



Akıllı Şebekeler için Kablosuz Enerji İzleme Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Yasin KABALCI^{1,*}, Ersan KABALCI²

¹ Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde.

² Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 50300, Nevşehir.

Öz

Ölçüm ve uzaktan izleme işlemleri akıllı şebekeler için oldukça önemli olan işlemlerdir. Bu çalışmada akıllı şebekeler için akıllı ölçüm sistemi ve kablosuz uzaktan izleme sistemi tasarımı ve uygulaması önerilmektedir. Tasarımı gerçekleştirilen ölçüm sistemi doğru akım (DA) gerilim, DA akım ve güç büyüklüklerinin ölçülmesini sağlamaktadır. Ölçülen büyüklüklerin kablosuz iletme uygun formata dönüştürülebilmesi için ise mikrodenetleyici tabanlı işaret işleme sistemi tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ardından ölçümü gerçekleştirilen akım ve gerilim büyüklükleri kablosuz iletişim altyapısı kullanılarak enerji izleme merkezi adı verilen alıcı birime iletilmiştir. İletişim altyapısı olarak düşük maliyetli olmaları, programlanmalarının kolay olması ve düşük güç tüketimleri gibi avantajlarından dolayı ZigBee protokolünün kullanımı tercih edilmiştir. Bununla birlikte enerji izleme merkezine gelen bilgilerin gerçek zamanlı izlenebilmesi için Visual Studio.Net yazılımında C# programlama dili kullanılarak ara yüz tasarımı da gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar, önerilen gerçek zamanlı izleme ve akıllı ölçüm sisteminin güneş panellerinin akım, gerilim ve güç büyüklüklerinin etkin şekilde takip edilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 08/03/2017

Kabul: 22/03/2017

Anahtar Kelimeler

Güneş paneli
ZigBee teknolojisi
Sensör
Akıllı ölçüm
Ölçüm cihazı

Keywords

Photovoltaic panels
ZigBee technology
Sensor
Smart metering
Measurement device

Design and Implementation of Wireless Energy Monitoring System for Smart Grids

Abstract

Measurement and remote monitoring process are very important processes for smart grids. In this study, design and implementation of smart metering system and remote monitoring system for smart grids are proposed. Designed smart metering system is capable of measuring quantities of DC current, DC voltage and power values. In order to convert measured quantities into suitable formats for transmitting wirelessly, a microcontroller-based signal processing system is designed and is implemented. Afterwards, measured voltage and current values are transmitted to receiver unit entitled as energy monitoring center by utilizing wireless communication methods. The communication infrastructure of the proposed system is conducted by ZigBee protocol due to its offered advantages such as being low cost, easy programming and low power consumption. Moreover, an interface is designed by C# programming language in Visual Studio.Net to monitor received information by energy monitoring center in a real time. The conducted studies showed that the proposed smart metering and remote monitoring system could be efficiently utilized to observe current, voltage and power values of photovoltaic panels.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Akıllı şebeke kavramı son yıllarda geleneksel elektrik şebekelerine dahil edilen iletişim ve kontrol yeteneklerini tanımlamak için kullanılan yeni ve popüler bir kavramdır. Akıllı şebekelerin, geleneksel elektrik şebekelerine başlıca katkısı enerji ve iletişim işaretlerinin çift yönlü akışını sağlamalarıdır. Akıllı şebekelerinin kontrol ve iletişim yapısı enerji üretim, iletim, dağıtım ve kullanıcı kısmının herhangi birisinde meydana gelen değişikliklere hemen tepki verebilmelerini mümkün kılmaktadır. Bu yetenek,

*İletişim yazarı, e-mail: yasinkabalcı@ohu.edu.tr

yapılarındaki sensör ağları ve tüm şebekeyi gözlemleyebiliyor olmalarındandır. Tümleşik denetleyiciler her bir enerji istasyonu, transformatör, konvertör, invertör, jeneratör gibi enerji dönüşüm birimleri ile anında iletişim kurabilmektedir. Ayrıca böyle bir gözlem birimi, enerji akış durumlarını yönetmek için kaynak ve yük tarafı taleplerini belirlemeyi de sağlayabilmektedir [1,2]. Akıllı şebekelerin teşvik edici bir diğer avantajı ise geleneksel şebekenin merkezi olması ve mevcut yapısının eskimiş olmasından kaynaklanan problemleridir [3,4-6].

