

Yeni Bir Çevrimiçi Elektrik Enerji Kalitesi İzleme Cihazı

Özal YILDIRIM¹, Hüseyin ERİŞTİ², Yakup DEMİR³

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye

³Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
oyildirim@munzur.edu.tr

(Geliş/Received: 23.03.2018; Kabul/Accepted: 03.09.2018)

Özet

Bu çalışmada, elektrik enerji kalitesi parametrelerini çevrimiçi izleyen yeni bir enerji kalite izleme cihazı geliştirilmiştir. İzleme cihazı, bağlantı noktalarından üç faz akım ve gerilim bilgilerini gerçek zamanlı elde ederek güç kalitesi parametrelerini hesaplamaktadır. Ayrıca sahip olduğu haberleşme yapısı ile elde ettiği ölçüm bilgilerini uzak bağlantı noktalarına anlık olarak aktarmaktadır. Cihaz yapısında, sinyal işleme alanında gittikçe yaygınlaşan Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (APKD) donanımı kullanılmıştır. Gömülü olarak hazırlanan enerji izleme cihazı, kendi enerji akışlarını denetim altında tutmak isteyen kullanıcıların kolaylıkla kullanabileceği etkin bir platform sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji kalitesi, Güç kalitesi, Alanda programlanabilir kapı dizileri

A New Online Electrical Energy Quality Monitoring Instrument

Abstract

In this study, a new energy quality monitoring instrument has been developed that monitors the parameters of electrical energy quality as online. The monitoring device calculates power quality parameters by obtaining three phase current and voltage information in real time from the connection points. It also instantly transfers the measurement information obtained by its communication structure to the remote connection points. Field Programmable Gate Arrays (FPGA) hardware, which is becoming more widespread in the field of signal processing, is used in the device structure. The embedded energy monitoring device offers an efficient platform that can be easily used by users who want to keep their energy flows under control.

Keywords: Energy quality, Power quality, Field programmable gate arrays

1. Giriş

Güç elektroniği tabanlı cihazların günlük yaşantımızda kullanımının yaygınlaşması, beraberinde kullanılan enerji kalitesinin önemini gündeme getirmiştir. Son zamanlarda enerji kalitesi üzerine gerçekleştirilen çalışmalar giderek artmaktadır [1-5]. Elektrik enerji sistemi üzerinde meydana gelen enerji kalitesinin belirlenmesi için, sistem üzerindeki elektriksel parametrelerin sürekli ve standartlara uygun olarak izlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle izleme cihazları, enerji sistemlerinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Enerji kalitesinin izlenmesinde, bazı temel unsurlar bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi, enerji kalitesi olaylarından kaynaklanan ekonomik kayıplardır. Elektrikli cihazlar ve üretim süreçleri üzerinde

meydana gelen enerji kalitesi problemleri; üretimde kullanılan cihazların hasar görmesi, üretim aksaklıkları ve diğer anormal durumlara yol açmaktadır. Bununla birlikte, enerji kalitesinin izlenmesi tek başına yeterli değildir. Fakat izleme işlemi, enerji kalitesi problemlerine çözüm bulunmasında öncelikli olarak ihtiyaç duyulan bir süreçtir [6].

Elektrik enerji kalitesi izleme cihazları, yaygın olarak iki kategoride değerlendirilmektedir. Birinci kategoride yer alan cihazlar; gerilim, akım ve güç gibi elektriksel parametrelerin ölçümünün yanı sıra aşırı gerilim, düşük gerilim ve kesinti gibi parametrelerin de ölçümünü gerçekleştirmektedir. İkinci kategorideki cihazlar; IEEE, IEC gibi standartlara göre güç kalitesi olaylarını sınıflandırarak bu sonuçları

kendi panellerinde veya bilgisayar ortamında görüntülemektedir. Bu cihazlar; enerji kalitesi ölçümü, sonuçlarının depolanması ve analizi gibi işlevleri de yerine getirmektedirler [7].

