İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DARBE YANSIMA YÖNTEMİ İLE KABLO ARIZALARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selim TURAN

Anabilim Dalı : Elektrik Mühendisliği

Programı : Elektrik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özcan Kalenderli

Haziran 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DARBE YANSIMA YÖNTEMİ İLE KABLO ARIZALARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selim TURAN
504051017

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Özcan Kalenderli (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Kevork Mardikyan (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Mehmet Bayrak (SÜ)

Haziran 2009

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmam boyunca bilgi ve birikimini benden esirgemeyen, ilgi ve alakasını her zaman gösteren değerli hocam Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ'ye;

İyi kötü birçok şeyi paylaştığım arkadaşlarıma;

Ve bugünlere gelmemde en büyük rolü üstlenen, maddi manevi yardımlarıyla her zaman yanımda olan aileme;

Teşekkürlerimi, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mayıs 2009

Selim TURAN

Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
2. KABLOLARDA ARIZA NEDENLERİ VE ARIZA TÜRLERİ **7**
2.1 Arıza Tanımı 7
2.2 Kablolarda Arıza Nedenleri 7
2.2.1 Üretim Hataları 7
2.2.2 Taşıma ve Depolama Hataları 7
2.2.3 Döşeme Hataları 7
2.2.4 Montaj Hataları 8
2.2.5 Mekanik Hasarlar 8
2.2.6 Korozyon etkisi 8
2.2.7 Isıl Etkiler 8
2.2.8 İç ve Dış Gerilim Darbeleri 8
2.2.9 Eskime ve Ömür 9
2.3 Kablolarda Arıza Türleri 9
2.3.1 Dokunma Arızası 9
2.3.2 Toprağa Dokunma Arızası 9
2.3.3 Kırılma 10
2.3.4 Nem Girişi 10
2.3.5 Ezilme 11
2.3.6 Atlama Arızası 11
2.3.7 Kısmi Boşalma 11
2.3.8 Arıza Elektriksel Karakteristiği – Arıza Nedeni İlişkisi 12
3. KABLO ARIZALARINDA ÖN YER TESPİT YÖNTEMLERİ **13**
3.1 Arızanın Bölgesel Hale Getirilmesi (Sectionalizing) 17
3.2 Köprü Yöntemleri 18
3.2.1 Köprü İlkesi 19
3.2.2 Hillborn Yöntemi 21
3.2.3 Ters Çevrim Deneyi 21
3.3 Yakma İşlemi 22
3.4 Darbe Yansıma Yöntemi İle Arıza Yeri Bulunması 24
3.4.1 Arıza Karakteristiklerinin İncelenmesi 25
3.4.1.1 Yansıma ve İletim Katsayıları 26

3.4.1.2 Seri Arızaların İncelenmesi 27
3.4.1.3 Şönt Arızaların İncelenmesi 28
3.5 Geçici Durumların İncelenmesine Dayalı Ön Yer Bulma Yöntemleri 30
3.5.1 Darbe Akımı Yöntemi 32
3.5.2 Ark Yansıması Yöntemi 35
3.5.3 Karşılaştırmalı Darbe Yansıma Ölçümü 37
3.5.4 Zayıflatma Yöntemi 38
4. KABLO GÜZERGAHI VE ARIZA NOKTASININ BELİRLENMESİ 39
4.1 Kablo Güzergahının Belirlenmesi 39
4.1.1 Arama Yöntemleri 39
4.1.1.1 Maksimum Yöntemi 39
4.1.1.2 Minimum Yöntemi 40
4.1.2 Derinlik Tespiti 40
4.2 Arıza Noktasının Belirlenmesi 41
4.2.1 Darbe Gerilimi Yöntemi 41
4.2.2 Büküm Yöntemi 43
4.2.3 Kılıf Arızaları ve Bulunması 43
5. DENEYSEL ÇALIŞMA 45
5.1 Darbe Üreteci 46
5.1.1 dsPIC30F6014 Mikrodenetleyici 46
5.1.2 Darbe Üreteci Devre Yapısı 48
5.1.3 Gömülü Sistem Yazılımı 51
5.2 Osiloskop 52
5.3 Analiz Yazılımı 54
5.3.1 Darbe Üretecine Ait Haberleşme Formatı 54
5.3.2 TDS3034 Haberleşme Formatı 54
5.3.2.1 Dalga Şekline Ait Veri Formatı 56
5.3.2.2 Dalga Şeklinin Bilgisayara Aktarılması 57
5.3.2.2.2 YOFF 58
5.3.2.2.3 YZERO 58
5.3.2.2.4 XINC 58
5.3.2.2.5 DATa:STARt 58
5.3.2.2.6 DATa:STOP 59
5.3.2.2.7 CURVE 59
5.3.2.3 Dalga Şeklinin Bilgisayarda Oluşturulması 60
5.3.2.3.1 Parametre Bilgilerinin Alınması 60
5.3.2.3.2 Veri Noktası Bilgilerinin Alınması 61
5.3.2.3.3 Dalga Şeklinin Oluşturulması 62
5.3.3 Uzaklığın Hesaplanması 63
5.3.4 Kayıt Formatı 63
5.4 Analiz Yazılımı Kullanıcı Arayüzü 64
5.4.1 Genel Özellikler 64
5.4.2 Ayarlar 65
5.4.3 Çevre Birimlerle Bağlantı Kurulması 66
5.4.4 Darbe Üretecinin Çalıştırılması 67
5.4.5 Ölçüm 67
5.4.6 Analiz 68
5.4.7 Kayıt 70
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 83
KAYNAKLAR 87

EKLER 89

KISALTMALAR

AC : Alternating Current
CAN : Controller Area Network
DC : Direct Current
EEPROM : Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory
HDW : Howaldtswerke - Deutsche Werft GmbH
MAX : Maksimum
MIN : Minimum
PG : Pulse Generatör
PLL : Phase-Locked Loop
PVC : Polivinilklorür
PWM : Pulse Width Modulation
RADAR : Radio Detecting and Ranging
RAM : Random Access Memory
RISC : Reduced Instruction Set
RXBUF : Receive Buffer
SG : Surge Generator
SIM : Secondary Impulse Method
SPI : Serial Peripheral Interface
TDR : Time Domain Reflectometry
TXBUF : Transmit Buffer
UART : Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB : Universal Serial Bus
XLPE : Çapraz Bağlı Polietilen

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Arızaların Elektriksel Karakteristiklerine Göre İncelenmesi 12
Çizelge 3.1 : Arıza Türü – Ön Yer Belirleme Yöntemi Tablosu..... 16
Çizelge 3.2 : Farklı Yalıtkanlarda Enerjinin Yayılma Hızı 25
Çizelge 3.3 : Şönt Arıza..... 30
Çizelge 3.4 : Seri Arıza..... 30
Çizelge 3.5 : Akım ve Gerilim Darbelerine Ait Yansıma Karakteristikleri 33
Çizelge 5.1 : Mesaj Yapısı..... 55
Çizelge 5.2 : Bağlantı noktaları ve özellikleri 65
Çizelge 5.3 : FSS-4 Kablo için farklı yayılma sabitleri ile yapılan ölçümler..... 73
Çizelge 5.4 : HO5VV 3 x 2.5 NYAF Kablo için farklı yayılma sabitleri ile yapılan ölçümler 74
Çizelge 5.5 : FSS-4 Kablo için farklı genişlikli darbeler ile yapılan ölçümler..... 75
Çizelge 5.6 : HO5VV 3 x 2.5 NYAF Kablo için farklı yayılma sabitleri ile yapılan ölçümler 75
Çizelge 5.7 : Seri Arıza Yeri Bulma Deneyi Ölçüm Sonuçları 78
Çizelge 5.8 : Şönt Arıza Yeri Bulma Deneyi Ölçüm Sonuçları 79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Dokunma arızasının modellenmesi 9
Şekil 2.2 : Seri Arızanın Modellenmesi..... 10
Şekil 2.3 : Kablo İçersine Nem Girişi..... 11
Şekil 2.4 : Kablo İçersinde Kısmi Boşalma..... 11
Şekil 3.1 : Direnç Ölçümü Sonucunda İzlenecek Yöntemler..... 15
Şekil 3.2 : Wheatstone Köprüsü 19
Şekil 3.3 : Murray Köprüsü 20
Şekil 3.4 : Hillborn Çevrimi 21
Şekil 3.5 : Ters çevrim deneyi bağlantı şeması 22
Şekil 3.6 : Yakma Setine Ait Devre Şeması..... 23
Şekil 3.7 : İletim Hattı Modeli..... 25
Şekil 3.8 : Seri Arıza Empedansı..... 27
Şekil 3.9 : Seri Arızadan Yansıyan Darbe..... 28
Şekil 3.10 : Şönt Arıza Empedansı..... 28
Şekil 3.11 : Şönt Arızada Darbe Yansıması 29
Şekil 3.12 : Arıza Direncinin Değişimini Gösteren Yansıma Görüntüleri..... 29
Şekil 3.13 : Geçici Durumların İncelenmesinde Kullanılan Sisteme Ait Uygulama Devresi 31
Şekil 3.14 : Yasıyan Arkın Görüntüsü..... 31
Şekil 3.15 : İyonizasyon Gecikmesi 32
Şekil 3.16 : Darbe Akımı Yöntemine Ait Uygulama Devresi..... 33
Şekil 3.17 : Kablo Sonundan Yansıyan Akım Darbesi 33
Şekil 3.18 : Kısa Devre Arızasına Ait Yansıma Görüntüsü 34
Şekil 3.19 : Yüksek Dirençli Arızaya Ait Yansıma Görüntüsü..... 34
Şekil 3.20 : Uzun İyonizasyon Süresini Gösteren Yüksek Dirençli Arızaya Ait Yansıma Görüntüsü..... 35
Şekil 3.21 : Ark Yansıma Yöntemine Ait Uygulama Devresi..... 36
Şekil 3.22 : Ark Yansımasına Ait Yansıma Görüntüsü..... 36
Şekil 3.23 : Arıza Arkının Uzatılması İçin Endüktans Eklenmesi 37
Şekil 4.1 : Maksimum Yöntemi..... 39
Şekil 4.2 : Minimum Yöntemi..... 40
Şekil 4.3 : Derinlik Tespiti 40
Şekil 4.4 : Darbe Gerilimi Yöntemine Ait Uygulama Devresi..... 41
Şekil 4.5 : Darbe Gerilimi – Arıza Karakteristiği İlişkisi..... 42
Şekil 4.6 : Büküm Yöntemi 43
Şekil 4.7 : Kılıf Arızalarının Bulunması..... 44
Şekil 5.1 : dsPIC30F6014 kodlu mikroişlemci..... 47
Şekil 5.2 : Darbe gerilimi üreteci..... 48
Şekil 5.3 : ANALİZ yazılımının akış diyagramı 51
Şekil 5.4 : Textronix TDS 3034 marka osiloskop 52
Şekil 5.5 : Osiloskoba Ait Örnek Grafik 53

Şekil 5.6 : Darbe Genişliğini Ayarlayan Kod Parçası 54
Şekil 5.7 : Örnek Mesaj Yapısı 55
Şekil 5.8 : Komut Yapısı 55
Şekil 5.9 : Sorgu Yapısı 56
Şekil 5.10 : Örnek Dalga Şekli Verisi 57
Şekil 5.11 : Örnek sorgu 58
Şekil 5.12 : Örnek Sorgu 58
Şekil 5.13 : Örnek Sorgu 58
Şekil 5.14 : Örnek Sorgu 58
Şekil 5.15 : Örnek Sorgu 59
Şekil 5.16 : Örnek Sorgu 59
Şekil 5.17 : Örnek Sorgu 59
Şekil 5.18 : Örnek Parametre Cevabı 60
Şekil 5.19 : Parametreleri Alan Kod Parçası 61
Şekil 5.20 : Veri Noktalarını Alan Kod Parçası 61
Şekil 5.21 : Grafikleri Çizdiren Kod Parçası 62
Şekil 5.22 : Yayılma sabitinin değişimi ile grafikleri güncelleyen kod parçası 63
Şekil 5.23 : Kayıt Örneği 64
Şekil 5.24 : ANALİZ yazılımı ana ekranı 65
Şekil 5.25 : Haberleşme ayarları ekranı 66
Şekil 5.26 : AÇ ve KAPAT butonları 66
Şekil 5.27 : Haberleşme hata mesajları 67
Şekil 5.28 : Ölçüm ayarları ekranı 67
Şekil 5.29 : Veri parametreleri toplama mesajı 68
Şekil 5.30 : ANALİZ ekranında görülen örnek bir ölçüm grafiği 68
Şekil 5.31 : Ölçüm verisinin incelenmesi 69
Şekil 5.32 : Ölçümün referans olarak işaretlendiği mesajı 69
Şekil 5.33 : Ölçüm verisinin bir dosyaya kaydedilmesi 70
Şekil 5.34 : Ekle ve Çıkar Butonları 71
Şekil 5.35 : Üst üste eklenmiş grafikler 71
Şekil 5.36 : Deney devresi 72
Şekil 5.37 : Deney devresinin fotoğrafı 72
Şekil 5.38 : Seri Arıza İnceleme Deney Devresi Bağlantısı 76
Şekil 5.39 : Seri arıza noktası direnci 0 ohm iken ekran görüntüsü 77
Şekil 5.40 : Şönt arıza inceleme deney devresi bağlantısı 78
Şekil 5.41 : Su deneyinde arıza yerinin görüntüsü 80
Şekil 5.42 : Su deneyinde elde edilen ekran görüntüsü 80
Şekil 5.43 : Tuzlu su deneyinde elde edilen ekran görüntüsü 81
Şekil A.1 : Seri arızada alınan yansıma görüntüleri. 90
Şekil A.2 : Şönt arızada alınan yansıma görüntüleri. 91
Şekil A.3 : Kısa kabloda yapılan ölçümler 92
Şekil A.4 : Uzun kabloda yapılan ölçümler 93
Şekil B.1 : Geliştirme Kartı Komponent Dizilimi 94
Şekil B.2 : Geliştirme Kartı Devre Çizimi 95
Şekil B.3 : Geliştirme Kartı Devre Çizimi 96
Şekil B.4 : Geliştirme Kartı Devre Çizimi 97
Şekil B.5 : Geliştirme Kartı Devre Çizimi 98
Şekil B.6 : Geliştirme Kartı Devre Çizimi 99

SEMBOL LİSTESİ

a : Arıza Tarafındaki İç Direnç Kolu
b : İç Direnç Kolu
C : Kapasite
D : Arıza Uzaklığı
e : Endüklenen Anlık Gerilim
F : Farad
GS : GigaSample
G : Kondüktans
H : Henry
Hz : Hertz
i : Endüklenen Anlık Akım
k : Kilo
kVA : Kilo Volt Amper
L : Endüktans
n : Nano
m : Mili
p : Pico
R : Direnç
$\mathbf{R_f}$: Arıza Direnci
$\mathbf{R_h}$: Hat Direnci
s : Saniye
t : Zaman
$\mathbf{t_f}$: Arızadan Yansıma Süresi
$\mathbf{t_i}$: İyonizasyon Süresi
$\mathbf{t_L}$: Kablo Sonundan Yansıma Süresi
v : Yayılma Hızı
μ : Mikro
V : Volt
$\mathbf{V_i}$: Arıza Noktasındaki Gerilim
$\mathbf{V_t}$: İletilen gerilim
x : Arıza Tarafındaki Dış Direnç Kolu
y : Dış Direnç Kolu
$\mathbf{Z_e}$: Şönt Arızada Yük Empedansı
$\mathbf{Z_L}$: Yük Empedansı
$\mathbf{Z_0}$: Karakteristik Empedans
$\mathbf{Z_s}$: Seri Arızada Yük Empedansı
Ω : Ohm
$\boldsymbol{\varepsilon}$: Kablo Yalıtkanının Bağıl Dielektrik Sabiti
$\boldsymbol{\rho}$: Yansıma Katsayısı
τ : Kırılma Katsayısı

DARBE YANSIMA YÖNTEMİ İLE KABLO ARIZALARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Yeraltı kabloları modern enerji dağıtım sistemlerinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Gerek işletmede sağladığı kolaylıklar, gerekse çevresel olarak getirdiği yararlar yeraltı kablolarını bugün dağıtım sistemlerinde ilk tercih haline getirmiştir.

Yeraltı kablolarında arıza noktasının belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar, yeraltı kablosunun ilk kullanılmaya başladığı yıllara dayanır. O tarihten bu yana arıza bulma çalışmaları modern teknolojinin bütün olanaklarını kullanılarak sürekli olarak yenileşmekte ve gelişmektedir.

Bu tez çalışmasında yeraltı kablolarının ilk günlerinden başlayarak günümüze kadar olan süreçte kullanılan arıza bulma yöntemleri açıklanmıştır. Temel yöntemlerden biri olan darbe yansıma yöntemi kullanılarak örnek bir kablo üzerinde ölçümler yapılmış ve arıza parametrelerinin ölçüm sonuçlarına olan etkisi araştırılmıştır.

Örnek bir kablo üzerinde kablonun ek noktasına bağlanan bir potansiyometre yardımıyla farklı direnç değerlerine sahip seri ve şönt arızalar oluşturulmuş ve arıza direncinin, arıza noktasının belirlenmesine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca kablo içersine su girmesi durumu yapay olarak oluşturulmuş ve bu durumda suyun iletkenliği değiştirilerek arıza noktasından yansıyan darbenin değişimi gözlemlenmiştir.

Arıza noktasının bulunmasında önemli bir parametre olan kablonun yayılma sabiti değiştirilerek farklı kablolarda yapılan denemelerle yayılma sabitinin ölçüm sonucuna olan etkisi incelenmiştir. Daha sonra kabloya uygulanan darbelerin darbe genişlikleri değiştirilerek farklı uzunluklardaki kablolarda ölçümler yapılmış ve arıza noktasının bulunabilmesi için kısa uzunluklu kablolarda dalga genişliğinin kısa olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Darbe yansıma ölçeri için 5 V genlikli ve 40 ns ile 2000 ns aralığında darbe genişliğine sahip bir darbe üreteci tasarlanmıştır. Osiloskop ekranında yakalanan yansıma görüntüleri, seri haberleşme aracığıyla, darbe yansıma ölçümü için geliştirilen ANALİZ yazılımına aktarılmış ve burada incelenmiştir. Karşılaştırmalı darbe yansıma ölçümü yapabilen bu yazılım sayesinde hat üzerindeki ek noktalarından etkilenmeksizin arıza noktaları belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar, darbe yansıma yönteminin eğer arıza parametreleri uygun ise yüksek doğruluklu sonuçlar verdiğini göstermiştir.

CABLE FAULT ANALYSIS WITH PULSE ECHO METHOD

SUMMARY

Underground cables are an indispensable part of modern energy distribution systems. Thanks to the facilities they offer in operation and the environmental benefits they bring, underground cables have become the first choice in today's distribution systems

The studies on determination of fault locations date back to the years when the underground cables were first used. Since then, the activities for finding fault locations have continuously been renewed and developed by making use of all the facilities provided by modern technologies.

In this thesis study, the fault determination methods that have been used up to date since the first days of underground cables are explained. By making use of pulse echo method, which is one of the principal methods, measurements on a cable were conducted and fault parameters' impact on measurement results was examined.

On a sample cable, my means of a potentiometer connected to the joint of the cable, serial and shunt faults with different resistance values were generated, and fault resistance's impact on determination of fault location was experimentally examined. Additionally, case of water penetration into cable was simulated and, by altering conductivity of water at this stage, change of pulse reflected from the fault location was observed.

By changing the propagation constant of the cable, which is an important parameter in determination of fault location, propagation constant's impact on measurement results was examined with experiments conducted on different cables. Later, by altering pulse widths of the pulses applied on the cable, measurements on cables with various lengths were made and it was concluded that, in order to find the fault location, pulse width in short cables must be short.

For pulse-echometer, a pulse generator with a 5 V amplitude and a pulse width between 40 ns and 2000 ns range was designed. Through serial communication, echo views captured on the oscilloscope display were transferred to ANALIZ software developed for pulse echo measurement and they were examined there. By means of this software, which can make comparative pulse echo measurement, fault locations were determined without being affected by the joints on the line. Experimental studies showed that the pulse echo method gives high accuracy results, if the fault parameters are adequate.

1. GİRİŞ

Sanayileşme sürecinde teknolojik gelişimin en büyük göstergesi elektrik enerjisi üzerine olmuştur. Enerjinin bol ve ucuz olması toplumların sanayileşme hızını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle enerji üretim sürecindeki tüm faktörler ekonomik gelişim sürecinde doğrudan rol alırlar. Elektrik santralinden başlayarak fabrikaya kadar uzanan enerji zincirinde dağıtım ve iletim hatlarının kalitesi, gerçekte enerjinin kalitesini ve dolayısıyla da üretimini hızını ve kalitesini belirlemektedir.

Enerji üretim ve dağıtım santrallerine oranla çok savunmasız olan iletim ve dağıtım hatları üzerinde meydana gelen arızalar, bu hatların korunmasının ve sağlıklı biçimde işletilmesinin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuştur. Başlangıçta enerji dağıtımı için kullanılan havai dağıtım hatlarının artan enerji ihtiyacı ile birlikte giderek karmaşıklaşması ve artan çevresel duyarlılık, yeraltı kablolarının kullanılmasını bir zorunluluk haline gelmiştir.

İlk yeraltı kablosu 1847 yılında Werner v. Siemens tarafından Berlin ile Grossbeeren arasında, ilk denizaltı kablosu ise 1850 yıllarında Dover (İngiltere) ile Kap Gris Nez (Fransa) arasında döşenmiştir [1]. İlerleyen yıllarda yeraltı kabloları tüm dünyada yaygınlaşmış ve enerji dağıtım sisteminin vazgeçilmez bir parçası olmuşlardır. Bugün modern şehirlerde enerji dağıtımı tamamiyle yeraltı kabloları aracılığıyla yapılmaktadır.

Kabloların yeraltına indirilmesi, sağladığı bütün avantajların yanı sıra bazı sorunları da beraberinde getirmiştir. Montaj sırasında oluşan sakatlanmalar veya zaman içersinde ortaya çıkan, yaşlanmadan ve dış mekanik etkileşimlerden kaynaklanan arızalar sistemin işletilmesinde ciddi sıkıntılar yaşanmasına neden olmuştur.

Yeraltı kablolarında arıza noktasının bulunması için yapılan çalışmalar, yeraltı kablolarının ilk döşendiği yıllarda başlamıştır. Bu alanda ilk çalışmalar 1848 yılında, İngiliz uyruklu bir denizaltı kablo uzmanı olan Varley tarafından başlatılmıştır. Daha

sonra Murray tarafından geliştirilen köprü yöntemi bugün bile uygulama alanı bulmaktadır.

Köprü yöntemi temel olarak ortasında galvanometre bulunan bir direnç köprüsünün denge durumunda iken çapraz kollarında bulunan dirençlerin birbirine oranının eşit olması ilkesine dayanır [2]. Bu yöntem, o dönemde kullanılan galvanometrelerin ölçüm doğruluklarının kötü olmasına rağmen çok doğru sonuçlar vermiştir. İlerleyen yıllarda bu alanda çalışmalar devam etmiş ve farklı tiplerde köprü tasarımları ortaya çıkmıştır. Hillborn, Murray – Fisher, İki uçlu Murray, Açık ve Kapalı çevrim ve Werren çevrimi bunlardan bazılarıdır [3].

1930'lu yıllarda RADAR teknolojisinin ortaya çıkması, yeraltı kablolarında arıza noktasının belirlenmesi için bir dönüm noktası olmuştur [4]. RADAR yöntemi yeraltı kablolarına uygulanmış ve çok başarılı sonuçlar alınmıştır. Yöntem, tıpkı hava radarları gibi, kablo içersine gönderilen bir sinyalin kablo üzerinde empedansın değiştiği noktalardan yansıması ilkesine dayanır [3]. Yansıyan dalganın dönüş süresinin belirlenmesi arıza noktasının kaynağa olan uzaklığını verir. Bu nedenle bu yönteme Darbe Yansıma Ölçümü (Time Domain Reflectometry) denilmiştir. Bu uygulamadan sonra gerçekleştirilen çalışmalar genellikle bu yöntemin geliştirilmesi üzerine yapılmıştır.

Darbe yansıma ölçümü kablonun karakteristik empedansının 10 katına kadar olan direnç değerlerine sahip arızalarda kullanılabilmektedir [2]. Bu nedenle arıza dirençlerinin megaohm seviyelerinde olduğu orta ve yüksek gerilim hatlarında kullanılan XLPE kablolarda darbe yansıma ölçümü istenen sonuçları vermez [3].

Yüksek dirençli arızaların darbe yansıma ölçümü ile belirlenebilmesi için arıza noktası direncinin düşürülmesi gerekir. Bu amaçla geliştirilen yöntemlerden biri yakmadır. Yakma işlemi, arıza yerinde yapay bir kısa devre oluşturarak arıza direncinin düşürülmesidir [1]. Böylece arıza noktası darbe yansıma ölçeri ekranında görünür hale gelir.

1970'li yıllarda arıza noktasında meydana gelen arkın yarattığı yürüyen dalgaların incelenmesine dayalı yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu ilkeye dayalı arıza bulma yöntemleri pasif yöntemler olarak adlandırılmıştır [5]. Bunlardan birisi Dr. P. F. Gale tarafından geliştirilen darbe akımı yöntemidir [2]. Yöntem kısaca, bir darbe üreteci

tarafından arıza noktasında oluşturulan arkın yansımalarının endüktif bir kuplaj elemanı üzerinden incelenerek arıza noktasının bulunmasıdır.

Bu yöntem arıza parametrelerinden bağımsız olarak arıza noktasının yüksek bir doğrulukla bulunmasına olanak sağlamıştır [6].

Sonraki yıllarda bu konuda yapılan çalışmalardan biri de yansıyan akım darbelerinin bir fark kuvvetlendiricisi yardımıyla belirlenerek arızanın operatörün yorumuna gerek duyulmaksızın bulunmasıdır.

Bu yöntemde arıza noktasına uygulanan darbe akımı ve ark oluştuktan sonra yansıyan darbenin akımı yüksek frekanslı transformatörler yardımıyla okunur. Bu yöntemde uzaklık belirlemek için bir fark kuvvetlendiricisi kullanılmıştır. Başlangıç akım darbesi ile yansıyan akım darbesinin toplamından elde edilen darbenin işareti ve dönüş süresi yardımıyla fark kuvvetlendiricisinin kontrol ettiği sayıcı üzerinden uzaklık hesaplanmıştır. Bu yöntemin avantajı kablo sonunun yalıtılamadığı gazlı kesiciler bulunan hatlarda ve çok fazla branşman bulunan hatlarda iyi sonuçlar vermesidir [3].

Darbe akımı yöntemi üzerinde yapılan çalışmalar zaman içersinde arıza noktasının yazılımsal olarak bulunmasına yönelmiştir. Bunun sebebi yansıyan dalgaların analizinin operatör deneyimine çok fazla gereksinim duymasıdır. Bu alandaki ilk örneklerden birisi K. K. Kuan ve Prof. K. Warwick tarafından geliştirilen Gerçek Zamanlı Uzman Sistem'dir (Real Time Expert System) [7]. Sistem temel olarak yansıma ölçümleri sonucunda oluşturulan bir veritabanı yardımıyla ölçülen darbenin analizini yapmaktadır. Arıza noktası analizinde ilk yapılması gereken süreklilik ve yalıtım deneyi gibi işlemler yapıldıktan sonra operatör hangi damara akım darbesi uygulayacağına karar verir. Sonraki adım olan yansıyan darbenin analiz edilmesi ve yorumlanması işlemini Gerçek Zamanlı Uzman Sistem kendisi yapar ve sonuçları operatöre bildirir. Böylece operatör deneyimine olan gereksinim en aza indirilmiş olur. Ancak bu yöntemin arıza bulma yetenekleri mevcut veritabanında tanımlı olan arıza türleriyle sınırlıdır.

Arızanın yazılımsal olarak bulunmasına yönelik benzer bir çalışma da Hathaway Systems tarafından geliştirilen adaptif filtreleme sistemidir. Bu sistem darbe yansıma ölçümü sonucunda elde edilen veriler içersinde bulunan bağlantı noktalarını arıza noktalarından ayırarak arıza noktasını belirlemektedir [8].

Darbe akımı yönteminde karşılaşılan en büyük problemlerden birisi arıza noktasından yansıyan yüksek frekanslı akım darbelerinin deri etkisi nedeniyle farklı kablo dirençleriyle karşılaşması dolayısıyla akım darbesini oluşturan bileşenlerin sönümlenme hızlarının farklı olmasıdır. Bu durum akım darbesinin bozulmasına neden olmaktadır. Sun ve Wei tarafından geliştirilen yöntem dalgacık analizi yardımıyla akım sinyalindeki gürültülerin süzülmesi ilkesine dayanır. Darbe akımı yöntemi ile toplanan veriler öncelikle bileşenlerine ayrılır ve yüksek frekanslı bileşenler için dalgacık katsayısı belirlenir. Daha sonra sinyal yeniden oluşturularak gürültüsü giderilmiş veriler elde edilir. Bu yöntemle yaklaşık %2 doğrulukta ölçümler yapılmış ve uygulama için yeterli bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır [9].

Darbe akımı yönteminde yaşanan bu sıkıntılar daha güçlü bir yöntem olan ikincil darbe yönteminin (Secondary Impulse Method) ortaya çıkmasına neden olmuştur [10]. Ark yansıması yöntemi olarak da bilinen ikincil darbe yöntemi arıza noktasında ark oluştuğu anda burada oluşan kısa devrenin kabloya gönderilen düşük gerilimli bir darbe yansıma sinyali ile bulunmasıdır. Bu yöntem arıza noktasında meydana gelen geçici durumlardan etkilenmediği için etkili bir yöntemdir. Ancak ölçüm sırasında arkın kısa sürmesi (100 μs), özellikle uzun hatlarda darbe yansıma ölçümünün doğruluğunu azaltmaktadır. Li ve Gong bu sorunu gidermek için ark süresinin uzatılması üzerinde çalışmışlardır. Bu amaçla, oluşan arkın süresini uzatan bir cihaz tasarlanmıştır. Yapılan deneyler arıza noktasındaki arkın devam ettirilebilmesi için cihazın ne zaman devreye alınacağının çok önemli olduğunu göstermiştir. Çünkü eğer ark başlamadan önce cihaz devreye alınırsa ark aniden oluşacak ve sönecektir. Başladıktan sonra devreye alınırsa arıza noktasındaki ark söneceği için yeni bir ark oluşamayacaktır. Deneysel çalışmalarda darbe üretecinin devreye alınmasından sonra 2 ms kadar bir süre beklemenin yeterli olacağı görülmüştür. Tasarlanan cihaz ark süresini 86,5 ms'ye kadar uzatılabilmiştir. Bu sürenin darbe yansıma ölçümü için yeterli olduğu görülmüştür. Bu yöntem yüksek dirençli arızalarda, darbe şekillerinin akım darbesi yöntemine göre kolaylıkla ayırt edilebilmesi yönünden üstündür.

Bu tez çalışmasında kablo arızalarının bulunması için kullanılan yöntemler incelenmiştir. İlk bölümde, arıza türleri ve arızaların oluşma nedenleri açıklanmıştır. İkinci bölümde, arıza noktasının ön belirlenmesi için kullanılan köprü ve darbe yansıma ölçümüne dayalı yöntemler ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Üçüncü bölümde arıza noktasının tam olarak belirlenmesinde kullanılan maksimum, minimum ve

büklüm yöntemleri anlatılmıştır. Son bölümde ise tez kapsamında geliştirilen bir darbe yansıma ölçeri yardımıyla örnek bir kablo üzerinde deneyler yapılmış ve yine tez kapsamında geliştirilen bir yazılım yardımıyla sonuçlar incelenmiştir.

2. KABLOLARDA ARIZA NEDENLERİ VE ARIZA TÜRLERİ

2.1 Arıza Tanımı

Kablonun çalışma başarımını etkileyen herhangi bir yapısal hasar, kopukluk veya zayıflık kablo arızası olarak adlandırılır [1]. Kablo arızalarının ortaya çıkışında kablonun üretimi ile başlayan kullanım sürecinde yapılan bütün işlemlerin etkisi bulunur. Bu süreçte oluşabilecek arızaların temel nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

2.2 Kablolarda Arıza Nedenleri

2.2.1 Üretim Hataları

Kablolar belirli standartlara göre üretilirler. Üretimi yapılan kablo, standartlarda belirtilen iletkenlik, yalıtım (izolasyon), gerilim dayanımı ve dielektrik kayıp faktörü gibi ölçütlere uygun olmak zorundadır. Standartlara uygun üretilmeyen kablolar işletme sürecinde sorunlar yaşanmasına neden olmaktadır. Kablo makarasına sarılı durumdaki bir kabloda olabilecek üretim hataları görülemeyeceğinden dolayı kabloya ilişkin deney belgeleri istenmelidir.

2.2.2 Taşıma ve Depolama Hataları

Kabloların hatalı olarak taşınması ve depolanması kablo üzerinde hatalar oluşmasına neden olabilir. Taşıma sırasında kullanılan takozların özensiz kullanılması ve aktarma sırasında kablonun aşırı derecede sarkması kablo üzerindeki kılıf ve zırhın bozulmasına neden olmaktadır.

Depolama sahasında kablo uçlarının açık bırakılması kablonun içersine nem girmesine neden olur. Ayrıca kablo yalıtımının bozulmaması amacıyla kablonun uzun süre güneş altında bekletilmemesi gerekir.