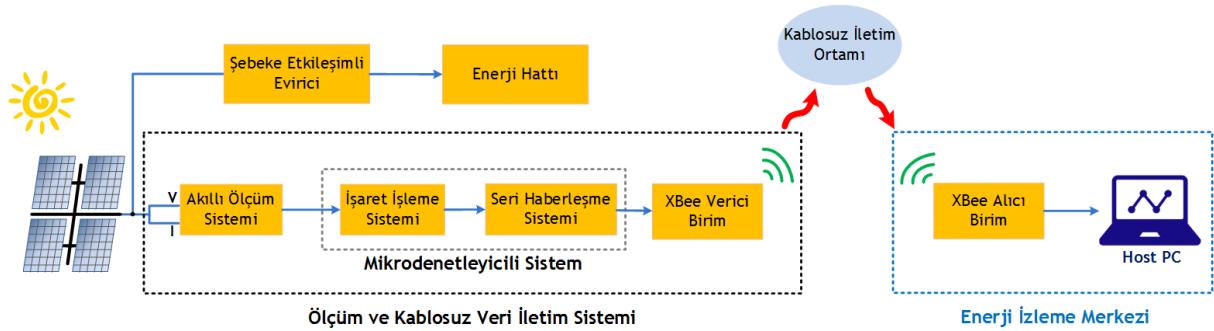
Akıllı şebekeler konusundaki ilk araştırmalar, üretim merkezleri ile müşterilerin etkileşimi üzerine olan gelecek enerji ağlarının planlanması ve tasarlanması aşamalarını kapsamıştır. Ekonomik yönlerinin yanı sıra akıllı şebekelerin güvenliği, sürdürülebilirliği, verimliliği ve kararlılığı da göz önünde bulundurulmadır [7,8]. Son zamanlardaki akıllı şebeke çalışmaları otomatik gerilim ve frekans kontrolü, eğim (droop) kontrolü, aktif/reaktif güç kontrolü, talep tarafı yönetimi, mikro şebeke entegrasyonu, siber güvenli iletişim ve işlemsel zeka yöntemleridir [3,9]. Akıllı şebeke kavramı altyapı, yönetim ve koruma olmak üzere üç ana başlık ile analiz edilebilir. Akıllı şebekelerin altyapısı akıllı üretimin en yüksek payını, iletim ve dağıtım sistemlerini, ölçüm, izleme ve iletişim bölümlerini içermektedir. Alternatif enerji kaynaklarının büyük kısmı, mikro şebekeler ve temiz enerji kaynakları altyapı sınıfına dahildir [1,10]. İleri güç elektroniği, algılama ve ölçüm teknolojileri de akıllı şebekelerin gelişimini güç yönetimi ve talep kontrolü açısından sağlayan altyapı konularıdır. Adaptif iletişim ve akıllı kontrol olanakları hızlı, doğru ve gerçek zamanlı kontrole izin vermektedir [10,11]. Akıllı altyapı, enerjisine ve iletişim altyapısına bağlı olarak çift yönlü enerji ve veri akışı sağlayabilmektedir. Diğer taraftan ise tek yönlü geleneksel elektrik şebekesi, enerjinin üretilmesi ve sadece yük tarafına iletim hatları ile iletilmesi temeli üzerine kuruludur. Bununla birlikte akıllı şebekeler, enerji üretip mikro üretim kaynağı olarak ana şebekede iki yönlü enerji akışı sağlamaya izin vermektedir. Bu mikro şebekeler dizel jeneratörler gibi geleneksel sistemler olabileceği gibi rüzgar, güneş, yakıt pili sistemleri gibi alternatif kaynaklar da olabilmektedir. Akıllı iletişim altyapısı ise akıllı şebekelerin tüm üretim ve tüketim birimlerinin ölçüm ve enerji izleme amaçlarını kapsamaktadır [1,10]. Akıllı yönetim sistemleri enerji verimliliği, talep profili, enerji kaybının önlenmesi, maliyet ve fiyatlandırma, çeşitli optimizasyon süreçleri, makine öğrenmesi ve kontrol servisleri gibi bazı amaçları gerektirir. Akıllı iletişim ve zeki alt sistemler ise alt yapı bileşenleri olmalarının yanı sıra yönetim sistemleri ile de ilgilidir. Bu yüzden güvenilirlik, tahmin, lokalizasyon ve güvenlik konularını kapsayan akıllı koruma sistemleri akıllı şebekelerin en güncel araştırma alanlarıdır. Ölçüm ve enerji izleme gereksinimleri bu perspektifte değerlendirilmektedir. Akıllı ölçüm sistemleri önceden tanımlanmış aralıklarda enerji tüketimi ve diğer ilgili fatura parametrelerini ölçmektedirler. Ölçülen veriler iletişim protokollerine göre modüle edilirler ve yönetim sistemine kablolu veya kablosuz ağlar üzerinden iletilirler. Gelişmiş ölçme altyapısı (GÖA-advanced metering infrastructure, AMI), geleneksel otomatik sayaç okuma sistemi (OSOS-automated meter reading, AMR) ve otomatik ölçüm yönetim (automatic meter management, AMM) sistemlerinin gelişmiş türü olarak kabul edilmektedir. GÖA, akıllı sayaçlar (smart meters, SM), ev alan ağı (home area networks, HAN), geniş alan ağı (wide area networks, WAN) ve ağ komşuları (neighborhood networks) gibi çeşitli gelişmiş teknolojileri içermektedir [3,9,10].

Akıllı şebekelerin gelişimi sadece akıllı enerji altyapısı ve güç elektroniği tarafından değil aynı zamanda yüksek seviyeli bilgi altyapısı, ölçüm, yaygın bir iletişim altyapısı sağlayan enerji izleme birimleri tarafından da desteklenmektedir. Bu nedenle çift yönlü akış enerjinin yanı sıra iletişim sistemlerine de bağlıdır. Dolayısıyla akıllı şebekeler enerji üretim, iletim, dağıtım ve tüketim birimleri ile ilintili dağıtılmış bilgi sistemleri ile birlikte kurulmalıdır. Akıllı ölçüm sistemleri sensörler, ağ yapıları ve faz ölçüm birimlerine ihtiyaç duymaktadır. Akıllı şebekelerin en önemli başarılarından birisi her bir kullanıcının güç kalitesi ve enerji tüketim verilerinin alınması, ölçülmesi ve analizini gerçekleştirmek için kullanılan GÖA sistemleridir [3]. Ölçüm ve enerji izleme sistemleri güvenilirlik ve hizmet kalitesini sürdürebilmek için hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle, tek fazlı elektrik şebekeleri için bir GÖA sisteminin tasarımı ve uygulaması bu çalışmada sunulmaktadır. Tasarlanan GÖA sistemi, akıllı şebeke yönetim sisteminin ölçüm, izleme ve iletişim bileşenlerini içermektedir. Akıllı ölçüm sistemi, tek fazlı elektrik şebekelerinde kullanılabilecek şekilde tasarlanmış olup, bu çalışmada özel olarak güneş enerji sistemleri için test edilmiştir. Akıllı ölçüm sistemi güneş panelinin çıkış akım ve gerilim değerlerini ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Akıllı ölçüm sistemi ile algılanan akım ve gerilim değerleri kablosuz iletişim yöntemi ile enerji izleme birimine aktarılmaktadır. İletişim altyapısı ZigBee protokolüne bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte ölçüm verilerinin uzaktan izlenebilmesini sağlayacak bir arayüz yazılımı tasarlanmıştır. Enerji izleme yazılımı Visual Studio.Net programında C# programlama dili

