

# Kablo Uzunluğu Ölçümleri için Mikrodenetleyici Tabanlı Zaman Uzaklığında Yansımaölçer (TDR) Uygulaması

Sezai Taşkın<sup>1</sup>, Yiğit Karabulut<sup>2</sup>, Ali Bakbak<sup>3\*</sup>, Ömer Faruk Kale<sup>4</sup>, Erdem Geren<sup>5</sup>

<sup>1,2,4,5</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

45140 Manisa, Türkiye

<sup>3</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

35100 Bornova-İzmir, Türkiye

alibakbak@gmail.com

\*İletişimden sorumlu yazar / Corresponding author

Geliş/Recieved: 17 Kasım (November) 2016

Kabul/Accepted: 24 Nisan (April) 2017

DOI:10.18466/cbayarfb.319914

## Özet

Kablo uzunluğu ölçümü, iletim hatlarındaki arıza yerlerinin tespit edilmesi, kullanılan kablo miktarlarının belirlenmesi gibi hususlarda önem arz etmektedir. Bu çalışmada, farklı türdeki kabloların uzunluğunun ölçümü için ayarlanabilen, taşınabilir bir sistem ve kullanımı kolay bir arayüz hazırlanmıştır. Zaman uzaklığında yansımaölçer (Time Domain Reflectometry) sistemi uygulaması için açık kaynak kodlu, ölçüm ve kontrol kartı olan Red Pitaya, kablo ölçümü için yapılandırılıp kullanılmıştır. Python dilinde arayüz hazırlanmıştır. Farklı türde ve uzunluktaki kablolar için sistem test edilmiş ve sonuçlar paylaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** — Kablo uzunluk ölçümü, mikrodenetleyici, zaman uzaklığında yansımaölçer (TDR)

## A Microcontroller Based Time Domain Reflectometry (TDR) Application for Cable Length Measuring

### Abstract

Cable length measuring is important for some cases such as detecting fault location in transmission lines, determining the amount of cable used in wiring. In this study, a configurable, portable system and easy to use interface are prepared to measure different types of cable's length. Red Pitaya board which is an open source measurement and control tool, is configured and used for time domain reflectometry (TDR) application. An interface is designed in the Python language. System is tested for cables in different types and lengths and the results are shared.

**Keywords** — Cable length measurement, microcontroller, time domain reflectometry.

### 1 Giriş

Elektrik, telekomünikasyon, görüntü vb. sistemlerde enerjinin ve sinyallerin iletilmesinde kablolu sistemlerin kullanımı günümüzde yaygın olarak devam etmektedir. Buna karşın kablosuz veri aktarım sistemleri yaygın olarak kullanılmakla birlikte elektrik enerjisinin de kablosuz aktarımı konusunda kısmen uygulamalar bulunmakla birlikte henüz pratik anlamda yaygın bir kullanım söz konusu değildir. Bu nedenle günlük

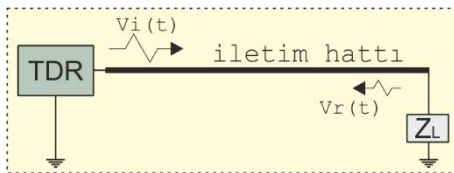
hayatımızın her alanında karşılaştığımız pek çok yerde kablolu sistemlerle elektrik enerjisi ilgili noktalara taşınmaktadır. Bunlar; evlerimizdeki aydınlatma sistemlerinden, güç bağlantı noktaları olan prizlere ve endüstride işletmelerdeki elektriksel güç ihtiyacı gerektiren her noktaya kadar uzanmaktadır. Elektrik enerjisinin en önemli parametrelerinden birisi de her an ulaşılabilir olmasıdır. Bu nedenle enerjiyi tüm güç gerektiren noktalara sorunsuz taşımada kablolar önemli bir

görev üstlenmektedir. Dolayısı ile kabloların ilk döşenmesinden sahada uzun yıllar işletilmesine kadar geçen uzun sürelerde oluşabilecek hasarlarda arızanın sistemden hızlıca temizlenmesi de çok önemlidir. Bu gerekçelerle ticari amaçlı olarak üretilmiş birçok ölçüm cihazı bulunmakta olup çalışma prensipleri birbirlerine benzer özelliklerdedir. Time Domain Reflectometry (TDR) olarak isimlendirilen teknikte gönderilen sinyalin geri yansıma süresi ölçülür ve buna göre mesafe hesaplaması gerçekleştirilir.

