

Haberleşme Ortamı Olarak Enerji Hatlarının Kullanımının İncelenmesi

Investigation of Using Power Lines as a Communication Environment

Yasin KABALCI¹, Uğur SORGUCU², İbrahim DEVELİ³

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Erciyes Üniversitesi
yasinkabalci@gmail.com

²Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Bartın Üniversitesi
sorgucu@bartin.edu.tr

³Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Erciyes Üniversitesi
develi@erciyes.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, enerji hatlarının bir haberleşme ortamı olarak kullanılması prensibine dayanan enerji hattı haberleşmesinin tarihi gelişimi, kanal modelleri ve sorunları incelenmiştir. İlk yıllarında sadece kontrol ve ücretlendirme amacıyla çok düşük veri hızlarında kullanılan bu teknoloji, çok geniş ölçekli tümleşik devre tasarımı ve sayısal işaret işleme alanlarındaki yenilikler sayesinde yüksek veri hızlarında haberleşme imkanı sağlamakta ve son yıllarda hızla gelişmeye devam etmektedir.

Abstract

In this study, the historical development, channel models and problems of power line communication which is based on utilizing the energy lines as a transmission environment are investigated. The analyzed technology performed a rapid development and supplied high speed data transmission opportunities due to emerging very large scale integrated circuit designs and novelties in digital signal processing while it was applied in low speed data rates for controlling and pricing applications at the beginning.

1. Giriş

Enerji hatları, az sayıdaki kaynaktan (jenatörler) daha çok sayıdaki alıcıya (kullanıcılara) 50/60 Hz frekansında elektrik enerjisinin iletilmesi için tasarlanmıştır. Enerji iletim hatları ve direkleri, şimdiye kadar inşa edilmiş en sağlam yapılar olduğu bir gerçektir. Enerji dağıtım ve iletim hatları gibi kurulu ve yaygın bir ağ üzerinden bilgi gönderme isteği, enerji hattı haberleşmesinin (EHH) temelini oluşturmuştur. Enerji hatları üzerinden ilk veri iletimi öncelikle sadece herhangi bir arıza olduğunda güç dağıtım sistemi ve birimlerini korumak için gerçekleştirilmiştir [1-3].

Elektrik şebekesinin kontrol, bakım ve ücretlendirme amacı ile kullanımı uzun bir süre devam etmiştir. Telekomünikasyon ve elektrik hizmetlerinin serbest bırakılması, elektrik ağının daha verimli kullanımı için elektrik altyapısının potansiyel uygulamalarına yeni boyutlar kazandırmıştır. Ayrıca internetin doğuşu ve büyümesi sayısal telekomünikasyon hizmetlerine olan talebi hızlandırmıştır. Bu hizmetler elektrik dağıtım şebekeleri üzerinden yapılabilirse her eve, ofise, fabrikaya ve

kuruluşa bağlantı imkânı tanıyan evrensel bir veri yolu gerçekleştirilmiş olacaktır [4].

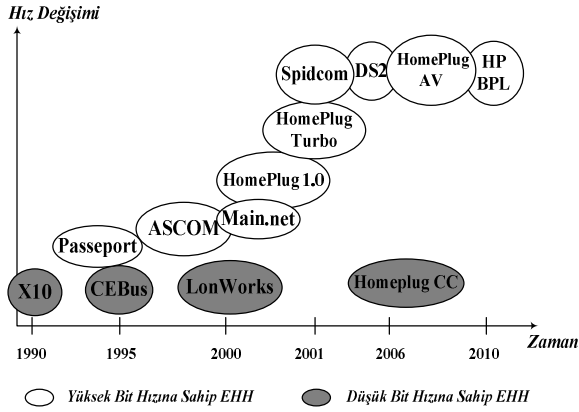
2. Enerji Hattı Haberleşmesinin Tarihi Gelişimi

Enerji hattı haberleşmesi tekniğinin arkasındaki ilke son zamanlarda ortaya çıkmış bir yenilik değildir. 1838 yılında İngiliz Edward Davy, Londra ve Liverpool arasındaki telgraf sistemi üzerinden batarya gerilim seviyelerinin uzaktan ölçümünü sağlayan bir çözüm önermiştir. Edward Davy elektrik hatları üzerinden haberleşen, elektrik sayaçlarının uzaktan ölçümünü sağlayan bir teknik ile ilk patenti 1897 yılında almıştır.