kullanılarak oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen yazılım ile anlık enerji takibi yapılabildiği gibi güneş panellerinin saatlik enerji üretim eğrileri de izlenebilmektedir.

2. KABLOSUZ ENERJİ İZLEME SİSTEMİ (WIRELESS ENERGY MONITORING SYSTEM)

Uzaktan izleme ve akıllı ölçme özelliklerine sahip GÖA sisteminin blok diyagramı Şekil 1'de görülmektedir. Blok diyagramdan görülebileceği gibi güneş panellerinin ürettiği elektrik enerjisinin akım ve gerilim değerlerinin ölçülmesi sağlanmaktadır. Bu ölçüm işlemlerinin gerçekleştirilmesi için yazarlar tarafından tasarlanmış olan ölçüm sistemleri kullanılmaktadır. Kullanılan ölçüm sistemleri CASR 25-NP akım algılayıcısı temelli bir sistem olup, bu sistemin doğruluk, verimlilik ve maliyet gibi üstünlükleri yazarlar tarafından daha önceki bilimsel çalışmalarda araştırılmıştır [12,13]. Akım ve gerilim ölçüm işlemleri tamamlandıktan sonra elde edilen analog işaret kalibrasyon ve analog/sayısal dönüşüm (ASD) işlemlerini gerçekleştirecek olan devre yapısına uygulanmaktadır. Kalibrasyon ve ASD işlemleri PIC 18F4620 mikrodenetleyicisi kullanan ve yazarlar tarafından tasarlanan elektronik kart ile gerçekleştirilmektedir. Sayısal işarete dönüştürülen ölçüm verileri, mikrodenetleyiciden XBee verici modüle aktarılmaktadır. XBee modüller, ZigBee iletişim protokolünü kullanan kablosuz iletişim modülleridir. XBee modüllere aktarılan sayısal ölçüm verileri kablosuz iletişim vasıtasıyla enerji izleme birimine gönderilmektedir. Enerji izleme birimindeki alıcı XBee modül ise aldığı ölçüm verilerini enerji izleme yazılımına iletmektedir. Enerji izleme yazılımında ise alınan veriler öncelikle düzenlenmekte ardından hem göstergelere aktarılmakta hem de veri tabanına kaydedilmektedir.



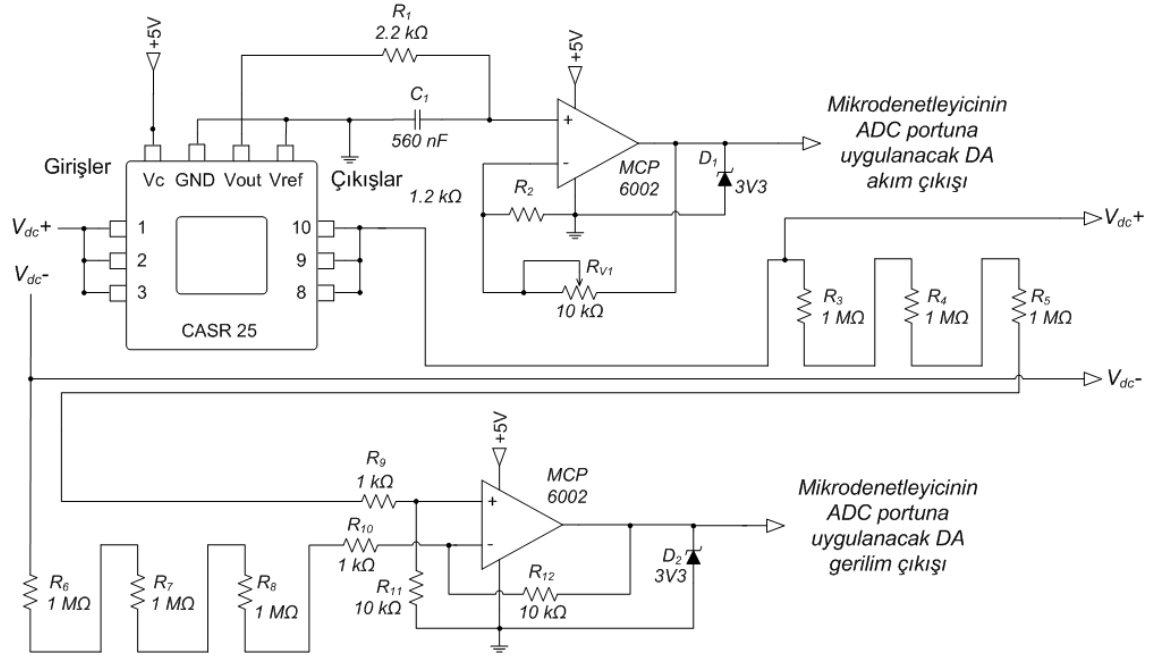
Şekil 1. Akıllı şebekeler için tasarlanan enerji izleme sistemi.

