayan yüklerin çeşitliliği oldukça fazladır. Doğrusal olmayan yükler sebebiyle oluşan sinüs olmayan dalga şekilleri periyodik olmakla birlikte ideal sinüs dalgası ile frekans ve genliği farklı diğer sinüsoidal dalgaların toplamından oluşmaktadır. Temel dalga dışındaki sinüsoidal dalgalara “harmonik bileşen” adı verilir. Güç sistemindeki sinüsoidal dalganın simetrisinden dolayı 3’üncü, 5’inci, 7’inci, 11’inci,.... gibi tek harmonikli bileşenleri bulunur. Çift harmonikli bileşenler

bulunmaz. Harmoniklerin analizinde periyodik dalganın, temel frekanslı saf sinüs dalgası ve frekansları farklı saf sinüs dalgalarının toplamından oluştuğu gösterilir. Böylece nonsinüsoidal dalgaların harmonik spektrumu elde edilmeye çalışılır. Şekil 2.7’de yarı periyotta harmoniklerin durumu gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Yarı periyotta oluşan harmonik bileşenler

Harmonik bileşenleri içeren akım ve gerilimin ani değerleri,

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t + \gamma_n) \quad (2.1)$$

$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_{mn} \sin(n\omega t + \delta_n) \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir. Akım ve gerilimin n’inci harmonik için etkin değerleri sırasıyla;

$$I_{effn} = \frac{I_{mn}}{\sqrt{2}} \quad V_{effn} = \frac{V_{mn}}{\sqrt{2}} \quad (2.3)$$

ile belirlenir. Akım ve gerilimin etkin değerleri ,

$$I_{eff} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} I_{effn}^2} = \sqrt{I_{eff0}^2 + I_{eff1}^2 + I_{eff2}^2 + \dots + I_{effn}^2} \quad (2.4)$$

$$V_{eff} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} V_{effn}^2} = \sqrt{V_{eff0}^2 + V_{eff1}^2 + V_{eff2}^2 + \dots + V_{effn}^2} \quad (2.5)$$

ifadelerinden tespit edilir. Bu eşitliklerde I_{eff0} ve V_{eff0} , akım ve gerilimin doğru bileşenini, n değeri harmonik mertebeyi, I_{mn} ve V_{mn} ise n’inci harmonik akımın ve gerilimin tepe değerlerini göstermektedirler. γ_n n’inci harmonik akımının faz açısını, δ_n ise n’inci harmonik gerilimin faz açısını ifade etmektedir.

Elektrik enerji sistemlerinde manyetik ve elektrik devre lineersizlikleri, harmoniklerin ortaya çıkmasında en önemli etkenlerdir. Harmoniklerin meydana gelmesi ile ideal sinüs dalgası, esas şeklinden uzaklaşarak sinüs dalga şeklinde bir bozulmaya (distortion) uğrayacaktır. Akım ve gerilimde oluşan bu bozulma elektrik tesisleri ve bu tesislere bağlı güç sistemlerine zarar vermekte ve hatta bazı durumlarda sistemleri çalışamaz hale getirmektedir.

Manyetik devre lineersizliği, demir çekirdekli bobin, transformatör ve generatör gibi elemanların doyuma girerek manyetik bakımdan lineer olmayan bir olayın meydana gelmesidir. Elektrik devre lineersizliği ise, akımı ile gerilimi arasında ilişkisi doğrusal olmayan bir elemanda, arkla çalışan işletme araçlarında yarı iletken elemanlar kullanılarak sinüsoidal dalganın bazı kısımlarının kırılması sonucunda meydana gelir. Bu lineersizlikler, şebekenin akım ve gerilim dalga şeklinin ideal sinüsten uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Dc çevirici, dc evirici, motor kontrol devreleri, statik var generetörleri, anahtarlamalı güç kaynakları gibi güç elektroniği elemanlı devreler, floresan, cıva arkı, cıva buharı, neon, ksenon ve yüksek basınçlı sodyum lambalar gibi gaz deşarjlı aydınlatma elemanları, akü ve fotovoltaiik sistemleri ve elektrikli ulaşım sistemleri gibi sistemler bu tür elemanlara örnek olarak verilebilir.

Harmonik ölçümlerinde çeşitli standartlar oluşturmak için kullanılan ölçüm şekilleri vardır. Bunların içinde en çok kullanılanı Toplam Harmonik Distorsiyon'dur (THD). THD, harmonik bileşenlerin temel bileşene göre seviyesini belirlemede dikkate alınan en önemli ölçüttür. İdeal sinüsten uzaklaşmayı, distorsiyonu, diğer bir deyişle bozulmanın derecesini belirtir. Hem gerilim, hem de akım için verilebilir. Gerilimin toplam harmonik distorsiyonu

$$THD_V = \frac{1}{V_{eff1}} \left(\sum_{n=2}^{\infty} V_{effn}^2 \right)^{1/2} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir. Akım toplam harmonik distorsiyonu ise (akım bozulma faktörü) THD_I ,

$$THD_I = \frac{1}{I_{eff1}} \left(\sum_{n=2}^{\infty} I_{effn}^2 \right)^{1/2} \quad (2.7)$$

şeklinde dir. THD, enerji kalitesi çok yakından ilişkilidir. Değeri ne kadar küçük olursa, enerji tesislerindeki akım ve gerilimin değeri sinüs eğrisine o kadar yakın

olur. Saf sinüs eğrisi durumunda harmonik bulunamayacağından ve harmoniklerin değeri de matematiksel olarak sıfır olacağından THD'nin değeri de sıfır olur.

Şebekede oluşan harmoniklerin zararları, akım ve gerilim harmoniklerinin yarattığı zararlar olarak iki gruba ayrılabilir. Akım harmonikleri güç faktöründe bozulmalara, seri ve paralel rezonansa yol açarlar. 4 hatlı 3 faz sistemlerdeki harmonik akımlar ise nötr hattında aşırı akımlar yaratarak sistemi dengesiz hale sokarlar, iletken kayıplarından ötürü trafo ve generatörlerde ısı problemleri ortaya çıkar. Kontrol, kumanda ve koruma devrelerinde işlem bozuklukları ve telefon hatlarında girişimlere sebep olurlar. Gerilim harmonikleri ise trafo ve generatörlerde çekirdek kayıplarından ötürü aşırı ısınmaya sebep olurlar. Kapasitörlerde ise reaktansın frekansla ters orantılı olmasından dolayı aşırı yüklenmelere yol açarlar ve bunun sonucunda ısınmadan ötürü kapasitörler yanabilir. Endüksiyon motorlarında mekanik salınım, titreşim ve güç kayıplarına yol açarlar [3].

2.2 Enerji Kalitesi Ölçümlerinin Amacı

Yukarıda belirtilen çeşitli olaylar sonucunda oluşan en temel bozukluk türleri, maalesef düşük gerilimlerde çalışan elektronik devrelerde ve yüksek gerilimlerde çalışan elektrik makinelerinde ciddi hasarlara, maddi kayıplara ve insan hayatını tehdit eden sorunlara yolaçabilmektedirler. İşte bu enerji kalitesizliklerinin sınıflandırılıp, bu sorunlara çözümler üretilebilmesi için, çeşitli özellikleri temel alınarak ayrıştırılan ve sınıflandırılan şebeke verilerinin gerekli yerlerde çözüm üretmek için kullanılması gerekir. Kalitesizlik problemlerinin çözümü için en başta, bu bozuklukların oluşmadan önceki, oluştukları andaki ve oluşuktan sonraki karakteristiklerinin incelenmesi gereklidir ki elde edilen bu veriler analiz edilip çeşitli sınıflandırmalar ve olaylara has karakteristik özellikler ortaya çıkarılabilsin. Sonuç olarak; enerji kalitesinin ölçülmesi için çeşitli verilerin elektrik sistemindeki herhangi bir noktadan çeşitli donanımlar ve yazılımlar yardımıyla toplanması ve matematiksel yöntemlerle analiz edildikten sonra sonuçlarının, tüketicilere kaliteli enerji sağlanması için yorumlanıp kullanılması gerekir. Bu çalışmada, enerji kalitesini etkileyen faktörler iki ayrı metodla incelenmiştir. Bu yöntemlerden birincisi, meydana gelen bozuklukların Dalgacık dönüşümü yöntemiyle incelenmesi; diğeri ise simetrik elemanlar metodu ile bu bozuklukların saptanmasıdır[8, 20].

3. BOZUKLUKLARIN TESPİTİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1 Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transform)

Dalgacıklar ilk defa Alfred Haar tarafından 1909 yılında bir tezde ortaya atılmıştır. Teorik olarak ilk kez, Jean Morlet ve Alex Grossmann'ın idaresindeki bilim adamları tarafından ele alınmışlar, daha sonraları ise Y. Meyer ve arkadaşları Dalgacık analiz metodlarını geliştirmişlerdir. Fakat ana algoritma 1988'de Stefan Mallat'ın çalışmalarında ortaya çıkmıştır, sonraları ise Ingrid Daubechies, Ronald Coifman ve Victor Wickerhauser öncülüğündeki çalışmalar Dalgacık teorisine yeni ufuklar açmıştır. Tarihsel yönden Dalgacık analizi yeni bir yöntemdir ve temeli Joseph Fourier'e kadar uzanmaktadır. Fourier, gerçekten çok etkin ve de çok önemli olduğu kanıtlanan frekans dönüşümü ile ilgili düşüncelerini temel olarak ortaya koymuştur. Farklı ölçeklerde yaklaşık ölçek ortalama değişimlerinin gürültüye daha az duyarlı olduğu açık bir şekilde görülmeye başlandığından bu yana araştırmacıların dikkati, frekans tabanlı analizden ölçek (scale) tabanlı analize kademeli olarak kaymaya başlamıştır [31].

Sinyal analiz yöntemlerinin temel amacı, uygun bir dönüşüm metodu uyguladıktan sonra analiz edilen sinyalden istenen bilgiyi elde etmektir. Uygulanan dönüşümün tersinebilir olması ve dönüşüm sonucu elde edilen verilerin orjinal sinyali bire bir temsil etmesi gerekir.

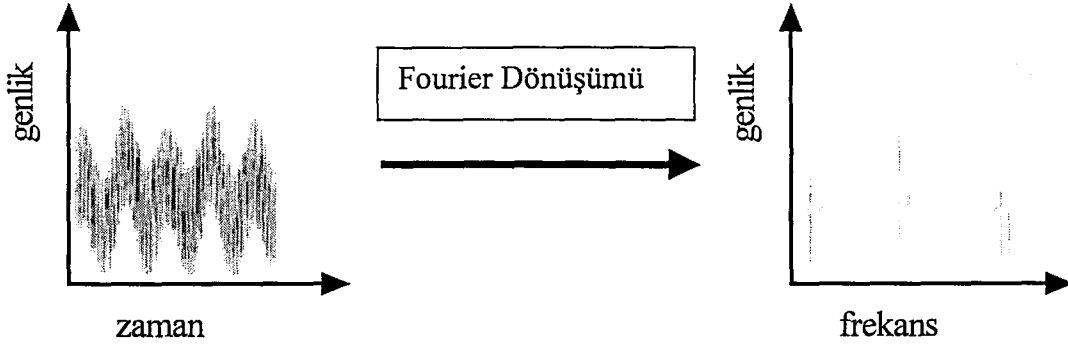
Özellikleri zamanla değişmeyen, durağan bir $p(t)$ sinyaline uygulanabilecek en uygun dönüşüm Şekil 3.1'de gösterildiği gibi zaman domenini ile frekans domenini arasında bir ilişki sağlayan Fourier dönüşümüdür. Fourier dönüşüm çifti;

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

$$p(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P(j\omega) e^{(j\omega t)} d\omega \quad (3.2)$$

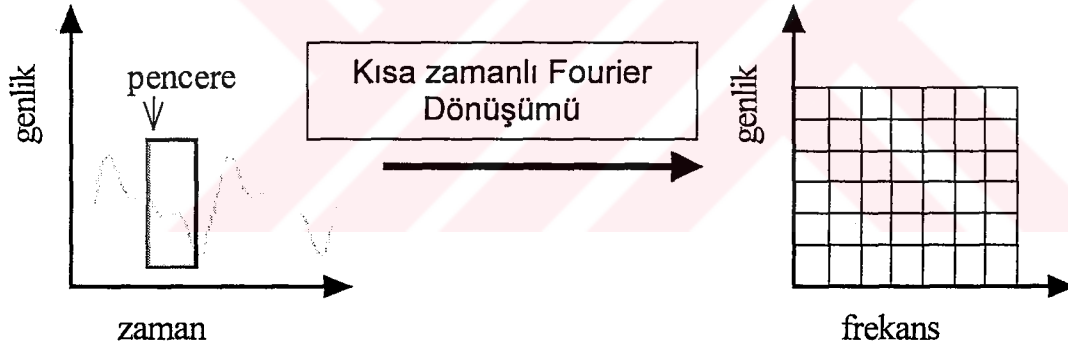
olarak tanımlanmaktadır [12]. Burada, durağan bir $p(t)$ sinyali sonsuz zaman aralığında tanımlı sinüzoidal taban işlevleri ile frekans domeninde gösterilmektedir. Daha basitçe ele alınırsa, bu yöntem sadece durağan sinyalin frekans bileşenleri hakkında bilgi verir, zaman bilgisi içermez. Ancak; özellikleri zamanla değişen, durağan olmayan ve ani değişiklik gösteren sinyaller söz konusu olduğunda, Fourier dönüşümü sinyaldeki herhangi bir anlık değişimi bütün

frekans eksenine yansıtır ve sinyalin dinamiklerini yakalama açısından bu istenmeyen bir durumdur [8, 10].



Şekil 3.1 Fourier dönüşümü

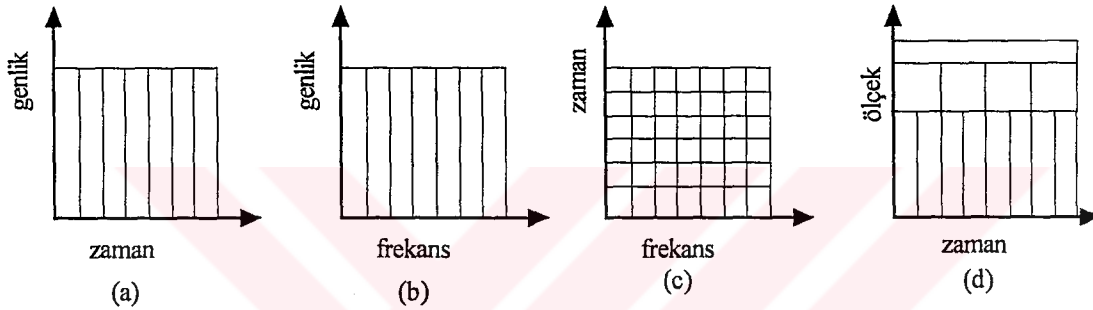
Bu eksikliği gidermek için Dennis Gabor (1946), Fourier dönüşümünü zamanın belli bir bölümünde sinyalin bir kısmını incelemek için kullandı ve bu tekniğe de sinyalin pencerelenmesi adını verdi. Bu yöntem Kısa-Zamanlı Fourier Dönüşümü (Short-Time Fourier Transform (KZFD)) olarak adlandırılır ve işareti zaman ve frekansın iki boyutlu bir fonksiyonu olarak Şekil 3.2'deki gibi haritalar.



Şekil 3.2 Kısa-zamanlı fourier dönüşümü

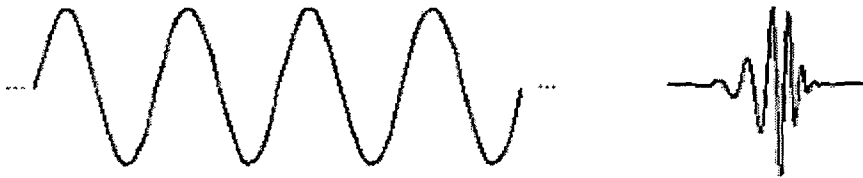
KZFD, sinyalin zaman ve frekans tabanlı görünüşleri arasında köprü oluşturarak sinyalde oluşan farklı durumların zamanı ve frekansı hakkında bilgi sağlamaktadır. Fakat bu bilgilerin elde edilmesi bir koşula dayanmaktadır ve bu koşul da pencerenin büyüklüğüyle ilgilidir. KZFD'nin dezavantajı, zaman domeninde uygulanan pencerenin uzunluğunun hep sabit olmasıdır ki; bu da pencerenin bütün frekanslar için aynı kalması anlamına gelir. Sonuç olarak, hangi zamanda hangi frekans bileşenlerinin ortaya çıkacağı tam olarak kestirilemez [13]. İşte burada Dalgacık dönüşümü, değişen uzunluktaki bölgeleri kapsayan pencereleri içeren yeni bir teknik olarak ortaya çıkmıştır. Basit olarak açıklamak

gerekirse; belirli bir zaman penceresinde değeri sıfırdan farklı olan özel salınımsal fonksiyona “Dalgacık” adı verilir. Pencerenin dışında fonksiyonun değeri sıfırdır. İncelenen sinyal Dalgacık fonksiyonuyla çarpılır ve her bir kısım için dönüşüm yapılır. Dalgacıkların birçok çeşidi vardır. Seçilecek olan Dalgacığın, işlenen sinyalin karakteristiğine ve şekline yakın olması daha iyi sonuçlar verir. Dalgacık dönüşümü durağan olmayan sinyallerdeki anlık değişimlerin yerini yüksek verimle tespit edebilmektedir. Bu dönüşümün en önemli özelliği, alçak frekans bilgilerinin istendiği yerde uzun zaman aralığı, yüksek frekans bilgilerinin istendiği yerde ise kısa zaman zaman aralığı sağlamasıdır. İşaretin zaman tabanlı, frekans tabanlı, kısa-zamanlı fourier ve Dalgacık dönüşümünün alındığı durumlardaki farklılıklar Şekil 3.3’te gösterilmiştir [9, 10].



Şekil 3.3 Sinyalin zaman, frekans tabanlı ve çeşitli şekillerde alınan dönüşümlerinin gösterilmesi; (a) Shannon, (b) Fourier, (c) KZFD, (d) Dalgacık dönüşümleri

Fourier analizi, sinyalin çeşitli frekanslardaki sinüs dalgalarına bölünmesi prensibine dayanırken, benzer şekilde Dalgacık dönüşümü de sinyali ana Dalgacığın kaydırılmış ve ölçülendirilmiş Dalgacık kümelerine ayırma prensibine dayanır. Sonuçta sinyal, Dalgacık dönüşümüyle beraber Dalgacıklardan oluşan temel bir fonksiyon kümesine dönüşür. Bu fonksiyonlar ana Dalgacığın genişletilip daraltılması ve kaydırılmasından elde edilmektedir. Şekil 3.4’te örnek olarak bir sinüs dalgası ve bir ana Dalgacık(db 10) prototipi verilmiştir.



Şekil 3.4 İdeal sinüs dalgası ve bir ana Dalgacık çeşidi (db10)

$P(t)$ giriş sinyali olarak dikkate alınırsa ayrıştırma işlemi, Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) olarak adlandırılan iki tür Dalgacık dönüşüm yöntemi ile yapılabilir [11].

3.1.1 Sürekli Dalgacık dönüşümü

Sürekli Dalgacık dönüşümü, $p(t)$ giriş sinyalinin, Ψ ile gösterilen Dalgacık fonksiyonunun ölçülendirilmiş ve kaydırılmış haliyle çarpılıp tüm zaman boyunca toplanmasından elde edilir.

$P(t)$, $L^2(\mathbb{R})$ uzayında tanımlı bir sinyal olsun. $\mathbb{R}$ reel sayı olursa bu sinyalin Dalgacık dönüşümü aşağıdaki gibi olur:

$$\text{cwt}(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(t) \Psi_{a,b}^*(t) dt \quad (3.3)$$

Burada, $a \in \mathbb{R}^+$ ölçülendirme (genişletme-daraltma) parametresi, $b \in \mathbb{R}^+$ öteleme parametresi, $\Psi(t)$ ana Dalgacık, $\Psi_{a,b}(t)$ ana Dalgacık'tan, "a" ve "b" parametresine göre elde edilen Dalgacık olarak tanımlanmaktadır (* kompleks eşleniği ifade etmektedir).

Bu dönüşüm basit olarak tanımlanırsa; yapılan işlem, seçilen ana Dalgacığın ölçek ve öteleme katsayılarıyla genişletilip, daraltılması ve işlenen sinyal üzerinde kaydırılmasından başka birşey değildir [13].

*Ölçek küçük olursa Dalgacık, asıl sinyalin daraltılmış biçimi olur. Yüksek sıklık yani sinyaldeki ani değişimler (yüksek frekans bileşenleri) bulunur.

*Ölçek büyük olursa Dalgacık, asıl sinyalin genişletilmiş biçimi olur. Düşük sıklık yani sinyaldeki yavaş değişimler (alçak frekans bileşenleri) bulunur.

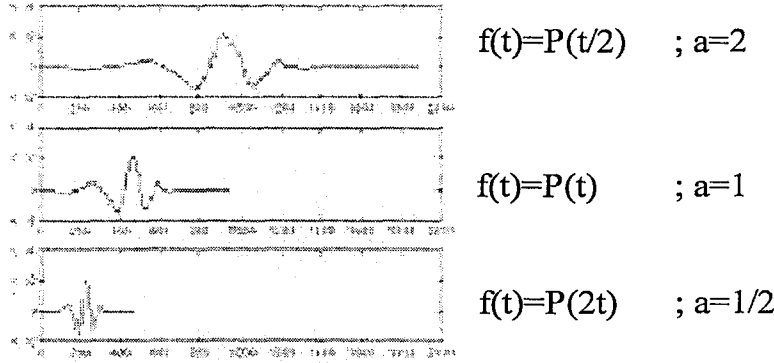
Sürekli Dalgacık dönüşümünün sonucu, ölçek ve pozisyonun fonksiyonu olan çok sayıda "c" katsayılarından oluşmaktadır. $\Psi(t)$ 'den elde edilen $\Psi_{a,b}^*(t)$ fonksiyonu, "a" ölçeği ve "b" zamanında, aşağıdaki gibi yazılmaktadır:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.4)$$

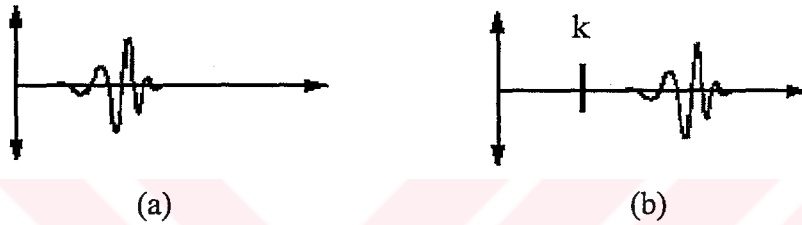
Ölçülendirme: Bir Dalgacığın ölçülendirilmesi ifadesi, basitçe sinyalin genişletilmesi veya daraltılması anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, ölçülendirme parametresi genellikle "a" ile verilmektedir. Şekil 3.5'te ölçülendirmenin nasıl yapıldığı, örnek bazı ölçülendirme değerlerine göre gösterilmiştir.

Öteleme: Bir Dalgacığı öteleme, basitçe sinyali başlangıcından itibaren "k" öteleme katsayısı kadar ileri veya geri kaydırmaktır. Matematiksel olarak bir $f(t)$

fonksiyonunun k kadar ötelenmesi $f(t-k)$ ile gösterilir. Şekil 3.6'da işaretler için kaydırma özelliğinin nasıl olduğu gösterilmiştir [31].



Şekil 3.5 Ana Dalgacığın ölçeklendirilmesi



Şekil 3.6 (a) Ana Dalgacık $\Psi(t)$ ve (b) ana Dalgacığın kaydırılmış şekli $\Psi(t-k)$

3.1.2 Sinyallere Dalgacık fonksiyonun uygulanması

Sürekli Dalgacık dönüşümü, bir sinyalin ölçeklendirilmiş ve ötelenmiş ana Dalgacık ile var olduğu zaman ekseninin tümünde çarpılıp toplanmasıyla elde edilmektedir. Bu işlem, ölçek ve ötelemenin bir fonksiyonu olan Dalgacık katsayılarını üretir. Dalgacık katsayılarını her olası ölçek için hesaplamak çok fazla işlem yapmayı gerektirir ve bunun sonucunda da çok fazla veri elde edilir. Bunun yerine 2'nin katlarını temel alacak şekilde ölçekler ve ötelemeler seçilirse yapılacak analizler çok daha etkin olacaktır. Dalgacık katsayılarını hesaplamada kullanılan bu tekniğe Ayırık Dalgacık Dönüşümü (Discrete Wavelet Transform (DWT)) denmektedir.

$$\Psi_{m,n}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} \Psi\left(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) \quad a_0 > 1 \text{ ve } b_0 > 0, m, n \in \mathbb{Z} \quad (3.5)$$

Ayrık Dalgacık Dönüşümü için $a = a_0^m$ ve $b = nb_0 a_0^m$ seçilerek ana Dalgacık ayırık olarak ölçeklendirilir ve ötelenir. Bu seçime karşılık gelen Dalgacık dönüşümü ise aşağıdaki gibi olur:

$$\text{dwt}(m,n) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \Psi_{m,n}^*(t) dt \quad (3.6)$$

Bu işlemi gerçekleştirmek için uygulanan etkin bir yol 1988 yılında Mallat tarafından filtreler kullanılarak geliştirilmiştir. Mallat algoritması, işaret işleme topluluğu arasında iki-kanal alt band kodlayıcı olarak bilinen klasik bir yoldur. Bu işlem, hızlı Dalgacık dönüşümü yapan çok pratik bir filtre algoritmasıdır [16, 17].

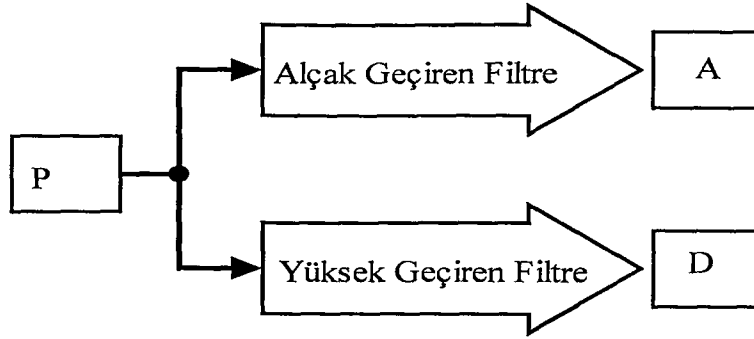
3.1.3 Çoklu-Çözünürlü Ayrıştırma (Multi-Resolution Analysis (MRA))

Bir çok sinyal için, sinyalin düşük frekanslı içeriği en önemli kısımdır. Düşük frekans bileşenleri işaretler için genellikle tanınma özelliklerini içerir; diğer taraftan yüksek frekanslı bileşenler ise sinyalin kendisiyle düşük frekanslı kısım arasındaki farkı oluştururlar. Buna örnek olarak insan sesi ele alınacak olursa, sesin yüksek frekanslı bileşenlerinin çıkartılması durumunda ses farklılaşır fakat hala söylenilen şeyler duyulabilir; oysa düşük frekanslı bileşenlerin bir kısmı çıkarılacak olursa söylenilen sözler duyulamaz. Yukarıda anlatılan kavramlardan yola çıkılarak, ayrık Dalgacık dönüşümü için yaklaşık (approximate) ve detay (detail) katsayılarından bahsedilir. Dalgacık dönüşümünde kullanılan yaklaşıklar, yüksek ölçekli, düşük frekanslı bileşenler; detaylar ise düşük ölçekli, yüksek frekanslı bileşenlerdir. Sonuç olarak, P orjinal sinyali Şekil 3.7’de görüldüğü gibi birbirini tümleyen alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilerek alçak A ve yüksek D frekanslı bileşenlerine ayrıştırılabilir [10].

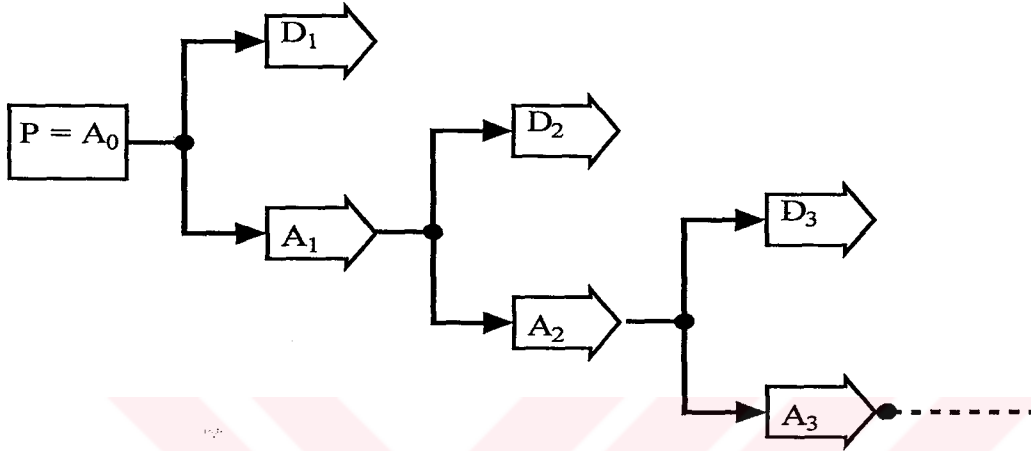
Bu ayrıştırma işlemi Şekil 3.8’de gösterildiği gibi bir çok kez yapılabilir. Böylece, incelenecek sinyal daha az çözünürlüklü bir çok alt bileşenine ayrılacaktır. Buna Çoklu-Çözünürlü Ayrıştırma denir. Bu ayrıştırma işleminde ayrıştırmanın iteratif olmasından dolayı teoride bu işlem sınırsız olarak devam ettirilebilir; fakat gerçekte ayrıştırma ancak detaylar bir tek örneğe veya bir tek piksele denk düşene kadar devam ettirilebilir. Pratikte, sinyalin doğasına veya entropi gibi bazı kriterlere uygun bir seviye sayısı seçilir.

