

Gerçek Zamanlı Akım ve Gerilim Sinyallerinin İzlenmesi için FPGA Tabanlı Bir Sistem Tasarımı

An FPGA-Based System Design for Real-Time Monitoring of Current and Voltage Signals

Özal Yıldırım¹, Belkıs Erişti², Hüseyin Erişti², Yakup Demir³

¹Tunceli Meslek Yüksekokulu, Tunceli Üniversitesi, Tunceli
oyildirim@tunceli.edu.tr

²Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tunceli Üniversitesi, Tunceli
heristi@tunceli.edu.tr, beristi@tunceli.edu.tr

³Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ
ydemir@firat.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA) kullanılarak gerçek zamanlı akım ve gerilim sinyallerinin elde edilmesi ve izlenmesi için bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistemde, şebeke sinyallerini elde etmek için bir sinyal giriş kartı hazırlanmıştır. Elde edilen akım ve gerilim sinyallerinin görsel olarak izlenebilmesi ve değerlendirilebilmesi için grafiksel bir ara yüz yazılımı oluşturulmuştur. Giriş kartından elde edilen akım ve gerilim sinyalleri bilgisayar tarafından bu görsel yazılıma seri haberleşme arabirimi (RS232) yardımı ile aktarılmıştır. Araştırma kapsamında hazırlanan gerçek zamanlı izleme sistemi, Tunceli Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği laboratuvarında çeşitli yükler ile test edilmiştir. Bu testler sonucunda, izleme sisteminin sinyalleri gerçek zamanlı olarak başarılı bir şekilde elde ettiği ve bu sinyalleri grafiksel ara yüz ekranında kullanışlı bir şekilde sunduğu gözlemlenmiştir.

Abstract

In this study, a system is designed to obtain and monitor real-time current and voltage signals by using Field Programmable Gate Arrays (FPGA). In the designed system, a signal input board is prepared to obtain line voltage and current signals. The graphical interface software is created for visualizing and evaluating these signals. The voltage and current signals obtained from input card are transferred to the computer software by means of serial communication unit (RS232). The real-time monitoring system designed for this research is tested with various loads at Tunceli University Electrical-Electronic Engineering laboratory. The results of these tests have shown that the designed monitoring system is successfully obtained the signals in real-time and presented these signals on the graphically interface software screen as useful.

1. Giriş

Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA), herhangi bir sayısal devreyi veya sistemi oluşturmak için elektriksel olarak programlanabilen ve çok sayıda mantık hücresinden meydana

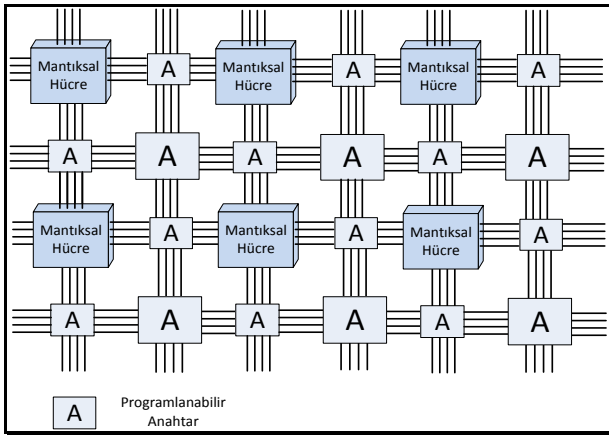
gelen silikon teknolojilerdir. FPGA'lar, sabit fonksiyonlu Uygulamaya Özgü Tümlleşik Devre (ASIC) teknolojisinden üstün olarak birçok avantaj sağlamaktadır. ASIC'ler, tipik olarak istenilen bir devreyi elde etmek için aylarca sürebilen üretim aşamaları ve yüksek miktarda maliyetlere sahiptir. Buna karşın FPGA'lar, bir saniyeden daha kısa bir sürede yapılandırılabilirlik ve tasarımı herhangi bir hata oluşması durumunda sürekli olarak yeniden programlanabilir bir yapı sunmaktadır. Ayrıca FPGA teknolojisine, birkaç dolardan başlayıp birkaç bin dolara kadar olan düşük maliyetlerle her yerde sahip olma imkanı bulunmaktadır [1]. FPGA teknolojisi iletişim, mobil telefonlar gibi pek çok yeni uygulamalarda en uygun mikro elektronik teknolojisi olmaya başlamıştır. Bunun nedenleri genel olarak, bu cihazların oldukça yüksek kapasiteli ve düşük maliyetli olmaları ve elektronik tasarım araçları kullanılarak kısa tasarım süreçleri ile hızlı bir şekilde piyasaya sunulmaları olarak gösterilebilir. VLSI, ASIC cihazlarının geliştirilmesindeki yüksek maliyet ve üretim sonrasında tasarım değişikliklerinin uygulanışının yetersiz kalmasından dolayı FPGA bu cihazlara göre büyük avantaj sağlamaktadır[2].

