



Enerji Hatları Üzerinden Elektrik Sayacının Okunması ve Deneysel Analizi

Güngör BAL¹, Recep GÜLÖNÜ², Şevki DEMİRBAŞ^{1,*}

¹Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

²Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayii

Başvuru: 26/10/2015 Kabul: 18/12/2015

ÖZET

Veri iletişimi akıllı sistemlerin en önemli bileşenlerinden birisidir. Akıllı sistemin doğru bir şekilde çalışabilmesi iletilen bilginin güvenliğine bağlıdır. Günümüzde bilgi iletişimde kablolu ve kablosuz tekniklerden faydalanılmaktadır. Enerji hattı iletişimi fazladan bir kablolamaya ihtiyaç duymadan mevcut enerji nakil hatları üzerinden bilgi iletişimine imkân sağlayan bir yöntemdir. Bu çalışmada, elektrik enerji hatları üzerinden bir elektrik enerjisi ölçme sistemi geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistemde bir elektrik sayacının ölçtüğü bilgiler enerji nakil hattı yardımıyla uzaktan izlenmiştir. Bilgi iletişiminin gerçekleştirilmesinde ayrık kod değiştirme anahtarlama modülasyon tekniği tercih edilmiştir. Geliştirilen ölçme sisteminin güvenilirliğini test etmek amacıyla değişik çalışma koşullarında deneyler yapılarak sonuçları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji hattı iletişimi, Elektrik sayacı, DCSK, EMU

ABSTRACT

Data communication is one of the most important parts in smart system. Precise operation of the smart system is firstly depending on reliability of the transferred information. Today information is transferred over wire or wireless systems. Power line communication is a data communication system that transfers information over grid lines without using any extra wire. In this study an energy measurement method over power lines has been investigated. In developed system, information obtained from energy meter has been monitored remotely with help of power lines. Differential Code Shift Keying method has been used for modulating and transferring data. In order to test reliability of the developed measurement system several tests at different conditions have been performed and results have been presented.

Key Words: Power line Communication, Energy meter, DCSK, EMC

1. GİRİŞ

Akıllı sistemler insan etkisini en aza indirmek suretiyle sistemin optimum şekilde kendi kendini yönetmesi olarak ifade edilebilir. Günümüzde ev otomasyonundan elektrik şebekelerine kadar birçok alanda akıllı sistemler kullanılmaktadır. Akıllı ev teknolojisi, bir evde bulunan elektrikli cihazları ihtiyaç durumuna göre devreye alan veya devreden çıkartan, evdeki kapı ve pencerelerin güvenli bir şekilde açılıp kapanmasını sağlayan aynı

zamanda uzaktan erişime de imkân veren bir ev otomasyon sistemidir. Elektrik şebekelerinde ise akıllı kavramı birden fazla enerji kaynağının (genellikle yenilenebilir enerji kaynağı) bulunduğu enerji sistemlerinde arz talep durumu dikkate alınarak enerji kaynaklarının ve yüklerin devreye alınıp çıkartılmasını sağlayan sistem olarak tanımlanmaktadır. Akıllı sistemlerin en önemli bileşenlerinden biri bilgi iletişimidir. Akıllı sistemlerin algılama ve karar verme süreçlerinin doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için

*Corresponding author, e-mail: demirbas@gazi.edu.tr

bilginin doğru şekilde okunması (ölçme) ve okunan bilgilerin bileşenler arasında güvenilir bir şekilde iletilmesi gerekmektedir. Günümüzde bilgi iletiminde kablolu ve kablosuz iletişim teknikleri kullanılmaktadır.

Kablosuz iletişim teknikleri maliyetinin düşük olması ve harici kablolamaya ihtiyaç duymadığından dolayı bilgi iletiminde tercih edilen bir yöntemdir. Günümüzde en yaygın kullanılan kablosuz veri iletişimi IEEE 802.11 iletişimidir. IEEE 802.11 kablosuz veri iletişimi akıllı ev ve işyeri sistemleri gibi kısa mesafeli uygulamalarda güvenli bir şekilde kullanılabilir [1, 2]. Fakat IEEE 802.11 kablosuz iletişim sistemi uzun mesafelerde veri iletimine imkân vermemektedir. Günümüzde IEEE 802.11 kablosuz iletişim bina içerisinde 30-40 m mesafeye kadar, bina dışında ise yaklaşık 90-100 m mesafeye kadar bilgi iletimine imkân vermektedir [3]. Hücreli (cep telefonu) veri ağları (GPRS, 3G, 4G, LTE v.s.) uzak mesafelerde veri iletişimi için kullanılabilen bir kablosuz iletişim sistemidir [4]. Fakat bu sistemlerin kırsal kesimlerde kullanılmaması ve işletim maliyetlerinin çok yüksek olması gibi problemleri bulunmaktadır [5]. Zigbee düşük güç tüketimi, daha az veri kullanımı, yapısının sade olması ve kurulum ve işletim maliyetlerinin düşük olması gibi avantajlarından dolayı enerji izleme, ev otomasyonu, elektronik sayaç okuma gibi birçok uygulamada tercih edilen kablosuz veri iletişim sistemi olmuştur [5, 6-9]. Amerikan Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü ZigBee'yi akıllı şebekeler için en uygun kablosuz veri iletişim protokolü kabul etmiştir [5]. Fakat uygulamada ZigBee kablosuz iletişim sisteminin performansının düşük olması, hafıza boyutunun az olması ve veri iletişimi esnasında kısa süreli zaman gecikmesi olması gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Kablolu iletişimde genellikle bakır veya fiber optik malzemeden üretilen veri iletişim kabloları kullanılmaktadır [10, 11]. Fakat kabloların çekilme ve işletme maliyetleri dikkate alındığında kırsal bölgelerde kullanılması oldukça sınırlı olmaktadır. Enerji hattı iletişimi (EHİ) mevcut elektrik hattı üzerinden yüksek frekanslı bilgi iletimine imkân sağlayan bir haberleşme sistemidir. Fazladan bir kablolamaya ihtiyaç duymadan düşük ve orta gerilimlerde mevcut enerji iletim hattı üzerinden haberleşme sağladığından akıllı şebeke uygulamalarında [12-14], çeşitli elektrikli cihazların izlenmesi ve kontrolünde [15, 16], çeşitli otomasyon sistemlerinde [17-20] yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde rüzgâr, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının artması, abonelerin kendi elektriğini kendisi üretebildiği gibi fazla elektriği şebekeye aktarabilmesi ile birlikte tek yönlü enerji akışının sağlandığı klasik şebekeler enerjinin iletim ve dağıtımında yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle arz talep dengesini dikkate alarak en verimli ve düşük maliyetli şekilde tüketiciye kesintisiz enerji sağlayan akıllı şebekelere ihtiyaç bulunmaktadır. Akıllı şebekelerin en önemli özelliklerinden bir tanesi doğru bir ölçme sistemine ihtiyaç duymasıdır. Böylece üretici tüketicinin güç profilini doğru şekilde belirleyerek buna göre güç planlaması yaparken, tüketici de elektrik maliyetini azaltmak için kendi güç planlamasını yapabilecektir.