2.1. Akıllı Ölçüm Sistemi (Smart Metering System)

Akıllı ölçüm sistemini oluşturan akım ve gerilim algılama sistemine ait devre yapısının elektriksel şeması Şekil 2'de verilmektedir. Tasarlanan algılama sistemini oluşturan ana parçalar CASR25-NP akım sensörü [14] ve MCP6002 işlemsel yükselteçidir [15]. Tasarımda kullanılan sensör alternatif akım (AA), doğru akım (DA) ve darbeli işaretleri algılayabilme özelliğine sahiptir. CASR25-NP akım sensörünün önemli bir diğer özelliği ise giriş ve çıkış terminaleri arasında 4,1kV'a kadar galvanik izolasyona sahip olmasıdır. Kullanılan MCP6002 işlemsel yükselteci ise 4kV'a kadar elektrostatik koruma gerilim sınırına sahiptir. Bu işlemsel yükselteç, bir kılıf içerisinde iki bağımsız devreye sahip olup 1,8V ile 6V aralığı gibi geniş bir besleme gerilimi aralığında çalıştırılabilmektedir. Tasarlanan ölçüm sisteminin en önemli özelliklerinden birisi; Hall etkili sensörlerin ihtiyaç duyduğu $\pm 15V$ simetrik besleme gerilimi yerine sadece +5V'luk besleme gerilimi ile tüm sistemin çalıştırılabilesidir. Yazarlar tarafından tasarlanan ölçüm sisteminin doğruluk, verimlilik ve maliyet açılarından üstünlükler sağladığı bilimsel olarak araştırılmış ve doğrulanmıştır [12,13].

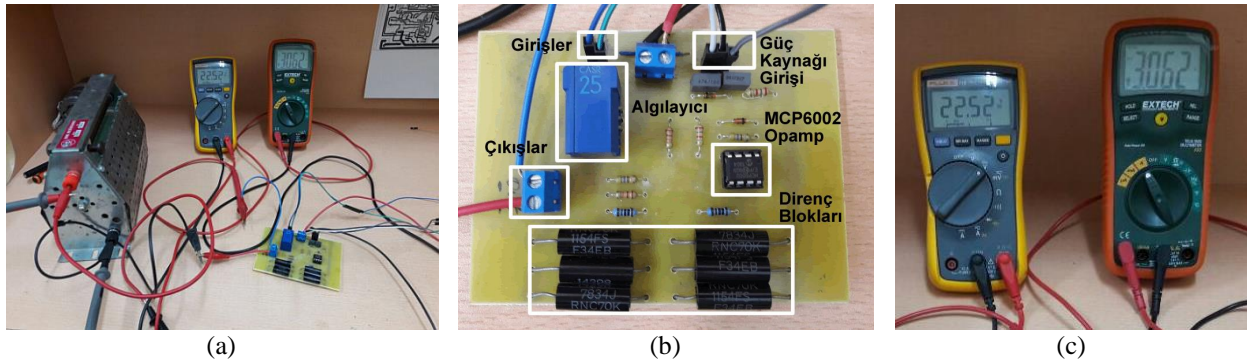
Tasarlanan ölçüm sisteminin elektriksel şeması incelendiğinde, ölçüm sisteminin hat akım ve gerilim değerlerini pozitif terminal üzerinden gerçekleştirdiği görülmektedir. Elektriksel şemada DA hattın pozitif terminali V_{DC+} olarak ifade edilmektedir. Güç ve işaret bölümleri arasında ayırım yapılabilmesi için akım algılayıcısının negatif terminali ile besleme kaynağının negatif terminali arasında fiziksel bir bağlantı gerçekleştirilmemiştir. Algılama işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için akım ve gerilim büyüklükleri doğrudan CASR25-NP algılayıcısının giriş terminallerine uygulanmaktadır. Bu algılayıcı aynı zamanda giriş bağlantılarında değişiklik yapılarak ölçüm aralığının ayarlanabilmesine de imkan tanımaktadır. Eğer algılayıcının giriş ve çıkış uçları kendi arasında kısa devre edilerek bir ölçüm sistemi oluşturulursa bu

durumda 25A üst değerine kadar algılama gerçekleştirilebilmektedir. Algılama işlemi gerçekleştirildikten sonra algılayıcı çıkışı bir diferansiyel yükselteç devresine uygulanarak ölçüm sonucunun değerinin elde edilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2. Tasarımı gerçekleştirilen akıllı ölçüm sisteminin elektriksel şeması [13].