FPGA'ların sahip olduğu paralel, hızlı işlem yapabilme yeteneği ve sahada birçok kez yeniden programlanabilir olması gibi özellikleri bu cihazların endüstride ve akademik araştırmalarda geniş bir şekilde kullanılmasına olanak tanımıştır. FPGA'lar, güç kalitesi ile ilgili çalışmalarda [3,4], gerçek zamanlı görüntü işlemede [5], yapay sinir ağlarının donanımsal olarak gerçekleştirilmesinde [6,7], Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) ve Ters Ayrık Dalgacık Dönüşümü (TADD) gibi sinyal işleme algoritmalarının [8,9] uygulanmasında etkili bir şekilde kullanım alanı bulmuştur.

Bu çalışmada, FPGA tabanlı gerçek zamanlı akım ve gerilim sinyallerinin izlenmesi için bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu tasarımda, şebekeden alınan akım ve gerilim sinyalleri FPGA cihazının sahip olduğu yüksek hızda işlem yapabilme yeteneği sayesinde işlenerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayar tarafında oluşturulan bir ara yüz uygulaması sayesinde, şebekenin anlık gerilim ve akım sinyal bilgileri grafiksel olarak başarılı bir şekilde izlenebilmektedir.

2. FPGA yapısı ve programlaması

FPGA, mantıksal işlemleri yerine getirmek için binlerce ve hatta milyonlarca transistörün bağlantısından oluşan lojik bir cihazdır. Karmaşık sayısal filtreler, hata tespiti ve iyileştirmesi gibi işlemler için basit toplama ve çıkarma fonksiyonlarını yerine getirirler. Hava araçları, otomobiller, radar sistemleri, savunma sanayi ve bilgisayarlar FPGA'lerin kullanıldığı sadece birkaç alandır. FPGA "mantık hücreleri" olarak adlandırılan programlanabilir mantık elemanlar içermesi sayesinde, temel lojik kapıları (VE, VEYA ya da ÖZELVEYA) ya da kod çözücü gibi daha karmaşık yapıdaki devre elemanları olarak yapılandırılabilirler [10]. Yapısında, programlanabilir anahtar elemanları ve iki boyutlu mantıksal hücre dizilerini barındıran temel FPGA'lerin yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İki boyutlu mantıksal hücre dizilerini barındıran temel FPGA yapısı.

Bir mantıksal hücre birimi, basit bir işlevi yerine getirmek için programlanabilir. Programlanabilir anahtar elemanları, mantıksal hücreler arasındaki bağlantıyı sağlayacak şekilde ayarlanabilir. Uygulanmak istenen tasarım için, her mantık hücresinin işlevi ve hücreler arasındaki bağlantıyı sağlayacak programlanabilir anahtar elemanı ayarlanarak, gerçekleştirilmek istenen tasarımlar yapılır. Tasarım sentezleme işlemleri tamamlandıktan sonra cihazın sahip olduğu programlama özellikleri kullanılarak, istenilen mantık hücresi ve anahtar eleman ayarlamaları cihaza gömülür. Bu işlemler fabrikasyondan ziyade alanda gerçekleştirilebilir. Bu nedenle bu cihazlar "Alanda Programlanabilir" aygıtlar olarak adlandırılmaktadır [11].