TDR tekniği 1930'lardan bu yana iletim hatlarının karakteristiğini test etmek ve hata yerlerinin tespit edilmesi için kullanılan bir yansımaölçer çeşididir [1]. TDR'nin çalışma prensibi radar sistemleri ile benzerdir. Kabloları darbe genişliği nano ya da piko saniyeler mertebesinde olan bir sinyal uygulanır ve yansıma sinyali gözlemlenir. Eğer kabloda kısa devre, açık devre veya empedans değişimi varsa yansıma sinyali oluşur. Buna ait çalışma prensibi Şekil 1'den gösterilmiştir. Yansımanın olduğu yerin ölçüm noktasına uzaklığı denklem (1) kullanılarak hesaplanır.

$$d = \frac{t * v}{2} \quad (1)$$

Burada  $d$  sinyalin süreksizliğe uğradığı mesafe,  $t$  yansımanın ulaşmasına kadar geçen süre ve  $v$  kablonun yayılma hızıdır. Yansıyan sinyalin şekline bakarak, süreksizliğin rezistif, kapasitif veya indüktif olup olmadığını ve açık veya kapalı devre durumunu anlayabiliriz [2].



Şekil 1. TDR sistemi çalışma prensibine ait gösterim

Darbe ve adım darbesi olmak üzere iki çeşit TDR sinyali vardır. Adım darbesi uygulandığında, kablodan yansıyan cevap örnekleri ve yansımanın şekline bakılarak kablonun empedansı belirlenir. Bu yöntemde, adım darbesinin yükselme zamanı sistemin çözünürlüğünü etkiler. Bu çalışmada kullanılan yöntem olan darbe sinyali uygulanarak yapılan TDR'de, çok dar bir darbe sinyali kabloya uygulanır. Empedans farklılığından kaynaklanan yansımalar örnekleri. İletilen sinyalin yansıyıp geri dönünceye kadar

geçen süre empedans farklılığının konumu verir. Bu tip TDR ölçümlerinde darbenin genişliği sistemin çözünürlüğünü belirler. Darbe sinyalinin daha dar olması çözünürlüğü artırır [3].

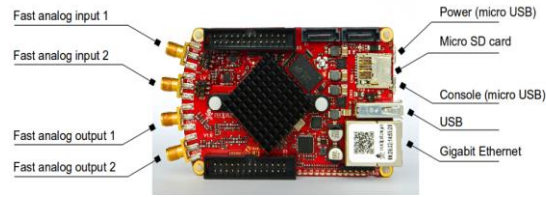
TDR yönteminin farklı amaçlar için kullanıldığı birçok çalışma literatürde mevcuttur. En yaygın kullanım yeri, kablolarındaki hata yerinin tespiti içindir. Sistem çalışırken çevrim içi olarak hata yerinin tespitine ilişkin çalışma [4]'te görülebilir. Kabloları işlemlerinin düzgün yapıldığı kontrol etmek için [5]'te yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Ayrıca TDR yöntemi güç kablolarındaki sıcaklık değişiminin ölçülmesi için [6]'da kullanılmıştır.

Bu çalışmada, çok amaçlı olarak kullanılabilir özellikte olan "Red Pitaya" elektronik ölçüm ve kontrol kartı ile farklı özelliklerdeki kabloların uzunluğunun ölçümü amaçlı bir uygulama anlatılmıştır. Ölçüm işleminin otomatik olarak yapılması ve sonuçlarının bir veri tabanına kaydedilmesi için kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Saha testlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde bu çalışmada gerçekleştirilen sistemin proje taahhüt işlerinde otomatik hak-ediş raporlarının hazırlanması, sahaya döşenmiş kablo uzunluklarının belirlenmesi, arıza yerinin tespiti vb. gibi birçok uygulama için kullanılabilirliğini göstermiştir.