2.2.3 Döşeme Hataları

Kablolarda meydana gelen arızaların çoğunluğu döşeme sırasında yapılan hatalardan kaynaklanır. Bu hatalar genellikle kablonun aşırı kıvrılması, kablo çekilirken

meydana gelen sürtünmeden dolayı kılıfın zarar görmesi ve kablo döşenen zeminde bulunan kesici cisimlerin kılıfa zarar vermesi şeklindedir. Bu zayıf noktalar zaman içinde yaşlanmaya bağlı olarak kabloda arızalara neden olurlar.

2.2.4 Montaj Hataları

Bu hatalar genellikle kablo eklerinin (mufların), kablo başlıklarının montajı sırasında ve damarların izin verilen çapların altında kıvrılması sonucunda meydana gelir. Kablo eklerinde kullanılan sıcak dolgu maddelerinin belirli bir sıcaklığın altına inmeden dökülmesi bu noktada kablo yalıtımının bozulması neden olur.

2.2.5 Mekanik Hasarlar

Mekanik hasarlar, kablo döşendikten sonra yapılan hafriyatlar, yol çalışmaları, toprak kaymaları ve kazılar sonucunda ortaya çıkar. Bu nedenle oluşabilecek hatalar hemen ortaya çıkabileceği gibi aylar sonra da ortaya çıkabilmektedir.

2.2.6 Korozyon etkisi

Korozyon etkisi, topraktaki humus asidi, kireç ve diğer benzeri kimyasal maddelerin etkisi sonucunda görülür. Örneğin akaryakıt tankları yakınındaki PVC kılıflı kablolar zarar görür. Kükürtlü araziye döşenen kırmızı renkli PVC kablolar zamanlar siyahlaşır. Köprülerde ve yol kenarlarında bulunan kurşun kılıflı kablolarda sarsıntı nedeniyle kristalleşme şeklinde (interkristalin) bir korozyon görülür. Doğru akım kaynaklarının yakınında bulunan kablolarda elektrolitik korozyon meydana gelir.

2.2.7 Isıl Etkiler

Her kısa devre arızasında kablo, bir ısıl darbe etkisi altında kalır. Birbirlerine yakın döşenmiş kablolarda, merkezi ısıtma sistemi yakınlarındaki kablolarda, ısı iletkenliği düşük zeminlerde ısıl etkiler görülür. İklimlere ve döşeme şekline göre kabloların özelliklerine dikkat edilmeli, hatta döşeme yapılmadan önce toprağın ısı iletkenliği ölçülmelidir.

2.2.8 İç ve Dış Gerilim Darbeleri

İç gerilimler, toprak kaçağının kesilmesinde ve bazı anahtarlama (açma-kapama) işlemleri sırasında meydana gelir. Dış gerilim darbeleri ise yıldırım düşmesi gibi atmosferik olaylardan ve çevredeki yüksek gerilimli tesislerin etkilerinden oluşur. Bu

gerilim darbeleri kablolarda yalıtımın zayıf olduğu yerlerde, muflarda ve kablo başlıklarında atlamaya neden olur. Atlama tehlikesi özellikle havai hat kablo bağlantılarında, açık kablo sonunda, dalga empedansı değişimi sonucunda meydana gelen yansıma nedeniyle olur. Özellikle açık hava başlıkları ve yakınlarındaki muflar bu dış gerilimlerden çok etkilenirler.

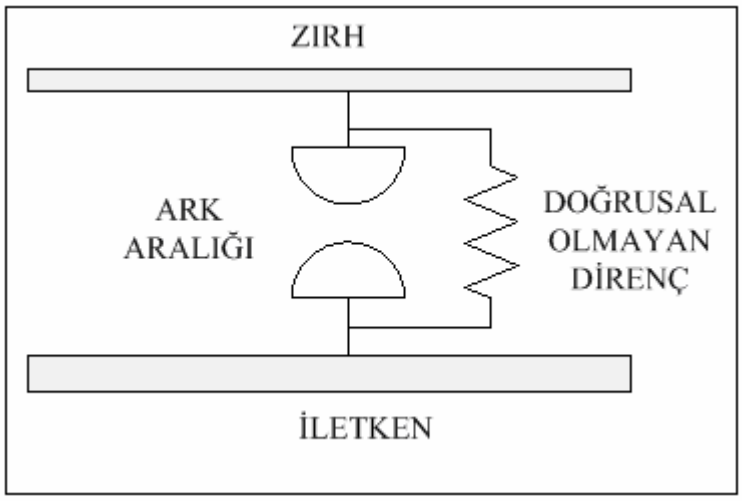
2.2.9 Eskime ve Ömür

Arıza nedenleri arasında, kablonun eskimesi ve ömrü de göz önünde tutulmalıdır. Her döşenmiş kablo için bir arıza istatistiği tutmakta yarar vardır. Bu istatistik sayesinde daha önce meydana gelmiş arızalar, nedenleri ve yerleri devamlı olarak izlenir ve kablo hakkında bilgi sahibi olunur.

2.3 Kablolarda Arıza Türleri

2.3.1 Dokunma Arızası

Dokunma arızası, kablo içersinde bulunan iletkenlerden iki veya daha fazlasının birbirlerine dokunmasıdır [2]. Bu arızalar, şönt arıza veya kısa devre arızası olarak da adlandırılır. Bu tip arızalar Şekil 2.1'deki gibi modellenebilir.



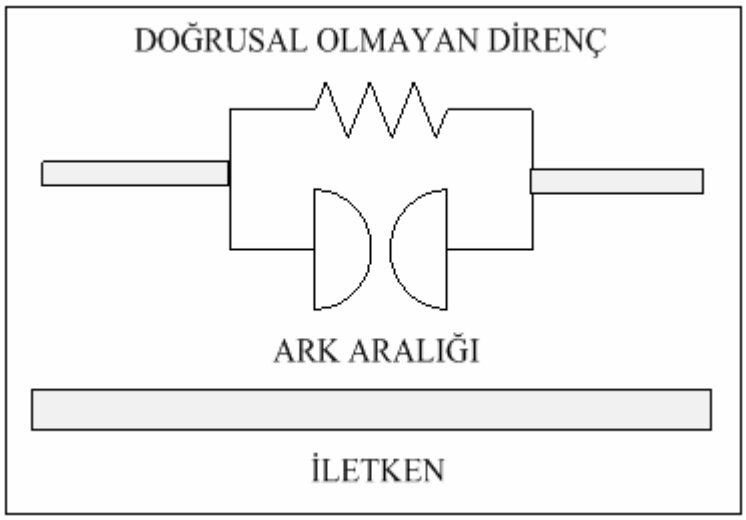
Şekil 2.1 : Dokunma arızasının modellenmesi

2.3.2 Toprağa Dokunma Arızası

Ekransız çok damarlı kablolarda veya düşük gerilimli zırhsız plastik kablolarda damarlardan birinin ya da birkaçının toprağa dokunmasıyla meydana gelir.

2.3.3 Kırılma

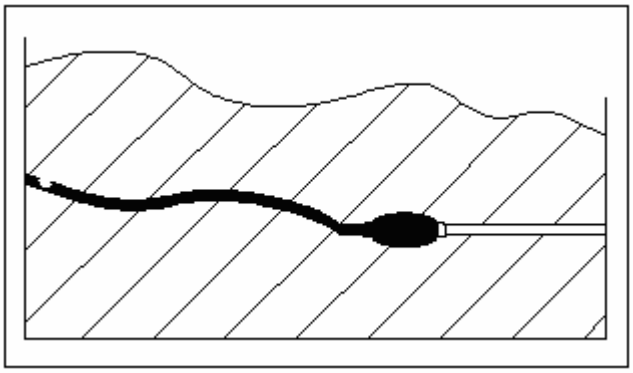
Kırılma hatası aynı zamanda açık devre veya seri hata olarak da adlandırılır. Eğer kablo tamamen kopmuş veya yakınındaki metal ile arasında çok yüksek bir direnç değeri ölçülüyor ise bu hata "temiz" bir hata olarak adlandırılır. Eğer kablo yakınındaki metal ile kablo arasında ölçülebilir bir direnç varsa bu hataya "kirli" hata denir. Kirli hatalar kablo içersindeki iletkenlerin bir kısmının kırılması ya da yanması sonucunda ortaya çıkar.



Şekil 2.2 : Seri Arızanın Modellenmesi

2.3.4 Nem Girişi

Kablo içersinde bulunan nem genellikle bütün iletkenleri kısa devre eder. Su veya nem, kablonun içine hasarlı bir noktadan girer. Kablo içindeki su hasarlı noktanın etrafında toplanabileceği gibi metrelerce uzağa da yayılabilir. Bu nedenle kablo hasarının olduğu yer arıza noktasının biraz uzağında bulunur. Eğer kablo güzergahında eğim varsa su daha uzak mesafelere gideceğinden hasarlı noktaya olan uzaklık daha da artar. Bu noktada yalıtım direnci bir kaç kΩ mertebelerindedir. Islak bölgede karakteristik empedans değişir.



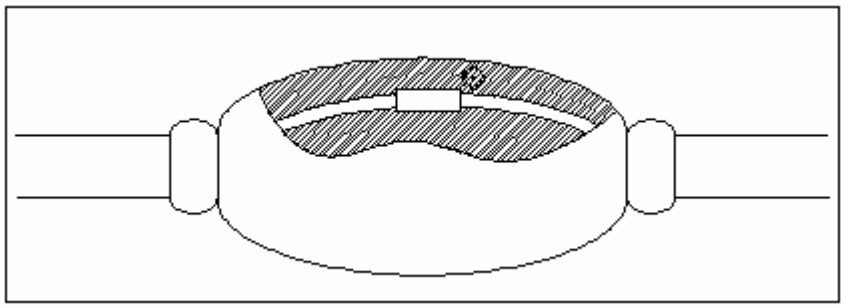
Şekil 2.3 : Kablo İçersine Nem Girişi

2.3.5 Ezilme

Kablonun ezilmesi kablo içindeki damarların kısa devre olmasına neden olur. Ezilme ayrıca bu noktadaki karakteristik empedansı da değiştireceğinden darbe yansıma yöntemiyle yapılan ölçümün de hatalı olmasına neden olacaktır.

2.3.6 Atlama Arızası

Bu arıza düşük gerilimlerde ortaya çıkmaz. Kabloya uygulanan gerilim değeri belirli bir sınır değeri aşınca arıza noktasında ark oluşur. Bu sınır değer kablonun kabul edilen doğru gerilim deney değerine göre bir kaç yüz volt seviyesinde kilovolt seviyelerine kadar çıkar. Böyle bir arıza noktası ark aralığı gibi davranır.



Şekil 2.4 : Kablo Ekinde Kısmi Boşalma

2.3.7 Kısmi Boşalma

Kısmi boşalmalar, kablonun üretimi sırasında kablo içersinde kalan boşluk, aralık veya yabancı parçacıklar gibi hatalar nedeniyle bu kısımlarda olan yerel, küçük boşalmalardır. Yükleri (genlikleri) picocoulomb mertebesindedir. Bu boşalmalar, tekil veya çoklu boşalmalar şeklinde olabilir. Her boşalma olayı yüksek enerjili elektronların etkisiyle materyali biraz daha deler [11]. Bu boşalmalar, daha sonra birleşerek kabloda arıza olmasına neden olurlar.

2.3.8 Arıza Elektriksel Karakteristiği – Arıza Nedeni İlişkisi

Kablolarda meydana gelen arızlalar elektriksel karakteristiklerine göre şu şekilde sınıflandırılırlar [12].

Çizelge 2.1 : Arızaların Elektriksel Karakteristiklerine Göre İncelenmesi

Kısa Devre Arızaları (Şönt Hatalar)	Açık Devre Arızaları (Seri Hatalar)
Kısa devre a. Mekanik hasar iç iletkenlerin kısa devre olmasına neden olmuştur. b. Yanık kablo yalıtımı; direnci 5 Ω'dan daha küçük bir karbon metal köprüsü iletken ile zırhı kısa devre etmektedir. c. Buharlaşan yalıtım, iletken ile zırh arasında düşük dirençli bir yol oluşturmuştur. Doğrusal Olmayan Arıza (Gerilime Bağlı) a. Gerilimin 500 V'tan küçük olduğu durumlarda arıza yok, gerilimin 500 V'tan büyük olduğu durumlarda delinme sonucu kısa devre oluşmaktadır. b. Yeraltı kablo arızalarında şönt direnç, uygulanan gerilimle değişir. Açık Devre Kablo taşıyabileceğinden daha yüksek gerilim darbelerine maruz kalır a. Mekanik hasar, açık sonlandırma veya kopuk bağlantı var b. Sigortaların tekrar kapatılması nedeniyle iletkenin yanması ve kablo sonunun açık devre olması	Açık Devre a. Mekanik hasar iletkenlerin, zırhın veya bağlantı noktalarının kopmasına neden olmuştur. b. Elektriksel hasar kablonun veya bağlantı noktalarının yanmasına neden olmuştur. Doğrusal Olmayan Arıza (Akıma Bağlı) a. Eş eksenli nötr korozyonu b. Bağlantı ya da sonlandırmanın hasar görmesi c. Yanık iletken d. Kabloya su girişi sonucu kablonun yanması

3. KABLO ARIZALARINDA ÖN YER BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Kablo arızalarına müdahale edilmeden önce bazı basit deneylerin yapılması doğru yer bulma yönteminin seçilmesi açısından büyük önem taşır. Ölçüme başlamadan önce arıza tipi hakkında fikir edinebilmek arıza süresinin kısalmasında önemli bir etkendir.

Herhangi bir yer bulma yöntemi seçilmeden önce kablonun elektriksel bütünlüğünden emin olunmalıdır. Bu amaçla kabloya yalıtım deneyi uygulanır. Fakat daha önce düşük gerilimli bir direnç ölçer ile kablo içersindeki bütün iletkenlerin birbirlerine göre dirençleri ölçülmelidir.

Arıza yeri bulunması yaklaşımında dirençlerin ölçülmesi iki nedenden dolayı önemlidir [2].

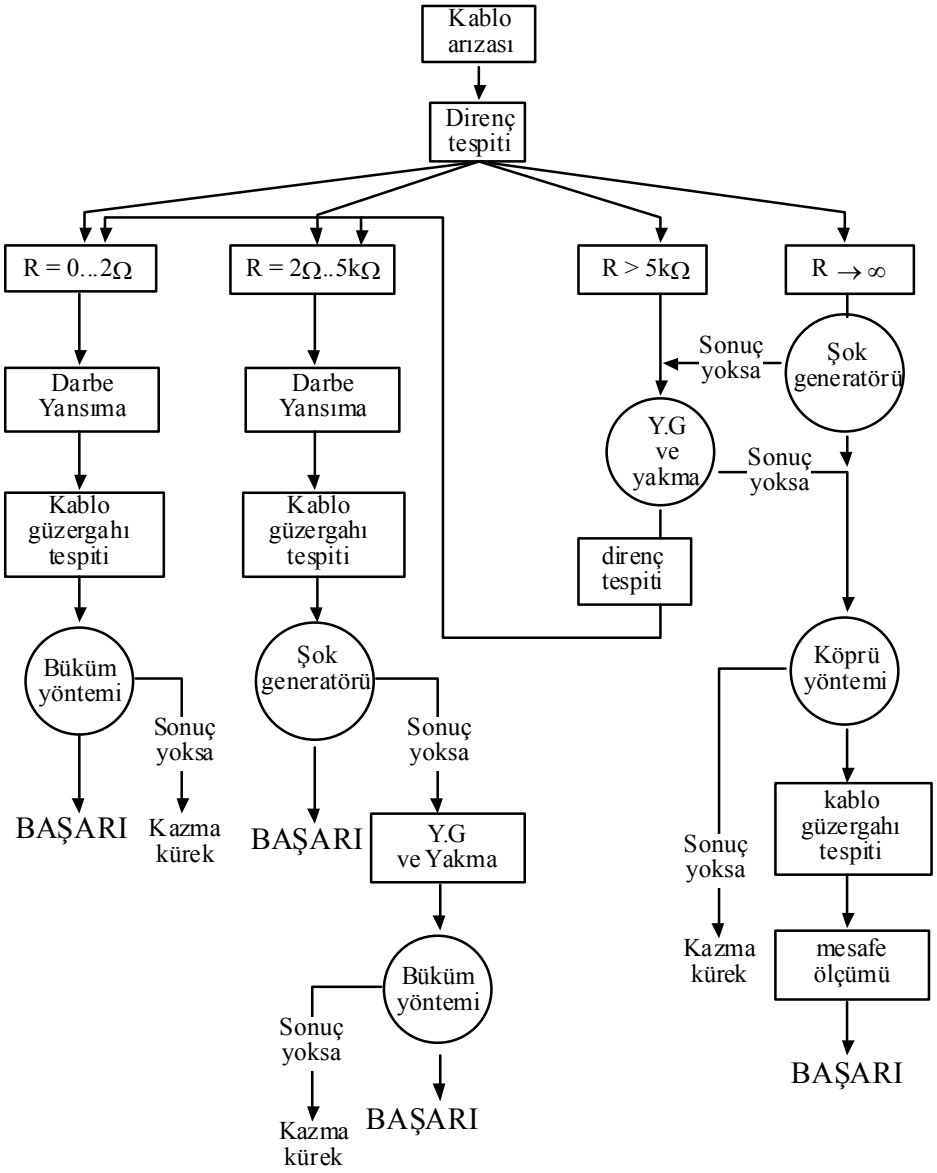
1. Darbe Yansıma Ölçeri kablo arızasının başlangıçtaki durumunu görmek açısından ölçüm yapacaktır. Bu işlemden önce bir yalıtım direncinin ölçülmesi yanıltıcı olabilir. Başka bir deyişle yalıtım direncinin ölçülmesi sırasında arızalı kabloya uygulanan kilovolt seviyelerindeki gerilimler zayıf olan yollarda delinmeye yol açarak kısa devre edeceğinden Darbe Yansıma Ölçerinin arızasız olarak gösterdiği kısımlar yalıtım deneyinde arızalı olarak algılanabilir ve bu da kablo hakkında yanlış bir izlenim oluşmasına neden olur.
2. Arızalı kabloya yalıtım deneyinin uygulanması arızanın durumunu değiştirebilir. Bazı durumlarda arızalı noktadan bir kaç miliamper seviyelerinde akımların geçmesi arızayı kararsız hale getirebilmektedir. Bu nedenle başlangıçta düşük gerilimli bir direnç ölçer ile bütün iletkenlerin birbirlerine ve toprağa göre dirençleri ölçülmelidir. Eğer bu ölçümler belirgin bir fikir vermezse arızalı damarların bulunması için yalıtım direnci ölçümü yapılmalıdır.

Direnç ölçümünden sonra kablonun sürekliliği ölçülmelidir. Bu deneme, kablo sonunda damarların birbirine veya toprağa kısa devre edilmesi ile yapılır. Süreklilik

ölçümünden sağlıklı bir sonuç alınabilmesi için kablonun uzunluğunun ve elektriksel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Damarlar arasında olabilecek bir direnç dengesizliği seri bir hatanın varlığına işaret eder.

Bu aşamadan sonra darbe yansıma ölçerle kablo incelenmelidir. Eğer hata görülebilir durumda ise bir ön belirleme yapmak artık mümkündür. Ancak herhangi bir açık devre yoksa veya kısa devre arıza direnci çok yüksek değerlerde ise darbe yansıma ölçeri arızayı gösteremeyecektir. Eğer kablo süreklilik ölçümünde bütün damarlar sağlam görünmesine rağmen darbe yansıma ölçeri bir açık devre gösteriyor ise arıza zırhtadır.

Darbe yansıma ölçeriyle yapılabilecek başka bir deney de kablo uçlarının kablo sonundan kısa devre edilmesidir. Ancak bu yöntem de eğer arıza yüksek dirençli ise sağlıklı sonuç vermez. Kabloya uygulanan ön deneyler sonucunda elde edilen direnç değerlerine göre izlenebilecek yolları gösteren akış diyagramı Şekil 3.1'de verilmiştir [13].



Şekil 3.1 : Direnç Ölçümü Sonucunda İzlenecek Yöntemler

Arıza ön yer belirlemede kullanılan yöntemin uygunluğu en kısa sürede ve en düşük gerilim değerlerinde sonuç vermesine göre değerlendirilir. Bu yöntemler ve uygun kullanım yerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir [12].

Çizelge 3.1 : Arıza Türü – Ön Yer Belirleme Yöntemi Tablosu

	Kısa Devre, Metal Saplanması	Açık iletkenler, Eş Eksenli Nötr Korozyonu	Yağ veya Su Kaynaklı Arızalar	Yüksek Gerilimli Atlamalar, Yüksek Dirençli Arızalar	İletken-Toprak Arızaları	Çok Yüksek Gerilimli Atlamalar, Süreksiz Arızalar
Klasik TDR	**X**	**X**				
Karşılaştır-malı TDR	**X**	**X**				
Darbe Arkının Yansıması			**X**	**X**		
Anlık Darbe Yöntemi	**X**		**X**	**X**	**X**	
Yakma Arkının Yansıması			**X**	**X**		
Zayıflama Yöntemi			**X**			**X**
Köprü Yöntemleri	**X**		**X**		**X**	

Ön incelemeler tamamlandıktan sonra artık arızanın ön yer belirlemesi için seçim yapmak mümkündür. Ön yer belirlemede temel alternatifler direnç köprüsü, darbe yansıması ve geçici hallerin incelenmesine dayanan ark yansıma ve darbe akımı yöntemleridir. Ancak ön yer belirleme yöntemi seçilmeden önce aşağıda belirtilen noktalar göz önünde bulundurulmalıdır.

1. Toplam kablo uzunluğu, kol (branşman) sayısı ve hat üzerinde bağlı bulunan transformatörler ön yer belirleme yönteminin etkinliğini belirleyecektir. Darbe yansıması yöntemi ile etkin bir ölçüm yapılabilmesi için arızalı bölgeye birden fazla noktadan ulaşılabilmesi gerekmektedir. Genel bir kural olarak her üç ya da dört branşman için bir adet giriş noktası bulunmalıdır.
2. Darbe yansıması ark yansıma, anlık darbe yansıması ve zayıflatma yöntemlerinin uygulanabilmesi için arızalı kabloya doğrudan ulaşılabilmesi gerekmektedir. Deney aleti ile kablo arasında olabilecek bir empedans uyumsuzluğu darbe yansımasına dayanan yöntemlerin kullanılmasını engeller.

3. Kablonun toplam kapasitesi, darbe üreteçlerinin etkin biçimde kullanılmasını engeller. Arıza ön yer belirleme için darbe üreteci kullanılıyorsa iç kapasite kablo kapasitesinden en az on kat büyük olmalıdır.
4. Kablo yalıtımının türü, yakma ve yalıtım deneyi yöntemlerinin kullanımını kısıtlar. Yağlı kağıt yalıtıma sahip kablolardaki arızalar genellikler yakma işlemi yapılarak bulunur. Ancak katı dielektrik malzemelerin yakılması genellikle direncin azalmasını sağlamaz. Daha önemlisi katı dielektrik yalıtımlı bir kablonun kısa süreliğine de olsa yakılmaya çalışılması kablonun patlamasına ve çevresindeki sağlam damarların veya kabloların da zarar görmesine neden olmaktadır. Genellikle yakma işlemi kağıt yalıtımlı kablolara ve su altında bulunan kablolara uygulanmalıdır.
5. Transformatörlerin primer bağlantıları ön belirleme yöntemi seçilirken göz önünde bulundurulması gereken hususlardandır. Birçok dağıtım şebekesinde primeri üçgen bağlı transformatörler kullanılmaktadır ve bu bağlantılar yalıtılmamaktadır. Bu durum darbe yansıması işleminde istenmeyen yansıma noktalarının oluşmasına neden olur.

3.1 Arızanın Bölgesel Hale Getirilmesi (Sectionalizing)

Arızalı bölgenin, bölge bölge incelenerek ayrılması kes ve dene yöntemiyle yapılır. Bu yöntemde kablolar gerçekten kesilerek şebekeden ayrılır ve çeşitli yöntemlerle incelenir. Kesme işlemine arıza bölgesi olabilecek en küçük seviyeye indirilinceye kadar devam edilir. Bu bölge içersinde arama yapılarak arıza noktasına ulaşılır. Bu yöntem çok maliyetli ve zaman alan bir yöntemdir [12].

Arızalı bölgeyi daraltma işlemi mevcut şebekelerde sigortalar yardımıyla yapılmaktadır. Bu yöntemde kes ve dene yöntemine benzer olarak kablo hatları ayrılır. Ancak ayırma işlemi kablolar kesilerek değil sigortalar yardımıyla yapılır. Hattın arızasız olduğu bilinen parçaları yalıtılarak hatta tekrar enerji verilir. Hangi sigorta açtıysa o sigortanın bağlı olduğu hat üzerinden gidilerek arıza noktasına yaklaşılır. Bu yöntem hatta bağlı olan tüketicilerin aygıtlarına zarar verdiği için önerilmez.

Yer bulma yöntemlerinden bir tanesi de kabloya doğrultulmuş faz-nötr gerilimi uygulanmasıdır. Bu yöntem doğru gerilim uygulanan bir uçları açık bir kablonun

yüklendikten sonra akım çekmemesi ilkesine dayanır. Eğer kablo üzerinde bir arıza varsa akım kesilmeyecek akmaya devam edecektir. Ancak bu yöntemin dezavantajları vardır. Örneğin kaçak akımları olan bir hatta akım kesilmeyeceğinden dolayı arıza olmasa bile bu durum doğrultucu tarafından arıza olarak algılanacaktır. Ayrıca transformatörlerin doğru akım dirençleri küçük olduğundan hat üzerinde bulunan transformatörler hattan ayrılmalıdır. Bu nedenle bu yöntem çok uzun sürmektedir ve çok güvenilir değildir. Ancak operatör deneyimine çok ihtiyaç duyulmadığı için tercih edilen bir yöntemdir.

3.2 Köprü Yöntemleri

Köprü yöntemleri hata yeri bulunmasında kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Ancak eski olmasın rağmen darbe yansıma ölçümünün yapılamadığı ve geçici durumlara dayalı yöntemlerin uygulanamadığı kablo sistemlerinde etkin biçimde kullanılmaktadır.

Yöntem temel olarak kablo uzunluklarıyla temsil edilen iki iç direnç kolunun iki dış direnç koluna dengelenmesi işlemidir. Köprü uygulamaları için ön koşullar şunlardır;

- Kablonun iki başı da bağlantı için serbest olmalıdır.
- Dönüş hattına ihtiyaç vardır.
- Kablo sonunda bağlı bir yük kısa devre etkisi yapacağından uzaklaştırılmalıdır.
- Bağlantı yapılırken köprünün akım ve gerilim kolları iletkenlere ayrı ayrı bağlanmalıdır.
- Branşmanlı ve değişik kesitli kablolarda döşeme planlarına ihtiyaç vardır.
- Köprü gerilimi 1 mA ile 100 mA'lik ölçme akımını sağlayabilecek kadar yüksek olmalıdır. Yüksek gerilim uygulanması durumunda güvenlik önlemleri alınmalıdır.
- İki veya daha fazla arıza ölçümü yanıltır.
- Köprü devresini etkileyebilecek yabancı akımlar ölçümü olanaksızlaştırır.

Arıza direncinin bir kaç kiloohm seviyelerinde olduğu arızalarda köprü yöntemlerinin kullanılması uygundur. Haberleşme kablolarında megaohm seviyelerinde bile yöntem etkin sonuç verir. Ancak enerji kablolarındaki yüksek

dirençli arızaların bulunması çok zordur. Genellikle 1 kΩ'un altındaki dirençli arızalar köprü yöntemi için ideal bir değerdir.

3.2.1 Köprü İlkesi

Kablo arızalarında kullanılan tüm köprülerin temel ilkesi Wheatstone köprüsüne dayanır [1]. Diğer tüm uygulamalar Wheatstone köprüsü temel alınarak geliştirilmiştir.

Wheatstone köprüsü şekilde gösterilmiştir. Galvanometrenin dengelendiği durumda A ve B noktaları arasındaki potansiyel farkı sıfır olacağından,

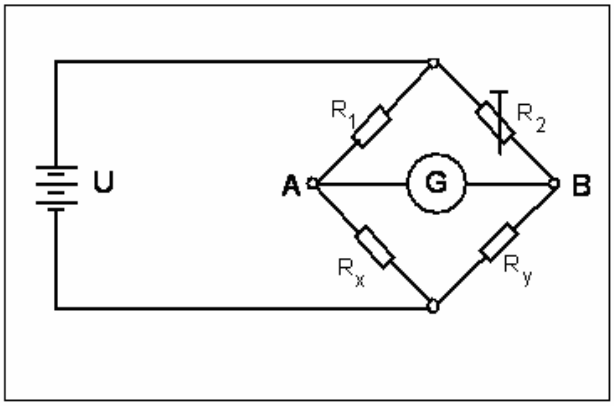
$$U(A-B)=0 \qquad \textbf{(3.1)}$$

Bu durumda çapraz direnç kollarının birbirine oranı eşit duruma gelir.

$$\frac{R_X}{R_Y}=\frac{R_1}{R_2} \qquad \textbf{(3.2)}$$

Homojen ve sabit dirençli bir kabloda kablo direnci kablo boyu ile orantılı olacağından

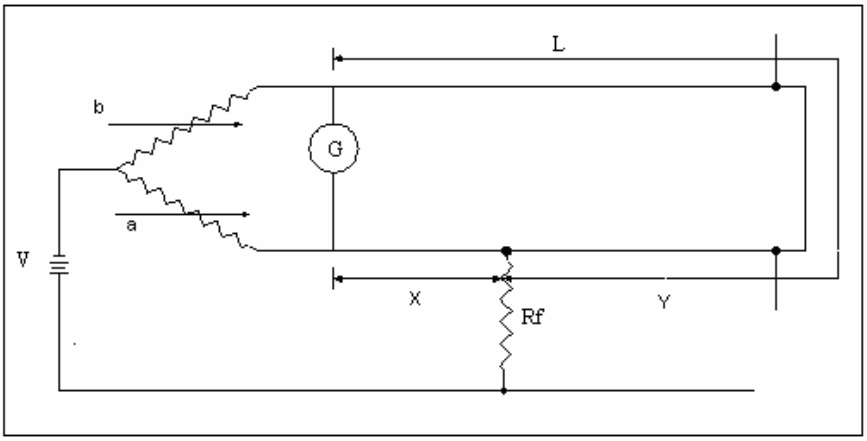
$$l_x = l\frac{R_1}{R_1+R_2} \qquad \textbf{(3.3)}$$



Şekil 3.2 : Wheatstone Köprüsü

a. Murray Yöntemi

Murray köprüsü arızalı kablo ile sağlam kablonun uzak uçtan kısa devre edilmesiyle oluşturulur. Bağlantı şekli Şekil 3.3'deki gibidir.



Şekil 3.3 : Murray Köprüsü

Denge durumunda iç direnç kollarının oranı dış direnç kollarının oranına eşit olmalıdır.

$$\frac{a}{b}=\frac{x}{y} \quad \text{ve} \tag{3.4}$$

$$\frac{a}{a+b}=\frac{x}{x+y} \tag{3.5}$$

Kablonun birim direnci sabit olduğu için a ve b dirençleri x ve y kollarının uzunlukları olarak kabul edilebilir. Bu durumda arızanın yeri çevrim uzunluğunun bir fonksiyonu haline gelir.

$$x=\frac{a(x+y)}{a+b} \tag{3.6}$$

veya

$$x=\frac{a}{a+b}.(2L) \tag{3.7}$$

Burada $2L$ çevrimin toplam uzunluğudur. Bu yöntemin doğruluğu kablonun birim direncinin doğrusallığına bağlıdır. Dolayısıyla kablo üzerindeki direnç değişim noktaları mutlaka bilinmelidir. Bunlara ek olarak, kablo sonunun ulaşılabilir durumda olması gerekmektedir. Ayrıca şekilden de görüleceği üzere çevrimin oluşturulabilmesi için kablo içersinde sağlam bir damar bulunmalı ve bu damarın toprağa karşı yalıtım direnci değerinin arızalı kabloya göre 1000 kat daha fazla olması gerekmektedir.

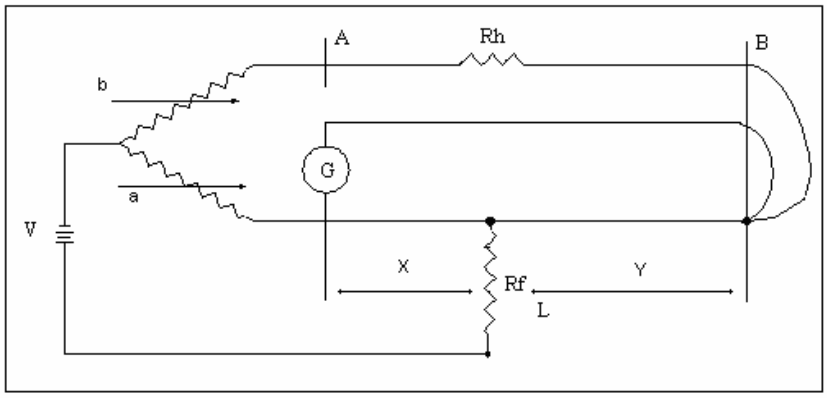
Bu yöntemin temel avantajı doğruluğudur. Ölçüm koşulları yeterinde iyileştirilebilirse % 0,1'lere varan doğruluklarda ölçüm yapılabilir. Ölçüm doğruluğunu belirleyen iki önemli faktör vardır.

- Galvanometrenin duyarlılığı
- Arıza noktasından çekilen akım

Arıza noktasından çekilen akım temel olarak arıza direncine bağlıdır. İyi bir dengeleme için arıza akımı bir kaç miliamper seviyelerine indirilmelidir.