Chicago'dan Chester Thoradson, 1902 yılında tasarladığı elektrik sayaçlarını ek bir sinyal hattı kullanarak uzaktan okuyan sisteminin patentini 1905 yılında almıştır. Chester Thoradson tarafından önerilen sistem ek maliyet gerektirdiği için ticari ilgi görmemiştir.

1950 yılında Dalgacık Kontrolü (Ripple Control) olarak bilinen ilk enerji hattı haberleşme sistemi tasarlanmış, orta ve alçak gerilimli elektrik şebekeleri üzerinden uygulanmıştır. Taşıyıcı frekansı değeri önce 100 Hz, daha sonra ise 100 Hz ile 1 KHz arasında olmuştur. Kontrol sinyalleri üzerinden tek yönlü haberleşme, kamu ışıklarının uzaktan açılıp/kapatılması ve tarife değişikliklerinin gerçekleştirilmesi için gerekli olmuştur. Pulsadis adındaki ilk endüstriyel uygulamalar Fransa'da 1960 yılında ortaya çıkmıştır.

Ardından EHH sistemleri için 3 KHz'den 148,5 KHz' e kadar uzanan ilk frekans bandı CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) tarafından önerilmiştir. Bu frekans bandı alçak gerilim elektrik şebekeleri üzerinden çift yönlü haberleşmeye izin verir. Bu sayede uzaktan sayaç okumalarının yanı sıra ev otomasyonu alanı ile ilgili çok sayıda uygulama (örneğin hırsız alarmı, yangın algılama, gaz kaçağı algılama vb.) EHH ile gerçekleştirilebilir olmuştur. Günümüzde ise, EHH sistemi ile enerji üretim merkezlerinin uzaktan gözlenmesi ve kontrol edilmesini amaçlayan Akıllı Şebekeler (Smart Grids) üzerine çalışılmaktadır. Şekil 1.'de EHH teknolojilerinin 1990'lı yılların başından beri iletişim hızlarına göre gelişimi görülmektedir [2, 5].



Şekil 1: Düşük ve yüksek hızlı EHH teknolojileri [5].

3. Enerji Hattı Kanalının Karakteristikleri

3.1. Enerji Hatlarının Mimari Yapısı

Ülkemizde elektrik şebekeleri kullandıkları gerilim seviyelerine göre dört grupta sınıflandırılırlar (Tablo 1).

Tablo 1: Elektrik gerilim seviyeleri

Şebeke İsmi	Gerilim Seviyesi
Alçak Gerilim Şebekeleri	1V-1000V arası
Orta Gerilim Şebekeleri	1kV-35kV arası
Yüksek Gerilim Şebekeleri	35 kV-154 kV arası
Çok Yüksek Gerilim Şebekeleri	154 kV'dan yukarı

Alçak gerilim şebekeleri, dağıtım trafolarından kullanıcılara kadar olan elektrik hatlarından oluşur. Alçak gerilimler yalıtımı ve korunması kolay olduğu için kullanıcılara yakın kısımlarda kurulur. Alçak gerilimle yapılan iletimlerde gerilim düşümü ve güç kaybı fazla olduğu için alçak gerilimlerle iletimden ziyade dağıtım şebekelerinde kullanılır. Ülkemizde alçak gerilim olarak, 220 V ve 380 V olarak kullanılmaktadır.