Geleneksel şebekelerde elektrik enerjisi tüketici tarafına bağlanan sayaçlar ile ölçülmektedir. Elektrik şirketinden bir görevli belirli aralıklarla sayaçları okuyarak ücretlendirme işlemini gerçekleştirmektedir. Bu hem çok maliyetli bir hizmet olup hem de hizmet kalitesi açısından bazı sorunlara da kaynaklık etmektedir. Zira bazı abonelerin sayaçları kapalı mekânlarda olup okuma yapan görevli tarafından kolayca ulaşılabilir bölgenin dışındadır. Bazı abonelerin sayaçları ise bilhassa kırsal kesimde oldukça uzak bölgelerde olup sıklıkla ziyaret edilebilmesi ve okunabilmesi çok fazla maliyet getirmektedir. Bu sayaçlar ancak yılda bir veya iki kez okunabilmektedir. Sayaçlarda bir sorun olması durumunda hemen müdahale edilememekte, sorun ancak sonraki ziyaret döneminde fark edilebilmektedir. Bu işleme bağlı olarak abonenin aldığı hizmet kalitesi azaltmakta ve birikmiş veya standart miktara dayalı telafi yöntemli faturalama gibi oldukça ilkel yöntemlerin kullanılmasını zaruri hale getirmektedir. Esas olan okuma, faturalama ve bilgilendirme gibi unsurların abone tarafından sıklıkla kontrol edilebilmesi ve her istendiğinde bu tip bilgilere ulaşılabilmesi ve abonenin kullandığı enerji miktarını kendisinin de sürekli denetleyebilmesi ve buna göre gerekli önlemlerin acilen alınabilmesidir.

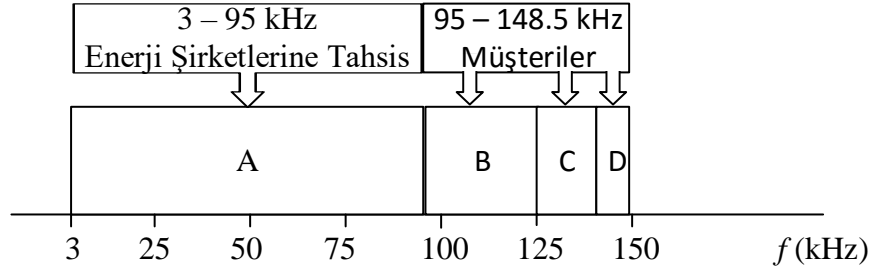
Bu çalışmada elektrik sayaçların mevcut enerji iletim hattı üzerinden uzaktan okunmasına yönelik bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Verici modül tüketici tarafında bulunan elektrik sayacına yerleştirilmiş, alıcı modül ise uzaktan izleme yapılacak bölgeye yerleştirilmiştir. Böylece harici bir donanım ve fazladan kablolamaya ihtiyaç duymadan güvenli bir uzaktan ölçme sistemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem farklı çalışma koşullarında test edilerek güvenilirliği kanıtlanmıştır.

2. ENERJİ HATTI İLETİŞİMİ

EHİ harici bir kablolamaya ihtiyaç duymadan, mevcut elektrik hattı üzerinden haberleşme bilgilerinin bir noktadan başka bir noktaya iletilmesi olarak tanımlanmaktadır. EHİ düşük ve orta gerilimde kullanılan eski bir haberleşme yöntemi olmasına karşılık henüz tam olarak belirli bir standarda sahip değildir. Ülkeler frekans bant genişliklerini kendi ihtiyaçları doğrultusunda ayarladığından, bir ülkenin EHİ'nde kullandığı bant genişliği başka bir ülkede farklı bir amaç için kullanılabilir. EHİ teknolojisi frekans bant genişlikleri dikkate alınarak ultra dar bant EHİ, dar bant EHİ ve geniş bant EHİ olmak üzere 3 grupta incelenmektedir [21]. Ultra dar bant EHİ 30 – 300 Hz çok düşük frekans veya 0.3 – 3 kHz düşük frekans aralıklarında tek yönlü iletişim kullanılarak gerçekleştirilmektedir [22]. Düşük bant EHİ 3 kHz – 500 kHz bant aralığında kullanılmaktadır. Avrupa elektroteknik standart komitesi (CENELEC) bu bantı 3 kHz – 148.5 kHz olarak belirlerken Amerika federal iletişim komisyonu (FCC) bu bantı 10 kHz – 490 kHz, Japonya (ARIB) 10 kHz – 450 kHz ve Çin de 3 kHz – 500 kHz olarak belirlemiştir. FCC ve ARIB standartlarında elektrik iletim/dağıtım şirketlerinin kullanımı için herhangi bir bant tahsis edilmemiştir. Bu nedenle bu bölgelerde kullanılacak EHİ cihazları

belirtilen frekans aralıklarında herhangi bir frekansta çalışabilirler. Fakat CENELEC standardında Şekil 1'de görüldüğü gibi 4 farklı bant tanımlanmaktadır. 3 kHz – 95 kHz bant aralığı enerji sağlayıcı şirketlere tahsis edilmiş olup, işletme koşulları CENELEC – A standardı ile belirlenmiştir. CENELEC standardında 95 kHz – 148.5 kHz aralığındaki frekans bandı son kullanıcılara tahsis edilmiş olup kullanım koşulları CENELEC B, C, D standartları ile belirlenmiştir. CENELEC – B bandı