2.1. VHDL yapısı ve özellikleri

VHDL, fiziksel olarak gerçekleştirilecek bir sistem veya devrenin davranışını tanımlamak için kullanılan bir donanım tanımlama dildir. VHDL, VHSIC (Çok Hızlı Tüm Devreler) donanım tanımlama dilinin kısaltılmış şeklidir. VHSIC, 1980'lerde ABD Savunma Bakanlığı tarafından finanse edilen bir girişim olup, VHDL dilinin ortaya çıkmasına öncülük etmiştir. Bu dilin ilk versiyonu VHDL-87 olup, sonrasında yükseltmeler yapılarak adlandırılan yeni versiyonu VHDL-

93'tür. VHDL, IEEE1076 standardı ile IEEE tarafından standartlaştırılmış ilk ve orijinal donanım tanımlama dilidir.

VHDL, devre sentezi ve aynı zamanda devrenin simülasyonu için tasarlanmış bir dildir. Bu dilin içerisindeki tüm yapılar tamamen simüle edilebilmesine rağmen, yapıların hepsi sentezlenebilir değildir. VHDL'in temel kullanım nedenleri arasında, öncelikle bir standart olması gösterilebilir. Aynı zamanda taşınabilir ve yeniden kullanılabilir olması da, bu dilin kullanımını cazip hale getiren nedenlerdir. PLD (CPLD-FPGA) ve ASIC'lerde VHDL dilinin iki farklı uygulaması mevcuttur. VHDL kodu yazıldıktan hemen sonra bu kodlar, Altera, Xilinx, Atmel gibi firmaların ürettiği programlanabilir cihazlar üzerinde tasarlanan devreyi gerçekleştirmek için kullanılır ya da ASIC üretimi için bu tür uygulamaya özgü üretimler yapan firmalara kendi tasarımlarını gerçekleştirmek üzere sunulur [12].

Bir VHDL tasarımı üç bölümden meydana gelir. Bunlar entity (varlık), architecture (mimari) ve library (kütüphane) dir.

Entity (varlık) : Tasarıma giriş/çıkış/giriş-çıkış portlarını tanıtan kısımdır.

Architecture (mimari): Tasarımın davranışının tanımı ile ilgili kodların bulunduğu kısımdır. Yani tasarımın iç mimarisini tanımlayan kısımdır.

Library (kütüphane): Tasarım içerisinde kullanılacak olan tüm kütüphanelerin listesini içeren kısımdır [13].