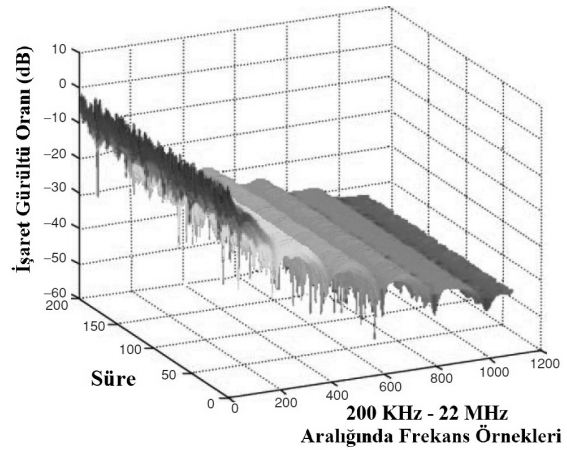
Orta gerilim şebekeleri, yüksek ve çok yüksek gerilim şebekeleri ile alçak gerilim şebekelerinin birbirine bağlanması işleminde kullanılır. Yüksek gerilimlerin direkt olarak kullanıcılara verilmesi izolasyon ve güvenlik açısından uygun değildir. Bu sebeple yüksek gerilimler uygun değerlere indirilerek orta gerilim şebekelerine bağlanır. Orta gerilim şebekeleri küçük şehirler ve sanayi bölgelerine elektrik enerjisinin taşınmasında kullanılır. Orta gerilimler şehirlerin girişindeki dağıtım trafolarına bağlanır ve buradan kullanıcılara dağıtılır. Türkiye'de kullanılan orta gerilim şebekelerinde 10, 15 ve 33 kV'lık gerilimler kullanılmaktadır.

Yüksek gerilim şebekeleri, elektrik enerjisinin üretildiği santrallerden başlayan ve büyük şehirler ile bölgelerin başlangıcı arasında kullanılan şebekelerdir. Yüksek gerilimde dağıtım yapılmaz. Yüksek gerilimler iletime en uygun gerilimlerdir. Çok uzak mesafelere enerji iletiminde alçak gerilimlerde güç kaybı çok olurken, yüksek gerilimlerde güç kaybı az olduğu için yüksek gerilimler çoğunlukla iletim şebekelerinde kullanılır. Türkiye'de kullanılan yüksek gerilim değerleri 66 ve 154 kV'dır. Çok yüksek gerilim şebekeleri 154 kV'un üstündeki gerilimi kullanan şebekelerdir. Türkiye'de

çok yüksek gerilim olarak 380 kV kullanılmaktadır. Bazı yabancı ülkelerde 500 ve 750 kV'a kadar gerilimler kullanılmaktadır. Şehirlerarası ve santraller arası bağlantı için çok yüksek gerilim şebekeleri tesis edilir. Ülkemizde Atatürk Barajı'ndan İstanbul'a hatta İzmir'e kadar uzanan 380 kV gerilimli şebeke mevcuttur [6].

3.2. İletim Ortamı Olarak Enerji Hatlarının Kullanılması

Enerji hatları veri iletimi için oldukça yıkıcı bir kanal etkisi gösterirler. Değişken empedans, büyük miktardaki gürültü ve yüksek zayıflama enerji hattı haberleşmesinin ana sorunlarıdır. Enerji hattı kanalı, enerji hattı ve haberleşme kanalının kötü davranışlarını birleştirerek gezgin haberleşme ortamından daha kötü bir iletim ortamı sunmaktadır. Bu nedenle, sadece mevcut gelişmiş teknolojileri kullanmak yerine yeni teknolojiler de oluşturmak gerekmektedir. Kanal özellikleri hem zaman hem de frekans bağımlı olabileceği gibi, belirli bir elektrik hattı alt yapısındaki alıcı ve verici yapıların konumuna da bağlı olabilir. Dolayısıyla kanal zamanla rastgele değişen, frekans bağımlı İşaret-Gürültü Oranına (Signal to Noise Ratio, SNR) sahip bir kanal olarak tanımlanabilir. Şekil 2'de 200 KHz ile 22 MHz frekans aralığında simülasyonu gerçekleştirilmiş genel bir enerji hattı kanal modeli görülmektedir. Şekil 2'den kanalın artan frekans değeri ile yüksek seviyeli zayıflama gösterdiği görülmektedir [3, 4].