Bilişim teknolojilerinin gelişimi ve dünya çapında birçok sunucuya internet üzerinden erişilebilir olması, enerji sistemlerinin bu alana eğilimini gittikçe artırmıştır. Ağ bağlantıları sayesinde, enerji sistemine ait elektriksel bilgilerin paylaşımı kolaylaşmıştır [8]. Tüm bu ilerlemeler doğrultusunda, enerji kalitesi izleme sistemleri alanında yenilikçi birçok çalışma ortaya çıkmıştır.

Elektrik enerji kalitesi izleme cihazları için yaygın olarak kullanılan bir kaç tasarım yaklaşımı bulunmaktadır. Bu yaklaşımlarda; Sayısal Sinyal İşlemci (DSP-Digital Signal Processor), mikroişlemci, bilgisayar ve veri toplama kartları gibi donanımlar ya tek başına ya da hibrit bir şekilde kullanılmaktadır. Çalışma [9]'da, Mini-ITX PC tabanlı geliştirilen ve internet üzerinden haberleşen bir enerji kalitesi izleme cihazı tasarımı yapılmıştır. [10]'da yapılan çalışmada ise DSP ve mikrodenetleyiciler kullanılarak enerji kalitesi problemlerinin belirlenmesi ve bu problemlere ait bilgilerin hazırlanan bir web sunucusuna aktarılması ile ilgili bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bir başka çalışmada ise, I-Grid olarak adlandırılan web tabanlı bir enerji kalitesi izleme sistemi tanıtılmıştır. I-Grid kapsamında, DSP tabanlı I-Sense isimli bir güç kalitesi izleme cihazı geliştirilmiştir [11]. [12]'de, PEGASYS yazılımı ve bir enerji kalitesi cihazı kullanılarak, web tabanlı çok kanallı bir izleme sistemi önerilmiştir. Bu izleme sistemi, Hong-Kong'ta 75 farklı noktaya yerleştirilerek çeşitli güç kalitesi ölçümleri yapılmıştır. [13]'deki çalışmada, EtherCAT tabanlı dağıtık bir güç kalitesi izleme sistemi sunulmuştur. Özellikle akıllı şebekelerde kullanılacak bir yapı sunan bu çalışmada, güç kalitesi verilerinin elde edilmesi ve analizinde APKD ve PowerPC teknolojilerinden yararlanılmıştır. Çalışma[5]'de, yazarlar elektrik enerji sisteminde meydana gelen güç kalitesi bozulmalarını çevrimiçi tespit eden APKD tabanlı bir sistem geliştirilmiştir.

2. Elektrik Enerji Kalitesi İzleme Cihazı

Bu çalışmada, elektrik enerji kalitesi parametrelerinin çevrimiçi izlenmesine yönelik yeni bir izleme cihazı geliştirilmiştir. Şekil 1'de geliştirilen izleme cihazı ve iç yapısına ait bir görüntü verilmiştir.



(a) Enerji kalitesi izleme cihazı.



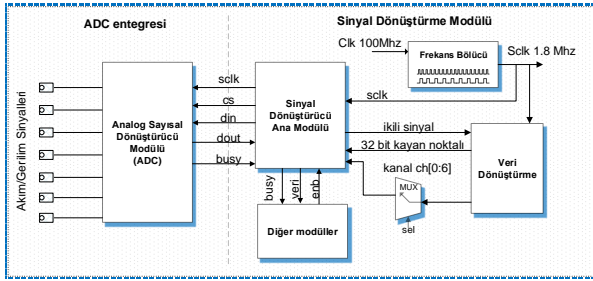
(b) İzleme cihazının iç görünüşü.

Şekil 1. Enerji kalitesi izleme cihazına ait görüntüler.