Genel bir VHDL dosyasının şablonu Şekil 2' de gösterilmiştir.

```
--Genel bir VHDL dosya yapısı

LIBRARY <Kütüphane adı>;

USE <Kütüphane_adı>.<alt_kütüphane_adı>.ALL

ENTITY <varlık_adı> IS

PORT (

<port_adı>: <port_yönü> <port_tipi>;

<port_adı>: <port_yönü> <port_tipi> );

END <varlık_adı>

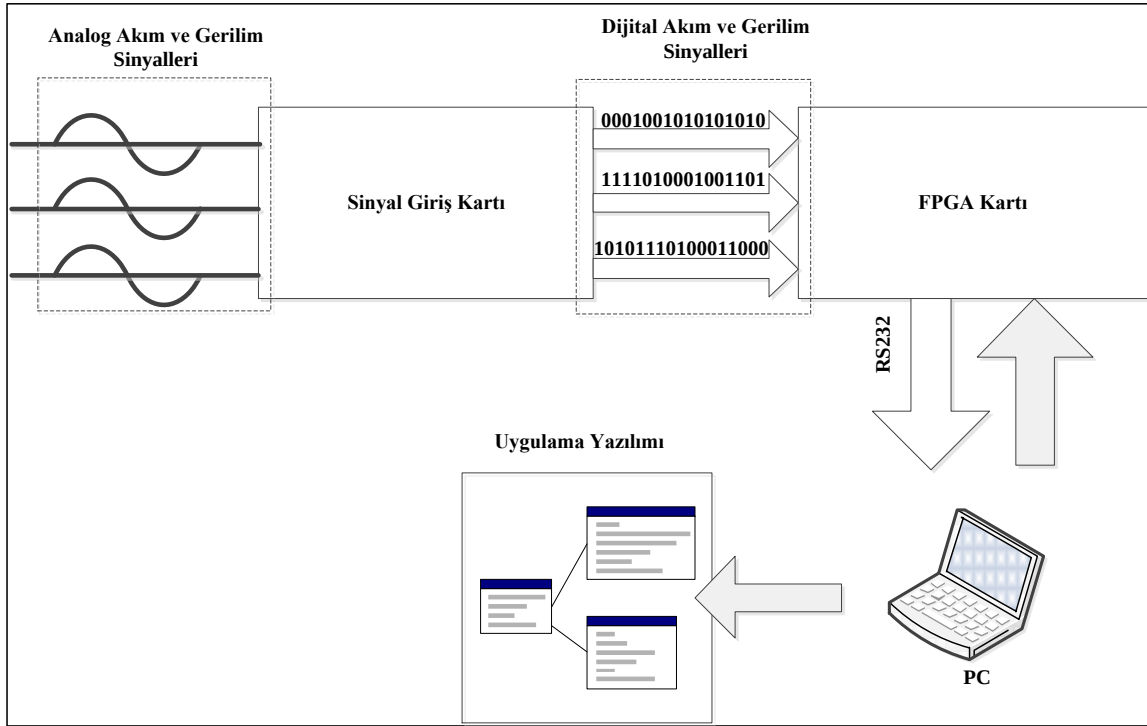
ARCHITECTURE <mimari_adı> OF <varlık_adı> IS

SIGNAL <sinyal_adı> : <sinyal_tipi> := "<başlangıç değeri>;
```

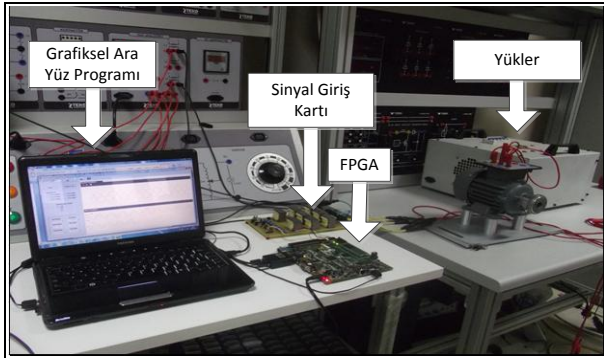
Şekil 2. Genel bir VHDL dosya şablonu.

3. Gerçekleştirilen izleme Sistemi

Bu çalışmada, akım ve gerilim sinyallerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine yönelik FPGA tabanlı yeni bir izleme sistemi tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen bu sistemde, 3 fazlı şebekeye ait gerilim ve akım sinyalleri FPGA kartında işlenerek RS232 seri iletişim protokolü ile bilgisayar ortamında hazırlanan görsel tabanlı yazılıma aktarılmıştır. Bilgisayar ortamındaki bu yazılım üzerinden, akım ve gerilim sinyallerinin görsel olarak kullanıcılara sunulması işlemleri sağlanmıştır. Şekil 3'de, hazırlanan FPGA tabanlı gerçek zamanlı akım ve gerilim sinyal izleme sisteminin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3. FPGA tabanlı gerçek zamanlı akım ve gerilim izleme sisteminin yapısı.



Şekil 4. Sinyal izleme sistemi için oluşturulan izleme ortamı.

Şebekeden elde edilen akım ve gerilim sinyalleri, sinyal giriş kartına uygulanarak analog dijital dönüştürücünün (ADC) işleyebileceği seviyeye dönüştürülmektedir. ADC entegresi tarafından örneklenen bu gerilim ve akım sinyalleri, gerekli bağlantılar sağlanarak FPGA cihazına aktarılmaktadır. FPGA cihazına gelen sinyal bilgileri, çeşitli dönüştürme işlemlerinden sonra seri haberleşme arabirimi yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Bilgisayar ortamına gelen veriler, izleme sistemi için oluşturulan grafiksel ara yüz yazılımı ile elde edilmekte ve bu sinyaller kullanıcıların kolaylıkla kullanabilecekleri grafiksel araçlar ile görsel bir şekilde sunulmaktadır.