Sinyalin alçak ve yüksek geçiren filtreler yardımıyla Şekil 3.8’deki gibi alt bant frekans bileşenlerine (yaklaşık ve detaylarına) ayrılması olayı Şekil 3.9’da detaylı bir şekilde adım adım gösterilmiştir. İncelenen sinyal, örneğin beşinci seviyede yaklaşık ve detay bileşenleri cinsinden ifade edilmek istenirse aşağıdaki gibi formülize edilebilir:

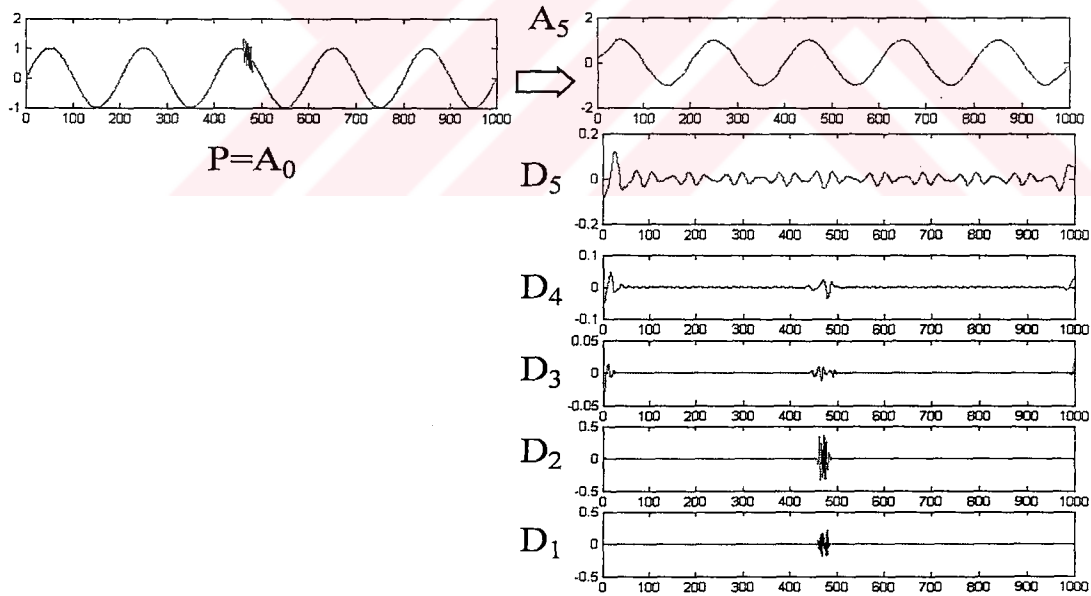
$$P=A_0(n) = A_5(n)+D_5(n)+D_4(n)+D_3(n)+D_2(n)+D_1(n) \quad (3.7)$$



Şekil 3.7 Sinyalin filtreler yardımıyla düşük ve yüksek frekanslarının ayrıştırılması



Şekil 3.8 Dalgacık ayrıştırma düzeni



Şekil 3.9 Bir sinyalin yaklaşık ve detay katsayılarına ayrıştırılması

Şekilde de görüldüğü gibi beşinci seviyedeki A_5 sinyali, orijinal A_0 sinyalindeki yüksek frekanslı bileşenlerin çıkarılması sonucunda yaklaşık bir sinüs eğrisine benzemiştir. Yüksek frekans bileşenleri ise detay katsayıları olarak ayrıştırılmıştır.

3.2 Simetrik Bileşenler

İlk olarak C.L. Fortescue tarafından açıklanan Simetrik bileşenler metodu dengesiz sistemlerle ilgilidir. Bu teoreme göre n fazörlü dengesiz bir sistem, dengeli fazörlerden oluşan n tane ayırık sistemle çözülebilir ve bunun ispatı Fortescue tarafından yapılmıştır. N fazörlü dizinin bileşenlerinin herbirinin genlikleri ve dizinin fazörleri arasındaki faz açıları birbirine eşittir. Normalde dengeli olan 3 fazlı bir sistemde dengesiz hata durumları, her fazda dengesiz akım ve buna bağlı olarak da dengesiz gerilimlerin oluşmasını sağlar. Akım ve gerilim değerleri sabit empedanslarla ilişkiliyse, sistem lineer sistem olarak adlandırılır. Sistemin Simetrik bileşenleri makinalarla, transformatörlerle, iletim hatlarıyla ve yük oluşumlarıyla ilgilidir. 3 fazlı bir sistemin çözümlenebilmesi için üç tane eşdeğer devresinin bulunması gerekir. Simetrik bileşenlerle analiz, simetrik olmayan hataların ve 3 faz hatalarının çözümlenip ayrıştırılmasında önemli bir yere sahiptir [25].

Fortescue'nün önerdiği teoreme göre, 3 fazlı sistemin dengesiz fazörleri, üç adet dengeli sistem fazörü yardımıyla çözümlenebilir. Bu bileşenlerin dengeli dizileri şunlardır:

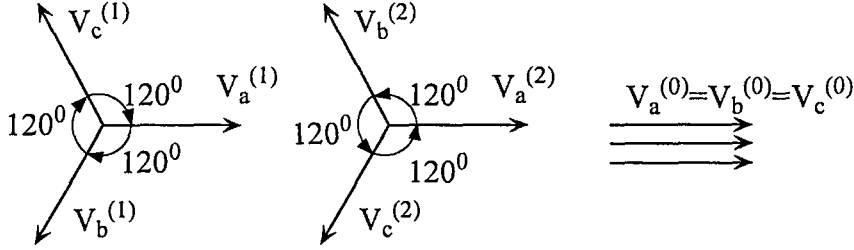
Pozitif ardışık bileşenler: Genlik bakımından aynı büyüklükte üç adet fazör içerirler. Bunlar arasındaki faz farkı 120° 'dir ve dönüş yönü olarak, orjinal fazörlerle aynı dönüş yönündedirler.

Negatif ardışık bileşenler: Genlik bakımından aynı büyüklükte üç adet fazör içerirler. Bunlar arasındaki faz farkı da 120° 'dir; fakat dönüş yönü olarak, orjinal fazörlerle ters yönde dönerler.

Sıfır ardışık bileşenler: Genlik olarak eşit büyüklükte üç adet fazör içerirler ve aralarındaki faz farkı 0° 'dir.

Genellikle, literatürde Simetrik bileşenler yöntemi ile çözülen bir sistemin 3 fazı sırasıyla a, b ve c harfleri ile adlandırılır. Bu gösterime göre, pozitif ardışık bileşenlerin faz sırası a-b-c, negatif ardışık bileşenlerinkiyse a-c-b olur. Orjinal fazör gerilimleri ise V_a , V_b ve V_c olarak gösterilirler. Simetrik bileşenlerin birbirinden ayrışık üç dizisini kapsayan pozitif ardışık bileşenler 1 ile, negatif ardışık bileşenler 2 ile, sıfır ardışık bileşenleri ise 0 ile temsil edilirler. Bu gösterim şekline göre V_a , V_b ve V_c fazlarının pozitif ardışık elemanları $V_a^{(1)}$, $V_b^{(1)}$ ve $V_c^{(1)}$ 'dir. Benzer şekilde, negatif elemanları $V_a^{(2)}$, $V_b^{(2)}$ ve $V_c^{(2)}$ ve son olarak

sıfır ardışık elamanları ise $V_a^{(0)}$, $V_b^{(0)}$ ve $V_c^{(0)}$ 'dır. Şekil 3.10 Simetrik bileşenlerin üç ayrı dizisini göstermektedir. Buradaki fazörler gerilimleri temsil ettiğinden V harfi ile gösterilmişlerdir. Eğer fazörler akımları temsil ederlerse, V yerine I harfi ile gösterim yapılır.

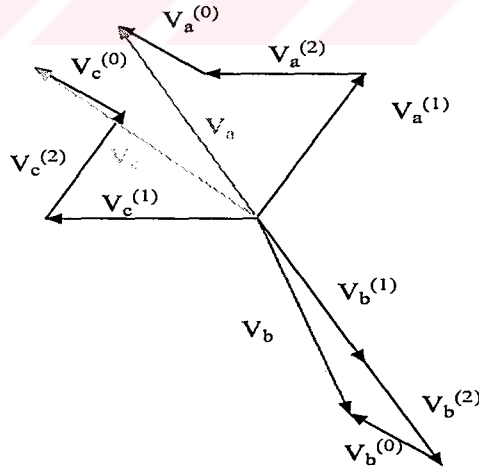


Şekil 3.10 Pozitif, negatif ve sıfır ardışık bileşenleri

Fortescue'nün önerdiği teoremin temeline bakılacak olursa, 3 fazlı sistemdeki herbir orjinal fazör, kendisine ait olan ardışık Simetrik bileşenlerin vektörel toplamına eşittir. Bu teorem, matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} V_a &= V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)} \\ V_b &= V_b^{(0)} + V_b^{(1)} + V_b^{(2)} \\ V_c &= V_c^{(0)} + V_c^{(1)} + V_c^{(2)} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Şekil 3.10'daki dengeli Simetrik bileşenlerden oluşan üç setin vektörel olarak toplamı, Şekil 3.11 'de gösterildiği gibi üç adet dengesiz dağılmış fazöre eşittir.



Şekil 3.11 Dengesiz dağılmış fazörler

Simetrik olmayan hatalara bu yöntem uygulandığında, bu sistemlerin çözümlenmesindeki avantajlar açıkça gözlenmektedir. Bu yöntemle dengesiz sistemler rahatça dengeli sistem bileşenlerine ayrıştırılabilmektedirler. Örneğin,

sistemde oluşan hata akımı Simetrik bileşenlerine ayrılabilir. İlk olarak her üç dizideki fazörleri simetrik olarak dağıtabilmek için, genliği 1 ve açısı 120° olan “a” operatörü tanımlanması gerekir ($a=1\angle 120^\circ$). Daha sonra her 3 fazör de pozitif, negatif ve sıfır ardışık dizileriyle gösterilir. Bununla ilgili denklemler şöyledir;

$$\begin{aligned} V_b^{(0)} &= V_a^{(0)} & V_c^{(0)} &= V_a^{(0)} \\ V_b^{(1)} &= a^2 V_a^{(1)} & V_c^{(1)} &= a V_a^{(1)} \\ V_b^{(2)} &= a V_a^{(2)} & V_c^{(2)} &= a^2 V_a^{(2)} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Denklem (3.9)’daki değerler denklem (3.8)’de yerine koyulursa;

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Buradan da A matrisi aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Denklem (3.10)’da Simetrik bileşenler kullanılarak esas fazörler bulunmuştur. Buna ek olarak fazörlerden simetrik bileşenlerin bulunması için A matrisinin tersinin alınıp, eşitlikte her iki yanında sağ taraftan çarpılması gerekir. Bu işlem yapılırsa aşağıdaki denklem elde edilir;

$$\begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = A^{-1} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Buradan da görüldüğü gibi bu denklemler çok önemlidir. V_a , V_b ve V_c ’nin yerleri V_{ab} , V_{bc} ve V_{ca} ile değiştirilerek aynı denklemler faz-faz arası gerilimlere de uygulanabilir. Denklem (3.12)’ye bakılarak önemli bir sonuca ulaşılabilir: Dengesiz fazörlerin toplamı 0 olduğunda sıfır ardışık bileşenleri oluşmaz. Genelde 3 faz dengeli sistemlerde hat gerilimlerinin toplamı sıfırdır, bu sebeple sıfır ardışık bileşen içermezler. Gerilimler için yazılan denklemler, V_a , V_b ve V_c yerine I_a , I_b ve I_c yazılarak hat akımları için kullanılabilir ve I_a , I_b ve I_c ’nin I_{ab} , I_{bc} ve I_{ca} şeklinde değiştirilmesiyle, Δ devresinin fazlar arası akımlarına da uygulanabilir [25].

3.2.1 Şebekede fazlar arasında ve fazlarla toprak arasında oluşan hatalar

3 fazlı ve tek fazlı sistemlerde çeşitli olaylar sonucunda fazlar arasında veya fazlar ile toprak arasında düşük empedanslı arklar ve kısa devreler meydana gelir. Örnek olarak; tek faz ile toprak arasında oluşan hatanın dalga karakteristiği incelenecek olursa bu olayın iki ayrı kısımdan oluştuğu görülür. İlk kısım, hata anı durumu olarak adlandırılır. Hata anında, hatanın olduğu faz ile toprak arasında düşük empedanslı bir akım yolunun var olduğu durumdur ve gerilim bu kısa devre sebebiyle ya sıfır olur yada sıfıra çok yakın bir değere iner. İkinci kısım ise hata sonrası durum olarak isimlendirilir. Hatadan sonra düşük empedanslı akım yolu kaybolarak kısa devre olayı açık devreye dönüşür. Normal şartlarda tüm faz gerilimlerinin dengeli ve hatadan önceki gerilimlerin genliklerinin E olduğu kabul edilir. Bu kabul göz önünde bulundurularak hata anındaki ve hata sonrasındaki gerilim incelenecek olursa; a fazıyla toprak arasında hata oluşursa hata anında faz-nötr gerilimleri, Şekil 3.12'den de görüldüğü üzere Denklem (3.13)'teki gibi oluşur;

$$\begin{aligned} V_a &= 0 \\ V_b &= \left(-\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3}\right)E \\ V_c &= \left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3}\right)E \end{aligned} \quad (3.13)$$

Şekil 3.12 A fazı ile toprak arasındaki hata anında faz-nötr gerilimleri

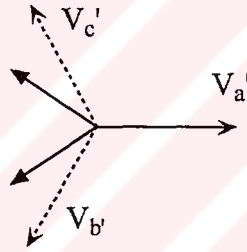
Şekil 3.12'de gösterilen değerler birim değerleridir ve baz olarak E alınmıştır. Kesikli çizgiler hatadan önceki, kalın çizgiler ise hata anındaki gerilimleri göstermektedirler. Şekle bakılacak olursa, bu hatanın alçak gerilim sisteminde olması halinde hata anında sadece a fazından beslenen kullanıcıların bu hatadan etkileneceği açıkça görülür. Orta gerilim sistemlerinde faz-faz gerilimleri daha önemlidir; çünkü birçok makine ve trafo sisteme Δ bağlıdır. Bu

sebepten ötürü faz-faz arası gerilimler birim değerler cinsinden aşağıdaki gibi yazılır:

$$\begin{aligned} V_a' &= j \frac{V_b - V_c}{\sqrt{3}} \\ V_b' &= j \frac{V_c - V_a}{\sqrt{3}} \\ V_c' &= j \frac{V_a - V_b}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Bu denklemlerden yola çıkarak, a fazı ile toprak arasındaki hatanın sisteme Δ bağlı yükün terminalleri arasında oluşturduğu etki Şekil 3.13'teki gibi olur. Denklem (3.13)'teki değerler Denklem (3.14)'te yerine koyulursa, faz-faz arası gerilimler aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{aligned} V_a' &= 1 \\ V_b' &= -\frac{1}{2} - \frac{1}{6}j\sqrt{3} \\ V_c' &= -\frac{1}{2} + \frac{1}{6}j\sqrt{3} \end{aligned} \quad (3.15)$$



Şekil 3.13 Hata anında A fazı ile toprak arasındaki faz-faz gerilimleri

Şekle göz atılırsa, bu hatanın olması halinde hata anında kullanıcıların 2/3'ü genlik olarak hata öncesi geriliminin 0.58'i oranında gerilime ve 30 derecelik faz kaymasına sahip olduğu, geri kalan 1/3'lük kısmın ise bu hatadan hiç etkilenmediği görülür.

Hata sonrası gerilimlere bakılacak olursa; hata sonrasında a fazı ile toprak arasının açık devre olacağı görülür. Bu tip hataların çözümü için Simetrik bileşenler yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Sistemin sıfır, pozitif ve negatif ardışık devreleri Şekil 3.14'teki gibi olur. Tek faz açık devreye bakılacak olursa (a fazı açık devre), aşağıdaki sonuçlar bulunur;

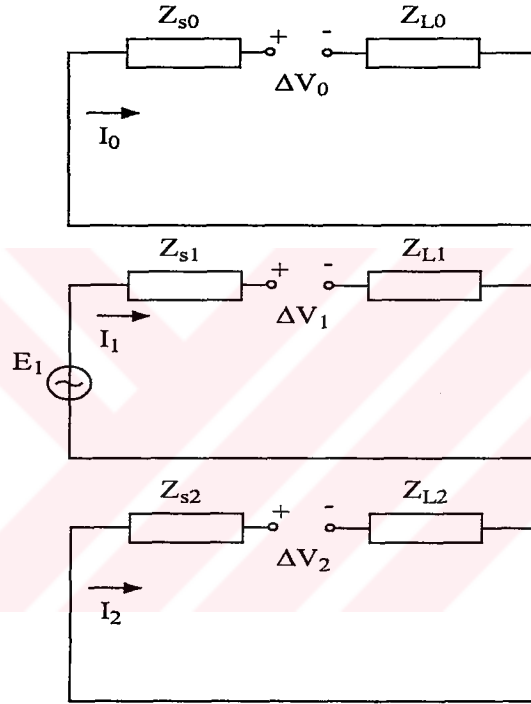
$$\Delta V_b = 0, \quad \Delta V_c = 0 \quad \text{ve} \quad I_a = 0 \quad (3.16)$$

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_3 = \frac{1}{1 + \frac{Z_{L1} + Z_{S1}}{Z_{L0} + Z_{S0}} + \frac{Z_{L1} + Z_{S1}}{Z_{L2} + Z_{S2}}} \quad (3.17)$$

$Z_{Li} \gg Z_{Si}$ kabul edilirse, aşağıdaki denklemler bulunur:

$$\Delta V_A = \frac{3}{1 + \frac{Z_{L1}}{Z_{L0}} + \frac{Z_{L1}}{Z_{L2}}} \quad (3.18)$$

$$V_A = 1 - \frac{3}{1 + \frac{Z_{L1}}{Z_{L0}} + \frac{Z_{L1}}{Z_{L2}}} = 1 - \frac{Y_{L1}}{\frac{1}{3}(Y_{L1} + Y_{L2} + Y_{L0})} \quad (3.19)$$



Şekil 3.14 Tek faz açık devre hatasında sıfır, pozitif ve negatif ardışık devreleri

Denklem (3.16)'dan yola çıkılarak ardışık devreler Şekil 3.15'teki gibi birleştirilir. Denklem (3.19) temel alınacak olursa üç farklı yük çeşidi için hatadan sonraki gerilim durumları bulunabilir.

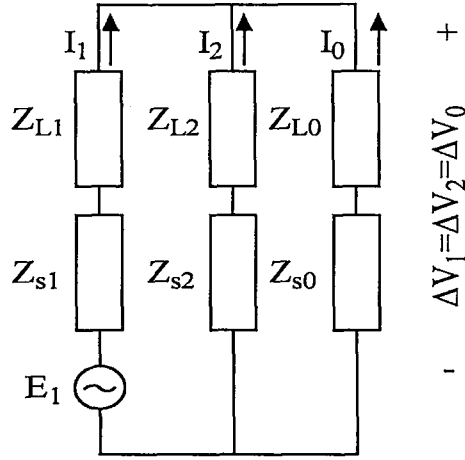
Y bağlı statik yük için:

$Y_{L1}=Y_{L2}=Y_{L0}$ olur ve bu durumda Denklem (3.19)'da $V_a=0$ bulunur

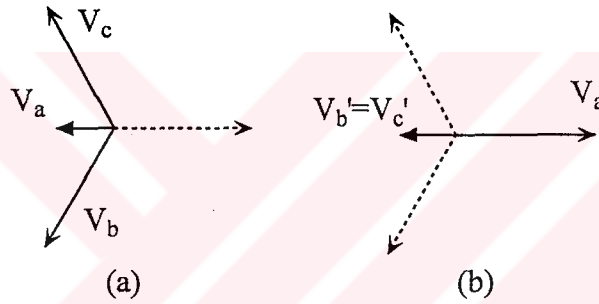
Δ bağlı statik yük için:

Δ bağlı trafolarla pozitif ve negatif ardışık empedanslar eşit, sıfır ardışık empedansı ise dönüş yolu olmadığından sonsuz kabul edilir. Buradan yola çıkılarak; $Y_{L1}=Y_{L2}$ ve $Y_{L0}=0$ olur ve bu değerler Denklem (3.19)'da yerine

koyulursa $V_a = -1/2$ bulunur. Aynı şekilde, yüksek empedans topraklı veya nötrü izole olan Y sistemler de bir çeşit Δ yük gibi kabul edilebilir. Şekil 3.16(a)'da bu tip sistemlerin faz nötr gerilimleri, Şekil 3.16(b)'de ise faz-faz gerilimleri görülmektedir.



Şekil 3.15 Tek faz açık devre için ardışık devrelerin birleştirilmesi



Şekil 3.16 Δ bağlı yük için (a) faz-nötr ve (b) faz-faz gerilimleri

Motor yükler için:

Motorlar için $Y_{L2} > Y_{L1}$ ve $Y_{L0} = 0$ kabul edilir. $Y_{L2} = \gamma * Y_{L1}$ olursa Denklem (3.19)'dan yola çıkılarak hata gerilimi aşağıdaki gibi bulunur:

$$V_A = \frac{\gamma - 2}{\gamma + 1} \quad (3.20)$$

Asenkron motorlar yavaşlarken negatif ardışık empedansları aynı kalmasına karşın, pozitif ardışık empedansları küçülerek motor durduğu anda negatif ardışık empedansa eşit olurlar. Denklem (3.20)'ye bakılacak olursa $\gamma = 1$ için $V_a = -1/2$, $\gamma = 10$ için ise $V_a = 0.73$ değerleri arasında değiştiği görülür. Bu gerilime V denilirse; faz-nötr gerilimleri;

$$\begin{aligned}
V_a &= V \\
V_b &= -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3} \\
V_c &= -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3}
\end{aligned} \tag{3.21}$$

şeklinde, faz-faz gerilimleri ise aşağıdaki gibi olurlar:

$$\begin{aligned}
V_a' &= 1 \\
V_b' &= -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3} \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3}V \right) \\
V_c' &= -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3} \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3}V \right)
\end{aligned} \tag{3.22}$$

Çeşitli hatalar sonucunda 3 fazlı sistemlerin gerilimlerinde farklı karakteristiklerde çökmeler oluşur. Sistemde oluşan hatalar, tek faz-toprak arası, faz-faz arası, 3 faz ve 2 faz-toprak arası hatalar olarak sınıflandırılabilir. Bu hatalar sonucunda oluşan çökmelerin ise yedi farklı tipi vardır. Bunlar; A, B, C, D, E, F ve G tipi çökmelerdir. Bu hataların detaylı olarak analizine ve ardışık devrelerinin oluşturulmasına Bollen [1]'in kitabında değinilmiştir. Bu sebeple, bu çalışmada temel hata çeşitlerinin neler olduğuna ve bu hatalar sonucunda oluşan gerilim çökme karakteristiklerinin, detaylarına girmeden sadece sonuçlarına değinilmiştir. Aşağıdaki çökme tipleri ve herbirine ait gerilim değerleri bulunurken devrelerin sıfır, pozitif ve negatif ardışık empedansları eşit kabul edilmiştir.

A tipi çökme: 3 faz arasındaki hatalardan dolayı oluşur. Şekil 3.17(a)'da görüldüğü üzere her 3 fazdaki gerilim de aynı oranda düşer.

$$\begin{aligned}
V_a &= V \\
V_b &= -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}j\sqrt{3}V \\
V_c &= -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}j\sqrt{3}V
\end{aligned} \tag{3.23}$$

B tipi çökme: Tek faz ile toprak arasındaki hata sonucu faz-nötr gerilimleri için bulunur. Sisteme Y bağlı yüklerin terminallerinde Şekil 3.17(b)'deki gibi bu tipte bir çökme görülür.

$$\begin{aligned}
V_a &= V \\
V_b &= -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3} \\
V_c &= -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3}
\end{aligned} \tag{3.24}$$

C tipi çökme: Faz-faz arasındaki hata sonucu faz-nötr gerilimleri için bulunur. Sisteme Y bağlı yüklerin terminallerinde Şekil 3.17(c)'deki gibi bu tipte bir çökme görülür.

$$\begin{aligned}
V_a &= 1 \\
V_b &= -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3}V \\
V_c &= -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3}V
\end{aligned} \tag{3.25}$$

D tipi çökme: Faz-faz arasındaki hata sonucu faz-faz gerilimleri için bulunur. Sisteme Δ bağlı yüklerin terminallerinde Şekil 3.17(d)'deki gibi bu tipte bir çökme görülür.

$$\begin{aligned}
V_a &= V \\
V_b &= -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}j\sqrt{3} \\
V_c &= -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}j\sqrt{3}
\end{aligned} \tag{3.26}$$

E tipi çökme: 2 Faz ve toprak arasındaki hata sonucu faz-nötr gerilimleri için bulunur. Sisteme Y bağlı yüklerin terminallerinde Şekil 3.17(e)'deki gibi bu tipte bir çökme görülür.

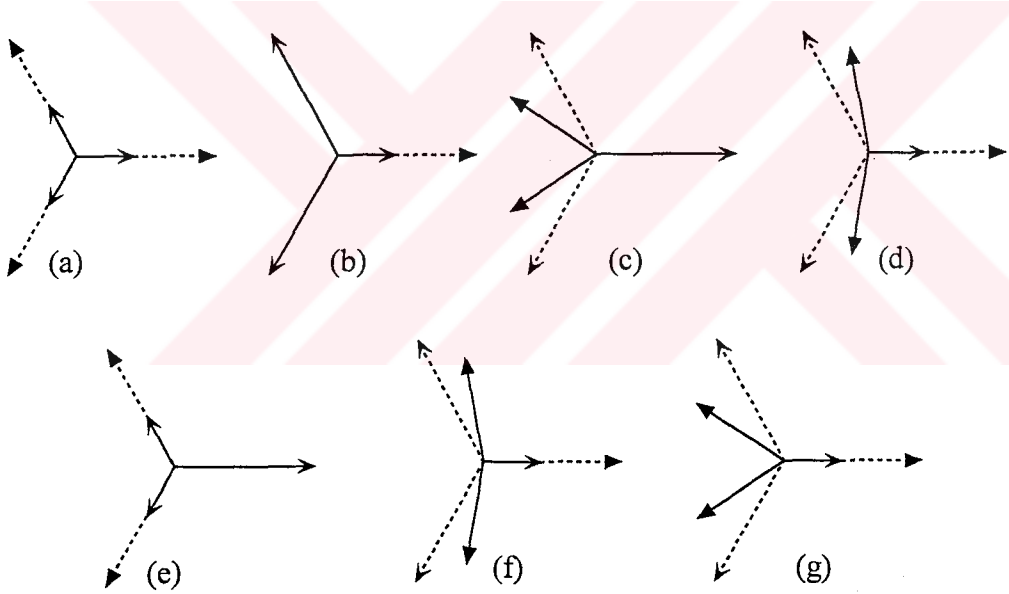
$$\begin{aligned}
V_a &= 1 \\
V_b &= -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}j\sqrt{3}V \\
V_c &= -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}j\sqrt{3}V
\end{aligned} \tag{3.27}$$

F tipi çökme: 2 faz ve toprak arasındaki hata sonucu Δ -Y transformatörün ön tarafındaki gerilimler için bulunur. Sisteme bağlı yüklerin terminallerinde Şekil 3.17(f)'deki gibi bu tipte bir çökme görülür.

$$\begin{aligned}
V_a &= V \\
V_b &= -\frac{1}{3}j\sqrt{3} - \frac{1}{2}V - \frac{1}{6}j\sqrt{3}V \\
V_c &= +\frac{1}{3}j\sqrt{3} - \frac{1}{2}V + \frac{1}{6}j\sqrt{3}V
\end{aligned} \tag{3.28}$$

G tipi çökme: 2 faz ve toprak arasındaki hata sonucu Δ - Δ transformatörün ön tarafındaki gerilimler için bulunur. Sisteme bağlı yüklerin terminallerinde Şekil 3.17(g)'deki gibi bu tipte bir çökme görülür.

$$\begin{aligned}
V_a &= \frac{2}{3} + \frac{1}{3}V \\
V_b &= -\frac{1}{3} - \frac{1}{6}V - \frac{1}{2}j\sqrt{3}V \\
V_c &= -\frac{1}{3} - \frac{1}{6}V + \frac{1}{2}j\sqrt{3}V
\end{aligned} \tag{3.29}$$



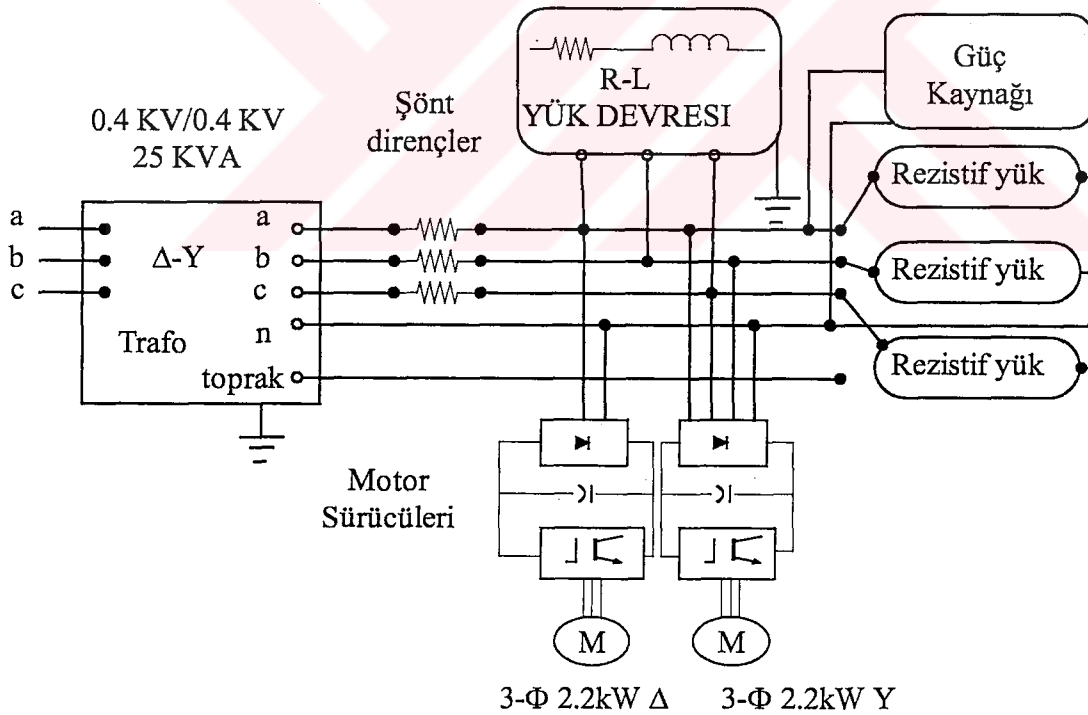
Şekil 3.17 (a) A tipi, (b) B tipi, (c) C tipi, (d) D tipi, (e) E tipi, (f) F tipi ve (g) G tipi çökmeler

4. LABORATUAR ORTAMI DENEYSEL ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİ

Bu çalışmada kullanılan alçak gerilim deney düzeneği, güç sistemi donanımı ve ölçüm sistemi donanımı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır

4.1 Güç Sistemi Donanımı

Şekil 4.1’de görülen alçak gerilim düzeyinde verilerin toplandığı deneysel enerji dağıtım sistemi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümündeki Güç Sistemleri Laboratuvarı’nın içinde bulunmaktadır ve dolayısıyla aynı şebekeden beslenmektedir. Bu sebepten dolayı, bu çalışmada meydana getirilen anlık geçici olayların, hataların ve kısa devrelerin sistemdeki diğer cihazlara zarar vermesini önlemek için ana sistemden izole edilmesi gerekmektedir. İzolasyonu sağlamak amacıyla ana şebekeyle deney seti arasına 25 KVA’lık Δ -Y bağlı trafo konulmuştur ve yapılan deneyler neticesinde üretilen harmoniklerin ve oluşan diğer bozuklukların ana sistemi etkilemesi önlenmiştir. Deney setinin beslemesine istenildiği zaman müdahale edilebilmesi veya aşırı yüklenmelerde devreye girebilmeleri için trafonun girişinde ve çıkışındaki iki adet pano içine kesici ve sigortalar yerleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Laboratuvar güç sistemi donanımı

Sistemdeki tüm yükler, a, b, c fazları, toprak ve nötr iletkenleriyle beslenmektedirler ve akım ölçümlerinin alınabilmesi için trafonun faz çıkışlarına 60mV/5A’lik şönt dirençler seri olarak bağlanmıştır. Yük kısmında 1 adet Δ veya

Y bağlanabilen RL yük devresi (Ek-1), 1 adet bilgisayar güç kaynağı (Ek-2), biri tek diğeri 3 fazdan beslenen iki adet endüstriyel pano tipi asenkron motor sürücüsü ve bunlara bağlı olan motorlar (Ek-3) kullanılmıştır. Ayrıca sistemden istenilen düzeyde akım çekebilmek için üç adet ısıtıcı, rezistif yük olarak herbir faza ayrı ayrı bağlanmıştır.