Enerji kalitesi izleme cihazının donanım yapısını beş bölümde incelemek mümkündür. Bu bölümler; gerilim sinyal algılayıcı devresi, akım sinyal algılayıcı devresi, analog/sayısal dönüştürücü modülü, sayısal sinyal işleme modülü ve güç kaynağı/besleme devresidir. Bağlantı noktalarındaki akım ve gerilim sinyallerinin dönüşüm işlemleri için uygun seviyelere indirgenmesi işlemleri; gerilim sinyal algılayıcı ve akım sinyal algılayıcı devreleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Uygun seviyelere indirgenen bu analog sinyaller Analog/Sayısal Dönüştürücü (Analog Digital Converter-ADC) modülü tarafından sayısal bilgilere dönüştürülmektedir. Daha sonra bu sayısal akım ve gerilim verileri üzerinde sinyal işleme algoritmalarının yürütüm işlemleri Sayısal Sinyal İşleme modülü tarafında gerçekleştirilerek UDP/IP (User Datagram Protocol/Internet Protocol) protokolü ile çıkışa aktarılmaktadır.

2.1. Sinyal dönüştürme modülü

İzleme sistemi üzerindeki gerilim ve akım sinyal algılayıcı devrelerinden elde edilen sinyallerin işlenmesi, bu sinyallerin uygun örnekleme frekansında elde edilmesi ve paralel olarak diğer modüllere dağıtılması işlemleri, sinyal dönüştürme modülü içerisinde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, ADC entegresine ait Giriş/Çıkış kontrolleri bu modül altında sağlanmaktadır. APKD donanımı içerisinde gömülen sinyal dönüştürme modülünün çalışma yapısını gösteren blok şeması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Sinyal dönüştürme modülünün çalışmasına ait blok şeması.

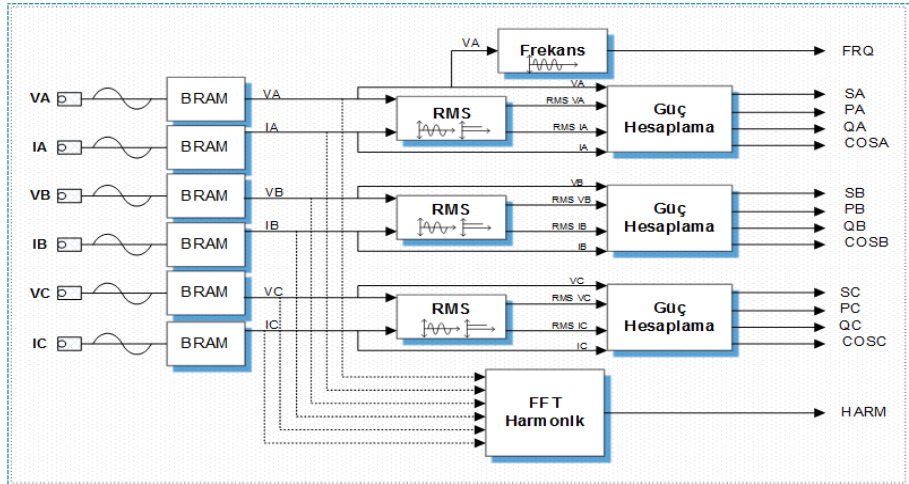
Cihaz yapısında, 32 bit IEEE-754 kayan noktalı sayı sistemi kullanılmıştır. Veri dönüştürme alt modülü içerisinde, kanallar arasında dolaşarak kanallara ait sinyal verileri gerekli dönüşüm işlemlerinden geçirilip ana modüle aktarılmakta ve buradan da diğer alt

modüllere ulaştırılmaktadır. ADC entegresinin ayarlanması gereken bir diğer parametresi de örnekleme frekansıdır. Akım ve gerilim sinyallerinin APKD tarafındaki yazılımların verimliliği ve bilgisayar tarafındaki veritabanında fazla yer kaplamaması açısından 6.4 kHz örnekleme frekansına sahip olacak şekilde elde edilmesi hem tercih edilmiştir.