Şekil 2: Genel bir enerji hattı kanal modelinin değişimi [3].

3.3. Enerji Hattı Kanalları İçin Çok Yollu Model

Hensen tarafından enerji hattı kanallarının transfer fonksiyonunu tahmin etmek için basit bir yaklaşım önerilmiştir [7]. Yüksek frekanslar ile artan zayıflamanın düz bir çizgi interpolasyonu sağlanabilir, böylece kanal transfer fonksiyonunun genliğinin hesaplanması için basit bir formül oluşturulabilir. Bu yaklaşımda çok yollu yayılım dikkate alınmadığı için daha detaylı modeller geliştirilmiştir. Philipps [8] ve Zimmermann [9] tarafından önerilen çok yollu yayılım yaklaşımları enerji hattı kanallarının iletim davranışlarının tanımlanması için daha uygundur [10].

Philipps'in yankı modeli kanal dürtü yanıtını, N farklı yoldan gelen sinyallerin süper pozisyonunu temsil eden N dürtü darbesinin toplamı olarak sunar. Bu dürtülerin tümü ρ_i karmaşık katsayısı ile çarpılır ve τ_i süre geciktirilir. ρ_i karmaşık katsayısı, yansımaların çarpımını ve her yankı yolu boyunca iletim katsayılarını gösterir. Bu ise kanal transfer

fonksiyonunun karmaşık (sanal) olmasına yol açar. Philipps'in yankı modeline göre kanal transfer fonksiyonu denklem 1' deki gibi ifade edilebilir.

$$\underline{H}(f) = \sum_{i=1}^N \rho_i \cdot e^{-j2\pi f \tau_i} \quad (1)$$

Bu model, kanal transfer fonksiyonunun çentiklerinin gerçeğe uygun şekilde yeniden üretilmesini sağladığından bina içi kanalların tanımlanmasında uygundur. Alçak geçiren davranış sergileyen tipik Avrupalı erişim şebekeleri gibi kanalların tanımlanması için Zimmermann ek bir zayıflama faktörü içeren uygun bir yankı modeli önermiştir [9]. Bu model N farklı yoldan gelen sinyallerin süper pozisyonunun her birini ayrı bir g_i ağırlıklandırma faktörü ve d_i yol uzunluğu ile tanımlar. Ayrıca bu modelde frekans bağımlı zayıflama a_0 , a_1 ve k parametreleri ile modellenir. Zimmermann tarafından önerilen yankı modelinin kanal transfer fonksiyonu denklem 2'deki gibi ifade edilebilir.

$$\underline{H}(f) = \sum_{i=1}^N g_i \cdot e^{-(a_0+a_1 f^k) d_i} \cdot e^{-j2\pi f (d_i/v_p)} \quad (2)$$

Denklem 2'deki ilk üstel fonksiyon zayıflamayı, ikinci üstel fonksiyon da gecikmeyi tanımlamaktadır. Çok yollu modelin parametreleri, karmaşık kanal transfer fonksiyonunun ölçümlerinden elde edilebilir. a_0 , a_1 ve k zayıflama parametreleri frekans yanıtının büyüklüğünden elde edilir. d_i ve g_i yol parametrelerinin belirlenmesi için ise dürtü yanıtı gereklidir. Dürtü yanıtı her bir yolun gecikme süresi hakkında bilgi verir. g_i ağırlıklandırma faktörü ise her bir dürtünün genliğinden belirlenebilir. Böylelikle enerji hattı kanallarının karmaşık transfer fonksiyonu Zimmermann tarafından pratik, kullanışlı ve evrensel bir şekilde tanımlanmıştır [10].