4.2 Ölçüm Sistemi Donanımı

Deney düzeneğinden verilerin alınıp analiz edilebilmesi için kurulan ölçüm sistemi Şekil 4.2’de görülmektedir. Bu sistem aşağıdaki cihazlardan oluşmaktadır; *Tektronix A6909 izolatör:*

Deney setinde herbiri ikişer kanallı olmak üzere toplam dört kanal çıkış alınabilen iki adet izolatör bulunmaktadır. İzolatör kullanılmasının sebebi; ölçümlerin alındığı trafonun çıkışı ile ölçüm sisteminin topraklarının aynı olması ve faz-toprak arasında meydana gelebilecek herhangi bir kısa devreyi önlemek için toprakların birbirinden izole edilmesi gerekliliğidir. İzolatörler bu izolasyonu sağlarlar ve ayrıca rahat ölçüm alabilmek için kazançları da 200V/birim ile 100mV/birim arasında kullanıcı tarafından manuel olarak değiştirilebilmektedir.

Frequency Devices ASC-50 programlanabilir filtre:

Sistemde iki adet bulunan bu filtrelerin görevi, sinyal iyileştirmesi yapmak ve örtüşmeyi önlemektir. Ek-4’te blok diyagramı gösterilen bu filtreler, sayısal ekranlıdır ve kullanıcı istediği tipteki filtreyi (Chebychev, Butterworth, vs.) istediği özelliklerde seçme şansına sahiptir. Bu çalışmada alçak geçiren Butterworth filtresi 5 KHz kesme frekansı ile kullanılmıştır.

National Instruments (NI) SCB-68 veri toplama(DAQ) kartı arabirimi:

Ek-5’te gösterilen bu arabirim, sistemden toplanan analog verilerin kolay biçimde bilgisayar içinde bulunan veri toplama kartına iletilmesine yardımcı olur.

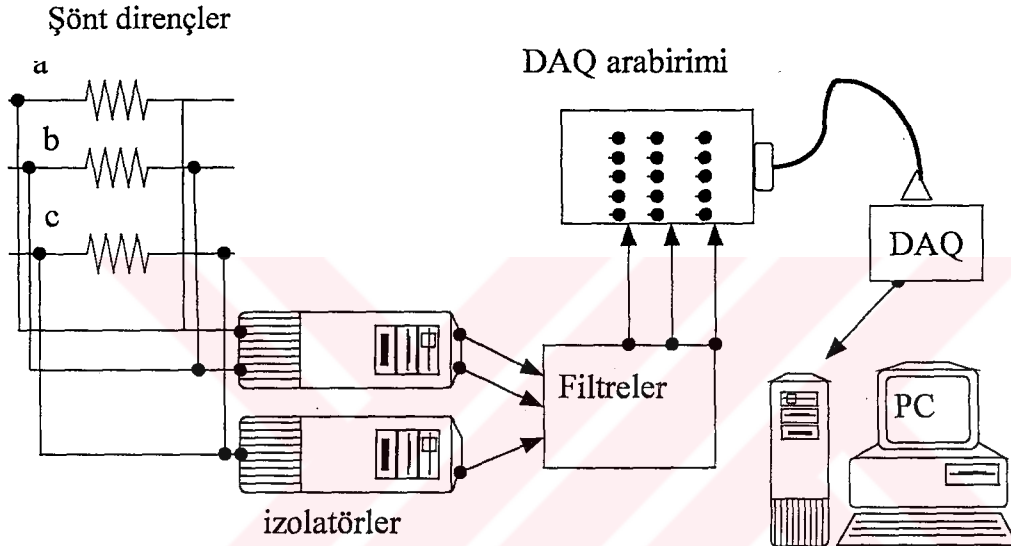
National Instruments PCI-MIO-16E-4 veri toplama kartı:

Verilerin toplanıp programlar yardımıyla analiz edilmesinde esas görevi üstlenen veri toplama kartı PCI veri yolunu kullanmaktadır. 500 KHz maksimum örnekleme hızına sahip olan bu kartla veriler 12 bit çözünürlükte alınmaktadır. Üzerindeki analog ve sayısal girişler, analog ve sayısal çıkışlar, sayıcılar ve zamanlayıcılar sayesinde pek çok uygulama bu kartla rahatlıkla yapılabilmektedir. Kartın en önemli özelliği, kullanıma hazır ve tak çalıştır (Plug&Play) olmasıdır. Kart konfigürasyonu yazılımla yapılmaktadır. Böylece kullanıcıya zaman

kaybettiren ve çoğu zaman da sorunlara sebep olan kart üzerindeki jumper ayarlarını yapma zorunluluğu ortadan kalkmaktadır.

Bilgisayar:

Deneylerde kullanılan bilgisayar, Windows 2000 işletim sistemine, PentiumIII 733 MHz, 128 Mb sdram, 32 MB ekran kartı ve 30 GB sabit diske sahiptir ve veri toplama kartını da içinde bulundurmaktadır. Uygulamalar için yazılan programlarla elde edilen veriler ve sonuçlar yine bu bilgisayarda saklanmaktadır.



Şekil 4.2 Laboratuvar ölçüm sistemi donanımı

5. DENEY SİSTEMİ İÇİN HAZIRLANAN PROGRAMLAR

5.1 Sanal Enstrüman (Virtual Instrument (VI)) Kavramı

İlk olarak 1980'lerin başında ortaya çıkışından bu yana çok sayıda başarılı mühendis, bilimadamı ve teknisyen uygulamalarında karşılaştıkları sorunlara LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) yazılımı ile çözüm bulmaktadırlar. LabVIEW, veri toplama ve kontrolünde, veri analizi ve veri sunumunda kullanılan, G programlama dili tabanlı grafiksel bir program geliştirme ortamıdır. LabVIEW, içindeki kütüphaneleri ve hazır sanal enstrümanları (virtual instruments, VI) sayesinde kullanıcının istediği sistemi kurarken ihtiyaç duyduğu ve ilerde duyabileceği herşeye sahiptir. Bu yazılımın programlama temelinde sanal enstrüman kavramı ön plandadır [32]. Bütün dünyada her geçen gün daha fazla mühendis, teknisyen, akademisyen ve öğrenci elektrik sinyallerini ölçmek ve birtakım fiziksel değişkenleri kontrol etmek için sanal enstrümanları kullanmaktadır. Hem geleneksel hem de sanal ölçüm aletleri pratikte aynı işlevleri yerine getirirler: Veri toplarlar, bu veriyi analiz ederler ve sonuçları gösterirler. İkisi arasındaki en önemli fark ise esnekliktir. Sanal enstrümanlar kullanıcı tarafından tanımlanırlar; uygulama için gerekli olan donanım, yazılım ve aksesuarlar kullanıcı tarafından bir araya getirilir. Bu yaklaşımın kullanıcıya verdiği esnekliğin bütün özellikleri üretici tarafından belirlenmiştir; dolayısıyla da sabit olan geleneksel cihazlar (voltmetre, osiloskop, sıcaklık ve basınç ölçerler,...) bu esnekliği asla sağlayamazlar. Bu cihazlar kullanıcılar tarafından bir kez, çoğu zaman da büyük paralar ödenerek satın alınır ve ekonomik olabilmesi için belirli bir süre (belki de yıllarca!) kullanılmak zorunda kalınır. Maalesef bu süre zarfında performansta bir artış ya da yeni bir işlevi yerine getirebilme gibi kullanıcı beklentileri geleneksel cihazlar bakımından karşılanamaz [32].

Oysa, PC-tabanlı olduğu için sanal enstrümantasyon, kişisel bilgisayarlar için geliştirilen her türlü teknolojiye anında yararlanabilmektedir. Sanal enstrümantasyon kavramı, durmaksızın gelişen bilgisayar teknolojisi tarafından desteklenmekte ve performansı sürekli olarak artmaktadır. Bu teknolojinin yararları ve gelişme potansiyeli kullanıcıların gün geçtikçe artan bir hızla geleneksel yaklaşımlar yerine sanal enstrümantasyonu tercih etmelerine yol açmaktadır. Özellikle günümüz bilgisayarlarının sürekli gelişen fiyat/performans

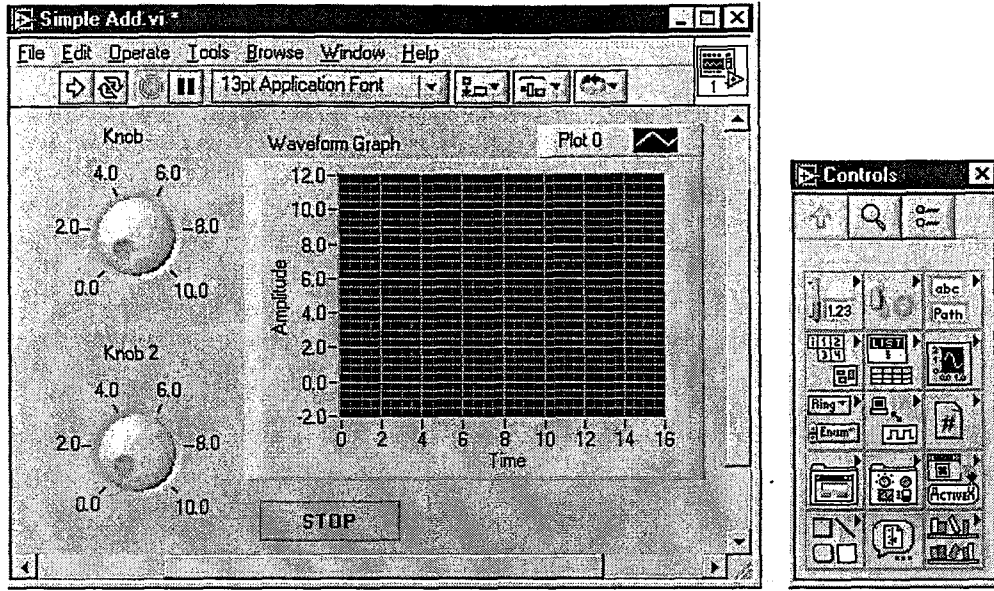
oranları, pahalı ve esnek olmayan geleneksel ölçüm ve test sistemleri yerine sanal enstrümanların ekonomik olarak daha uygun olmalarını sağlamaktadır. Sanal enstrümantasyon bir anlayış veya akımdan daha fazlasıdır; gerçekte endüstride gözle görülür sonuçları olan kavramdır. Bu yeni yaklaşımda kullanıcılar sınırlı, esneklikten uzak, çoğu zaman da maliyeti yüksek olan tek (veya belirli sayıda) işleve sahip cihazlarla çalışmalarını yürütmek zorunda kalmak yerine, tamamen kendi uygulamalarına özel, tüm ihtiyaçlarını karşılayabilen, gerektiğinde bambaşka işlevleri yüklenmek üzere yeniden programlanabilen enstrümantasyon çözümleri üretebilmektedirler [32].

LabVIEW temel olarak ön ve arka panel olarak adlandırılan iki arayüzden oluşmaktadır. Bu arayüzler birbirine bağımlıdır. Yazılım ile sistemin aktif kontrolünü sağlayan kullanıcı, ön paneli kolaylıkla oluşturulabilir ve buna bağlı olarak da programlama için gerekli blok diyagramları arka panelde istenilen şekilde oluşturulabilir. Ayrıca yazılım ile kullanıcılar kendi özel sanal enstrümanlarını yaratabilirler.

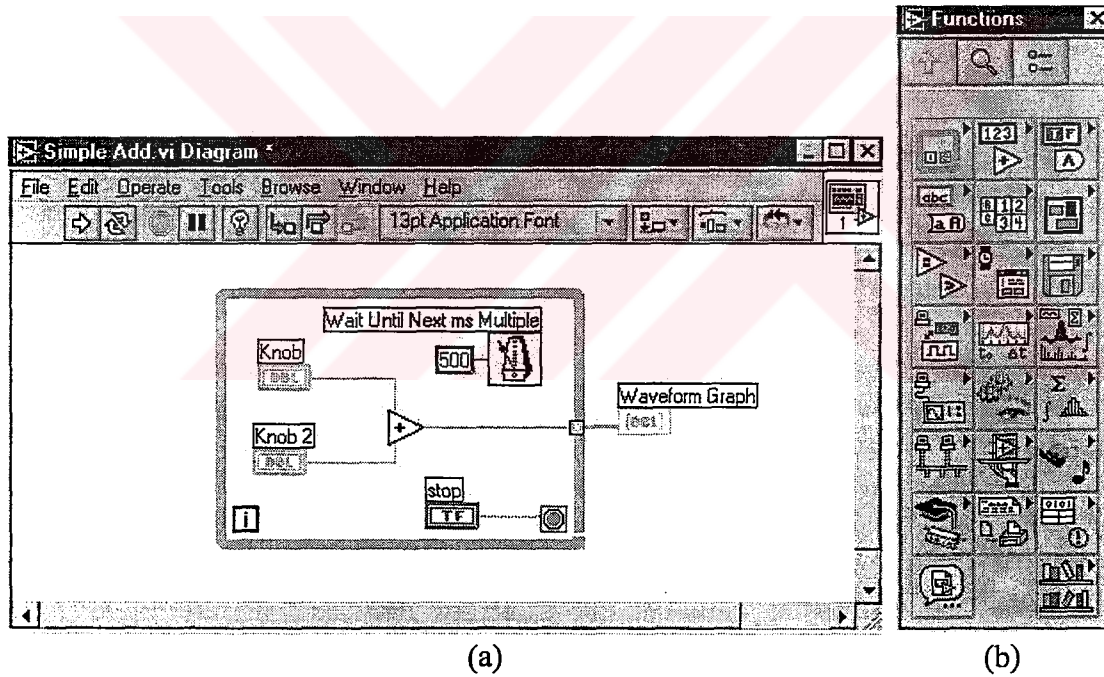
Ön panel oluşturma: Kullanıcı oluşturacağı Sanal enstrümanın'ın ön paneline, kontrol paletinden seçeceği sayısal göstergeleri, ölçekleri, metreleri, termometreleri, LED'leri, çizelgeleri, grafikleri ve daha fazlasını yerleştirebilir. Herşey tamamlandığında kullanıcı çalışan sanal enstrümanını bir anahtar tıklayarak, bir sürgüyü oynatarak, grafiğe zoom yaparak veya klavyeden bir değer girerek, ön panelden rahatlıkla kontrol edebilir. Şekil 5.1'de kullanıcı tarafından girilen iki sayının toplamını grafik olarak gösteren programın ön paneli ve kontrol paleti görülmektedir.

Arka panelde grafiksel tabanlı blok diyagram oluşturma: Kullanıcı VI'ını programlarken, bilinen metin tabanlı programlarda ortaya çıkan pek çok sintatik detayla uğraşmadan, arka paneldeki blok diyagramını rahatlıkla oluşturabilir. Blok diagramda kullanılacak grafiksel nesneler, fonksiyonlar (Functions) paletinden seçilerek ve aralarındaki bağlantılar sanki bir devre şeması çiziyormuş gibi bir bloktan diğerine görsel anlamda çizgi çekilerek yapılır. Bu da daha önce de bahsedildiği gibi programlamayı önemli ölçüde basitleştirir. Arka planda kullanılan bu blokların içeriği basit aritmetik fonksiyonlardan, ileri düzeyde veri toplama ve analiz işlemlerine, network, web ve dosya giriş/çıkış tabanlı işlemlere kadar çeşitlilik göstermektedir. Şekil 5.2(a)'da, Şekil 5.1(a)'da ön paneli görülen

toplama programının arka paneli, Şekil 5.2(b)'de ise fonksiyon paleti görülmektedir



Şekil 5.1 LabVIEW yazılımı (a) ön paneli ve (b) kontrol paleti



Şekil 5.2 LabVIEW yazılımı (a) arka paneli ve (b) fonksiyon paleti

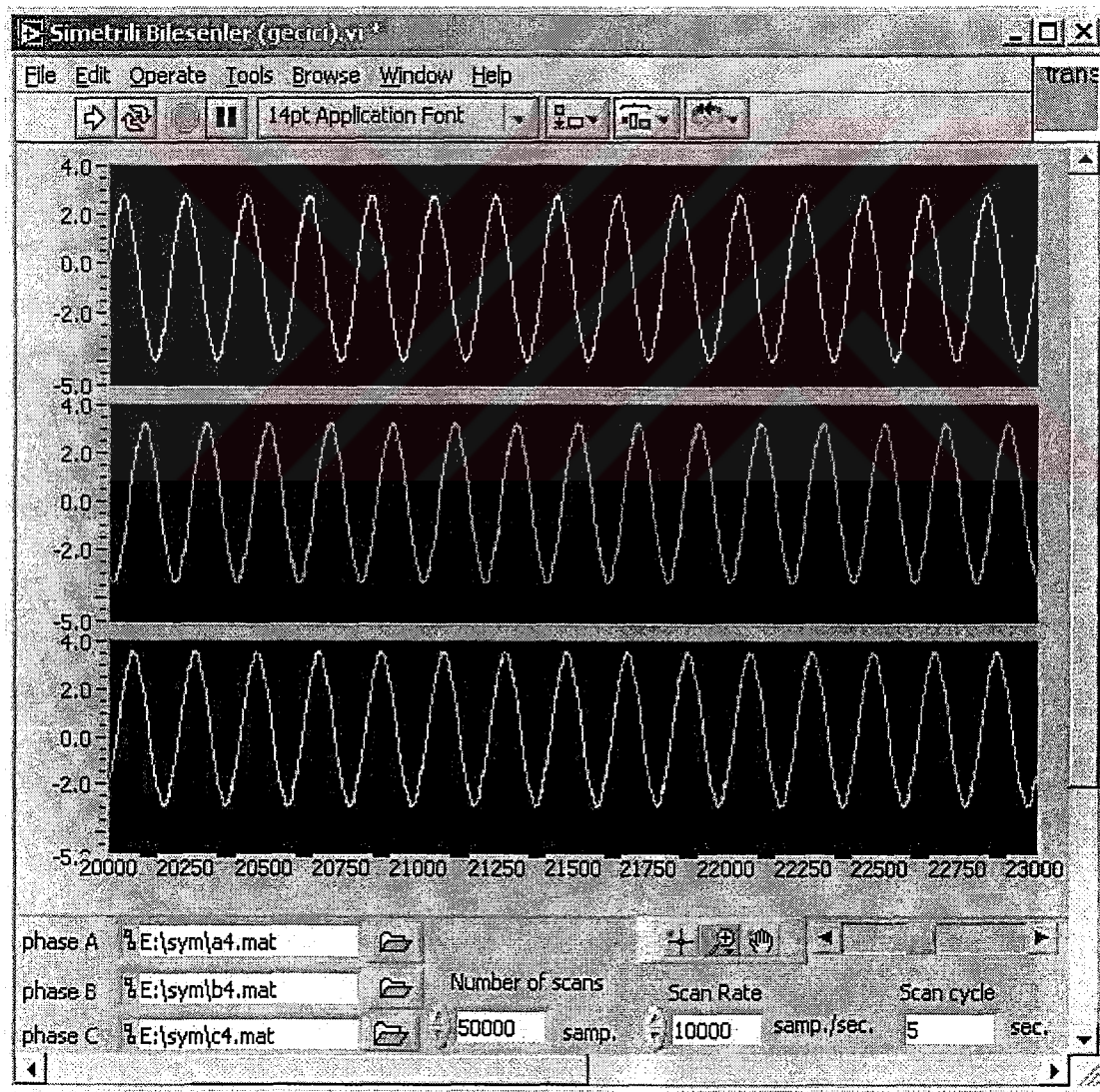
Bu çalışmada; yukarıda tanıtılan, özelliklerine ve diğer yazılımlara göre avantajlarına değinilen LabVIEW yazılımının kullanılması uygun görülmüş ve bu programa ek olarak Dalgacık dönüşümü uygulamasının gerçekleştirilmesinde Sinyal İşleme Araçseti (Signal Processing Toolset) kullanılmıştır. Bu program LabVIEW ile entegre bir biçimde, onunla beraber çalışmaktadır. Sinyal işleme araç seti son kullanıcılara, kullanıma hazır, bağımsız sinyal işleme yeteneği

kazandırmakta ve geliştiricilere de ileri seviyede Sayısal Sinyal İşleme (Digital Signal Processing) araçları sağlamaktadır [34].

5.2 LabVIEW Yazılımında Hazırlanan Deney Seti Programları

Bu çalışmada, enerji kalitesi analizi için LabVIEW yazılımıyla toplam beş adet program yazılmıştır. Şekil 5.3'te ön paneli bulunan ilk program, DAQ kartındaki üç analog giriş kanalından aldığı verileri gerçek zamanda kullanıcıya grafik olarak göstermekte ve bu kanal bilgilerini yazılan diğer programlarda kullanılmak üzere üç ayrı dosyaya kaydetmektedir.

Ön panel incelenecek olursa, 50000 örnek 10000 örnek/saniyelik bir hızla 5 saniye süresince toplanmıştır. Kullanıcı manuel olarak istediği değerlerde bu ölçüleri değiştirebilir. Sonuçta 5 saniye boyunca toplanan veriler, ön panelin sol alt köşesinde dosya yolları gösterilen kısma üç farklı dosya olarak kaydedilmiştir.



Şekil 5.3 Analog veriyi 3 ayrı kanaldan toplayıp 3 farklı dosyaya kaydeden program

Phase A: A fazının kaydedileceği dosya yolu

Phase B: B fazının kaydedileceği dosya yolu

Phase C: C fazının kaydedileceği dosya yolu

Number of scans: Her ölçümde taranan toplam örnek sayısı

Scan rate: 1 saniyede toplanan örnek sayısı

Scan cycle: Örnek toplama işleminin süresi

Yazılan programlardan ikincisi, Şekil 5.4'te ön paneli görülen Dalgacık.vi isimli programdır. Bu program gerçek zamanda dört seviyeli çoklu çözünürlü ayrıştırma ve Dalgacık dönüşümü yapabilen, ayrıca da dönüşüm sonucu elde edilen verileri kaydedebilen sanal bir enstrümandır. Ön panelde bulunan kısımlar adım adım açıklanacak olursa;

A0 grafiği: Sol tarafında A0 yazan bu grafik, Dalgacık dönüşümü uygulanacak olan giriş sinyalini göstermektedir.

A4 grafiği: Dördüncü seviyedeki ayrıştırma katsayılarının grafiğini göstermektedir.

D4, D3, D2, D1 grafikleri: Dördüncü ve daha alt seviyelerdeki detay katsayılarını göstermektedirler.

AI channels: Giriş sinyalinin bilgi toplama kartı arabirimi üzerindeki hangi analog giriş kanalından alınacağı kullanıcı tarafından seçilir. Bu programda sinyal, Channel-0 isimli birinci analog giriş kanalından toplanmıştır.

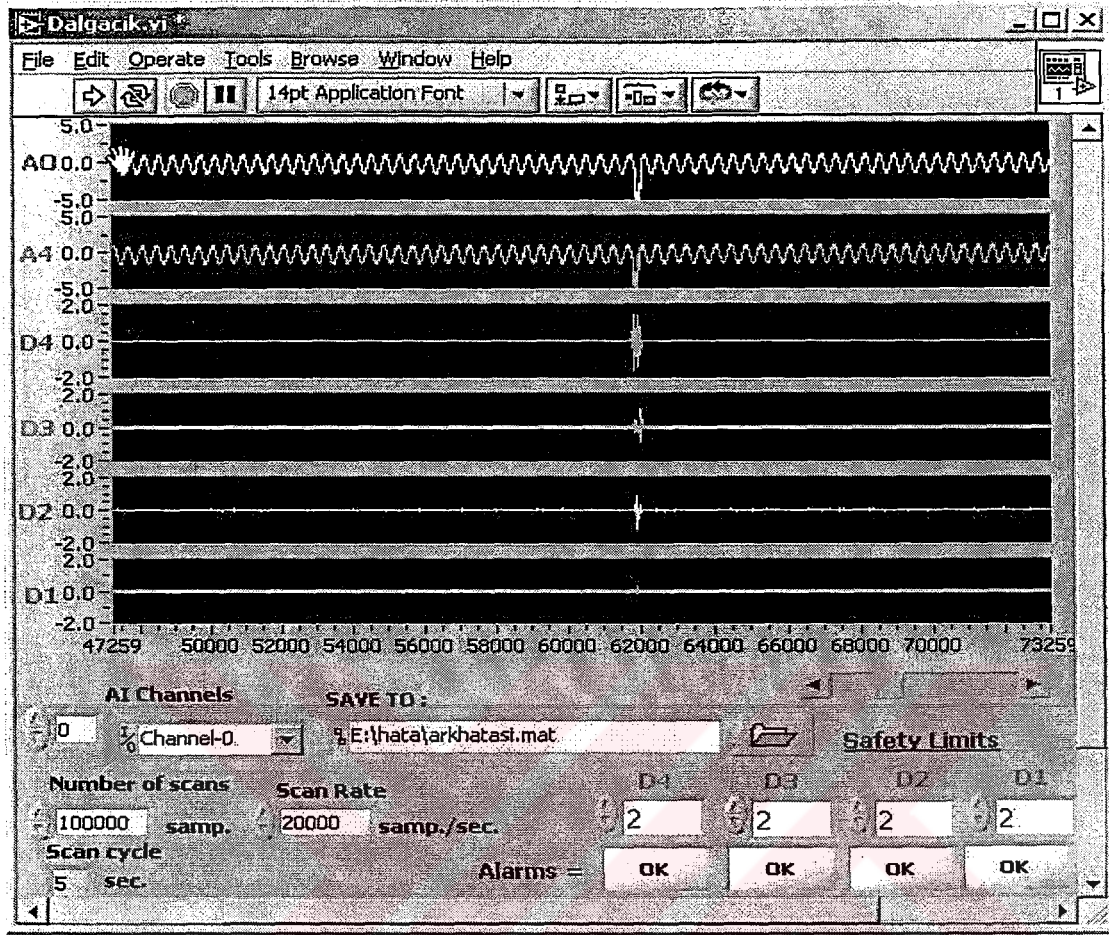
Number of scans: Kullanıcı tarafından bir ölçüm boyunca toplam kaç örnek alınacağı isteğe göre bu kısımda belirlenir. Bu çalışmada her ölçüm boyunca analiz için 100000 örnek sistemden toplanmıştır.

Scan rate: Kullanıcının isteğine bağlı olarak bir saniyedeki örnek toplama sayısını gösterir ve 20000 örnek/ saniye değeri bu çalışmada seçilmiştir.

Scan cycle: Veri toplama ve analiz işleminin ne kadar süreceğini gösterir. Saniyede 20000 örnek toplanırsa; 100000 örnek, 5 saniyelik bir zaman dilimini kapsar. Program 5 saniye çalıştıktan sonra otomatik olarak durmaktadır. Bu durma süresi isteğe bağlı olarak artırılıp azaltılabilir.

Save to: Bu kısım, sistemden toplanan verilerin ve Dalgacık dönüşümü sonucu elde edilen bilgilerin bilgisayara toplam 6 kolon halinde 6x100000'lik matris şeklinde kaydedilmesini sağlar. Kaydetmenin yapılmasındaki amaç; gerçek zamanda elde edilen gerçek sistem verilerinin daha sonra yapılabilecek farklı

uygulamalar için tekrar kullanılmasını sağlamaktır. Bir nevi arşiv oluşturma denilebilir.



Şekil 5.4 Gerçek zamanda Dalgacık dönüşümü yapan Dalgacık.vi programı

Safety limits: Bu bölümde detay katsayılarının mutlak limitleri kullanıcı tarafından belirlenir ve programın çalışması esnasında bu limitler aşılsa alarmlar kısmındaki alarmlar kullanıcıyı uyarır. Sistemde oluşturulan farklı tipteki hatalar veya anlık olaylar için farklı limit değerleri seçilerek farklı standartlar oluşturulabilir.

Alarms: Buradaki yanıp sönen lambalar vasıtasıyla sistemin limitler dahilinde düzgün çalışıp çalışmadığı kullanıcıya bildirilir. Seçilen limit değerlerine göre detay katsayıları limitten küçükse “OK”, büyükse “Warning” şeklinde kullanıcı lambalar tarafından uyarılır.

İkinci programın en önemli özelliği, incelenen giriş sinyalinin gerçek bir alçak gerilim deney setinden alınmış olması ve anlık olarak gerçek zamanda Dalgacık dönüşümüyle çıktılarının gözlenmesidir. Bu yönüyle daha önce literatürde yapılmış olan çalışmalardan farklılığını ortaya koymaktadır.

Tezde yazılan üçüncü LabVIEW programı ise ön paneli Şekil 5.5'te gösterilen Dalgacık (dosyadan okuma).vi isimli sanal enstrümandır. Bu program, daha önce anlatılan Şekil 5.3'teki ilk program yardımıyla üç farklı dosyaya kaydedilmiş bilgilerden herhangi bir dosyada bulunanları incelemek için yazılmıştır.