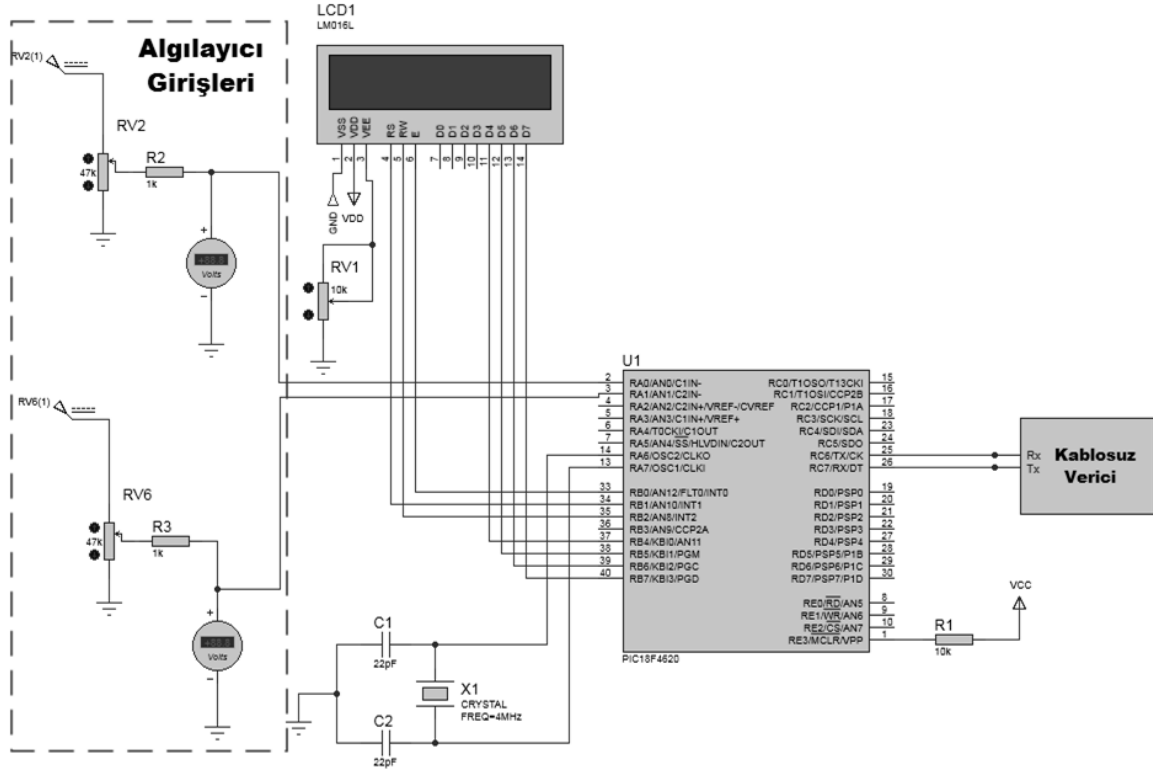
Şekil 2’de sunulan elektriksel şemanın alt kısmı gerilim algılama sistemini içermektedir. CASR25-NP algılayıcısı ile hem akım hem de gerilim algılama işleminin gerçekleştirilebilmesi için akım işaretinin direnç blokları kullanılarak gerilim işaretine dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Gerilim algılama kısmında da algılanan DA gerilim değeri doğrudan bir diferansiyel yükselteç devresine uygulanmaktadır. Tasarımda kullanılan R_{v1} potansiyometresi ile ölçüm sisteminin dönüştürme oranı ayarlanabilmektedir. Bu tasarımda dönüştürme oranları 1V için 7,24mV, 1A için ise 153mV olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte tasarlanan ölçüm sisteminin farklı bir ölçüm sistemi ile maliyet, avantaj ve dezavantaj açısından karşılaştırılmış olup, önerilen sistemin avantajları [12] numaralı çalışma ile doğrulanmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen akıllı ölçüm sisteminin sağladığı iki önemli avantaj bulunmaktadır. Bu avantajlardan birincisi ölçüm sisteminin sadece tek bir +5V’luk güç kaynağı ile çalışabilmesi iken ikinci önemli avantaj çok düşük maliyetli bir ölçüm sistemi olmasıdır. Akım ve gerilim algılama sisteminin tasarımı doğrulandıktan sonra sistemin baskı devresi de gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan ölçüm sisteminin pratik uygulaması ve test işlemlerine ait görüntüler Şekil 3 ile verilmektedir.



Şekil 3. Akıllı ölçüm sisteminin uygulama devresi ve test işlemleri, (a) Ölçüm sisteminin test edilmesi, (b) ölçüm sisteminin pratik devresi, (c) Test ölçümü sonuçları.

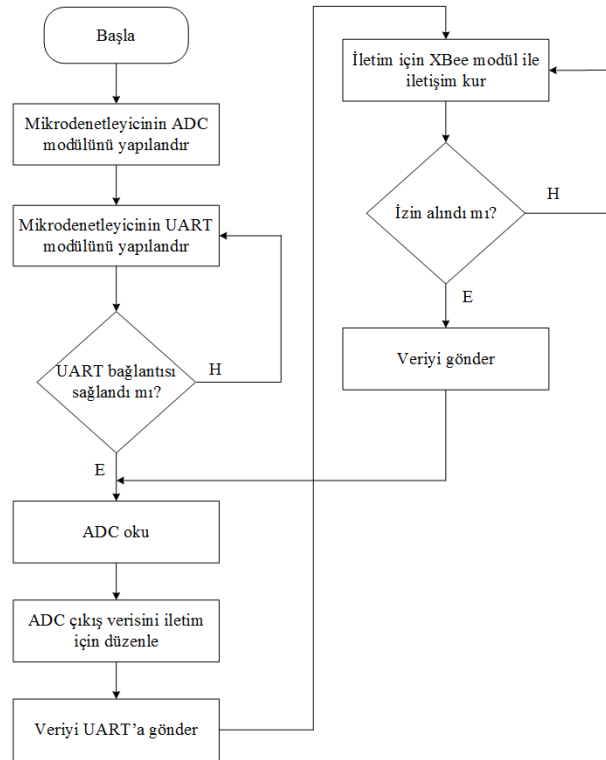
2.2. İşaret İşleme Sistemi (Signal Processing System)