2.2 Sinyal işleme modülü

Sinyal işleme modülü içerisinde, güç kalitesi parametrelerinin standartlara uygun bir şekilde belirlenmesi amacı ile çeşitli sinyal işleme algoritmaları yer almaktadır. Sinyal dönüştürme modülünden elde edilen sayısal akım ve gerilim bilgileri, sinyal işleme modülündeki algoritmalara giriş verisi olarak girilmektedir. Şekil 3’de blok şeması verilen sinyal işleme modülü içerisinde; ölçüm noktasına ait akım ve gerilim sinyalinin etkin değeri, şebeke frekans bilgisi, aktif güç, reaktif güç, görünür güç, güç faktörü, harmonik bilgileri ve güç kalitesi bozulmalarının tespiti gibi alt birimler yer almaktadır.

Güç kalitesi standartlarında belirlenen ölçüm aralıklarına göre elde edilen anlık akım ve gerilim değerleri, hafıza birimlerinde depolanmaktadır. Bu hafıza birimleri üzerindeki sinyal bilgileri kullanılarak, gerekli parametrelerin hesaplanması işlemleri gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3. İzleme cihazının sinyal işleme modülüne ait blok şeması.

Sinyal işleme modülü; frekans hesaplama, etkin değer hesaplama, güç hesaplama, harmonik hesaplama ve güç kalitesi bozulma tespit modülü olmak üzere beş alt modüle ayrılmaktadır. Bu modüllere ait genel işlevler şu şekildedir;

Frekas hesaplama alt modülü, ölçüm noktalarındaki gerilimin frekans değerini hesaplayarak bu değer standardlar çerçevesinde belirlenen değerlerden ne kadar saptığını tespit etmektedir.

Etkin değer hesaplama modülünde ise akım ve gerilim sinyallerine ait etkin değer hesaplaması yapılmaktadır. Ölçüm noktalarına ait anlık gerilim ve akım değerlerinin sayısal olarak gözlemlenmesi ve enerji kalitesinde meydana gelen bozulmaların tespitinde, etkin değer hesaplaması kullanılmaktadır. Güç kalitesi standartlarına göre gerilim ve akım etkin değerinin hesaplanması 10 periyotluk örnekler üzerinden gerçekleştirilmelidir. Bu nedenle, etkin değeri hesaplanacak akım veya gerilim sinyallerinden 10 periyotluk örnekler alınarak bellek üzerine kaydedilmekte ve bu örnekler üzerinden etkin değer hesaplama işlemi gerçekleştirilmektedir.

Güç hesaplamalarına ait alt modül içerisinde, izleme sisteminin bağlı olduğu ölçüm noktasına ait çeşitli güç bileşenleri hesaplanmaktadır. Bu güç bileşenleri; görünür güç, aktif güç ve reaktif güç şeklindedir. Ayrıca, bu modül içerisinde güç faktörü parametresinin hesaplanması da yapılmaktadır. Güç bileşenleri hesaplanırken, standartlara uygun olarak akım ve gerilim sinyal değerlerinin 10'ar periyotluk örnekleri kullanılmaktadır.

Harmonik hesaplama modülü içerisinde, ölçüm noktalarına ait gerilim ve akım harmoniklerinin sürekli bir şekilde tespit edilmesi sağlanmaktadır. Bu alt modül altında, gerilim ve akım sinyallerine ait 53. dereceye kadar olan harmoniklerin ölçümü gerçekleştirilmektedir. Harmonik ölçümü için Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) algoritmasının APKD ortamında uygulaması kullanılmıştır.