## 2 Deney Düzenegi

Deneyel çalışmalar için kurulan deney sistemi; Red Pitaya elektronik kart, bir çift BNC T-konnektör ve sinyal üretici çıkışı ile osiloskop girişi arasındaki bağlantıyı sağlamak için kullanılan bir ara kablodan oluşmaktadır. Giriş ucunda yansımayı engellemek için 50 Ω'luk sonlandırıcı direnç kullanılmıştır. "Red pitaya" ölçüm, test ve kontrol uygulamalarında kullanılabilir özellikte genel amaçlı elektronik bir kart olup osiloskop, spektrum analizör, sinyal üretici, LCR metre, işaret analizör, empedans analizör ve tesla metre gibi birçok ölçüm cihazı fonksiyonlarını gerçekleştirebilecek özelliklere sahiptir. İkişer adet 50 MHz örnekleme hızına sahip analog giriş ve çıkışı vardır. Xilinx Zynq 7010 FPGA ve çift çekirdekli ARM Cortex A9+ işlemcisine sahiptir[7]. Red Pitaya kartı MATLAB, LabVIEW, Python ve Scilab programları ile kullanılabilir. Şekil 2'de bu karta ait bağlantı

noktaları Şekil 3'te ise kartın bir ölçüm sistemi olarak hazır hale getirilmiş resmi gösterilmiştir.



Şekil 2. Red Pitaya Kartı



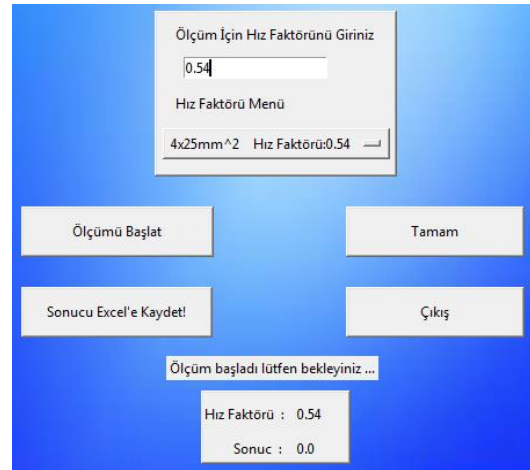
Şekil 3. Portatif amaçlı hale getirilen ölçüm cihaz

Kablo uzunluğu ölçümlerinde uzun ve kısa kablolar için iki farklı ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Uzun kablolar için sinyal üreticiden darbe sinyali verildikten sonra yansıma sinyali tamamen gelene kadar ölçüm değerleri kaydedilmiştir. Veri sayısını artırmak için gelen sinyallere ara değerler eklenmiş ve 8 cm uzunluklu bir çözünürlük elde edilmiştir. Kaydedilen veriler arasında genliği en yüksek olan değer alınmış ve gönderilen sinyalin başlangıç zamanı arasındaki fark dikkate alınarak Denklem (1)'de verilen formül ile kablo boyu hesaplanmıştır. Eğer iletim hattı, karakteristik empedansına eşit bir değer ile sonlandırılmış ise bu durumda herhangi bir yansıma olmaz ve program bir sonuç üretmez.

Kısa kabloların ölçümü için ise sisteme kablo takılmadan önce karakteristik davranışı ölçülür ve bu veriler kaydedilir. Kablo ölçüm işlemine geçildiği zaman, daha önceden kaydedilen bu veriler alınan örneklerden çıkarılır ve sadece yansıma verileri elde edilmiş olur. Uzun kablolar için kullanılan aynı yöntemle kısa kabloların uzunluk değeri de hesaplanır.

Kablo değerinin ölçümü ve sonuçların kaydedilmesi için Python Tkinter platformuyla bir arayüz tasarlanmıştır. Arayüze ait bir ekran

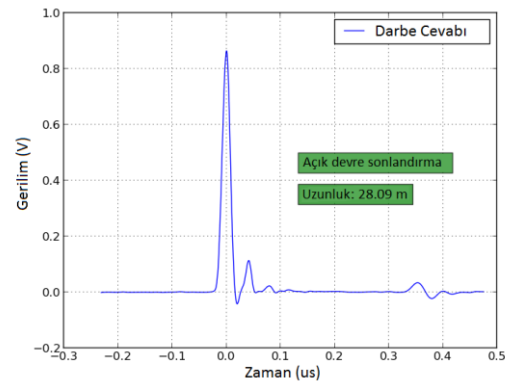
görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir. Kablo uzunluğu ölçümü için, ekrandan kabloların yayılma hızının girilmesi istenir. Hız faktörü değeri farklı kablo çeşitleri için ilgili menüden seçilebileceği gibi biliniyorsa direkt olarak da ekrana yazılabilir. Ölçümü başlat butonu ile ölçüm başlatılır ve sonuçlar ekranda gösterilir. Sonuçların Excel ortamında görüntülenmesi için ilgili butona basılması gerekmektedir.