Yine burada ikinci programda olduğu gibi 4 seviyeli çoklu çözünürlü ayrıştırma ve Dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Farklı olarak gerçek zamanda çalışmak yerine dosyadan okunan bilgiler analiz edilmiştir. Programın kısımları şunlardır:

Total samples: İncelenecek olan toplam örnek sayısı

Sample: O anda kaçınıcı örneğin incelendiği

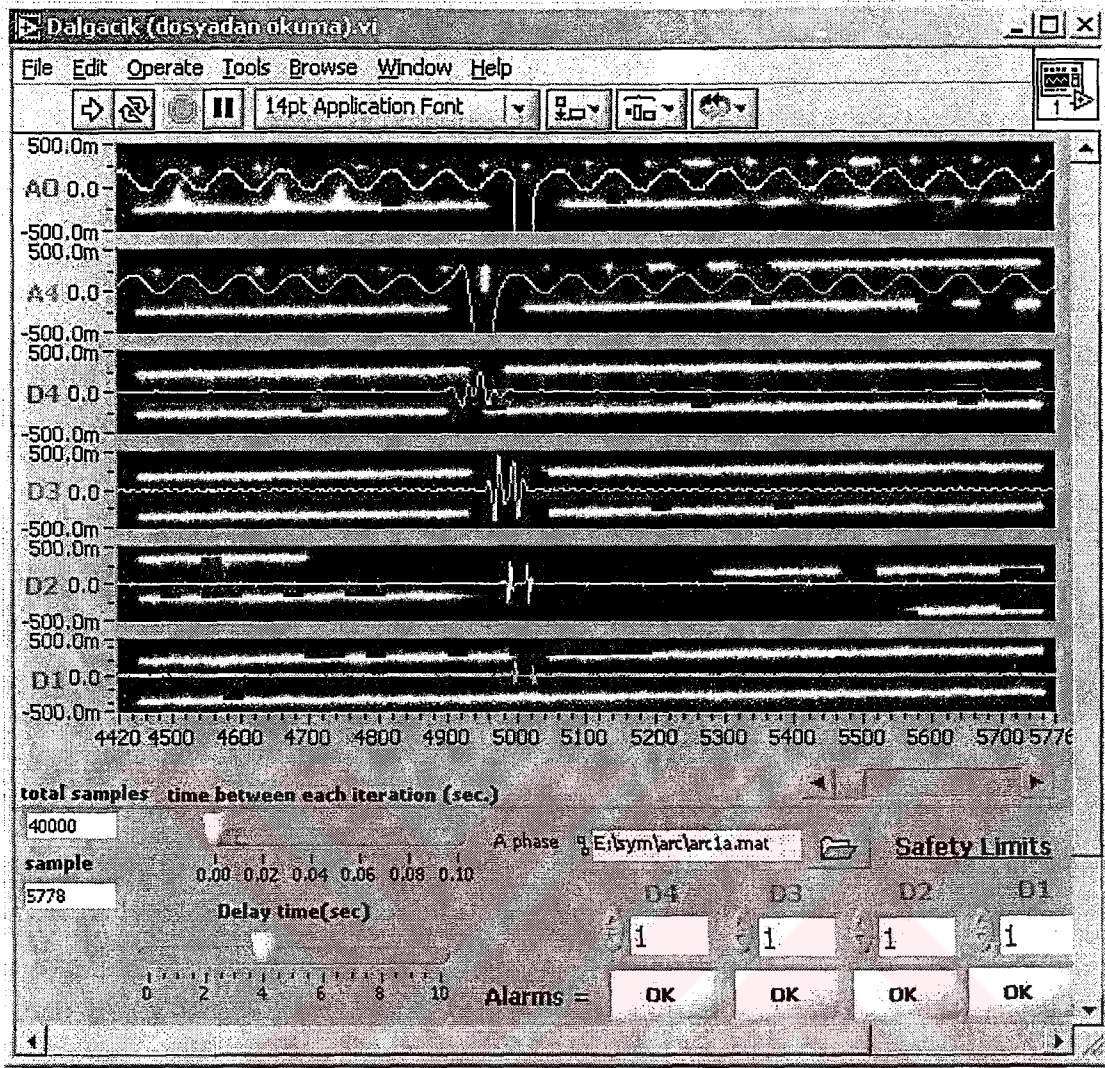
A Phase : A0 dalga şeklinin okunacağı dosya yolu

Safety limits: Alarm lambalarının yanmaması için kullanıcının seçtiği limit

Alarms: Buradaki yanıp sönen lambalar vasıtasıyla sistemin limitler dahilinde düzgün çalışıp çalışmadığı kullanıcıya bildirilir. Seçilen limit değerlerine göre detay katsayıları limitten küçükse "OK", büyükse "Warning" şeklinde kullanıcı lambalar tarafından uyarılır.

Time between each iteration: Kullanıcının meydana gelecek olan değişiklikleri rahatça izleyebilmesi için herbir örneğin ardarda gösterimleri arasındaki geçen zamanı ifade eder.

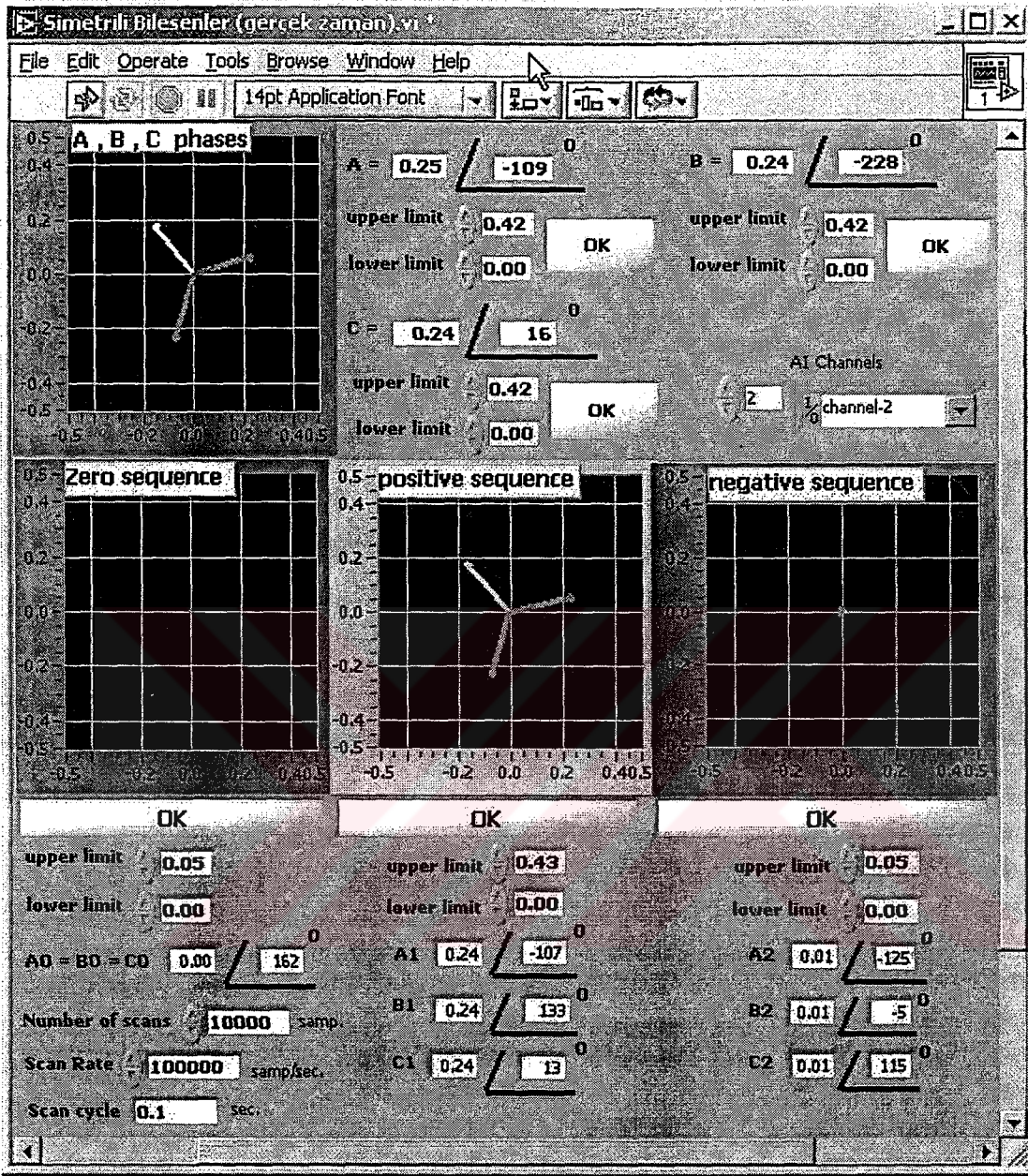
Delay time: Programın alarm verdikten sonraki bekleme süresini gösterir.



Şekil 5.5 Dosyadan okuduğu verilerin detay ve yaklaşık katsayılarını gösteren program

Tezde yazılan dördüncü LabVIEW programı ise ön paneli Şekil 5.6'da gösterilen Simetrik bileşenler (gerçek zaman).vi isimli sanal enstrümandır. Bu program, Bölüm 4.2'de anlatılan bilgi toplama kartı arabirimi yardımıyla üç kanaldan aldığı analog bilgileri gerçek zamanda Simetrik bileşenlerine çevirerek kullanıcıya görsel olarak sunmaktadır. Şekil 5.6'ya bakılacak olursa, en üstte girişteki 3 fazı gösteren 1 adet grafik ve onun altında ise bu fazların sırasıyla sıfır, pozitif ve negatif bileşenlerini gösteren 3 adet grafik bulunmaktadır. Bu grafiklere ek olarak ise her bir fazın kendisini ve Simetrik bileşenlerini genlik ve faz açısı cinsinden ifade eden fazör göstergeleri ön panelde yer almaktadır. Programı bazı şartlara bağlı olarak durdurabilmek için her bir fazörün mutlak genliğine bağlı olan alt ve üst limit eğerleri kullanıcı tarafından seçilebilmektedir. Fazör genlikleri bu limit değerler arasında olduğunda alarm lambaları "OK" biçiminde

yanmakta, bu değerlerin dışına çıktığında ise “Warning” biçiminde yanarak kullanıcıyı uyarmaktadır.



Şekil 5.6 Gerçek zamanda Simetrik bileşenleri gösteren sanal enstrüman

Önceki programlardan farklı kısımları şunlardır:

Upper limit: Alarm lambalarının yanmaması için olması gereken üst limiti gösterir.

Lower limit: Alarm lambalarının yanmaması için olması gereken alt limiti gösterir.

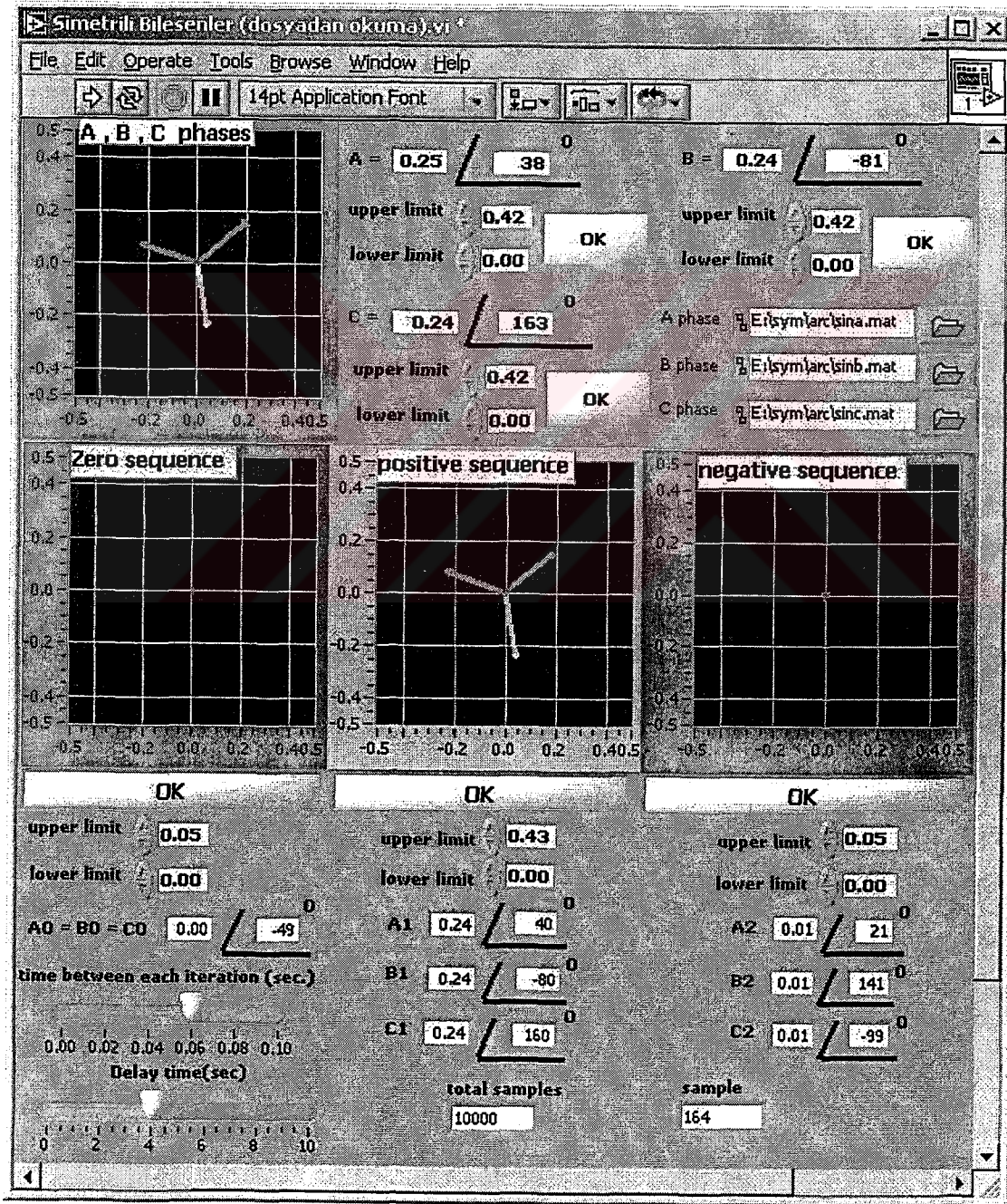
AI channels: Girişte kullanılan analog giriş kanallarının kullanıcı tarafından seçilmesini sağlar

Number of scans: Her ölçümde toplam kaç örneğin tarandığını gösterir

Scan rate: 1 saniyede toplanan örnek sayısını gösterir

Scan cycle: Ekrandaki grafiklerin değişim zamanını gösterir.

Beşinci ve son program ise ilk programda üç farklı dosyaya kaydedilen bilgileri okuyarak, kullanıcıya bu verilerin Simetrik bileşenlerini hem fazör hem de grafiksel olarak görme imkanı tanır. Şekil 5.7'de görüldüğü gibi program ufak değişiklikler dışında Şekil 5.6'daki programın aynısıdır. Önceki program gerçek zamanda çalışırken bu program verileri dosyadan okumaktadır.



Şekil 5.7 3 farklı dosyadan okuduğu veriyi Simetrik bileşenlere çeviren program

Program bazında diğer programlardan farklı olan kısımlar şu şekilde sıralanabilir;

Phase A: A fazının okunacağı dosya yolu

Phase B: B fazının okunacağı dosya yolu

Phase C: C fazının okunacağı dosya yolu

Total samples: Programın çalışması süresince okunacak toplam örnek sayısı

Sample: Çalışma sırasında kaçınıcı örneğin okunduğunu gösterir

Time between each iteration: Kullanıcının meydana gelecek olan değişiklikleri rahatça izleyebilmesi için herbir örneğin ardarda gösterimleri arasındaki geçen zamanı ifade eder.

Delay time: Programın alarm verdikten sonraki bekleme süresini gösterir.



6. DENEY SİSTEMİNDE OLUŞTURULAN GEÇİCİ VE ANLIK OLAYLAR

Bu çalışmada; enerji kalitesi analizi yapmak amacıyla kurulan deneysel enerji dağıtım sistemi sayesinde, araştırmacılara gerçek sistem verilerinin toplanarak bunların analiz edilmesi imkanı doğdu. Sistem verilerinin toplanıp hem Dalgacık dönüşümü hem de Simetrik bileşenler yöntemiyle analiz edilebilmesi için Bölüm 5.2’de anlatılan beş adet sanal enstrüman kullanıldı. Enerji kalitesi analizi için gerekli olan veriler, deney sisteminde farklı özelliklerde olaylar oluşturularak elde edildi. Farklı özelliklerdeki bu enerji kalitesi olaylarını oluşturabilmek için laboratuvarında bulunan bilgisayar güç kaynağı, ısıtıcılar, RL yük devresi, birisi tek diğeri 3 fazdan beslenen iki adet 3 faz motor ve bu motorların sürücülerini çeşitli konfigürasyonlarda sisteme bağlandılar. Sistemde oluşturulan bu olayların detaylı açıklaması Ek-6’da verilmiştir. Laboratuvarındaki cihazların farklı konfigürasyonlardaki bağlanmalarına ek olarak, anahtarlar vasıtasıyla fazlar arasında ve faz ile toprak arasında ark hataları, motorların sürücüsüz olarak çalıştırılması gibi çeşitli enerji kalitesi olayları oluşturuldu.

Deney sisteminde oluşturulan enerji kalitesi olayları incelenecek olursa; beklenen durumlar şu şekilde belirtilebilir; ilk durum, bilgisayar güç kaynağının ve motor sürücülerinin kullanılması sonucunda bunların bağlı oldukları fazların yüksek frekanslardaki anahtarlamalardan dolayı harmonik kirlenmeye uğramalarıdır. Ayrıca fazlar arasındaki veya faz-toprak arasındaki ark hataları sonucunda bu fazlardaki akımların aniden yükselmesi ve gerilimlerinin akıma bağlı olarak düşmesi de diğeri bir duruma örnek olarak verilebilir. Bir başka durum ise 3 fazlı ve yüklü motorun sürücüsüz olarak çalıştırılması anında fazlarda oluşan ani akım yükselmeleri ve gerilim düşmeleridir. Bunlar gibi sistemde oluşturulan olaylar çok çeşitli biçimde sınıflandırılabilir.

Bu çalışmada oluşturulan çeşitli tiplerdeki birçok enerji kalitesi olayı Ek-6’da açıklamaları ile birlikte verilmiştir. Koyu harfle yazılanlar oluşturulan olayların isimleri (**Event1**), isimlerin yan taraflarında bulunanlar olayların açıklamaları (Akım çekebilmek amacıyla sadece ısıtıcılar çalışıyorlarken alınan veriler), olay isimlerinin altındakiler ise olay sonucunda toplanan verilerin özelliklerini göstermektedirler (Event1_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları,

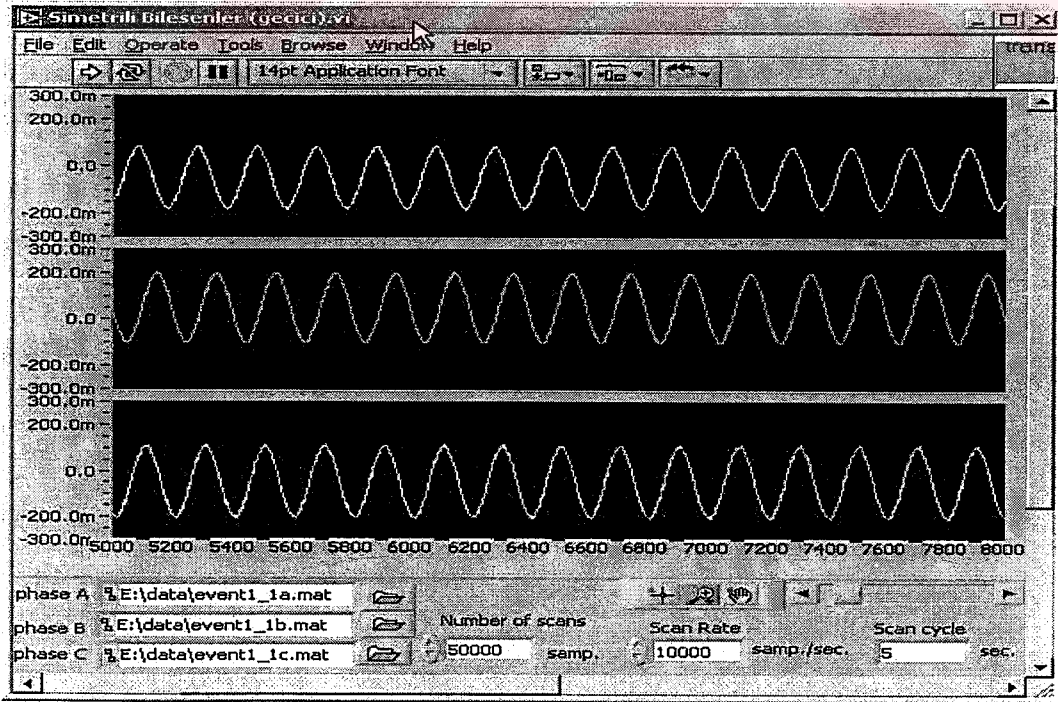
Event1_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri, Event1_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri).

Bu çalışmada, Ek-6'da anlatılan farklı özellikteki olayların enerji kalitesinin incelenmesi ve bunun sonucunda sınıflandırılmaların yapılması; Dalgacık dönüşümü ve Simetrik bileşenler yöntemiyle sağlandı. Ek-6'da anlatılan herbir farklı olaya ait verinin hem Dalgacık dönüşümüyle hem de Simetrik bileşenlerle analizi için Bölüm 5.2'de anlatılan programlardan üç tanesi kullanılmıştır. Bunlar; verilerin üç kanaldan toplanıp üç farklı dosyaya kaydedildiği birinci program, verileri kaydedildikleri dosyadan okuyup Dalgacık dönüşümüyle analizini yapan üçüncü program ve son olarak ise verileri dosyadan okuyup Simetrik bileşenlerini gösteren beşinci programdır. İlk programın kullanılmasının amacı; herbir olaya ait aynı verinin hem Dalgacık dönüşümüyle hem de Simetrik bileşenlerle analiz edilebilmesi içindir. Deney sisteminde oluşturulan ve 2 farklı yöntemle incelenen olayların herbirinden üç farklı veri (faz akımları, faz-nötr gerilimleri, faz-faz gerilimleri) üç ayrı kanaldan (a, b ve c fazları) alınmıştır. Bu verilerin toplanıp incelenmesi için birinci programın üç defa (faz akımları, faz-nötr gerilimleri, faz-faz gerilimleri için) çalıştırılması, üçüncü programın dokuz defa (her bir faz verisinin Dalgacık dönüşümüyle analizi için) çalıştırılması ve son olarak ise beşinci programın üç defa (faz akımları, faz-nötr gerilimleri, faz-faz gerilimlerinin Simetrik bileşenleri için) çalıştırılması gerekir. Herbir olay için toplam on beş ayrı grafik elde edilir. Bu olayların hepsine burada değinilemeyeceğinden dolayı, bu olaylar içinde en temel özelliklere sahip dört adet olay seçilip analiz edildi ve sonuçları ortaya konulup yorumlandı.

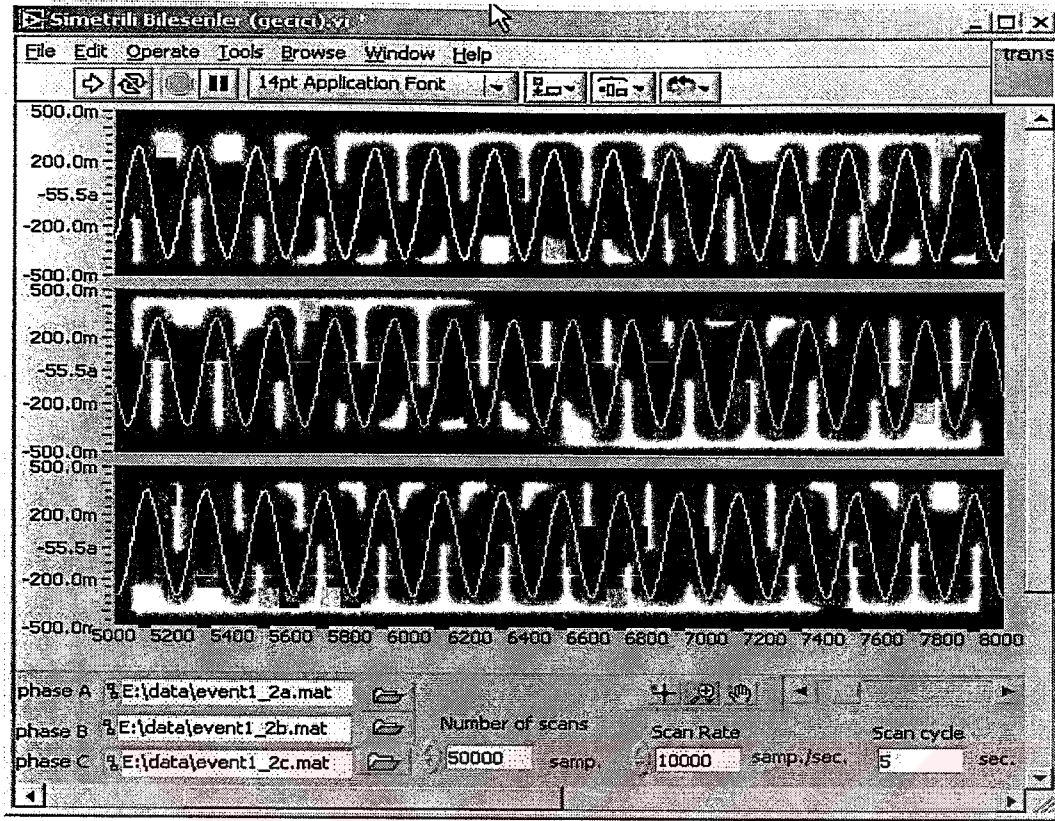
Olay 1

Ek-6'da Event1 isimli bu olayda hiçbir hata yada enerji kalitesini bozucu cihaz kullanılmadan sistem verileri toplanıp incelendi. Sistemde sadece herbir faza ayrı ayrı bağlı olan ısıtıcılar vardır; bunların kullanılmasının sebebi, belirgin ve yüksek akım çekebilmek içindir. Bu ısıtıcılar resistif yük olduklarından enerji kalitesini bozucu etki yapmazlar. Burada incelenen olay, aslında kaliteli bir enerjinin göstergesi olabilecek ve diğer olayların incelenmesi esnasında verilerin referans olarak kullanılabileceği bir eşik olaydır. Bu olaydan elde edilen referans verilerin grafikleri incelenirse; Şekil 6.1 olay esnasındaki sırasıyla a, b ve c faz akımlarını, Şekil 6.2 faz-nötr gerilimlerini (a-n, b-n, c-n) ve Şekil 6.3 ise faz-faz

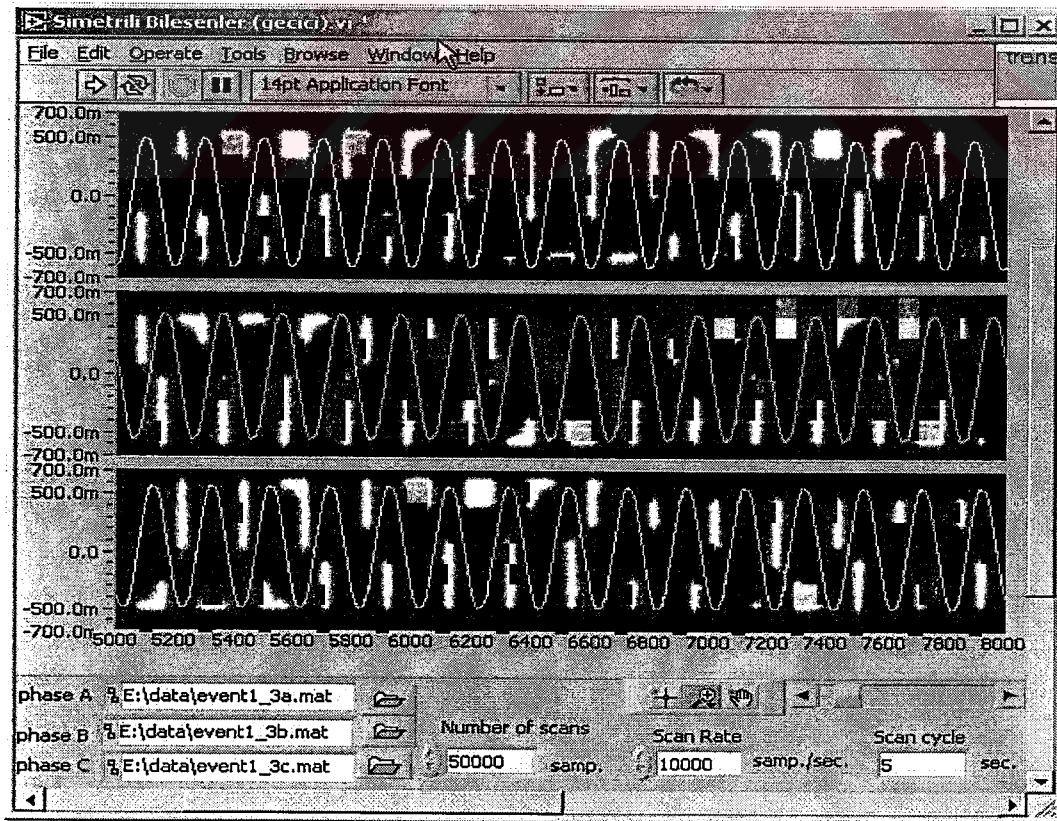
gerilimlerini (a-b, b-c, c-a) göstermektedir. Bu şekiller, olay esnasında sistemden toplanan girdi verilerini göstermektedir. Şekil 6.4, “a” faz akımının sırasıyla Dalgacık dönüşümü sonucundaki dört seviyeli ayrıntı ve detay katsayılarını göstermektedir. Şekildeki A0 ve A4 katsayı grafikleri, çözünürlük ve çok sayıda verinin (50.000 örnek) gösterilmesi nedeniyle anlamsız gözükebilir. Aslında A0 sinyali Şekil 6.1’deki a faz akımının kendisidir ve görüldüğü gibi ideal sinüs eğrisine yakındır. Bu sebeple Şekil 6.4’teki detay katsayıları sıfıra yakındır. 15mA olan limit değerleri aşılmamış ve bunun sonucunda da programdaki alarmlar uyarı vermemişlerdir. Diğer faz akımları ve gerilimleri de bu şekilde olduklarından gösterilmelerine gerek duyulmadı. Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7 ise sırasıyla faz akımlarının, faz-nötr ve faz-faz gerilimlerinin Simetrik bileşenlerini hem grafik hem de fazör olarak göstermektedirler. Faz akımları için 0.11 A, faz-nötr gerilimleri için 0.23 V ve faz-faz gerilimleri için 0.39 V RMS genlik değerleri bundan sonraki enerji kalitesizliklerinde referans olarak kullanıldı. Yaklaşık olarak; 0.11 değeri 7.5 Ampere, 0.23 değeri 220 Volta ve 0.39 değeri ise 380 Volta denk gelmektedir. Ayrıca her bir sistem, yaklaşık olarak dengeli olduğu için a, b ve c değerleri sadece pozitif ardışık bileşende görülmektedir. Negatif ve sıfır bileşenleri ise yok denecek kadar küçük değerdedirler. Faz farkı olarak sistemler dengelidirler ve aralarında 120^0 faz farkı bulunmaktadır.