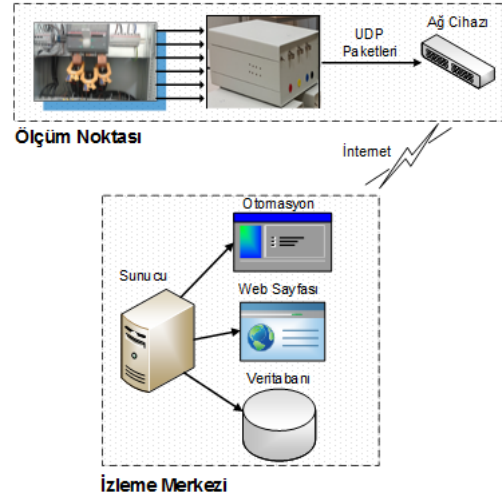
Bu alt modül içerisinde, ölçüm noktası üzerinde meydana gelen güç kalitesi bozulmalarının gerçek zamanlı tespiti için RMS tabanlı bir uygulama gerçekleştirilmiştir. VHDL programlama dili kullanılarak oluşturulan tespit

algoritması ile güç kalitesi standartlarında belirtilen ölçümler ile enerji kalitesi olayları gerçek zamanlı olarak tespit edilmektedir.

2.3 İzleme cihazının haberleşme yapısı

İzleme cihazının çevrimiçi haberleşme yapısında UDP/IP protokolü kullanan bir alt modül hazırlanmıştır. UDP/IP haberleşme alt modülü, güç kalitesi izleme sisteminin ölçüm noktalarından elde edilen verileri bilgisayar ara yüz programına gönderilmesini sağlayan bölümdür. Güç kalitesi izleme sisteminin, ölçüm noktasından elde ettiği parametreleri izleme merkezine aktarması işlemleri belirlenen bir yerel ağ ya da internet ortamından sağlanmaktadır. Bu amaçla izleme sistemi içerisine, Ethernet ara yüzü ve UDP/IP haberleşme ara yüzü yazılımları gömülmüştür. Bu sayede, izleme sistemi verileri bulunduğu noktadan hiçbir çevre birimine bağlı olmadan, sadece internet ağına açılan bir bağlantı kablosu ile izleme merkezine aktarmaktadır.

Şekil 4'de güç kalitesi izleme sisteminin UDP/IP tabanlı haberleşme yapısını gösteren blok şeması verilmiştir.



Şekil 4. İzleme sisteminin UDP/IP tabanlı haberleşme yapısına ait blok şeması.

Gömülü sistemler için oldukça avantaj sağlayan Ethernet iletişimi, RS232 gibi seri iletişim protokollerinin bilgisayara bağımlılığını ve düşük hızlarda verileri iletme gibi

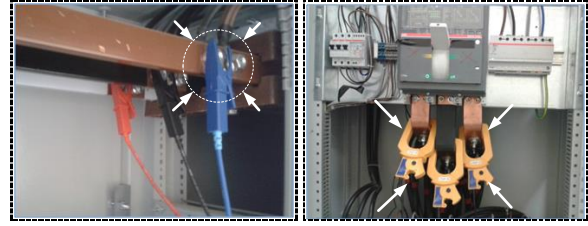
dezavantajlarını ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca, uzak bağlantı özelliği ile Ethernet iletişimi cihaza dışarıdan müdahaleyi oldukça kolaylaştırmaktadır.

2.4 Ölçüm noktalarına bağlantı yapısı

İzleme cihazı ölçüm noktalarından; üç faz gerilim, üç faz akım ve bir nötr sinyali alacak şekilde monte edilmektedir. İzleme cihazı ölçüm noktalarındaki trafo çıkışına bağlanarak ölçüm işlemlerini gerçekleştirmektedir. Gerilim ölçümünde, kullanımı oldukça kolay olan özel gerilim kısıkaçları Şekil 5(b)'de gösterildiği gibi ait oldukları her bir fazın barasına bağlanmaktadır. Akım bağlantısı, Şekil 5 (c)'de gösterildiği gibi iletken üzerinden geçen akımın yönü dikkate alınarak akım klamplarının iletkeni çevreleyecek şekilde bağlanması ile gerçekleştirilmektedir. Çalışmada kullanılan akım klampları, özellikle şebekeye montajının kolay olması ve devreyi kesmeden monte edilebilmesi açısından oldukça kullanışlıdır.