3.2.2 Hillborn Yöntemi

Murray yönteminin değiştirilmiş bir uygulamasıdır. Köprünün bir kolu ek bir hat yardımıyla oluşturulur. Bağlantı yöntemi Şekil 3.4'deki gibidir.



Şekil 3.4 : Hillborn Çevrimi

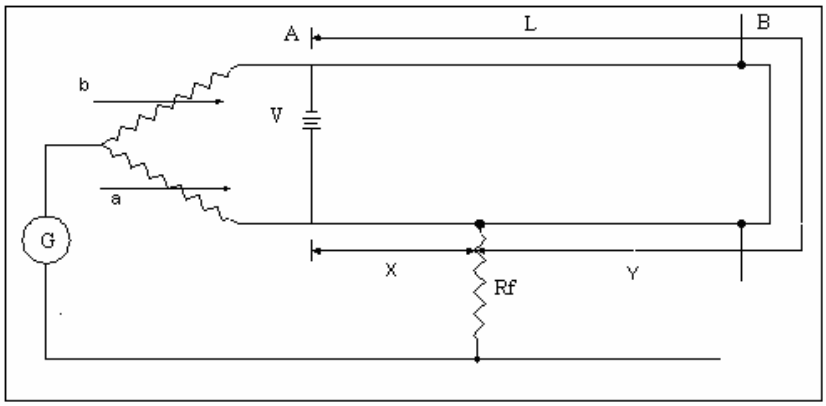
Denge durumunda arıza uzaklığı

$$l_x = l \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_h} \tag{3.8}$$

olarak verilir.

3.2.3 Ters Çevrim Deneyi

Yüksek dirençli arızalarda kullanılan yöntemlerden biri de ters çevrim deneyi (Inverted Loop Test)'dir. Bağlantı şekli Şekil 3.5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.5 : Ters çevrim deneyi bağlantı şeması

Bu çevrimde galvanometre ile güç kaynağının yeri değiştirilmiştir. Yani batarya gerilimi *V* iç ve dış kollardan akan akımları kontrol eder. Yöntemin uygulanabilmesi için sadece 6 V'luk bir güç kaynağının kullanılması yeterlidir.

Denge durumunda;

$$\frac{a}{a+b}=\frac{x}{x+y} \tag{3.9}$$

ve

$$x=\frac{a(x+y)}{a+b} \tag{3.10}$$

veya

$$x=\frac{a}{a+b}.(2L) \tag{3.11}$$

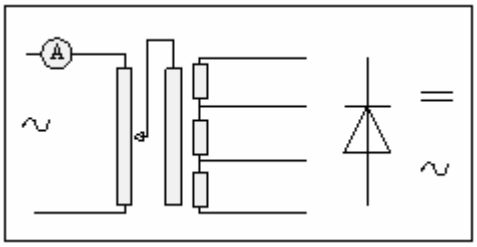
Bu denklemde *2L* çevrimin toplam uzunluğudur. Bu tür köprüler 20 MΩ direnç seviyelerine kadar olan arızalarda etkin biçimde kullanılırlar.

3.3 Yakma İşlemi

Yüksek dirençli arızalara müdahale edilirken sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri de yakmadır. Yöntem ilke olarak arıza noktasında bir kısa devre oluşturmayı amaçlar. Sağlam damar ile arızalı damar arasında oluşan karbon köprü arıza noktasını darbe yansıma ölçeri tarafından görülebilir hale getirir.

Yakma işlemi için kabloyu delebilecek yükseklikte bir gerilime ve akıma sahip cihazlar kullanılır. Bu cihazlar 1-2 kVA'dan 10 kVA'ya kadar değişik güç seviyelerinde mevcuttur. Cihazın gerilim çıkışının ark oluşturmaya yeterli olmadığı durumlarda paralel bir yüksek gerilim üreteci kullanılır.

Paralel bağlanan yüksek gerilim üreteci ile ilk atlamalar gerçekleştirildiğinde arıza yerinde gazlar oluşur ve atlama gerilimi düşer. Bu aşamadan sonra damar ve zırh arasında bir ark oluşur. Arkın oluşturduğu ısıl etki altında yalıtımın hidro-karbür bileşeni karbon ve hidrojen olarak ayrılır. Açığa çıkan karbon, karbon köprüsünü oluşturur.



Şekil 3.6 : Yakma Setine Ait Devre Şeması

Yakma işlemi sırasında arkın devamlılığının sağlanabilmesi için mümkün olan en düşük gerilim seviyesinden başlanmalıdır. İlerlemeyi görmek için yakma cihazı üzerindeki akım ve gerilim göstergeleri devamlı olarak izlenmelidir. Yakma işlemi sırasında gerilim çıkıyor ve akım düşüyorsa yakma işlemi tam gerçekleşmiyor demektir. Uygun bir yakma işleminde zaman içersinde gerilim düşmeli ve akım artmalıdır. Gerilim başlangıç değerinin %10'una düştüğünde artık bir karbon köprüsü oluşmuştur.

İyi bir karbonlaşmanın sağlanabilmesi arıza noktasına uygulanan güce bağlıdır. Eğer akım yüksek tutulursa oluşan karbon parçaları yanmaya başlar. Bu durumda işleme baştan başlamak gerekir. Gücün düşük tutulduğu durumda ise karbonlaşma olur ancak ilerleme olmaz.

Oluşan karbon parçacıkları üzerinden akım kendi yolunu bulur ve ark aniden söner. Bu olay gerilim göstergesinin üzerinde gerilimin alçak fakat sabit bir değere inmesi şeklinde görülür. Akımın yavaş yavaş yükseltilmesi ve gerilimin düşürülmesi sonucunda birçok paralel karbon iletkenler oluşur. Akım kesildiğinde meydana gelen ani soğuma oluşan köprülerin kırılmasına neden olabileceğinden akım yavaş yavaş azaltılmalıdır.

Yakma işleminin ardından ortaya çıkan arıza direnci darbe yansıma ölçüm cihazı ile ölçüm yapmaya uygun olmalıdır. Bu nedenle işlem sırasında arıza direnci sürekli olarak izlenmelidir. Enerji kablolarında 50 – 100 Ω seviyelerindeki bir arıza direnci darbe yansıma ölçümüne uygundur.

3.4 Darbe Yansıma Yöntemi ile Arıza Yeri Bulunması

Darbe yansıma yöntemi, köprüler ile yapılan klasik ön yer bulma yöntemlerinde gereksinim duyulan ek bağlantılar, sağlam bir damar veya karmaşık hesaplamalar gibi gereksinimleri ortadan kaldıran etkin bir yöntemdir. İlk yıllarda kablo arızaları için geliştirilen yöntem bugün baskı devrelerin süreklilik testlerinden toprak ölçümlerine kadar bir çok alanda başarıyla uygulanmaktadır [4].

Darbe yansıma yönteminde arızalı kablonun bir ucundan darbe gönderilir. Bu darbe kablo üzerindeki herhangi bir empedans değişiminde tamamen ya da kısmen yansır. Darbenin kablo içersindeki yayılma hızı sabit kabul edilirse darbenin kaynaktan çıkışı ile kaynağa tekrar dönüşü arasındaki geçen zaman empedansın değiştiği noktanın uzaklığını verir [2]. Arıza yerinin uzaklık ifade denklem (3.12)'deki gibidir. Empedansın değiştiği nokta bir kısa devre veya açık devre olabilir.

$$D = t.\frac{V}{2} \tag{3.12}$$

D : arıza uzaklığı [m]

t : gidiş-geliş süresi [µs]

V: yayılma hızı [m/µs]

Bu yöntemle yapılan ölçümlerde hata oranını belirleyen faktörler temel olarak şu nedenlere bağlıdır:

a) Yayılma sabiti: Yayılma sabiti enerjinin bir madde içindeki yayılma hızı olarak tanımlanır [14]. Her kablonun, karakteristiğine göre değişen yayılma hızı vardır. Yayılma sabiti şu formülle verilir:

$$V = \frac{v_s}{\sqrt{\varepsilon}} \tag{3.13}$$

v_s: ışığın boşluktaki yayılma hızı

ε: kablo yalıtkanının bağıl dielektrik sabiti

Bazı yalıtkanlar ve bunlara ait yayılma hızları tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Farklı Yalıtkanlarda Enerjinin Yayılma Hızı

Yalıtkan	**Yayılma Hızı (m/μs)**
Yağ emdirilmiş kağıt	150–171
Kağıt	216–264
PE	Yaklaşık 200
XLPE	156–174
PVC	152–175
PTFE	Yaklaşık 213
Hava	Yaklaşık 282

b) Arızanın Tanımlanması

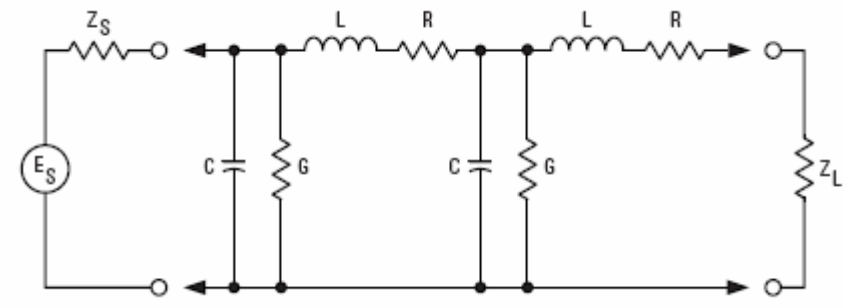
Arızalı kablo üzerinde bulunan branşman ve muflardan yansıyan dalgalar arıza noktasından yansıyan dalgalarla karıştırılabilir. Bu durumda arıza yerinin tanımlanması zorlaşır. Ayrıca kabloya uygulanan darbenin başlangıç noktasının yanlış belirlenmesi arıza yerinin yanlış bulunmasına neden olur.

c) Güzergah Üzerindeki Farklar

Ölçüm sonunda belirlenen arıza uzaklığının güzergah üzerinden takibi yapılırken meydana gelen farklar ölçüm sonucunu büyük ölçüde etkiler.

3.4.1 Arıza Karakteristiklerinin İncelenmesi

Dağıtım hatları genellikle bir R direnci, L endüktansı, hatlar arası veya hat-zırh arası C kapasitesi ve G kondüktansı ile modellenir [15]. Bu şekilde modellenen bir devrede endüktans ve direnç seri bağlı, kapasite ve kondüktans ise paralel bağlıdır. Devre şeması Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : İletim Hattı Modeli

Kabloya uygulanan bir darbenin kablo üzerinde ilerlerken endüklediği gerilimin akımına oranı kablonun karakteristik empedansı olarak adlandırılır.

e endüklenen anlık gerilim ve *i* endüklenen anlık akım olmak üzere karakteristik empedans

$$Z_0 = \frac{e}{i} = \sqrt{\frac{R + jwL}{G + jwC}} \tag{3.14}$$

Hattın kayıpsız olduğu kabul edilirse $R = G = 0$ olacağından

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \tag{3.15}$$

Z_0: Darbe empedansı (Ω)

L: Endüktans (H/m)

C: Kapasite (F/m)

Karakteristik empedans Eşitlik (3.15)'te de görüleceği gibi hattın uzunluğuna bağımlı değildir.

3.4.1.1 Yansıma ve İletim Katsayıları

Sonlu uzunluktaki Z_0 karakteristik empedans değerine sahip bir iletim hattı, karakteristik empedansa eşit empedanstaki bir yükle sonlandırılılırsa kaynaktan gönderilen bütün enerji yüke aktarılır. Ancak eğer karakteristik empedansla yük empedansı arasında bir fark varsa bu fark yükten kaynağa yansıyan bir dalga halinde ortaya çıkar. Aslında bu dalga yüke aktarılamayan enerjidir [15].

Z_0 karakteristik empedanslı bir kabloya darbe uygulandığında eğer kabloda arıza varsa darbe arıza noktasından yansır. Yansıyan dalganın genliği ve polaritesi yansıma katsayısı ρ cinsinden şu şekilde ifade edilir.

$$\rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \tag{3.16}$$

Kırılma katsayısı τ cinsinden

$$\tau = \frac{2Z_L}{Z_L + Z_0} \tag{3.17}$$

Arıza noktasındaki yük empedansı Z_L, arıza noktasındaki gerilim V_i olarak alınırsa yansıyan dalga V_r

$$V_r = \rho x V_i \tag{3.18}$$

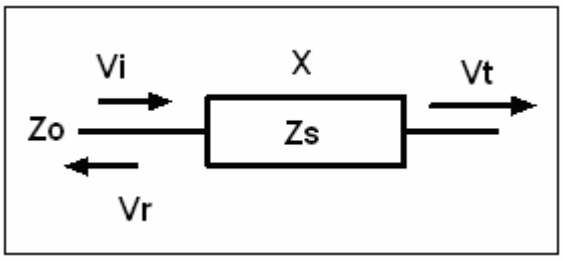
ve

$$V_t = \tau x V_i \tag{3.19}$$

olarak ifade edilir [16].

3.4.1.2 Seri Arızaların İncelenmesi

Arıza noktası Şekil 3.8'de gösterildiği gibi olan bir kabloda yük tarafından görülen empedans



Şekil 3.8 : Seri Arıza Empedansı

$$Z_L = Z_S + Z_0 \tag{3.20}$$

Buradan yansıma ve kırılma katsayıları

$$\rho = \frac{Z_S}{Z_S + 2.Z_0} \tag{3.21}$$

ve

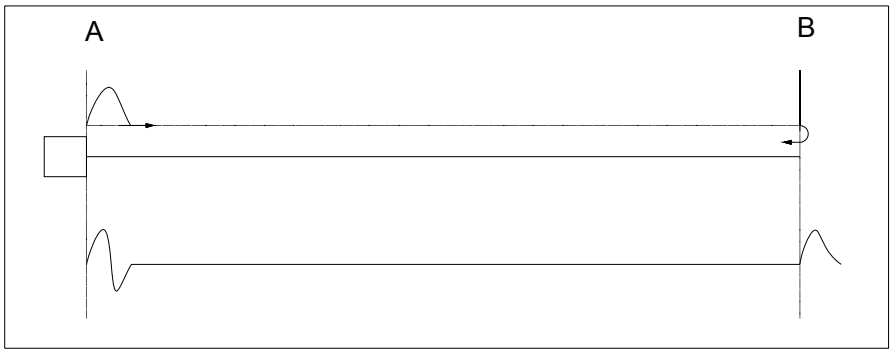
$$\tau = \frac{2.(Z_S + Z_0)}{Z_S + 2.Z_0} \tag{3.22}$$

olarak bulunur.

Kablo sonunda açık devre olan bir kabloda Z_S sonsuz olacağından yansıma katsayısı $\rho = 1$ olur [16].

Seri arızalar ve kablo sonları, pozitif genlikli yansıma darbeleri olarak ortaya çıkarlar. Kablonun tamamen koptuğu durumda arıza noktasının empedansı sonsuz olacağından darbenin tüm enerjisi kaynağa geri yansır. Bu durumda darbeler arıza

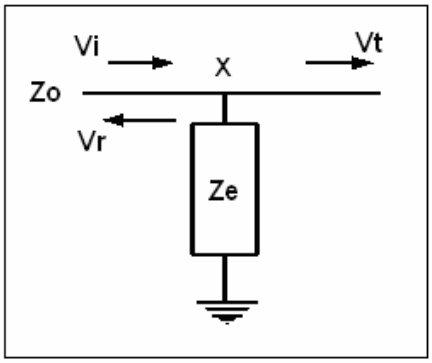
noktasının ötesine geçemezler. Bu tip bir ölçümün grafiği Şekil 3.9'daki gibidir. Hattın başlangıcında görülen yansıma darbe ölçüm cihazı ile kablo arasındaki bağlantının oluşturduğu empedans farklılığı nedeniyle oluşmuştur.



Şekil 3.9 : Seri Arızadan Yansıyan Darbe

3.4.1.3 Şönt Arızaların İncelenmesi

Arıza noktası Şekil 3.10'da gösterildiği gibi olan bir kabloda yük tarafından görülen empedans



Şekil 3.10 : Şönt Arıza Empedansı

$$Z_L = \frac{Z_E . Z_0}{Z_E + Z_0} \quad \textbf{(3.22)}$$

Buradan yansıma ve kırılma katsayıları

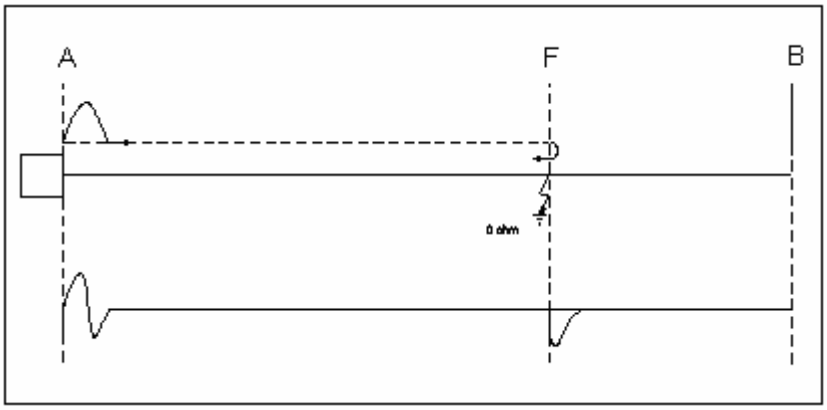
$$\rho = \frac{-Z_0}{2.Z_E + Z_0} \quad \textbf{(3.23)}$$

ve

$$\tau = \frac{2.Z_E}{2.Z_E + Z_0} \quad \textbf{(3.24)}$$

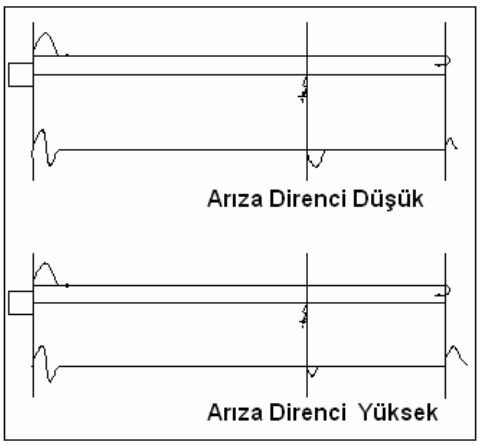
olarak bulunur. Kablo sonunun kısa devre olduğu arızalarda arıza empedansı Z_E sıfırdır. Bu nedenle bu tip arızalarda yansıma katsayısı ρ = -1 olur.

Şekil 3.11, şönt bir arızaya ilişkin ölçümü göstermektedir. Burada arıza tam bir kısa devre olduğu için darbe tamamen kaynağa geri yansımıştır. Ancak kutbu değişmiştir.



Şekil 3.11 : Şönt Arızada Darbe Yansıması

Şekil 3.12, hem arıza noktasının hem de kablo sonunun görülebileceği bir arızaya ilişkin ölçümü göstermektedir. İlk grafikte arıza noktasından yansıyan darbenin genliği fazlayken kablo sonundan yansıyan dalganın genliği küçüktür. İkincide ise bu durumun tam tersi görülmektedir. Bunun nedeni ikinci durumda arıza direncinin yüksek olmasıdır. Kablo sonuna daha fazla enerji aktarıldığı için ikinci grafikte kablo sonundan yansıyan dalganın genliği yüksektir.



Şekil 3.12 : Arıza Direncinin Değişimini Gösteren Yansıma Görüntüleri

Güç kablolarında arıza direnci – yansıma katsayısı ilişkisini göstermek amacıyla Çizelge 3.3 hazırlanmıştır.

Çizelge 3.3 : Şönt Arızada Yansıma Katsayıları

Arıza Direnci (Ω)	**Yansıma Katsayısı (%)**
1	-95
10	-67
40	-33
100	-17
400	-4,8

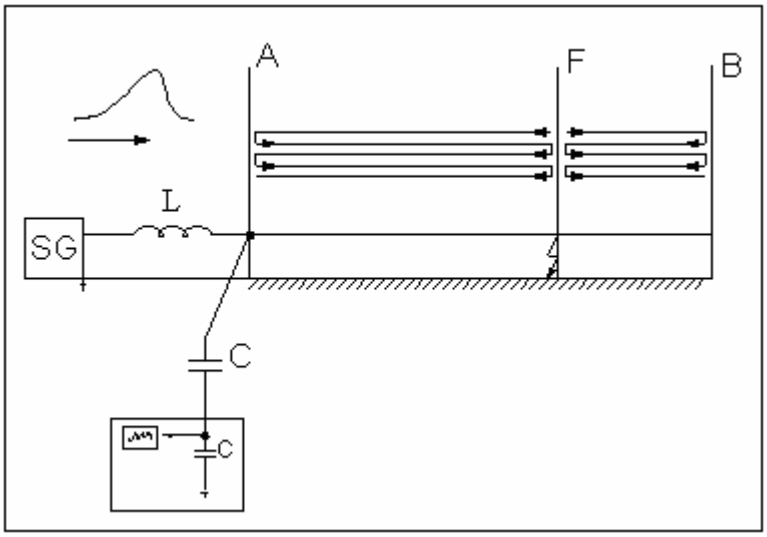
Çizelge 3.4 : Seri Arızada Yansıma Katsayıları

Arıza Direnci (Ω)	**Yansıma Katsayısı (%)**
5 MOhm	Yaklaşık 100
100 kOhm	Yaklaşık 100
1000	93
100	55
40	33
10	11
1	1,2

Çizelgelerden de anlaşılacağı gibi arıza direncinin 400 Ω'dan büyük olduğu şönt arızalarda darbe neredeyse hiç yansımamaktadır. Başka bir deyişle arıza direncinin karakteristik empedansın 10 katı olduğu arızalarda tanımlanabilir bir yansıma elde edilememektedir. Aslında uygulamada başarı çok daha düşüktür [2]. Çünkü burada yapılan hesaplama kablonun kayıpsız olduğu kabul edilerek yapılmıştır. Gerçekte ise kablo üzerindeki kayıplar ve küçük çaplı empedans farklılıkları darbenin kablo boyunca zayıflamasına ve yansıyan darbenin beklenenin çok daha altında bir genlikte olmasına neden olur.

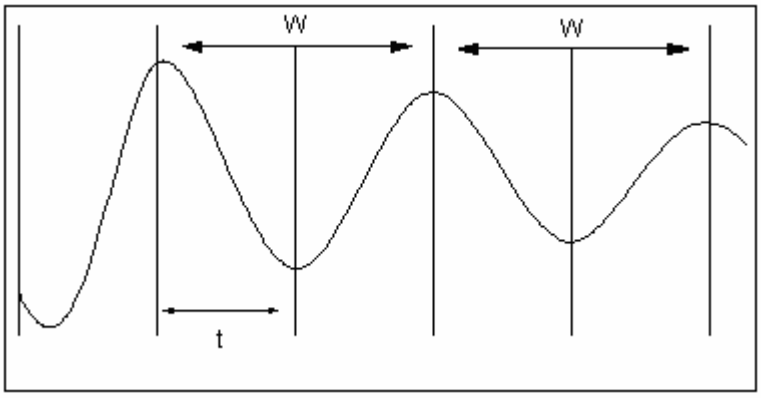
3.5 Geçici Durumların İncelenmesine Dayalı Ön Yer Bulma Yöntemleri

Kablolarda meydana gelen geçici durumların incelenmesine dayanan yöntemler 60'lı yıllardan bu yana arıza yeri bulunmasında etkin biçimde kullanılmaktadır. Bu tip incelemenin çıkış noktası, akustik izleme için kullanılan darbe üreteçlerinin kablo üzerinde oluşturduğu geçici durumların, arıza yerinin darbe yansıma ölçümü ile bulunmasına olanak sağlamasıdır. Uygulama devresi Şekil 3.13'de görülmektedir.



Şekil 3.13 : Geçici Durumların İncelenmesinde Kullanılan Sisteme Ait Uygulama Devresi

Darbe yansıma ölçeri kapasitif bir gerilim bölücüyle yüksek gerilim tarafından yalıtılmıştır. Darbe üretecinden çıkan gerilim darbesi arıza noktasına kadar kablo üzerinde ilerler. Gerilim darbesinin arıza noktasına ulaşmasından kısa bir süre sonra arıza noktasında iyonizasyon ve sonrasında da ark oluşur. Arkın oluşması iki adet gerilim darbesinin oluşmasına neden olur. Bu darbelerden biri kablo sonuna doğru, diğeri ise darbe yansıma ölçerinin bağlı olduğu deney ucuna doğru ilerler. Deney ucuna doğru ilerleyen darbe kaynağa ulaştığında kaynağın çıkışında bulunan *L* endüktansı nedeniyle kutup değiştirmeden yansır. Yansıyan darbe arıza noktasına ulaştığında arıza ark dolayısıyla hala kısa devre durumdadır. Bu nedenle darbe kutup değiştirerek tekrar yansır. Bu karşılıklı yansımalar darbe enerjisinin kablo üzerinde harcanıp tükenmesine kadar devam eder. Ölçüm sonucunda ortaya çıkan dalga şekli Şekil 3.14'deki gibidir.



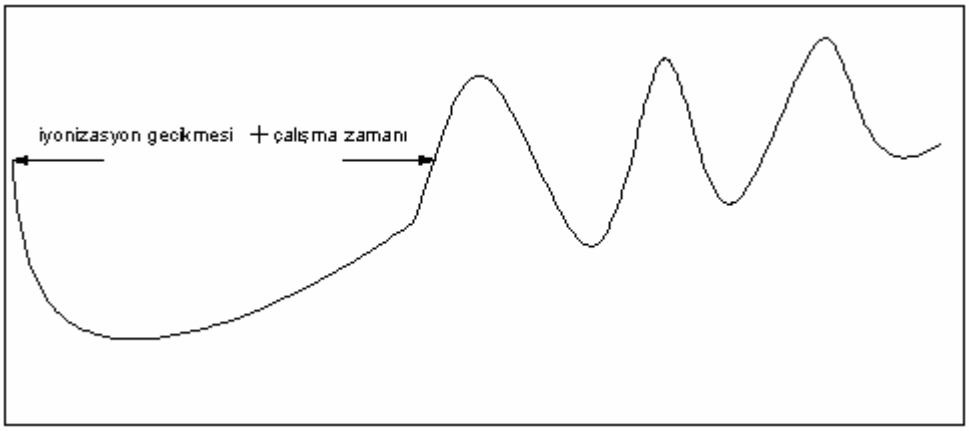
Şekil 3.14 : Yansıyan Arkın Görüntüsü

Şekil 3.14'de görüldüğü gibi ölçüm sonucunda azalan genlikli ve dalga genişliği sabit w olan bir iz elde edilmiştir. Burada bir dalga tepesi ile dalga çukuru arasındaki süre gerilim darbesinin ulaşma zamanını gösterir. Buradan kaynağın arıza noktasına uzaklığı hesaplanır.

t (μs) mikrosaniye cinsinden gidiş-geliş süresi ve V (m/ μs) yayılma hızı olmak üzere arıza noktasına uzaklık;

$$D = t.\frac{V}{2} \tag{3.25}$$

Arıza noktasında oluşan geçici haller ancak ark oluştuktan sonra ortaya çıkar. Bu nedenle ark oluşumundan önceki iyonizasyon olayının sebep olduğu gecikme ölçüm açısından yanıltıcı olabilir. Doğru bir ölçüm için iyonizasyon gecikmesinin etkisi mutlaka anlaşılmalıdır.



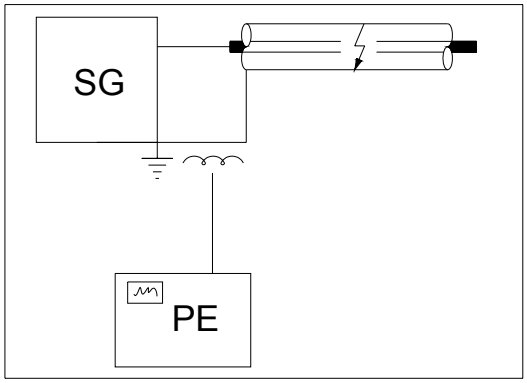
Şekil 3.15 : İyonizasyon Gecikmesi

Arızalı noktada iyonlaşmanın oluşması bir kaç milisaniyeden fazla sürebilir. Bu gerilim darbesi arıza noktasını geçerek ilerlemeye devam etmektedir. Ark oluşumu darbenin arıza noktasını geçmesinden hemen sonra ya da darbenin kablo sonundan yansıyıp geri dönmesinden sonra meydana gelir. Aslında uygulamada genellikle kablo sonundan yansıyan darbe ark oluşumuna neden olur çünkü açık devre arızası darbe genliğini iki katına çıkarır. Şekil 3.15'te görülen grafik gerçek bir ölçüme daha yakındır.

3.5.1 Darbe Akımı Yöntemi

Darbe akımı yöntemi akım ve gerilimde meydana gelen geçici değişimleri inceler. Bu yöntem akım sinyallerinin doğrusal bir kuplaj üzerinden alınarak incelenmesine

dayanır [9]. Kuplaj elemanı kapasitif gerilim bölücü yapısının aksine kaynağın çıkışına değil toprağa bağlı dönüş hattına bağlanır. Bu şekilde yapılan bağlantı güvenli olmasının yanı sıra primer tarafındaki akım sinyallerinin değişim hızlarının yüksekliğinden dolayı sekonder tarafta elde edilen sinyallerin kesinliği açısından da üstündür. Bağlantı şekli Şekil 3.16'daki gibidir.

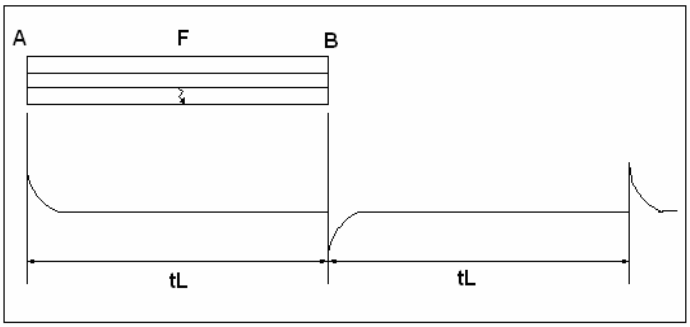


Şekil 3.16 : Darbe Akımı Yöntemine Ait Uygulama Devresi

Arıza durumunda akım sinyallerinin davranışı gerilim sinyallerinden farklıdır. Akım ve gerilim sinyallerinin arıza karşısındaki davranışı Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

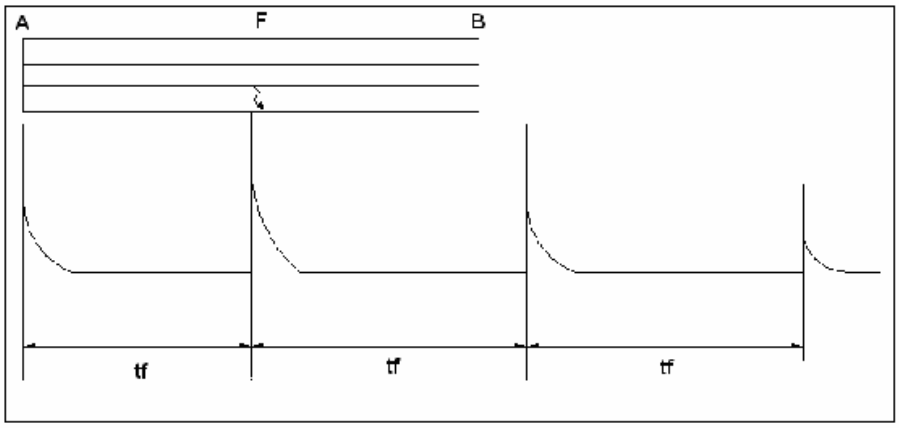
Çizelge 3.5 : Akım ve Gerilim Darbelerine Ait Yansıma Karakteristikleri

Darbe	**Durum**	**Yansıma Katsayısı**
Gerilim	Açık Devre	+1 - yansıma kutup değiştirmez, gerilimin genliği iki katına çıkar
Akım	Açık Devre	-1 - yansıma kutup değiştirir
Gerilim	Kısa Devre	-1 - yansıma kutup değiştirir
Akım	Kısa Devre	+1 - yansıma kutup değiştirmez, akımın genliği iki katına çıkar



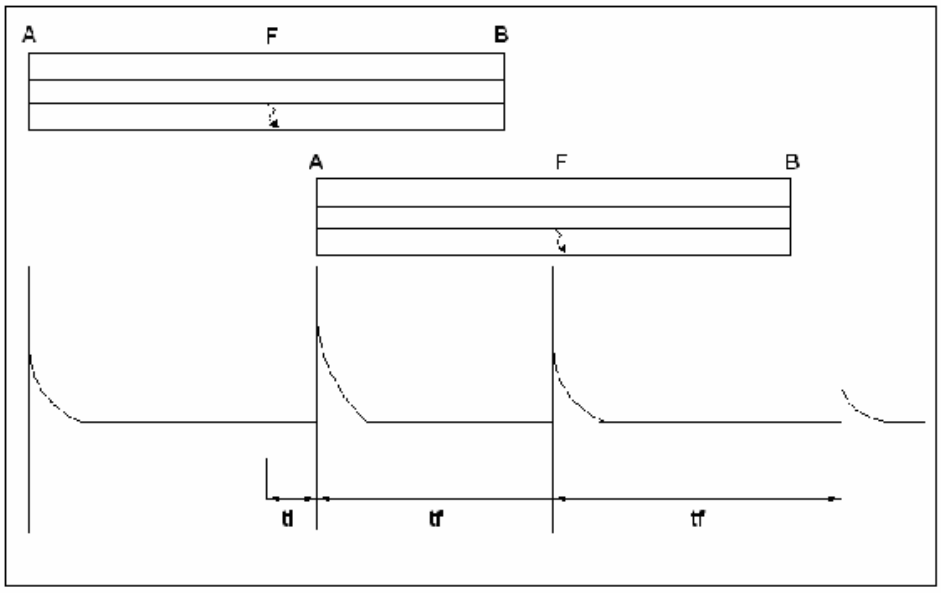
Şekil 3.17 : Kablo Sonundan Yansıyan Akım Darbesi

Şekil 3.17'de açık devre arızasına uygulanan bir akım darbesi gösterilmiştir. A noktasından uygulanan darbe B noktasından yansımaktadır. Akım darbesi gerilim darbesine zıt karakterde olduğundan yansıyan sinyalin kutbu değişmiştir. B noktasının kablo sonu olduğu düşünülürse akım darbesi F noktasında herhangi bir ark oluşumuna neden olmadığı için kablonun sağlam olduğu kanısına varılabilir.