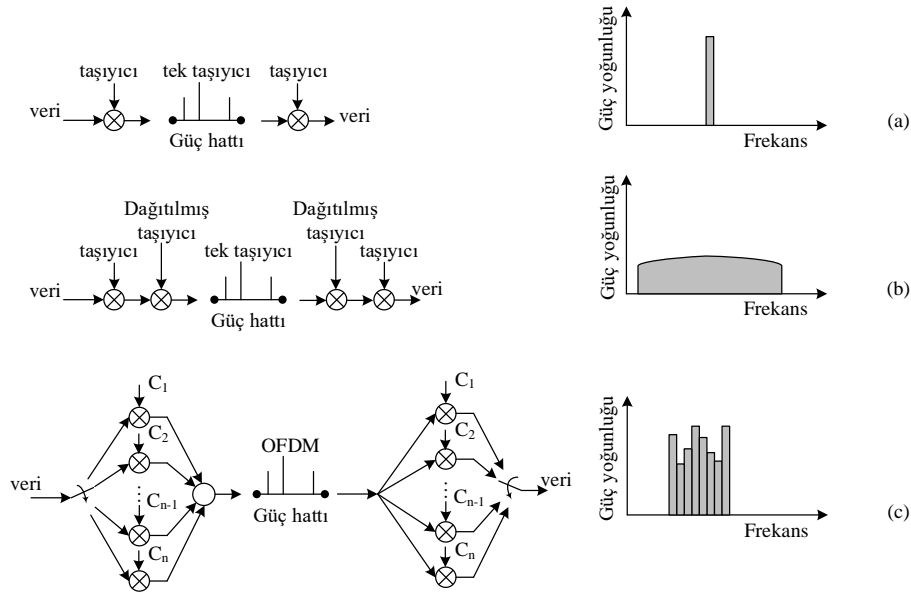
95 kHz – 125 kHz bant aralığında olup kullanıcılar herhangi bir standart protokol kullanarak bu bant aralığında işlem yapabilirler. CENELEC – C bandı 125 kHz – 140 kHz bant aralığında olup bu bant ev ağı sistemlerinde kullanılmakta ve CDMA/CA protokol kullanılmaya zorunluluğu bulunmaktadır. 140 kHz – 148.5 kHz bant aralığındaki CENELEC – D standardı ise alarm ve güvenlik amaçlı kullanılmakta olup herhangi bir özel protokol gerektirmemektedir [23].



Şekil 1. CENELEC frekans bantları (CENELEC frequency bands)

Dar bant EHI genellikle yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimi, akıllı şebekeler, elektrikli araçlar, ileri ölçme teknikleri, ev ve endüstriyel otomasyon gibi düşük ve orta gerilimdeki enerji sistemlerinde kullanılmaktadır. Dar bant EHI'nin kullanılmasında değişik modülasyon teknikleri kullanılmaktadır. Şekil 2'de dar bant EHI'de kullanılan modülasyon teknikleri verilmiştir. Şekil 2.a'da verilen tek taşıyıcı modülasyon yönteminde bilgiler belirli sayıda ayırık sinyallerle ifade edilmektedir. Bilgiler genlik kaydırmalı anahtarlama (Amplitude Shift Keying (ASK)), frekans kaydırmalı anahtarlama (Frequency Shift Keying (FSK)) veya faz kaydırmalı anahtarlama (Phase Shift Keying (PSK)) yöntemleri kullanılarak genlik, frekans veya faz ile ifade edilebilmektedir. Bu modülasyon tekniği dar bant gürültüleri ve sinyal bozulmalarına karşı duyarlı olduğundan dolayı fazladan hata belirleme ve düzeltme devrelerine ihtiyaç duymaktadır. Şekil 2.b'de verilen dağıtık spektrumlu

modülasyon yönteminde bilgiler geniş bir frekans aralığına dağıtılarak modellenmektedir. Maliyetinin düşük olması ve güç sisteminden kaynaklanan gürültü ve frekans bozulmalarına karşı dayanıklı olmasından dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir. Farklı kod kaydırmalı anahtarlama (Differential Code Shift Keying (DCSK)) tekniği bu modülasyon yöntemine örnek olarak verilebilir. Şekil 2.c'de verilen çoklu taşıyıcı modülasyon yöntemi genellikle geniş bant EHI'nde kullanılmakta iken son zamanlarda dar bant EHI'ne de uygulanmaya başlanmıştır. Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğalma (Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)) bu modülasyon yönteminin en popüler yöntemi olup bu modülasyon tekniği kullanılarak çeşitli modülasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Çoklu taşıyıcı modülasyon yöntemi daha fazla veri iletimine imkân sağlamasına karşılık devre yapısının çok karmaşık olması ve maliyetinin yüksek olması gibi dezavantajları bulunmaktadır [24].



Şekil 2. EHİ için modülasyon tekniklerinin frekans davranışı a) Tek taşıyıcı modülasyon b) Dağıtık spektrumlu modülasyon, c) Ortogonal Frekans Bölme Çoğalma
(Frequency response of modulation techniques for PLC a) Single carrier modulation b) Spread spectrum modulation c) Orthogonal frequency division multiplexing)

Geniş bant EHİ, dar bant EHİ'nin yanında ses ve görüntü sinyallerinin aktarılması, büyük boyutlu veri iletimi gibi uygulamalar için kullanılan yüksek hız ve kapasiteli veri iletişim tekniğidir. Geniş bant EHİ mevcut elektrik hattı üzerinden veri iletiminde kullanıldığı için fazladan kablolu ihtiyaç duymadan gerçekleştirilebilen düşük maliyetli bir sistemdir. Fakat mevcut elektrik hatlarının yüksek frekansta veri iletimine uygun olmamasından dolayı günümüzde uzun mesafeli veri iletiminde kullanılmamaktadır. Ayrıca geniş bant EHİ'de 30 MHz'e kadar yüksek frekans bandı kullanıldığından terminal yakınındaki diğer elektronik cihazların geniş bant EHİ sinyallerinden etkilenmesi yani elektromanyetik uyumluluk problemi söz konusu olmaktadır. Bu sakıncalarından dolayı geniş bant EHİ bina dışı iletişimden ziyade bina içerisinde ev ağlarında kullanım alanı bulmaktadır [25].