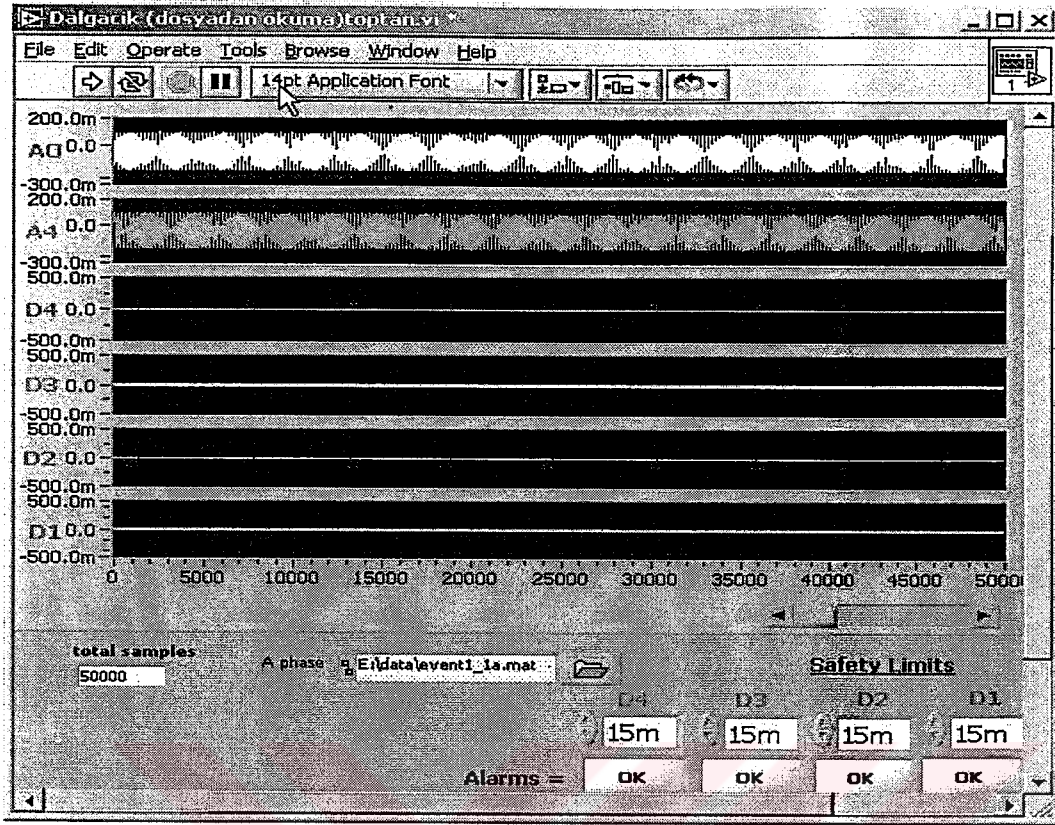
Şekil 6.1 Olay 1’in faz akımları grafiği



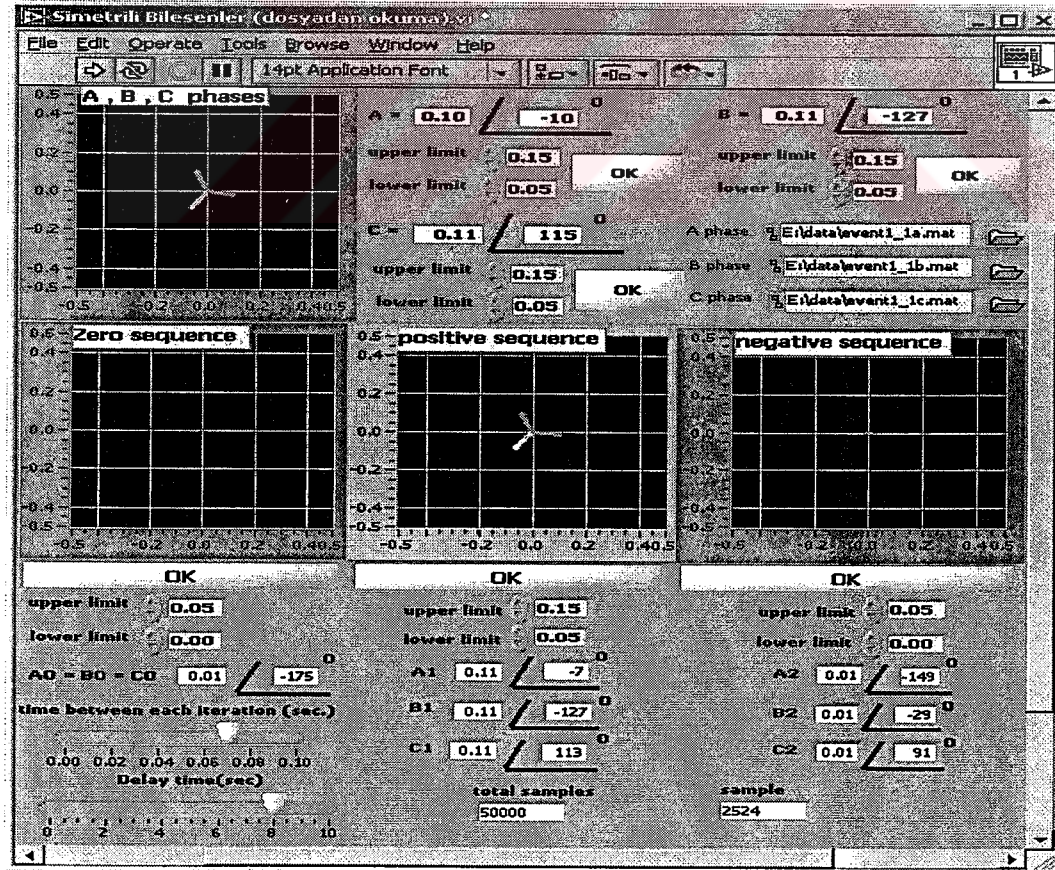
Şekil 6.2 Olay 1'in faz-nötr gerilimleri grafiği



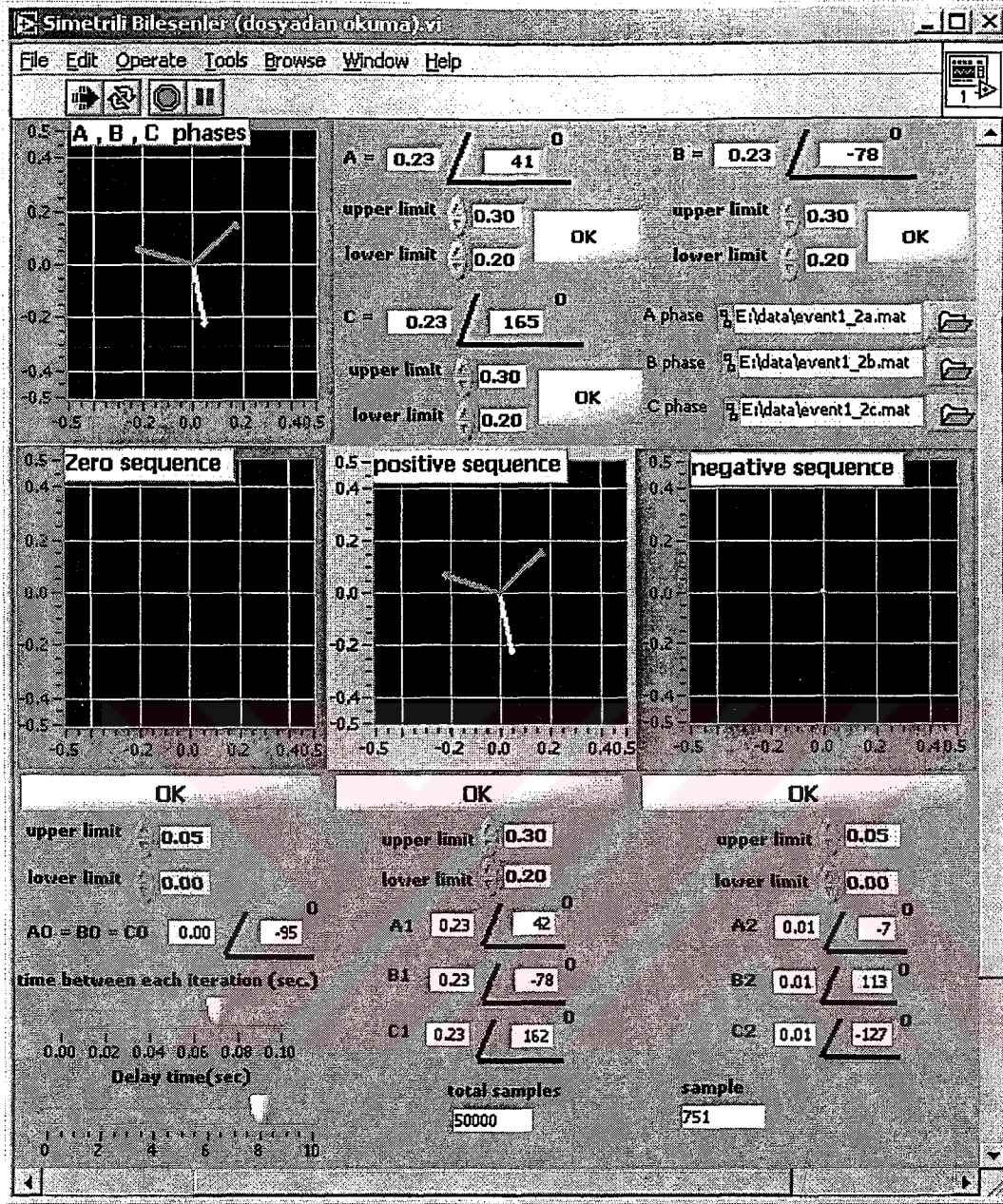
Şekil 6.3 Olay 1'in faz-faz gerilimleri grafiği



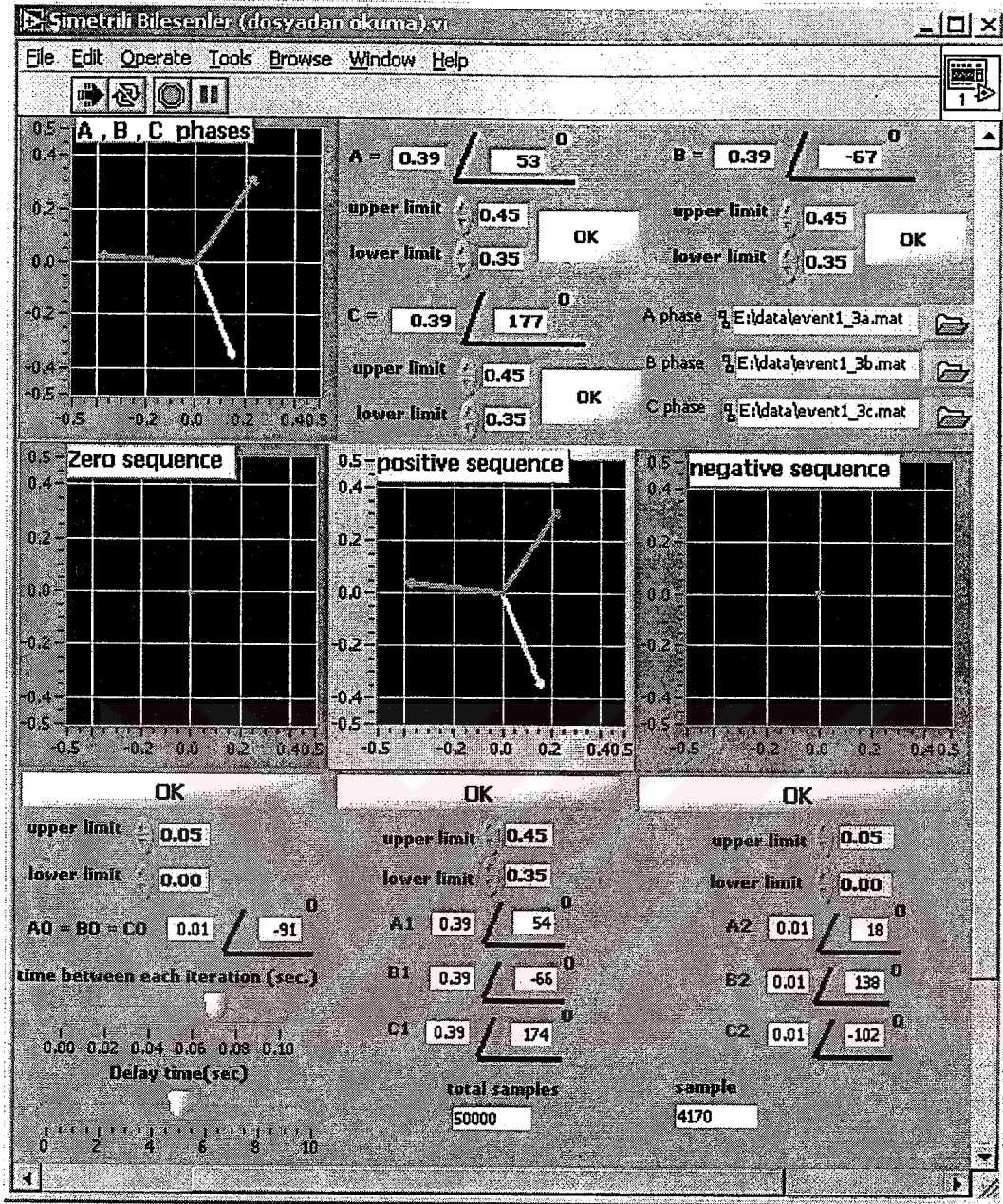
Şekil 6.4 Olay 1'deki a faz akımının ayrıntı ve detay katsayı grafiği



Şekil 6.5 Olay 1'deki faz akımlarının Simetrik bileşenler grafiği



Şekil 6.6 Olay 1'deki faz-nötr gerilimlerinin Simetrik bileşenler grafiği

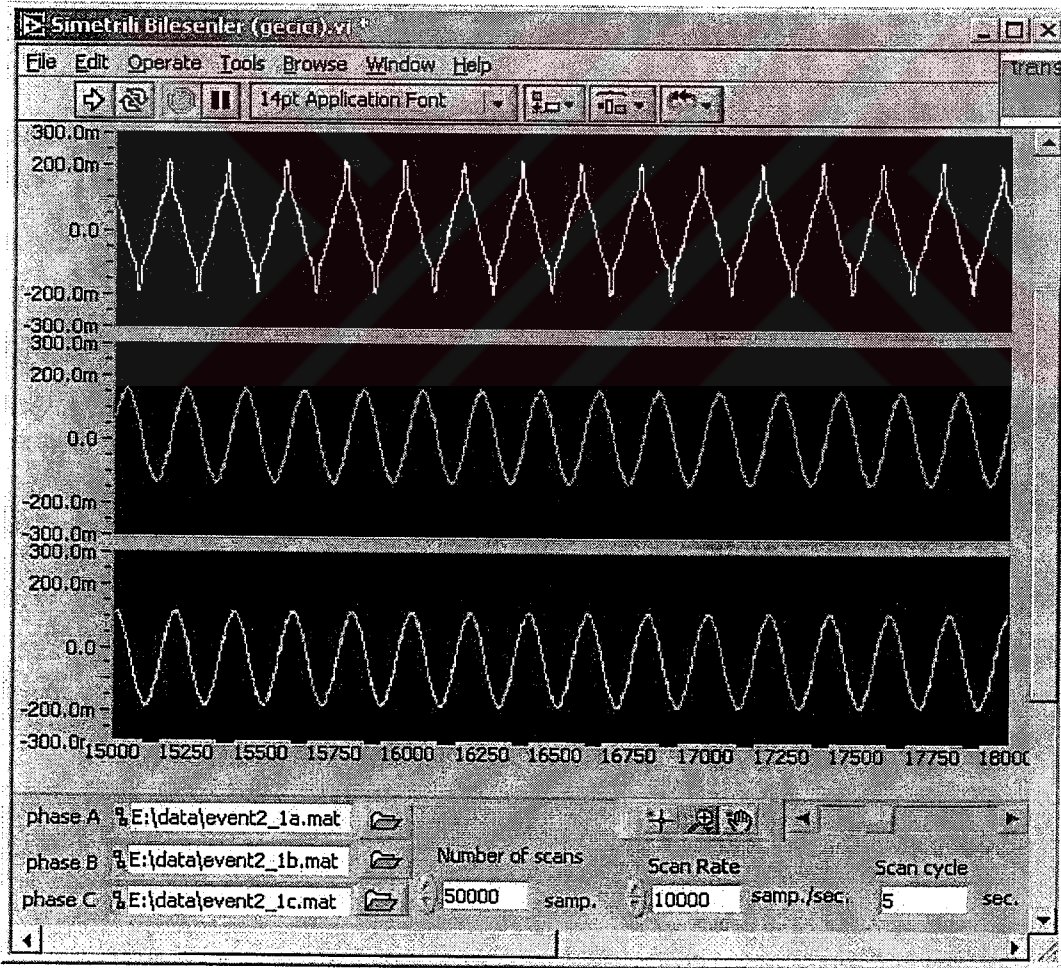


Şekil 6.7 Olay 1'deki faz-faz gerilimlerinin Simetrik bileşenler grafiği

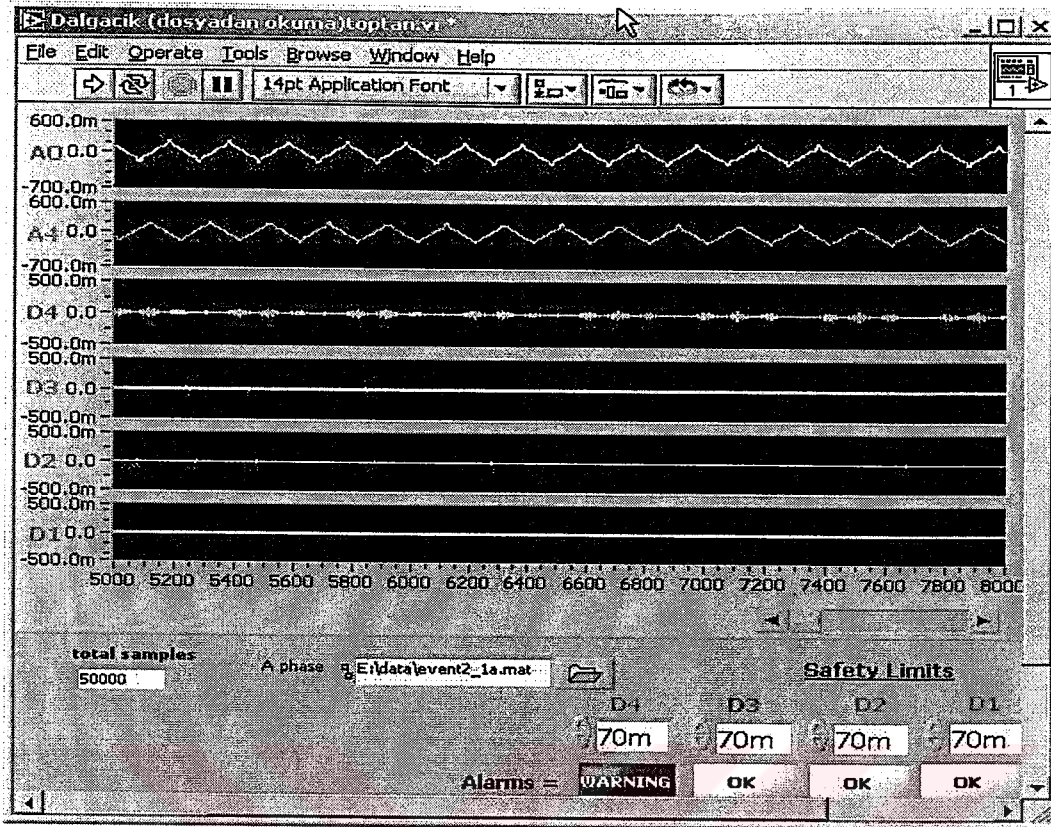
Olay 2

Event2 isimli bu olayda ise ısıtıcılarla birlikte sürücülü olarak a fazına bağlanan, tek fazdan beslenen 3-faz motor kullanıldı. Şekil 6.8'deki faz akımları grafiklerine bakılacak olursa; a fazının akımları bozularak maksimum değerlerinde tepecikler oluşmuş ve bunun sonucunda ideal sinüs eğrisinden sapılmıştır. Bu olayın sebebi, a fazına bağlı olan motor sürücüsünün anahtarlamalardan dolayı şebekeyi harmonik bakımdan kirletmesidir. Diğer faz akımları şekilden de görüldüğü gibi ideal sinüs biçimindedirler ve o fazlarda herhangi bir bozukluk oluşmamıştır. Birinci olay gözönüne alındığında, faz-nötr

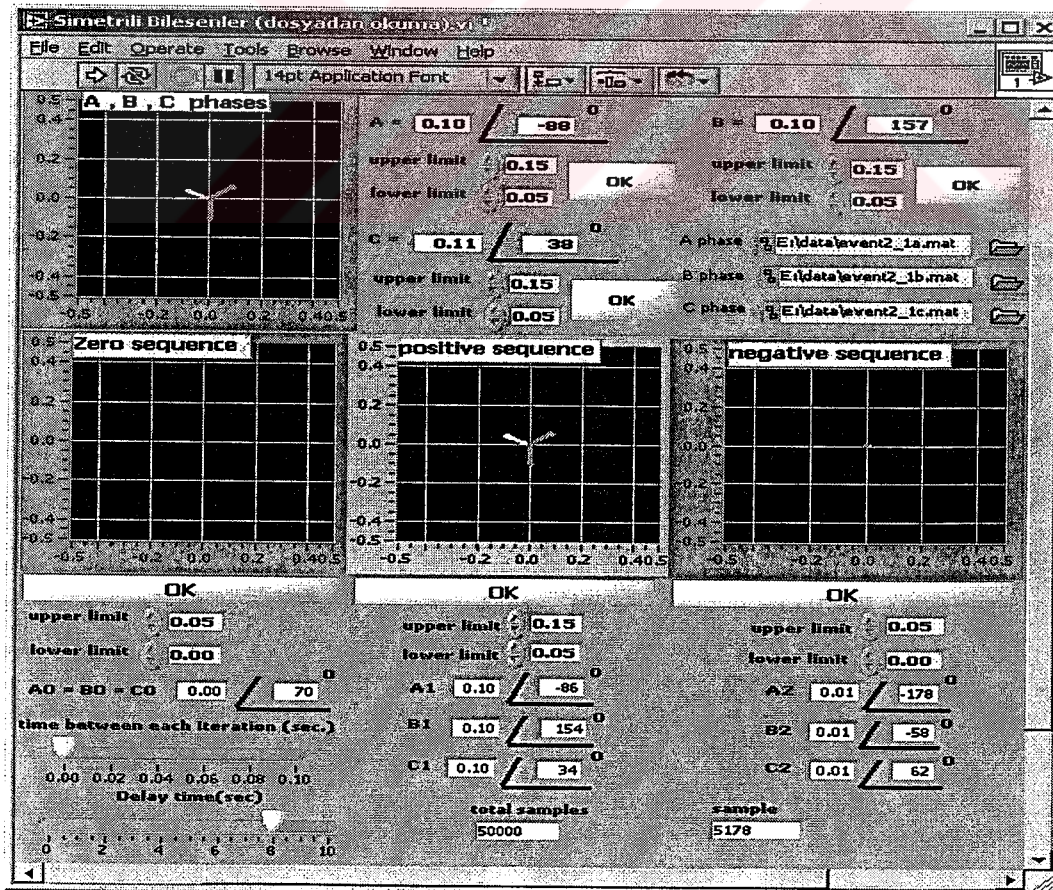
ve faz-faz gerilimlerinde ise belirgin bir değişiklik olmamış ve bu yüzden de şekil olarak gösterilmemişlerdir. Bu olay Dalgacık dönüşümüyle analiz edilerek a fazı için Şekil 6.9'daki katsayılar elde edildi. Dikkat edilirse; dördüncü seviyedeki detay katsayılarında, tepeciklerdeki frekans değişimlerinden dolayı artışlar olmaktadır. Bunun sonucunda 70 mA limit değeri aşılmış ve D4 lambası alarm vermiştir. Diğer faz akımları ve gerilimleri ise ideal sinüse yakın oldukları için bunların sahip oldukları detay katsayıları Olay 1'deki gibi sıfıra yakındır. Şekil 6.10'daki faz akımlarının Simetrik bileşenlerine bakılacak olursa; a fazında sürücü kullanılmasının genlik ve faz açısı olarak Simetrik bileşenlere belirgin bir etkisi olmadığı açıkça görülmektedir. Akımların genlik ve faz farkları Olay 1'deki gibidir. Ayrıca gerilimlerin de Simetrik bileşenleri Olay 1'deki gibi referans değerlerindedir.



Şekil 6.8 Olay 2'nin faz akımları grafiği



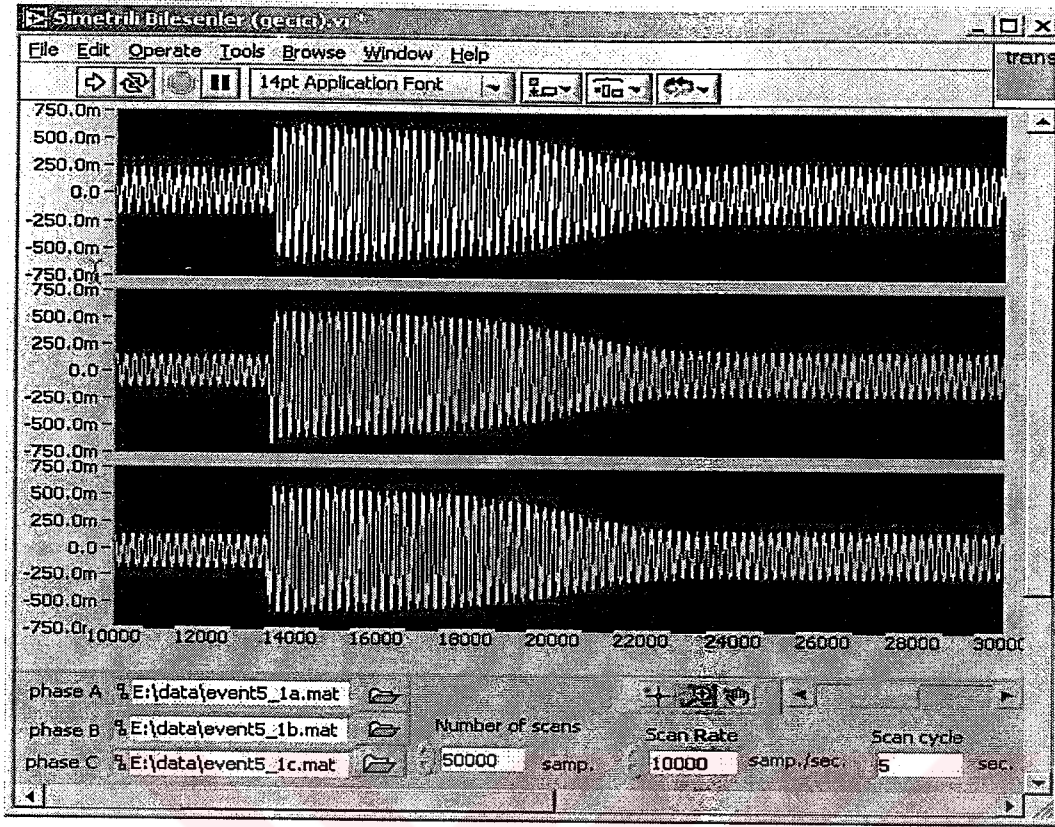
Şekil 6.9 Olay 2'deki a faz akımının ayrıntı ve detay katsayı grafiği



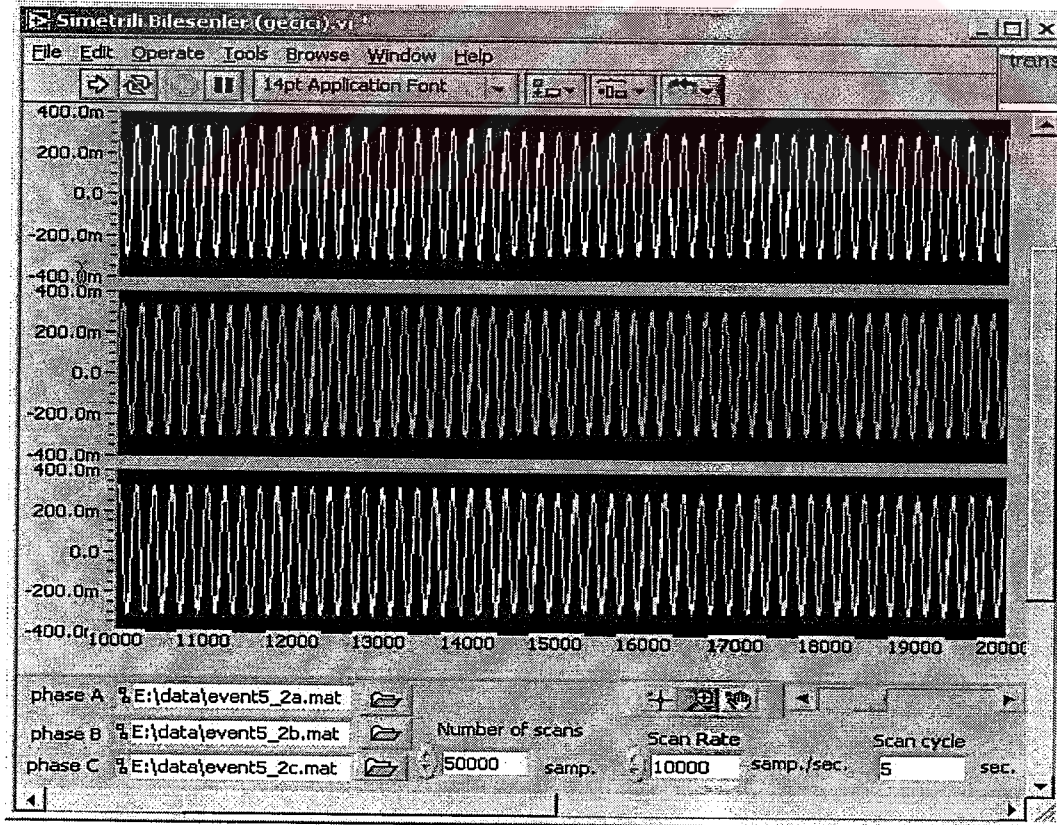
Şekil 6.10 Olay 2'deki faz akımlarının Simetrik bileşenler grafiği