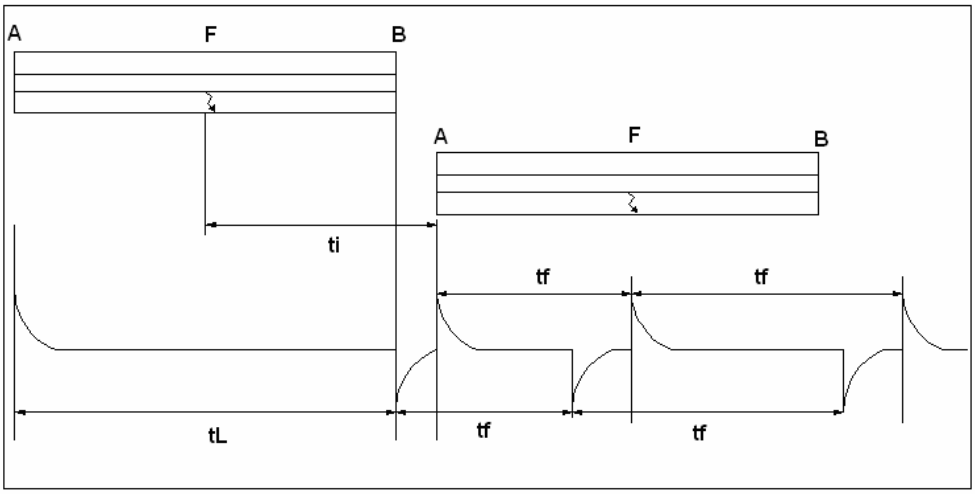
Şekil 3.18 : Kısa Devre Arızasına Ait Yansıma Görüntüsü

Şekil 3.18 F noktasındaki kısa devre arızasına uygulanan akım darbesini ve bu darbeye ait yansımaları göstermektedir. Kısa devre ucunda akım darbesinin genliğinin iki katına çıkmasından dolayı yansıyan darbenin genliği de iki katına çıkmıştır. Akım darbesi F noktasının ötesine geçemediği için kablo sonu görülememektedir.



Şekil 3.19 : Yüksek Dirençli Arızaya Ait Yansıma Görüntüsü

Şekil 3.19'da yüksek dirençli bir arızaya ilişkin akım darbesi ve yansımaları görülmektedir. Bu arıza durumunda iyonizasyon gecikmesinin etkisi görülmektedir. Daha önce söz edilen olay sırası izlenirse akım darbesinin arıza noktasını geçerek ilerlediği görülür. Akım darbesi B noktasına ulaşamadan önce arıza noktası delinmiştir. Bu noktada oluşan iki akım darbesinde biri A noktası ile F noktası arasında, diğeri de F noktası ile B noktası arasında salınım yapmaktadır. B noktasından yansıyan darbe F noktasındaki kısa devreyi geçemeyeceği için A noktasına bağlı osiloskopta kablo sonu görülememektedir.

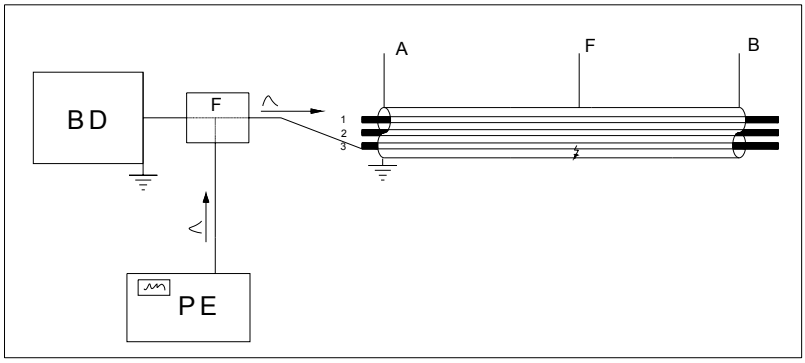


Şekil 3.20 : Uzun İyonizasyon Süresini Gösteren Yüksek Dirençli Arızaya Ait Yansıma Görüntüsü

Şekil 3.20'de yine bir yüksek dirençli arıza görülmektedir. Fakat burada iyonizasyon süresi daha uzundur. Arıza noktasında oluşan ark gerilim darbesinin kablo sonundan yansıyıp geri dönüşü sırasında meydana gelmiştir. Bu nedenle kablo sonunu gösteren işaretler görülebilmektedir. Yansıma ve geri yansımalar A ve F noktaları arasında t_f süresi boyunca devam etmektedir.

3.5.2 Ark Yansıması Yöntemi

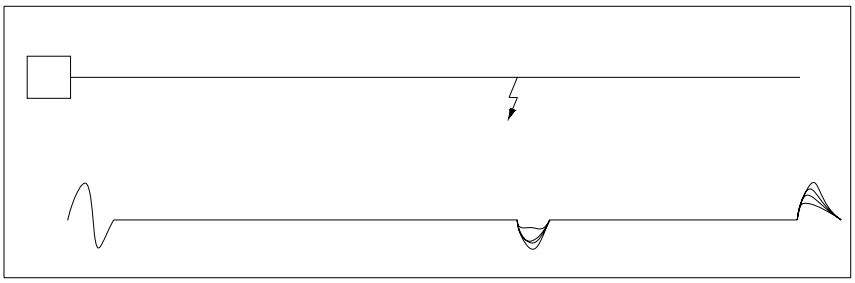
İlk olarak HDW elektronik tafarından geliştirilen ark yansıması yöntemi, temel olarak darbe yansıma ölçeri ile yakma setinin birleştirilmesinden oluşur [17]. Yakma setinin arıza noktasında meydana getirdiği arkın izlenmesi ile arıza noktasının yeri bulunur. Yönteme ait uygulama şeması Şekil 3.21'deki gibidir.



Şekil 3.21 : Ark Yansıma Yöntemine Ait Uygulama Devresi

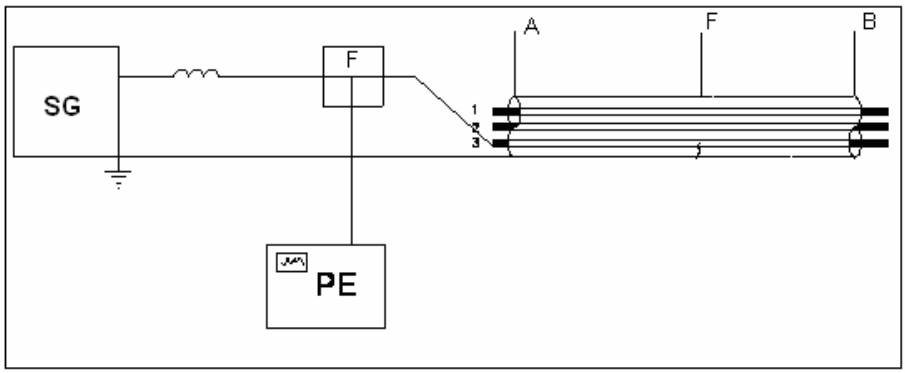
Ark yansımasının darbe yansıma ölçerinden gözlenebilmesi için arıza noktası direncinin yeterince düşük olması gerekmektedir. Uygulamada ark akımının en az 3A olması istenir. Bu nedenle arıza noktası direnci kablonun karakteristik empedansının onda birine kadar indirilmelidir.

Arkın oluşması ve sönmesi olayları çok kısa bir zaman dilimi içersinde gerçekleştiği için arıza noktasından yansıyan sinyali darbe yansıma ölçerinin ekranından yakalamak zordur. Bu güçlüğü giderebilmek için gerilim darbeleri çok kısa aralıklarla kabloya uygulanır. Böylece ekranda yansıma görüntülerinin üst üste binmesi sağlanır. Şekil 3.22'de böyle bir ölçüme ilişkin grafik görülmektedir.



Şekil 3.22 : Ark Yansımasına Ait Yansıma Görüntüsü

Arıza noktasının doğru belirlenmesi için ark süresinin uzatılması gerekmektedir [10]. Arkın uzun süre devam etmesi arıza yerinin ekranda kolayca yakalanabilmesine olanak sağlar. Yaygın yöntemlerden biri darbe üretecinin çıkışına bir endüktans bağlanmasıdır. Bu durumu gösteren şema Şekil 3.23'deki gibidir.



Şekil 3.23 : Arıza Arkının Uzatılması İçin Endüktans Eklenmesi

Diğer bir yöntem ise arkın belirginleştirilmesidir. Bu yöntemde arkı devam ettirebilmek için yardımcı bir doğru akım kaynağı bulunur. Ark oluştuğu anda yardımcı kaynak devreye alınır ve arkın süresinin uzaması sağlanır. Bu şekilde 3 A civarındaki ark akımları birkaç saniye boyunca arıza noktasından akıtılabilir. Böylece arızanın darbe yansıma ölçeri ekranından görülmesi için yeterli süre sağlanmış olur.

Ark yansıma yöntemi faz-toprak arızası gibi ark oluşmayan arızalarda kullanılamaz. Ayrıca su altındaki kablolarda kesik kesik atlamalar olabileceğinden arıza noktasını TDR ile yakalamak zordur. Yalıtımı iyi durumda olmayan uzun kablolarda ve üzerinde çok fazla kol bulunan kablo sistemlerinde TDR sinyalleri absorbe edilebileceğinden yansıyan sinyal görülemeyebilir. Bu nedenle bu tip sistemlerde ark yansıma yöntemi kullanılmaz.

3.5.3 Karşılaştırmalı Darbe Yansıma Ölçümü

Çok damarlı kablolarda damar görüntülerinin karşılaştırılması ve farklarının belirlenmesi arıza yeri bulunmasını büyük oranda kolaylaştırır.

Yöntem ölçümü yapılacak kablonun iki ya da daha fazla damarının aynı anda ölçülmesine dayanır. Arıza noktasına kadar sağlam ve arızalı kablo aynı görüntüyü verir. Grafiklerin birbirinden farklılaştığı nokta hata noktası olarak belirlenir.

Bu yöntemin üç ciddi dezavantajı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi kabloların üretimden kaynaklanan yapısal farklılıklarıdır. Hat boyunca kablo empedansının değişmesi arıza sinyalleri ile yapısal değişimlerden kaynaklanan sinyallerin birbirine karışmasına neden olur. İkinci dezavantaj ise bu yöntemin aynı anda sadece iki sinyali inceleyebilmesidir. Özellikle arızalı hattın hangisi olduğunun bilinmediği

durumlarda uygulama zorluğu yaşanmaktadır. Son dezavantaj ise sağlam kablodan karşılaştırma için sinyal verisi almanın zorluğudur. Çünkü bu durumda hattın enerjisinin kesilmesi gerekmektedir ve bu da arıza noktası belirleninceye kadar daha fazla tüketicinin enerjisiz kalması anlamına gelmektedir [18].

3.5.4 Zayıflatma Yöntemi

Zayıflatma yöntemi yüksek dirençli arızaların bulunmasında kullanılır. Kablonun delinme geriliminin darbe üretecinin geriliminden daha yüksek olduğu durumlarda bu yöntemin kullanılması uygundur.

Denenen kabloya bir doğru akım deney seti veya bir yakma seti yardımıyla ark oluşana kadar gerilim uygulanır. Ark anında oluşan yürüyen dalga, arıza noktasıyla kablo başı arasında salınımlar yaparak zayıflar. Yansımalar arasındaki süre yardımıyla arıza noktası saptanır.

4. KABLO GÜZERGAHI VE ARIZA NOKTASININ BELİRLENMESİ

4.1 Kablo Güzergahının Belirlenmesi

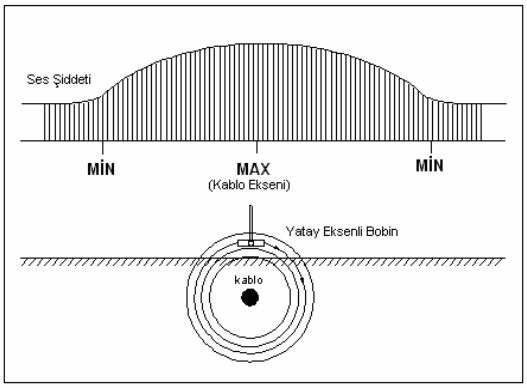
Yeraltı kablolarında kablo güzergahı, kablonun çevresinde değişken bir manyetik alan oluşturularak belirlenir. Kabloda oluşan manyetik alan, kablo güzergahı üzerinde hareket ettirilen bobin üzerinde gerilim endükler ve bobinin çıkışına bağlı olan bir kulaklık aracılığıyla ses dalgalarına dönüştürülür. Bu nedenle bu yönteme ses frekansı yöntemi denir.

Kablo sesinin duyulabilmesi için, oluşturulan manyetik alanın duyulabilir ses frekansı aralığında olması gerekir. Manyetik alanın frekansı uygulanan yönteme göre 10 Hz'den başlayarak 15-20 kHz seviyelerine kadar çıkar.

4.1.1 Arama Yöntemleri

4.1.1.1 Maksimum Yöntemi

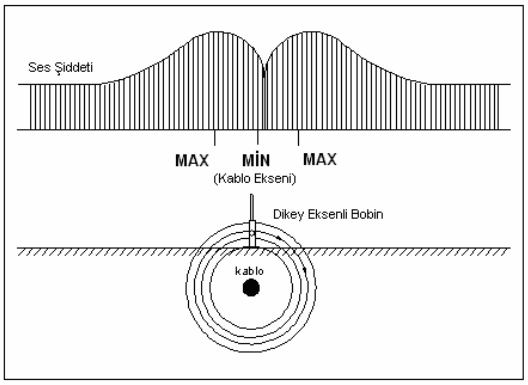
Arama bobini yatay düzlemde ve kablo manyetik alanına dik olacak şekilde hareket ettirilirse kablo üzerindeki bir noktada bobinin sinyal çıkışı en yüksek değerine ulaşır. Bunun nedeni manyetik alanın en güçlü olduğu noktada bobinde endüklenen gerilimin en yüksek değerine ulaşmasıdır. Arama bobini kablo ekseninden uzaklaştıkça manyetik alan ile bobin arasındaki etkileşim azalacağından dolayı endüklenen gerilim düşecektir.



Şekil 4.1 : Maksimum Yöntemi

4.1.1.2 Minimum Yöntemi

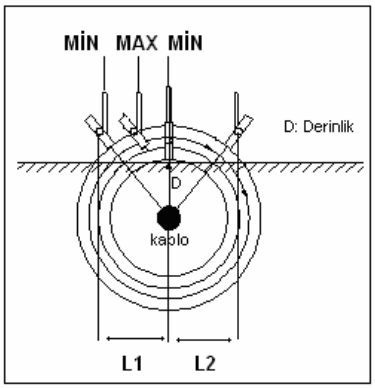
Arama bobini kablo eksenine dik düzlemde tutulursa kablo ekseni yönünde manyetik alan olmadığı için herhangi bir endükleme oluşmaz. Ancak bobin bu eksenden sağa ve sola doğru hareket ettirilirse bobin üzerinde gerilim endüklenecektir. Bu durum ölçüm ekranında sinyal seviyesinin önce bir tepe sonra sıfır ve sonra tekrar bir tepe olarak değişimi şeklinde görülür. Sinyal seviyesinin sıfır olduğu nokta kablo ekseni olarak belirlenir.



Şekil 4.2 : Minimum Yöntemi

4.1.2 Derinlik Tespiti

Kablo güzergahının belirlenmesinde sonra arama bobini zemine göre 45^0'lik bir açı meydana getirecek şekilde ayarlanır. Bu konuma getirilen bobin, güzergah eksenine dik ve zemine çok yakın olarak bir minimum belirleninceye kadar hareket ettirilir. Eksen ile ona dik olarak belirlenen minimum arasındaki uzaklık derinliği verir. Bulunan değerin kontrolü için eksenin diğer yönünde de bir ölçüm yapılır. L_1 ve L_2 değerleri aynı olmalıdır. Bu değerler aynı değilse ortalaması alınır.

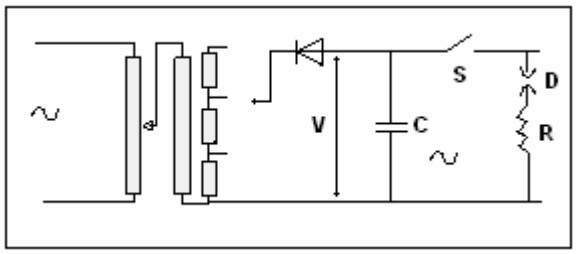


Şekil 4.3 : Derinlik Tespiti

4.2 Arıza Noktasının Belirlenmesi

4.2.1 Darbe Gerilimi Yöntemi

Darbe yansıması yönteminde bulunan sonuçlar operatörün deneyimine göre değişebildiği için arıza noktasının tam olarak belirlenmesi genellikle darbe gerilimi yöntemi kullanılarak yapılır [19]. Bu yöntem bir darbe üretecinin arıza noktasında oluşturduğu ses dalgalarının tespit edilmesine dayanır. Bu amaçla kullanılan darbe üreteci temel olarak yüksek gerilimli bir kapasite, atlama aralığı ve bir anahtardan oluşur.

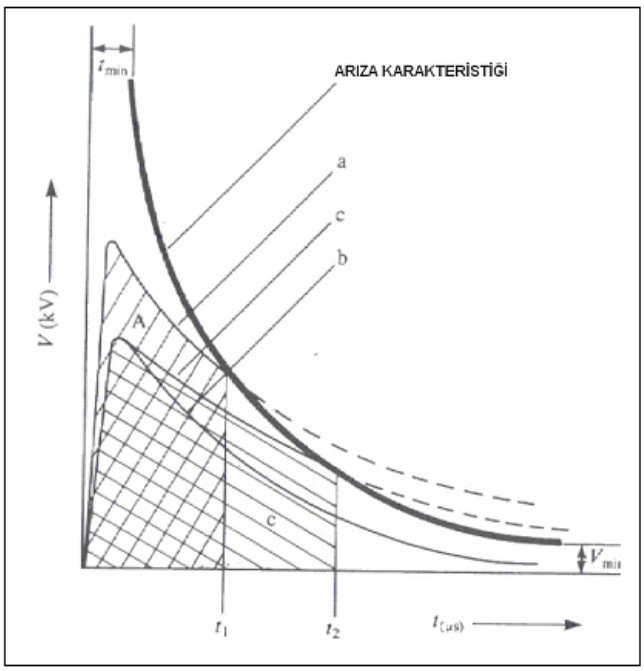


Şekil 4.4 : Darbe Gerilimi Yöntemine Ait Uygulama Devresi

Darbe üreteci C kapasitesini yükledikten sonra S anahtarı kapatılır. Bu durumda kabloya verilen enerji

$$Q = \frac{C.V^2}{2} \quad C = \mu F,\ V = kV \tag{4.1}$$

ile ifade edilir. Kabloya uygulanan gerilim darbesi yüksek enerjili bir yürüyen dalgadır. Bu tip bir dalga Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Grafikteki kalın çizgi kablonun delinme gerilimidir.



Şekil 4.5 : Darbe Gerilimi – Arıza Karakteristiği İlişkisi

Grafikte görülen *a* darbesi kabloyu t_1 süresi sonunda delmektedir. Bundan daha düşük bir genlikteki *b* darbesi ise boşalma süresi sonunda delinme karakteristiğini kesemediğinden, kabloyu delememiştir. Bunun nedeni darbe üretecinin kapasitesinin küçük olmasıdır. Aynı genliğe sahip *c* darbesinin kapasitesinin büyüklüğü sayesinde darbe, kabloyu t_2 süresi sonunda delebilmiştir. Çünkü *c* darbesinin sahip olduğu enerji a darbesinin sahip olduğu enerjiden daha fazladır. Grafiklerin altında kalan alanlar incelenirse aradaki enerji farkı görülebilir. *C* darbesinin enerjisinin fazla olması arıza noktasında duyulan patlama seslerinin daha yüksek olmasına neden olur. Bu nedenle uygulamada darbe geriliminin genliğini artırmak yerine darbe üretecinin kapasitesinin artırılması öncelikle tercih edilmelidir.

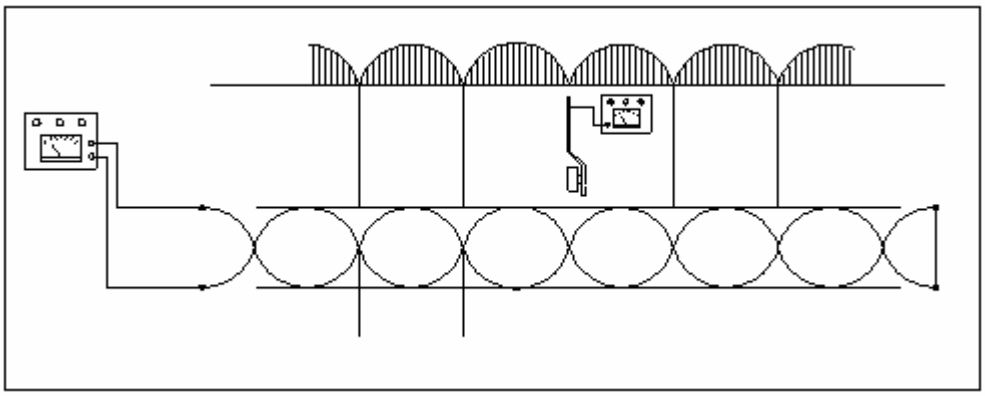
Darbe gerilimi yöntemi bütün arızalarda uygulanamaz. Uygulama için arıza noktasının direncinin çok düşük olmaması gerekir. Genellikle yakma işlemi ile direnci küçük bir değere düşürülen karbon köprüler, darbe uygulaması sırasında çözülür ve şok gerilimi için gerekli direnç ortamını sağlar. Direnci 10 Ω'un altında olan arızalarda bu yöntem uygulanamaz.

Darbe gerilimi yöntemi çok sık başvurulan bir yöntem olmasına rağmen başarıya ulaşma oranı %65 civarındadır. Uygulama başarısı arıza direncinin yanı sıra arızanın derinliğine ve arıza bölgesindeki toprağın yapısına da bağlıdır.

4.2.2 Büküm Yöntemi

Düşük dirençli arızaların darbe gerilimi ile tam olarak bulunması, arıza noktasında atlama olamayacağından dolayı olanaksızdır. Bu nedenle bu tip arızalarda büküm yöntemi kullanılır.

Bu yöntemde yüksek güçlü bir ses frekanslı üreteç arızalı iki iletkene bağlanır ve sonları köprülenir. Önceden belirlenen güzergah üzerinde arama bobini ile ilerlenir. Kablo boyunca ilerlerken damarların her tam bükümünde ritmik bir sinyal alınır. Arıza noktasında ise sinyal aniden yükselir ve sonra kesilir.



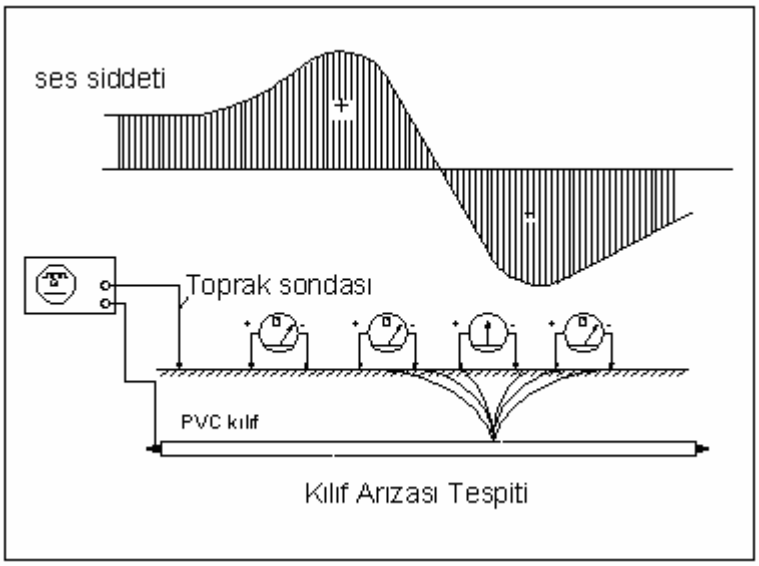
Şekil 4.6 : Büküm Yöntemi

Büklüm yöntemi ile çok damarlı kablo arızalarının %80'i kolaylıkla belirlenebilir. Çalışma gerilimi düşük olduğu için kabloya zarar vermez. Bu nedenle küçük çaplı kablolarda veya yıpranmış eski hatlarda sorunsuz biçimde kullanılabilmektedir.

4.2.3 Kılıf Arızaları ve Bulunması

PVC kablo kılıflarında meydana gelen küçük bir hasar bu noktadaki alüminyum zırhın korozyona uğramasına yol açmaktadır. Bu süreç sonunda kablo, içersine su alarak kısa zaman içersinde arızalanmaktadır.

Kılıf arızalarının yerinin bulunmasında adım gerilimi yöntemi kullanılır. Şekilde görüldüğü gibi bir alternatif gerilim veya doğru gerilim üreteci alüminyum zırh ile toprak sondası arasına bağlanır. Akım yolu alüminyum zırh ve toprak üzerinden tamamlanır. Toprakta yayılan akım galvanik sondalar veya kapasitif plaka sondalar ile izlenir. Arıza yeri yakınlarında bir gerilim yükselmesi görülür. Doğru gerilim uygulamasında aynı zamanda arıza yerinde bir kutup değişmesi de olduğundan arıza noktası kolaylıkla bulunur.



Şekil 4.7 : Kılıf Arızalarının Bulunması

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada, bir darbe yansıma ölçeri tasarlanmış ve kablolar üzerinde çeşitli arıza durumları için ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçları, darbe üreteci için özel olarak yazılan bir bilgisayar yazılımı üzerinde incelenmiştir.

Deney devresi üç farklı alt sistemden oluşmaktadır. Bu sistemler;

1. Darbe üreteci,
2. Osiloskop,
3. Arayüz yazılımı.

Bu üç alt sistem darbe yansıma ölçerini oluşturmaktadır. Ticari olarak piyasadaki arıza yeri bulma sistemlerinde bu üç alt sistem, tek bir kabin içersinde bulunmasına rağmen, gerçekleştirilen deney devresinde birbirinden ayrı çevre birimler olarak bulunmaktadır.

Darbe yansıma ölçeri, uygulamada kullanılanlara paralel olarak, yansıyan dalganın dönüş süresinden yaklaşık arıza uzaklığını belirler. Bu sistemde, kabloya uygulanan darbe genişliği 30 ns seviyelerindedir. Bu haliyle darbe yansıma ölçer, piyasadaki benzerlerinden üstündür [19]. Ancak üretilen darbe genliğinin 5 V olması, uzun hatlarda kayıpların fazla olması nedeniyle yansıyan dalganın hat boyunca zayıflaması sonucun görülmesini zorlaştırmaktadır. Bu sorun osiloskobun duyarlılığının yüksekliği sayesinde bir derece aşılabilmiştir.

Yansıyan dalganın yakalanması ve incelenmesi osiloskop yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sırasında osiloskobun topladığı veriler RS-232 seri port üzerinden tez kapsamında geliştirilen ANALİZ adı verilen yazılıma aktarılarak arıza tipleri ve yaklaşık arıza uzaklıkları incelenmiştir.

Arıza noktasının tam olarak belirlenmesi için karşılaştırmalı darbe yansıma ölçümü kullanılmıştır. Bu yöntem, sağlam damar ile arızalı damarın eşit koşullarda ölçümler yapılarak karşılaştırılması ilkesine dayandığı için ANALİZ yazılımı bu ölçüme uygun olacak şekilde tasarlanmıştır.

Deneysel çalışma, farklı koşullarda farklı arıza tiplerinin incelenmesini içermektedir. Bu amaçla çok damarlı bir kabloda şönt ve seri arızalar yapay olarak oluşturulmuştur. Her arıza durumu, ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Arıza direnci değiştirilerek ölçümler tekrarlanmış ve darbe yansıma ölçerinin ölçüm doğruluğu incelenmiştir. Darbe yansıma ölçerine ait bileşenler ilerleyen bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır.

5.1 Darbe Üreteci

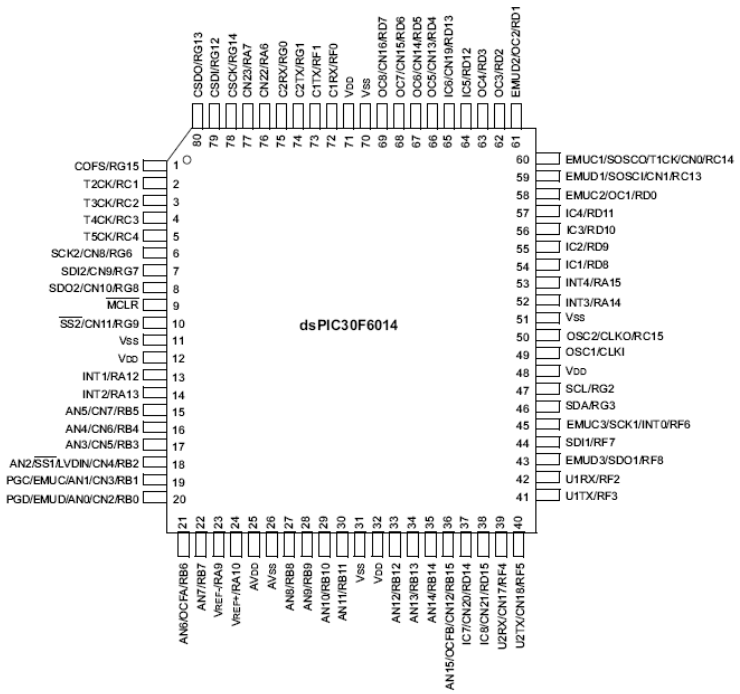
Darbe üreteci, darbe yansıma ölçerinin kabloya göndereceği kare dalga işaretlerini üretir. Kısa uzunluktaki hatlarda başlangıç dalgasıyla yansıyan dalganın birbirlerine girişim yapmaması için darbe genişliğinin olabildiğince kısa olması gerekmektedir. Ancak uzun hatlarda yansıyan dalganın ölçüm ucuna ulaşabilmesi için dalganın enerjisinin yani dalga genişliğinin mümkün olduğu kadar uzun olması gerekir. Bu nedenle deneysel çalışmada kullanılan darbe üreteci 30-2000 ns aralığında çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

Deneysel çalışmada kullanılan darbe üreteci, bir mikrodenetçinin PWM modülü kullanılarak gerçeklenmiştir. Sistem temel olarak ANALİZ yazılımından gelen komutlara göre PWM sinyallerinin dalga genişliğini değiştirerek yansıyan sinyalin genliğini değiştirir. ANALİZ yazılımı ile olan haberleşme RS-232 seri port protokolü kullanılarak yapılmaktadır.

PWM sinyallerinin dalga genişliğinin bütün sistemin ölçüm duyarlılığını belirlemesi, normalden çok daha hızlı bir işlemcinin kullanılmasını gerektirmiştir. Bu amaçla deneysel çalışmada MICROCHIP firmasına ait dsPIC serisinden dsPIC30F6014 kodlu işlemci kullanılmıştır.

5.1.1 dsPIC30F6014 Mikrodenetleyici

Darbe üretecinin çalışmasını kontrol etmek amacıyla dsPIC30F6014 kodlu mikroişlemci kullanılmıştır (Şekil 5.1). Bu işlemci MICROCHIP firmasının ürettiği diğer mikrodenetleyicilerle aynı grupta anılsa da içinde bulunan modüller sayesinde diğerlerinden ayrılır.