Akıllı ölçüm sisteminden gelen işaretlerin düzenlenmesi, sayısal işarete dönüştürülmesi ve iletişim sistemine aktarımının sağlanabilmesi için bir işaret işleme sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin pratik olarak gerçekleştirilmesinden önce, akıllı ölçüm sistemine benzer şekilde, ilk olarak simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İşaret işleme sisteminin tasarımının gerçekleştirilmesi ve analiz edilmesi aşamasında Proteus ISIS simülasyon programı kullanılmıştır. Simülasyon programında oluşturulan işaret işleme sisteminin görüntüsü Şekil 4 ile verilmektedir.

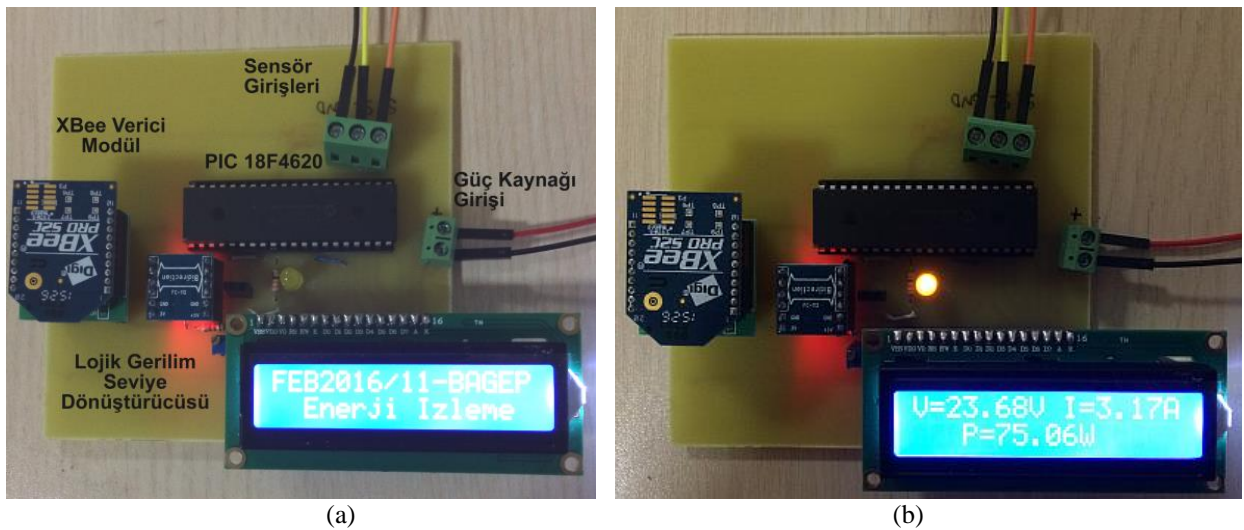


Şekil 4. İşaret işleme sisteminin tasarım görüntüsü.

İşaret işleme sisteminin işlem adımları öncelikli olarak akıllı ölçüm sisteminden gelen işaretlerin sayısal işaretlere dönüştürülmesi, edinilen sayısal işaretlerin düzenlenmesi ve mikrodenetleyicinin evrensel asenkron alıcı/verici (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART) birimi kullanılarak ölçüm verilerinin iletişim modülüne aktarımının sağlanmasıdır. Tasarlanan işaret işleme sisteminde bahsedilen bu işlemlerin gerçekleştirilmesinde Microchip firmasının 18F4620 mikrodenetleyicisinin [16] kullanımı tercih edilmiştir. Bu mikrodenetleyicinin tercih edilme sebepleri, 10 bitlik 13 kanallı ASD modülü içermesi, 10 MIPS işlemci hızı sunması, 3986 Bayt geçici hafızaya sahip olmasıdır. Akıllı ölçüm sisteminden edinilen akım ve gerilim bilgileri öncelikli olarak mikrodenetleyicinin ASD terminallerine uygulanmaktadır. Mikrodenetleyicinin ASD portuna gelen akım ve gerilim ölçüm değerleri mikrodenetleyici tarafından sayısal işarete dönüştürülüp belleğe kaydedilmektedir. Mikrodenetleyicinin belleğine gelen sayısal işaret formatına dönüştürülmüş ölçüm verileri uygun şekilde düzenlenerek (paralel veri türünden seri veri türüne dönüştürülerek) mikrodenetleyicinin UART birimine aktarılmaktadır. XBee verici modül ile mikrodenetleyicinin UART portları ilişkilendirilmiş olduğundan, UART birimine gelen işlenmiş ölçüm verileri doğrudan kablosuz verici birime aktarılmaktadır. Bu işlemleri gerçekleştirebilmesi için hazırlanan mikrodenetleyici yazılımının akış diyagramı Şekil 5'te görülmektedir. Tasarlanan sistemde iletişim altyapısı olarak ZigBee protokolünü kullanan XBee modüller kullanılmakta olup, kullanılan modül türü PCB antenli XBee Pro S2C modüllerdir. Tasarlanan işaret işleme sisteminin gerçekleştirilen simülasyon ve analizler ile doğruluğunun belirlenmesinin ardından sistemin pratik uygulaması gerçekleştirilmiş olup, pratik devre yapısı Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 5. İşaret işleme sisteminde kullanılan mikrodenetleyici için oluşturulan yazılımın akış diyagramı.