Olay 3

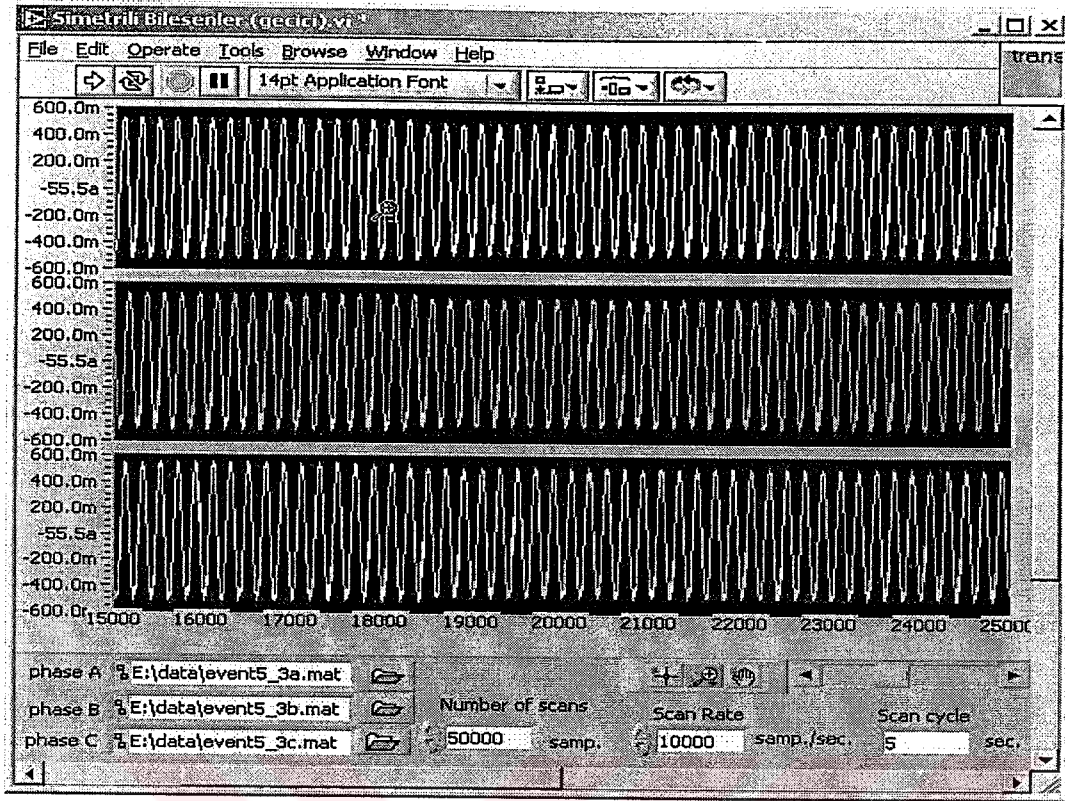
Event5 isimli bu olayda, ısıtıcılar ve tek fazdan beslenen sürücülü motor beraber çalışırken üç fazdan beslenen sürücüsüz motor aniden çalıştırılmaktadır. Şekil 6.11, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13 yine sırasıyla faz akımlarını, faz-nötr ve faz-faz gerilimlerini göstermektedir. Faz akımları incelenirse; her üç faza ait akım 3 faz motor çalıştırıldığı anda yaklaşık olarak %300 oranında artmış ve daha sonra yavaş yavaş azalarak durağan hale gelmiştir. Buna bağlı olarak gerilimler de çok az bir oranda çökmüş ve daha sonra artarak durağan durumlarına dönmüşlerdir. Bu olayda motorun yüklü olması da önemli bir etkidir. Bu deneyde motorun şaftına 12 kg'lık bir yük takılarak ve frenleme etkisi yapılarak motor yüklenmeye çalışıldı. Bu yüklenme daha da artırılabilirse fazlardan çekilen akımın daha da fazla artacağı ve buna bağlı olarak gerilimin de daha fazla çökeceği aşıkardır. Bu olayın Dalgacık dönüşümüyle analizi sonucunda, Şekil 6.14'te görülen katsayılar ortaya çıkmıştır. A fazının akımının arttığı anda D4 katsayıları da artmakta ve daha sonra durağan durumda sıfır olmaktadır. b ve c faz akımları da aynı şekilde davranmaktadırlar. Gerilim düşümü çok az olduğu için katsayılarda referans değerlere göre belirgin farklar yoktur. Simetrik bileşenlere bakılacak olursa; faz akımları için 0.11 A referans değerleri motor çalıştırıldığı anda artmaya başlamış ve Şekil 6.15'teki 0.41 A değerine ulaşmışlardır. Her üç faz da dengeli olarak etkilendiği için bileşenlerin aralarındaki faz farkı 120^0 olarak kalmıştır. Sıfır ve negatif bileşenlerinde değişiklik gözlenmemiştir. Daha sonra ise bileşenler azalarak durağan durumda 0.15 A değerine inmişlerdir ve denge bozulmamıştır. 0.15 A ile 0.11 A değerleri arasındaki 0.04'lük fark yaklaşık olarak 3 A değerine karşılık gelmektedir. Bu da motorun normal çalışma koşullarında çektiği akımdır. Olay anında, Şekil 6.16'daki faz-nötr gerilimleri 0.23 V referans değerinden 0.21 V değerine, Şekil 6.17'de ise faz-faz gerilimleri 0.39 V değerinden 0.35 V değerine dengeli olarak inmişlerdir. Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'te gerilim çökmeleri net olarak gözlenemese de, bu çökmeler Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de Simetrik bileşenler ile net bir şekilde gözlenmektedir. Limit değerleri azaldığı için şekillerdeki pozitif bileşenler alarm vermişlerdir.



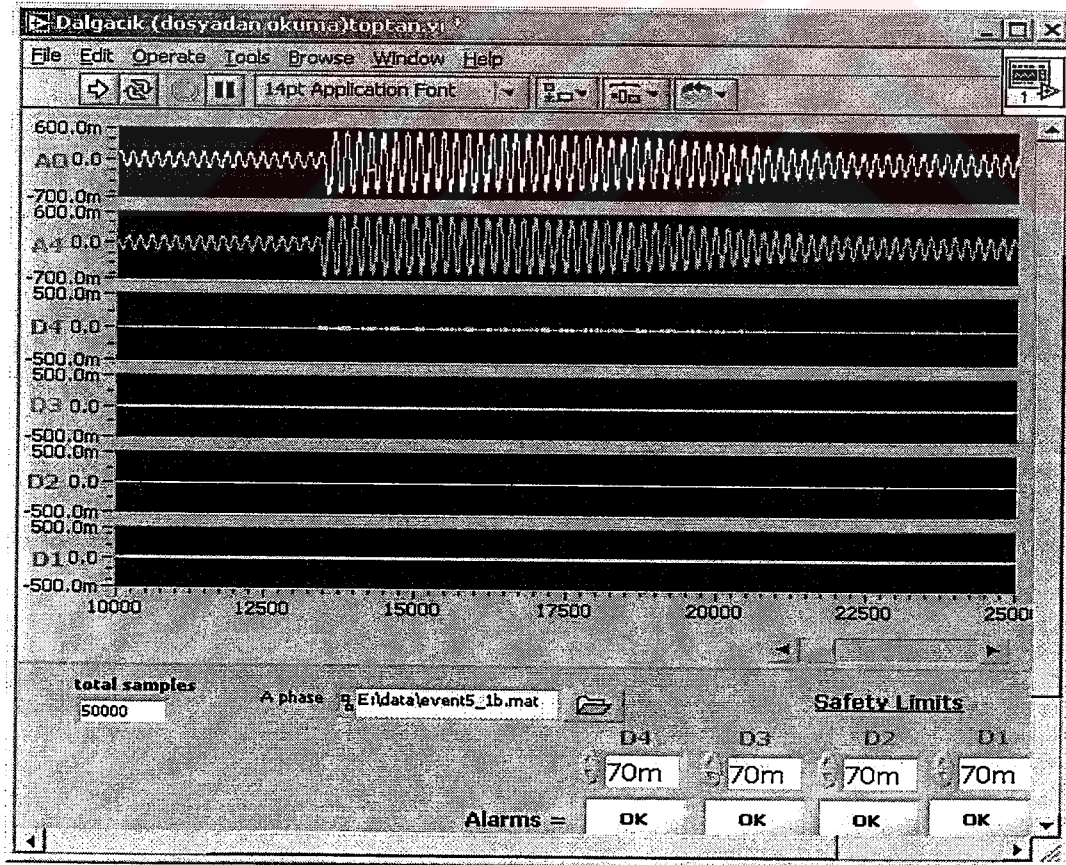
Şekil 6.11 Olay 3'ün faz akımları grafiği



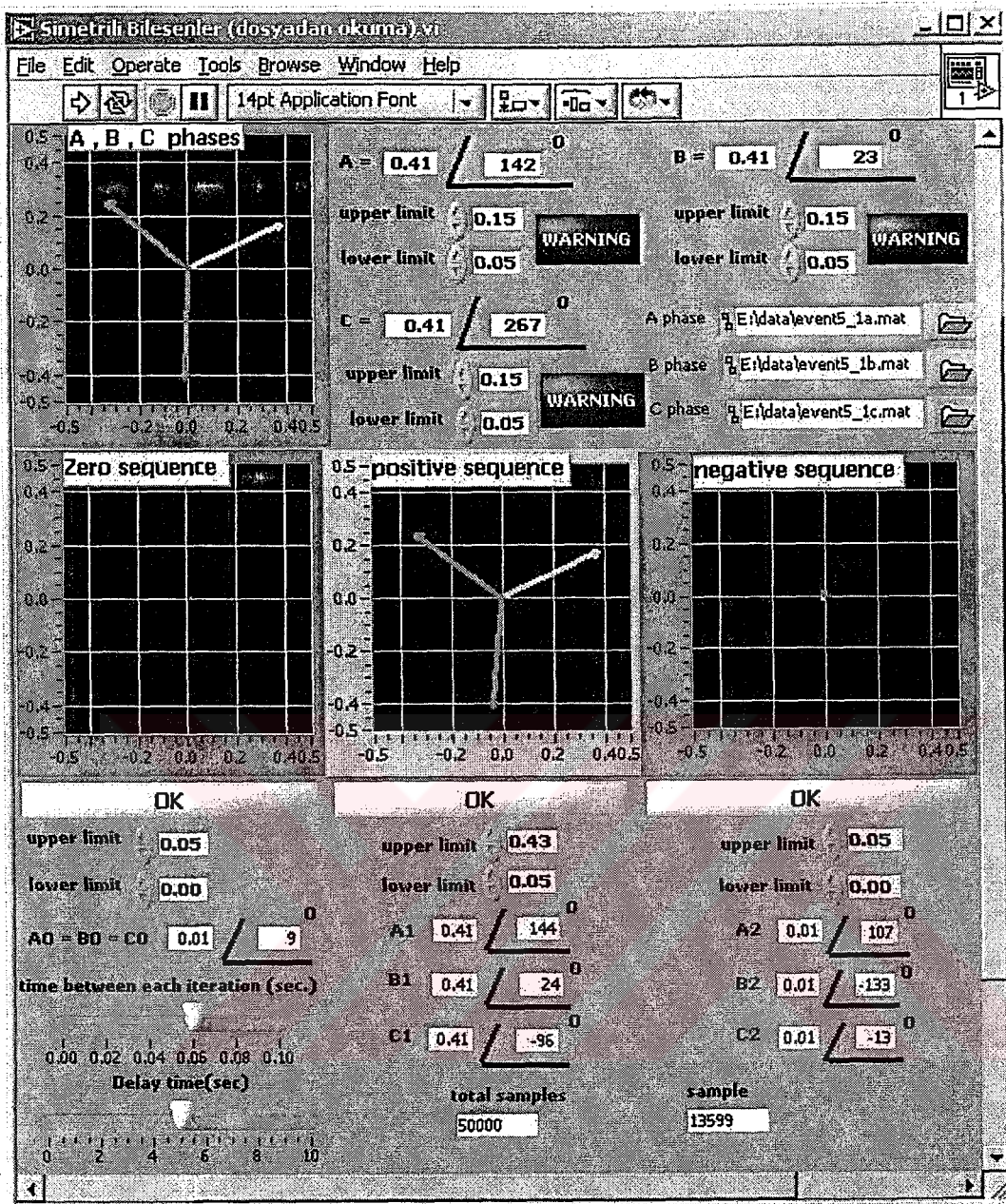
Şekil 6.12 Olay 3'ün faz-nötr gerilimleri grafiği



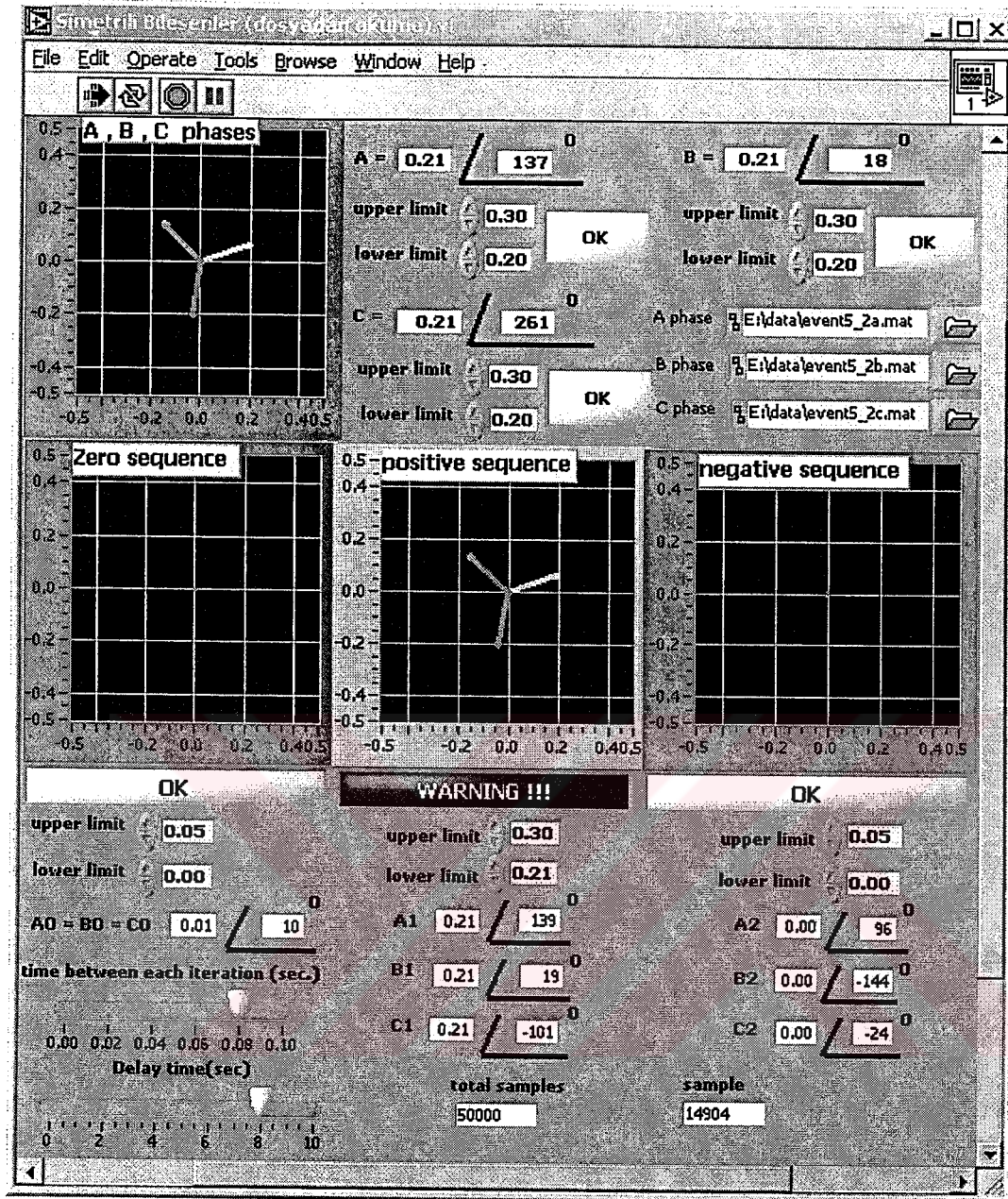
Şekil 6.13 Olay 3'ün faz-faz gerilimleri grafiği



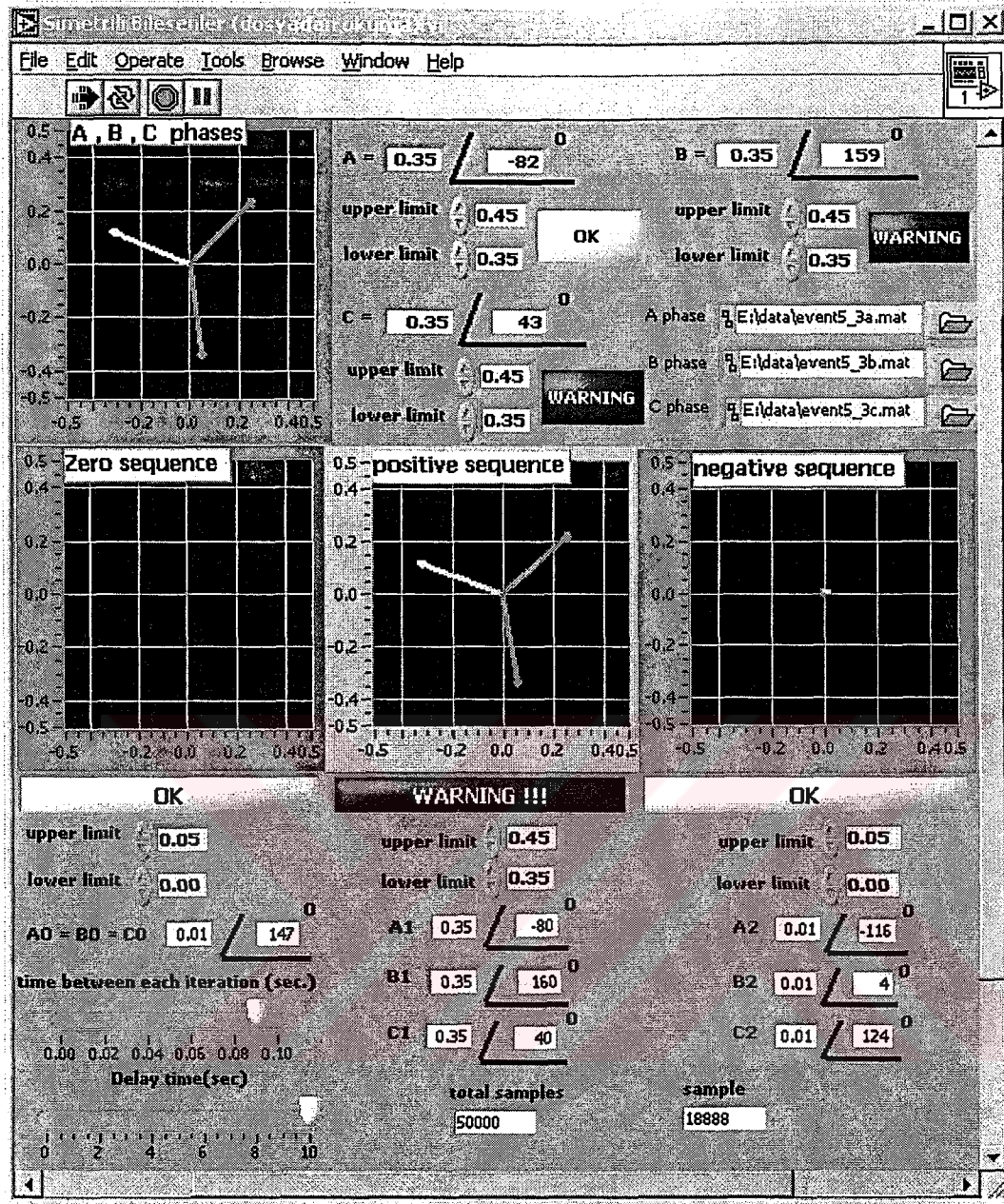
Şekil 6.14 Olay 3'teki b faz akımının ayrıntı ve detay katsayı grafiği



Şekil 6.15 Olay 3'teki faz akımlarının Simetrik bileşenler grafiği



Şekil 6.16 Olay 3'teki faz-nötr gerilimlerinin Simetrik bileşenler grafiği



Şekil 6.17 Olay 3'teki faz-faz gerilimlerinin Simetrik bileşenler grafiği

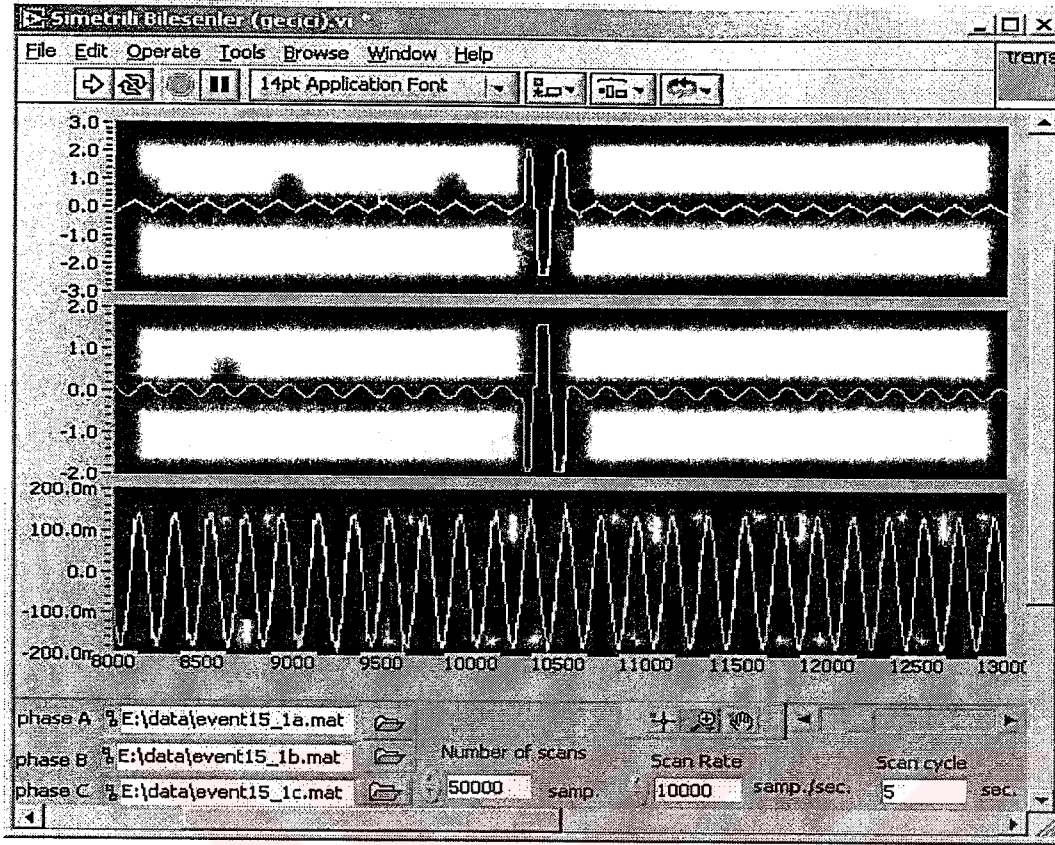
Olay 4

Event15 isimli son olayda ise ısıtıcılar, bilgisayar güç kaynağı, nötrü topraklanmış Y bağlı RL yük devresi, sürücülü tek faz motor ve sürücülü 3 faz motor çalışırken a fazı ile b fazı arasında ark hatası yaptırıldı ve elde edilen veriler incelendi.

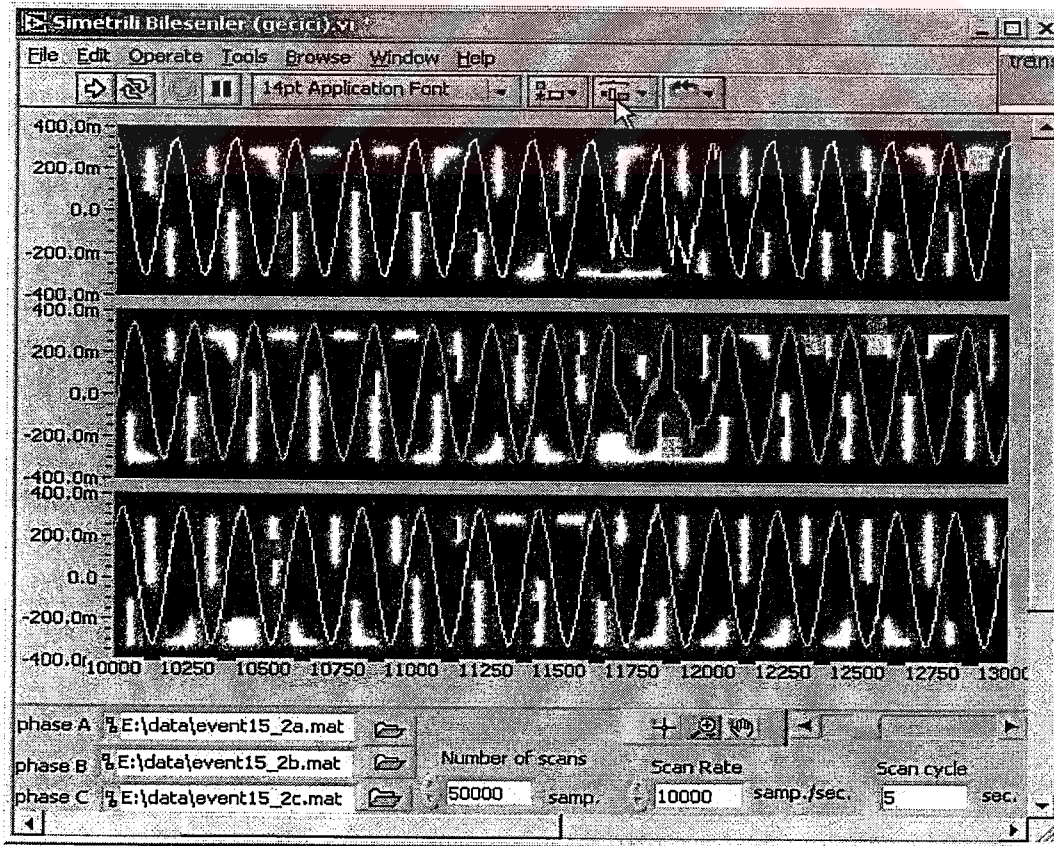
Şekil 6.18'e bakılacak olursa; akımlardaki ani artış ve bu artışların a ile b fazları arasında olduğu açıkça görülmektedir. C faz akımı yok denecek kadar az bir şekilde bu olaydan etkilenmektedir. Aynı biçimde Şekil 6.19'da a-n ve b-n faz-nötr gerilimleri akımdaki artışa paralel olarak ciddi biçimde çökmeye maruz

kalmakta ve c-n gerilimleri ise bu olaydan etkilenmemektedirler. Şekil 6.20’de ise a-b faz gerilimi ciddi biçimde, b-c ve c-a gerilimleri ise daha az miktarda bu ark hatasından etkilenmektedirler. Bu olayın Dalgacık dönüşümüyle analizi, a ve b faz akımları için Şekil 6.21 ve Şekil 6.22’de, a-n ve b-n faz nötr gerilimleri için Şekil 6.23 ve Şekil 6.24’te, a-b faz-faz gerilimi için ise Şekil 6.25’te yapıldı. Hepsininde ortak özellikleri ani artışların ve çökmelerin olduğu yerlerde detay katsayılarının aşırı biçimde artmaları ve limit değerlerinin aşımında alarm vermeleridir.

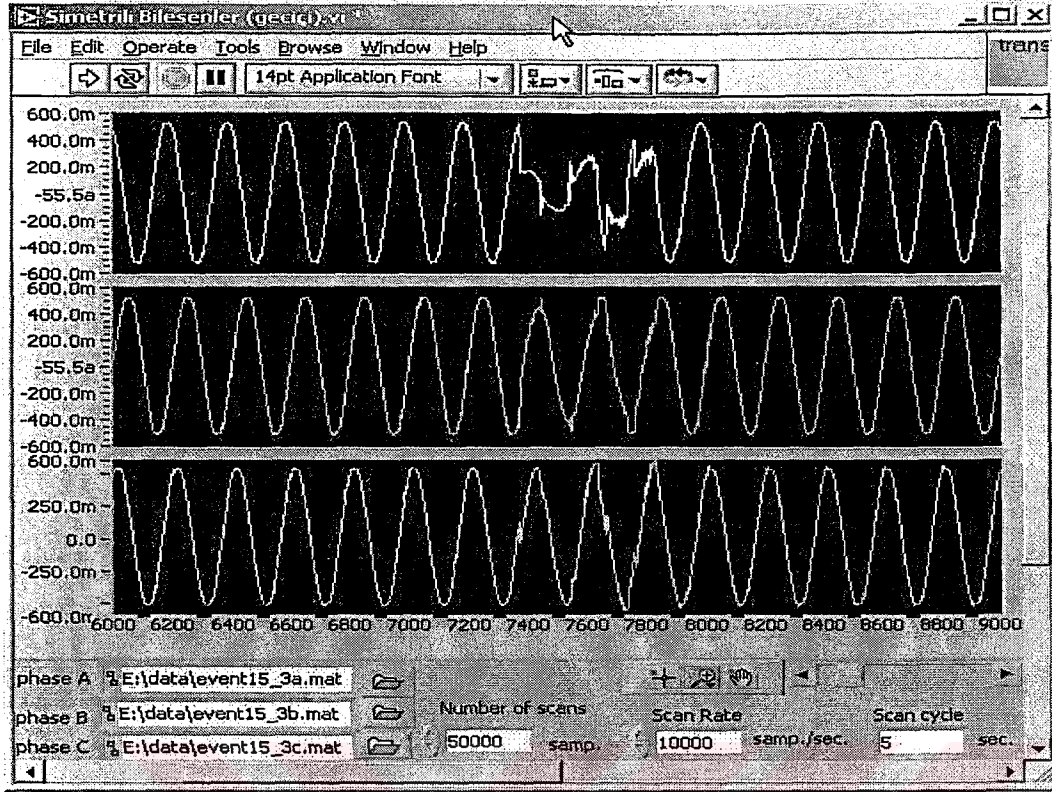
Bu olay Simetrik bileşenler ile analiz edildiğinde ise çok ilginç sonuçlar elde edildi. Sistem, ilk başta referans değerlerde çalışırken a-b ark hatası olduğu anda faz akımları Şekil 6.26’da görüldüğü gibi, a akımı için 1.25 A ve b akımı için 1.05 A değerlerine yükselmiş, c değeri ise 0.11 A değerinde kalırken aradaki faz farkları 120^0 referans değerinden sapmıştır. Sonuçta sistem dengesiz hale gelmiştir. Sistemin dengesiz halde olduğu, sıfır ve negatif ardışık bileşenlerinin değerlerinden anlaşılabilir. Sıfır bileşeni 0.05 A, pozitif bileşeni 0.69 A ve negatif bileşeni ise 0.65 A genlik değerine, limit değerleri aşarak ulaşmışlardır. Sonuç olarak her üç bileşen de alarm vermiştir. Faz-nötr gerilimlerinin Simetrik bileşenleri Şekil 6.27’ye bakılarak incelenirse; hata anında a-n gerilimi 0.19 V’a, b-n gerilimi 0.18 V’a inmiştir ve faz farkları da 120^0 ’den sapmıştır. Sistemin dengesizleştiği bu gerilimlere bakılarak da görülebilir. Pozitif ve negatif bileşenleri, limit değerleri aşarak alarm vermişlerdir. Son olarak faz-faz gerilimlerine Şekil 6.28’de bakılacak olursa; a-b geriliminin 0.25 V değerine, b-c geriliminin 0.34 V değerine ve c-a geriliminin ise 0.36 V değerine indiği rahatlıkla gözlenebilir. Faz farkları yine 120^0 ’den sapmışlardır. Akım ve faz-nötr gerilimlerinin Simetrik bileşenlerinde olduğu gibi yine pozitif ve negatif bileşenler limit değerlerini aşarak alarm vermişlerdir. Sistemin dengesiz duruma geldiği hem akım hem de gerilim değerlerine bakılarak rahatlıkla görülebilir.