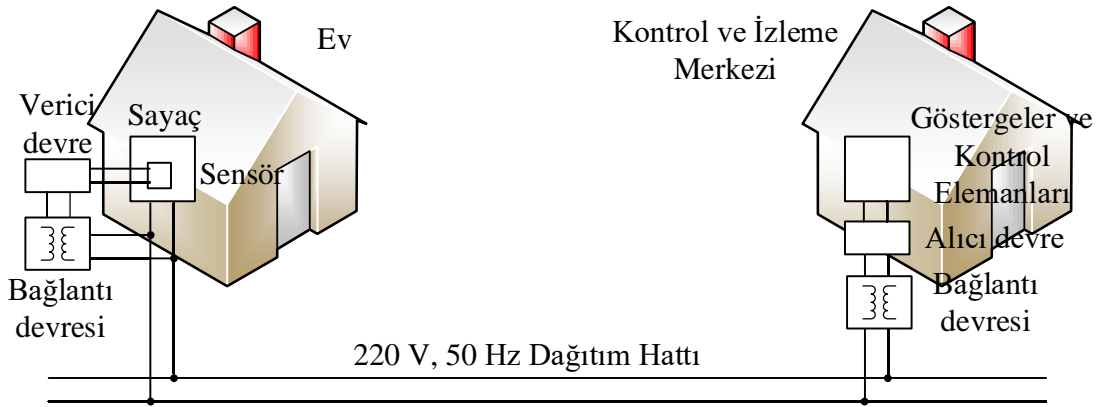
3. EHİ İLE ELEKTRİK ENERJİSİ ÖLÇÜMÜ

Günümüzde elektrik enerjisine olan talep her geçen gün daha fazla artmaktadır. Ülkeler artan enerji talebini karşılayabilmek amacıyla sürekli araştırmalar yapmaktadır. Artan enerji talebini karşılamak için rüzgâr güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılsa da bu kaynaklarda artan enerji talebini karşılamada yetersiz kalmaktadır. Ayrıca farklı yapılarıdaki elektrik üretim tesislerinin aynı şebekeye bağlanması sonucunda şebeke kalitesinde bozulmalar meydana gelmektedir. Bu nedenle elektrik enerjisi üretim tesislerinin ürettiği enerjinin sürekli ölçülerek

standartlarda belirtilen şartı yerine getirmesi sağlanmalıdır. Diğer taraftan sağlıklı bir enerji planlaması yapılabilmesi için üretim tesisleri arasında bir otomasyon sisteminin oluşturulması gerekmektedir. Elektrik enerjisi planlamasında sadece üretim tesislerinin otomasyonu yeterli olmamaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte elektrikli araçlar, büyük güçlü güç elektroniği devreleri gibi enerji kalitesini etkileyen devre elemanlarının kullanılmaya başlanması ile birlikte tüketici tarafı güç optimizasyonu da büyük önem kazanmıştır. Gerek üretici tarafında gerekse tüketici tarafında güç optimizasyonunun yapılabilmesi için üretilen veya tüketilen elektrik enerjisinin sağlıklı bir şekilde ölçülmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrik enerjisinin ölçümünde elektrik sayaçlarından faydalanılmaktadır. Geçmişte elektrik enerjisinin ölçümünde kullanılan analog sayaçlar enerjiyi tek zamanlı ve toplam enerji olarak ölçmekte ve bu bilgiler sadece sayaç üzerinden okunabilmektedir. Bu durumda sayaç belirli aralıklarla kontrol edilerek toplam enerji miktarı okunarak, son dönem enerji miktarından bir önceki dönem enerji miktarı çıkartılarak o dönem harcanan enerji miktarı tespit edilmektedir. Enerjinin tek noktadan ve belirli aralıklarla ölçülmesi herhangi bir hata anında hatanın belirlenmesi ve düzeltilmesini zorlaştırdığı gibi enerji hırsızlığı gibi kötü amaçlı kullanımlara da sebep olmaktadır. Son zamanlarda kullanılan elektronik sayaçlar ile tek zamanlı ölçme problemi giderilmiş, farklı zamanlarda farklı ücretlendirme yapılabilmesine imkân sağlanmıştır.

Böylece abone kendi enerji planlamasını yapabilmektedir. Fakat bu sayaçlarda da enerji ölçümü sayaç üzerinden yapıldığından analog sayaçlardaki problemler bu sayaçlarda da bulunmaktadır. Bir abonenin enerji profilinin doğru şekilde belirlenebilmesi, herhangi bir hata anında anlık müdahale edilebilmesi ve enerji hırsızlığı gibi kötü amaçlı kullanımların önüne geçilebilmesi için abonenin kullandığı elektrik enerjisinin sürekli ölçülmesi gerekmektedir. Elektrik enerjisi abone tarafına yerleştirilen akım ve gerilim sensörleri yardımıyla hesaplanıp, ZigBee, internet gibi değişik bilgi iletişim yöntemleri yardımıyla uzak mesafelere iletilebilmektedir. Fakat bu yöntem fazladan donanım

gerektirmekte ve maliyeti artırmaktadır. Abonelerin harcadığı enerji elektrik sayaçları tarafından ölçüldüğünden aboneye gelen enerji hattı elektrik sayaçlarına bağlanmaktadır. Bu durumda elektrik sayacının ölçtüğü bilgilerin EHİ yöntemi ile uzaktan izlenmesi mümkün olmaktadır. Şekil 3’de EHİ yöntemi ile elektrik enerjisi ölçme prensip şeması verilmiştir. Şekil 3’ten görüldüğü gibi elektrik sayacı üzerine yerleştirilen sensör yardımıyla sayacın ölçtüğü enerji bilgisi okunmakta ve bu bilgi verici devreye aktarılmaktadır. Verici devre sensörden aldığı bilgileri yüksek frekanslı sayısal bilgiye dönüştüren bir modülatör devresi olup bu bilgiler bağlantı devresi yardımıyla enerji dağıtım hattına aktarmaktadır.



Şekil 3. EHİ yöntemi ile elektrik enerjisinin ölçülmesi (Measurement of electrical energy with PLC methods)

Enerji hattına gönderilen yüksek frekanslı bilgiler kontrol ve izleme merkezine yerleştirilen bir demodülatörden meydana gelen alıcı devre yardımıyla algılanmakta ve göstergeler yardımıyla görüntülenmektedir.

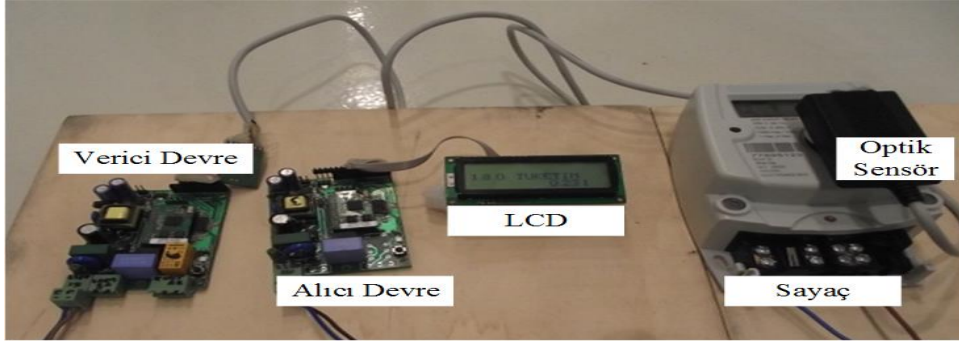
4. EHİ İLE ENERJİ ÖLÇME SİSTEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu çalışmada elektrik enerjisinin EHİ kullanılarak uzaktan izlenmesine yönelik bir deney düzeneği gerçekleştirilmiştir. Şekil 4’te resmi verilen deney düzeneği bir elektronik sayaç, EHİ alıcı/verici modülü, optik sensör ve LCD göstergeden meydana gelmektedir.