3.4. Enerji Hattı Kanalı İçin Gürültü

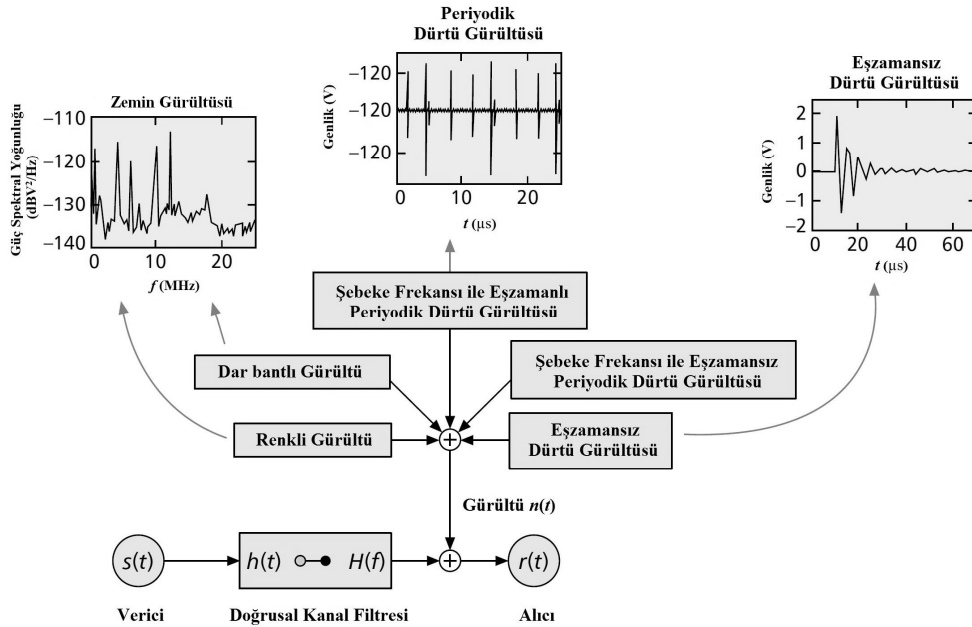
Enerji hattı haberleşmesi için sadece iletim özellikleri değil, aynı zamanda girişim senaryoları da önemli bir rol oynamaktadır. Enerji hattı kanalları iyi tasarlanmış diğer iletişim kanallarından farklı olarak Toplanabilir Beyaz Gauss Gürültüsü (Additive White Gaussian Noise, AWGN) şeklinde bir kanal modeli sergilemezler. Girişim senaryosu oldukça karmaşık olup sadece geniş bantlı renkli gürültü değil, aynı zamanda dar bantlı girişim ve dürtüsel bozukluklar da içerir. Şekil 3'te enerji hattı kanalındaki gürültü senaryoları görülmektedir. İletilen $s(t)$ sinyali $h(t)$ dürtü yanıtına sahip kanaldan geçtikten sonra farklı girişimlerin birleşimi olan $n(t)$ gürültü sinyali ile toplanarak alıcıya ulaşmaktadır. Girişim senaryosu kabaca beş sınıfa ayrılabilir: *renkli zemin gürültüsü*, *dar bantlı gürültü*, *şebeke frekans ile eşzamanlı periyodik dürtü gürültüsü*, *şebeke frekans ile eşzamanlı periyodik olmayan dürtü gürültüsü* ve *eşzamanlı periyodik olmayan dürtü gürültüsü* [10]-[11].

3.4.1. Renkli Zemin Gürültüsü

Renkli zemin gürültüsü oldukça düşük güç spektral yoğunluğuna sahip bir gürültüdür, ancak güç spektral yoğunluğu frekansla değişir ve düşük frekanslarda etkisini önemli ölçüde artırır. Bu tip gürültüye düşük güçlü çok sayıda gürültü kaynaklarının toplamı neden olmaktadır. Bu tür gürültü kaynaklarına karartıcı (dimmer), saç kurutucuları ve bilgisayarlar gibi yaygın kullanılan ev ve ofis cihazları örnek verilebilir. Renkli zemin gürültüsünün güç spektral yoğunluğu saat hatta dakika boyunca zamanla değişir.