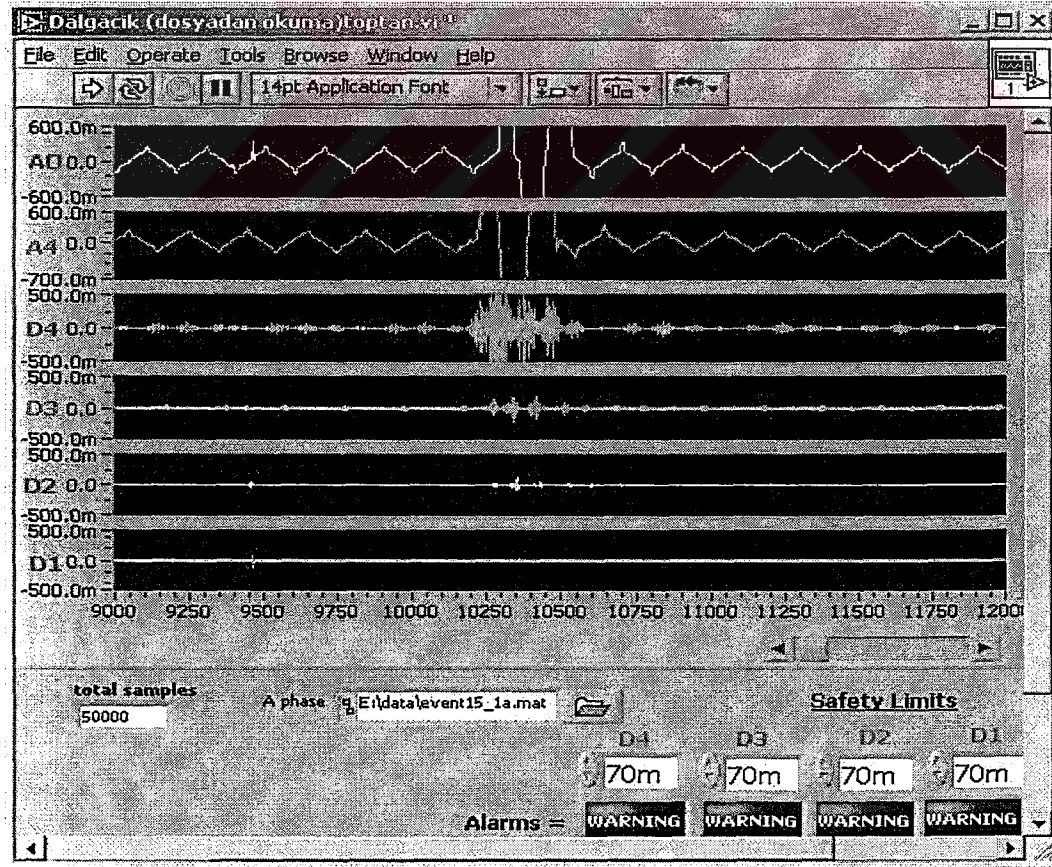
Şekil 6.18 Olay 4'ün faz akımları grafiği



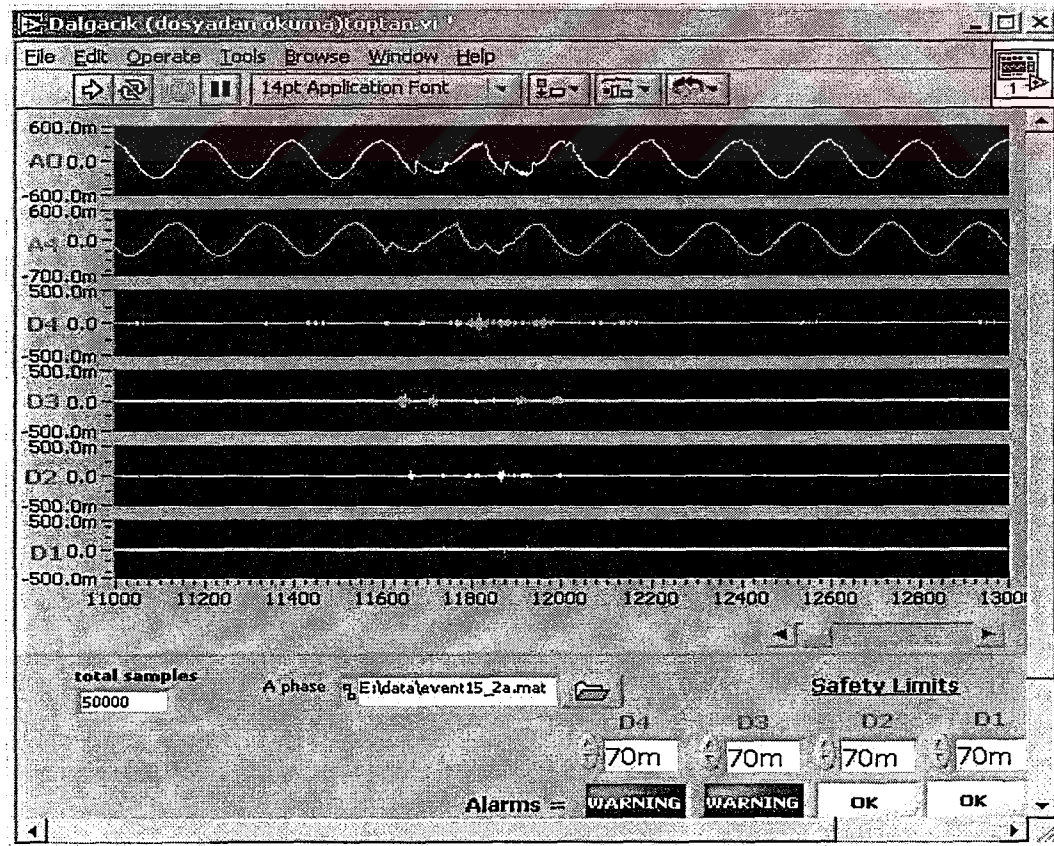
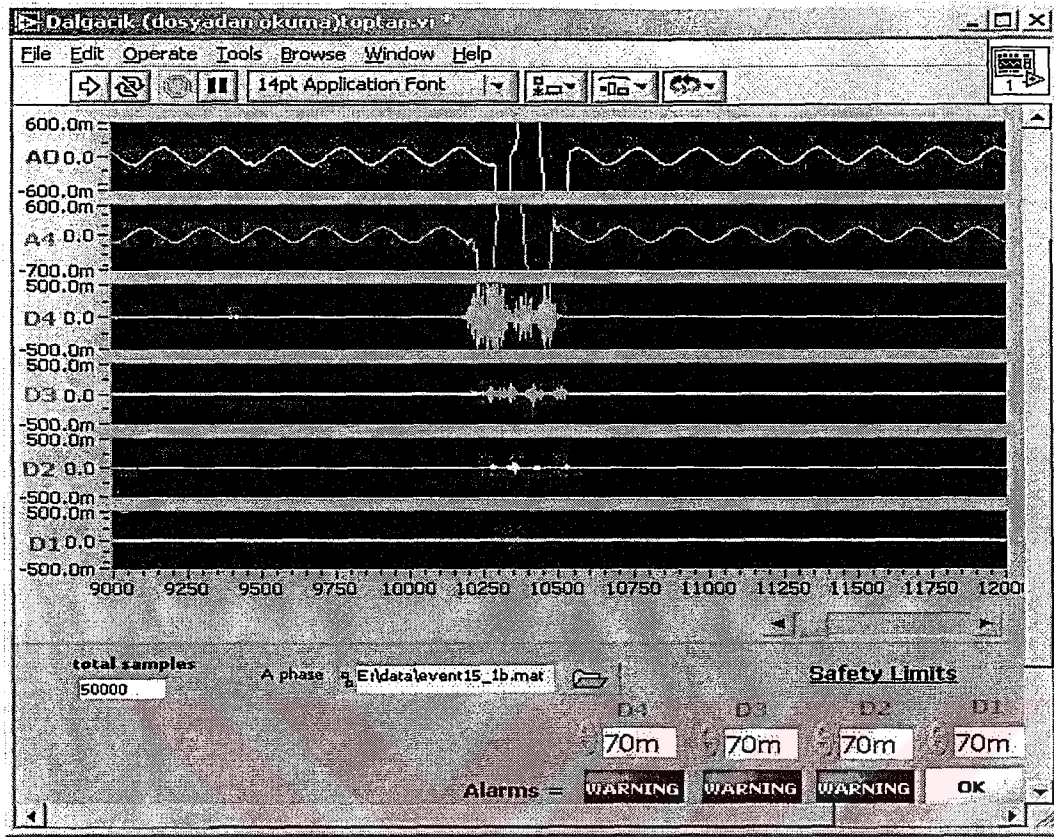
Şekil 6.19 Olay 4'ün faz-nötr gerilimleri grafiği

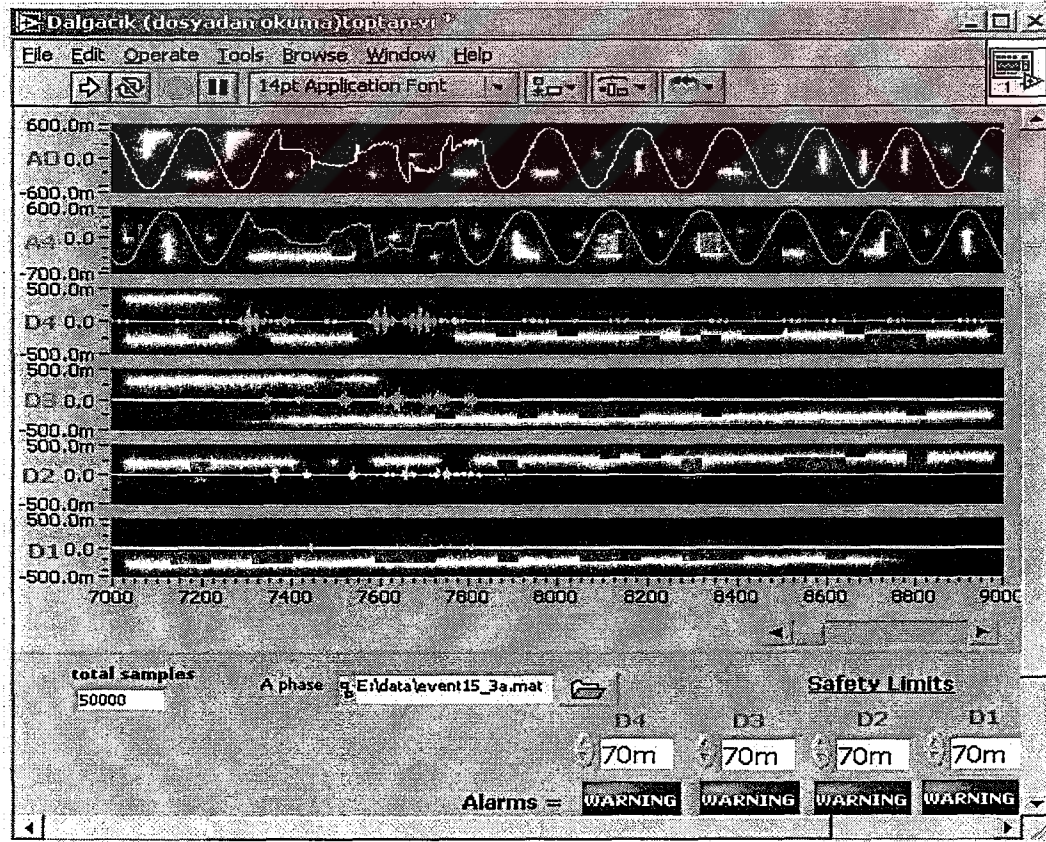
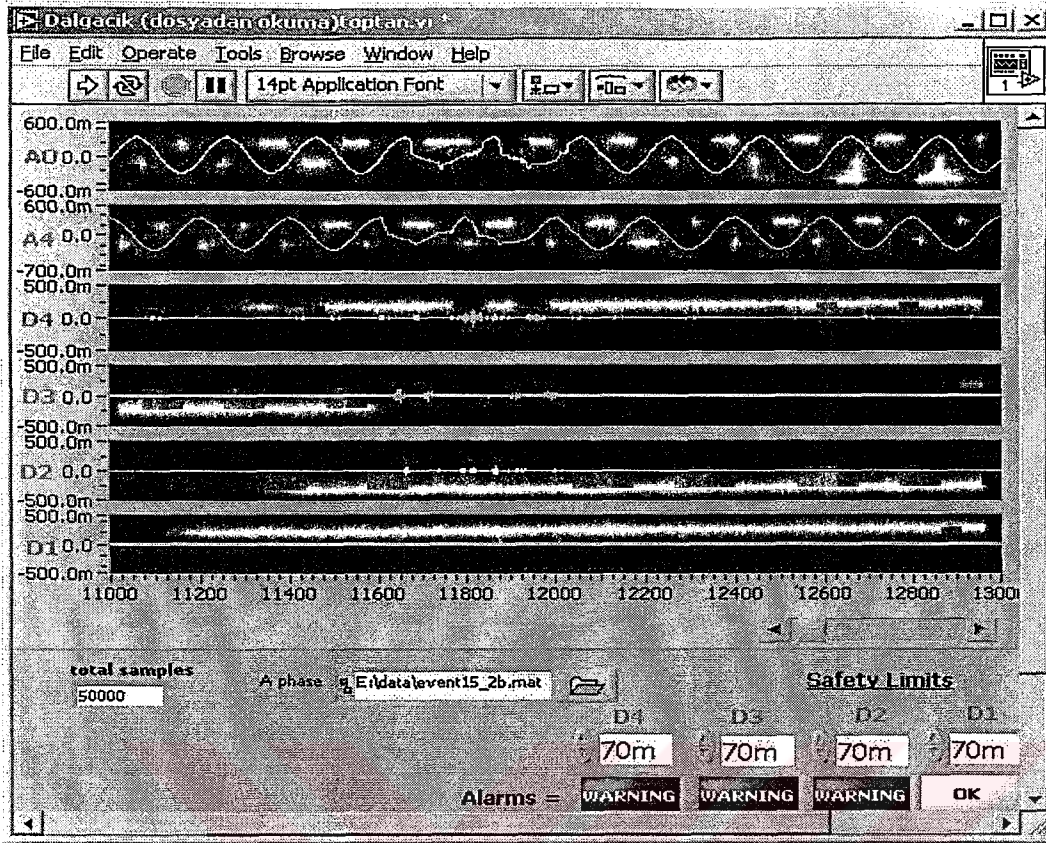


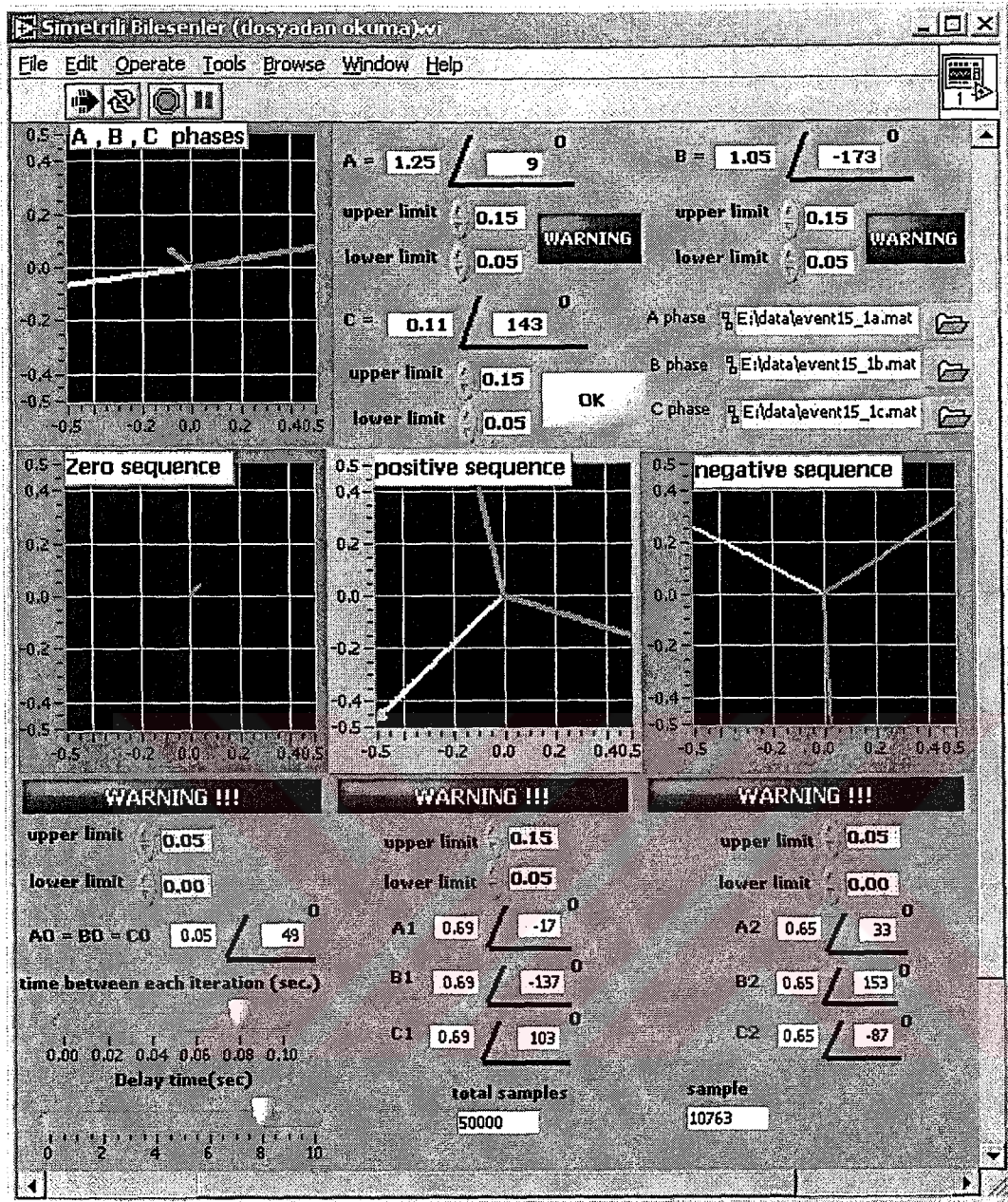
Şekil 6.20 Olay 4'ün faz-faz gerilimleri grafiği



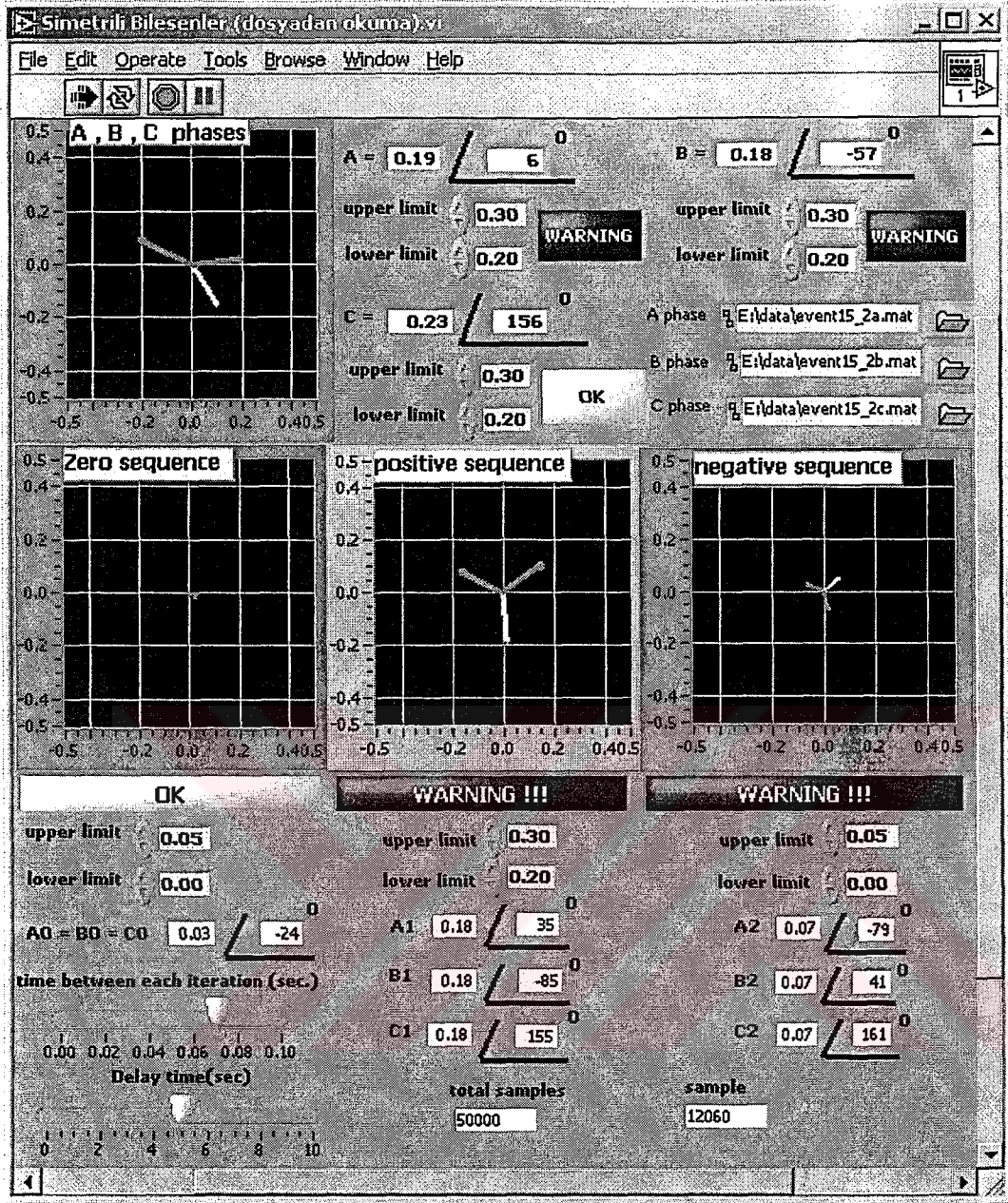
Şekil 6.21 Olay 4'teki a faz akımının ayrıntı ve detay katsayı grafiği



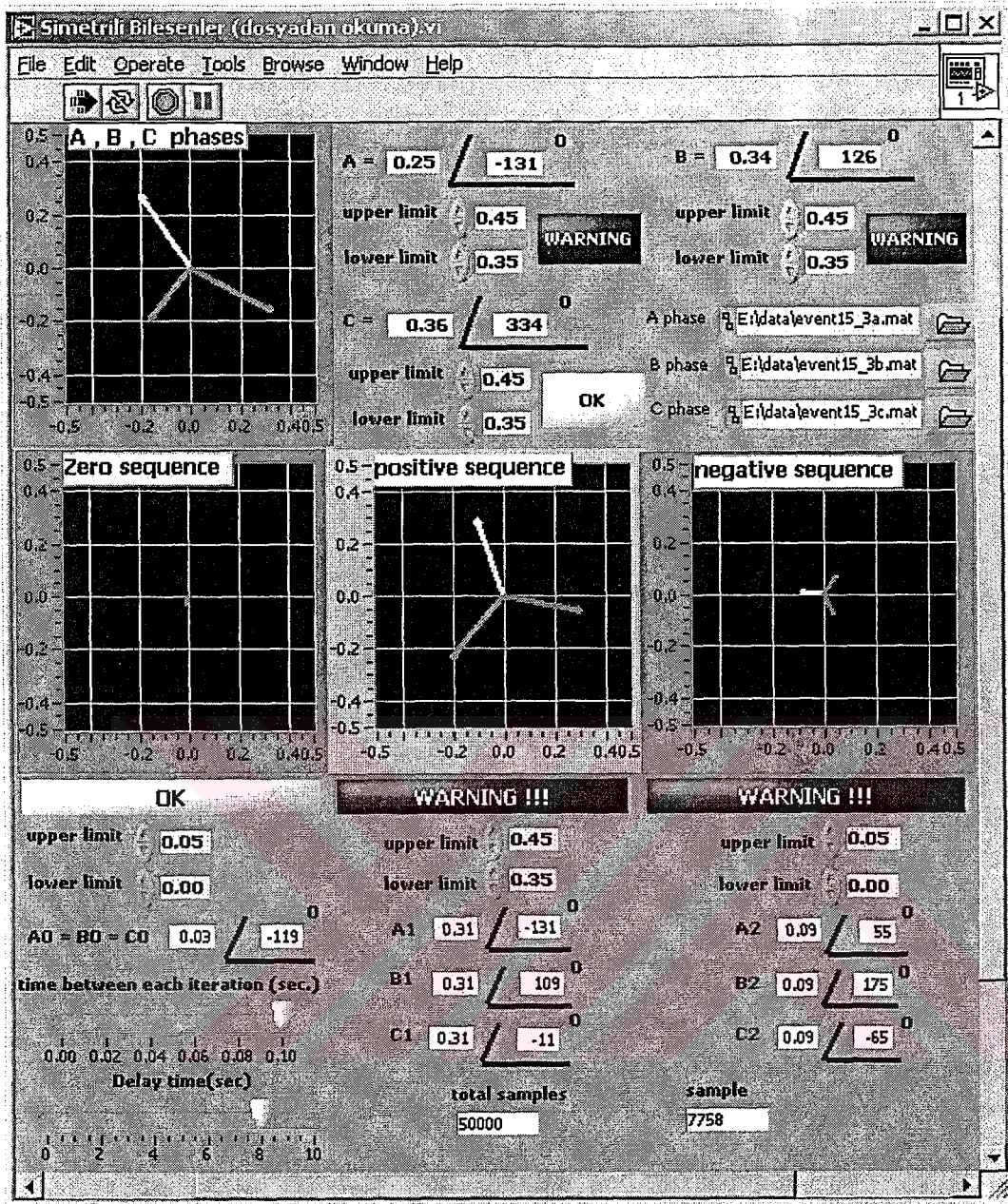




Şekil 6.26 Olay 4'teki faz akımlarının Simetrik bileşenler grafiği



Şekil 6.27 Olay 4'teki faz-nötr gerilimlerinin Simetrik bileşenler grafiği



Şekil 6.28 Olay 4'teki faz-faz gerilimlerinin Simetrik bileşenler grafiği

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çeşitli enerji kalitesi olaylarının gerçek bir alçak gerilim sisteminde meydana getirdiği etkileri incelemek için güç sistemleri laboratuvarında deneysel alçak gerilim sistemi kuruldu. Bu deney sisteminde farklı özelliklere sahip enerji kalitesi olayları yaratabilmek için deney sisteminde bulunan ve endüstriyel alanda sıkça karşılaşılan cihazlar farklı konfigürasyonlarda sisteme bağlanarak çeşitli tipte hatalar ve düzensizlikler oluşturuldu. Sistemde oluşturulan enerji kalitesi olayları ve bu olayların kendine has özellikleri Ek-6'da sırasıyla gösterilmiştir. Oluşturulan bu olaylar enerji kalitesi açısından incelenecek ve yorumlanacak olursa, deney sisteminde oluşturulan olayların en basit ve en temel özellikleri şu şekilde özetlenebilir; deney sisteminde bulunan motor sürücüler ve bilgisayar güç kaynağı gibi cihazlar bünyelerinde yüksek frekanslarda anahtarlama yapan devre elemanları bulundurdıklarından dolayı hattan çektikleri akımın ideal sinüs şeklini bozarak harmonik bakımdan akımı kirletmektedirler. Bu tür cihazların ve bunların benzerlerinin hemen hemen bütün sanayi kuruluşlarında ve konutlarda kullanıldığı gözönüne alınırsa; harmonik kirlenme ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Enerji kalitesizliğine örnek olarak verilebilecek diğer bir olay ise 3 fazlı sistemde fazlar arası ve faz-toprak arası ark hatalarında, hataların oluşturulduğu hatlardaki akım ve gerilim değerlerinin yine bir önceki olayda olduğu gibi anlık olarak ideal sinüsten saparak değişikliğe uğramasıdır. Bu olay da yine bir önceki enerji kalitesi olayı gibi çeşitli sebeplerden dolayı alçak, orta ve yüksek gerilim sistemlerinde ortaya çıkabilir ve hassas gerilim değerlerinde çalışan cihazlar için ciddi sorunlar oluşturabilir. Laboratuvarında oluşturulan diğer bir olay ise üç faz asenkron motorun sürücüsüz olarak çalıştırılması durumunda şebeke hatlarında oluşturduğu etkilerdir ki; bu etkiler de en azından bir ark hatası kadar önemlidirler. Çünkü, motorda sürücü olmadığından dolayı bu olayda da ark hatasında olduğu gibi motor çalıştığı anda şebekeden aşırı akım çekilmekte ve daha sonra akım değeri tekrar normal koşullara dönmektedir. Ark hatasından farkı, ondan daha uzun süreli olmasıdır. Ayrıca bu sürenin uzunluğu ve bu olayın fazlarda yarattığı etki, motorun yüklü olmasına bağlı olarak ta değişir. Burada önemli olan, meydana gelen bu ve buna benzer pekçok enerji kalitesi bozukluklarının oluştuğu anların gerçek zamanda saptanıp belirlenmesi ve bunların sınıflandırılmasıdır. Bu işlemler yapıldığı takdirde, bir sonraki adıma

geçilerek bu bozuklukların giderilmesi için yeni çalışmaların başlamasına imkan sağlanabilecektir.