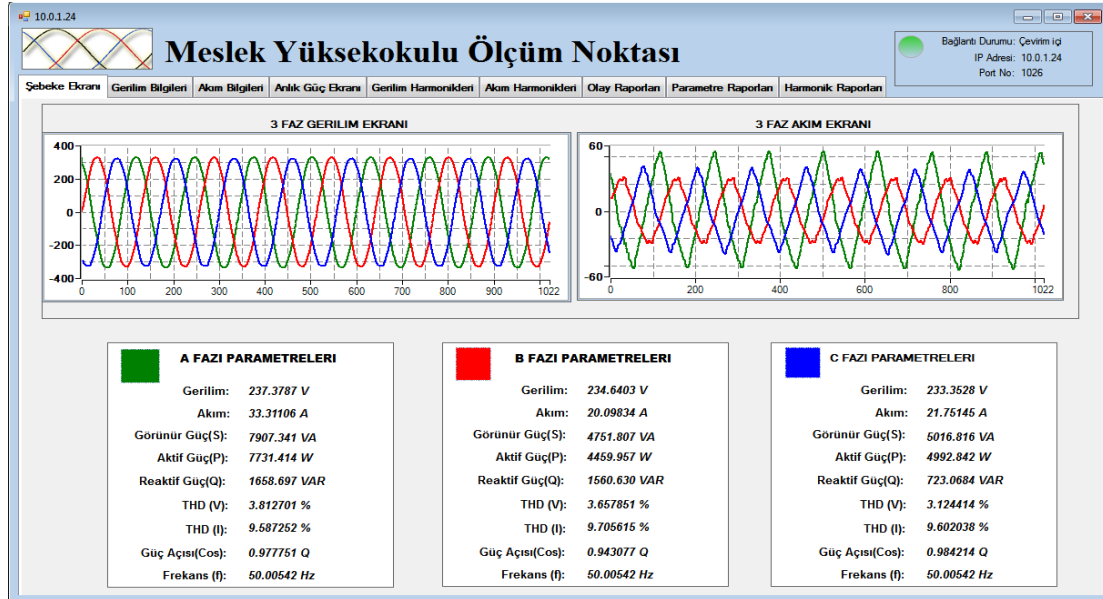
(a) İzleme cihazının ölçüm noktasına bağlantı şekli.



(b) Gerilim bağlantısı.

(c) Akım bağlantısı.

Şekil 5. İzleme sisteminin ölçüm noktalarına bağlantı yapısı.



Şekil 6. Enerji izleme cihazının ölçüm merkezinde elde ettiği parametrelerin otomasyon çevirmişçi ile izlenmesi.

2.5 Saha Uygulaması

İzleme cihazının sahada uygulamasını göstermek için Munzur Üniversitesi Meslek Yüksekokulu trafo merkezi seçilmiştir. Bu ölçüm noktasına yerleştirilen izleme cihazı ile elde edilen gerçek zamanlı elektrik enerji

parametreleri UDP/IP haberleşme protokolü ile anlık olarak izleme merkezindeki bilgisayara gönderilmiştir. Şekil 5(a)'da izleme cihazının Munzur Üniversitesi Meslek Yüksekokulu binasındaki trafo merkezine kurulmuş görüntüsü verilmiştir.