Şekil 5.1 : dsPIC30F6014 kodlu mikroişlemci

dsPIC30F6014 kodlu işlemciye ait özellikler aşağıdaki gibidir.

a. Yüksek Performanslı RISC işlemci

- 84 temel komut
- 16 bit veri yolu
- 144 Kbayt programlama belleği
- 8 Kbayt RAM
- 4 Kbayt EEPROM
- DA'dan 40 MHz'e kadar harici saat işareti
- 4 MHz-10 MHz osilatör girişi
- PLL desteği (4x, 8x, 16x)

b. Çevre Birimler

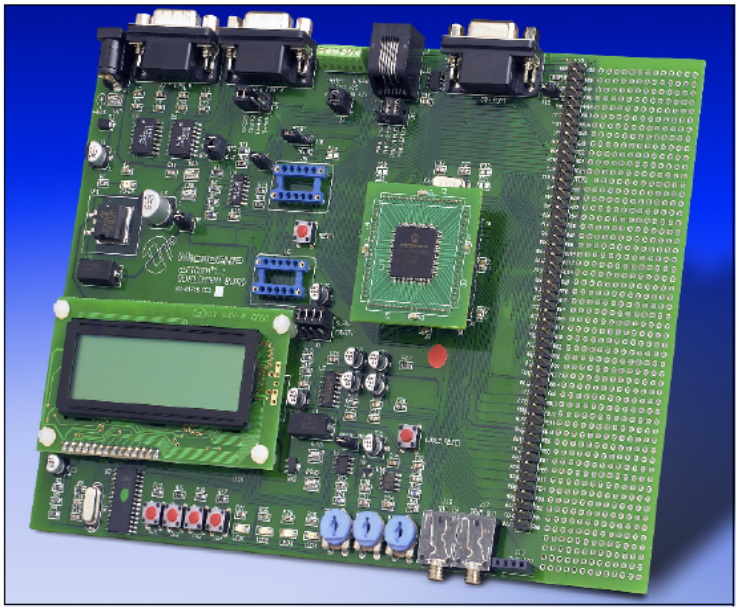
- 25 mA source/sink akım kapasitesi
- 5 adet 16 bitlik sayıcı
- 16 bit yakalama (capture) giriş fonksiyonu
- 16 bit karşılaştırma (compare) ve PWM çıkış fonksiyonları
- 2 adet UART haberleşme modülü
- 2 adet CAN haberleşme modülü

c. Analog özellikler

- 12 bit Analog – Dijital çevirici
- 100 Ksps çevirme oranı
- 16 giriş kanalı
- Programlanabilir düşük gerilim tespiti
- 10.000 yazma-silme çevrimi kapasiteli flash bellek
- 100.000 yazma-silme çevrimi kapasiteli EEPROM bellek

5.1.2 Darbe Üreteci Devre Yapısı

Deneysel çalışmada kullanılacak darbe üreteci MICROCHIP firmasına ait dsPICDEM1.1 geliştirme kartı üzerinde gerçeklenmiştir. Bu karta ait özellikler aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 5.2 : Darbe gerilimi üreteci

RS232- Seri Portlar

Geliştirme kartı üzerinde iki adet RS-232 seri haberleşme kanalı bulunur. Bu kanallardan bir tanesi (DB9, J5/PORTB) RS-232 veya RS-485/RS-422 olarak ayarlanabilir. Bu durumda UART modülünün birinci kanalına ait U1RX ve U1TX pinleri RS-232 arabirim entegresine bağlanır.

Seri port, veri haberleşme elemanı olarak tanımlanabilir ve bilgisayara düz bir kablo ile bağlanabilir. Eğer tokalaşma özelliği kullanılacaksa J3 atlamacı, RD4 ve RD5

uclarını (pinlerini) CTS ve RTS olarak ayarlar. J4 atlamacı RS-485/RS-422 olarak ayarlanırsa UART modülünün birinci kanalına ait U1RX ve U1TX pinleri TX485 ve RX485 olarak ayarlanır.

UART modülüne ilişkin ikinci kanal ise A portu üzerinde bulunur. J2 atlamacı yardımıyla U2RX ve U2TX pinleri RS-232 arabirim entegresine bağlıdır.

CAN Port

CAN portuna ait RXD veTXD hatları dcPIC üzerinde bulunan CANRX ve CANTX pinlerine bağlanır. CAN arayüzüne ait sinyaller (CANH, CANL) DB9 konektörü üzerinde bulunur. CANH ve CANL yolları 120 Ω'luk bir dirençle sonlandırılmıştır.

RS-485/RS-422

RS-485/RS-422 portuna ait sinyaller TB1 terminal bloğu üzerinde bulunmaktadır. RS-485/RS-422 seçimi J7 atlamacı yardımıyla yapılır. J6 atlamacının takılması ile 120 Ω'luk direnç devreden çıkarılır. MAX489E entegresine ait RX485 ve TX485 kanalları J4 atlamacı üzerinden U1RX veU1TX pinlerine bağlanır.

Sıcaklık Sensörü

Kart üzerinde sıcaklık okumaları için bir adet TC1047A entegresi bulunmaktadır. -40 ^{0}C - +125 ^{0}C aralığında ölçüm yapabilen bu entegre, dsPIC mikrodenetleyicinin AN8 adlı analog kanalına bağlıdır. Sıcaklık sensörünün çıkışı ikinci dereceden bir alçak geçiren filtre üzerinden mikrodenetleyiciye bağlanmıştır. Alçak geçiren filtrenin kesme frekansı 10 Hz'dir. TC1047 entegresinin çıkış gerilim duyarlığı genellikle 10 mV/C olarak ölçülür.

Analog Potansiyometreler

dsPIC mikrodenetleyicinin analog girişleri olan AN4, AN5 ve AN6 pinlerine üç adet 5 kOhm değerinde potansiyometre bağlanmıştır. Bu potansiyometrelerin gerilim çıkışı 0V – 5V aralığındadır. Besleme kaynağı olarak VR2 analog gerilim kaynağı kullanılmıştır.

Bas – Çek Anahtar

Kart üzerinde bulunan SW1, SW2, SW3 ve SW4 anahtarları dsPIC mikrodenetleyicinin sırasıyla RA12, RA13, RA14 ve RA15 pinlerine bağlıdır.

Pinlerin gerilimleri 10 kOhm'luk dirençler yardımıyla 5V seviyesine çekilmiştir. Anahtara basıldığında ilgili pin toprağa kısa devre edilir.

LEDLER

Dört adet led 1.2 kOhm'luk dirençler üzerinden V_{DD}'ye bağlanmıştır. Adları LED1, LED2, LED3 ve LED4 olan bu ledler mikrodenetleyicinin sırasıyla RD0, RD1, RD2 ve RD3 pinlerine bağlıdır.

Dijital Potansiyometre

Kart üzerinde bulunan MCP41010 entegresi tek kanallı dijital bir potansiyometredir. Entegrenin kontrolü SPI 2 haberleşme kanalı üzerinden yapılmaktadır. Dijital potansiyometrenin çıkışında kesme frekansı 4 kHz olan bir alçak geçiren filtre bulunmaktadır. Filtrenin çıkışı dsPIC mikrodenetleyicinin AN3 adlı analog kanalına bağlıdır.

LCD Grafik Ekran

LCD grafik ekran, 122 x 32 nokta matrisi, 8 bitlik bir PG12232D-L ekrandır. dsPIC mikrodenetleyici ekranı SPI 2 portu üzerinden sürer.

ICD Konektör

Programlama ve hata ayıklama (debug) işlemleri için ICD konektör kullanılmaktadır. Bu işlem için J8 atlamacı PGC/EMUC ve PGD/EMUD konumuna ve J10 atlamacı ise MCLR1 konumuna getirilmelidir.

Si3000 Ses Bant Kodeği

Ses uygulamalarının geliştirilebilmesi amacıyla kart üzerinde Si3000 marka ses kodeği (kodlayıcı) bulunmaktadır. Buradaki stereo girişleri, j16 atlamacından mikrofon girişi j17 atlamacından ise hoparlör girişi olarak ayarlanabilir. J9 atlamacı Si3000 modülünün çalışma modunu seçer. Temel (master) modda çalışırken kullanıcı U6 soketi üzerinden uygun bir saat işareti uygulamalıdır.

Osilatör Seçenekleri

dsPIC mikrodenetleyicisinin çalışıtırılabilmesi için farklı osilatör seçenekleri bulunmaktadır. Kart üzerinde 7.3728 MHz frekanslı kristal bir osilatör bulunmaktadır. Farklı kristaller için farklı kapasite değerlerinin kullanılması

gerektiğinden SOSC1 ve SOSC2 için erişim yolları bulunmaktadır. Ayrıca j1 girişi kullanılarak mikrodenetçiye dışardan saat işareti uygulamak mümkündür.

Reset Anahtarı

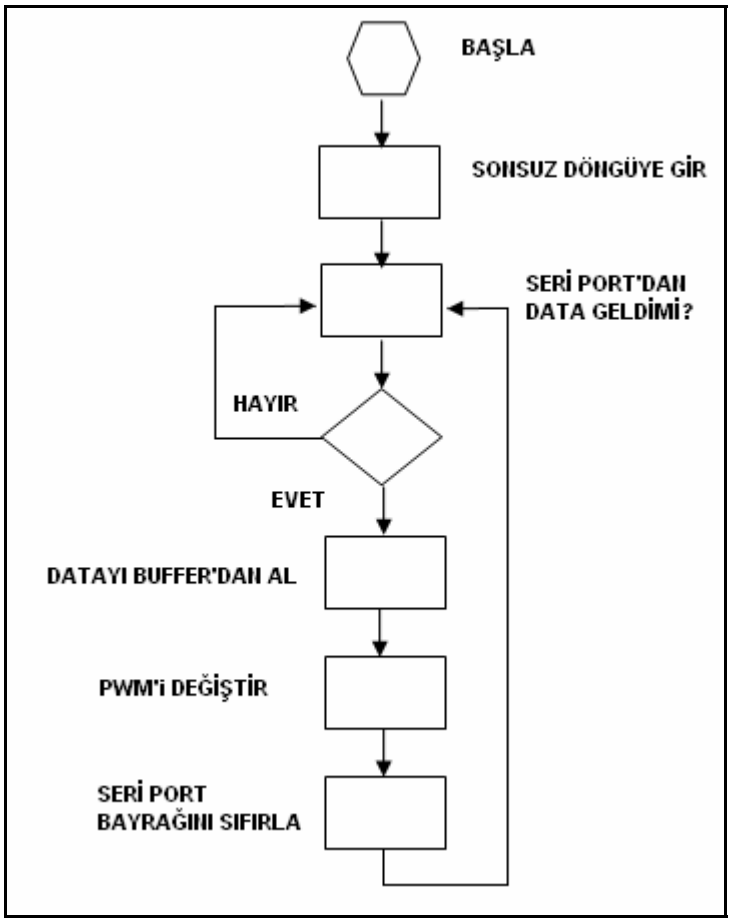
J10 atlamacının MCLR1 konumuna alınması ile RESET (başlangıç durumuna geri getirme) anahtarı, mikrodenetleyicinin MCLR pinine bağlanır. Böylece işlemci donanımsal olarak resetlenebilir.

Devre Şemaları

dsPICDEM 2 kartına ait devre çizimleri EK B'de gösterilmiştir.

5.1.3 Gömülü Sistem Yazılımı

Darbe gerilimi üreteci "ANALİZ E" yazılımı tarafından kontrol edilmektedir. Bu yazılım MPLAB 8.0 üzerinde, Microchip firmasının kendi ürünü olan MPLAB C30 C kütüphanesi kullanılarak C tabanında yazılmıştır. Yazılımın akış diyagramı Şekil 5.3'deki gibidir.



Şekil 5.3 : ANALİZ yazılımının akış diyagramı

dsPIC mikrodenetleyici bilgisayardan gelen komutları bekler. Yazılım sürekli olarak U1RXIF bayrağını kontrol etmektedir Mikrodenetleyicinin RXBUF arabelleğine (buffer'ına) bilgisayardan bir komut ulaştığında U1RXIF bayrağı setlenir. Eğer bayrak setlenmişse yani bilgisayardan bir komut gelmişse mikrodenetleyici, gelen komutu tanımlı olan komutlarla karşılaştırır ve hangi işin yapılacağına karar verir. Bu yazılımda, bilgisayardan gelen her değer için bir PWM dalga genişliği tanımlanmıştır. Mikrodenetleyici komutu aldıktan ve karar verdikten sonra PWM dalga genişliğini değiştirir. Daha sonra U1RXIF bayrağını sıfırlar ve tekrar beklemeye başlar. Yazılım geliştirme aşaması, öncelikle Proteus 7.0'da yapılmış, daha sonra dsPICDEM 2 geliştirme kartı üzerinde çalıştırılmıştır.

5.2 Osiloskop

Darbe yansıma ölçümünde gönderilen ve yansıyan dalgaların görüntülenmesi amacıyla deney devresinde Textronix TDS 3034 marka osiloskop kullanılmıştır (Şekil 5.4). Osiloskobun özellikleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.4 : Textronix TDS 3034 marka osiloskop

TDS 3034C Serisi

Veri Toplama Özellikleri

- 300 MHz bant genişliğinde 4 kanal,
- Tüm kanallarda 2.5 GS/s gerçek zamanlı örnekleme hızı,
- Tüm kanallarda 10 k kayıt belleği,
- 3600 wfms/s sürekli dalga şekli yakalama hızı,
- Gelişmiş tetikleme olanakları.

Kullanımı Kolaylığı

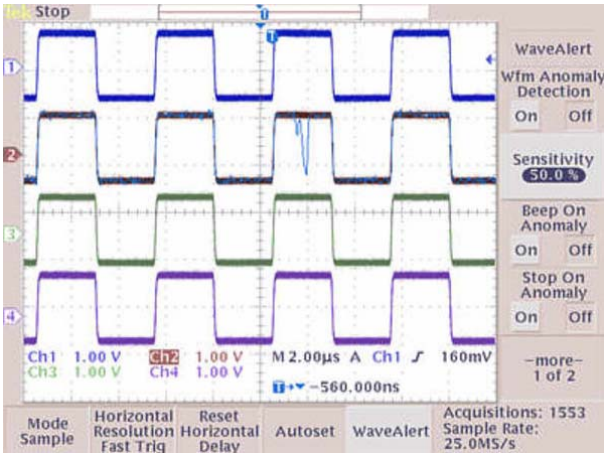
- Ön panelde bulunan USB portu,
- 25 otomatik ölçüm yapma özelliği,
- Otomatik dalga anomalisi tespiti,
- Akım ve diferansiyel prob desteği,
- Hafif ağırlık (3,2 kg).

Özel Uygulamalar İçin Modüller

- Gelişmiş analiz modülü,
- Sınırlama testi modülü,
- Gelişmiş video modülü,
- 601 Seri dijital video modülü,

TDS 3034C serisi osiloskop 2.5 GS/s örnekleme hızı ve 3600 wfms/s sürekli yakalama hızı sayesinde incelenen işaretin değişiminin rahatlıkla görülmesini sağlar. Veri toplama işlemi durdurulsa bile alınan örnekler osiloskobun geçici belleğinde saklandığı için sinyallerin zamandan bağımsız olarak incelenmesi mümkündür.

Bu serinin en önemli özelliği sin(x)/x interpolasyonunu dijital gerçek zamanlı örnekleme teknolojisiyle birleştirmesidir. Bu yöntemle bütün kanallardan aynı anda farklı tipte sinyaller incelenebilmektedir. Farklı kanalların devreye girmesiyle ortaya çıkan örnekleme hızının kayması sorunu bu yöntemle çözülmüştür. Böylece incelenen dalga üzerindeki en küçük bir kenar anomalisi, çentik veya yüksek frekanslı herhangi bir bozulma kolaylıkla görülebilmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 : Osiloskoba Ait Örnek Grafik

5.3 Analiz Yazılımı

Analiz yazılımı sistemin ana kontrol birimidir. Darbe yansıma ölçerinin tüm fonksiyonları ANALİZ yazılımı üzerinden gerçekleştirilir. Yazılım çevre birimleri ile haberleşerek ölçüm sürecini kontrol eder. ANALİZ yazılımı RS-232 seri port haberleşme protokolünü kullanmaktadır. Yazılımın çalışma şekli detaylı olarak açıklanmıştır.

5.3.1 Darbe Üretecine Ait Haberleşme Formatı

Darbe üreteci sürekli olarak dinleme modunda bekler. İlk açılma anında varsayılan dalga genişliği 0 ns olarak belirlenmiştir. Darbe genişliğini belirleyen değerler ASCII dizin (string) olarak darbe yansıma ölçerine gönderilir. Bu işlemi yapan kod parçası aşağıdaki gibidir.

```
TXBUF1 = (char) (C_PULSE->ItemIndex +5)

 try{
    MSComm2->Output = TXBUF1
 }catch(...){
 }
```

Şekil 5.6 : Darbe Genişliğini Ayarlayan Kod Parçası

Bu adımdan sonra darbe yansıma ölçeri darbenin genişliğini ayarlar.

5.3.2 TDS3034 Haberleşme Formatı

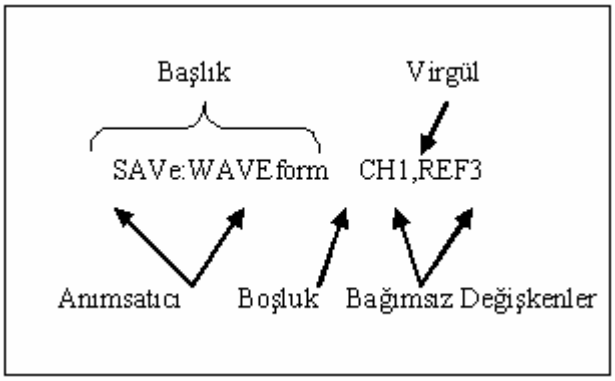
Analiz yazılımı osiloskopla veri alışverişi yaptığı için osikoskobun mesaj formatına uygun bir haberleşme arayüzü hazırlanmıştır. TDR3034 model osiloskop sorgu ve emir komutlarından oluşan bir haberleşme formatına sahiptir. Bu komutlar osiloskobun ölçüm ayarlarını değiştirebilmekle birlikte belirli bir işin yapılması ile de ilgili olabilir. Sorgu komutları ise ekranda görülen verinin veya osiloskobun o anki parametrelerinin toplanması ile ilgilidir.

Haberleşme komutları komut mesajı denen yapının içersinde bulunur. Komut mesajı kullanıcının yaptırmak istediği işlemi osiloskobun anlayacağı dile çeviren bir yapıdır. Temel olarak beş birimden oluşur.

Çizelge 5.1 : Mesaj Yapısı

Başlık	Temel komut adı. Başlık soru işareti ile biterse bu sorgu anlamına gelir. Başlığa ait alt fonksiyonlar (:) ile ayrılır.
Anımsatıcı	Başlığın alt fonksiyonudur. Komut başlığının birden fazla alt fonksiyonu varsa bunlar (:) ile birbirinden ayrılır.
Bağımsız Değişken	Fonksiyonun yapacağı işleri tanımlayan kısımdır. Başlık kısmından boşluk karakteriyle ayrılır.
Virgül	Bağımsız değişkenler birbirlerinden virgül (,) ile ayrılır.
Boşluk	Başlık ile bağımsız değişken boşluk karakteriyle birbirinden ayrılır. Mesajın türüne göre boşluk yapısı değişir.

Mesaj yapısını gösteren bir örnek şekildeki gibidir. Mesajın başlık kısmında osiloskop ekranında görülen dalga şeklinin kayıt edileceği belirtilmiş, bağımsız değişken kısmında işe bu dalga şeklinin hangi kanala ait olduğu ve osiloskobun hangi belleğinden alınacağı ifade edilmiştir.



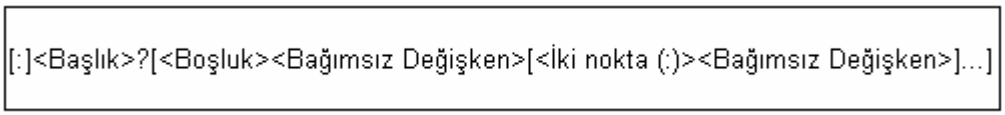
Şekil 5.7 : Örnek Mesaj Yapısı

Osiloskobun genel komut yapısı, ağaç yapısına veya hiyerarşik yapıya uygun olarak sıralanmış anımsatıcılardan oluşur. İlk anımsatıcı ağacın temel veya kök kısmını oluştururken sonrasındaki anımsatıcılar sıraya uygun olarak devam ederler. Komut yapısı Şekil 5.8'deki gibidir.

[:]<Başlık>[<Boşluk><Bağımsız Değişken>[<İki nokta (:)><Bağımsız Değişken>]...]

Şekil 5.8 : Komut Yapısı

Osiloskobun bütün parametreleri sorgu mesajları yardımıyla alınmaktadır. Sorgu mesajı ağaç yapısı içersinde kök seviyeden en üst seviyeye kadar tüm düzeylerde kullanılır. Genel sorgu yapısı Şekil 5.9'daki gibidir.



Şekil 5.9 : Sorgu Yapısı

Sorgulara ait cevaplar ait oldukları ağaç yapısı içersinde gösterilir. Örneğin osiloskobun birinci kanalına ait kuplaj durumunu öğrenmek için gerekli sorgu mesajı,

CH1:COUPling?

şeklindedir. Bu soruya osiloskop iki şekilde yanıt verebilir. Eğer osiloskobun HEADer özelliği aktif ise yanıt yapısı tüm ağaç yapısını gösterecek şekilde düzenlenir. Bu durumda yanıt,

:CH1:COUPLING AC

olacaktır. Ancak HEADer özelliği aktif değilse yanıt sadece istenen bilgiyi içerir. Bu durumda yanıt sadece AC olur. Yanıtlar her zaman büyük harflerle gösterilir.

5.3.2.1 Dalga Şekline Ait Veri Formatı

Osiloskop ekranında yakalanan görüntüyü oluşturan her bir nokta dokuz veya daha fazla sayıda bitle gösterilir. Bit sayısı kullanıxı tarafından şeçilen data toplama moduna göre değişir. SAMple, ENVelope veya PEAKdetect modunda toplanan verilerde her nokta dokuz bitlik bir sayı ile gösterilirken AVErage modunda bit sayısı 14'e yükselir.

Veri noktaları iki baytlık kayar noktalı sayılardır. Bu sayılar sola dayalı olarak kullanıcıya gönderilir. Ancak bu noktaları bir baytlık sayılar ile de ifade etmek mümkündür. Bu durumda 16 bit'lik sayının düşük anlamlı bitleri atılır. Veri noktalarına ait bayt sayısı DATa:WIDth komutuyla belirlenir.

Osiloskoptan bilgisayara gönderilen veriler ASCII yada binary formatında gönderilir. Format seçimi DATa:ENCdg komutuyla yapılır. ANALİZ yazılımı verileri ASCII formatında almaktadır. ASCII formatında gönderilen veriler işaretli tamsayılardan

oluşur. Seçilen veri genişliğine göre bir baytlık veriler -128 ile +128 arasında olurken iki baytlık veriler ise -32768 ile +32768 arasındadır.

Her veri değerine ait karakter uzunluğu ikiden yediye kadar değişir. Veri yapısı içersindeki bir ile beş karakter arasında değişen kısım verinin değerini, kalan karakterler ise verinin işaretini gösterir. Her bir veri diğerinden virgül (,) ile ayrılır. Örnek bir dalga şekli verisi Şekil 5.10'daki gibidir.

```
CURVE<boşluk>-110,-109,-110,-107,-110,-108,-
110,-106,-105,-103
```

Şekil 5.10 : Örnek Dalga Şekli Verisi

TDS3034 model osiloskop 500 ve 10000 noktalı iki farklı veri toplama modunu desteklemektedir. Bu iki moddan 10000 noktalı olanı varsayılan değer olarak belirlenmiştir. ANALİZ yazılımı da ölçüm doğruluğunun yüksek olması için 10000 noktalı veri toplama moduna göre tasarlanmıştır.

Toplanan verinin bilgisayara gönderilecek parçası DATa:STARt ve DATa:STOP komutlarıyla belirlenir. Bu iki komut bilgisaya gönderilecek verinin başlangıç ve bitiş noktalarını osiloskoba söyler. ANALİZ yazılımında 1-10000 aralığı seçilmiştir.

5.3.2.2 Dalga Şeklinin Bilgisayara Aktarılması

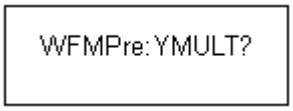
Osiloskop ekranında yakalanan görüntünün bilgisayara doğru biçimde aktarılabilmesi için belirli bir sorgu sırası izlenmelidir. Bu sıralama ekrandaki görüntünün eksenel parametrelerinden nokta değerine kadar çeşitli sorgular içerir.

ANALİZ yazılımı, öncelikle ekran görüntüsünü oluşturan noktaların zaman, ofset ve çarpan faktörü parametrelerini sorgular. Bu sorgulamalar sonucunda alınan cevaplar bellekte tutulur. Tüm parametlereler sorgulandıktan sonra osiloskoba istenen veri noktası adedi gönderilir. Son adım olarak ekran görüntüsünü oluşturan bütün noktalar osiloskoptan alınır. Veri toplama işlemini oluşturan komutlar ve bunlara ait açıklamalar aşağıda verilmiştir.

5.3.2.2.1 YMULT

YMULT sorgusu ekranda görülen dalga şeklinin dikey ölçeğini gösterir. Birimi veri seviyesi olarak tanımlanmıştır. Yani bir baytlık dalga şekli verisi için 256 adet veri

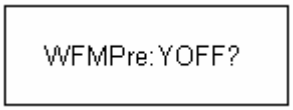
seviyesi, iki baytlık dalga şekli verisi için ise 65536 adet veri seviyesi bulunmaktadır. Sorgu şekli aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.11 : Örnek sorgu

5.3.2.2.2 YOFF

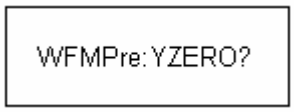
YOFF sorgusu ekranda görülen dalga şeklinin dikey konumunu gösterir. Birimi veri seviyesi olarak ifade edilmiştir. Sorgu şekli aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.12 : Örnek Sorgu

5.3.2.2.3 YZERO

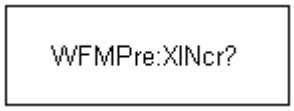
YZERO sorgusu dalga şeklinin dikey ofsetini gösterir. Sorgu şekli aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.13 : Örnek Sorgu

5.3.2.2.4 XINC

XINC sorgusu dalga şeklini oluşturan herhangi iki nokta arasındaki uzaklığı gösterir. ANALİZ yazılımı bu uzaklığı saniye cinsinden almaktadır. Sorgu şekli aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.14 : Örnek Sorgu

5.3.2.2.5 DATa:STARt

DATA:START komutu bilgisayara gönderilecek verinin başlangıç noktasını belirler. Komut aşağıdaki şekildedir.



Şekil 5.15 : Örnek Sorgu

NR1 sayısı, 1 ile belirlenen kayıt uzunluğu arasında olmalıdır. Eğer NR1 kayıt uzunluğundan fazla ise veri aktarımı olmaz. ANALİZ yazılımı alınan kaydın tamamını kullandığı için DATa:STARt değeri 1 olarak belirlenmiştir.

5.3.2.2.6 DATa:STOP

DATA:STOP komutu bilgisayara gönderilecek verinin bitiş noktasını belirler. Komut aşağıdaki şekildedir.

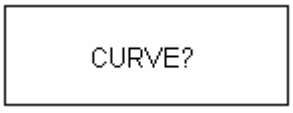


Şekil 5.16 : Örnek Sorgu

NR1 sayısı 1 ile belirlenen kayıt uzunluğu arasında değişir. NR1 sayısının değeri kayıt uzunluğundan fazla ise alınan kaydın tamamı bilgisayara gönderilir. DATa:STOP değeri DATa:STARt değerinden küçükse osiloskop bu değerleri kendi içersinde birbirleriyle değiştirir. Eğer DATa:STOP ve DATa:STARt değerlerinin her ikisi de kayıt uzunluğundan büyükse kullanıcıya hata mesajı gönderilir. ANALİZ yazılımı alınan kaydın tamamını kullandığı için DATa:STOP değeri 10000 olarak belirlenmiştir.

5.3.2.2.7 CURVE

CURVE sorgusu başlangıç ve bitiş noktaları DATa:STARt ve DATa:STOP komutlarıyla belirlenen dalga şekline ait nokta verilerini bilgisayara gönderir. Gönderilen verinin kaynağı DATa:SOUrce komutuyla belirlenir. ANALİZ yazımı veri kaynağı olarak bir numaralı kanalı kullanmaktadır. Sorgu şekli aşağıdaki gibidir.



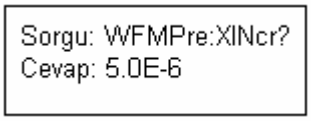
Şekil 5.17 : Örnek Sorgu

5.3.2.3 Dalga Şeklinin Bilgisayarda Oluşturulması

Osiloskop tarafından bilgisayara gönderilen veriler ASCII karakterlerden oluşan dizgiler şeklindedir. ANALİZ yazılımı bu dizgiler içersinde bulunan verileri ayıklar ve gerekli parametreleri toplayarak dalga şeklini oluşturur. Bilgisayara gelen veriler iki temel sınıf içersinde değerlendirilir. Bunlar sırasıyla parametre dizgileri ve veri noktası dizgileridir.

5.3.2.3.1 Parametre Bilgilerinin Alınması

Dalga şeklini oluşturan noktalara ait format parametrelerinin sorguları her ne kadar birbirlerinden farklı olsa da bu sorgulara verilen cevapların formatları aynıdır. Örnek bir parametre cevabı Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18 : Örnek Parametre Cevabı

Bu nedenle YMULT, YOFF, YZERO, XINC parametrelerinin dizgilerin içersinden ayıklanarak kullanılabilir veriler haline getirilmesi için aynı yöntem kullanılmıştır. Öncelikle gelen veri geçici bir dizginin içersine alınarak ondalık kısmı gösteren "E" karakterine kadar dizgi taranmış ve bu nokta belirlenerek mesaj burada ikiye bölünmüştür. Tamsayı ve ondalık kısmın birbirinden ayrılmasından sonra tamsayı kısmında "." karakterine kadar olan kısım tamsayı olarak bilgisayarın arabelleğine kaydedilmiştir. Ondalık kısım ise "E" karakterinden itibaren dizginin sonuna kadar taranmış, bulunan sayının değeri 10'un kuvvetleri olarak bilgisayarın arabelleğine alınmıştır. Bu işi yapan kod parçası Şekil 5.19'da gösterilmiştir.

```
while(xInc[k]!= 'E'){
        aa += xInc[k]
        k++
}
for(r = k+1;r<StrLen(xInc.c_str());r++)
        bb += xInc[r]

for(i=1; i<StrLen(aa.c_str()); i++)
        if(aa[i]=='.') aa[i] = ','
if(StrToFloat(bb) == 1)
    xinc = StrToFloat(aa)
else
    xinc = StrToFloat(aa) * pow(10,StrToFloat(bb))
```

Şekil 5.19 : Parametreleri Alan Kod Parçası

5.3.2.3.2 Veri Noktası Bilgilerinin Alınması

Dalga şeklini oluşturan veri noktası bilgileri aralarında “,” karakteri bulunan dizgiler içersinde gönderilir. Veri noktasının işareti pozitif veya negatif olabilir. Gelen veriler dizginin içersinde bulunan “,” karakterlerinin arasından alınır.

Verilerin doğru biçimde ayıklanabilmesi için öncelikle mesajın başlangıç noktası bulunmalıdır. Bu amaçla dizgide bulunan ilk 10 karakterin içersinde “,” karakteri aranır. İlk “,” karakterinin bulunduğu nokta mesajın başlangıç noktası olarak belirlenir. Bu adımdan sonra bulunan her “,” karakteri bir veri noktasının sıra değeri olarak kabul edilir. İki “,” karakteri arasında bulunan dizgi tamsayıya çevrilerek arabelleğe kayıt edilir. Bu işlemi yapan kod parçası Şekil 5.20’de gösterilmiştir.

```
for(i = 1; i< 10; i++){
        if(Curve[i] == ',') break;
    }
for(k = i+1; k<=StrLen(Curve.c_str()); k++){
    if(Curve[k] != ','){
        ss += Curve[k];
    }
    else{
        DATA[j] = StrToInt(ss);
        j++;
        ss = "";
    }
}
```

Şekil 5.20 : Veri Noktalarını Alan Kod Parçası

5.3.2.3.3 Dalga Şeklinin Oluşturulması

Osiloskoptan gönderilen ASCII dizgiler içersindeki veriler ayıklandıktan sonra ANALİZ yazılımı dalga şeklini oluşturur. Dalga şekli XY düzleminde bulunan iki boyutlu bir grafiktir. Osiloskoptan gönderilen verilerde grafiğin X ekseni zaman, Y ekseni ise veri seviyesi cinsinden bir değer olarak gösterilmektedir. ANALİZ yazılımı X eksenini metre cinsinden uzaklığa, Y eksenini ise Volt [V] cinsinden gerilime dönüştürür ve ekranda gösterir.

Y ekseninde bulunan her bir noktaya ait dönüşüm formülü aşağıdaki gibidir.

$$Y[x] = (Curve[x] - YOFF) \times YMULT - YZERO \quad \textbf{(5.1)}$$

Y ekseninde hesaplanan her nokta M_DATA[ ] isimli bir seri içersine yazılır.

X eksenindeki zaman bilgileri ise uzaklık bilgisine dönüştürülür. Dönüşüm formülü aşağıdaki gibidir.

$$D = \frac{1}{2} \times VOP \times c \times t \quad \textbf{(5.2)}$$

D: Uzaklık

V: % yayılma faktörü

c: ışık hızı

t: gidiş – geliş süresi

Her Y noktasına karşılık gelen X noktaları hesaplandıktan sonra elde edilen veriler XY düzleminde çizdirilerek ekranda gösterilir. Bu işlemi yapan kod parçası Şekil 5.21'de gösterilmiştir.

```
for(i=1;i<j;i++) {
    data = (DATA[i]-yoff)*ymult + yzero
    M_DATA[i] = data
    x += xinc * (S_VOP->Value)*0.01*3*pow(10,8)*0.5
    Series1->AddXY(x,data)
}
```

Şekil 5.21 : Grafikleri Çizdiren Kod Parçası

5.3.3 Uzaklığın Hesaplanması

Dalga şekli bilgisayar ekranında oluşturulurken X ekseni uzaklık bilgisine çevrilerek gösterilmektedir. Ölçümün doğru olması için kabloya uygulanan dalganın yükselmeye başladığı nokta sıfır noktası olarak kabul edilir. Ancak ANALİZ yazılımı osiloskoptan gelen ilk veriyi sıfır noktası olarak kabul eder ve uzaklığı bu noktadan itibaren hesaplamaya başlar. Osiloskop, ekranda görülen bütün noktaları bilgisayara gönderdiği için sıfır noktası dalganın ilk yükselme noktasının daha gerisinde bulunur. Bu durum uzaklığın hatalı okunmasına neden olmaktadır. Bu hatayı gidermek amacıyla yazılıma iki adet hareketli imleç eklenmiştir. İmleçler birbirlerine karıştırılmaması için kırmızı ve mavi renklerde tasarlanmıştır. Yazılım iki imleç arasındaki uzaklığı anlık olarak hesaplamaktadır. Böylece grafik üzerinde bulunan herhangi iki nokta arasındaki uzaklık belirlenebilmektedir. Başlangıç ve bitiş noktasının belirlenmesi ise kullanıcıya bırakılmıştır.