Deney düzeneğinde kullanılan sayaç 4 tarifeli, 8 zaman dilimli elektronik sayaç olup, 30 gün / 30 dk yük profilini, aybaşı reset değerlerini ile akım ve gerilim bilgilerini gösterebilmektedir. Deneyde kullanılan alıcı / verici modül ise 256KB Flash ROM, 16KB RAM, 24 I/O, geliştirilmiş 8051 işlemciye sahip olup FCC, ARIB

ve CENELEC bantlarında işlem yapabilmektedir. FCC ve ARIB bantlarında standart modta 7.5 Kbps ile işlem yaparken güvenilirlikli modta 5.0 Kbps, yüksek güvenilirlikli modta ise 1.25 Kbps ile işlem yapabilmektedir. CENELEC bandı işlem kapasitesi ise güvenilirlikli modta 2.5 Kbps, yüksek güvenilirlikli modta 0.625 Kbps tır.

EHİ yöntemi ile enerji ölçümünde modülasyon yöntemi olarak DCSK (DifferentialCodeShiftKeying / Diferansiyel Kod Değiştirme Anahtarlaması) modülasyon yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan modülasyon yöntemi darbe gürültüleri ve doğrusal olmayan gürültülerden az etkilenirken, orta karakteristiklerdeki değişimlere hızlı şekilde müdahale edebilmektedir. Ayrıca gerçekleştirilen sistemde düşük frekansta işlem yapıldığından transformator gibi enerji hattı üzerinde bulunan endüktif devre elemanlarından sistem daha az etkilenmektedir.



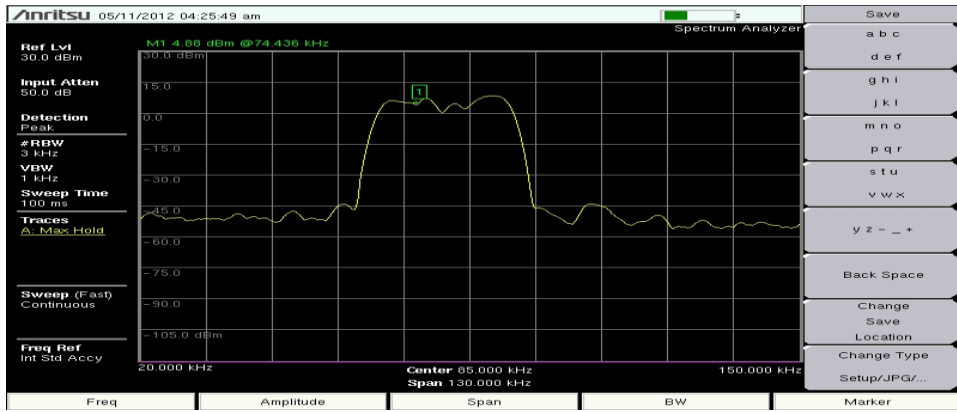
Şekil 4. EHI ile elektrik enerjisi uzaktan izleme deney düzeneği
(Experimental setup of remote monitoring of electrical energy with PLC)

5. DENEYSSEL SONUÇLAR

Gerçekleştirilen deney düzeneğinde elektrik sayacının optik portu üzerine takılan bir optik sensör yardımıyla sayaçtan DEMAND, DSAAT, DTARİH, H-GÜNÜ, SAAT, SERİNO, T1, T2, T3, T4, TARİH ve TÜKETİM bilgileri okunarak sayaç yanında bulunan verici devresine aktarılmıştır. Verici devreden elde edilen bilgiler 220V, 50 Hz şebeke hattına gönderilmiş ve sayaçtan 300 m uzaktaki bir noktaya yerleştirilen alıcı devre yardımıyla bu bilgiler okutulmuş LCD ekrana yazdırılmıştır. Böylece sayacın ölçtüğü bilgilerin EHI yöntemi ile uzaktan izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen sistemin şebeke üzerine

etkilerini incelemek amacıyla iletimle yayılım ve ışınımla yayılım elektromanyetik uyumluluk testleri yapılarak sonuçları analiz edilmiştir.

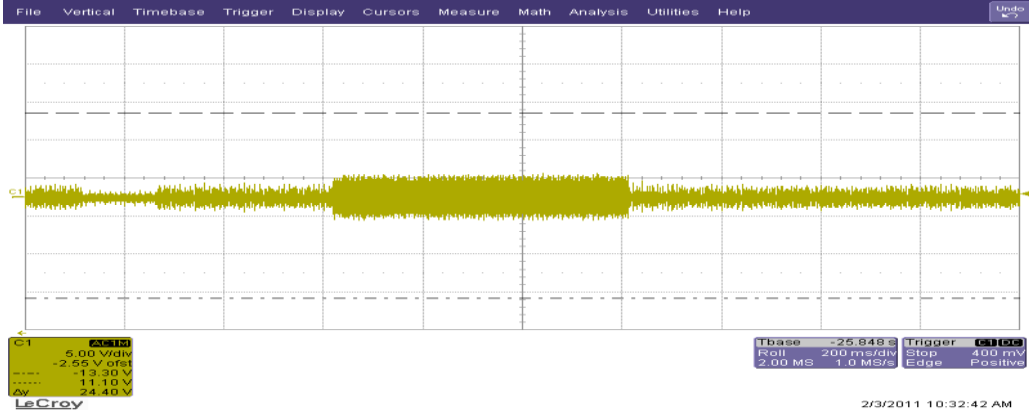
Deneyde ilk olarak veri transfer hızını belirlemek amacıyla bir spectrum analizör yardımıyla modülasyon sinyalinin frekansı belirlenmiştir. Şekil 5'ten görüldüğü gibi gerçekleştirilen sistemde bilgiler enerji hattı üzerinden 85 kHz frekans ile gönderilmektedir. İkinci olarak gönderilen sinyalin genliğini belirlemek amacıyla sinyal osiloskop yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 6'dan görüleceği gibi sinyalin genliği 3 – 5 V aralığında değişmektedir.