Çalışma kapsamında tasarlanan gerçek zamanlı izleme sistemi, genel olarak her bir aşamanın birbiri ile bağlantılı olduğu üç farklı kısımdan oluşmaktadır.

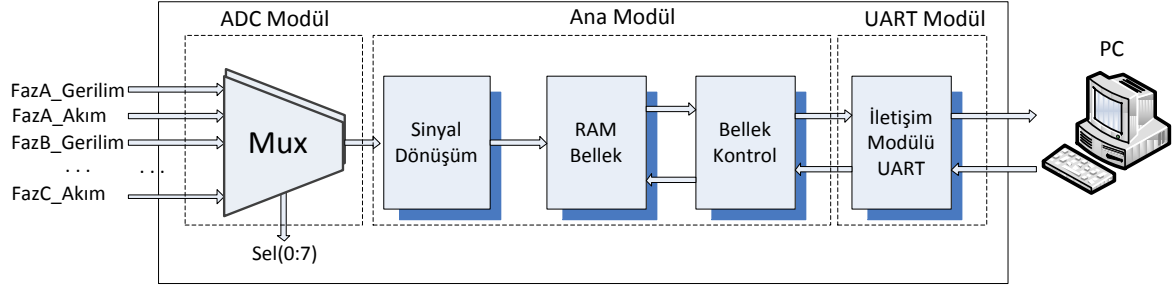
- Sinyal girişi,
- FPGA geliştirme ortamı,
- Grafiksel yazılım ortamı.

Gerçek zamanlı akım ve gerilim izleme sistemi için oluşturulan izleme ortamının genel yapısı, Şekil 4’de gösterilmiştir.