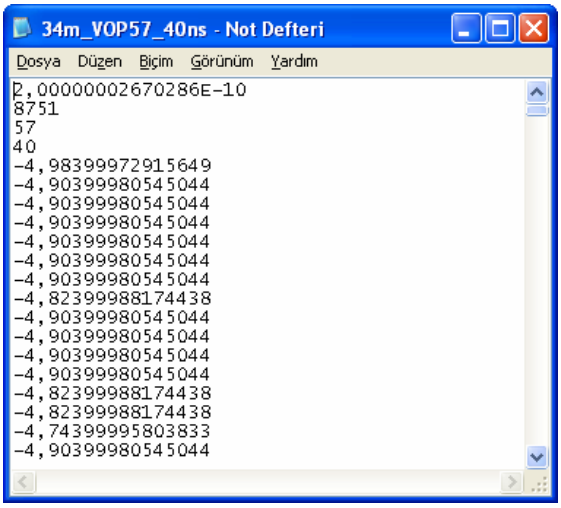
Uzaklığın doğru olarak belirlenmesinde önemli bir parametre olan yayılma sabitinin değişimi anlık olarak grafiklere yansıtılmıştır. Kullanıcı yayılma sabiti her değiştirdiğinde bütün hesaplamalar baştan yapılır ve grafikler yeniden çizdirilir. Böylece yeni bir ölçüme gerek duyulmaksızın yayılma sabitinin doğru biçimde ayarlanması sağlanır. Bu işlemi yapan kod parçası Şekil 5.22'de gösterilmiştir.

```
Series1->Clear()
Series2->Clear()
 for(i=1;i<M_DataIndex;i++){
      x += xinc * (S_VOP->Value)*0.01*3*pow(10,8)*0.5
      Series1->AddXY(x,M_DATA[i])
      Series2->AddXY(x,REF_DATA[i])
   }
```

Şekil 5.22 : Yayılma sabitinin değişimi ile grafikleri güncelleyen kod parçası

5.3.4 Kayıt Formatı

ANALİZ yazılımı osiloskoptan gelen dalga şekli verilerini kayıt eder ve saklar. Toplanan verilerin başka platformlarda da incelenebilmesi amacıyla ".txt" metin formatında kayıt edilmesi tercih edilmiştir. İncelenen kaydın anlaşılabilmesi için gerekli olan dalga genişliği, yayılma sabiti, veri sayısı ve zaman bilgisini içeren artım aralığı gibi bilgilerde veri noktası değerlerinin yanı sıra kayıt dosyasına yazılır. Örnek bir kayıt dosyası Şekil 5.23'de gösterilmiştir.



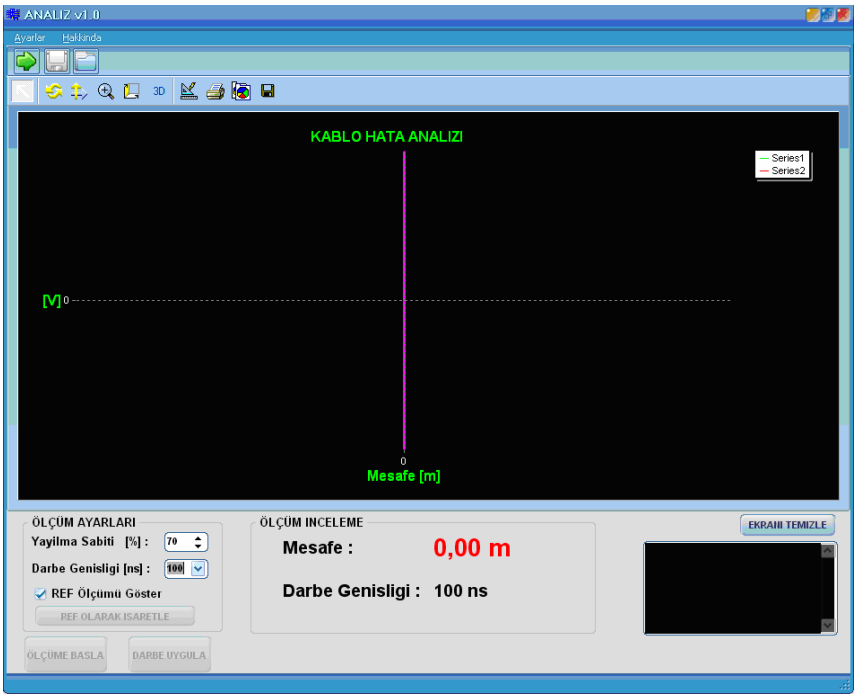
Şekil 5.23 : Kayıt Örneği

Şekilde görülen dosyanın ilk satırı iki veri noktası arasındaki uzaklığı göstermektedir. Bu ölçümde iki nokta arasındaki uzaklık 0,2 nanosaniyedir. İkinci satırda ölçüm sonucunda hesaplanan veri noktası sayısı gösterilmektedir. Üçüncü satırda % cinsinden yayılma sabiti, dördüncü satırda ise osiloskobun bir karesine karşılık gelen zaman değeri görülmektedir. Bu satırdan sonra görülen değerler ise Y ekseni üzerinde bulunan ölçüm değerleridir.

5.4 Analiz Yazılımı Kullanıcı Arayüzü

5.4.1 Genel Özellikler

Darbe yansıma ölçerinin kullanıcı arayüzü ANALİZ yazılımıdır. Bu yazılım C++ tabanlı olarak Borland C++ 6.0 ortamında geliştirilmiştir. Yazılımın ana ekranı Şekil 5.24'te gösterilmiştir.



Şekil 5.24 : ANALİZ yazılımı ana ekranı

ANALİZ yazılımı, osiloskop ekranında yakalanan arıza görüntüsünü seri port üzerinden alarak kullanıcının belirlediği parametrelere göre işler ve tahmini arıza uzaklığını hesaplar. Yazılım, hem klasik hem de karşılaştırmalı darbe yansıma ölçümleri yapabilmektedir.

5.4.2 Ayarlar

Yazılım, sistemi oluşturan çevre birimler ile COM portları aracılığıyla haberleşir. Bu bağlantı noktaları ve bağlantı özellikleri Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 : Bağlantı noktaları ve özellikleri

Çevre Birim	Bağlantı Noktası Adı	Veri İletim Hızı (Baud Rate)
Osiloskop	COM4	38400
Darbe Üreteci	COM5	38400

Yazılım ilk çalıştırıldığında sistemin haberleşme parametreleri, ana ekranın sol üst köşesinde bulunan Ayarlar->Haberleşme Ayarları sekmesinde bulunan Haberleşme Ayarları ekranı yardımıyla düzenlenir (Şekil 5.25).



Şekil 5.25 : Haberleşme ayarları ekranı

Gerekli ayarlar yapıldıktan sonra TAMAM butonuna basılarak AYARLAR ekranı kapatılır. Yazılım haberleşme ile ilgili tüm parametreleri bilgisayarın kayıt defterinde tutar. Bu nedenle haberleşme ayarlarının bir kez yapılması yeterlidir. Bundan sonraki kullanımlarda yazılım, haberleşme parametrelerini otomatik olarak belirler.

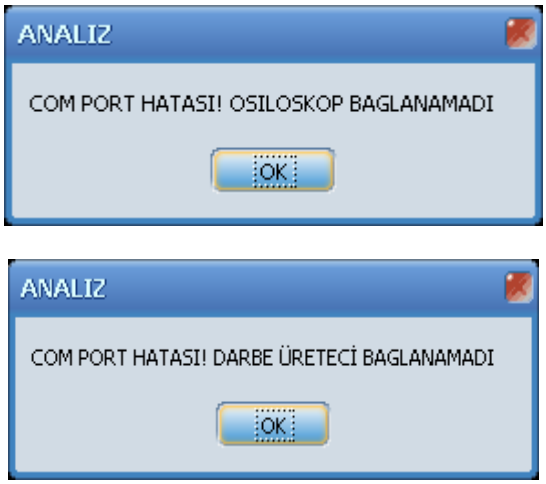
5.4.3 Çevre Birimlerle Bağlantı Kurulması

Haberleşme ayarları yapıldıktan sonra yazılımın çevre birimlerle olan bağlantısı kurulur. Bu amaçla ekranın sol üst köşesinde bulunan ok tuşuna basılır (Şekil 5.26). Bu tuş sistemde tanımlı portları etkin duruma getirir ve haberleşme bağlantısını kurar. Ölçüm sonunda haberleşmenin kesilmesi için yine bu tuş kullanılır. Haberleşme etkinken tuş, kapat butonu şekline dönüşür.



Şekil 5.26 : AÇ ve KAPAT butonları

Sistemde bulunan bağlantı noktalarının herhangi bir nedenle değişmesi haberleşme hatalarına yol açar. Bu durumda yazılım kullanıcıya sorunun hangi bağlantı noktasından kaynaklandığını gösteren bir hata mesajı verir. Bu mesajlar Şekil 5.27'de gösterilmiştir.



Şekil 5.27 : Haberleşme hata mesajları

Özellikle üzerinde seri port bulunmayan yeni nesil bilgisayarlarda kullanılan ve seri portu taklit eden USB – Seri Port çeviriciler bağlantı noktalarının değişmesine neden olmaktadır. Böyle cihazlar bilgisayara her bağlandığında cihazın bilgisayarın hangi portunu kullandığı kontrol edilmelidir.

5.4.4 Darbe Üretecinin Çalıştırılması

Ölçümü yapılacak kabloya uygulanacak darbenin genişliği yazılımda bulunan ölçüm ayarları panelindeki darbe genişliği liste kutusundan seçilir. Bu listede gösterilen değerler 1 kHz frekanslı PWM dalgalarının nanosaniye cinsinden darbe genişliğidir. Yazılımda tanımlı değerler 40 ns'den başlayarak 2000 ns'ye kadar çıkar. Darbe genişliği seçildikten sonra ekranın sol alt köşesinde bulunan "DARBE UYGULA" butonunabasılarak darbe üreteci çalıştırılır (Şekil 5.28).



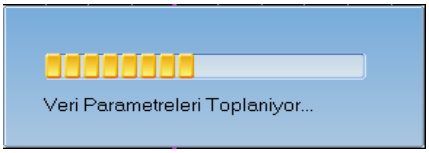
Şekil 5.28 : Ölçüm ayarları ekranı

5.4.5 Ölçüm

Ölçüme başlamadan önce ölçüm ayarları paneli üzerinde bulunan "Yayılma Sabiti" liste kutusuna kablonun tahmini yayılma sabiti girilmelidir. Yazılım bu değeri

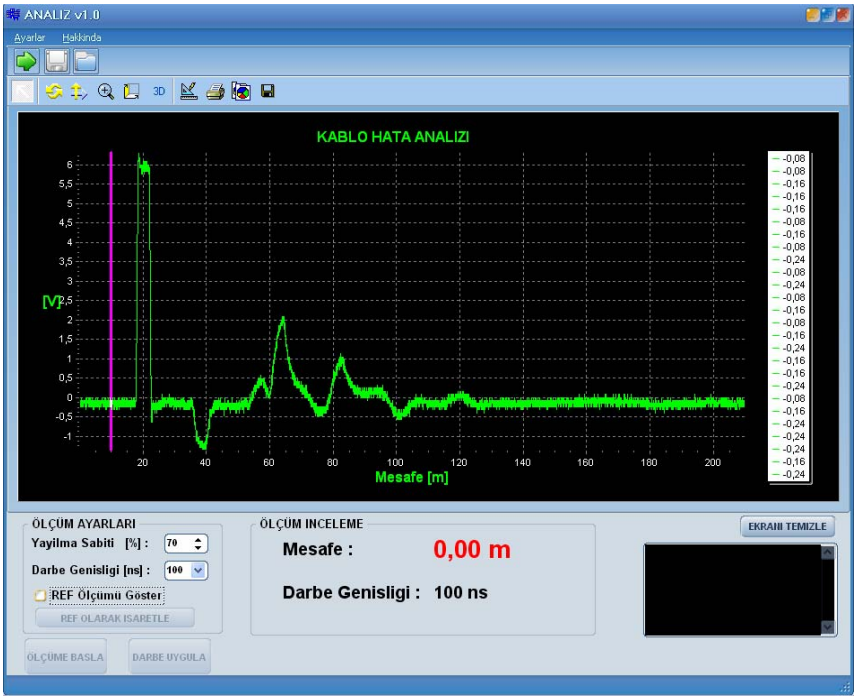
başlangıçta %70 olarak otomatik olarak belirler. Ancak sonraki ölçümlerde gerekli düzeltme yapılmalıdır.

Ölçüm butonuna basılmasıyla beraber öncelikle osiloskop ekranındaki işaretin genliği, bir karenin saniye karşılığı (sec/div), çarpım katsayısı ve DC ofseti gibi veri parametreleri sorgulanır. Gerekli parametreler alındıktan sonra osiloskobun o an için belleğinde tuttuğu toplam 10000 noktadan oluşan dalga verisi toplanmaya başlanır. Bu işlem yaklaşık 10 saniye sürmektedir. Bu sırada kullanıcı ekranda Şekil 5.29'da gösterilen mesajı görür.



Şekil 5.29 : Veri parametreleri toplama mesajı

Veriler toplandıktan sonra ölçümün grafiği ekranda gösterilir. Örnek bir ölçüm grafiği Şekil 5.30'da gösterilmiştir.

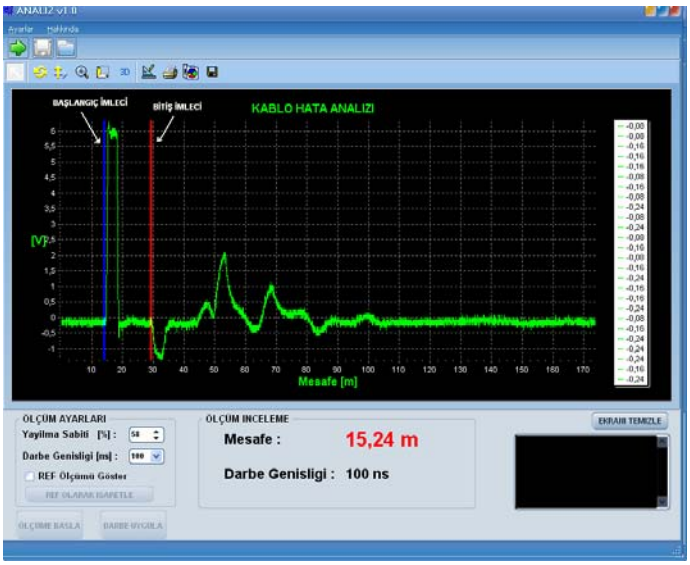


Şekil 5.30 : ANALİZ ekranında görülen örnek bir ölçüm grafiği

5.4.6 Analiz

Veri analizi, ölçüm ekranın gösterilen grafik üzerindeki başlangıç ve bitiş imleçleri yardımıyla yapılır. Mavi renkli başlangıç imleci ve kırmızı renkli bitiş imleci, ölçüm

başlangıcında ekranın sol tarafında üst üste bulunur. Ölçüm yapıldıktan sonra başlangıç imleci ölçüm darbesinin başlangıç noktasına, bitiş imleci ise yansıyan dalganın başlangıç noktasına götürülür. İmleçlerin hareketi sırasında aralarındaki uzaklık otomatik olarak hesaplanır ve ekranın ortasında bulunan "ÖLÇÜM İNCELEME" paneli üzerinde gösterilir (Şekil 5.31).



Şekil 5.31 : Ölçüm verisinin incelenmesi

Yazılım karşılaştırmalı darbe yansıma ölçümü yapılabilmesi amacıyla iki adet ölçümü belleğinde tutar. Bu amaçla ölçümü yapılacak kablonun sağlam bir damarının veya aynı uzunluktaki ve tipteki farklı bir kablonun görüntüsü alınarak referans dalga olarak seçilir. Seçme işlemi "ÖLÇÜM AYARLARI" paneli üzerine bulunan "REF OLARAK İŞARETLE" butonuna basılarak yapılır. Bu işlemden sonra kullanıcıya ölçümün referans dalga olarak işaretlendiğini gösteren bir uyarı mesajı verilir (Şekil 5.32).



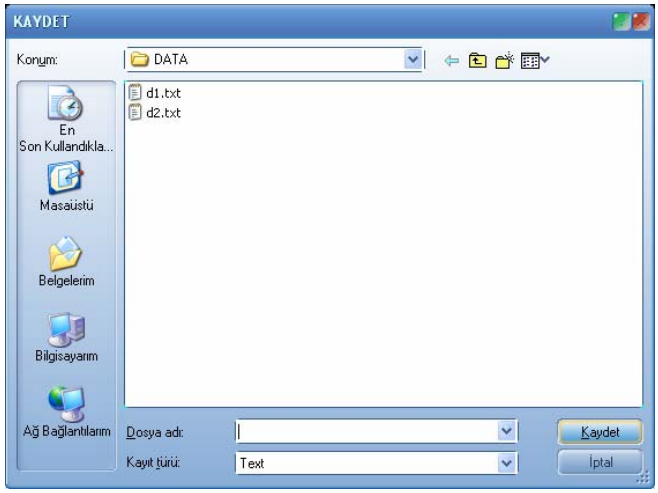
Şekil 5.32 : Ölçümün referans olarak işaretlendiği mesajı

Referans dalga seçildikten sonra yapılacak ölçümlerde elde edilen grafik, referans dalga ile birlikte gösterilir. Böylece sağlam ve arızalı kablo arasındaki fark kolaylıkla görülebilir. Referans dalganın görülmesinin istenmediği durumlarda "ÖLÇÜM

AYARLARI" paneli üzerinde bulunan "REF Ölçümü Göster" onay kutusundaki onay işareti kaldırılır. Bu kutunun tekrar işaretlenmesi ile referans dalga tekrar görünür hale gelir.

5.4.7 Kayıt

Yazılım yapılan ölçümlerin daha sonra incelenebilmesi amacıyla ölçümleri kayıt eder. Ölçüm bittikten sonra kayıt işlemi için ekranın sol üst köşesinde bulunan "KAYIT" butonuna basılır.

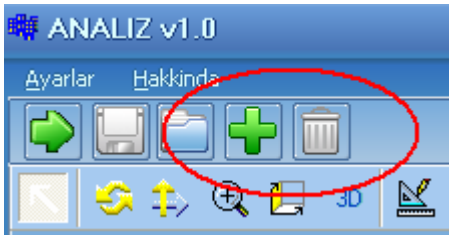


Şekil 5.33 : Ölçüm verisinin bir dosyaya kaydedilmesi

Dosya adı girildikten sonra "Kaydet" butonuna basılarak ölçüm kaydedilir (Şekil 5.33). Kayıt dosyası hem ölçüm dalgasını hem de referans dalgayı içermektedir. Metin (text) formatında tutulan kayıtlar C:\TDS3034\DATA klasöründe saklanır.

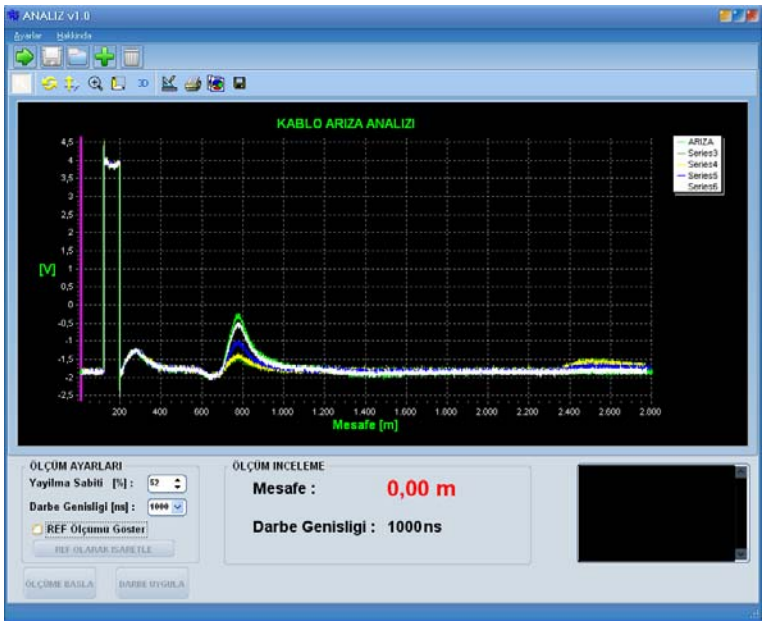
Kayıt inceleme işlemi için ekranın sol üst köşesinde bulunan "AÇ" butonuna basılır. Gelen listeden incelenecek kayıt seçilerek "AÇ" butonuna basılır. Seçilen ölçüme ve o ölçüme ait referans dalgaya ait grafikler ekranda birlikte gösterilir.

ANALİZ yazılımı farklı zamanlarda alınan verilerin aynı ekran üzerinde incelenmesine olanak sağlar. Bu amaçlar ekran üzerinde EKLE ve ÇIKAR butonları bulunmaktadır.



Şekil 5.34 : Ekle ve Çıkar Butonları

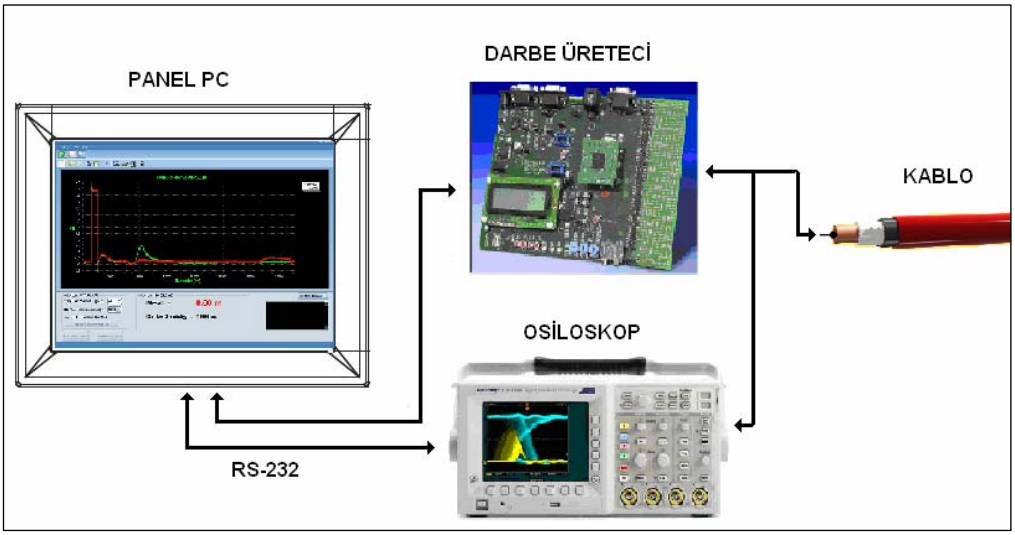
Bu butonlar sayesinde her hangi bir grafiğin üzerine başka bir grafik eklenerek aralarındaki farkın görülmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 5.35 : Üst üste eklenmiş grafikler

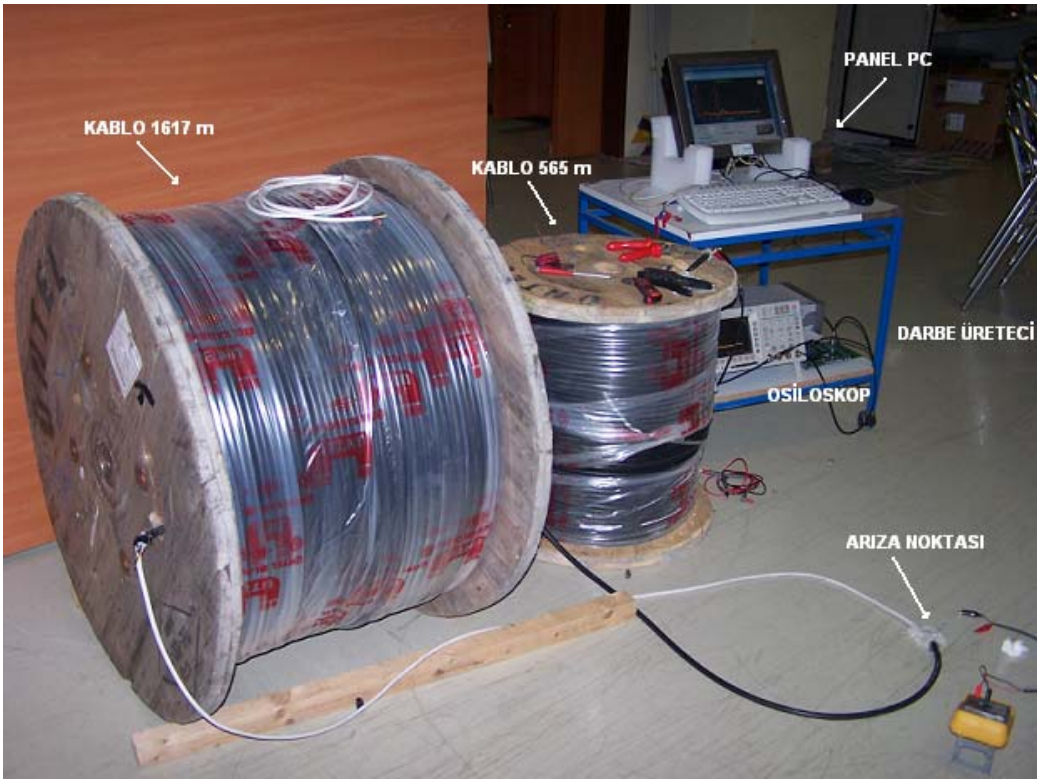
DENEY DEVRESİ

Deneysel çalışmalarda, darbe yansıma ölçümü kullanılarak kablo üzerindeki bir noktada yapay olarak oluşturulan arızalar incelenmiştir. Bu amaçla 1617 m ve 565 m uzunluklu iki adet FSS-4 tipi 4 x 1 mm^2 TTR kablo kullanılmıştır. İki kablonun birleşim noktası olan 565. metrede bir potansiyometre yardımıyla arıza oluşturulmuştur. Deney devresi Şekil 5.36'daki gibidir.



Şekil 5.36 : Deney devresi

Arıza noktasında bulunan 1 kOhm dirençli potansiyometre yardımıyla arıza direnci değiştirilmiş, seri ve şönt arızaların farklı direnç değerlerindeki yansıma görüntüleri incelenmiştir. Son olarak potansiyometrenin bağlantı noktasına su dökülmüş ve kablo içersine su girmesi durumunda oluşan arıza incelenmiştir. Deney devresinin fotoğrafı Şekil 5.37'de gösterilmiştir.



Şekil 5.37 : Deney devresinin fotoğrafı

Kablo Parametrelerinin Belirlenmesi

Arıza noktasının belirlenmesi ile ilgili deneylere başlamadan önce doğru bir ölçüm için gerekli olan ölçüm parametreleri belirlenmiştir. Bu amaçla, kablonun yayılma sabitinin ve bu uzunluktaki bir kabloya uygulanacak sinyalin darbe genişliğinin bulunması için çalışmalar yapılmıştır.

Kablo, 1000 ns genişlikli, 5 V genlikli ve 1 kHz frekanslı darbeler ile test edilmiştir. Darbenin, açık devre olan kablo sonundan yansıması sonucunda kablo boyunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Yayılma sabiti, başlangıçta %70 olarak seçilmiştir. Kablonun gerçek boyu bilindiği için yapılan ölçümler bu değerle karşılaştırılarak uygun yayılma sabiti değeri bulunmuştur. Piyasada kullanılan darbe ölçüm cihazlarında bu işlem, yayılma sabitinin her değeri için yeni bir ölçüm yapılarak gerçekleştirilir. Ancak ANALİZ yazılımı bu işlemi, başlangıçta aldığı verileri, değişen yayılma sabitleri ile tekrar işleyerek yeni bir ölçüme gerek kalmaksızın gerçekleştirir. Çizelge 5.3'de bu şekilde yapılan yayılma sabitinin bulunması işlemine ait sonuçlar verlmiştir.

Çizelge 5.3 : FSS-4 Kablo için farklı yayılma sabitleri ile yapılan ölçümler

Frekans	Dalga Genişliği	Genlik	Arıza Tipi	Uzaklığı	Ölçüm Hatası [%]	Yayılma Sabiti
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2132	-2,51	50%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2173	-0,64	51%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2195	0,37	52%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2248	2,79	53%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2289	4,66	54%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2331	6,58	55%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2367	8,23	56%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2413	10,33	57%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2455	12,25	58%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2498	14,22	59%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2540	16,14	60%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2585	18,20	61%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2626	20,07	62%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2667	21,95	63%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2710	23,91	64%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2755	25,97	65%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2794	27,75	66%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2831	29,45	67%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2879	31,64	68%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2899	32,56	69%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2964	35,53	70%

Başlangıç değeri olan %70 yayılma sabitinin, en yüksek ölçüm hatasına neden olduğu tablodan görülmektedir. Yayılma sabitinin azalmasıyla birlikte ölçüm hatası da azalmış, %52 değerinden sonra negatif yönde tekrar artmaya başlamıştır. Buradan yayılma sabitinin %52 olması gerektiği anlaşılmaktadır.

Bu deneyden elde edilen sonuçları karşılaştırmak amacıyla aynı deney farklı türde bir kabloda tekrar edilmiştir. Bu deneyde 34,5 m uzunluğunda HO5VV 3 x 2,5 NYAF kablo kullanılmıştır. Kablo, 100 ns genişlikli, 5 V genlikli ve 1 kHz frekanslı darbeler ile test edilmiştir. Yayılma sabiti başlangıçta %70 olarak seçilmiştir. Bu ölçüme ait sonuçlar Çizelge 5.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 : HO5VV 3 x 2,5 NYAF Kablo için farklı yayılma sabitleri ile yapılan ölçümler

Frekans	Dalga Genişliği	Genlik	Arıza Tipi	Uzaklığı	Ölçüm Hatası [%]	Yayılma Sabiti
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	33,4	-3,19	55%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	34,02	-1,39	56%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	34,24	-0,75	57%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	35,01	1,48	58%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	35,78	3,71	59%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	36,35	5,36	60%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	37,05	7,39	61%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	37,69	9,25	62%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	38,31	11,04	63%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	38,89	12,72	64%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	39,53	14,58	65%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	40,03	16,03	66%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	40,68	17,91	67%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	41,25	19,57	68%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	41,97	21,65	69%
1 kHz	100ns	5V	Açık Devre	42,46	23,07	70%

Bu ölçümde yayılma sabiti, en düşük ölçüm hatasının elde edildiği %57 değeridir. Her iki kablo için yapılan ölçümler yayılma sabitinin kablonun türüne göre değiştiğini göstermiştir. Doğru yayılma sabiti seçildiğinde ölçüm hatası önemli ölçüde azaltılabilmektedir.