3.4.2. Dar Bantlı Gürültü

Bu tip gürültünün ana nedeni genlik modülasyonlu sinüzoidal sinyallerdir. Girişimin bu türü kısa ve orta dalga bandında yayın yapan istasyonlardan kaynaklanır. Girişim seviyesi gün boyunca defalarca değişir.



Şekil 3: Enerji hatlarındaki gürültü [10].

3.4.3. Şebeke Frekansı ile Eşzamanlı Periyodik Dürtü Gürültüsü

Bu tip dürtü gürültüsü genellikle 50/60 Hz şebeke frekansı ve şebeke frekansının katlarında görülmektedir. Yaklaşık birkaç mikro saniye kadar kısa süreli ve frekans artışı ile azalan güç spektral yoğunluğuna sahiptir. Gürültünün sebebi ise şebeke frekansı ile eş zamanlı çalışan güç kaynaklarında bulunan doğrultucu elemanlardır.

3.4.4. Şebeke Frekansı ile Eşzamansız Periyodik Dürtü Gürültüsü

Bu tip dürtü gürültüsü genellikle 50 KHz ile 200 KHz frekans aralığında ayrık çizgi spektrumu şeklinde periyodik olarak görülmektedir. Bu tür gürültüye çoğunlukla anahtarlamalı güç kaynaklarının uzun süreli kullanımı neden olmaktadır.

3.4.5. Eşzamansız Dürtü Gürültüsü

Bu gürültüye elektrik şebekesindeki geçici anahtarlamalar neden olmaktadır. Veri iletimi için en zararlı gürültü tipidir. Bu tip gürültünün süresi birkaç mikro saniye ile mili saniyeye arasında rastgele değişir. Bu tip dürtü gürültüsünün güç spektral yoğunluğu zemin gürültüsünün 50 dB kadar üzerinde olabilir. Dolayısıyla bu tip bir gürültü, yüksek veri iletimi sırasında veri sembollerini blok halinde bozma kapasitesine sahiptir [3], [10]-[11].

3.5. Enerji Hattı Haberleşmesinde Kanal Empedansı

Elektrik şebekesi oldukça yaygın bir ağ yapısına sahiptir. Elektrik şebekesinin empedansını belirleyen başlıca iki unsur vardır: elektrik şebekesine bağlı olan yükler ve dağıtım transformatörlerinin empedansları. Orta ve alçak gerilim transformatörlerine paralel bağlı çok sayıda yük bulunması nedeniyle kanal empedansı çok kararsız bir değişim sergiler. Bu empedans değişimi haberleşme ortamının ve iletim kanalının modellenmesini zorlaştırmaktadır. Verici, alıcı ve kanal empedanslarının uyumlu olduğu durumda ise, alıcı tarafında sinyal gücü maksimuma ulaşmaktadır. Bu nedenle enerji hattı haberleşmesinde empedans uyumu önemli bir rol oynamaktadır. Elektrik şebekesinin frekans bağımlı empedans eşitliği, Japonya'da yapılan ölçüm sonuçlarına en küçük kareler yöntemi uygulanarak denklem 3'teki matematiksel ifade elde edilmiştir [12-14].

$$|Z| = 0.005 * f^{0.63} \text{ (ohm)} \quad (3)$$

Vines'e [15] göre ise, alçak gerilim elektrik şebekelerinde oluşan empedansın nedeni: dağıtım transformatörünün empedansı, kullanılan kabloların karakteristik empedansı ve elektrik şebekesine bağlı elektrik cihazlarının empedansından kaynaklanmaktadır.

3.5.1. Dağıtım Transformatörünün Empedansı

Frekansla değeri artan endüktif bir empedanstır. Dağıtım transformatörlerinin kilo hertz seviyesindeki frekanslarda belirgin empedans eğrileri vardır. Bu empedans eğrileri transformatör özelliklerine göre değişir.

3.5.2. Kullanılan Kablonun Karakteristik Empedansı

Elektrik şebekesinde çok çeşitli kablolar kullanılmaktadır ve bu kablolar birbirlerine seri bağlı bobin ve dirençler şeklinde

modellenebilirler. Karakteristik empedans değerinin 70 Ω ile 100 Ω arasında değiştiği görülmektedir.