Şekil 6. İşaret işleme sisteminin pratik gerçekleştirilmiş hali, (a) Açılış ekran görüntüsü, (b) Örnek bir ölçüm ekranı.

3. UZAKTAN İZLEME YAZILIMI TASARIMI (DESIGN OF REMOTE MONITORING SOFTWARE)

Güneş panellerinin akım, gerilim ve elektriksel güç büyüklüklerinin takip edilebilmesi için tasarlanan uzaktan izleme yazılımı bu bölümde açıklanmaktadır. Enerji izleme merkezi adı verilen alıcı birime ölçüm verilerinin kablosuz iletişim yöntemi ile aktarımı sağlanmaktadır. Enerji izleme merkezi verici birime benzer şekilde bir PCB antenli XBee Pro S2C modül içermektedir. İletişim sistemi koordinatörü olarak ayarlanan bu modül görüntüleme ve veri depolama işlemlerinin gerçekleştirileceği bilgisayara USB portundan bağlı olarak çalışmaktadır. Alıcı XBee modülü PCB anteninden aldığı işaretlerden mesaj işaretini elde edebilmek için öncelikle alıcı birimde gerçekleştirilen kodlama ve modülasyon işlemlerinin tersi olan kod çözme ve demodülasyon işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bu işlemleri gerçekleştirdikten

sonra elde ettiği ölçüm verilerini içeren mesaj işaretini USB portu üzerinden bilgisayara aktarmaktadır. Bilgisayara gelen bu işaretlerden ölçüm verilerinin elde edilebilmesi ve gerçek zamanlı izleme işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için Microsoft Visual Studio.Net yazılımında C# programlama dili kullanılarak bir yazılım tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yazılım iki önemli işlem gerçekleştirmektedir. Bu işlemlerden birincisi yerel bilgisayara alıcı XBee modülden gelen verilerin depolanmasıdır. İkinci işlem ise alınan bu verilerin bir veri tabanına kaydedilmesi işlemidir. Alınan verilerin veri tabanına kayıt işleminin gerçekleştirilebilmesi için Microsoft Access yazılımının kullanımı tercih edilmiştir. Ayrıca oluşturulan veri tabanı ile gerçek zamanlı uzaktan izleme yazılımı arasında bağlantı kurularak iki sistemin eş zamanlı çalışması sağlanmıştır. Veri tabanına kayıt edilmiş olan örnek akım, gerilim ve güç ölçüm değerleri Şekil 7'deki veri tabanı ekranında görülmektedir. Ölçüm verilerinin kayıt işlemi gerçekleştirilirken aynı zamanda her ölçüm verisi için tarih ve zaman etiketi de eklenmektedir. Gerçek zamanlı uzaktan izleme yazılımının ekran görüntüsü ise Şekil 8 ile verilmektedir.

| d_day | d_hour | pv_voltage | pv_current | pv_power |
|------------|----------|------------|------------|----------|
| 01.01.2017 | 11:00:00 | 23,350 | 4,110 | 96,120 |
| 01.01.2017 | 11:00:10 | 24,500 | 4,000 | 98,190 |
| 01.01.2017 | 11:00:20 | 23,190 | 3,450 | 80,180 |
| 01.01.2017 | 11:00:30 | 22,750 | 2,600 | 59,350 |
| 01.01.2017 | 11:00:40 | 24,430 | 2,610 | 63,830 |
| 01.01.2017 | 11:00:50 | 26,240 | 3,030 | 79,770 |
| 01.01.2017 | 11:01:00 | 25,480 | 4,020 | 102,580 |
| 01.01.2017 | 11:01:10 | 23,610 | 4,020 | 95,070 |
| 01.01.2017 | 11:01:20 | 24,390 | 2,870 | 70,210 |
| 01.01.2017 | 11:01:30 | 25,000 | 2,680 | 67,170 |
| 01.01.2017 | 11:01:40 | 23,350 | 3,550 | 82,980 |
| 01.01.2017 | 11:01:50 | 22,590 | 3,900 | 88,220 |
| 01.01.2017 | 11:02:00 | 23,260 | 3,370 | 78,450 |
| 01.01.2017 | 11:02:10 | 24,170 | 2,620 | 63,500 |
| 01.01.2017 | 11:02:20 | 25,630 | 2,960 | 76,120 |
| 01.01.2017 | 11:02:30 | 25,600 | 3,360 | 86,150 |
| 01.01.2017 | 11:02:40 | 25,380 | 3,510 | 89,300 |
| 01.01.2017 | 11:02:50 | 22,760 | 4,090 | 93,280 |
| 01.01.2017 | 11:03:00 | 24,970 | 4,070 | 101,630 |
| 01.01.2017 | 11:03:10 | 24,350 | 2,990 | 73,000 |
| 01.01.2017 | 11:03:20 | 24,140 | 3,460 | 83,640 |
| 01.01.2017 | 11:03:30 | 25,240 | 4,130 | 104,260 |
| 01.01.2017 | 11:03:40 | 24,420 | 3,150 | 76,990 |
| 01.01.2017 | 11:03:50 | 22,580 | 2,910 | 65,900 |
| 01.01.2017 | 11:04:00 | 25,990 | 2,990 | 77,840 |
| 01.01.2017 | 11:04:10 | 24,670 | 2,410 | 59,480 |
| 01.01.2017 | 11:04:20 | 23,230 | 2,870 | 66,800 |

Şekil 7. Veri tabanına kaydedilmiş günlük ölçüm verileri için örnek ekran görüntüsü.