Yayılma sabitinin belirlenmesinde sonra ölçüm için kabloya uygulanacak darbenin genişliği belirlenmelidir. Bu amaçla her iki kabloya da 40 ns ile 2 us aralığında farklı darbe genişliklerinde, 1 kHz frekanslı ve 5 V genlikli darbeler uygulanmıştır. Bu ölçümlere ait sonuçlar Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 : FSS-4 Kablo için farklı genişlikli darbeler ile yapılan ölçümler

Frekans	Dalga Genişliği	Genlik	Arıza Tipi	Uzaklığı	Ölçüm Hatası [%]	Yayılma Sabiti
1 kHz	40 ns	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		52%
1 kHz	80 ns	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		52%
1 kHz	100 ns	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		52%
1 kHz	150 ns	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		52%
1 kHz	200 ns	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		52%
1 kHz	220 ns	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		52%
1 kHz	250 ns	5V	Açık Devre	2236	2,24	52%
1 kHz	300 ns	5V	Açık Devre	2245	2,65	52%
1 kHz	320 ns	5V	Açık Devre	2257	3,20	52%
1 kHz	350 ns	5V	Açık Devre	2246	2,70	52%
1 kHz	400 ns	5V	Açık Devre	2278	4,16	52%
1 kHz	420 ns	5V	Açık Devre	2259	3,29	52%
1 kHz	450 ns	5V	Açık Devre	2249	2,83	52%
1 kHz	500 ns	5V	Açık Devre	2274	3,98	52%
1 kHz	520 ns	5V	Açık Devre	2214	1,23	52%
1 kHz	550 ns	5V	Açık Devre	2211	1,10	52%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	2179	-0,37	52%
1 kHz	2 µs	5V	Açık Devre	2196	0,41	52%

Çizelge 5.6 : HO5VV 3x2.5 NYAF Kablo için farklı yayılma sabitleri ile yapılan ölçümler

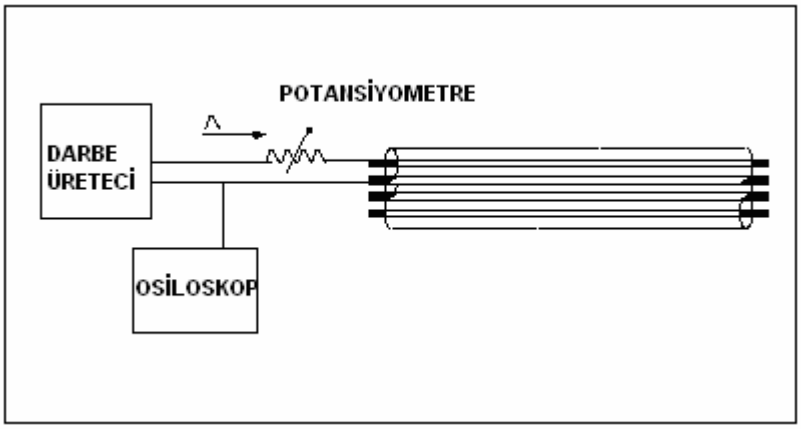
Frekans	Dalga Genişliği	Genlik	Arıza Tipi	Uzaklığı	Ölçüm Hatası [%]	Yayılma Sabiti
1 kHz	40 ns	5V	Açık Devre	34,6	0,29	57%
1 kHz	80 ns	5V	Açık Devre	34,57	0,20	57%
1 kHz	100 ns	5V	Açık Devre	34,39	-0,32	57%
1 kHz	150 ns	5V	Açık Devre	34,36	-0,41	57%
1 kHz	200 ns	5V	Açık Devre	34,51	0,03	57%
1 kHz	220 ns	5V	Açık Devre	34,8	0,87	57%
1 kHz	250 ns	5V	Açık Devre	34,26	-0,70	57%
1 kHz	300 ns	5V	Açık Devre	34,64	0,41	57%
1 kHz	320 ns	5V	Açık Devre	33,78	-2,09	57%
1 kHz	350 ns	5V	Açık Devre	35,2	2,03	57%
1 kHz	400 ns	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		57%
1 kHz	420 ns	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		57%
1 kHz	450 ns	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		57%
1 kHz	500 ns	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		57%
1 kHz	520 ns	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		57%
1 kHz	550 ns	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		57%
1 kHz	1µs	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		57%
1 kHz	2 µs	5V	Açık Devre	Ölçülemedi		57%

Kabloya uygulanan darbenin genişliği, gerçekte kablo içersine gönderilen enerjinin bir ölçüsüdür. Uzun hatlarda kısa darbe genişlikli darbelerin uygulanması durumunda, kablo üzerindeki kayıplar nedeniyle darbe, ya hiçbir zaman kablo

sonuna ulaşamayacak yada ulaşsa bile kaynağa geri yansıyamayacaktır. Kısa hatlarda uzun darbe genişlikli darbelerin uygulanması durumunda ise başlangıç ve yansıyan darbeleri arasında girişim oluşacak, kablo sonu kablo başından ayırt edilemeyecektir. Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da görülen ölçüm sonuçları bu durumu göstermektedir. Çizelge 5.5'deki verilerden 2182 m uzunluğundaki FSS-4 kabloda, kablo sonunun ancak 250 ns genişliğindeki darbe ile görülebildiği, bunun aşağısındaki darbe genişlik değerlerinde ise kablo sonunun görülemediği anlaşılmaktadır. Kısa kabloda ise bu durumun tam tersi olmuştur. Sınır bir değerden sonra başlangıç darbesi ile yansıyan darbe arasında girişim oluşmuş ve kablo sonu ile kablo başı birbirinden ayırt edilemez hale gelmiştir. Çizelge 5.6'dan 34.5 m uzunluklu bir kablo için bu değerin 400 ns olduğu görülmektedir. Bu deneylere ait ölçüm sonuçları EK A.3 ve EK A.4'de verilmiştir.

Deney 1 - Seri Arıza

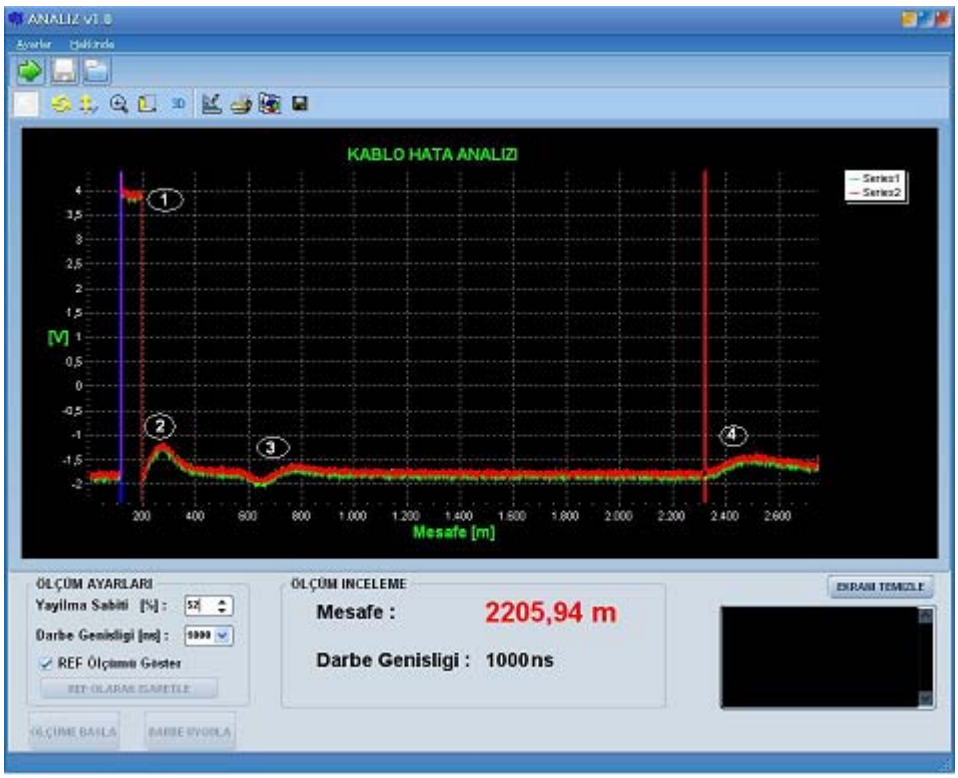
Deneyde kullanılan 1617 m ve 565 m uzunluklu iki adet kablonun bağlantı noktasına 1 kOhm'luk potansiyometre seri olarak bağlanmıştır. Bağlantı Şekil 5.38'de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.38 : Seri Arıza İnceleme Deney Devresi Bağlantısı

Kablo başlangıçta potansiyometre olmadan seri olarak bağlanmış ve 1 kHz frekansta 5V genlikli, 100 ns dalga genişlikli darbeler uygulanmıştır. Ancak kablonun uzunluğuna bağlı olarak kayıpları da arttığından dolayı kablo sonu görülememiştir. İkinci adımda 1000 ns dalga genişlikli, 1 kHz frekanslı darbeler uygulanmış ve bu denemede kablo sonu görülmüştür. Daha sonra kablonun iki kablo makarasının birleştiği nokta olan 565. metreye potansiyometre seri olarak bağlanmıştır. Başlangıçta potansiyometre 0 Ohm değerindedir. Kablo üzerindeki kayıplar

nedeniyle yansıyan dalganın genliği ideal duruma göre oldukça küçüktür (Şekil 5.39).



Şekil 5.39 : Seri arıza noktası direnci 0 ohm iken ekran görüntüsü

Şekil 5.39'da görülen 1 numaralı işaret, darbe üretecinin kabloya uyguladığı darbedir. Darbe üreteci 50 Ohm empedans değerine sahip bir koaksiyel kablo üzerinden ölçüm kablosuna bağlanmıştır. Bağlantı noktasında kullanılan bağlantı elemanlarının oluşturduğu empedans farklılığı nedeniyle darbe bağlantı noktasından yansımıştır. Bu yansıma grafikte 2 numara olarak gösterilmiştir. Grafikte gösterilen 3 numaralı yansıma iki makaranın birbirine eklendiği noktadır. Bu noktanın uzaklığı 565 metredir. 4 numaralı yansıma ise kablo sonudur. Bu noktanın uzaklığı ise 2205,94 m olarak ölçülmüştür.

Darbe yansıma deneyi potansiyometrenin değişik direnç değerlerinde tekrarlanmıştır. Bu deneylere ait ölçüm sonuçları Çizelge 5.7'daki gibidir.

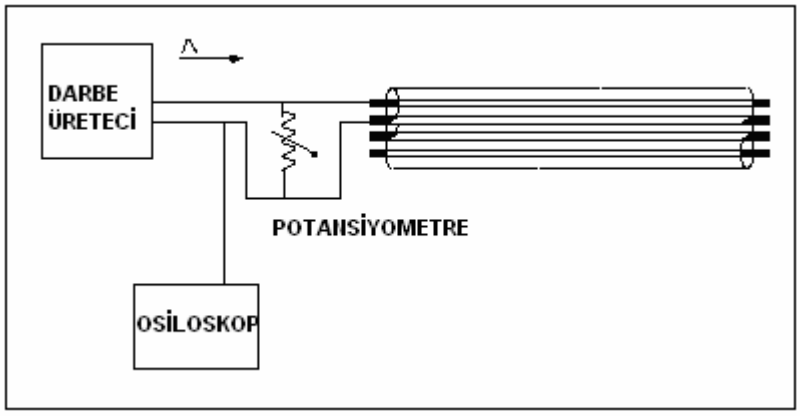
Çizelge 5.7 : Seri Arıza Yeri Bulma Deneyi Ölçüm Sonuçları

Frekans	Dalga Genişliği	Genlik	Arıza Tipi	Arıza Direnci	Yansıma Genliği [V]	Arıza Uzaklığı [m]	Ölçüm Hatası [%]	Yayılma Sabiti
1 kHz	1µs	5V	Seri	0 Ω	0	0	-100,00	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	10 Ω	0,37	614,06	8,68	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	20 Ω	0,49	594,69	5,25	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	30 Ω	0,57	589,62	4,36	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	40 Ω	0,62	589,66	4,36	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	50 Ω	0,65	587	3,89	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	60 Ω	0,73	586,25	3,76	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	70 Ω	0,8	587,14	3,92	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	80 Ω	0,81	585,73	3,67	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	90 Ω	0,86	585,19	3,57	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	100 Ω	0,95	576,5	2,04	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	200 Ω	1,21	574,07	1,61	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	300 Ω	1,33	576,43	2,02	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	400 Ω	1,41	572,95	1,41	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	500 Ω	1,5	571,11	1,08	52%
1 kHz	1µs	5V	Seri	1000 Ω	1,65	568,12	0,55	52%

Ölçüm sonuçlarından, arıza direnci azaldıkça yansıyan dalganın genliğinin düştüğü görülmektedir. Bu sonuç Eşitlik (3.21) ile ifade edilen seri arızanın yansıma katsayısı eşitliğine uygundur. Yansıyan dalganın genliğinin düşmesi sonucunda arıza noktasının bulunması zorlaşmış ve dolayısıyla ölçüm doğruluğu azalmıştır.

Deney 2 - Şönt Arıza

Kablo makaraları arasındaki bağlantı noktasında bulunan potansiyometre kablonun iki damarı arasına paralel olarak bağlanmış ve iki damar arasında kısa devre arızası oluşturulmuştur. Potansiyometrenin direnci değiştirilerek farklı direnç değerlerindeki ölçüm sonuçları incelenmiştir.



Şekil 5.40 : Şönt arıza inceleme deney devresi bağlantısı

Deneyler sonucunda elde edilen değerler Çizelge 5.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 : Şönt Arıza Yeri Bulma Deneyi Ölçüm Sonuçları

Frekans	Dalga Genişliği	Genlik	Arıza Tipi	Arıza Direnci	Yansıma Genliği [V]	Arıza Uzaklığı [m]	Ölçüm Hatası [%]	Yayılma Sabiti
1 kHz	1µs	5V	Şönt	0 Ω	-1,8	567,55	0,45	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	10 Ω	-1,5	574,6	1,70	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	20 Ω	-1,3	575,43	1,85	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	30 Ω	-1,09	572,43	1,32	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	40 Ω	-0,93	574,4	1,66	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	50 Ω	-0,85	577,38	2,19	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	60 Ω	-0,77	574,84	1,74	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	70 Ω	-0,73	575,6	1,88	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	80 Ω	-0,65	577,05	2,13	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	90 Ω	-0,57	574,74	1,72	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	100 Ω	-0,56	574,51	1,68	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	150 Ω	-0,37	577,66	2,24	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	200 Ω	-0,33	583,64	3,30	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	250 Ω	-0,29	586,92	3,88	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	500 Ω	-0,21	592,57	4,88	52%
1 kHz	1µs	5V	Şönt	1000 Ω	-0,05	601,86	6,52	52%

Ölçüm sonuçlarından, arıza direnci arttıkça yansıyan dalganın genliğinin düştüğü görülmektedir. Arıza direncinin 200 Ohm'un üzerine çıkması durumda darbe yansıma değeri çok düşük olduğundan arızayı bulmak oldukça zordur. Arıza direncinin 1 kOhm olduğu durumda ise arıza noktası görülmemektedir. Bu sonuç Eşitlik 3.23 ile ifade edilen şönt arızanın yansıma katsayısı eşitliğine uygundur.

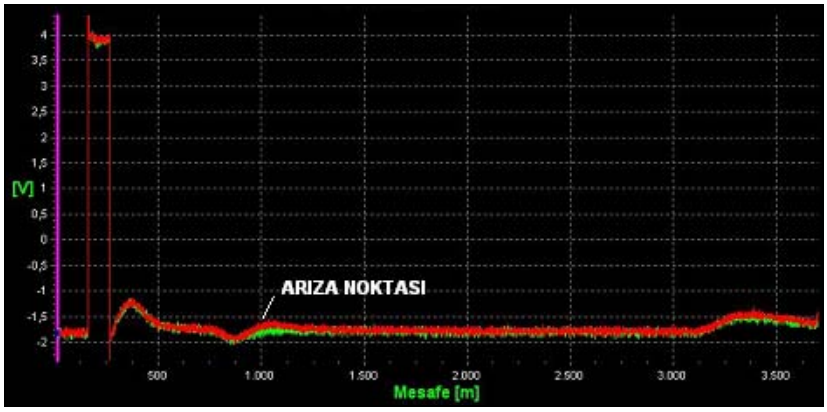
DENEY 3 SU DENEYİ

Kablo içersine su girmesini incelemek amacıyla iki makaranın ek noktasındaki kablolara su uygulanmıştır. Bu amaçla öncelikle potansiyometre devreden çıkarılarak kablolar normal biçimde bağlanmış, daha sonra çıplak bağlantı noktası üzerine kağıt havlu sarılarak yalıtılmış ve üzerine musluk suyu dökülmüştür. Arıza yeri, Şekil 5.41'de gösterilmiştir.



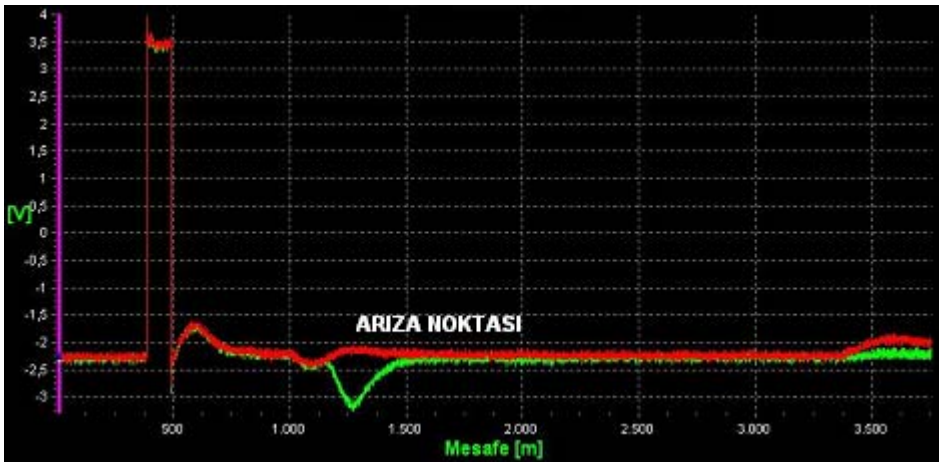
Şekil 5.41 : Su deneyinde arıza yerinin görüntüsü

Arıza noktasında iletken – ıslak yalıtım arası direnç 122 kOhm olarak ölçülmüştür. Bu durumda darbe arıza noktasından yansımayacaktır. Gerçekten de yapılan deney sonucunda arıza noktasında herhangi bir yansıma tespit edilememiştir. Ölçüme ait grafik Şekil 5.42'deki gibidir.



Şekil 5.42 : Su deneyinde elde edilen ekran görüntüsü

Bu ölçümde yansıma noktası görülemediğinden uzaklık analizi yapılamamıştır. İkinci ölçümde ise musluk suyuna tuz ilave edilerek suyun iletkenliği artırılmış ve deney tekrarlanmıştır. Kablolara tuzlu su uygulanması durumunda arıza noktası direnci 87 ohm olarak ölçülmüştür. Bu durumda darbe, negatif işaretli olarak yansımıştır. Ölçüme ait grafik Şekil 5.43'deki gibidir.



Şekil 5.43 : Tuzlu su deneyinde elde edilen ekran görüntüsü

Sonuç olarak kablo içersine giren suyun iletkenliğinin artmasıyla beraber negatif işarette yansıyan dalganın genliğinin arttığı görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeraltı kablolarında meydana gelen arızaların giderimesi ile ilgi çalışmalar kabloların ilk kullanılmaya başlandığı yıllardan bu yana devam etmektedir. Başlangıçta kablo arızalarının bulunması için kullanılan köprü yöntemleri, zaman içersinde teknolojinin gelişmesiyle birlikte yerini daha karmaşık ancak daha doğru ve daha etkin yöntemlere bırakmıştır.

1930'lu yıllarda bulunan RADAR teknolojisi yeraltı kablolarında arıza noktasının belirlenmesinde çığır açmıştır. Kablo içersine gönderilen darbenin kablo üzerindeki empedans değişimlerinden kaynağa geri yansıması ilkesine dayanan Darbe Yansıması Yöntemi, bugün bir çok arızada başarıyla kullanılan modern yöntemlerin ilk çıkış noktası olmuştur.

Darbe yansıma yöntemi düşük dirençli kısa devre arızalarında ve yüksek dirençli açık devre arızalarında en etkin ve en hızlı sonuçları verir. Ancak arıza direncinin kablo karakteristik empedansının 10 katından büyük olduğu kısa devre arızalarında darbe yansıma yöntemi yetersiz kalmaktadır. Kablo hatlarında meydana gelen arızaların %90'ının yüksek dirençli arızalar olduğu düşünülürse, darbe yansıma ölçümünün tek başına yeterli sonuç veremeyeceği açıktır [13]. Yapılan deneyler, kısadevre arızalarda uygulanan düşük gerilimli darbe yansıma ölçümünün doğruluğunun, arıza direnci ile ters orantılı olarak değiştiğini göstermiştir. İlk deneyde kullanılan toplam 2182 m uzunluğundaki kablonun ek noktası olan 565. metresinde meydana getilen kısa devre arızasında, 100 ohm'un üzerindeki arıza dirençlerinde yapılan ölçümlerin hatalarının oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Buna ek olarak kablo üzerinde meydana gelen kayıplar nedeniyle yansıyan darbenin genliğinin başlangıç darbesine göre çok daha düşük bir değerde olduğu görülmüştür. Bu nedenle arıza direncinin artmasıyla birlikte arıza noktasından yansıyan darbenin belirlenmesi çok zorlaşmıştır.

Açık devre arızalarında ise durum bunun tam tersidir. Deney kablosunun ek noktasındaki arıza kısa devreden açık devre durumuna getirilmiş ve ölçümler tekrarlanmıştır. Başlangıçta 0 ohm değerindeki potansiyometre kablonun sağlam bir

kablo gibi davranmasına neden olmuş ve ölçümde sadece kablo sonu görülebilmiştir. Arıza direncinin artırılmasıyla birlikte arıza noktasından yansıyan darbenin genliği artımıştır. Arıza direncinin 10 Ohm olduğu durumda yansıyan darbenin genliği 0,37 V olarak ölçülürken, arıza direncinin 500 Ohm olduğu durumda yansıyan darbenin genliği 1,5 V olarak ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerin doğruluğu direnç değeri ancak 200 Ohm'un üzerine çıkınca %2 değerinin altına düşebilmiştir.

Darbe yansıma ölçümünde arıza noktasından yansıyan darbenin kaynağa ulaşabilmesi için, darbenin enerjisinin kablo üzerindeki meydana gelen kayıplardan fazla olması gerekir. Bu nedenle kabloya uygulanacak darbenin genişliği kablo boyu ile orantılı olarak seçimelidir. Deneylerde 2182 m uzunluğundaki kabloya uygulanan darbenin genişliği 1000 ns olarak seçilmiştir. Bu değerin altındaki darbe genişliklerinde net bir yansıma görüntüsü alınamamıştır. 220 ns darbe genişliğine inildiğinde ise kablo sonu dahi görülememiştir. Kısa kabloda ise 350 ns darbe genişliğinin üzerindeki değerlerde yansıyan darbenin başlangıç darbesiyle girişim yapması ölçüm alınamamasına neden olmuştur. Deney sonuçları kısa kablolarda yüksek ölçüm doğruluğunun ancak darbe genişliği küçültülerek elde edilebileceğini göstermiştir. Bu durumda ideal çözüm, çok kısa darbe genişliklerinde yüksek genlikli darbeler üretebilen bir darbe üreteci kullanılması olabilir.

Ölçümlerin doğruluğunu belirleyen bir diğer faktör de yayılma sabitidir. Aynı koşullarda yapılan deneyler, 2182 m. uzunluğundaki FSS-4 kablonun yayılma sabitinin %52 seçilmesi durumunda ölçüm hatasının %0,37 olacağını göstermiştir. HO5VV 3x2.5 NYAF kablo için yapılan deneylerde ise yayılma sabitinin %57 seçilmesi durumunda ölçüm hatasının %0,75 olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar yayılma sabitinin kablonun elektriksel yapısal özelliklerine bağlı olduğunu göstermektedir.

Darbe yansıma ölçümünde kabloya gönderilen darbe kablo üzerinde empedansın değiştiği her noktadan yansır [20]. Empedansın değiştiği noktalar bağlantı yerleri, muflar, branşmanlar ve ezilme noktaları olabilir. Bunun yanı sıra arıza empedansının kablonun karakteristik empedansına eşit olduğu arızalarda, arıza noktasında yansıma oluşmaz. Alçak gerilim şebekelerinde hatlar üzerinde çok sayıda bağlantı noktası bulunduğu için darbe yansıma ölçümü sonucundan alınan görüntü oldukça karmaşık olacaktır. Bu noktadan sonra arıza yerinin bulunması operatörün tecrübesine bağlıdır [19]. Bu sorun ANALİZ yazılımında sağlam kablo ile arızalı kabloya ait yansıma

görüntülerinini üst üste getirilerek incelenmesi sonucunda kısmen çözülebilmiştir. Ek noktalarından kaynaklanan yansımalar sağlam kablo ile karşılaştırılarak arıza noktası bulunmuştur. Ancak iki ölçüm arasında, sadece arıza noktasında değil, arıza noktasından önceki ek noktalarında da küçük farklar olduğu gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışmalar darbe yansıma ölçümünün etkin sonuç verebilmesi için arıza direncinin düşürülmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Arıza noktasında yapay kısa devre oluşturmak için kullanılan yakma yöntemi bu konuda uygun bir çözümdür. Arıza noktasında ark oluşturarak bu sırada meydana gelen kısa devreyi bulan ikincil darbe yöntemi de arıza belirleme süresini kısaltması açısından etkin bir yöntemdir. Ancak her iki yöntemde alınan görüntülerin çok sayıda gürültü içereceği de bir gerçektir. Bu nedenle, arıza yerinin belirlenmesi alanında yapılan çalışmalar alınan görüntülerin işlenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Hata kayıtlarının tutulduğu geniş bir veritabanı oluşturmak veya hatanın matematiksel olarak modellenmesi ve toplanan verilerin bu modele göre analizi operatör deneyimine olan gereksinimi en aza indirecektir.

KAYNAKLAR

[1] **Gürelli, D.,** 1979. Kablo Testi, Kablo Arızalarında Modern Tespit Yöntemleri, Yağ İzolasyon Testi, Nurettin Uycan Basımevi, İstanbul.

[2] **Clegg, B.**, 1993. Underground Cable Fault Location, McGraw – Hill, New York.

[3] **Bascom, E. C., Von Dollen, D.W.,** 1994. Computerized Underground Cable Fault Location Expertise, *IEEE Trans*, pp. 376-382.

[4] *<http://www.edn.com/article/CA6470825.html>,* alındığı tarih 01.05.2009

[5] **Livie, J., Gale, P., Anding W.,** 2008. The Application of On-Line Travelling Wave Techniques in the Location of Intermittent Faults on low Voltage Underground Cables, *IET 9th International Conference On Power System Protection*, 17-20 March 2008, pp. 714 – 719.

[6] **Kawashiwa, M., Shinagawa, J.,** 1991. Development of a Current Detection Type Cable Fault Locator, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 6, No. 2, April 1991, pp. 541-545.

[7] **Kuan, K.K., Warwick, K.,** 1992. Real-Time Expert System For Fault Location On High Voltageunderground Distribution Cables, *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings C*, Vol 139, May 1992, pp. 235-240.

[8] **Navaneethan, S., Soraghan, J. J., Slew, W. H., McPherson, F., Gale, P. F.,** 1999. Automatic Fault Location Using İntelligent Processing, *International Conference on Electric Power Engineering, PowerTech Budapest 99*, pp. 29

[9] **Sun, J., Wen, X., Wei, X., Chen, Q., Wang, Y.,** 2007. Traveling Wave Fault Location for Power Cables Based on Wavelet Transform, *International Conference on Mechatronics and Automation*, 5-8 Aug 2007, pp. 1283-1287.

[10] **Li, M. H., Zhou, M. G.**, **Qu, Y. M., Yan, Z.**, **Gong, S. Y.**, 2005. Research on Surge Arc Prolongation Device For Power Cable Fault Location, *Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing Expo*, 23-26 Oct. 2005, pp. 38-41.

[11] **Shim, I., Soraghan, J. J., Siew, W. H., McPherson, F., Gale, P. F.,** 1999. Partial Discharge Location On High Voltage Cables, *Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering, 1999*, Vol. 5, pp. 248-251.

[12] *<http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=4385338>*, alındığı tarih 26.04.2009

[13] **Tekin, M.**, 2006. Yeraltı Kablolarında Arıza Yeri Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[14] <http://documents.exfo.com/appnotes/anote168-ang.pdf>, alındığı tarih 16.04.2009

[15] *<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5966-4855E.pdf >,* alındığı tarih 12.04.2009

[16] **Ho, C. M., Lee, W. K., Hung, Y. S.,** 1993. Signature Representation Of Underground Cables And İts Applications To Cable Fault Diagnosis, *2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, 1993. APSCOM-93*, 7-10 Dec 1993, pp. 861-865.

[17] **Gnerlich, H. R.,** 1989. Cable Testing And Cable Fault Locating With Minimum Risk To Goodcable, *Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 1989. Annual Report*, 29 Oct-2 Nov 1989, pp. 265-271.

[18] **Navaneethan, S., Soraghan, J. J., Slew, W. H., McPherson, F., Gale, P. F.,** 2001. Automatic Fault Location For Underground Low Voltage Distribution Networks, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 16, Apr. 2001, pp. 346 – 351.

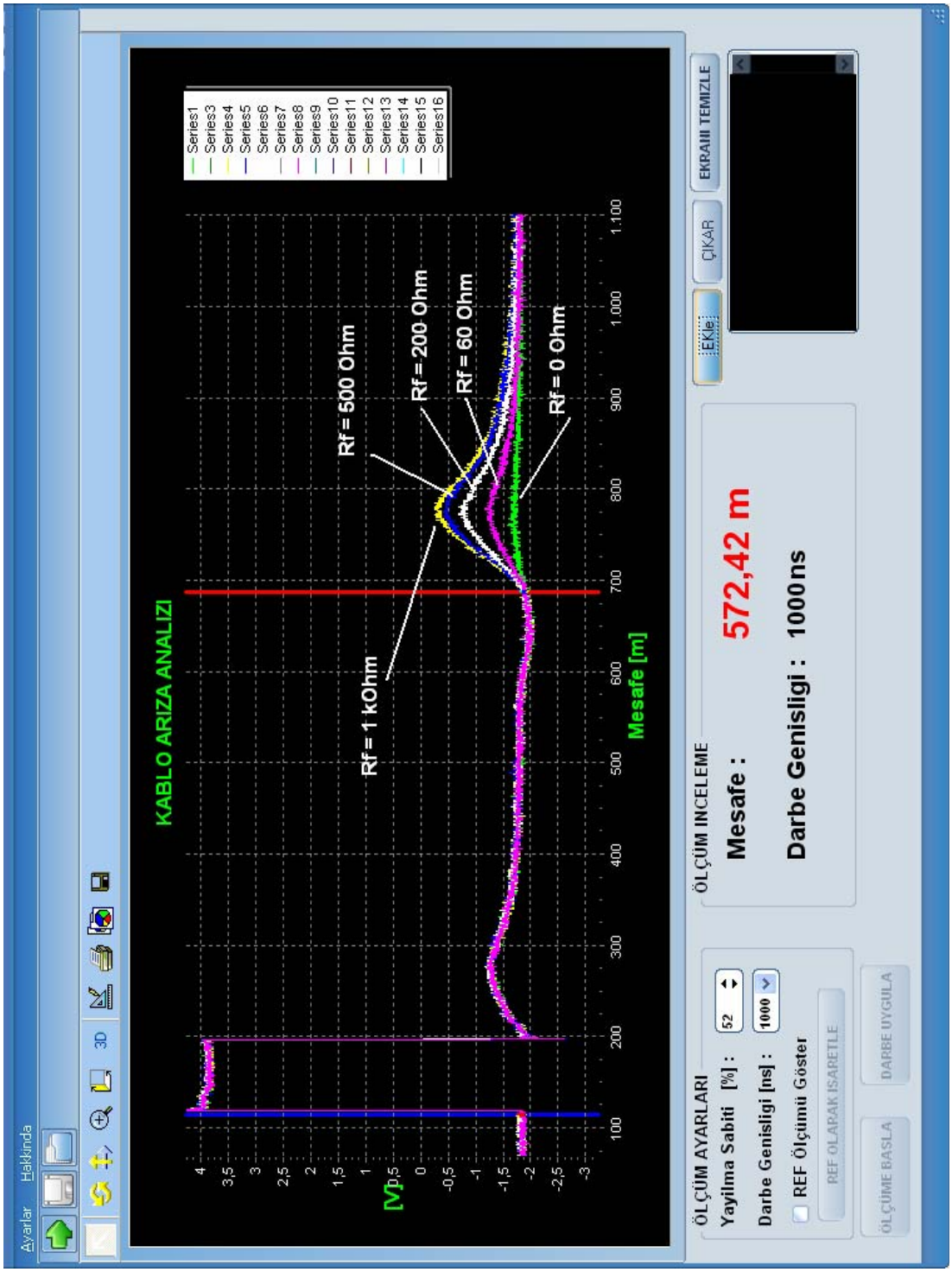
[19] **Van Biesen, L. P., Renneboog, J., Barel, A. R. F.**, 1990. High Accuracy Location Of Faults On Electrical Lines Using Digital Signal Processing, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 39, Feb. 1990, pp. 175-179.

[20] **Howarth, B., Coates, M., Renforth, L.**, 2006. Fault Location Techniques For One Of The World's Longest AC Interconnector Cables, *The 8th IEE International Conference on AC and DC Power Transmission*, 28-31 March 2006., pp. 14-18.