Şekil 4. Ölçüm ara yüzü

### 3 Deneysel Sonuçları

Deneysel işlemlere başlamadan önceden uzunluğu bilinen kablo çeşitleriyle ölçümler yapılarak kabloların yayılma hızı faktörleri bulunmuştur. Daha sonra uygun hız faktörleri seçilerek farklı kablo çeşitleri için deneyler yapılmıştır. Deney sırasında analog girişten alınan darbe cevapları aşağıdaki gibidir. Elde edilen sonuçtaki ilk salınımlar sinyal üreticiden gelen sinyal, sonraki salınımlar ise yansıma sinyalidir.



Şekil 5. Analog Giriş Gerilim-Zaman Grafiği

Farklı kablo çeşitleriyle yapılan ölçüm sonuçları aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir. Bu ölçümlere ait ortalama bağıl hata % 0.718'dir.

**Tablo 1.** Ölçüm Sonuçları

Kablo Cinsi	Hız Faktörü	Gerçek Uzunluk	Ölçülen Uzunluk	Bağıl Hata
4x25mm <sup>2</sup> TTR	0.54	20m	20.28m	%1.4
5x6mm <sup>2</sup>	0.54	27m	27.27m	%1
6x0.22mm <sup>2</sup>	0.58	26.5m	26.41m	%0.34
4x2.5mm <sup>2</sup>	0.54	28m	28.09m	%0.32
5x0.75mm <sup>2</sup>	0.55	100m	100.5m	%0.5
7x2.5mm <sup>2</sup>	0.48	35m	35.13m	%0.37
2x1mm <sup>2</sup>	0.50	31m	30.66m	%1.1

#### 4 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada; sahada kullanılabilecek nitelikte kullanımı kolay, ucuz ve portatif bir kablo boyu ölçüm sistemi kurulmuştur. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ile yaklaşık olarak ortalama %0.7'lik hata miktarı ile kablo boyunu belirlemek mümkün olmuştur. Sistem uzun metrajlı ve yarıçapı büyük kablolarda sinyal zayıfladığı için düzgün çalışmamaktadır. Bu problem yükselteç devresi kullanılarak giderilebilir. Kullanılan karta GSM modül eklenerek ölçüm sonuçları internet üzerinden bir veri tabanına kaydedilebilir. Bu sayede kablo boyları otomatik olarak ölçülen ve izlenebilen bir sistem tasarlanabilir. Kablo boyu ölçümü için kullanılan algoritma değiştirilerek sistem kablodaki zarar görmüş kısımların tespiti veya sıcaklık ölçümü gibi uygulamalar için de kullanılabilir. Ayrıca android ve ios ortamı uygulamaları ile bu cihaz akıllı cihazlar üzerinden de kullanılabilir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Manisa Celal Bayar Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Lisans Tasarım Projesi Dersi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya destek olan Atak Elektrik Mühendislik San. ve Tic. Ltd. şirketine teşekkür ederiz.

#### 5 Referanslar

- [1] C.P. Nematich, "Time domain reflectometry liquid level sensors", IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, Dec. 2001, pp.40-44.
- [2] Purisima, Miguel Carlo L., et al. "FPGA implementation of a time domain reflectometry (TDR) system for slope monitoring applications", TENCON 2010-2010 IEEE Region 10 Conference. IEEE, 2010.
- [3] Balon, Siegfried D., and Joel Joseph S. Marciano. "Implementation and characterization of a reconfigurable time domain reflectometry system" Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA), IEEE International Conference on. IEEE, 2013.
- [4] Lelong, Adrien, and Marc O. Carrion. "On line wire diagnosis using multicarrier time domain reflectometry for fault location", Sensors, IEEE. IEEE, 2009.
- [5] Smail, Mostafa Kamel, et al. "Detection of defects in wiring networks using time domain reflectometry", IEEE Transactions on Magnetics, 2010; 46(8), 2998-3001.
- [6] Dubickas, Valentinas, and Hans Edin. "On-line time domain reflectometry measurements of temperature variations of an XLPE power cable", 2006 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. IEEE.
- [7] <http://redpitaya.com/> Erişim tarihi: 19.09.2016.