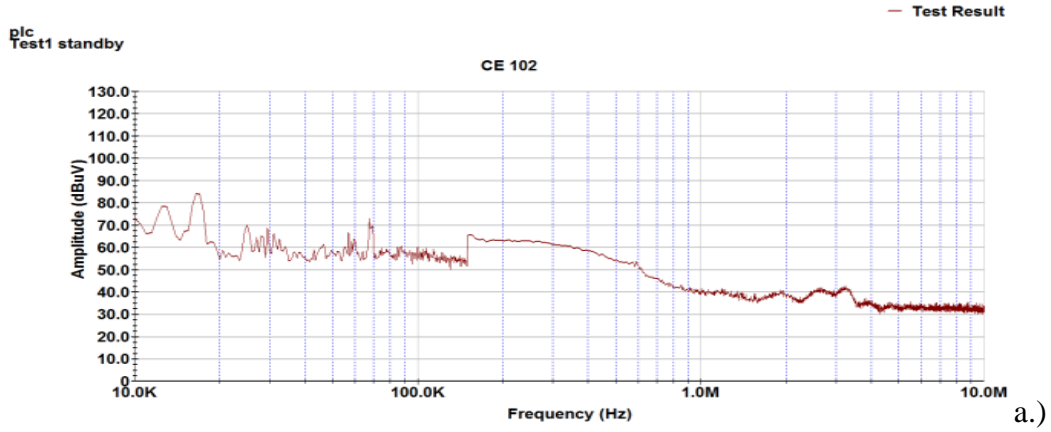
Şekil 5. Veri transferi frekans spektrumu
(Frequency spectrum of data communication)

Gerçekleştirilen sistemin elektromanyetik uyumluluğunu test etmek amacıyla iletimle yayılım ve ışınımla yayılım elektromanyetik uyumluluk testleri uygulanmıştır. Şekil 7'de iletimle yayılım testi

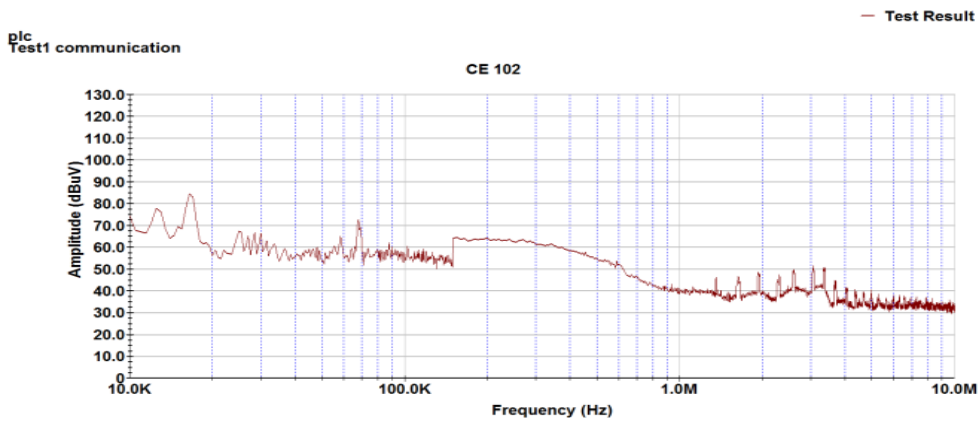
sonucunda elektrik şebekesi üzerinde ki gürültü grafiği görülmektedir.



Şekil 6. Veri transferi durumunda Şebeke zerine binen sinyal genliği
(Amplitude of signal injected to grid during data communication)



a.)

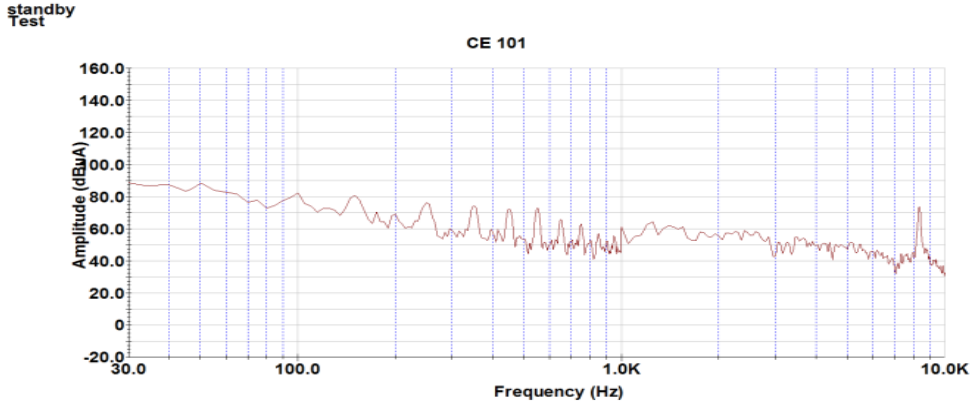


b.)

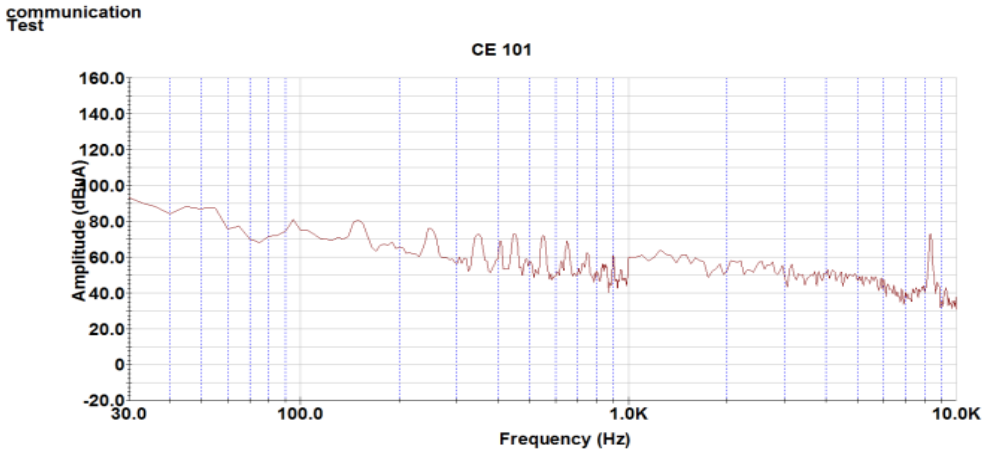
Şekil 7. Şebekeye verilen sinyalin gürültü ölüm grafiği a) Veri iletişimi olmadan b) Veri iletişimi varken
(Graphics of noise measurement signal injected to grid a) Without data communication b) With data communication)

Şekil 7.a şebeke üzerinde herhangi bir haberleşme sinyali yokken gürültü grafiğini göstermektedir. Dar bant EHI için kesin bir standart bulunmamasına karşılık ölçülen değerler EN55022 standart değerleri ile karşılaştırılmıştır. EN55022 standardına göre düşük frekanslarda maksimum gürültü seviyesi 80 dB μ V olarak belirtilmektedir. Şekil 7.a'da görüleceği gibi 65 – 90 kHz aralığında şebekeye binen gürültü sinyalini 80 dB μ V değerinin altında kalmaktadır. Şekil 7.b'de ise bilgi transferi esnasında şebekedeki gürültü miktarı belirtilmiştir. Şekilden görüleceği gibi bilgi transferi esnasında şebekeye binen yük miktarında fazla bir değişiklik olmamaktadır. Şekil 8'de kablo etrafında ki iletimle yayılım test sonuçları verilmiştir.