Şekil 8. Tasarlanan uzaktan izleme yazılımının ara yüzü.

İncelenen sistemde kullanılan güneş paneli 250W güce sahip olup parametrik değerleri ise 29.98V maksimum güç gerilimi, 8.34A maksimum güç akımı, 37.41V açık devre gerilimi ve 8.79A kısa devre akımı şeklindedir. Tasarlanan uzaktan izleme ara yüzü Şekil 8’de görüldüğü gibi ölçülen değerleri iki farklı türde gösterebilmektedir. Bu görüntüleme yöntemlerinden birincisi ölçülen değerleri göstergeler kullanarak, ikincisi ise grafiksel değişimler şeklinde göstermek için tasarlanmıştır. Ara yüzde kullanılan göstergeler anlık ölçüm verilerinin gerçek zamanlı değişimleri için kullanılırken, grafiksel gösterim güneş panelinin saatlik ürettiği gücün değişimini vermektedir. Grafiksel değişimin çiziminde veri tabanına kaydedilmiş ölçüm verileri kullanılmaktadır.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada akıllı şebekeler için kullanılabilecek olan akıllı ölçüm sistemi ve gerçek zamanlı uzaktan izleme sisteminin tasarım ve uygulamasının gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Tasarlanan akıllı ölçüm sistemi DA akım ve gerilim büyüklüklerinin çok düşük hata ile algılanmasını sağlamaktadır. Tasarlanan ölçüm sisteminin Hall etkili sensör kullanan ölçüm sistemlerine göre maliyet ve tasarım açısından önemli avantajları bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ölçüm sisteminin üstünlükleri sadece tek bir güç kaynağı ile çalışabilmesi ve çok düşük maliyetli olmasıdır. Ölçüm sisteminden alınan verilerin işlenebilmesi ve iletişim modüllerine uygun formatla aktarılabilmesi için mikrodenetleyicili bir işaret işleme sistemi tasarımı da gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistemin iletişim altyapısı ZigBee iletişim protokolünü kullanan XBee iletişim modülleri ile gerçekleştirilmiştir. İletişim altyapısının oluşturulmasında özellikle bu modüllerin tercih edilme sebepleri düşük maliyetli olmaları, programlanmalarının kolay olması ve düşük güç tüketimleri şeklinde sıralanabilir. Bununla birlikte enerji izleme merkezi adı verilen ve alıcı birimi içeren uzak noktadaki birim için Visual Studio.Net programı ve C# programlama dili kullanılarak bir ara yüz tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar ile önerilen gerçek zamanlı izleme ve akıllı ölçüm sistemi, güneş panellerinin akım, gerilim ve güç büyüklüklerinin etkin şekilde takip edilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu araştırma Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Proje No: FEB 2016/11-BAGEP, 2016.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] X. Fang, S. Misra, G. Xue, D. Yang, Smart grid-the new and improved power grid: A survey. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 14: 4 (2012) 944-980.
- [2] R. DeBlasio, C. Tom, Standards for the smart grid. IEEE Energy 2030 Conference (ENERGY), Abu Dhabi, pp. 1-7, 4-5 Nov. 2008.
- [3] Y. Kabalci, A survey on smart metering and smart grid communication. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57: 5 (2016) 302-318.
- [4] S. Collier, Ten steps to a smarter grid. IEEE Industry Applications Magazine, 16: 2 (2010) 62-68.
- [5] C.H. Lo, N. Ansari, The progressive smart grid system from both power and communications aspects. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 14: 3 (2012) 799-821.
- [6] M. Kolhe, Smart grid: charting a new energy future: research, development and demonstration. The Electricity Journal, 25 (2012) 88-93.
- [7] A. Ipakchi, F. Albuyeh, Grid of the future. IEEE Power and Energy Magazine, 7 (2009) 52-62.
- [8] M. Goulden, B. Bedwell, S. Rennick-Egglestone, T. Rodden, A. Spence, Smart grids, smart users? The role of the user in demand side management. Energy Research & Social Science, 2 (2014) 21-29.

- [9] P. Siano, Demand response and smart grids-A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30 (2014) 461-478.
- [10] L. Fangxing, Q. Wei, S. Hongbin, et al., Smart transmission grid: Vision and framework. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1 (2010) 168-177.
- [11] M. Sechilariu, B. Wang, F. Locment, Building-integrated microgrid: Advanced local energy management for forthcoming smart power grid communication. *Energy and Buildings*, 59 (2013) 236-243.
- [12] Y. Kabalci, E. Kabalci, A low cost smart metering system design for smart grid applications. 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI 2016), Ploiești, Romania, pp. EC&E 1-6, 30 June-02 July 2016.
- [13] Y. Kabalci, E. Kabalci, The low cost voltage and current measurement device design for power converters. 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI 2016), Ploiești, Romania, pp. 1-6, 30 June-02 July 2016.
- [14] Current transducer CASR series Datasheet, <https://goo.gl/Hhnaa1>
- [15] MCP6001/1R/1U/2/4 1 MHz, Low-Power Op Amp, <https://goo.gl/MKv4cm>
- [16] PIC18F2525/2620/4525/4620 Data Sheet, 28/40/44-Pin enhanced flash microcontrollers with 10-Bit A/D and nanoWatt technology, <https://goo.gl/I5J2E8>