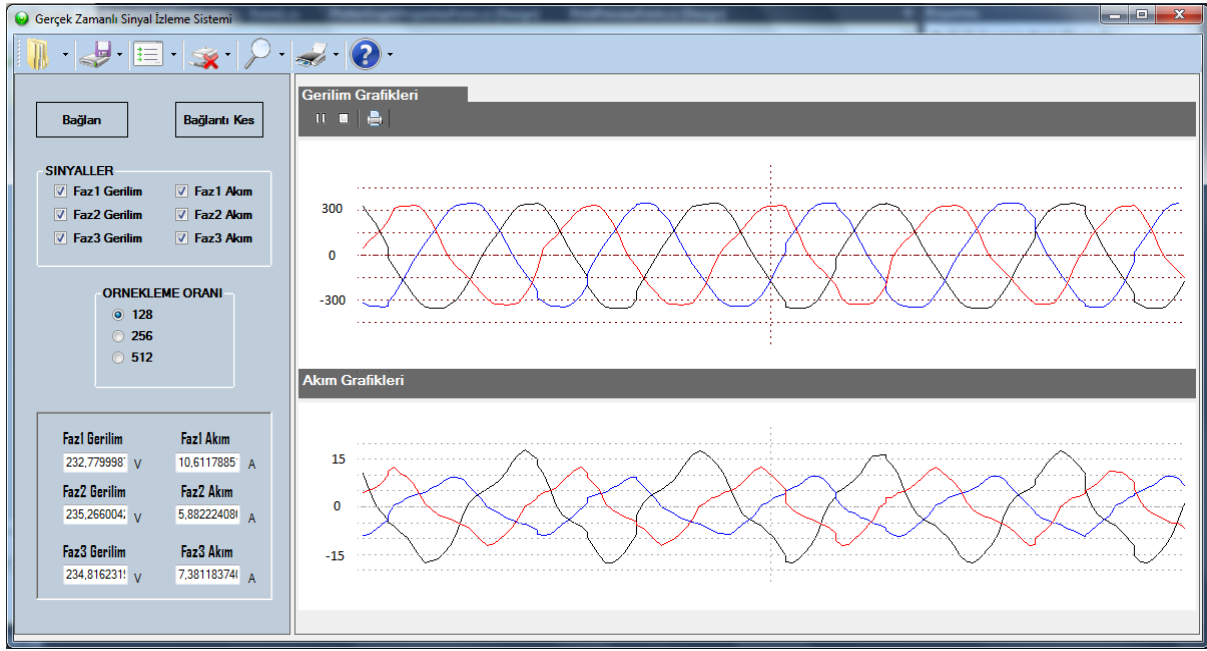
3.1. İzleme Sisteminin FPGA Tasarımı

Sinyal giriş kartı üzerinde elde edilen akım ve gerilim sinyallerinin, dijital verilere dönüştürülmesi ve bu veriler üzerinde gerekli işlemlerin yapılması aşamaları, FPGA cihazı içerisinde gömülen yazılımlarla sağlanmaktadır. FPGA tarafında hazırlanan yazılımların, genel olarak işlevlerini temsil eden akış diyagramı Şekil 5’de gösterildiği gibidir.

Sinyal giriş kartı ile FPGA cihazı arasında, sinyallerin örneklenmesi ve gerekli kanal seçimleri yapılarak elde edilen veriler ana modül kısmına aktarılır. Ana modül kısmında, sinyaller ADC entegresinin dönüştürme fonksiyonu göz önüne alınarak gerçek değerlere dönüştürülmektedir. Ayrıca, sinyaller üzerinde işlem yapabilmek ve özellikle bilgisayar ortamına kolayca aktarabilmek için çeşitli sayı formatlarına dönüştürme işlemleri de bu kısımda gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada sinyaller, 32 bit kayan noktalı sayı sistemine dönüştürülmüştür. Gerekli dönüşümlerden geçen sinyal verileri, RAM belleklere yazılmaktadır. Bellek kontrol birimi ile sinyal verilerinin belirli aralıklarla UART modülüne aktarılması işlemleri yine ana modül içerisinde yapılmaktadır. Son olarak UART modülü bellek kontrol biriminden gelen verileri RS232 seri port protokolünü kullanarak bilgisayar ortamına aktarmaktadır.



Şekil 5. FPGA içerisindeki sinyal izleme sistemine ait işlemlerin blok gösterimi.



Şekil 6. İzleme sisteminin 3 fazlı şebeke üzerinde yüklerle çalışması.

3.2. Grafiksel Ara yüz Programı

Gerçek zamanlı sinyal izleme sisteminin önemli bir parçası olan grafiksel ara yüz programı SIS, kullanıcıların sisteme ait sinyal bilgilerini görsel olarak izleyebilecekleri ve bu bilgileri kaydedebilecekleri bir platform sunmaktadır. Microsoft Visual Studio C# programlama dili ile oluşturulan ve grafiksel çizimler için üçüncü parti bileşenlerin kullanıldığı program, sinyallerin görsel olarak izlenmesinde kullanıcılara birçok farklı seçenek sunmaktadır.

Sinyal izleme sistemi için hazırlanan grafiksel ara yüz programının görüntüsü, Şekil 6'da verilmiştir.

Program üzerinde her bir faza ait gerilim ve akım dalga şekilleri farklı renklerde temsil edilmiştir. 3 faz için sistem çıkışına farklı yükler bağlanarak her bir fazdan çekilen akım seviyelerinin farklı değerlerde gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Şekil 7'de, izleme sisteminin 3 fazlı şebeke ve şebekeye bağlı yükler için elde ettiği çeşitli ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Bu ölçümler etkin değer yöntemi kullanılarak elde edilmiştir.

Faz1 Gerilim	Faz1 Akım
232,779998 V	10,6117885 A
Faz2 Gerilim	Faz2 Akım
235,266004 V	5,88222408 A
Faz3 Gerilim	Faz3 Akım
234,816231 V	7,38118374 A

Şekil 7. İzleme sisteminden elde edilen ölçüm sonuçları.

4. Sonuçlar

Sahada birçok kez yeniden programlanabilmeleri ve sahip oldukları paralel işlem yapma özelliklerinden dolayı, FPGA'lar günümüzde birçok sinyal işleme uygulamasında tercih edilmektedir. Sinyal işleme alanında mikro işlemciler ve DSP mikro gibi mikro işlemci tarzı çözümler bir alternatif olmakla birlikte hız, boyut ve güç tüketimi açısından birçok DSP uygulamasının ihtiyacını karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bu nedenlerden dolayı son zamanlarda, FPGA teknolojisi DSP sistemleri için yeni bir donanım teknolojisi olarak ön plana çıkmıştır. Günümüzde, birçok karmaşık DSP fonksiyonu FPGA ile gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle paralel işlem yapma yeteneğinden dolayı FPGA cihazları, gerçek zamanlı sistemlerde sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, FPGA tabanlı gerçek zamanlı bir sinyal izleme sistemi tasarlanarak bu sisteme ait özellikler sunulmuştur. FPGA tabanlı olarak hazırlanan izleme sistemi, Tunceli Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği laboratuvarında 3 fazlı şebeke üzerinde kurulmuştur. Sistem çıkışlarına bağlanan farklı yükler ile test edilen izleme sisteminin, sinyalleri elde etmek ve bu sinyalleri grafiksel olarak sunmakta başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Gerçekleştirilen bu makale çalışması, FPGA'ların gerçek zamanlı sinyal işleme tasarımlarında kullanılmasına yönelik bir ön çalışma niteliği taşımaktadır.

5. Kaynaklar

- [1] Kuon, I., Tessier, R., ve Rose, J., "FPGA Architecture: Survey and Challenges", Foundations and Trends in Electronic Design Automation: Vol: 2-2, S:135-253, 2007.
- [2] Seals, R. and Whapshott, G., "Programmable Logic: PLDs and FPGAs", UK: Macmillan, 1997.
- [3] Ferrigno, L., Landi, C., Laracca, M., "FPGA-based Measurement Instrument for Power Quality Monitoring according to IEC Standards", Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings(IMTC), IEEE, S:906-911, 12-15 May 2008.
- [4] Choong, F., Reaz, M. B. I., "Implementation of Power Quality Disturbance Classifier in FPGA Employing Wavelet Transform, ANN and Fuzzy Logic", SETIT, 27-31 Mart, Tunus, 2005.
- [5] Torres-Huitzil, C., Arias-Estrada, M., "Real-time image processing with a compact FPGA-based systolic architecture", Real-Time Imaging, Vol:10-3, S:177:187, 2004.
- [6] Omondi, A. R., Rajapakse, J. C., FPGA Implementations of Neural Networks, Springer, ISBN: 0387284850, 2006.
- [7] Yılmaz, N., "Alan Programlamalı Kapı Dizileri (FPGA) Üzerinde Bir YSA'nın Tasarlanması ve Donanım Olarak Gerçekleştirilmesi" Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 2008.
- [8] Cavuslu, M.A, Karakaya, F., "Hardware implementation of Discrete Wavelet Transform and Inverse Discrete Wavelet Transform on FPGA", Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), S:141-144, 2010.
- [9] Mahmoud, M.I., vd, "Comparison between Haar and Daubechies Wavelet Transformions on FPGA Technology", World Academy of Science, Engineering and Technology ,V:26, S:68-72, 2007.
- [10] Smith, G. R., FPGAs 101: Everything You Need To Know To Get Started, Newnes , ISBN: 978-1-85617-706-1 D/L, 2010.
- [11] Chu, P.P., FPGA Prototyping by VHDL Examples: Xilinx Spartan-3 Version, Wiley-Interscience, ISBN: 0470185317, 2008.
- [12] Pedroni ,V. A., Circuit Design with VHDL, The Massachusetts Institute of Technology Press, ISBN 0-262-16224-5, 2004.
- [13] W. Lee., VHDL Coding and Logic Synthesis with SYNOPSIS, Academic Press, London, UK, ISBN: 0-12-440651-3, 2000.