Bu çalışmada enerji kalitesi bozukluklarının tespiti için iki farklı yöntem üzerinde çalışıldı ve bu yöntemlerin sonuçlarının herbir olay için ayrı ayrı incelenmesi için LabVIEW'da sanal enstrümanlar oluşturuldu. Kullanılan yöntemler Dalgacık dönüşümü ve Simetrik bileşenlerdir. Daha önceki yapılan çalışmalardan farklı olarak; sistemde oluşturulan bozukluklar EMTP veya MATLAB benzeri herhangi bir programla simüle edilmek yerine sistem verileri gerçek bir deney sisteminden toplanarak gerçek zamanda işlendi.

Deney sisteminde oluşturulan olaylar Dalgacık dönüşümüyle gerçek zamanda incelendiğinde; ani frekans değişimlerinin olduğu fazlarda, olayın olduğu andan itibaren sinyale ait detay katsayılarında ani artışların olduğu gözlemlendi. Bu artışlar sonucunda limit değerleri aşıldıysa şebekeden çekilen akım veya gerilim değerlerinde bozulmanın olduğu program tarafından alarm verilerek kullanıcıya bildirildi. Diğer yöntem olan Simetrik bileşenlere bakıldığında ise fazlar normal koşullarda sadece pozitif bileşen içerirken, sistemde yaratılan herhangi bir düzensizlik anında sıfır veya negatif bileşenlerinin de ortaya çıktığı görüldü. Sıfır ve negatif bileşenlerinin ortaya çıkması enerji kalitesi bakımından üç faz arasında düzensizliğin olduğunu gösterir. Yapılan deneylerde, dengeli çalışma koşullarında fazların genliklerinin yaklaşık olarak eşit ve fazlar arasındaki açının 120° olduğu görüldü. Simetrik olmayan bir düzensizlik durumunda ise fazlardan birinin veya birkaçının hem genlik hem de faz farkı bakımından değiştiği, bunun sonucunda da dengesizlikten dolayı pozitif bileşenlerin yanında sıfır ve negatif bileşenlerinin de ortaya çıktığı görüldü. Dalgacık dönüşümünde olduğu gibi yine bu düzensizlikler sonucunda limit değerleri aşıldıysa şebekeden çekilen akım veya gerilim değerlerinde dengesizliğin olduğu program tarafından alarm verilerek kullanıcıya bildirildi.

Sonuç olarak; önerilen ve deney sisteminde gerçek zamanda uygulaması yapılan her iki yöntemin de farklı tiplerdeki enerji kalitesi bozukluklarını, oluştukları anda tespit ettikleri görüldü ve bu yöntemlerin sonuçlarına bakılarak olaylar arasında kıyaslama yapıldı. Bu kıyaslama sonucunda deney setinde oluşturulan ve Ek-6'da oluşturulan enerji kalitesi olaylarının tümüne bakılacak olursa; ani frekans değişimlerinin olduğu hatalarda, ilk yöntem olan Dalgacık

dönüşümünün hatanın olduğu anı yakalaması açısından Simetrik bileşenlere göre daha iyi sonuçlar verdiği görüldü. Bu yöntemin, ark hataları ve üç faz motorun sürücüsüz olarak çalıştırılması olaylarındaki anlık akım artışlarını ve bu akımdaki ani frekans değişimlerini Simetrik bileşenlere göre daha verimli şekilde tespit ettiği gözlemlendi. Fakat motorların ani çalıştırılmalarında motorun tam olarak yüklenememesine bağlı olarak oluşan çok düşük gerilim çökmelerinde ise sadece genlik değiştiğinden ve belirli bir frekans değişimi olmadığından dolayı Dalgacık dönüşümü oluşan düzensizlikleri yakalayamamıştır. Frekans ve denge bakımından bu olay Simetrik Bileşenler tarafından tespit edilemese de genlikteki azalmanın bu yöntem tarafından rahatça tespit edildiği gözlemlenmiştir.

Simetrik bileşenler sadece üç ve daha çok fazlı sistemlerde uygulanabilir. Sistemdeki bileşenlerin genlik ve faz farkı bakımından dengede olması prensibine dayanır. Motorların sürücülü olarak çalıştırıldıkları olaylarda görüldüğü üzere; eğer dalga şeklinde simetrik bir harmonik bozulma oluşuyorsa bu durumun Simetrik Bileşenlerin dengesine belirgin bir etkisinin olmadığı yapılan deneylerde gözlemlendi. Ayrıca üç faz motorun sürücüsüz olarak çalıştırılması olayında; her üç faza ait akımlar simetrik olarak arttığından dolayı faz farkı bakımından dengenin bozulmadığı sadece genlik değerlerinin değiştiği gözlemlendi.

Yapılan deneyler ve incelenen olaylar ışığında, her bir yöntemin kendine has özellikleri olduğu ve bu özelliklere bağlı olarak bu yöntemlerin belirli olayları tespit edebildikleri gözlemlendi. Sonuç olarak; gelecekte yapılacak çalışmalarda, sadece tek bir yöntem üzerine yoğunlaşmak yerine her iki yöntemin de kullanıldığı ve sonuçlarının beraber yorumlandığı bir çözüm yöntemi üzerinde durulması daha yararlı olacaktır.

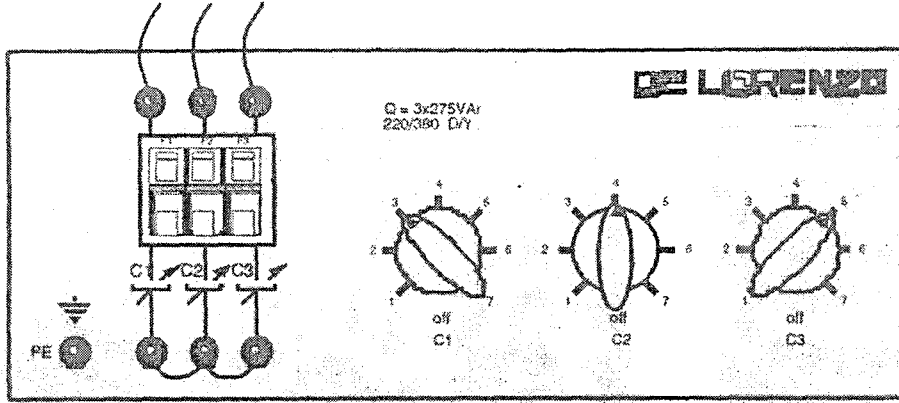
KAYNAKLAR

1. BOLLEN, M.H.J., *Understanding Power Quality Problems*, IEEE Press, Newyork, USA (2000)
2. OLIVER, J.A., LAWRENCE, R. ve BANERJEE, B.B., *Power Quality*, IEEE Industry Applications Magazine, 21-30 (September-October 2002)
3. ARRILAGA, J., SMITH, B.C., WATSON, N.R. ve WOOD, A.R., *Power System Harmonic Analysis*, Wiley, London (1997)
4. DUGAN, R.C., MCGRANAGHAN, M.F., SANTOSO, S. ve BEATY, H.W., *Electrical Power Systems Quality*, McGRAW-HILL, New York (2003)
5. HEYDT, G.T., FJELD, P.S., LIU, C.C., PIERCE, D., TU, L. ve HENSLEY, G., *Applications of the Windowed FFT to Electric Power Quality Assessment*, IEEE Transactions on Power Delivery, **14**, 4, 1411-1416, (October-1999)
6. JARAMILLO, S.H., HEYDT, G.T. ve CARRILLO, E.O., *Power Quality Indices for Aperiodic Voltages and Currents*, IEEE Transactions on Power Delivery, **15**, 2, 784-790, (April-2000)
7. MELHORN, C.J., MCGRANAGHAN, M.F., *Interpretation and Analysis of Power Quality Measurements*, IEEE Transactions on Industry Applications, **31**, 6, 1363-1370, (1995)
8. SANTOSO, S., GRADY, W.M., POWERS, E.J., LAMOREE, J. ve BHATT, S.C., *Characterization of Distribution Power Quality Events with Fourier and Wavelet Transform*, IEEE Transactions on Power Delivery, **15**, 1, 247-254 (January 2000)
9. CHAARI, O., MEUNIER, M. ve BROUAYE, F., *Wavelets: A New Tool for The Resonant Grounded Power Distribution Systems Relaying*, IEEE Transactions on Power Delivery, **11**, 3, 1301-1308 (July 1996)
10. LIU, J., PILLAY, P. ve RIBERIO, P., *Wavelet analysis of Power Systems Transients Using Scalograms and Multiresolution Analysis*, Electrical Machines and Power Systems, **10**, 3, 1331-1341 (1999)
11. CHEOK, L.W., SAHA, T.K. ve DONG, Z.Y., *Power Quality Investigation With Wavelet Techniques*, Proceedings of Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Monash University, Melbourne, september 29-October 2 (2002)
12. LEE, C.H., WANG, Y.J. ve HUANG, W.L., *A Literature Survey of Wavelets in Power Engineering Applications*, Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A), **24**, 4, 249-258 (2000)

13. ROBERTSON, D.C., CAMPS, O.I., MAYER, J.S. ve GISH, W.B., *Wavelets and Electromagnetic Power System Transients*, IEEE Transactions on Power Delivery, **11**, 2, 1050-1057 (April 1996)
14. ARRILLAGA, J., WATSON, N.R. ve CHEN, S., *Power System Quality Assessment*, Wiley, London (2000)
15. GAOUDA, A.M., SALAMA, M.M.A., SULTAN, M.R. ve CHIKHANI, A.Y., *Power Quality Detection and Classification Using Wavelet-Multiresolution Signal Decomposition*, IEEE Transactions on Power Delivery, **14**, 4, 1469-1476 (October 1999)
16. MELIOPOULOS, A.P.S. ve LEE, C.H., *An Alternative Method for Transient Analysis via Wavelets*, IEEE Transactions on Power Delivery, **15**, 1, 114-121 (January 2000)
17. DRIESEN, J. ve BELMANS, R., *Time-Frequency Analysis in Power Measurement using Complex Wavelets*, IEEE International Symposium on Circuits and Systems Arizona, USA, May 26-29, 681-684, (2002)
18. WILLIAMS, J.R. ve AMARATUNGA, K., *Introduction to Wavelets in Engineering*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, **37**, 2365-2388 (1994)
19. PANDEY, S.K. ve SATISH, L., *Multiresolution Signal Decomposition: A New Tool for Fault Detection In Power Transformers During Impulse tests*, IEEE Transactions on Power Delivery, **13**, 4, 1194-1200 (October 1998)
20. SANTOSO, S. ve HOFMANN, P., *Power Quality Assessment Via Wavelet Transform Analysis*, IEEE Transactions on Power Delivery, **11**, 2, 924-930 (April 1996)
21. YOUSSEF, O.A.S., *A Wavelet-based Technique for Discrimination Between Faults and Magnetizing Inrush Currents in Transformers*, IEEE Transactions on Power Delivery, **18**, 1, 170-176 (January 2003)
22. ZHANG, J.Q. ve Yan, Y., *A Wavelet-Based Approach to Abrupt Fault Detection and Diagnosis of Sensors*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, **50** , 5, 1389-1396 (October 2001)
23. SANTOSO, S., POWERS, E.J., GRADY, W.M. ve PARSONS, A.C., *Power Quality Disturbance Waveform Recognition Using Wavelet-Based Neural Classifier-Part 2 Application*, IEEE Transactions on Power Delivery, **15**, 1, 229-235, (January-2000)
24. SANTOSO, S., POWERS, E.J., GRADY, W.M. ve PARSONS, A.C., *Power Quality Disturbance Waveform Recognition Using Wavelet-Based Neural*

- Classifier-Part 1 Theoretical Foundation*, IEEE Transactions on Power Delivery, **15**, 1, 222-228, (January-2000)
25. GRAINGER, J.J ve STEVENSON, W.D., *Power System Analysis*, McGRAW-HILL, Singapore (1994)
 26. GERARDUS, C.P., *Symmetrical Components in the Time Domain and Their Application to Power Network Calculations*, IEEE Transactions on Power Systems, **15**, 2, 522-528, (May-2000)
 27. BOLLEN, M.H.J., *Characterization of Voltage Sags Experienced by Three Phase Adjustable Speed Drives*, IEEE Transactions on Power Delivery, **12**, 4, 1666-1671, (October-1997)
 28. ECE, D.G. ve AĞALAR Ş., *Elektrik Enerji Kalitesinin ve Geçici Olayların Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Belirlenmesi ve Sınıflandırılması*, 10.Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Pamukkale Cilt 2, 647-652, (12/06/2002)
 29. ECE, D.G. ve AĞALAR Ş., *Elektrik Güç Sistemleri Alanında Öğrenci Katılımının Artırılması: Enerji Kalitesi Laboratuvarı Örneği*", Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi 1. Ulusal Sempozyumu, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara, 103-105, (30/04/2003)
 30. AĞALAR Ş. ve ECE D.G., *Enerji Kalitesi Bozucularının Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Gerçek Zamanda Bulunması*, 11.Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Koç Üniversitesi İstanbul, 343-346, (18/06/2003)
 31. Matlab wavelet toolbox users manual
 32. *LabVIEW users manual*, National Instruments, USA (July-2000)
 33. *LabVIEW measurements manual*, National Instruments, USA (July-2000)
 34. *LabVIEW signal processing toolset reference manual*, National Instruments, USA (July-1999)

EK-1 RL Yük Devresinin Özellikleri



R Load Specifications

Position	Resistance	Max Power per Phase
1	1050 Ohm	46 W
2	750 Ohm	65 W
3	435 Ohm	110 W
4	300 Ohm	160 W
5	213 Ohm	230 W
6	150 Ohm	330 W
7	123 Ohm	400 W

L Load Specifications

Position	Inductance	Max Power per Phase
1	4.46 H	34 VAR
2	3.19 H	48 VAR
3	1.84 H	83 VAR
4	1.27 H	121 VAR
5	0.9 H	171 VAR
6	0.64 H	242 VAR
7	0.52 H	297 VAR

EK-2 Bilgisayar Güç Kaynağının Özellikleri

Specifications

Output 1	Voltage: 5 V dc $\pm$ 2 % Current: 1 A maximum Ripple & Noise < 400 mV pk to pk maximum 30 MHz bandwidth Load Regulation: < 2.5 % maximum Line Regulation: 0.04 % maximum 0.01 % typical for 10 % change in input voltage
Output 2	Voltage: 15 V dc $\pm$ 5 % (positive) Current: 1.5 A maximum <i>All other specifications as Output 1</i>
Output 3	Voltage: 15 V dc $\pm$ 5 % (negative) Current: 1 A maximum <i>All other specifications as Output 1</i>
Protection	Output protection is incorporated for over-voltage, reverse voltage and over-current, within the outputs available from the unit
Connections	Output connections: 4mm sockets. -15 V blue, 0 V black, +15 V red, +5 V orange.
Temperature	Operating: 0 ⁰ to 45 ⁰ C Storage: -25 ⁰ to 70 ⁰ C
Power Requirements	Input voltage: 100 V to 260 Vac Input current: 1 A @ 100 V to 5 A @ 260 V Input frequency: 47-63 Hz
Indicators	Power on; green neon lamp
Safety	Conforms to EN60950
RFI	Conforms to EN55022 Curve B
Mains Input Connector	IEC inlet on rear of case

EK-3 Deney Setinde Kullanılan Asenkron Motorların ve Bu Motorlara Ait Sürücülerin Özellikleri

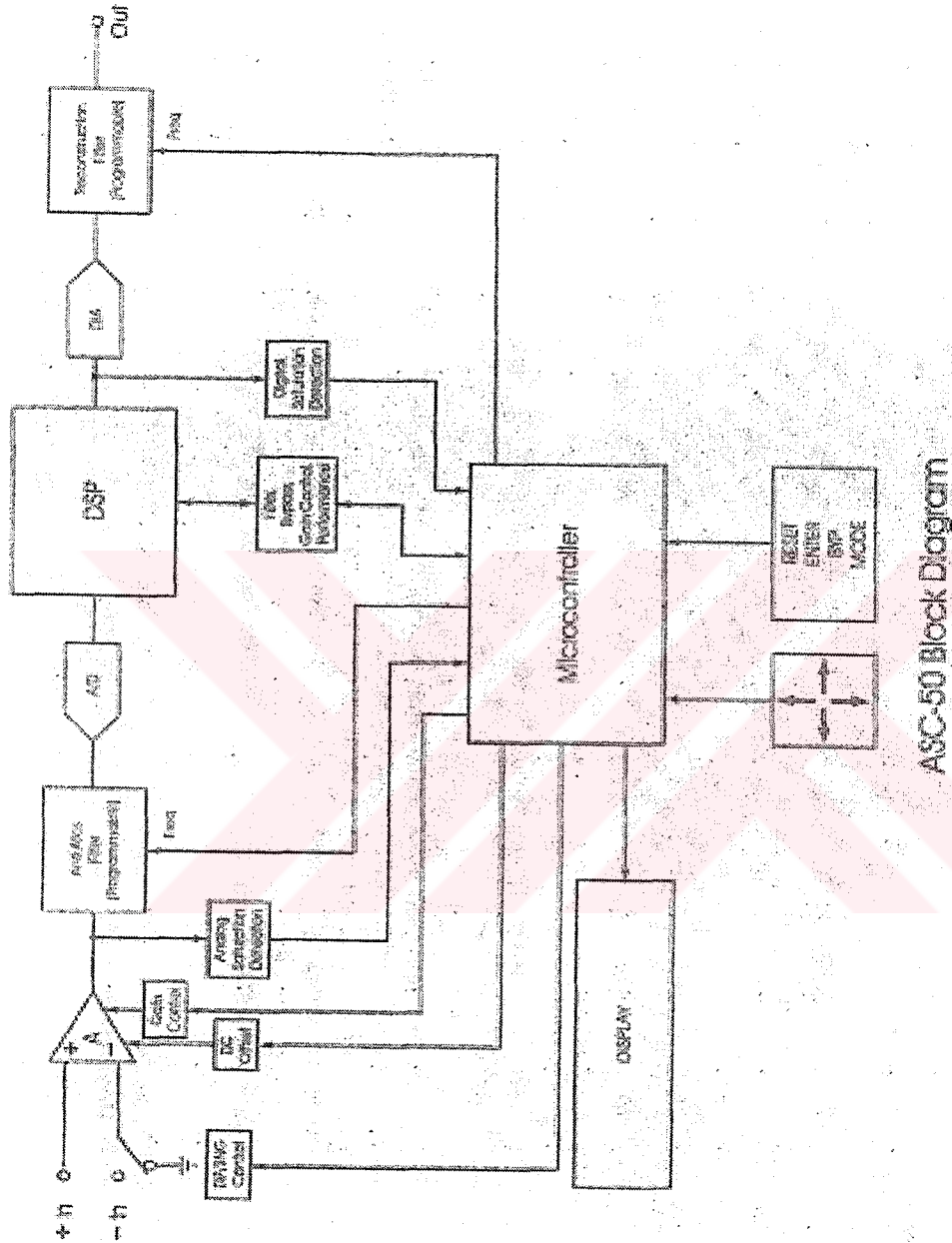
GAMAK		2900136741			
3~ Mot		Type AGM 90 L 2			
I.CL. F	IP 55	B3	S1	CE	
VOLT	HZ	A	KW	Cos	1/min
Δ 022	50	8.7	2.2	0.85	2840
Y 380		5			

GAMAK		17000180770			
3~ Mot		Type AGM 90 L 2			
I.CL. F	IP 55	B3	S1	CE	
VOLT	HZ	A	KW	Cos	1/min
Δ 022	50	8.7	2.2	0.85	2840
Y 380		5			

ENKO	
Ürün cinsi: M.VAR	
Tip: SQ1522-2.2	Seri No: 00075889
Giriş Voltajı: 1x220 VAC	
Çıkış Voltajı: 3x220 VAC	
Çıkış Akımı: 10.7 A	
Çıkış Frekansı: 100 Hz	

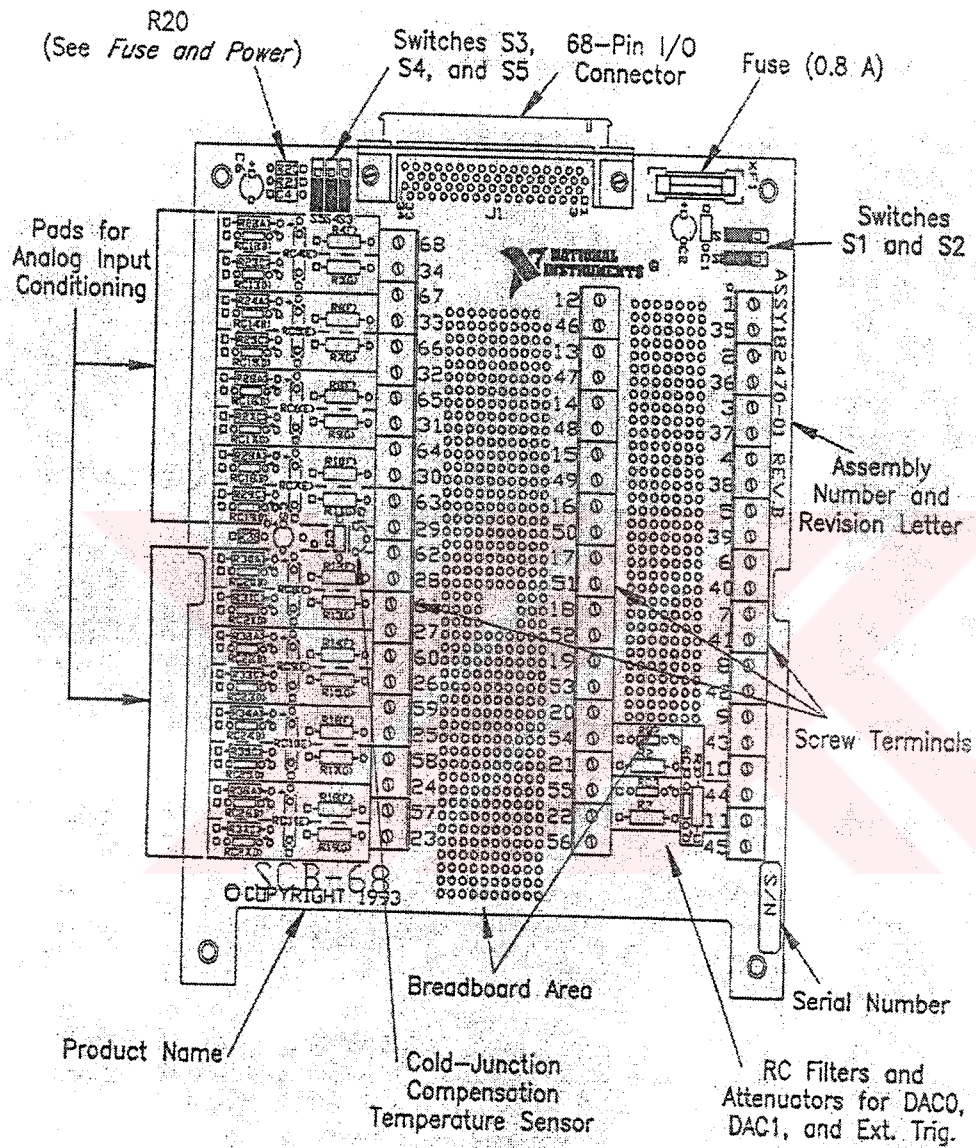
ENKO	
Ürün cinsi: VARYATÖR	
Tip: TQ2255-2.2	Seri No: 00075885
Giriş Voltajı: 3x380 VAC	
Çıkış Voltajı: 3x380 VAC	
Çıkış Akımı: 4.2 A	
Çıkış Frekansı: 50 Hz	

EK-4 Programlanabilir ASC-50 filtresinin Blok Diyagramı



ASC-50 Block Diagram

EK-5 SCB-68 Veri Toplama(DAQ) Kartı Arabirimi



EK-6 Deney Sisteminde Çeşitli Konfigürasyonlarda Oluşturulan Olaylar

Event1 : Akım çekebilmek amacıyla sadece ısıtıcılar çalışıyorlarken alınan veriler

Event1_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event1_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event1_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event2 : Isıtıcılar ve sürücülü 1 faz motor (a fazına bağlı) beraber çalışıyorlarken alınan veriler

Event2_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event2_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event2_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event3 : Isıtıcılar ve sürücülü 3 faz motor beraber çalışıyorlarken alınan veriler

Event3_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event3_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event3_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event4 : Isıtıcılar, sürücülü 1 faz ve sürücülü 3 faz motor beraber çalışıyorlarken alınan veriler

Event4_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event4_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event4_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event5 : Isıtıcılar ve sürücülü 1 faz motor beraber çalışırken, sürücüsüz 3 faz motor aniden çalıştırılıyor.

Event5_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event5_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event5_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event6 : Isıtıcılar, sürücülü 1 faz motor ve sürücüsüz 3 faz motor beraber çalışırken a fazı ile nötr arasında ark hatası yapılıyor

Event6_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event6_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event6_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event7 : Isıtıcılar, sürücülü 1 faz motor ve sürücülü 3 faz motor beraber çalışırken a fazı ile nötr arasında ark hatası yapılıyor

Event7_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event7_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event7_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event8 : Isıtıcılar, sürücülü 1 faz motor ve sürücüsüz 3 faz motor beraber çalışırken a fazı ile b fazı arasında ark hatası yapılıyor

Event8_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event8_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event8_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event9 : Isıtıcılar, sürücülü 1 faz motor ve sürücülü 3 faz motor beraber çalışırken a fazı ile b fazı arasında ark hatası yapılıyor

Event9_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları
 Event9_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri
 Event9_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event10 : Isıtıcılar, sürücülü 1 faz motor ve sürücüsüz 3 faz motor beraber çalışırken b fazı ile c fazı arasında ark hatası yapılıyor

Event10_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları
 Event10_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri
 Event10_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event11 : Isıtıcılar, sürücülü 1 faz motor ve sürücülü 3 faz motor beraber çalışırken b fazı ile c fazı arasında ark hatası yapılıyor

Event11_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları
 Event11_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri
 Event11_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event12 : Isıtıcılar, bilgisayar güç kaynağı, nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi, sürücülü 1 faz motor ve sürücüsüz 3 faz motor beraber çalışırken a fazı ile nötr arasında ark hatası yapılıyor

Event12_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları
 Event12_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri
 Event12_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event13 : Isıtıcılar, bilgisayar güç kaynağı, nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi, sürücülü 1 faz motor ve sürücüsüyle 3 faz motor beraber çalışırken a fazı ile nötr arasında ark hatası yapılıyor

Event13_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları
 Event13_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri
 Event13_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event14 : Isıtıcılar, bilgisayar güç kaynağı, nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi, sürücülü 1 faz motor ve sürücüsüz 3 faz motor beraber çalışırken a fazı ile b fazı arasında ark hatası yapılıyor

Event14_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları
 Event14_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri
 Event14_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event15 : Isıtıcılar, bilgisayar güç kaynağı, nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi, sürücülü 1 faz motor ve sürücüsüyle 3 faz motor beraber çalışırken a fazı ile b fazı arasında ark hatası yapılıyor

Event15_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları
 Event15_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri
 Event15_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event16 : Isıtıcılar, bilgisayar güç kaynağı, nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi, sürücülü 1 faz motor ve sürücüsüz 3 faz motor beraber çalışırken b fazı ile c fazı arasında ark hatası yapılıyor

Event16_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları
 Event16_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri
 Event16_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event17 : Isıtıcılar, bilgisayar güç kaynağı, nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi, sürücülü 1 faz motor ve sürücüsüyle 3 faz motor beraber çalışırken b fazı ile c fazı arasında ark hatası yapılıyor

Event17_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event17_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event17_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event30 : Isıtıcılar ve nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücülü 1 faz motora start veriliyor

Event30_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event31 : Isıtıcılar ve nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücülü 1 faz motora start veriliyor

Event31_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event32 : Isıtıcılar ve Δ bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücülü 1 faz motora start veriliyor

Event32_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event33 : Isıtıcılar ve nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücüsüz 3 faz motora start veriliyor

Event33_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event33_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event33_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event34 : Isıtıcılar ve nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücüsüz 3 faz motora start veriliyor

Event34_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event34_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event34_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event35 : Isıtıcılar ve Δ bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücüsüz 3 faz motora start veriliyor

Event35_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event35_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event35_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event36 : Isıtıcılar ve nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücülü 3 faz motora start veriliyor

Event36_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event37 : Isıtıcılar ve nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücülü 3 faz motora start veriliyor

Event37_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event38 : Isıtıcılar ve Δ bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücülü 3 faz motora start veriliyor

Event38_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event39 : Isıtıcılar ve nötrü topraksız Y bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücülü 1 faz motor ile sürücüsüz 3 faz motora aynı anda start veriliyor

Event39_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event40 : Isıtıcılar ve nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücülü 1 faz motor ile sürücüsüz 3 faz motora aynı anda start veriliyor

Event40_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event41 : Isıtıcılar ve Δ bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücülü 1 faz motor ile sürücüsüz 3 faz motora aynı anda start veriliyor

Event41_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event42 : Isıtıcılar ve nötrü topraksız Y bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücülü 1 faz motor ile sürücülü 3 faz motora aynı anda start veriliyor

Event42_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event43 : Isıtıcılar ve nötrü topraklı Y bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücülü 1 faz motor ile sürücülü 3 faz motora aynı anda start veriliyor

Event43_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event44 : Isıtıcılar ve Δ bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücülü 1 faz motor ile sürücülü 3 faz motora aynı anda start veriliyor

Event44_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event45 : Isıtıcılar, bilgisayar güç kaynağı, nötrü topraksız Y bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücüsüz 3 faz motora c fazı olmadan 2 fazlı olarak start verilmeye çalışıldı.

Event45_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event45_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event45_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event51 : Isıtıcılar, bilgisayar güç kaynağı, nötrü topraksız Y bağlı RL yük devresi sisteme bağlıyken sürücüsüz 3 faz motora c fazı olmadan 2 fazlı olarak start verilmeye çalışıldı ve ardından c fazı tekrar devreye alındı

Event51_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event51_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event51_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event60 : Sistemde sadece Δ bağlı RL yük devresi bulunurken, a fazı ile b fazı arasında ark hatası yapıldı

Event60_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event60_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event60_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri

Event61 : Sistemde sadece Δ bağlı RL yük devresi bulunurken, a fazı ile toprak arasında ark hatası yapıldı

Event61_1: sırasıyla a,b ve c fazlarının akımları

Event61_2: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-nötr arası gerilimleri

Event61_3: sırasıyla a,b ve c fazlarının faz-faz arası gerilimleri