3.5.3. Elektrik Şebekesine Bağlı Cihazların Empedansları

Yapılan araştırmalar sonucunda elektrik şebekesine bağlı cihazların empedanslarının 10 Ω ile 1000 Ω arasında değiştiği görülmektedir [12,15].

3.6. Enerji Hattı Haberleşmesinde Sinyal Zayıflaması

Sinyal zayıflaması alçak gerilim elektrik şebekeleri için 100 dB/km, orta gerilim elektrik şebekeleri için ise 10 dB/km kadar olmaktadır. Özellikle alçak gerilim elektrik şebekelerinde görülen bu büyük sinyal zayıflaması 1 kilometreden daha az aralıklarla tekrarlayıcıların kullanılması gerekmektedir. Sinyal zayıflamasında etkili olan faktörler alt başlıklarda incelenilecektir [12].

• Sinyal Zayıflamasının Zaman Bağımlılığı

Sinyal zayıflamasının zamana bağımlılığı çok fazladır, güçlü bir gündüz/gece hassasiyeti vardır.

• Sinyal Zayıflamasının Frekans Bağımlılığı

100 KHz' in üzerindeki frekanslar için sinyal zayıflamasının her KHz başına 0.25 dB arttığı bildirilmektedir [16]. 400 m'den daha uzun kablolarda iletim hattının etkilerinden dolayı sinyal zayıflaması belirli frekanslarda çok yüksek olabilmektedir.

• Sinyal Zayıflamasının Uzaklık Bağımlılığı

Pratik durumlarda sinyal zayıflamasının en kötü durumunun km başına 100 dB olduğu kabul edilmektedir.

• Şebeke Fazları Üzerinden Sinyal Zayıflaması

Fazlar arasındaki zayıflama genellikle 2 ile 15 dB arasında değişmektedir [17]. Ancak bazı aşırı durumlarda sinyal zayıflamasının değeri 40 dB kadar olabilmektedir [12].

3.7. Enerji Hattı Haberleşmesinde Kuplaj İşlemi

Enerji hattı haberleşme birimini elektrik şebekesine bağlamanın kapasitif kuplaj ve endüktif kuplaj olmak üzere iki farklı yolu bulunmaktadır.

3.7.1. Kapasitif Kuplaj

Bu yöntemde kuplaj işlemi kapasitörler aracılığıyla gerçekleştirilir ve sinyal şebeke gerilimi üzerinden modüle edilir. Geleneksel kapasitif kuplaj yönteminde kondansatörler elektrik şebekesine paralel bağlanır. Alçak gerilim uygulamalarında düşük maliyetli bir çözüm sağladığından kapasitif kuplaj sıklıkla kullanılmaktadır, ancak orta gerilim uygulamalarında kuplaj kapasitörlerinin boyut ve maliyetindeki artış nedeniyle kullanımı uygun olmamaktadır.

3.7.2. Endüktif Kuplaj

Sinyalin şebeke akım dalga şekli üzerinden kuplajı bir endüktör kullanılarak gerçekleştirilir. Endüktif kuplaj kapasitif kuplajın aksine elektrik yüklerine seri olarak bağlanır. Bu nedenle tüketici uygulamalarında endüktif kuplaj kullanılmaz. Enerji hattı haberleşmesindeki endüktif kuplajın ana uygulama alanı, elektrik dağıtım şebekelerinde yüksek frekanslı geniş bant haberleşmesidir. Endüktif kuplaj yönteminde elektrik

şebekesiyle fiziksel bir bağlantı olmadığından dolayı kapasitif kuplaj yönteminden daha güvenlidir [12,18].