Ölçüm noktalarından elde edilen parametrelerin görüntülenmesi için grafiksel bir arayüz ortamı hazırlanmıştır. Bu program aracılığıyla ölçüm noktasındaki enerji parametreleri anlık olarak izlenebilmektedir. Şekil 6'da, izleme cihazından anlık olarak elde edilen ölçüm parametrelerinin izleme merkezindeki otomasyon yazılımı ile görüntülenmesine ait bir görüntü verilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, elektrik enerji kalitesini standartlara uygun ve sürekli bir şekilde izlemek için çevrimiçi çalışabilen yeni bir izleme cihazı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu izleme cihazına ait donanımsal ve yazılımsal çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Donanımsal çalışmalar altında yeni nesil bir enerji kalitesi izleme sisteminin tasarımı yapılmıştır. Bu izleme sistemi, ölçüm noktalarına kolayca monte edilerek bu noktalardan enerji kalitesi verilerinin kesintisiz bir şekilde elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, bünyesinde yer alan sinyal işleme algoritmaları ile sinyallere ait analizleri gerçek zamanlı olarak gerçekleştirebilmektedir. Tasarımı yapılan yeni nesil enerji kalitesi sisteminde, son zamanlarda sinyal işleme alanında ön plana çıkan FPGA teknolojisi kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, geliştirilen izleme cihazının elektrik enerji kalitesinin izlenmesine gereksinim duyulan alanlarda kullanılabilecek bir yapıda olduğu görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmaya temel oluşturan doktora tezi, STZ0320-12 numaralı SANTEZ projesi kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Türkiye Cumhuriyeti Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

1. Khadse, C. B., Chaudhari, M. A., Borghate, V. B., (2016). Conjugate gradient back-propagation based artificial neural network for real time power quality assessment, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, **82**, 197-206.

2. Swain S. D., Ray, P. K., Mohanty, K. B., (2017). Improvement of power quality using a robust hybrid series active power filter, *IEEE Transactions on Power Electronics*, **32**, 3490-3498.
3. Erişti, H., Yıldırım, Ö., Erişti, B., Demir, Y., (2014). Automatic recognition system of underlying causes of power quality disturbances based on s-transform and extreme learning machine, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, **61**, 553-562.
4. Bubshait, A. S., Mortezaei, A., Simoes, M., Busarello, T., (2017). Power Quality Enhancement for a Grid Connected Wind Turbine Energy System, *IEEE Transactions on Industry Applications*, **53**, 2495-2505.
5. Yıldırım, Ö., Erişti, B., Erişti, H., Ünal, S., Erol, Y., Demir, Y., (2018). Fpga-Based Online Power Quality Monitoring System For Electrical Distribution Network, *Measurement*, **121**, 109-121.
6. Zooba, A.F., Canteli, M.M., Bansal, R., (2011). Power quality: monitoring, analysis and enhancement, *Intech Open Access*, Croatia, 2011.
7. Won, D.J, Chung, H.Y., Kim, J.M, Moon, S.H., Se, J.C., Cho, J.W., (2002). Development of power quality monitoring system with central processing scheme, *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, **18**, 915-919.
8. Qiu, B., and Gooi, H.B., (2000). Web-based SCADA display systems (WSDS) for access via internet, *IEEE Transactions on Power Systems*, **15**(2), 681 – 686.
9. Atalık, T., (2007). İnternet üzerinden haberleşen güç kalitesi monitör cihazı donanım tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
10. Akın, S., (2009). Elektrik enerji kalitesi olayları için gömülü sistem uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir*.
11. Divan, D., Luckjiff, G., Brumsickle, W., (2002). I-GridTM: Infrastructure for nationwide real-time power monitoring, *IEEE 37th IAS Annual Meeting*, 3 October 2002, 1740-1745.
12. Lee, R. P. K, Lai, L.L, Tse, N., (2002). A web-based multi-channel power quality monitoring system for a large network, *Fifth International Conference Power System Managment and Control*, 17-19 April, 112-117.
13. Xu, W., Xu, G., Xi, Z., Zhang, C., (2012). Distributed power quality monitoring system based on ethercat, *China International Conference on Electricity Distribution*, 5-6 Sept, Shanghai.