Şekil 8.a'da haberleşmenin olmadığı durumdaki gürültü sinyali verilmiştir. EN55022 standardında 1kHz'e kadar maksimum gürültü seviyesinin 150 dB μ V, 1 kHz'den sonra ise doğrusal olarak azalarak 10 kHz'de maksimum 90 dB μ V seviyesinde olması istenmektedir. Şekil 8.a'da görüleceği gibi iletim hattı etrafında gürültü seviyesi 30 Hz'de 90 dB μ V civarında iken, 10 kHz'de 40 dB μ V civarında olmaktadır. Şekil 8.b'de verilen grafikte haberleşmenin aktif olduğu durumda da kablo etrafındaki gürültü seviyesinin fazla değişmediği ve standartta belirtilen sınırlar içerisinde kaldığı görülmektedir.



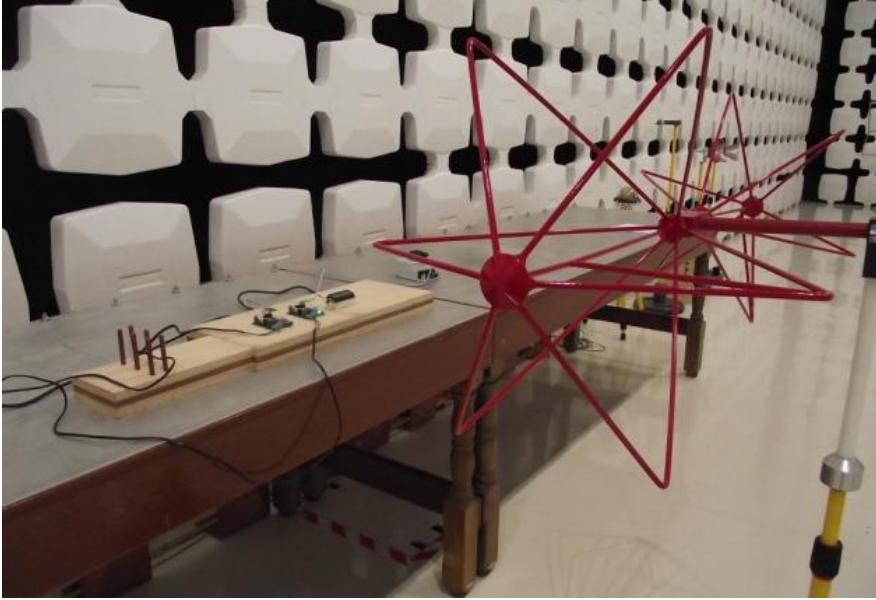
a.)



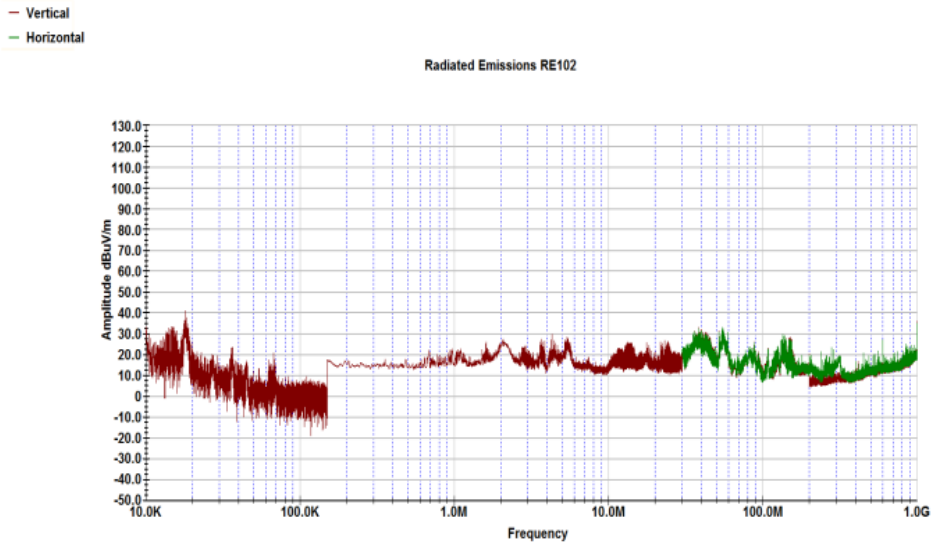
b.)

Şekil 8. Kablo üzerine verilen gürültü ölçüm grafiği a) Veri iletişimi olmadan b) Veri iletişimi varken (Graphics of noise measurement signal around line wire a) Without data communication b) With data communication)

Son olarak geliştirilen sistemin Şekil 9’da belirtilen laboratuvar ortamında ışınım testi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9. IŞınım testi gürültü ölçüm düzeneği (Noise measurement set for radiation)



Şekil 10. IŞınım testi gürültü ölçüm grafiği
(Graphics of noise measurement for radiation)

Işınım testi sonucunda elde edilen gürültü grafiği Şekil 10'da verilmiştir. EN55022 standardında 216 MHz'e kadar gürültü seviyesinin maksimum 30 – 50 dB μ V olması gerektiği belirtilmektedir. Şekil 10'dan görüleceği gibi gerçekleştirilen sistem belirtilen standart değerinin altında kalmaktadır.

6. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada bir elektrik sayacının ölçtüğü enerji bilgilerinin enerji hattı üzerinden uzaktan izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada elektrik sayacının okuduğu bilgiler bir optik sensör yardımıyla verici devre üzerinden şebekeye aktarılmış ve alıcı devre yardımıyla şebeke üzerinden veriler okutulmuş LCD ekrana yazdırılmıştır. Enerji hatları üzerinden uzaktan yönetimli elektronik temelli elektrik sayacının okunmasında haberleşme tekniklerinden DCSK yöntemi kullanılmıştır. DCSK ile uygulanabilirliği kanıtlanmış başarılı bir deney gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistemin şebeke üzerine etkilerini incelemek amacıyla iletimle yayılım ve ışınım yayılım ölçümlerinin yanı sıra elektromanyetik uyumluluk testleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar gerçekleştirilen sistemin elektrikli sayaçların uzaktan izlenmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] C. Suh and Y. B. Ko, "Design and Implementation of Intelligent Home Control Systems based on Active Sensor Networks", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 54, No. 3, 1177-1184, AUGUST 2008
- [2] Ji-Sun Jung, Keun-Woo Lim, Jae-Beom Kim, Young-Bae Ko, Younghyun Kim and Sang-Youm Lee, "Improving IEEE 802.11s Wireless Mesh Networks for Reliable Routing in the Smart Grid Infrastructure", 2011 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), Kyoto, Japan, 1-5, 5-9 June 2011
- [3] Ahmad Usman, Sajjad Haider Shami, "Evolution of Communication Technologies for Smart Grid applications", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 19, 191-199, 2013
- [4] Sabine Erlinghagen, Bill Lichtensteiger and Jochen Markard, "Smart meter communication standards in Europe – a comparison", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 43, 1249-1262, 2015
- [5] Vehbi C. Güngör, Dilan Sahin, Taskin Kocak, Salih Ergüt, Concettina Buccella, Carlo Cecati, and Gerhard P. Hancke, "Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards", IEEE Transactions On Industrial Informatics, Vol. 7, No. 4, 529-539, November 2011
- [6] D.-M. Han and J.-H. Lim: "Smart Home Energy Management System using IEEE 802.15.4 and ZigBee", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 56, No. 3, August 2010
- [7] D.-M. Han and J.-H. Lim: "Design and Implementation of Smart Home Energy Management Systems based on ZigBee", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 56, No. 3, August 2010
- [8] Zhou Yiming, Yang Xianglong, Guo Xishan, Zhou Mingang, Wang Liren, "A Design of Greenhouse Monitoring & Control System Based on ZigBee Wireless Sensor Network", International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Shanghai, China, 2563 – 2567, 21-25 Sept. 2007
- [9] Shang-Wen Luan, Jen-Hao Teng, Shun-Yu Chan and Lain-Chyr Hwang, "Development of a Smart Power Meter for AMI Based on ZigBee Communication", International Conference on Power Electronics and Drive Systems, Taipei, Taiwan, 661-665, 2-5 Nov. 2009
- [10] Thinagaran Perumal, Abdul Rahman Ramli, Chui Yew Leong, Khairulmizam Samsudin and Shattri Mansor, "Interoperability for Smart Home Environment Using Web Services", International Journal of Smart Home, Vol. 2, No. 4, October, 2008
- [11] Andreas Kamilaris, Vlad Trifa and Andreas Pitsillides, "HomeWeb: An Application Framework for Web-based Smart Homes", 18th International Conference on Telecommunications, Ayia Napa, Cyprus, 134-139, 08-11 May 2011
- [12] Melike Yigit, V. Cagri Gungor, Gurkan Tuna, Maria Rangoussi and Etimad Fadel, "Power line communication technologies for smart grid applications: A review of advances and challenges", Computer Networks, Vol 70, 366-383, 2014
- [13] Anim Amarsingh, Haniph A. Latchman and Duotong Yang, "Narrowband power line communications: Enabling the smart grid", IEEE Potentials, Vol 33, No 1, 16-21, 2014
- [14] Antonio Cataliotti, Giovanni Cipriani, Valentina Cosentino, Dario Di Cara, Vincenzo Di Dio, Salvatore Guaiana, Nicola Panzavecchia, and Giovanni Tinè, "A Prototypal Architecture of a IEEE 21451 Network for Smart Grid Applications Based on Power Line Communications", IEEE Sensors Journal, Vol. 15, No. 5, May 2015
- [15] Chia-Hung Lien, Hsien-Chung Chen, Ying-Wen Bai, and Ming-Bo Lin, "Power Monitoring and Control for Electric Home Appliances Based on Power Line Communication", IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Victoria, Vancouver Island, Canada, 2179 – 2184, May 12-15, 2008

- [16] Alperen Mustafa Colak, Ilhan Garip and Sevki Demirbas, "Design And Application Of A Control System For DC Motors Over Power Line", 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, Antalya, Turkey, 1116-1121, 21-24 Sept 2014
- [17] P. Mlynek, J. Misurec, Z. Kolka, J. Slacik, R. Fujdiak, "Narrowband Power Line Communication for Smart Metering and Street Lighting Control", IFAC-PapersOnLine, Vol 48, No 4, 215–219, 2015
- [18] Gerd Bumiller, Lutz Lampe and Halid Hrasnica, "Power Line Communication Networks for Large-Scale Control and Automation Systems", IEEE Communications Magazine, 106-113, April 2010
- [19] Young-Sung Son, Topi Pulkkinen, Kyeong-Deok Moon and Chaekyu Kim, "Home Energy Management System based on Power Line Communication", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 56, No. 3, August 2010
- [20] Karthik Shivaram, Nikhil Rajendra, Kavi Mahesh, Balasubramanya Murthy K.N. and Padmavathy Jawahar, "Power Line Communication Based Automation System Using a Handheld Wi-Fi Device", IEEE 16th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE), Harrisburg, PA, 1-6, 2012
- [21] Stefano Galli, Anna Scaglione and Zhifang Wang, "For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid", Proceedings of the IEEE, Vol. 99, No. 6, 998-1027, June 2011
- [22] Alberto Sendin, Ivan Peña and Pablo Angueira, "Strategies for Power Line Communications Smart Metering Network Deployment", Energies, Vol 7, No 4, 2377-2420, 2014
- [23] Andrea M. Tonello, Salvatore D'Alessandro, Fabio Versolatto and Carlo Tornelli, "Comparison of Narrow-Band OFDM PLC Solutions and I-UWB Modulation over Distribution Grids", IEEE International Conference on Communication Networks for Smart Grid, Brussels, Belgium, 149-154, 17-20 Oct. 2011
- [24] Bogdan Baraboi, "Narrowband Powerline Communication-Applications and Challenges—Part I", EDN Network, Mar 03, 2013
- [25] Halid Hrasnica, Abdelfatteh Haidine and Ralf Lehnert, Broadband Powerline Communications Network Design, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, 2004