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, son yıllardaki teknolojik gelişmelerle daha popüler bir hâl alan ve uygulama alanları genişlemekte olan enerji hattı haberleşmesi incelenmiştir. Çalışmada öncelikle enerji hattı haberleşmesinin ortaya çıkış amacı, ilk uygulamaları ve tarihi gelişimi incelenmiştir. Ardından Türkiye’de kullanılmakta olan enerji hatları ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Bir iletim ortamı olarak enerji hattının kullanılması durumunda karşılaşılan ve enerji hattı haberleşmesinin en önemli sorunları olan değişken empedans, büyük miktardaki gürültü ve zayıflama sorunları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çok geniş ölçekli tümleşik devre tasarımı ve sayısal işaret işleme alanlarındaki son gelişmeler enerji hattı haberleşmesindeki sorunların çözümünde yeni avantajlar sağlamaktadır.

5. Kaynaklar

- [1] Yousuf, M.S. ve El-Shafei, M., "Power Line Communications: An Overview-Part I", *4th International Conference on Innovations in Information Technology*, 2007, pp. 218–222.
- [2] Brown, P. A., "Power Line Communications - Past Present and Future", *Proceedings of International Symposium on Power-line Communications and its Applications*, 1999, pp. 1–8.
- [3] Majumder, A. ve Caffery J, Jr., "Power Line Communications: An Overview", *IEEE Potentials*, Vol. 23, No. 4, pp. 4–8, 2004.
- [4] Pavlidou, N., Han Vinck, A.J., Yazdani, J. ve Honary, B., "Power line communications: state of the art and future trends", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 41, No. 4, pp. 34–40, 2003.
- [5] Carcelle, X., *Power Line Communications in Practice*, Artech House, USA, 2009.
- [6] Üstünel, M., Altın, M., ve Kızılgedik, M., *Endüstriyel Elektrik*, M.E.B., Ankara, 2001.
- [7] Hensen, C. ve Schulz, W., "Time Dependence of the Channel Characteristics of Low Voltage Power-Lines and its Effects on Hardware Implementation", *AEÜ-International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 54, No. 1, pp. 23–32, 2000.
- [8] Philipps, H., "Modelling of Powerline Communication Channels", *International Symposium on Power-line Communications and its Applications*, 1999, pp. 14–21.
- [9] Zimmermann, M. ve Dostert, K., "A Multipath Model for the Powerline Channel", *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 50, No. 4, pp. 553–559, 2002.
- [10] Gotz, M., Rapp, M. ve Dostert, K., "Power Line Channel Characteristics and Their Effect on Communication System Design", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 42, No. 4, pp. 78–86, 2004.
- [11] Zimmermann, M. ve Dostert, K., "Analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broad-Band Power line Communications", *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, Vol. 44, No. 1, pp. 249–258, 2002.
- [12] Ferreira, H.C., Grove, H.M., Hooijen, O. ve Han Vinck, A.J., "Power Line Communications: An Overview", *IEEE 4th AFRICON*, 1996, pp. 558–563 (vol. 2).
- [13] O’Neal, J.B., "The Residential Power Circuit as a Communication Medium", *IEEE Trans. Consumer Electronics*, Vol. 32, No. 3, pp. 567–577, 1986.
- [14] Tanaka, M., "High frequency noise power spectrum, impedance and transmission loss of power line in Japan on intrabuilding power line communications", *IEEE Trans. Consumer Electronics*, Vol. 34, No. 2, pp. 321–326, 1988.
- [15] Vines, R.M., Trussell, H.J., Shuey, K.C. ve O’Neal, J.B., "Impedance of the Residential Power-Distribution Circuit", *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, Vol. 27, No. 1, pp. 6–12, 1985.
- [16] Van der Gracht, P., Donaldson, R., "Communication Using Pseudonoise Modulation on Electric Power Distribution Circuits", *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 33, No. 9, pp. 964–974, 1985.
- [17] O’Neal, J.B., "Substation noise at distribution-line communication frequencies", *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, Vol. 30, No. 1, pp. 71–77, 1988.
- [18] Kosonen, A. ve Ahola, J., "Comparison of signal coupling methods for power line communication between a motor and an inverter", *IET Electric Power Applications*, Vol. 4, No. 6, pp. 431–440, 2010.