EKLER

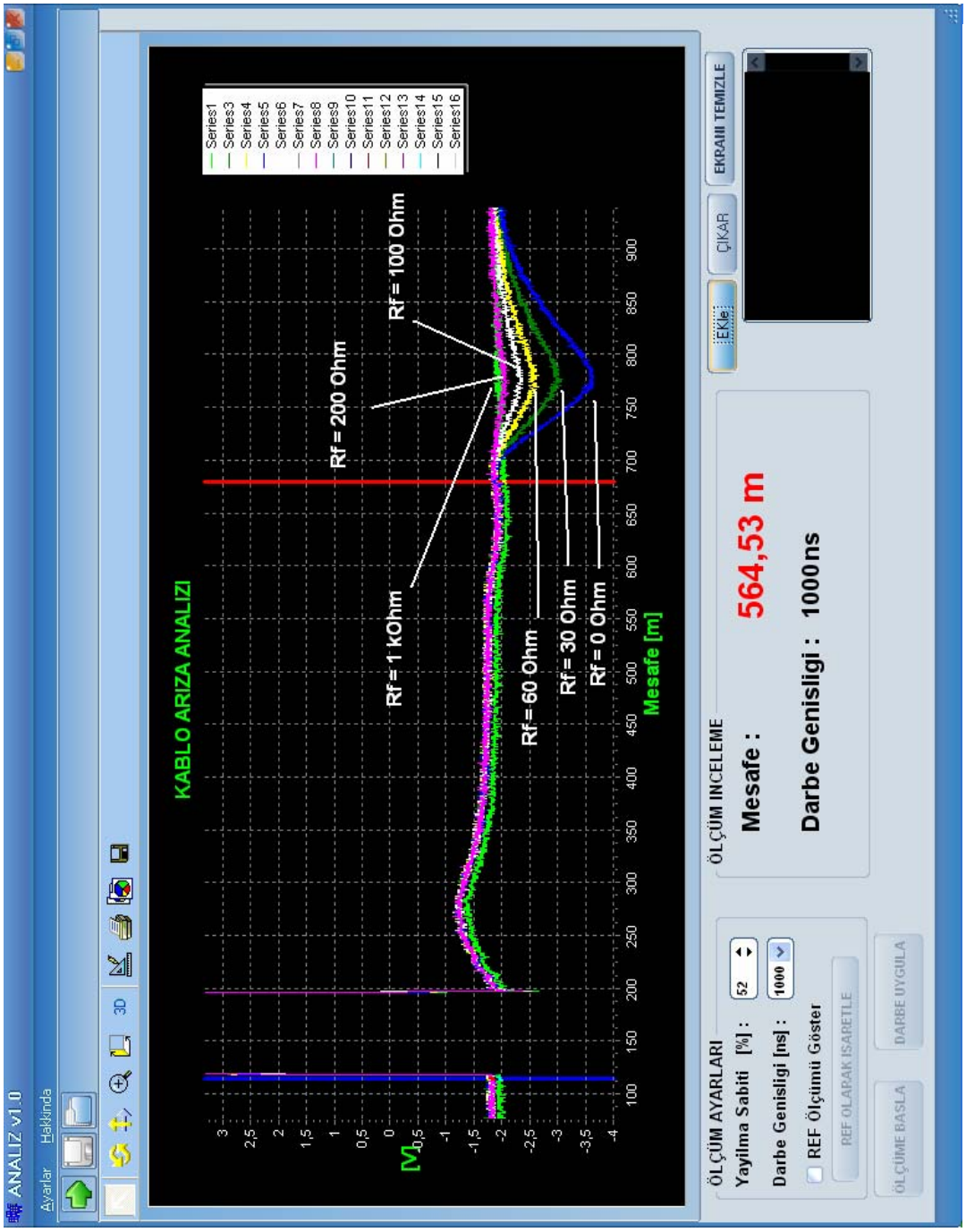
EK A.1 : Seri Arıza
EK A.2 : Şönt Arıza
EK A.3 : Kısa Kabloda Darbe Yansıması
EK A.4 : Uzun Kabloda Darbe Yansıması
EK B : Devre Çizimleri

EK A.1

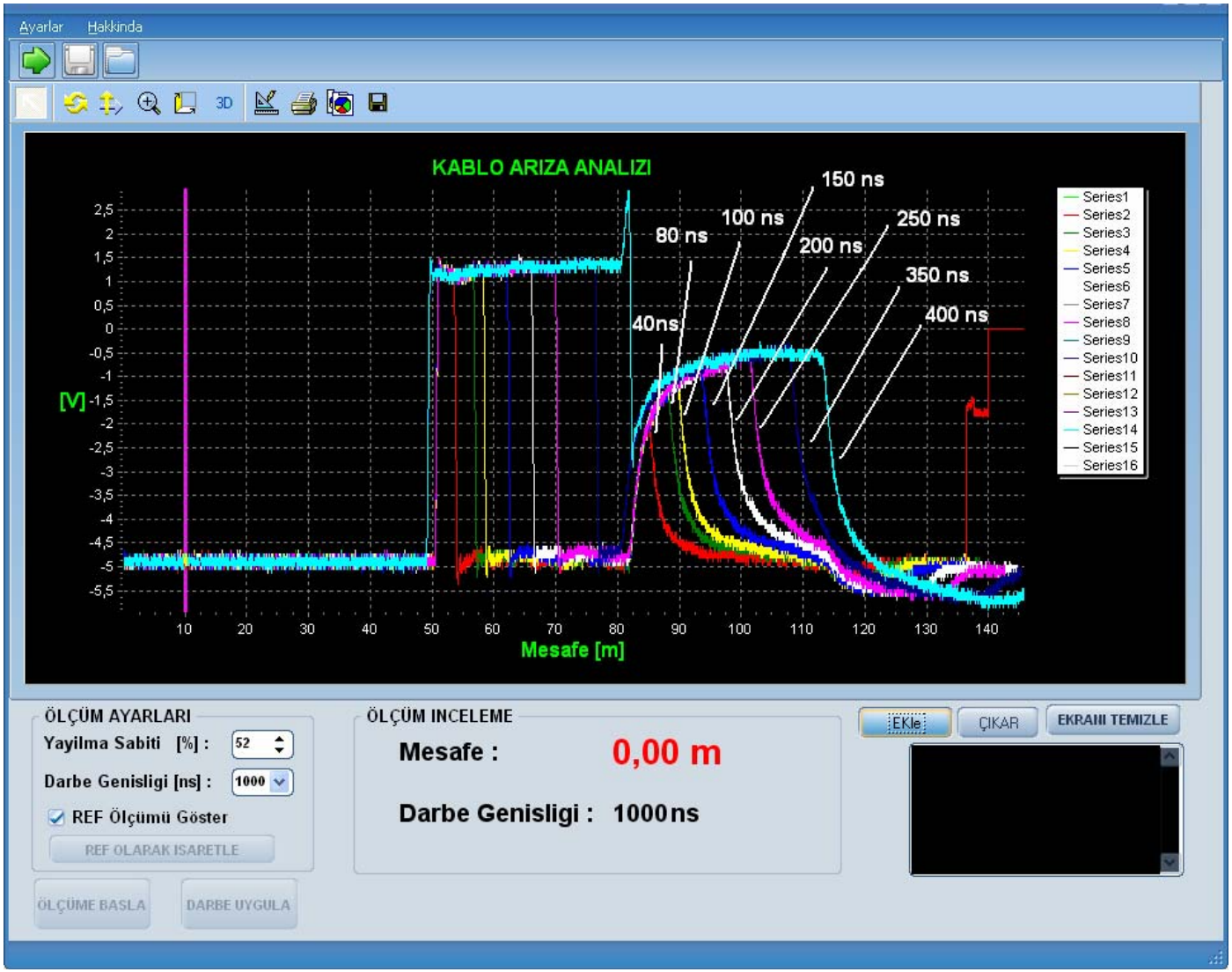


Şekil A.1 : Seri Arızada Farklı Direnç Değerlerinde Alınan Yansıma Görüntüleri. Yeşil : 0 Ohm, Pembe : 60 Ohm, Beyaz : 200 Ohm, Mavi : 500 Ohm, Sarı : 1 kOhm

EK A.2

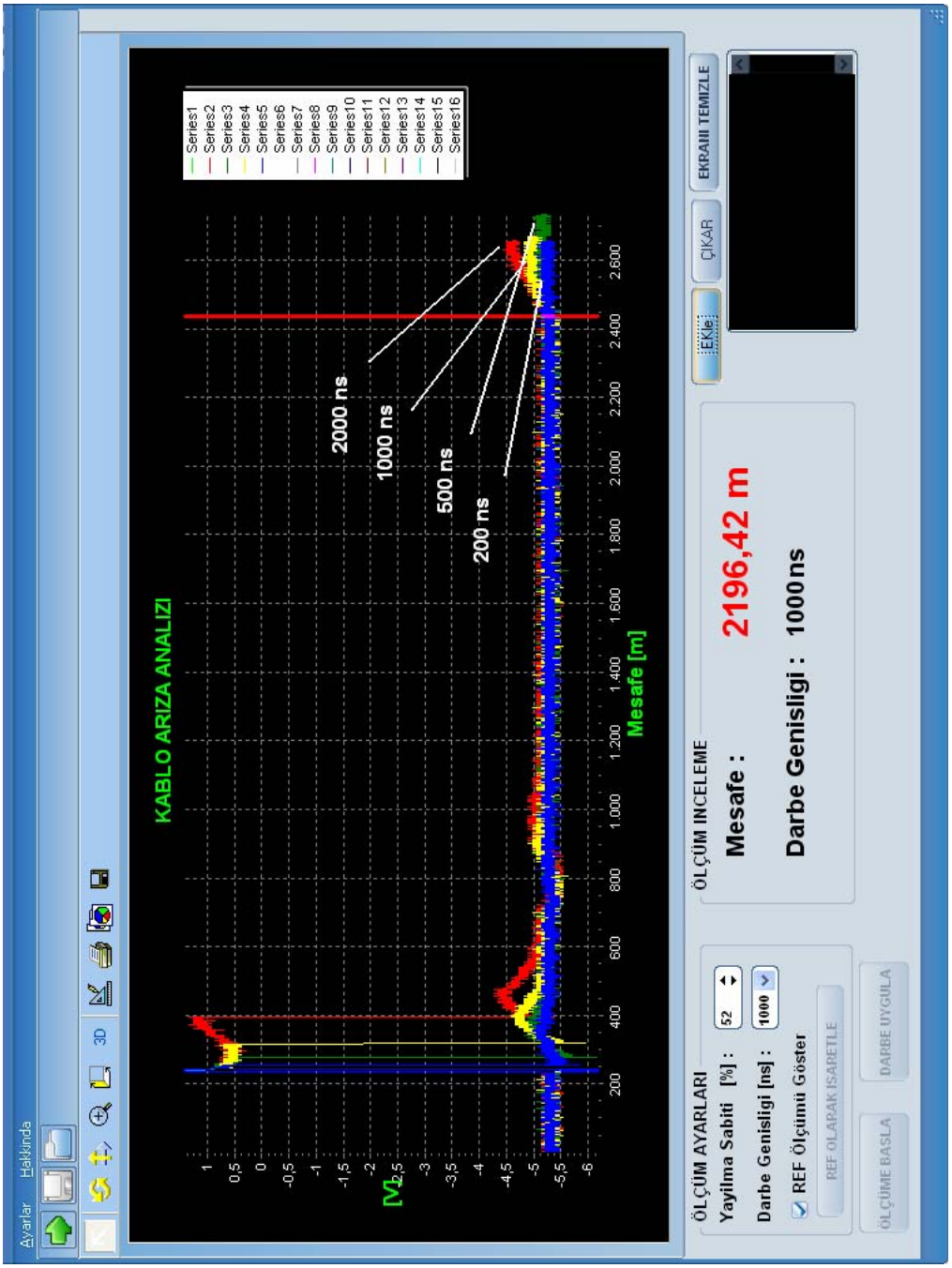


Şekil A.2 : Şönt Arızada Farklı Direnç Değerlerinde Alınan Yansıma Görüntüleri. Mavi : 0 Ohm ,Yeşil : 30 Ohm, Sarı : 60 Ohm, Beyaz : 100 Ohm, Pembe : 200 Ohm, Açık Yeşil : 1 kOhm



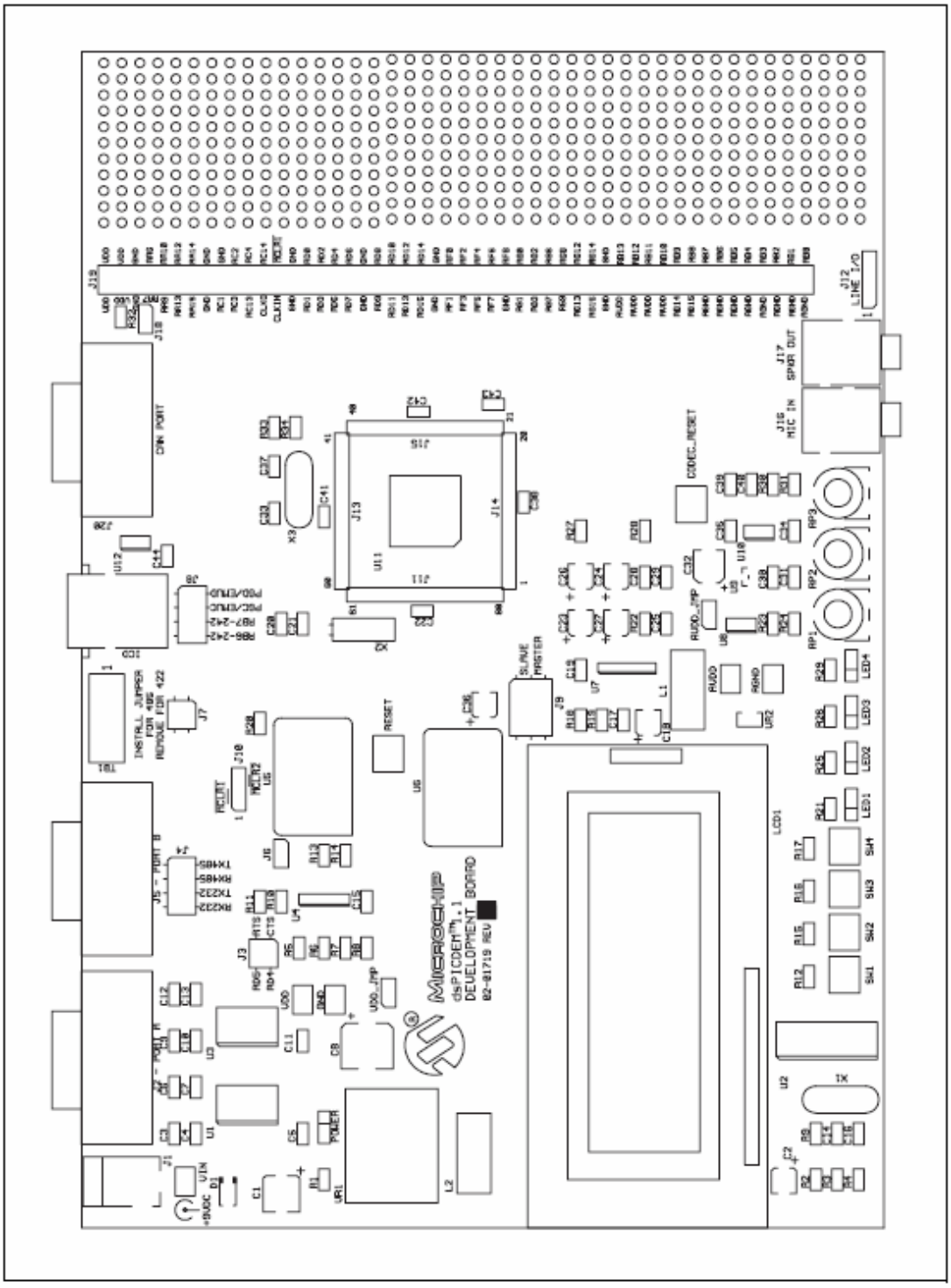
Şekil A.3 : Kısa Kabloda Farklı Darbe Genişliklerinde Alınan Ölçümler. 400 ns Darbe Genişliğinden Sona Girişim Başlamıştır

EK A.4

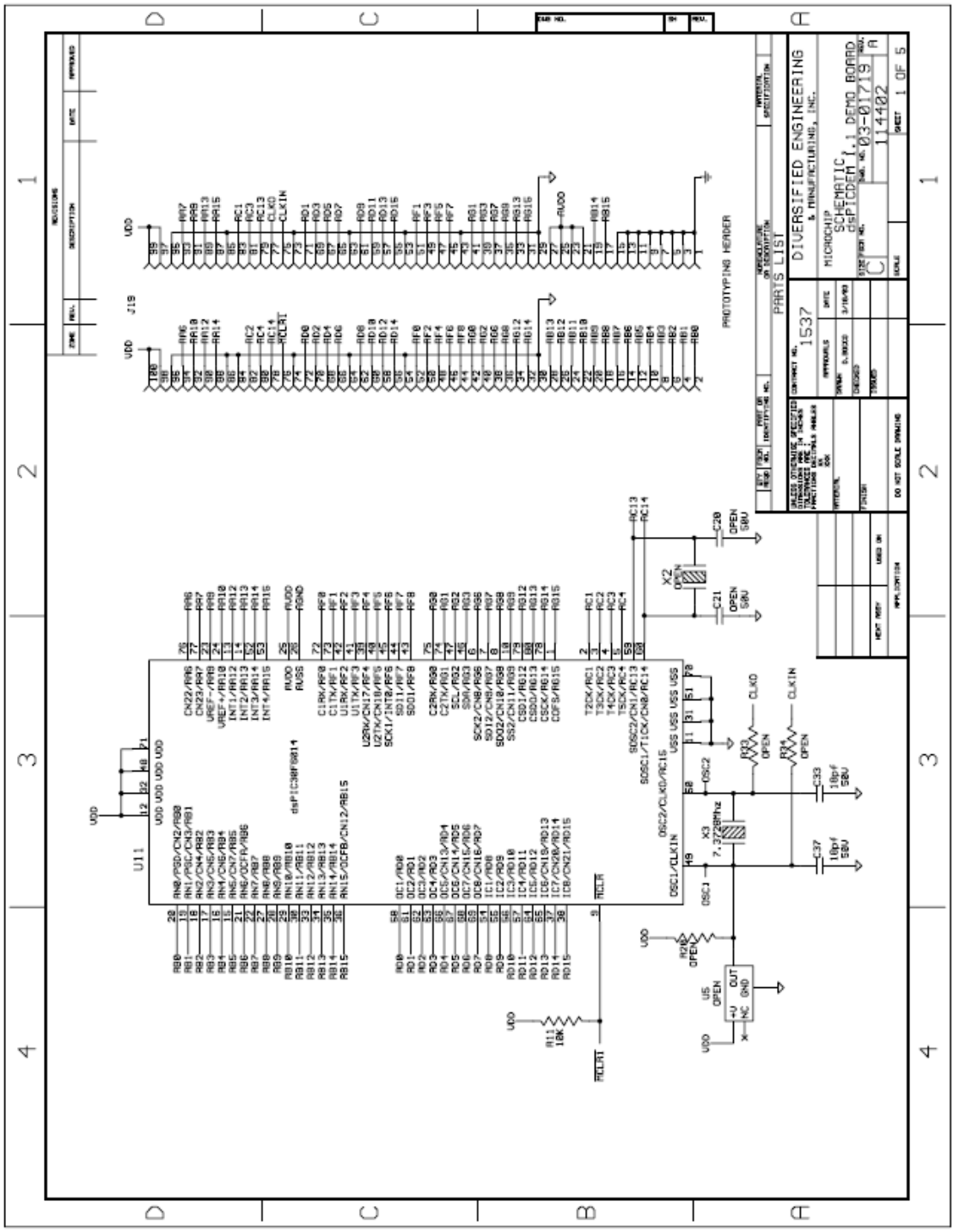


Şekil A.4 : Uzun Kabloda Farklı Darbe Genişliklerinde Alınan Ölçümler. 220 ns Darbe Genişliğinin Altına İnildiğinde Kablo Sonu Görülememiştir.

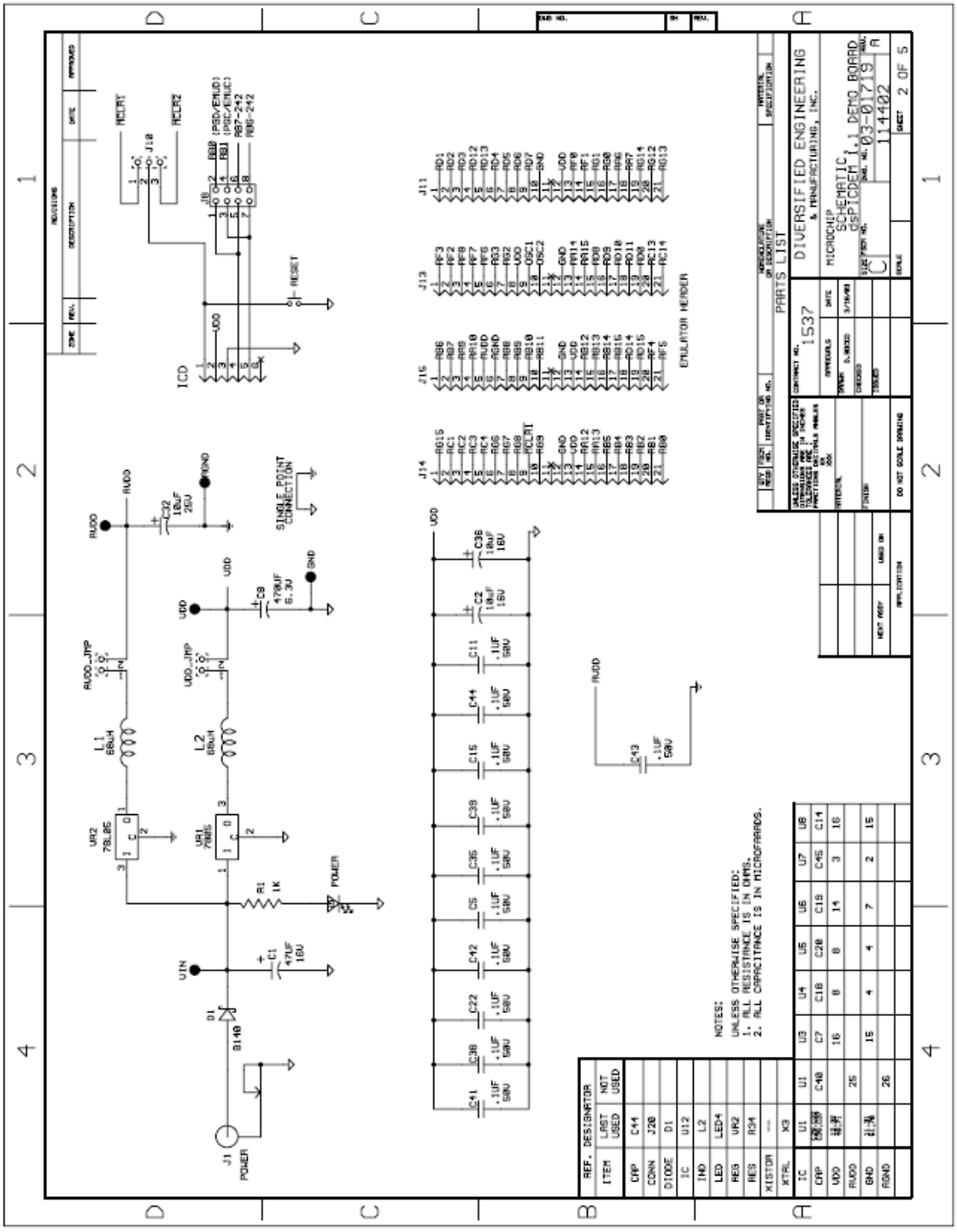
EK B



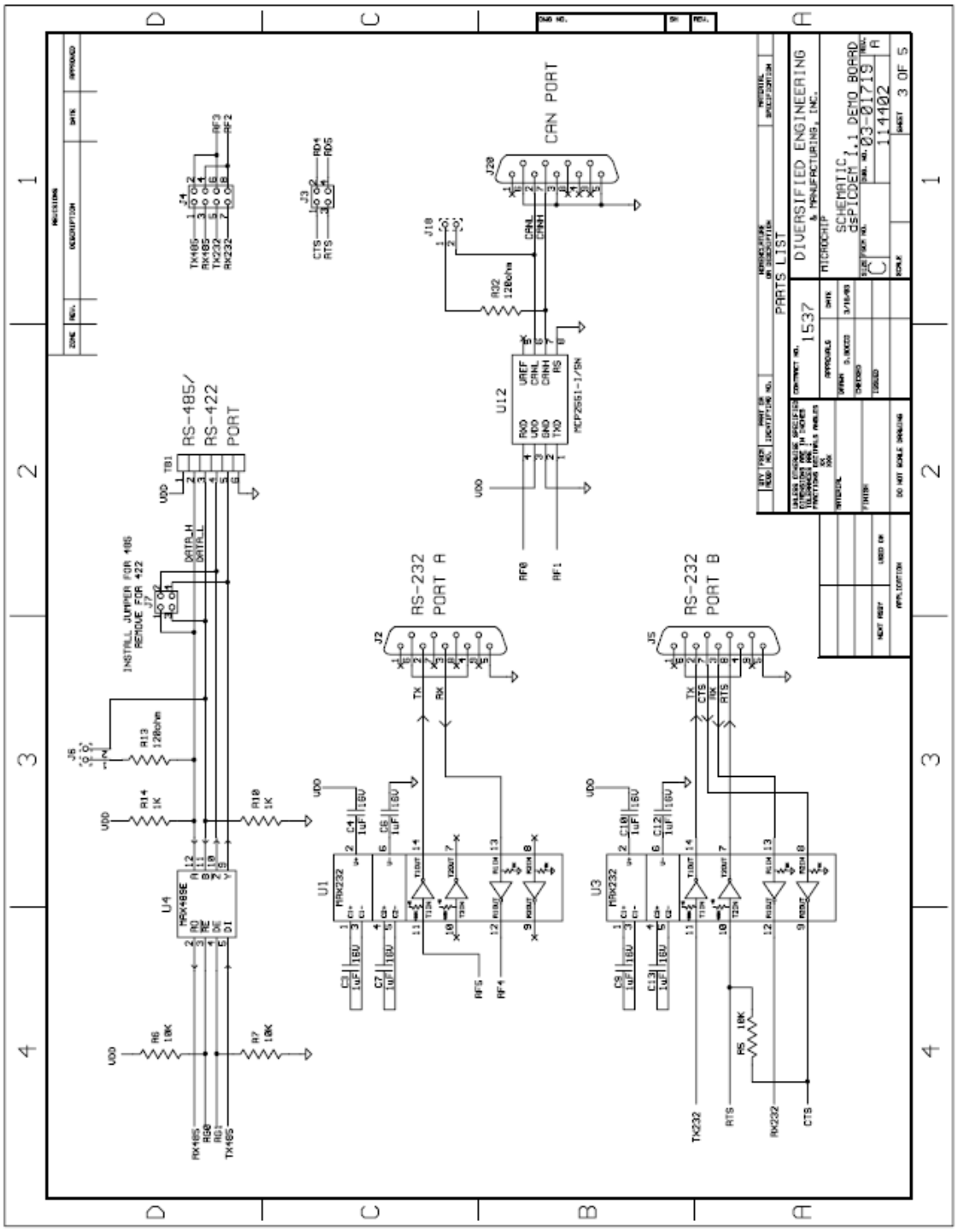
Şekil B.1: Geliştirme Kartı Eleman Dizilimi



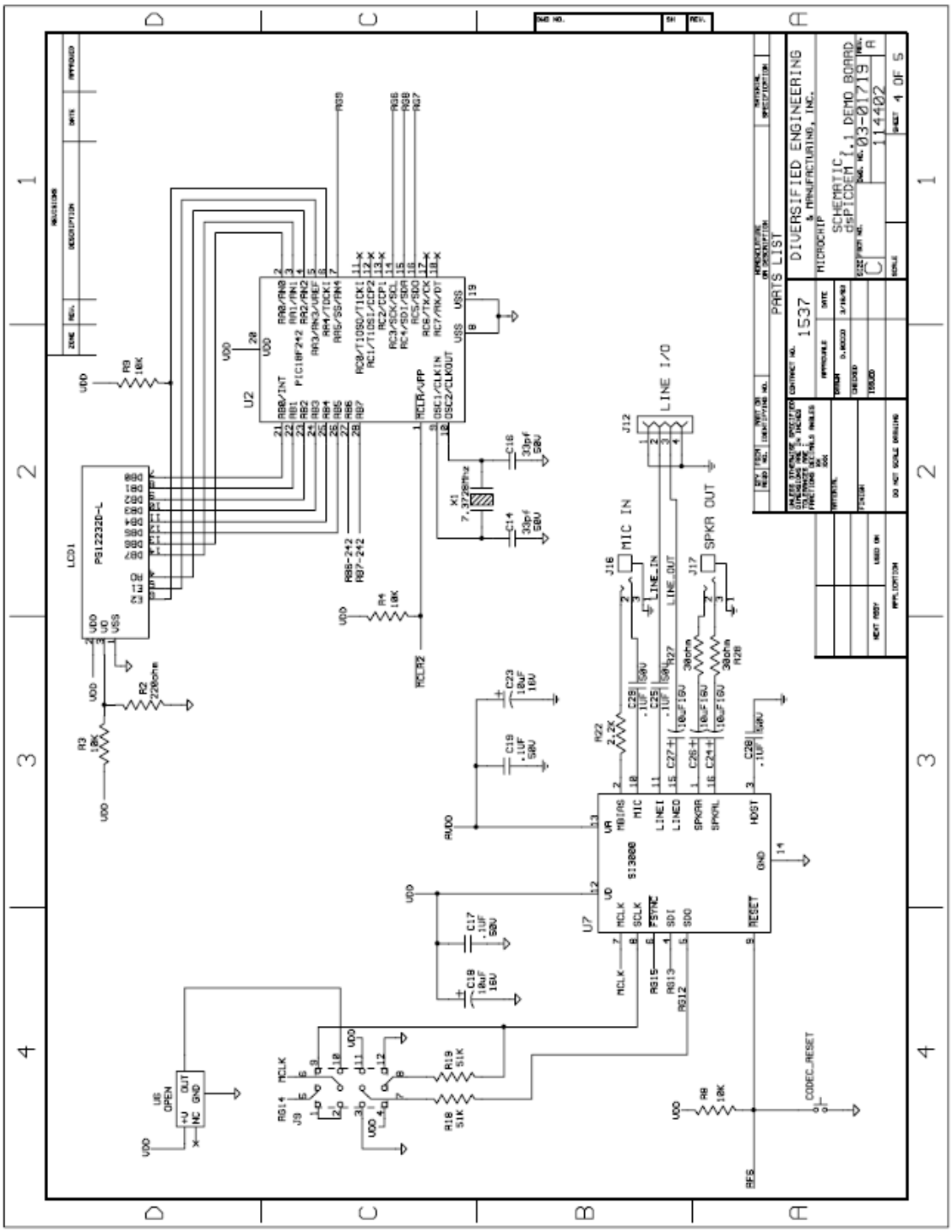
Şekil B.2: Geliştirme Kartı Devre Çizimi



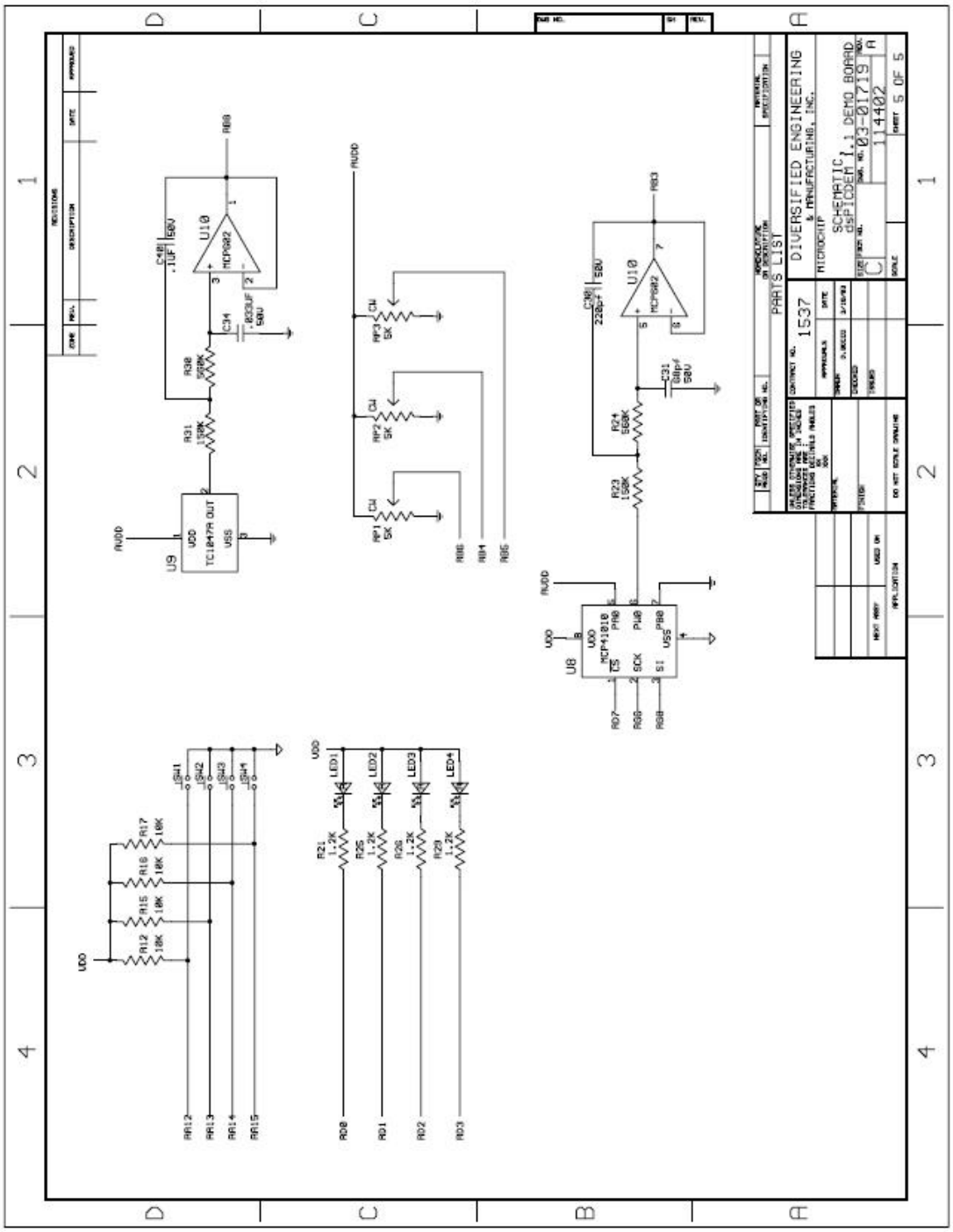
Şekil B.3: Geliştirme Kartı Devre Çizimi



Şekil B.4: Geliştirme Kartı Devre Çizimi



Şekil B.5: Geliştirme Kartı Devre Çizimi



Şekil B.6: Geliştirme Kartı Devre Çizimi

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Selim TURAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Malatya, 1982

Adres: Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü Gebze, KOCAELİ

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği