

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÇAK GERİLİM ENERJİ HATLARINDA DARBAND HABERLEŞME İÇİN
GÜRÜLTÜLERİN SINIFLANDIRILMASI, MODELLENMESİ VE KANAL
EMPEDANS ÖLÇÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Ali SÖNMEZ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÇAK GERİLİM ENERJİ HATLARINDA DARBAND HABERLEŞME İÇİN
GÜRÜLTÜLERİN SINIFLANDIRILMASI, MODELLENMESİ VE KANAL
EMPEDANS ÖLÇÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Ali SÖNMEZ
504111026**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **504111026** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet Ali SÖNMEZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ALÇAK GERİLİM ENERJİ HATLARINDA DARBAND HABERLEŞME İÇİN GÜRÜLTÜLERİN SINIFLANDIRILMASI, MODELLENMESİ VE KANAL EMPEDANS ÖLÇÜMÜ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **02 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **28 Mayıs 2014**

.

Biricik kızım İlayda'ya,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen başta hocam Prof. Dr. Mustafa Bağrıyanık olmak üzere, büyük katkılarda bulunan Araştırma Görevlisi Mustafa Alparslan Zehir, Dr. Alp Batman'a ve aileme teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmalarım sırasında dolaylı yardımları bulunan arkadaşım Mühendis Ali Erdem Bulut'a ve eğitim hayatım boyunca fikirlerinden faydalanma imkânı bulduğum diğer tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve sağladığı destek için İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2014

Mehmet Ali Sönmez

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	3
1.2.1 Kanal empedansı	4
1.2.2 Gürültü	7
1.2.3 Zayıflama	12
1.3 Hipotez	13
2. ENERJİ HATLARI ÜZERİNDEN HABERLEŞME	15
2.1 PLC'nin Tarihsel Gelişimi	15
2.2 Standartlar	18
2.3 Alternatif Akım (AA) PLC Uygulamaları	24
2.3.1 Yüksek gerilim hatlarında PLC.....	26
2.3.2 Orta gerilim hatlarında PLC.....	28
2.3.3 Alçak gerilim hatlarında PLC	29
2.4 Doğru Akım (DA) PLC Sistemleri.....	32
2.4.1 DA PLC otomotiv uygulaması.....	32
2.4.2 DA PLC sağlık uygulaması (Giyilebilir ürünler).....	34
3. PLC SPEKTRAL ANALİZ TEMEL KAVRAMLARI.....	37
3.1 Örnekleme	38
3.2 Analog ve Ayrık Zamanlı Sinyaller İçin Fourier Dönüşümü.....	38
3.3 Kuantalama.....	39
3.4 Analog Sinyalin Tekrar Elde Edilmesi.....	39
3.5 Güç Spektrumu ve Güç Yoğunluk Spektrumu.....	39
4. ÖLÇÜM SİSTEMİ TASARIMI	41
4.1 Gürültülerin Sınıflandırılmasında Kullanılan Ölçüm Sistemi.....	41
4.2 Gürültülerin Tekrar Üretilmesinde Kullanılan Ölçüm Sistemi	43
4.3 Empedansın Ölçümünde Kullanılan Ölçüm Sistemi.....	44
5. SAHA ÖLÇÜM SONUÇLARI VE MODELLEMELER.....	47
5.1 Ölçümlenen Gürültü Türleri ve Karakteristikleri	47
5.2 Gürültünün Üretimi ve Modellenmesi	62
5.3 Empedans Ölçümü ve Modeller	75
5.3.1 PLC kanalı için empedans modelleri	75
5.3.2 Literatürde yer alan PLC kanal empedans ölçüm sonuçları	78
5.3.3 Empedans saha ölçüm sonuçları	78

6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR.....	95
EKLER.....	107
ÖZGEÇMİŞ	111

KISALTMALAR

AA	: Alternatif Akım
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AMI	: Advanced Metering Infrastructure
AMR	: Automatic Meter Reading
AWGN	: Additive White Gaussian Noise
bps	: Bits per second
CDF	: Cumulative Distribution Function
CENELEC	: European Committee for Electrotechnical Standardization
CFL	: Compact Fluorescent Lamp
DA	: Doğru Akım
DAQ	: Data acquisition
DLL	: Data Link Layer
EMC	: Electromagnetic compatibility
FFT	: Fast Fourier Transform
FSK	: Frequency-shift keying
GSM	: Global System for Mobile Communications
HF	: High Frequency
ITU	: International Telecommunication Union
Kbps	: Kilobits per second
LAN	: Local Area Network
LF	: Low Frequency
Mbps	: Megabits per second
NB	: Narrowband
OFDM	: Orthogonal frequency-division multiplexing
pdf	: Probability density function
PHY	: Physical layer
PLC	: Power Line Communication
PS	: Power Spectrum
PSD	: Power Spectral Density
RF	: Radio frequency
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
SLA	: Service Level Agreement
SMPS	: Switched mode power supply
TWACS	: Two Way Automatic Communications System
WAN	: Wide area network
WiFi	: Wireless Fidelity

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1 : pdf parametreleri ve darbe genişlikleri.....	55
Çizelge 5.2 : ST7540 taşıyıcı frekansları ve ölçümlenen gürültü genlikleri	56
Çizelge 5.3 : $ Z $ için nümerik modeller	83
Çizelge 5.4 : $ Z $ 'nin açısı için nümerik modeller.....	84
Çizelge 5.5 : Kablo parametreleri.....	84
Çizelge 5.6 : Empedans ölçüm sonuçlarının özeti.....	85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Darband PLC bandları ve izin verilen sinyal seviyeleri.....	4
Şekil 1.2 : Maksimum güç teoremi.....	5
Şekil 1.3 : Darband PLC gürültü türleri.....	9
Şekil 2.1 : Sabit telefon hattının penetrasyon durumu.....	16
Şekil 2.2 : AB ülkeleri düzenleme kurumları ve eş değer elektrik alan değeri	19
Şekil 2.3 : Darband ve genişband PLC için sinyal seviyeleri.....	23
Şekil 2.4 : Tam elektrikli bir araç	33
Şekil 4.1 : Gürültü ölçüm düzeneği (3-125 kHz)	41
Şekil 4.2 : Labview gürültü ölçüm panel görüntüsü.....	42
Şekil 4.3 : Gürültü üretim çalışması için ölçme düzeneği	43
Şekil 4.4 : Gürültü üretimi Labview bandgeçiren filtre.....	43
Şekil 4.5 : Gürültü üretimi için histogram çalışması	44
Şekil 4.6 : Gürültü üretimi için istatistiki büyüklüklerin toplanması	44
Şekil 4.7 : Empedans ölçüm düzeneği ve kuplaj devresi.....	45
Şekil 5.1 : Seçilmiş yüklerin işletim frekansı ve maksimum gerilimleri.....	48
Şekil 5.2 : 15W Helis biçimli lamba için alınan ölçüm sonuçları	49
Şekil 5.3 : 32W Dairesel lamba için alınan ölçüm sonuçları.....	51
Şekil 5.4 : Bilgisayar besleme ünitesi için alınan ölçüm sonuçları	52
Şekil 5.5 : Güneş paneli eviricisi için elde edilen ölçümler	53
Şekil 5.6 : TV set için alınan ölçüm sonuçları.....	54
Şekil 5.7 : Endüktif bir yükün enerjilenme anı ve hat geriliminin geçici durumu	58
Şekil 5.8 : Endüktif yükün enerjisinin kesilme anı ve hat gerilimi	58
Şekil 5.9 : Endüktif yük hattın beslenmezken ölçülen gürültünün FFT açılımı	59
Şekil 5.10 : Endüktif yükün enerjilenme anındaki gürültüler için FFT açılımı	59
Şekil 5.11 : Endüktif yükün enerjisinin kesilmesi anı için gürültünün FFT açılımı..	60
Şekil 5.12 : Kapasitif yükün enerjilenme anı ve oluşan gürültü.....	60
Şekil 5.13 : Kapasitif yüklerin devreden çıkartılması anı oluşan gürültüler	61
Şekil 5.14 : Kapasitif yüklerin kararlı anı için gürültü FFT açılımı	61
Şekil 5.15 : Kondansatörlerin devreden çıkma anına ait gürültü FFT açılımı.....	62
Şekil 5.16: Evde alınan PSD (Güç Yoğunluk Spektrumu) (3-150 kHz)	63
Şekil 5.17 : Evde alınan PSD ve Modellenen PSD (3-150 kHz).....	64
Şekil 5.18 : Laboratuvarında alınan PSD değişimi (3- 150 kHz)	65
Şekil 5.19 : Laboratuvar için ölçülen ve modellenen PSD (3-150 kHz)	65
Şekil 5.20 : Ev çevresindeki LF ve MF radyo sinyallerinin hatta olan etkisi.....	66
Şekil 5.21 : Laboratuvar çevresindeki LF ve MF radyo sinyallerinin etkisi	66
Şekil 5.22 : Laboratuvarında ölçülen darbe gürültüsü ve harmonikleri	67
Şekil 5.23 : 3 kHz - 4 kHz bandındaki gürültü genliğinin zamana göre değişimi.....	68
Şekil 5.24 : 3 kHz – 4 kHz bandındaki gürültünün faz açısının değişimi	68
Şekil 5.25 : 3 kHz – 4 kHz bandındaki gürültünün genlik histogramı	69
Şekil 5.26 : 3 kHz – 4 kHz bandındaki gürültünün faz açısı histogramı	70
Şekil 5.27 : 3 kHz – 4 kHz bandındaki gürültünün genliği için pdf.....	71

Şekil 5.28 : 3 kHz – 4 kHz bandındaki gürültünün faz açısı için pdf.....	72
Şekil 5.29 : 3 kHz – 4 kHz bandındaki gürültünün genliği için CDF.....	73
Şekil 5.30 : 3 kHz – 4 kHz bandındaki gürültünün faz açısı için CDF	74
Şekil 5.31 : 3 kHz – 4 kHz bandındaki gürültünün üretilmiş hali	74
Şekil 5.32 : İletim hattı için ABCD matrisleri	77
Şekil 5.33 : İletim hattı için çok yoldan sinyal yayılımı (multipath effect).....	77
Şekil 5.34 : 3 kHz – 125 kHz arası empedans ve bileşenlerinin değişimi	79
Şekil 5.35 : 3 kHz – 125 kHz bandındaki empedans açısının değişimi	80
Şekil 5.36 : 3 kHz – 1 MHz arası empedans ve bileşenleri değişimi	80
Şekil 5.37 : 3 kHz – 1 MHz bandındaki empedans açısının değişimi	81
Şekil 5.38 : 3 kHz – 1 MHz bandı hat ve kablo empedans değişimi	81
Şekil 5.39 : 3 kHz – 1 MHz bandındaki hat ve kablo empedans açısı.....	82
Şekil 5.40 : 3 kHz – 1 MHz bandındaki hat empedansı ve modeli.....	82
Şekil 5.41 : 3 kHz – 1 MHz bandındaki hat ve model empedans açısı	83
Şekil 5.42 : PLC G3 için empedans CDF	85
Şekil 5.43 : PLC G3 için empedans pdf.....	86
Şekil 5.44 : PRIME için empedans CDF	86
Şekil 5.45 : PRIME için empedans pdf.....	87

ALÇAK GERİLİM ENERJİ HATLARINDA DARBAND HABERLEŞME İÇİN GÜRÜLTÜLERİN SINIFLANDIRILMASI, MODELLENMESİ VE KANAL EMPEDANS ÖLÇÜMÜ

ÖZET

Elektrik şebekesinin amacı, üretilen elektrik enerjisini tüketicilere sunmaktır. Elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımında kullanılan teçhizat ve cihazlar, frekansı ülkeye göre 50 veya 60 Hz olabilen, sinüsoidal işarete uygun biçimde işletilmek üzere tasarlanmıştır.

Geleneksel elektrik güç sistemlerinin yapısında meydana gelen değişiklikler neredeyse son on yılda gerçekleşmiştir. Eski üretim santrallerinin çok daha verimli ve güvenilir kullanımı için çözüm arayışlarının altında yatan en önemli faktörler; enerji darboğazları ve küresel ısınmadır. Bu bağlamda, geçen on yıllık süreçte dünyada, bütün bilimsel araştırma ve teknolojik kullanımların, yeni enerji kaynakları bulmak üzere yönlendiğini görmekteyiz. Yine, yenilenebilir enerji kaynaklarının dağıtık üretim yapısında kullanımı, artan enerji taleplerini karşılamada önemli bir seçenektir.

Günümüzde, elektrik şebekesinin işletimi, etkileşimli ve daha müşteri merkezli bir yapıya yönelmekte, tasarım ve kontrolünde buna özgü değişiklikler olmaktadır. Araştırmacılar, elektrik güç sisteminin kontrolü ve işletiminin kalitesinin yükseltilmesi amacıyla yeni haberleşme ve bilişim teknolojileri geliştirmektedir. Bu teknolojileri kullanan elektrik güç sistemi, Akıllı Şebeke olarak adlandırılmaktadır. Geleneksel enerji sistemleri, mevcut şebekesini yenilikçi, akıllı enerji cihazları ile donatarak bu dönüşümü sağlayacaktır. Güç sistemlerini etkin ve akıllı biçimde yönetmek için, hızlı ve güvenli bir veri iletişim ağına sahip olması Akıllı Şebeke açısından oldukça önemlidir. Uzak noktalardan akım, gerilim, enerji tüketimi gibi verilerin toplanması, elektrik aygıtlarının durum bilgisine erişilmesi ve kontrol komutlarının iletilmesi için haberleşme ağı şarttır.

Akıllı sayaçlar ile uzaktan sayaç okuma uygulamaları, Akıllı Şebeke içerisinde en dikkat çeken teknolojik uygulama olarak görülmektedir. Bunun nedenini dağıtım şirketlerinin kullanım zamanını esas alan (Time-of-Use) tarifeleri gündeme getirmesi ile açıklayabiliriz. Bugün bu sayaçlar tüketim verilerini hem kullanıcı hem de enerji sağlayıcı ile paylaşabilmektedir. Sayaçlardan otomatik olarak verileri alarak merkezi istasyonlara faturalandırma amacıyla aktaran otomatik sayaç okuma sistemi de, ekonomik ve güvenilir bir haberleşme altyapısına gereksinim duymaktadır. Otomatik sayaç okuma için farklı haberleşme teknolojileri vardır. Radyo frekansına dayalı teknolojiler, Enerji Hattı Üzerinden Haberleşme (Power Line Communication, PLC), geleneksel kablolu veya kablosuz telekomünikasyon şirket şebekeleri üzerinden verilen hizmetler bunlar arasında sayılabilir. Hazır iletişim altyapısı, daha düşük maliyet PLC'yi, en önem verilen uygulama alanı olan otomatik sayaç okuma sistemlerinde, haberleşme teknolojileri arasında öne çıkartmaktadır.

PLC, elektrik enerjisinin taşındığı hatlarda aynı anda veri haberleşmesinin de yapılmasına olanak sağlayan bir teknolojidir. Kullandığı frekans band genişliklerine göre sınıflandırılır. Genişband ve darband olmak üzere ikiye ayrılır. Darband PLC, alçak frekanslarda (Avrupa standardı, 3 kHz - 148.5 kHz), düşük veri iletim hızı (şimdiki hız, birkaç 100 kbps) olan ve kuvvetlendirici (repeater) kullanılarak veriyi uzun mesafelere (birkaç km) iletilebilen bir yapıdadır. Genişband PLC daha yüksek frekanslarda (1.8 MHz- 250 MHz), yüksek veri hızında, daha kısa mesafelerde çalışan bir haberleşme sistemidir. Son zamanlarda darband PLC, Akıllı Şebeke’de yer alacağı önemli uygulamalar nedeni ile büyük bir ilgi görmektedir. Bir diğer uygulaması, güneş paneli mikro-eviricileri ile şebeke arasındaki haberleşmede yer almasıdır. Genişband PLC buna karşın, Akıllı Şebeke’de daha çok son kullanıcı uygulamaları olan internet ve ev ağı paylaşımının yönetimi rolünü üstlenmiştir. Yüksek veri hızı ve ek kablolama ihtiyacı olmaması nedeni ile ev içi çoklu ortam (multimedia) uygulamaları için oldukça dikkat çekici bir teknoloji olmaktadır.

Enerji hatlarının tüketicilere elektriği belirli sınırlar içerisinde (Service Level Agreement, SLA) taşımak ve dağıtmak ile ilgili görevi vardır. Haberleşme sistemine gelince, kanaldan iletilen verinin alıcıya doğru bir biçimde ulaşması esastır. Bu istekleri enerji hattında birleştirerek karşılamak oldukça zordur. Haberleşme açısından; gürültü, zayıflama, empedans uyumsuzlukları, çoklu yansıma (multipath) gibi faktörler sınırlamalara ve sorunlara neden olmaktadır.

Gürültü, bunlar arasındaki en temel sorunlardan birisidir. Elektrik enerjisi ile beslenen her cihaz elektriksel gürültü üretmektedir. Hatta verilen bu gürültüler, hat üzerinde yansımalarla uğrayarak hâlihazırda hat üzerinde mevcut diğer gürültülerle etkileşime girer. Gürültünün parametreleri ülkeden ülkeye değişmektedir. Gürültüler; zamana, yere, yük tipine, enerji hattının topolojisine ve şebeke gerilim değerine bağlı olarak değişkenlik arz eder. Bu hususlar, gürültü konusunda çalışan araştırmacıları, onu matematiksel olarak karakterize etmekte sıkıntıya sokar. Bu nedenle, çok sayıda ve uzun süreli ölçümler alınarak istatistiksel çalışmalar yapılır ve bu veriler ışığında bir matematiksel modellemeye gidilir. Geleneksel haberleşme sistemlerinde beyaz gürültü (Additive White Gaussian Noise, AWGN) sistem tasarım ve analizlerinde kullanılır. PLC sistemlerinde yer alan gürültü istatistiksel davranışları açısından oldukça farklı olduğundan üzerinde çalışılması önem arz etmektedir. Gaussian dağılımında olmayan bu gürültü PLC sistem performansını düşürmektedir. Bu yüzden darband PLC sistemlerinde gürültü davranışları ortaya çıkartılabildiği ve tasarımlarda buna özgü iyileşmeler sağlandığı ölçüde performansta gelişmeler sağlanabilecektir. Temelde gürültü üç ana kategoriye ayrılır. Bunlar sürekli gürültüler, darbe (impulse) tipli gürültüler ve radyo frekansı yayın kaynaklı gürültülerdir.

Bu tezde Enerji Hattı Üzerinden Haberleşme ile ilgili incelemeler iki ana kısma ayrılarak yapılmıştır. İlk kısım gürültü konusundadır. Gürültü için yürütülen ilk çalışma, haberleşme üzerinde en çok etkili olan darbe gürültülerinin karakteristiklerinin ortaya konulması ve PLC ile haberleşmede kullanılan Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (Frequency Shift Keying) yöntemi için olası etkilerinin ortaya çıkartılması üzerinedir. Ölçümler, ev ve üniversite laboratuvarında çeşitli yüklerin devrede olduğu durumlar için gerçekleştirilmiştir. Ev ortamında göz önüne alınan yükler; farklı tip floresan lambalar, TV ve bilgisayardır. Laboratuvar ortamında ise 300 W gücündeki bir güneş paneli mikro-eviricisi için, ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerde darbe gürültüleri, adeta paralel kanallarmış gibi en yüksek gürültü gerilimini, cihazın işletim frekansında olacak şekilde, harmonikleri

ile beraber, tüm frekans spektrumunda yer aldığı görülmüştür. Düşük maliyetli ve düşük veri hızlı bir sistem için FSK'nın darband PLC için iyi bir çözüm olduğundan hareketle ST7540 tümleşik devresinin taşıyıcı frekanslarını ve bunların çevresindeki gürültülerin genliklerinin değişimi standartlarca izin verilen sınırlara göre incelenmiştir. Bu çalışmada bazı yüklerin darbe gürültülerinin FSK üzerine etkileri için önemli sonuçlar elde edilmiştir. Gürültü çalışmasının ikinci bölümü, tüm gürültülerin örneklenmesi ve arka plan gürültüsünün (Background noise) istatistiksel yöntemlerle modellenmesi üzerinedir. Bu çalışma sonucunda benzetim (simulation) amaçlı olarak kullanabilecek bir darband gürültünün üretilmesi sağlanmıştır. Ölçümler ev ortamı ve üniversite laboratuvarında çeşitli yükler için gerçekleştirilmiştir. Gürültü konusundaki ikinci çalışmada, modelde yer alan parametreler bandgeçiren filtre yardımı ile elde edilmiştir. Genlik ve faz açısı verilerinden Olasılık Yoğunluk (Probability Density Function, pdf) ve Dağıtım Yoğunluk (Cumulative Distribution Function, CDF) Fonksiyonları elde edilmiştir. CDF değerleri, düzgün dağılımlı bir fonksiyon pdf değerine göre seçilerek, karakteristik olarak gerçeğine oldukça benzer olarak gürültü tekrar üretilmiştir.

Tez çalışmasının, ikinci ana konusunu, PLC kanal empedans incelemesi oluşturmaktadır. Darband PLC için kanal empedansı; frekans ve yüklerin hattaki durumu ve tipine göre değişmektedir. Özellikle lineer olmayan yükler kanal empedansını değişken yapmaktadır. Rezonans devre etkileri, frekans spektrumunun bazı bölgelerinde etkili olmaktadır. Kalite katsayısı, bu bölgelerdeki frekans seçiciliğini tanımlamada kullanılır. Empedans açısı, yine modülasyon tipi seçiminde önemli bir unsurdur. PLC sistemlerinde iki yönlü veri iletişimi kuplaj devreleri ile mümkündür. Bunlarla iletilecek sinyali üreten verici devre güçleri için empedansın gerçel kısmı önem kazanır. PLC kanal empedans değeri ne kadar küçükse o kadar büyük güçlü bir verici devresi gerekmektedir. Bunları ortaya koymak için kanal empedansı değişimi iyi irdelenmelidir. Empedans çalışmasında, PLC kanalının empedans değişiminin 3 kHz - 1000 kHz bandında frekansa bağlı olarak nasıl değiştiği araştırılmıştır. Model kurmak için gerekli parametreler, veri toplama kartı ile şebeke gerilim ve faz açısı değerinden elde edilmiştir. Yine burada PRIME ve PLC G3 için empedans değişimlerine ait CDF ve pdf değerleri oluşturulmuştur. Bu çalışma içerisinde yine enerji kablolarının kanal empedansına etkisi de incelenmiştir. Bu amaçla farklı kablo boyutları seçilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar pratik bir kullanım amaçlı olarak hem CENELEC 50065-1 bandları hem de PLC G3 ve PRIME darband PLC teknoloji bandlarına özgü düzenlenmiştir. PLC G3 ve PRIME darband PLC teknolojileri için tasarlanacak kuplaj devresinin sarım oran değerlerinin ne olabileceği konusuna da bu çalışma cevap vermektedir.

Görünen o ki PLC, Akıllı Şebeke içerisinde önemli bir haberleşme teknolojisi olacaktır. Akıllı Şebeke uygulamaları da PLC için iyi bir itici bir güç olacak, teknik gelişimleri ve standartlaşma çalışmalarına önemli katkılar sağlayacaktır. Son 20 yılda, PLC konusunda teknik sorunları çözmeye yönelik pek çok adımlar atılmıştır. Buna paralel olarak da günümüzde enerji hatlarının var olduğu her yerde PLC'nin yeni uygulamaları üzerine araştırmalar sürdürülmektedir.

NOISE CLASSIFICATION, MODELLING, AND MEASUREMENT OF CHANNEL IMPEDANCE FOR PLC ON LOW VOLTAGE POWER LINE

SUMMARY

The electricity power grids deliver electric energy from the generation plants to customers, and all transmission and distribution equipment and devices in the grids generally designed to operate with sinusoidal signals whose frequency around 50 or 60 Hz, depending on the country.

The traditional power systems' structure has hardly changed over the past decades. The energy crisis and global warming concerns are the most important factors to find new solutions due to use old plants much more effectively and reliable. Besides that, the effort to find new sources of energy became a challenge for all scientific and technological areas in the world. Use of renewable resources in distributed generation is one of the considerable options for the increasing energy demand.

Today, the operation of the electric distribution system is interactive and moving towards a more customer-centric structure, and the design and control of the system are changing. New communication and information technologies improve the power system's control capability and the service quality. An electrical power system that uses these technologies called a 'Smart Grid'. Conventional energy systems transform into Smart Grid concept by the integration of innovative smart energy devices with the conventional electricity grid infrastructure.

A high-speed, reliable and secure data communication network is essential for Smart Grids in order to manage the complex power systems effectively and intelligently. The communication network is required to access the remote terminals for collecting data such as current, voltage, power consumption etc., and to exchange the electric device's status information and control instructions.

Smart meters, as being one of the upcoming technologies of Smart Grid, have become popular since Distribution Network Operators prefer to apply Time-of-Use rates. In the last decades, meter technology has evolved from electromechanical meters to digital meters. Today smart meters can communicate consumption data to both the user and the service provider. Automatic meter reading (AMR) systems that can be automatically gather data from the metering devices and transfer it to the master station in order to analyze it for billing purposes also needs an economical and reliable communication infrastructure. Various communication technologies in AMR have been proposed, including mobile technologies, based on radio frequency, transmission over the power line, or telephonic platforms (wired or wireless). The inherent communication infrastructure presented by Power Line Communication (PLC), which significantly reduces the cost of building a new communication network, makes PLC a favorable solution for AMR systems.

Power Line Communication is the technology that enables the transmission of data over power line that carries and supplies electric power. PLC is classified according to its frequency bandwidth. It may be either broadband or narrowband systems.

Narrowband PLC works at lower frequencies (Europe standards, 3 - 148.5 kHz), lower data rates (up to 100 s of kbps) and has longer range (up to several kilometers) which can be extended using repeaters. Broadband PLC works at higher frequencies (1.8- 250 MHz), high data rates (up to 100s of Mbps) and is used in shorter range applications.

The narrowband PLC is used for low-rate applications, like remote control and monitoring data acquisition, street light control, home automation and Automatic Meter Reading (AMR). The European PLC regulation norm CENELEC 50065-1 defines the allowed frequency ranges. According to mentioned standard the frequency range subdivided into five sub-bands. These bands are 3- 9 kHz, 9-95 kHz, 95- 125 kHz, 125-140 kHz, and 140-148.5 kHz.

Recently, narrowband Power Line Communication has been receiving widespread attention due to its application in the Smart Grid. Another application that narrowband PLC has been used in is smart energy generation, particularly in micro-inverters for solar panels. Broadband PLC, in contrast, is mainly found acceptance as a last-mile solution for internet distribution and home networking. With its high data rates and no additional wiring, broadband PLC is seen as an exciting and effective technology for multimedia distribution within homes.

Electrical power lines are designed to provide electrical energy to the customer according to service level agreement (SLA). As to communication system, it is vital to receive data transmitted through the channel correctly during communication. However, it is hard to bring these characteristics together in a power line, since noise, attenuation, impedance mismatching and multipath effect restrict the channel performance.

Noise is one of the main problems for the Power Line Communication systems. The power line noise at an outlet is the sum of noise waveforms produced and emitted to the lines from the appliances connected to the power line network. Noise parameters vary from country to country. They depend on time, place, load types, power line topology and mains voltages. This is annoying issue for researchers who try to make a mathematical model to understand these noise characteristics. Therefore, a lot of measurements should be performed along with statistical studies before setting up a mathematical model.

In the design and the analysis of conventional communication systems, stationary additive white Gaussian noise (AWGN) is often used as a model noise. In PLC systems, however, the statistical behavior of this man-made noise is quite different from that of stationary AWGN. The non-Gaussian features of the noise are believed to be the cause of the low quality of PLC systems. Thus, narrowband PLC systems still retain much capacity for performance improvement if the behavior of the noise is clarified and taken into account in the system design.

Basically noise is divided in three main categories. These are named as continuous, impulsive and narrowband noises. In this thesis, noise studies are separated into two parts. First part directly focus on clarifying of impulsive noise and evaluation of it with Frequency Shift Keying (FSK) modulation. The research provided considerable results about the evaluation of impulsive noises and FSK applications. Second part deals with the whole noise categories and modelling of them. These noises were analyzed and according to results of these analyses built a new enhanced narrowband power line statistical noise model that can be used for advanced studies as an offline noise generator.

Measurement campaigns were carried out for various type loads in both university laboratory and a house. Two different type CFLs (Compact Fluorescent Lamp), they are helical 15 W and circular 32 W, were used. One TV set (CRT TV and satellite receiver) and a SMPS were selected so as to describe their impulsive noise behavior. In the laboratory, 300W solar power inverter was connected to mains and measurements were taken in grid connected and islanded operations. Impulsive noises took places as if they were parallel channels and each of their amplitude changed randomly in the studied whole frequency range. However maximum amplitude was detected around the operating frequency and its harmonics. For low cost, low data rate application, such as a power line protection and telemetry, FSK is seen as a good solution in narrowband PLC system. It looked for possibilities of using a FSK transceiver in the noisy channel including the selected loads. For this purpose, ST7540 was considered. It is a half duplex synchronous/asynchronous FSK transceiver for PLC network applications. Noise disturbance's effects were analyzed vicinity of its carrier frequencies.

Noise modelling efforts were carried out using a statistical model. Model parameters were extracted using band pass filter. Filter's time domain outputs were arranged to obtain pdf, CDF of amplitude and phase knowledge of the noise. Then CDF of the noise was transformed as if a uniform random variable's CDF. To make it, a random generator of a PC only generated values for the uniformly distributed 100 random variable in the interval of $[0, 1]$.

The other part of this thesis covers channel impedance study. Narrowband PLC channel impedance or in other words access impedance varies with frequency and various load types. Especially non-linear loads make the channel impedance time variant.

Resonant circuit effects occur in some frequency domain due to these spectral components. Quality factor (Q) of this resonant circuit is used to indicate frequency selectivity. Impedance angle is required to evaluate the modulation type.

Coupling circuits are used in PLC modems to make bidirectional communication. Its transmission power depends on the access impedance, in particular on its real part. The smaller the impedance, the more power is required. Coupling circuit lower and upper cut off frequencies shift according to access impedance value. In order to establish reliable communication system, characteristics of the power line channel have to be investigated carefully.

In the impedance study, it was focused on modelling of frequency dependent impedance characteristics of power line channels within the frequency range from 3 kHz to 1000 kHz. Model parameters were derived from measurements of the mains voltages in using Data Acquisition (DAQ) card and a digital signal processing program. Impedance values were obtained using amplitude and phase measurement records. Cumulative Distribution Function (CDF) and Probability Density Function (pdf) were obtained for PLC G3 and PRIME narrowband access technologies.

Influence of the cable impedance over the power line impedance also examined. Different cable sizes were selected and impedances of them calculated to reveal total effect on the access impedance value. Moreover the results of this study arranged due to use practically with PLC G3 and PRIME technologies.

PLC will provide important communication links within the Smart Grid. In fact, the Smart Grid may become a driving force, speeding up further technical developments and standardization efforts for PLC.

In conclusion, PLC is a reality with excellent market opportunities both in existing scenarios, e.g. home networking, and new ones, e.g. the Smart Grid. Many technical challenges have been solved, especially over the past 20 years. In addition to improving existing solutions, we expect steady innovation from new applications arising wherever a power line is needed.

1. GİRİŞ

Thomas Alva Edison, eğer günümüzde yaşasaydı, modern, ekonomik olarak gelişmiş toplumların oldukça karmaşıklaşan daha verimli, güvenilir ve çevre dostu elektrik şebekelerinin temel yapısının çok fazla değişmediğini görüp kendi zamanındaki bilgilerle hala çözümler üretebiliyor olması onu çok mutlu edebilirdi. Çünkü elektrik enerji üretimi hala ağırlıklı olarak merkezi santrallerde olmakta ve bu üretimin büyük bir kısmı, gelecekte tükenme riski taşıyan, karbon salınımı yüksek fosil kaynaklara dayanmaktadır. Ağırlıklı olarak yine, üretim noktalarından tüketicilere doğru tek yönlü bir enerji akışı söz konusudur. Şebekede, ölçü ve koruma ekipmanları da bu esasa uygun konumlandırılmaktadır. Türkiye'ye ait elektrik üretim, iletim ve dağıtım bilgileri, üretim kaynakları ve bunların 2021 için değişim öngörüsü [1] de mevcuttur.

Edison kadar şanslı olmayan Alexander Graham Bell'in, günümüz ses ve veri iletim cihazları ve şebekeleri ile sıkıntıları olabileceğini söylemek zor olmasa gerek. Çoğu devlete ait olan, sınırlı bir biçimde birkaç hizmet türünü veren ve kablolu ağa sahip telekomünikasyon şirketleri (TelCo), özellikle ses iletimi için, bakır altyapıyı kullanan santrallerine önem vermekteydi. Telekomünikasyon sektöründe oluşan özelleştirmeler ve mevcut uygulamalar dışında, zamanla oluşan ilave istekler, haberleşme alanına farklı bir boyut katmıştır. Telekomünikasyon alanında; internetin ortaya çıkıp genişlemesi [2], daha sonra Yerel Ağların (Local Area Network - LAN) kurulması, ardından Uzak Alan Ağlarının (Wide Area Network - WAN) yaygınlaşması, her noktada kullanıcısı bulunan uçlardan, dijital bilgi talebini artırmıştır. Çoklu ortam (multimedia) içerik paylaşımı, mevcut TelCo yapısı dışında enerji hatlarından da veri iletimini ortaya çıkarmıştır [3-4].

Mevcut enerji hatlarının, elektrik enerjisinin iletim, dağıtım işlevine ilaveten haberleşme amacıyla da kullanılmasını esas alan PLC (Power Line Communication), telekomünikasyon alanında araştırma yapılan ağırlıklı konular listesinde yer almasa da, 20.yy'ın ilk yıllarından günümüze kadar zaman zaman araştırmaların üzerinde yoğunlaştığı bir alan olmuştur. Bilgisayarların yaygınlaşması, elektronik donanımlar içerisinde yer alan bileşenlerin paket, boyut ve maliyetlerindeki azalmalar ve pek çok

ülkede elektrik işletmecilerine ait yapılan düzenlemeler (regülasyonlar) bu fasıllı gelişimlere katkı sağlamıştır. PLC'nin son günlerde haberleşme teknolojileri arasında tekrar büyük bir önem kazanmasını Akıllı Şebeke uygulamalarına bağlamak yanlış bir çıkarım değildir.

Akıllı Şebeke başlığı altında yürütülen çalışmalarda, daha etkileşimli ve kullanıcı merkezli bir düşünceye odaklanılmış olup bu bağlamda, şebekenin tasarım ve kontrolünde önemli değişiklikler ön görülmektedir. Sayısal teknolojide gerçekleşen gelişmeler sayesinde, Akıllı Şebeke'deki cihazlar, ölçüm ve izleme işlerini yapıp birbirleri ve kontrol merkezleri ile iki yönlü haberleşebilecek, gelişmiş kontrol sistemleri, ihtiyaç duyulan kararları yazılan algoritmalar neticesinde otomatik olarak insana gereksinim duymadan alabilecektir. Bununla birlikte operatörlere uzaktan işletim yeteneği sunularak; anahtarların açılması, kapatılması, hata ve arıza halinde söz konusu kısmı ayırma, farklı besleme hatlarından istenilen yere enerji sağlama, şebekedeki cihazları açma veya kapatma mümkün olabilecektir [5].

Akıllı Şebekelerde haberleşme ihtiyaçları, mevcut enerji hatlarını kullanan PLC veya TelCo'ların RF, WiFi, GSM gibi kablosuz, bakır ve/veya fiber kablo altyapıları üzerinden verdikleri bağlantılarla gerçekleştirilebilmektedir [6]. PLC, mevcut enerji hatlarını kullanıyor olması nedeni ile bu seçenekler arasında en ekonomik olanıdır.

PLC, kullanılan frekans band genişliklerine göre sınıflandırılır. Genişband ve darband PLC şeklinde iki kategorilendirme söz konusudur. Genişband PLC 1 MHz üzeri frekans spektrumunu haberleşme için kullanmaktadır. Darband PLC, 1 MHz altındaki frekansları haberleşme amacı ile kullanmaktadır. Avrupa ülkeleri için CENELEC 50065-1 standardı geçerlidir. Bu standart ile orta ve alçak gerilim dağıtım hatları üzerinde gerçekleştirilecek darband PLC uygulamaları için düzenlemeler getirilmektedir. Avrupa CENELEC organizasyonunun genişband PLC konusunda doğrudan bir düzenleme çalışması mevcut değildir. Anılan standart, 3 kHz ile 148.5 kHz'lik frekans bandını beş alt banda ayırmaktadır. İlk band 3 kHz -9 kHz aralığıdır. İkinci band 9 kHz -95 kHz aralığı olup A bandı olarak bilinir. 95 kHz -125 kHz bandı B bandı olarak, 125 kHz – 140 kHz bandı C bandı ve 140 kHz – 148.5 kHz bandı ise D bandı olarak isimlendirilir [7].

1.1 Tezin Amacı

PLC teknolojisi, Akıllı Şebeke'nin haberleşme ihtiyaçlarını karşılayabilen en ekonomik çözüm olmasına rağmen, baş ağrıtıcı pek çok unsuru içeren bir haberleşme ortamına diğer bir ifade ile haberleşme kanalına sahiptir. Elektrik şebekesi, düşük frekanslı (Türkiye için 50 Hz) fakat yüksek güçlü sinüsoidal sinyalleri tüketicilere ulaştırmak üzere tasarlanmıştır. Yüksek frekanslı, düşük güçlü haberleşme sinyallerin iletimi için uygun olmayan bu kanalı PLC standartlarına göre karakterize etmek, uygun modülasyon seçeneklerini bulmak gerekmektedir [8-9]. Mesafe ve frekans arttıkça, etkili bir şekilde oluşan güçlü sinyal zayıflamaları, enerji hatları üzerinden uzun mesafelerde ve yüksek frekanslarda veri iletimi yapılmasını zorlaştırmaktadır. Kanal giriş ve çıkış empedansları frekans, yük tipleri, lokasyon ve yüklerin anahtarlama durumuna göre değişmektedir. Benzer olarak gürültü, diğer haberleşme teknolojilerindeki mevcut seviyelerden çok daha yüksek olup tip olarak da farklılık göstermektedir. Bu tezin amacı; hatta var olan gürültülerin tanımlanması, bunlar arasında etkisi en üst olan darbe gürültülerinin Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (Frequency Shift Keying – FSK) modülasyonu açısından değerlendirilmesi, bilgisayar destekli tasarımlarda ihtiyaç duyulan gürültünün tekrar üretilmesinin sağlanması ve yine önemli bir diğer konu olan empedans değişimlerinin ortaya konarak PLC performansını artırmaktır.

1.2 Literatür Araştırması

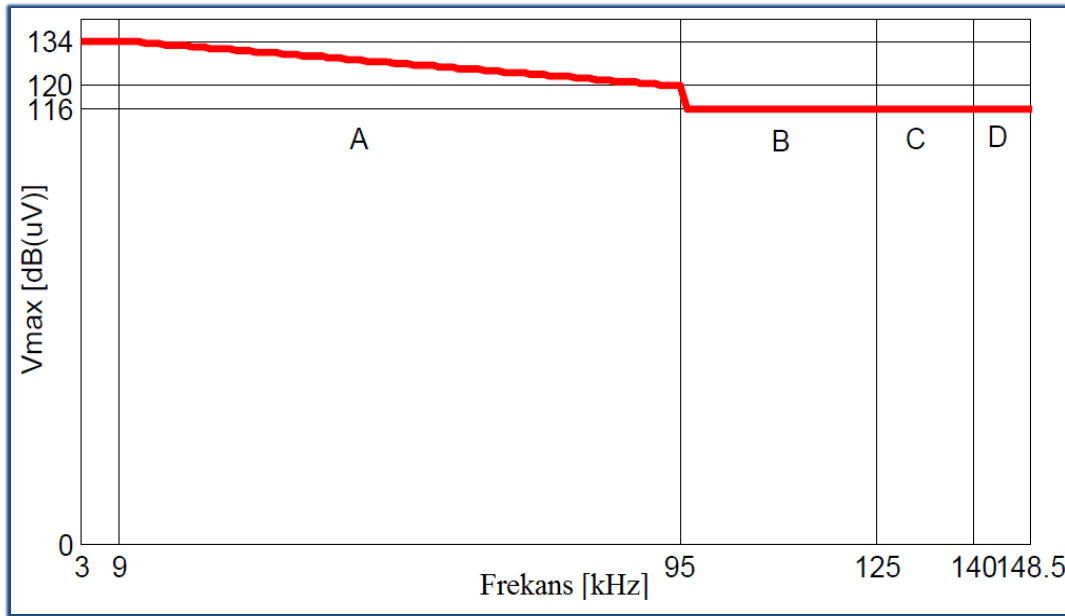
PLC kanalı, ülkelerin elektrik şebekesinin farklılığı, gürültü, zayıflama, çok uçtan yansıma (multipath), lineer olmayan yükler, uygun kuplaj devresi tasarımı ve araya girme kayıpları gibi pek çok sorunla karşı karşıyadır. Bu sorunların çözümü için pek çok çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların diğer araştırmacılar tarafından anlaşılması ve geliştirilmesi için modeller kurulmaktadır. Kurulan modeller haberleşme sistemlerinin zaman ve frekans domenli ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde yapılmaktadır. Model oluştururken deterministik veya istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. PLC kanalının zamanla değişen özelliği nedeni ile çoğu zaman istatistiksel yöntemler sonucu elde edilen verilerden modeller oluşturma önem kazanmıştır. Ancak son yapılan çalışmalarda her iki metodun birleştirilerek karma (hybrid) modellerin oluşturulması benimsenmektedir [10].

1.2.1 Kanal empedansı

Darband PLC sistemlerinde kanal empedansı, diğer bir ifade ile giriş empedansı, frekansın ve hatta bulunan yüklerin durumuna göre zamanla değişen karakterdedir. Giriş empedansı bu sebeple darband PLC sistemlerinde üzerinde yoğun çalışmalar yürütülen önemli bir konudur.

Şebekede, nominal frekansta (50 Hz) dağıtım hattı empedansı çok yüksek ise yük akımının büyüklüğüne bağlı olarak hatta istenmeyen oranlarda gerilim düşümlerine yol açar. Bu gerilim düşümleri yük için çalışma alt sınırına ulaştığında, yükler sürekli hatta girip çıkma şeklinde bir davranış sergileyebilirler. Bu çok sık rastlanan bir durum olmamakla birlikte bu olaylar periyodik olmayan darbe gürültüleri veya yüksek frekanslı sinüsoidal sinyallerin, yaygın bilinen adı ile geçici durumların hatta oluşmasını sağlar [11].

Yüksek empedansın, yük akım büyüklüğüne bağlı olarak oluşturduğu bu etkiden daha ziyade, darband PLC, kendi frekans spektrumunda yer alan düşük empedanslardan daha çok olumsuz etkilenir. Bu, haberleşme ünitelerinde, güç ve gücün aktarımı açısından sorun oluşturmaktadır.



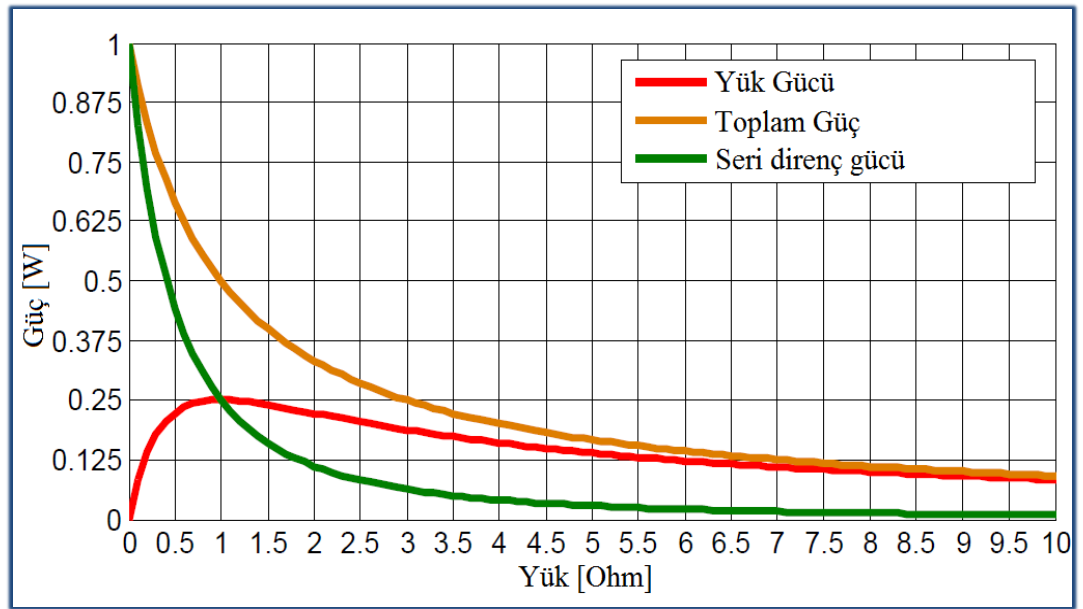
Şekil 1.1 : Darband PLC bandları ve izin verilen sinyal seviyeleri.

Sinyal genliklerinin CENELEC 50065-1 standardına göre izin verilen değerleri Şekil 1.1'de görülmektedir. A bandında öngörülen en yüksek tepe çıkış gerilim değeri 134 dBµV olup 9 kHz'den itibaren logaritmik olarak bu azalarak 95 kHz'de 120 dBµV

seviyesine kadar inebilir. B, C ve D bandı için sinyal tepe çıkış gerilim seviyesi 116 dB μ V olarak tanımlanmıştır. A bandı içerisinde özel kullanım amaçlı olarak 134 dB μ V çıkış seviyeli cihazlar yer almaktadır. B, C ve D bandı içerisinde de yine özel kullanım amaçlı olarak 122 dB μ V ve 134 dB μ V çıkış seviyeli iki sınıfa ayrılmış cihazlar bulunmaktadır.

Standartların belirlediği bu sinyal genliklerinin, hattın düşük empedans değerlerinde de sağlanması ancak verici gücünün artırılması ile mümkün olabilir. Sonuçta, bulunacak en küçük empedans değeri, verici için gerekli en büyük gücü tanımlamak için bilinmesi gereken bir parametredir.

Belirli bir güce sahip vericiden, hatta maksimum güç transferinin hangi değerler arasında gerçekleştirildiği araştırılması gereken bir diğer önemli husustur. Eğer alıcı verici (transceiver) devresinin empedansı kanal empedansına eşit olursa, bir uçtan diğer uca gidecek olan sinyalin gücü maksimum düzeyde hatta aktarılmış olur. Bu maksimum güç transfer teorimi olarak bilinir. **Şekil 1.2**'de 1 Volt genlikli, 1 Ohm seri direnci olan bir kaynaktan beslenen bir direncin değerinin değişimine göre aktarılan gücün durumu görülmektedir. Maksimum güç transferi, direnç değerinin seri dirence eşit olduğu 1 Ohm değerinde gerçekleşmektedir.



Şekil 1.2 : Maksimum güç teoremi.

PLC sinyalleri enerji hattına kuplaj devreleri yardımı ile bağlanır. Kuplaj devreleri, endüktif ve kapasitif olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Kapasitif kuplaj devresi uygulamada en çok tercih edilendir. Bu sayede iki yönlü haberleşme mümkün olur.

Kuplaj devresi, şebekenin yüksek genlikli nominal frekans bileşenlerinin haberleşme devrelerine girerek zarar görmesini önler. Aynı zamanda hat ile haberleşme ünitesinin alıcı ve verici devre empedanslarının eşitlenmesinde de kullanılır.

Kuplaj devresinin hat empedans değerine göre alt ve üst kesim frekanslarının değişmesi söz konusudur. Eğer kanal empedansı küçülürse bu kuplaj devresinin üst kesim frekansının daha alt frekanslara doğru kaymasına neden olacaktır. Tersine alt kesim frekansı ise daha yüksek frekanslara doğru kayacaktır. Kuplaj devresinin üst kesim frekansı $f_{üst}$, denklem (1.1) ile bulunur.

$$f_{üst} = \left(\frac{R}{2\pi L} \right) \quad (1.1)$$

Alt kesim frekansı f_{alt} ise denklem (1.2) yardımı ile hesaplanır.

$$f_{alt} = \left(\frac{1}{2\pi RC} \right) \quad (1.2)$$

Bu denklemlerde R, empedansın gerçel kısmı yani hattın direncidir. Kaçak endüktans L ve kuplaj kapasitörü C ile gösterilmektedir [12].

Darband PLC sistemlerinde empedansın tasarımda ele alınan değerden büyük bir değere ulaşması halinde kuplaj transformatörünün ısınmasına ve zarar görmesine neden olur. Çünkü alt kesim frekansı azaldığı için nominal frekans olan 50 Hz ve harmoniklerini yeterince zayıflatılamayacaktır.

Empedans parametreleri aynı zamanda hattaki zayıflama ve yayılma gecikmesi için de önem arz etmektedir. Bu değerlerin ne oranda değiştiğine göre modülasyon tipi belirlenir. Sinyalin kuvvetlendirilmesi ve faz bozulmalarının düzeltilmesi de bu istenmeyen etkilerden arındırılacak biçimde tasarlanır.

Darband PLC kanal empedansı çoğunlukla yüklerin durumuna göre değişir. Yüklerin bu etkileri frekans spektrumunda belirli frekanslarda yoğunlaşır. Bu yoğunlaşma noktaları yüklerin çalışma frekansı ve onun harmonikleri olacak şekildedir. Bilindiği üzere paralel rezonans olayında empedans rezonans frekansında maksimum değerde iken seri rezonans olayında ise minimum değerde olur. Empedansın maksimum veya minimum olduğu rezonans frekansındaki empedans değerinin yarı değerinde (diğer bir deyişle 3 dB kadar daha az) olduğu alt noktaya alt kesim frekansı, bu koşulu sağlayan üst değere ise üst kesim frekansı denir. Bu iki frekans arası band

genişliğinin ve rezonans frekansının karşılaştırılması neticesinde kalite katsayısı elde edilir. Kalite katsayısı frekans seçiciliği için önemlidir. Kalite katsayısı aynı zamanda sistem kararlılığı için de bir bilgi sağlar. Buna göre kalite katsayısı Q için denklem (1.3) ile hesaplama yapılır.

$$Q = \left(\frac{f_{\text{rezonans}}}{f_{\text{üst}} - f_{\text{alt}}} \right) \quad (1.3)$$

Sistem kararlılığı için sönüm katsayısı (damping factor) ξ , birinci dereceden bir sistem için denklem (1.4) ile bulunur.

$$\xi = \left(\frac{1}{Q} \right) \quad (1.4)$$

PLC kanalında seri rezonans olayı olduğu zaman bu doğrudan doğruya vericinin gücünü veya diğer bir deyişle hatta aktarılan sinyalin genliğini etkiler. Hattaki sinyalin genliğinin küçülmesi ile halihazırda var olan gürültüler hakim bir hal alarak haberleşmeyi olumsuz etkileyebilmektedir. Yine bu rezonans olayı üst kesim frekansını daha düşük bir noktaya kaydırır. Paralel rezonans olayı olduğunda alt kesim frekansı daha da alt frekanslara kayar. Bu kayma neticesinde şebeke temel frekansı ve onun harmoniklerinin filtrelenmesinin daha kötü bir şekilde gerçekleşmesine neden olur. Buda transformatör için dayanma ölçütlerini aşması halinde arıza yapması anlamına gelir.

Kuplaj devresi tasarımında Darband PLC A bandı için, EN50065-7 standardı göz önüne alınarak empedans uyumlaması yapılır. Bu standarda göre [13], alıcı (receive) modda iken, kuplaj empedansı PLC kanal empedansını yeterince küçük yapacak şekilde büyük bir değerde olması istenilir. 3 ile 9 kHz bandında 10 Ohm olması tavsiye edilir. 9 ile 95 kHz aralığında ise 50 Ohm'luk bir değer istenilir (bu band genişliğinin dışında bir sınırlama yoktur). 5 Ohm'luk bir değer, 95 ile 148.5 kHz'lik band için önerilir. Verici (transmitter) modda ise, kuplaj devresi empedansının çok küçük olması istenilir. 3 ile 95 kHz için bir sınırlama olmamasına rağmen 95 ile 148.5 kHz bandında 3 Ohm istenmiştir.

1.2.2 Gürültü

Gürültü, PLC haberleşme sisteminde yer alan bozucular arasında en önemlisidir. Geleneksel haberleşme sistemlerinde, alıcı devreler için problem yaratan gürültü, termal gürültü olarak adlandırılan alıcı yükselteciinden kaynaklanır. Bundan farklı

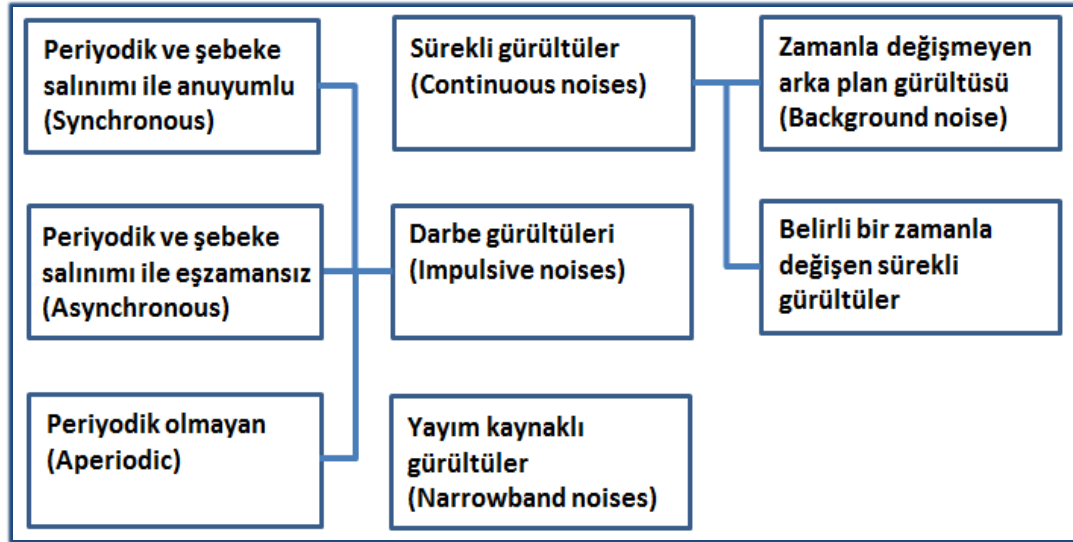
olarak enerji hattındaki gürültüler ülkeden ülkeye hatta ülke içerisinde, zamana ve yüklerin hatta bağlı olup olmamasına göre farklılıklar gösterir. Aynı hatta yükler tarafından oluşan farklı karakteristikteki gürültüler ve hattın uzunluğuna bağlı olarak dağıtım hattının alıcı bir anten gibi radyo, TV, GSM veya diğer telsiz kaynaklı sinyalleri alması ile oluşan gürültüler haberleşmede verinin doğru iletim güvenliği açısından sorun oluşturmaktadır.

Gürültünün özellikleri, doğrudan doğruya kurulacak haberleşme sistemindeki vericiden iletilen ve alıcıdan alınan sinyallerin genliklerinin ve frekanslarının tahsisini etkilemektedir.

Hatlarda ise gerek insanlar gerekse otomatik kontrol cihazları tarafından çok sık anahtarlama olayları meydana gelmektedir.

Gürültünün zaman düzleminde analizi genellikle osiloskop, frekans analizi ise spektrum analizör yardımı ile yapılmaktadır. Bu cihazlar her iki analizi gerçekleştirmede aynı başarıyı gösteremeyebilir. Zaman ve frekans düzleminde analizler için Veri Toplama Kartları (DAQ) ile de çalışmalar yapılabilmektedir. Bugün DAQ lar, Darband PLC için istenilen ölçümleri yapabilecek yeterli örnekleme hızı ve çözünürlüğe sahip ürünlerdir.

Gürültü analizinde gürültünün; güç yoğunluk spektrumu (Power Spectral Density - PSD), genlikleri, süresi ve frekansı önem arz eden parametrelerden bazılarıdır. Darband PLC sistemlerinde var olan gürültülerin sınıflandırılması, analitik ifadelerinin verilmesi ve gürültü kaynağı olan yüklere özgü olarak yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur [14-17]. Bu çalışmalarda elde edilen veriler doğrultusunda zaman düzlemindeki değişimlerine göre gürültü üç ana kategoriye ayrılır. Bunlar sürekli gürültüler (continuous noises), yayımlama gürültüsü (narrowband noises) ve darbe (impulsive noises) türü gürültülerdir. **Şekil 1.3**'te gürültülere ilişkin bu sınıflandırma görülmektedir.



Şekil 1.3 : Darband PLC gürültü türleri.

Sürekli gürültüler; zamanla değişmeyen arka plan gürültüsü (Background noise) ve periyodik zamanla değişen sürekli gürültüler olmak üzere iki alt katagoriye ayrılır. Bu gürültülerin ortak özelliği, PLC kanalında şebeke ana frekansı ve onun harmonikleri ile aynı periyotta, hattın belirli bir döneminde var olan ve yükler nedeniyle oluşan gürültüler olmasıdır. Arka plan gürültüsü, şebekenin belirli bir salınımı süresince gürültünün zarfının sabit kaldığı gürültüdür. Bu gürültülerde Güç Yoğunluğu Spektrali frekansın artması ile azalacak şekilde spektrumda yer alır. Periyodik zamanla değişen gürültüler şebekenin gerilimine göre eş zamanlı bir şekilde değerler alır. Bu sinyalin periyodu şebeke frekansında ya da iki katı frekansında olur. Darband PLC sistemlerinde gürültünün izin verilen limitleri aşan süre, sembol süresi ve paket boyutu dikkate alındığında haberleşmede verilerin hatalı iletilmesine neden olabilmektedir.

Yayım gürültüsü (Narrowband noise); kabloların uzunlukları nedeni ile anten gibi davranıp televizyon, radyo, telsiz veya kablosuz yayım yapan vb. istasyon yayınlarının hatta yer alması ile meydana gelir. Darband PLC sistemlerinde 150 kHz'lık bir sinyalin dalga boyu $(3 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / (150000 \text{ Hz}) = 2000 \text{ m}$ olup kablonun en az 500 metre olması halinde bu tür sinyallerin alınması mümkün olabilecektir.

Darbe gürültüsü, elektrikli cihazların hattan beslenmesi nedeni ile oluşan gürültülerdir. Bu gürültüler yüksek genlikli olup düzenli veya düzensiz darbeler biçiminde ortaya çıkar. Bu karakteristiklerine göre üç gruba ayrılırlar. Birinci grup, hat gerilimi ile eş zamanlı olup gürültü zarfının periyodik bir şekilde şebeke

frekansında veya iki katı frekansta olan gürültülerden oluşur. Bu gürültü tristör veya triyak gibi yarı iletken elemanların anahtarlanması nedeni ile oluşur. İkinci grup gürültü, yine şebeke gerilimi ile eş zamanlı ancak frekans olarak şebeke geriliminden farklı olan (asenكرون) gürültülerdir. Bu gürültüler genelde anahtarlama gücü kaynakları (SMPS) tarafından oluşturulur. Üçüncü darbe gürültü grubu periyodik olmayan darbe gürültüsüdür. Bunların cihazların açılıp kapanması esnasında geçici hal durumları nedeni ile oluşan şebeke frekansından bağımsız gürültülerdir.

Darbe gürültüler modellenirken Middleton gürültü modelleri [18-20], frekans domenli modeller [21], zaman domenli modeller [15] ve salınım bazında değişmeyen (cyclostationary) gürültü [22] modellerinden faydalanılır. Bu gürültüler içerisinde haberleşme açısından üzerinde en çok çalışma yapılan ve en etkili olan darbe gürültüleridir. Çeşitli yükler için yapılmış ölçümlere erişilebilir [23-25].

CENELEC 50065-1 standardına göre maksimum gürültü düzeyi (Maximum Disturbance Level, MDL), 3 - 95 kHz bandı içinde 75.5 – 89 dB μ V (6 - 28 mV) olarak belirlenmiştir. 95 - 148.5 kHz bandı için maksimum gürültü seviyesi 65.97 - 75.5 dB μ V (2- 6 mV) olarak belirlenmiştir.

Gaussian dağılımı göstermeyen gürültüler için en önemli ve yaygın olarak kullanılan bir pdf modelleme Middleton tarafından önerilmiştir. Bu modelde gürültüler A, B ve C sınıfına ayrılmıştır. Bunlar arasında A sınıfı PLC gürültü çalışmalarında tercih edilen bir sınıftır. Bu modele göre, darbe şeklindeki gürültünün n gerilim değeri için pdf ifadesi (1.5) ile yazılır.

$$p(n) = \sum_{m=0}^{\infty} P_m \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_m^2}} \exp\left(-\frac{n^2}{2\sigma_m^2}\right) \quad (1.5)$$

Burada P_m Poisson dağılımı belirtmektedir. Bilindiği üzere bu da denklem (1.6) ile ifade edilir.

$$P_m = \frac{A^m e^{-A}}{m!} \quad (1.6)$$

Burada A darbe indeksidir. A küçüldükçe gürültünün çok daha darbe formuna gittiği anlamına gelir. A 'nın büyüterek sonsuza gitmesi halinde $p(n)$ ifadesi ile verilen pdf Gaussian pdf halini alır. σ_m^2 ifadesi ise (1.7) ile bulunur.

$$\sigma_m^2 = \sigma^2 \frac{\frac{m}{A} + \Gamma}{1 + \Gamma} = \sigma_i^2 \frac{m}{A} + \sigma_g^2 \quad (1.7)$$

Burada $\Gamma = \sigma_g^2 / \sigma_i^2$ olarak tanımlanır. Gaussian ve darbe gürültü bileşenlerinin ortalama güçlerinin oranıdır. $\sigma^2 = \sigma_i^2 + \sigma_g^2$ olup toplam gürültü gücünü ifade eder. Bu modelde gürültü kanalı, farklı gürültü gücünde sonsuz sayıda paralel Gaussian kanalının P_m Poisson dağılımı ile seçilmesi ile oluşur.

Darband PLC sistemlerinde, deneysel çalışmalar sonucunda önerilen bir diğer modelleme çalışması [22] gürültünün periyodik olarak sabit olduğundan hareketle yapılır [26]. Burada gürültü, ortalaması sıfır olan ve varyansı şebeke gerilimi değişimi ile eş zamanlı değişen bir toplanır Gaussian gürültüsü (Additive White Gaussian Noise - AWGN) gibi modellenir. Gürültü gücünün ani varyansı matematiksel olarak (1.8) ile ifade edilmektedir.

Bu modelde 3L parametreleri (A_l, θ_l ve n_l), $l=0, 1, 2, \dots, L-1$ gürültünün karakteristiğini tanımlar. L ifadesi gürültü sınıflarını temsil etmektedir.

$$\hat{\sigma}^2(t) = \sum_{l=0}^{L-1} A_l \left| \sin\left(\frac{2\pi t}{T_{AC}} + \theta_l\right) \right|^{n_l} \quad (1.8)$$

Bu modelde T_{AC} şebeke sinyalinin periyodu olmak üzere, gürültü gücünün zaman ortalaması $\eta(t)$ bir olarak (1.9) ile yazılır.

$$\frac{2}{T_{AC}} \int_{-T_{AC}/4}^{T_{AC}/4} \hat{\sigma}^2(t) dt = 1 \quad (1.9)$$

Hattaki gürültü varyansının t anındaki f frekansı için değeri (1.10) ile hesaplanır.

$$\sigma^2(t, f) = \hat{\sigma}^2(t) \alpha(f) \quad (1.10)$$

$\alpha(f)$ ile PSD değeri tanımlanır ve (1.11) ile ifade edilir.

$$\alpha(f) = \frac{a}{2} \exp(-a|f|) \quad (1.11)$$

Bu modele göre gürültüyü üretmek için sırasıyla birinci adım olarak $\sigma^2(t, f)$ için parametreler tanımlanır. Sonra $\hat{\sigma}^2(t)$ ani varyans Gaussian gürültü ile elde edilir. En son adımda gürültü frekans cevabı $\sqrt{\alpha(f)} = \sqrt{a \exp(-a|f|)/2}$ olan bir filtreden geçirilir. $L=3$ alınarak yapılan bir çalışma [22] de ayrıntılı olarak mevcuttur.

Bu tez içerisinde gürültü üretimi için yapılan matematiksel modelleme, burada anlatılanlardan farklı olup [27] de, 1 MHz - 30 MHz arasında PSD değerinin frekans düzleminde tekrar elde edilmesi için yapılmış bir çalışmanın darband PLC için, gerilim ve faz açısı değerlerinin istatistiksel büyüklüklerinin elde edilmesi ve zaman düzleminde bunlardan yararlanarak gürültü üretilmesi esasına dayanır. Bölüm 5.2’de kullanılan yöntem, yapılan yaklaşımlar ve modelleme ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

1.2.3 Zayıflama

PLC bandında iletilmek istenen sinyal, kuplaj devresi aracılığı ile hatta verilir. Yine bir kuplaj devresi aracılığı ile bu sinyal alınır. Verici, alıcı ve hat empedansı birbirine eşit olduğunda ancak sinyal maksimum değerde alıcı uca erişebilir. PLC sistemleri için zayıflama, hattın uzunluğuna ve ek noktalarının sayısına bağlı olarak önemli değerlere ulaşabilir. Aynı ek sayısı ve uzunluktaki bir kablolada zamana bağlı olarak ölçümlenen zayıflama değerleri değişik değerlerde olabilmektedir. Bunun sebebi, hatta girip çıkan yükler ve dolayısı ile hat empedansında meydana gelen değişimlerdir. Yüksek düzeyde zayıflama değerleri hatta çok sayıda yükün bağlı olduğu zamanlarda olmaktadır. Kanada’da alçak gerilim hattında yapılan bir çalışmaya göre [28], sinyal zayıflamasının 100 kHz altındaki frekanslarda frekanstan bağımsız, fakat bunun üzeri frekanslarda 200 kHz frekansına kadar 0.25 dB/kHz olacak şekilde zayıflama değerlerine erişilmiştir. Sinyal zayıflamasının 400 m den daha uzun kablolarda bazı frekanslarda zayıflamanın çok yüksek olduğu bulunmuştur. Prensip olarak, hatta yük olmaması halinde sinyal zayıflaması mesafe ile lineer olarak değişmektedir. Pratikte, en kötü durum olarak bazı yüklerle 100 dB/km olan zayıflama değerleri de elde edilmiştir [29]. Kısa hatlar (yaklaşık 10 m) dışında ev içi hatlarda zayıflama değeri tipik olarak 20 dB ölçülmüştür [30]. Hatta empedans uyumsuzlukları nedeni ile zayıflamanın arttığına dair çalışmalar yapılmıştır [31]. Türkiye’de yapılmış bir çalışmada [32] endüstriyel, kent ve kırsal hatlarda yapılan ölçümlerde zayıflama oranları sırası ile 30 dB, 20 dB ve 19 dB olarak ölçümlenmiştir. Burada bulunan değerler kablosuz haberleşme sistemlerine ait değerlerden çok yüksek olmadığını ortaya koymaktadır. Bu sonuçlara göre kısa mesafelerde PLC’nin ev otomasyon uygulamaları için uygun olacağı vurgulanmıştır. Zayıflamanın bu olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için alıcı ve verici arası mesafenin kısa tutulması veya kuvvetlendirici kullanılması gerekmektedir.

1.3 Hipotez

Bu tez kapsamında yer alan gürültü ve empedans modellemeleri, uzun süreli gözlemler sonucunda elde edilen verilerin, sayısal işaret işleme programlarında yapılan analizleri sonrasında ortaya konmuştur. Geliştirilen ölçüm yöntemleri, verilerin kayıt şekli ve sonrası inceleme yöntemlerinin daha iyi anlaşılması için 2.Bölüm PLC'nin genel tanıtımına, 3.Bölüm temel spektral kavramlarına, 4.Bölüm ölçüm yöntemlerine, 5.Bölüm elde edilen sonuçlara ve yapılan modellemelere ayrılmıştır. 6.Bölüm ise bu tezde yapılan çalışmada elde edilen sonuçların tartışılmasına ayrılmıştır.

2. ENERJİ HATLARI ÜZERİNDEN HABERLEŞME

2.1 PLC'nin Tarihsel Gelişimi

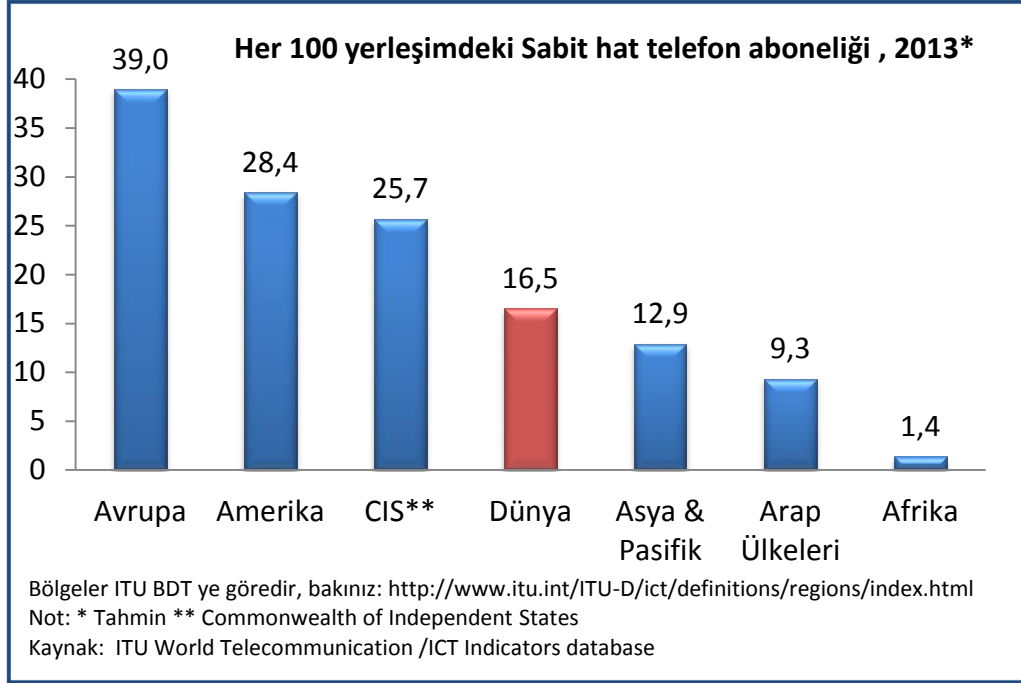
Enerji Hattı Üzerinden Haberleşme'yi esas alan ilk çalışma, Edward Davy tarafından, 1838 yılında, Liverpool telgraf şirketinin Londranın az yerleşime sahip bazı noktalarında kurulu bulunan akülerinin gerilim seviyelerini kontrol etmek amacıyla uzaktan okunabilir bir elektrik sayaç tasarımı üzerine yapılmıştır [33].

PLC sistemi konusunda alınmış ilk patentler İngiltere'de 1897 ve Almanya'da 1901 yıllarına aittir. İngiltere'de alınmış olan patent İsviçre'den Joseph Routin ve C. E. L. Brown'a aittir [34]. Almanya'daki patent Fransız mühendis Loubery tarafından alınmıştır [35]. Loubery bu gün Çift Tonlu Çoklu Frekans Kodlama (Dual-Tone Multi-Frequency - DTMF) teknolojisi olarak bildiğimiz yapıdan biraz daha karmaşık, farklı frekansların farklı mesajlar içermesi düşüncesine dayanan çok tonlu (multitone) sinyalleşme planı üzerinde çalışmalar yaptı. Patent içeriği her bir mesajı almak üzere tasarlanmış filtreleri de kapsıyordu. O zamana ait bu fikir aslında, günümüzün yüksek hızlı PLC teknolojisi olan Dikgen Frekans Bölmeli Çoklama (OFDM) ve Frekans Kaydırmalı Anahtarlama'nın (Frequency Shift Keying - FSK) temel bir çıkış noktasını oluşturuyordu.

1905 yılında Chester Thoradson 1902 yılında gerçekleştirdiği uzaktan okunabilir sayaç konusunda Chicago'da patent almıştır. Ancak, buradaki sistemde ilave bir sinyal hattı kullanıyordu [36]. Sistem maliyet ve yapısındaki sorunlar bunun uygulanmasını mümkün kılmamıştır.

1913 yılında elektromekanik sayaçlar için otomatik kuvvetlendiriciler (repeater) üretildi. 1920'li yıllarda telefon hizmetini veren bazı kamu kurumları, bunu dağıtım hatlarını kullanarak gerçekleştirdi [37]-[39]. Burada yüksek gerilim enerji hatları üzerinden ses iletimine başlandı. Çünkü telefon hatları enerji hatları kadar yaygın değildi. Elektrik hatları kırsal yerlere bile ulaşmıştı [37]. Ancak, alçak gerilim hatlarının bu yıllarda ses iletimi amacıyla kullanılmadığını görmekteyiz. Günümüzde telefon hatlarının hala yaygınlaşmamış olduğu üçüncü dünya ülkelerinde enerji hatları üzerinden telefon, internet erişimi sağlanarak eğitim, sağlık ve bankacılık gibi

işlemlerin götürülmesi düşünülmektedir (**Şekil 2.1**). Bu yüzden bazı Afrika ve Güney Amerika ülkeleri araştırmacıları PLC konusunu çok yakinen takip etmektedir [40-43]. ITU verilerine göre 2013 yılında mobil telefon kullanıcı sayısı 6.8 milyar olup penetrasyon % 96, internetin kullanım oranı % 40'dır.



Şekil 2.1 : Sabit telefon hattının penetrasyon durumu.

Alçak gerilim hatlarında haberleşme birçok zorluklara sahip olduğundan 1920'li yıllardan 1990 yılı öncesine kadar en öne çıkan uygulama alanı kısa-süreli-tepe (peak) enerji taleplerini kontrol etmek için yük yönetimi yapmaktır. Bu teknik 1930'larda dalgacık kontrol (ripple control) veya Dalgacık Taşıyıcılı Sinyalleşme (Ripple Carrier Signaling) olarak bilinirdi [39], [44]. O günlerde, düşük taşıyıcı frekansı (< 3 kHz) ve haberleşme için aşılması gereken zorluklar içeren alçak gerilim şebekesinde başarılı bir haberleşme için birkaç kilowattlık değerlere çıkabilen çok yüksek güçlü sistemlere ihtiyaç vardı [45].

1927 yılında, elektron tüpünün sayaçlarda kullanımı konusunda patent alındı. Bu teknolojinin kullanılmasına istek duyulan diğer bir uygulama alanı, merkezi bir noktadan kısa-süreli-tepe enerji tüketiminin olduğu saatlerde yük kontrolü yapmak (su ısıtıcılarının devreden çıkartılması) düşüncesi yatmaktaydı [44], [45]. Elektrik enerjisi iletimi, üretim santralleri, dağıtım merkezleri ve dağıtım hatlarını kapsayan şebekede iki yönlü haberleşme sistemlerine ihtiyaç duyulması nedeniyle yapılan araştırmalar sonunda, yüksek gerilim ve orta gerilim hatlarının veri iletimi için

güvenilir oldukları, ayrıca hat topolojilerinin basitliği nedeni ile hattın transfer fonksiyonunun eldesinin de kolay olduğu görülmüştür. Fakat haberleşme ortamının sürekliliğinin sağlanması açısından transformatörlerin atlak (bypass) edilmesi gerekliliğinin ortaya çıkması, bu basit yüksek gerilim ve orta gerilim topolojisinde sıkıntılar oluşturmıştır [46].

1936 yılında, indirekt ısıtılmalı katot tüpü akü sistemlerinden çıkartıldı. 1947 yılında minyatür elektron tüpleri kullanılmaya başlandı. İkinci Dünya Savaşı sırasında, bazı amatör radyo istasyonu sahiplerine Radyo Frekans (RF) spektrumunda kısıtlamalar getirilmesi, resmi olarak doğruluğu bilinmese de, bu yayınların PLC ile gerçekleştirilmesi konusunu gündeme taşıdı. Radyo Amatörleri El Kitabı'nın ilk baskısının içerisindeki "Carrier Current Communication" adlı bölümde enerji hattından radyo konusunda bu içerikler yer almaktadır [47].

1954 yılında, AIEE (American Institute of Electrical Engineers) enerji hattından haberleşme konusunda kanallar ve uygulamaları konusunda kılavuz yayımladı. Bu PLC konusunda çalışmaların artmasını sağlamıştır.

1960'lı yıllarda transistörler üretilmeye başlandı 1967'li yıllar tümleşik devrelerin yılı oldu. 1970'li yıllarda elektrik, su, gaz tüketiminin ücretlendirilmesi ötesinde yakın bir zamanda bazı işlevlerin de yapılabileceği ön görüldü. Bunlar arasında; faturasını ödemeyen abonenin ilgili hizmeti almasının otomatik olarak engellenmesi, önemli haberlerin kısa bir şekilde abonelerle paylaşılması, herhangi bir felaket veya kazaların paylaşılması, yük akışı analizlerinin yapılabilmesi, hatta ait istatistiksel bir takım büyüklüklerin elde edilmesi, enerji hattının karakteristikleri mesela gürültü verisini toplamak düşüncesi oluşmuştur [48]-[52].

1980'ler ise mikroişlemcilerin yılı oldu. 1980'lerin sonu ve 1990'lı yıllar ise mikrodenetleyicilerin PLC modemlerde kullanıldığı dönemlerdir. Bu yıllar PLC'nin ev otomasyonu [53] uygulamaları için araştırmaların yoğunlaştığı ve arttığı dönem olmuştur [54]. Avrupa ve Amerika' da enerji hattının haberleşme amacıyla ücretsiz kullanabileceğinin farkına varan tüketiciler, ev otomasyonu ve ev ağı (network) uygulamaları için enerji hattını kullanan (power line modem) modemler satın almaya başladılar. Tüketici elektroniği pazarındaki büyüme ev otomasyonu ve ev ağı için akıllı cihazların üretilmesini de artırdı. Bu cihazlardan beklentiler otomatik olarak veya uzaktan aydınlatma, ısıtma, klima, çoklu-ortam, alarm sistemleri ve fırınlar için

kontrol sağlamasıdır. Bir bina için gece en az sayıda lambanın yanmasının sağlanması veya insanların eve girişinde ışıkların otomatik yanması, çıkışında ise otomatik sönmesi örnekler olarak verilebilir. Bir başka örnek, ısıtma amaçlı tüketilen elektrik enerjisi evde bulunma durumuna göre otomatik ayarlanarak azaltılabilmesidir. Çoklu ortam uygulaması için, otomatik olarak bir radyo programının veya televizyon programının kaydedilmesi ve tekrar ev ağında yayınlanması örnek verilebilir.

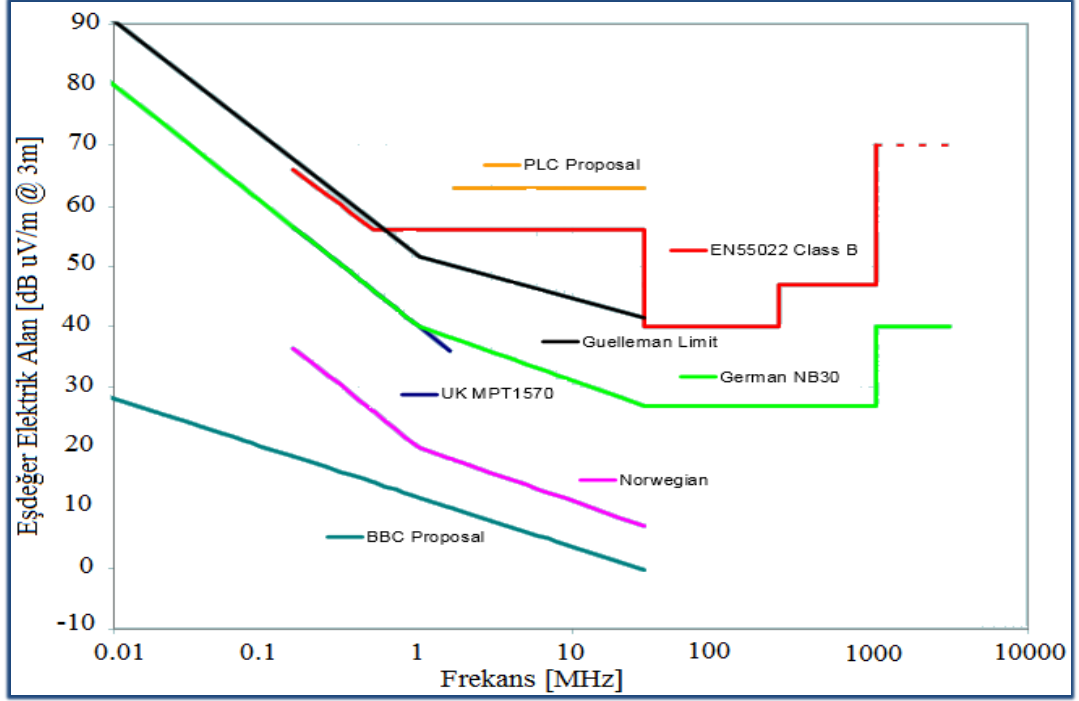
1990 yıllarda bilgisayarların ucuzlamaya başlaması, enerji hattı üzerinde Yerel Alan Ağları (LAN) oluşturması hususunu da beraberinde getirdi [55-56]. Takip eden yıllarda world wide web (www) veya internet hayata girmeye başladı. Gelişmiş ülkelerde çok sayıda ailenin evine internet girdi. Bunu kullanarak araştırılmak istenen konularda bilgiye erişilebilir, gazete okuma, TV izleme, alışveriş ve banka işlemleri yapılabilir olmuştur.

2000’li yıllarda bilgisayarların evlerde yaygınlaşması, ev ağlarının oluşması, bilişim teknolojisi (BT) sektörü için de hedef bir pazar oldu. PLC, ev otomasyonu için ev içi bilgisayar ağlar kurma konusunda ideal bir araç oldu. Bu yıllar aynı zamanda dünyadaki enerji konusunda yaşanan sıkıntıların ve global ısınma konularının tartışıldığı, “Akıllı Şebeke” kavramının ortaya çıktığı dönemlerdir. PLC’nin Akıllı Şebeke haberleşme altyapısında önemli üstünlüklere sahip olması, PLC’ye ilişkin çalışmaları tekrar arttırdı. Günümüzde PLC sistemlerini, Doğru Akım ve Alternatif Akım enerji hattından haberleşme sağlamak üzere iki ayrı alanda görmekteyiz.

2.2 Standartlar

Alexander Bell ilk analog telefonu yaptığında, herhangi bir telekomünikasyon düzenlemesi yoktu ve ileride böyle bir düzenlemeye ihtiyaç olabileceğini ne kimse öngörmüş ne de bu konuda bir bilgiye sahipti [57]. Benzer olarak PLC ilk geliştirildiğinde de böyle bir düzenleme yoktu. Uygulamaların artış göstermesi ve ekonomik olarak belirli boyutlara gelmesi ülkedeki ilgili kurumlarca işletimi ve geliştirilmesi hususunda bir takım düzenlemeler yapılmasını gerekliliğini ortaya çıkartmıştır. Günümüzde bu standartlaşma çalışmaları hala devam etmektedir [58]. Standartlar, ürün, işlem veya hizmete ait kuralları içeren Standart Organizasyonları tarafından yayımlanan yazılı kılavuzlardır. Standartlaşma çalışmasının paydaşları ve çalışma konularına bakıldığında ABD’nin ayrı bir standart yapma istekliliğinde

olduğu görülmektedir. Bunun ana nedeni; ABD pazarının, bu teknolojiyi kullanma, geliştirme ve uygulama konusunda büyük bir potansiyel içermesidir. AB ülkeleri, pek çok komitelerini genel bir yapı etrafında toplamak için çalışmalar yapmaktadır [59]. AB düzenleme kurumları arasındaki düzenleme farklılıkları **Şekil 2.2**'de görülmektedir.



Şekil 2.2 : AB ülkeleri düzenleme kurumları ve eş değer elektrik alan değeri [62].

Burada tartışılan teknik konular: i) frekans bandları, ii) yayım (emisyon) limitleri ve arka plan gürültüsü (Background noise) (bunlar sinyal gürültü oranını etkiler), iii) kuplaj devrelerinin ölçüm standardı ve iv) modem maksimum çıkış gücü [59,60].

Düzenlemelerin basit ve sağlıklı bir şekilde yürütülmesi amacı ile PLC sistemleri işletim frekansı göz önünde bulundurularak ikiye ayrılmıştır.

- 1 MHz frekansının altındaki frekansları kullanan PLC uygulamaları alçak frekans (Low Frequency - LF) ya da darband (narrowband) PLC olarak adlandırılır. Günümüzde bazı ülkelerde darband PLC için düzenlemelerle en fazla 525 kHz frekansına kadar bandın kullanımı söz konusudur.
- Frekansın 1 MHz ve üzeri olan bandda işletimi yapılan PLC için yüksek frekans (High Frequency - HF) ya da genişband (broadband) PLC tanımı kullanılmakta olup 1.6 MHz üzerinde gerçekleştirilecek şekilde uygulamalar yapılmaktadır [61].

LF-PLC ya da darband PLC sistemleri için temel elektrik devre teorisi bilgileri kullanılarak model kurmak mümkündür. Genişband PLC uygulamalarına ait çözümlemelerde, özellikle 10 MHz ve üzeri frekanslarda elektromanyetik teori konusunda da bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Bu frekans bandına özgü yapılacak ölçüm ve tasarımlarda uyulması gereken standartlara ait ayrıntılı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda izin verilen maksimum alan şiddetinin ve bu ölçümün ne kadarlık bir mesafeden yapılması gerektiğine ilişkin tartışmalar olmaktadır [60]. Alan şiddetinin ölçümü hala üzerinde ortak karara varılamamış önemli bir sorundur [61]. Buradaki sıkıntı bazı ülkeler tepe sezicisi (peak dedector) (İngiltere) kullanırken diğer ülkeler (ABD) ortalama sezicisi (average dedector) kullanmayı yeğlemektedir. Bunlardan ortalama sezicisi yaklaşık olarak 10 dB daha düşük okumaya neden olmaktadır. Ayrıca bir diğer anlaşmazlık, bu ölçümün süresi konusundadır [61]. **Şekil 2.2**'de 3 metrede alınmış, çeşitli formül ve diğer yaklaşımlarla düzenlenmiş, bu konudaki tutarsızlıkları gösteren bir çalışma gözükmemektedir [62]. ABD FCC bölüm 15, Almanya NB30 ve İngiltere MPT1570 sınırlamaları [61] referansta bulunabilir.

PLC hususunda farklı ülkelerde farklı düzenlemeler zaman zaman derinleşmekte konu yargıya kadar gitmektedir. Bazı düzenleme kuruluşları yeni bir teknoloji için bir ön düzenleme veya önceden onaya gerek duymaksızın çalışmalara izin vermekte bu da bir şikâyet konusu olmamaktadır [57]. Bu tür girişimlere kontrolsüz bir şekilde kapıları açmak yetersiz cihazların yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Bir düzenleme sonrası bunlara izin verilmesi, istenmeyen sonuçların önlenmesine, zaten çok dikkatli ve hassas müşteri pazarının kontrolü sağlanabilecektir [60].

Kuşkusuz her ülke kendine özgü telekomünikasyon düzenlemelerini yapmak ve bu konuda standartlar tanımlamak özgürlüğüne sahiptir. Bunu yaparken bunun ekonomik olarak gerçekleştirilebilirliğini de göz önünde bulundurmalıdırlar [60]. PLC konusunda çeşitli düzenleme kuruluşlarının yaptığı farklı standartlar cihazların birlikte çalışabilirliği ve müşterilerin beklentilerini karşılama noktasında olumsuzluklar doğurmaktadır. Bu gün ISDN (Integrated Services Digital Network), DSL (Digital Subscriber Line), Kablo TV ve Kablosuz (Wireless) ağlar yıllardır kullanılan sistemler olup bunların müşterilerine özgü cihaz pazarı, sürekli kurulumu azaltan ve hizmet alımını kolaylaştıran bir yapıda yön almaktadır [57], [60]. PLC pazarının büyümesi bu düzenleme kurumlarının bir anlaşmaya varıp ortak düzenlemeler yapması ile mümkün gözükmemektedir.

Bu güne kadar PLC kullanımının istenilen düzeyde yaygınlaşamamasının en önemli nedenlerinden birisi de, tüm paydaşların üzerinde uzlaşa gösterdiği standartların oluşturulamamış olmasıdır. PLC konusunda araştırma ve geliştirme faaliyeti yürüten firmalar çeşitli ürünler ortaya koydular. Zamanla bu firmalar ittifaklar kurarak bu firmaların öncülüğünde gelişmelerin sağlanmasını tercih ettiler. Sonra, yasal düzenlemelerin gerçekleşmesi sürecini beklediler.

PLC haberleşme sistemlerinde Standart Organizasyonları fiziksel katman (PHY) ve veri bağlantısı katmanı (DLL) üzerine odaklanmıştır. PLC’de çalışmalar darband ve genişband olarak iki kategoriye ayrılmış bir şekilde yürütülmektedir. 3 ile 148.5 kHz aralığı CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) tarafından Avrupa standardında yer alan darband PLC frekans bandıdır [63]. Bu frekans bandı enerji hatlarından düşük veri aktarım hızları için uygundur. Darband PLC de 145.3 ve 478.125 kHz bandında yüksek veri aktarım hızında darband PLC uygulaması yapmak da mümkündür. Bu FCC (Federal Communication Commission) tarafından kabul gören ikincil bir bandı oluşturur [64]. ITU (International Telecommunication Union), ISO (International Organization for Standardization), IEC (International Electrotechnical Commission), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ve CENELEC haberleşme sektöründe standartlar konusunda çalışma yapan standardizasyon organizasyonlarıdır. PLC G3, PRIME (PowerLine Intelligent Metering Evolution), ANSI (American Standards Institute), KNX ve HomePlug yine PLC konusunda çalışmalar yapan gruplardır. Bu grup ve standart organizasyonları kullanılacak frekans bandlarını belirlemektedirler. Bu kuruluşların bir kısmı darband konusunda bir kısmı ise genişband konusunda çalışmaktadır. IEEE organizasyonu ve ITU hem darband hem de genişband konusunda standartlar belirlemektedirler. IEEE organizasyonu darband PLC için 9 ile 500 kHz aralığını önermektedir [65]. ITU organizasyonu darband PLC için 3 ile 490 kHz, CENELEC 3 ile 148.5 kHz aralığını önermektedir. Genişband PLC konusunda IEEE 2 ile 50MHz frekans bandında çalışmalar yaparken ITU daha geniş bir frekans band aralığı olan 2 ile 100 MHz aralığını belirlemiştir [66-67]. CENELEC organizasyonu genişband PLC konusunda çalışma yürütmemektedir [68-69]. PLC G3, PRIME, ANSI ve KNX, CENELEC frekans bandlarını kullanan teknolojilerdir. PLC G3, 35 ile 91 kHz aralığındaki bir frekans bandını kullanırken PRIME 42 ile 89 kHz bandını kullanmaktadır.

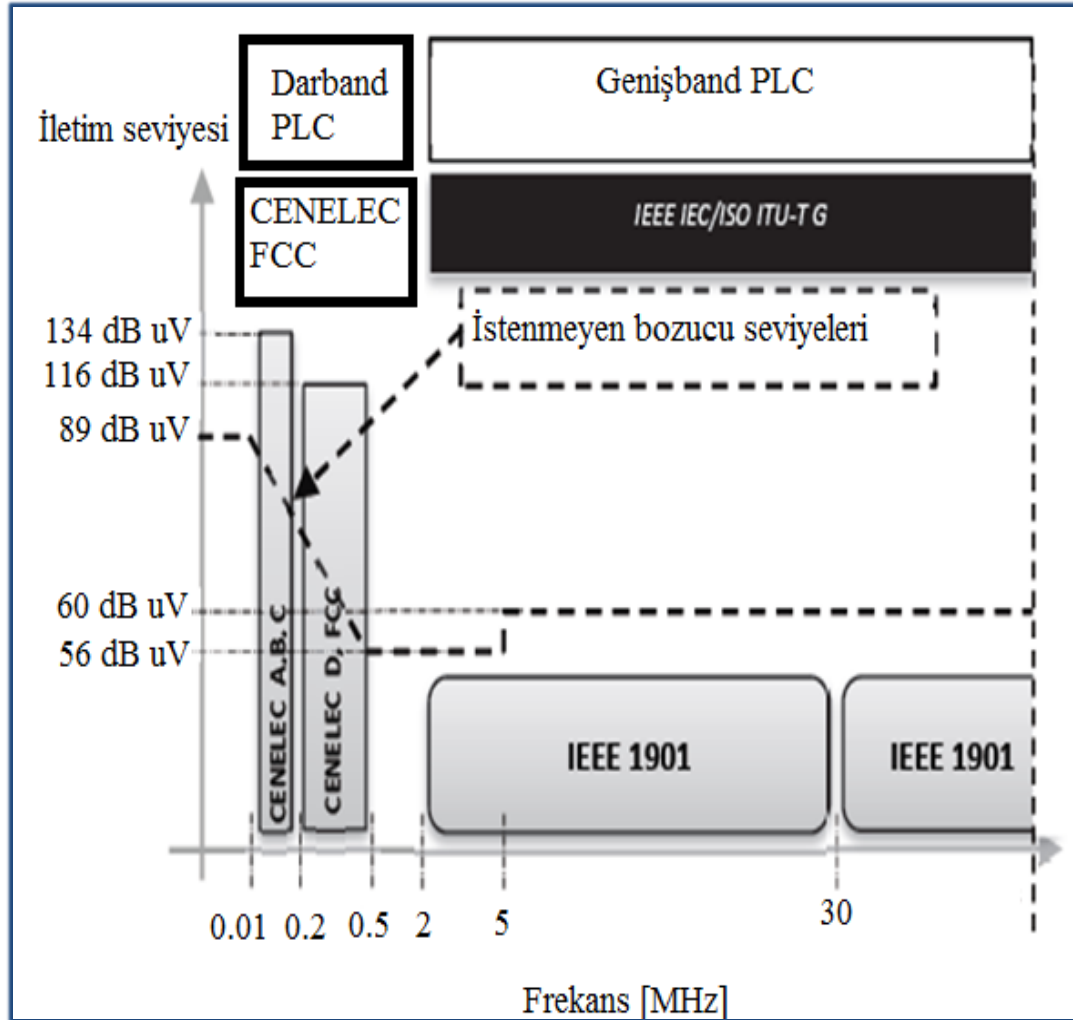
ANSI 86 ile 131 kHz frekans bandını kullanan darband PLC konusunda çalışmalarda bulunmaktadır. KNX 125 ile 140 kHz frekans aralığındaki bandı kullanan bir teknolojidir [70]. HomePlug mevcut PLC frekans bandlarından farklı frekanslarda teknolojik çalışmaları bulunmaktadır. Darband için Home Plug Green PHY (HPGH NB) adında 120 ile 400 kHz frekans bandını kapsayan çalışması mevcuttur. Home Plug aynı zamanda 1.8 ile 30 MHz bandı için de Plug Green PHY ve Home Plug AV (HPAV) çalışmaları mevcuttur [71]. HPGH ile HPAV arasında kullanılan modülasyon, hata düzeltme (Forward Error Correction - FEC) methodları ve erişim yöntemi açısından farklılıklar mevcuttur [70]. HomePlug AV2 HPAV'nin frekanslarını 86 MHz frekansına kadar genişletmiştir [70], [72]. IEEE 1901-2010 standardı 2 ile 50 MHz frekans aralığını kullanmaktadır. IEEE 1901.2 daha düşük frekanslı 500 kHz'den az darband PLC uygulamalarını Akıllı Şebeke uygulamaları için geliştirmektedir. 10 kHz - 490 kHz bandı düşük ve yüksek veri aktarım hızına göre tahsis edilmiştir [65]. ITU organizasyonu fiziksel katmada (PHY) olan çalışma ile veri bağlantı katmanında (DLL) olan çalışmasını ayrı yürütmektedir. ITU darband PLC için ITU-T G.hnem üzerinde çalışma yapmaktadır. ITU-T G.9955 PHY için yapılan düzenlemelere ilişkin standartları sunar. ITU-T G.9956 ise DLL için kurallara ait standartları sunar [67]. Genişband konusunda ITU organizasyonu, ITU-T G.hn. başlığı ile çalışmalarını yürütmektedir. ITU-T G.hn, aslında fiziksel katman için geliştirilmiş olan ITU-T G.9960 standardı ve veri bağlantı katmanı için önerilen ITU-T G.9961 standardını kapsar. ITU organizasyonu, Akıllı Şebeke uygulamaları için 2 ile 30 MHz frekans bandında iki farklı durumda geçerli olacak şekilde ilerlemektedir. Bunlardan biri modemler arası mesafenin 50-100 metre olması hali ve kullanılacak frekansların 2 ile 50 MHz arasındaki bandda olmasıdır. İkinci durumda, 100 metre ve üzeri olarak konumlanmış iki modemin 2 ile 100 MHz arasında haberleşmesi konusunda yürütülen çalışmalar bulunmaktadır [67].

CENELEC organizasyonu PLC'nin çok teknik boyutları ile ilgilenmektedir. Mesela şu anki EN50065-1 standardı Bölüm 1'de, 3 ile 148.5 kHz frekans aralığında genel gereksinimler, frekans bandları ve elektromanyetik bozucular konusunu ele almıştır [63]. CENELEC A (3 kHz-95 kHz) bandı enerji sağlayıcılara rezerve edilmiştir. CENELEC B-C-D (95 kHz- 125 kHz; 125 kHz- 140 kHz ve 140 kHz-148.5 kHz) bandları son kullanıcıya açıktır. EN50065-1 için 2010 sürümü, EN50065-1: 2011

olarak yerini aldı. EN50065-1: 2011 standardı 21-09-2011 de anons edilip 21-03-2012 de yayınlandı [71].

CENELEC organizasyonu, IEC (International Electrotechnical Commission), CEN (European Committee for Standardization) ve ETSI (European Telecommunication Standards Institute) ile bazı bilgileri paylaşmaktadır. PLC konusunda bazı çalışmalar IEC altında, ISO (International Organization for Standardization) katkıları ile geliştirilmektedir. IEC darband PLC için 3 ile 76 kHz bandında çalışmalar yürütmektedir [65].

Aşağıdaki **Şekil 2.3**'te [63],[64] ve [73] den darband ve genişband için derlenmiş sinyal seviyeleri görülmektedir.



Şekil 2.3 : Darband ve genişband PLC için sinyal seviyeleri [73].

2.3 Alternatif Akım (AA) PLC Uygulamaları

AA PLC sisteminin gelişimini anlamak için elektrik dağıtım sistemlerinin gelişimini ve bu yapı içerisinde koruma sistemlerine de bakmamız gerekmektedir [74]. Çünkü üretilen elektrik enerjisinin kullanıcılara dağıtımının geniş bir coğrafyayı kapsaması nedeni ile hata durumunda sistemin korunması ön planda tutulmuştur. Bu nedenle PLC ilk olarak, ticari amaçla koruma sağlamak için özellikle gerilimin 36 kV üzerinde olduğu havai hatlarda kullanılmıştır [75].

PLC'nin Akıllı Şebeke uygulamalarında üstleneceği rol günümüzde tartışmaya açık bir şekilde devam etmektedir. Bu tartışmanın PLC taraftarları, pek çok uygulama için çok iyi bir aday olduğunu düşünmekte diğerleri ise, kablosuz (wireless) çözümlerin alternatif bir çözüm olacağını belirtmektedir. Görünen o ki Akıllı Şebeke pek çok haberleşme sistemini içeren bir yapıda olacak. Bu durumda haberleşme altyapısının fiber optik kablo, telli kablo ya da kablosuz şekilde oluşacağını söylemek zor olmasa gerek.

PLC konusunda ortaya çıkan olumsuz görüşler;

- i) standartlaşma konusunda hala var olan belirsizlikler,
- ii) diğer alternatif haberleşme teknolojilerine göre daha düşük veri aktarım oranına sahip olması,
- iii) bu nitelikteki PLC modemlerin alternatiflerinden pahalı olması ve
- iv) elektromanyetik uyum (EMC) sorununun aşılmamış olması

şeklinde sayılabilir. Kablolu altyapı kullanan haberleşme alternatifleri arasında PLC kablosuz sistemlerin bulunduğu altyapı ile maliyet açısından rekabet edecek tek teknolojik ürün olarak gözükmektedir. PLC uzunca bir süredir özellikle AMR (Automatic Meter Reading) ve AMI (Advanced Metering Infrastructure) uygulamalarında, mevcut hatlarda denemeler ve testlere tabi tutulmuş, bu konuda diğer teknolojilere göre uygulama olarak tecrübeler kazanmıştır.

PLC konusunda gelişmeleri engelleyebilecek iki husus göze çarpmaktadır [76]. Bunlardan birisi yanlış bir PLC teknolojisi ile sadece ekonomik nedenlerle Akıllı Şebeke uygulamalarına hızlı bir başlangıç yapmak amacıyla tercihte bulunmak. Bu konuda, ABD'de PLC cihaz üreticileri Ev/Bina Otomasyonu ağlarına ve internet erişimine özgü üretilmiş genişband ürünlerini aslında Akıllı Şebeke uygulamaları

için tasarlanmamış bu modemlerin kullanımını ticari nedenlerle teşvik etmektedir. Bunların çözümleri fayda sağlamayacaktır. Bazı PLC üreticileri yine Akıllı Şebeke uygulamalarında sadece kendine özgü olan tek bir ürünün kullanılması konusunda eğilimler sergilemektedir. Burada bahsedeceğimiz ikinci bir sorun PLC standartlarının oluşturulması konusudur. Son birkaç yılda genişband PLC konusunda birlikte çalışamaz nitelikte pek çok ürün için bazı standart kuruluşları, örneğin TIA-1113, ITU-T G.hn., IEEE 1901 FFT-OFDM, ve IEEE 1901 Wavelet-OFDM, tarafından onaylanmıştır [77]. Akıllı Şebeke uygulamalarında özel bir uygulama alanına sahip olabilecek genişband modemler için standartlar bu firmalarca yükseltilerek rekabet edilemez ve dolayısı ile birlikte çalışması mümkün olmayan ürünlerin doğmasına neden olmaktadır. Aynı kaderi yüksek veri hızlarına sahip olması düşünülen darband PLC, IEEE P1901.2 ve ITU-T G.hnem ile yaşamaktadır. Bu durum markette kafa karışıklığı ve arzulanan gelişmenin gecikmesine neden olmaktadır. Markette birlikte yer alma fikri CENELEC EN 50065 standartının oluşmasını [78] ve 1992 yılında darband PLC konusunda çözümlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Günümüzde üç tip PLC teknolojisi bulunmaktadır.

- Ultra Darband PLC (Ultra Narrow Band - UNB): Bu teknoloji, veri aktarım hızı en fazla 100 bps kadar olan 0.3-3 kHz frekans bandında veya 30-300 Hz bandında çalışan ürünleri kapsar. Bunun en eski uygulaması Dalgacık Taşıyıcı Sinyalleşmesidir (Ripple Carrier Signaling). Bu tek yönlü haberleşen, Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (Amplitude Shift Keying) modülasyonunu kullanan, 125-2000 Hz frekans aralığında çalışan ve birkaç bps veri aktarımı sağlayan yapıdır. Daha sonrası bir örneği AMR Turtle sistemdir. Veri aktarımı çok çok düşüktür. TWACS (Two-Way Automatic Communications System) olarak adlandırılan şebeke frekans salınımının her birinde en fazla 2 bit veri taşıyan dolayısı ile Avrupa da 100b/s, Kuzey ABD de 120 b/s lik veri taşıma kapasiteli bir sistem de bunun örneklerinden biridir. UNB PLC 150 km ve daha uzun hatlar boyunca düşük veri hızına rağmen kullanılan bir sistemdir [76].
- Darband PLC (Narrowband - NB): Bu teknolojide 3-500 kHz frekans bandı kullanır. Avrupa için CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) bandları 3-148.5 kHz, ABD FCC (Federal Communications Commission) 10-490 kHz, Japonya ARIB (Association of

Radio Industries and Businesses) 10- 450 kHz ve Çin 3-500 kHz bandını kullanılmaktadır.

Düşük veri aktarım hızına sahip darband PLC (Low Data Rate - LDR); tek taşıyıcılı sistemler için hız birkaç kbps olabilmektedir. Bu teknolojiye sahip LDR NB-PLC cihazları için ISO/IEC 14908-3 (LonWorks), ISO/IEC 14543-3-5 (KNX), CEA-600.31 (CEBus), IEC 61334-3-1, IEC 61334-5 (FSK ve Spread-FSK) ile düzenlemeler yapılmaktadır. Standart Geliştirme Organizasyonu dışında Insteon, X10, HomePlug C&C, SITRED, Ariane Controls, BacNet gibi örnekler de mevcuttur.

Yüksek veri aktarım hızına sahip darband sistemler (High Data Rate – HDR) çok taşıyıcılı teknolojiyi kullanır. Bu sistemlerde veri aktarım hızları onlarca kbps den 500 kbps kadar olabilmektedir. HDR NB-PLC için şu anda öngörülen standartlaşmalar ITU-T G.hnem, IEEE 1901.2 dir. Standart Geliştirme Organizasyonu dışında PRIME ve PLC G3 örnekleri de mevcuttur.

- Genişband PLC (Broad Band- BB) 1.8-250 MHz arası frekans bandı kullanılmakta, PHY veri aktarım hızları birkaç Mbps den birkaç yüz Mbps kadar olabilmektedir. Bu konuda TIA-1113 (HomePlug 1.0), IEEE 1901, ITU-T G.hn (G.9960/G.9961) düzenlemeleri mevcuttur. Standart Geliştirme Organizasyonu dışında HomePlug AV/Extended, HomePlug Green PHY, HD-PLC, UPA Powermax ve Gigle MediaXtreme çalışma grupları da bu teknolojiye örnek verilebilir.

2.3.1 Yüksek gerilim hatlarında PLC

Elektrik şebekesinin Akıllı Şebekeye dönüşüm sürecinde şebekenin iletim tarafında da değişimler olacaktır [79].

İletim tarafında güvenilir bir haberleşme ağının bulunması bazı uygulamaların gerçekleştirilmesi için şarttır. Örneğin, durum kestrimi, koruma röleleri, uzak istasyonlara SCADA sisteminin götürülmesi, uzaktaki istasyonların gözetimi, güç kontrol sistemleri. Bu PLC sistemleri, AA veya DA yüksek gerilim hatlarında 40 kHz - 500 kHz bandında birkaç yüz kbps'lık veri aktarım hızları ile yüksek güvenilirlikli, düşük maliyetli ve uzun mesafelere erişilebilen yapıda olup haberleşmede kolaylık sağlar [80].

Yüksek gerilim hatları, kanal karakteristikleri göz önüne alındığında iyi bir dalga kılavuzudur. Bu hatlarda var olan gürültüler genelde korona etkili (corona effect) olup diğer atlama veya boşalma olayları gürültünün gücünü birkaç dB olmasını sağlayabilir. Burada iklime bağlı değişimler görülmektedir. Orta ve alçak gerilime göre hattaki zayıflamalar daha az olması, daha iyi bir haberleşmeye olanak sağlamaktadır. Yüksek gerilim hatlarında PLC'ye alternatif haberleşme altyapısı fiber veya mikrodalga linkleri ile oluşturulabilir.

Yüksek gerilim hatlarında ilk PLC linki 1920'lerde telefon hizmeti sağlamak üzere analog Tek Yan Bandlı Genlik Modülasyonu (Single Side Band Amplitude Modulation) kullanılarak gerçekleştirilmiştir [38]. İlk dijital PLC sistemi ABB tarafından 1999 yılında 64 kbps veri aktarım hızına sahip ve 8 kHz band genişliğinde yapılmıştır [80]. Bu gün gelinen teknolojik ilerlemelerle yüksek gerilim hatlarında yer alan digital modemler 100 km'lik uzunluktaki hatlarda 32 kHz'lik band genişliğinde 320 kbps veri aktarım hızına erişmiştir. Bunun ne kadar yüksek bir spektral verimlilik olduğuna dikkat etmemiz gerekir. Bu gerilim hatları için spektral verimlilik 10 bits/s/Hz iken, genişband PLC de bu oran <7 bits/s/Hz ve darband PLC de bu oran ~ 1 bits/s/Hz dir. Bu gün 120 den fazla ülkede birkaç milyon kilometrelik yüksek gerilim hattında haberleşen PLC sistemleri kurulmuştur.

Yüksek gerilim hatları üzerinden PLC henüz standartlaşmamış olsa da birkaç yıl öncesinde IEC TC57/WG20 böyle bir çalışma başlattı. Burada amaçlanan analog PLC standardı olan IEC 60495'nin yüksek gerilim hatları için dijital PLC olacak şekilde güncellenmesidir.

Yüksek gerilim (YG) hatları üzerinde PLC, bu işler dışında uzaktan arıza yeri tespiti için de kullanılabilir. Yapılan çalışmalarda kırık, kısa devre olmuş izalatörlerin, kopan kabloların ve sigorta konumlarının (açık veya kapalı) durumlarının elde edilmesi amaçlanmaktadır [81]. Başka bir YG havai hat uygulaması ise hatların sehiminin izlenmesidir. Bu konuda 400 kV luk YG havai hattının FCC bandın temel alan bir PLC ile izlendiği rapor edilmiştir [82]. Bu günlerde çok yüksek veri aktarım oranlarına erişme isteği devam etmektedir.

ABD enerji birimi (US Department of Energy) ve Amperion birlikte 69 kV luk ve 8 km uzunluktaki bir hatta yaptıkları genişband PLC testi sonucunda hiç kuvvetlendirici (repeater) kullanmadan 5 ms gecikme ile 10 Mbps veri aktarım

hızlarına ulaşmışlardır [83]. Denemede 2-30 MHz bandında 5MHz'lik band genişliğini kullanan DS2(UPA) tümleşik devreleri ile birbirine komşu iki 69 kV luk hatta haberleşme gerçekleştirilmiştir [84]. Bu denemede hatta bulunan Diferansiyel Akım Koruma Rölelerinin PLC üzerinden uygulaması yapılmıştır [84]. Differansiyel Akım Koruma sistemleri geleneksel olarak fiber kablo kullanılarak yapılma eğilimi bu testlerde elde edilen başarı sonrasında, böylesi hayati bir korumanın ekonomik olarak yapılabileceğini göstermesi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmanın 138 kV luk hatlarda kuvvetlendirici kullanımını azaltacak şekilde denenmesi gündemdedir. Uluslararası diğer YG PLC faaliyetleri de mevcuttur [85-87]. Bu çalışmalardan genişband PLC'nin YG hatlarında yakın bir zamanda önemli roller üstleneceği gözükmemektedir.

2.3.2 Orta gerilim hatlarında PLC

Geleceğin Akıllı Şebekelerinde orta gerilim şebekesinde yer alan cihazların ve güç akışının durumuna ait verilerin istasyon ile şebeke arası transferi büyük önem arz etmektedir. Orta gerilim hatlarında PLC ile mevcut hattın haberleşme oldukça dikkat çekmektedir. Bazı istasyonların otomatik olarak bazı işlevi yapabilmesi için buralarda bulunan akıllı elektronik cihazların (Intelligent Electronic Device, IED) bir ya da birçok IED ile haberleşmesi gerekmektedir. Arızalı bir lokasyon için lokasyonun izole edilmeli ve sistemin yeniden toparlanması (restoration) işlemi yapılmalıdır. Bunun için istasyonlardaki IED'lerin kesici, tekrar-kapayıcı veya ayırıcı gibi anahtarlarla haberleşmesi şarttır. Bir başka örnek olarak dağıtım sistemi besleme hatlarından istenilen lokasyonun beslenmesi için istasyonlardaki IED'lerin yine istasyonlarda bulunan IED'lerle haberleşmesi gerekliliğidir. Tüm bu işlemler için düşük veri aktarım hızında bir haberleşmeye ihtiyaç duyulmaktadır [76].

Dünyadaki orta gerilim hatları veya istasyonlarına ait teçhizatların birçoğu 40 yıl öncesinde kurulmuştur. Bu nedenle kritik öneme sahip hatların ömrünü uzatmak için hatların izlenmesi, arıza yerlerinin tespitinin doğru olarak yapıp güvenli ve ekonomik olarak nasıl giderileceği konusunda verilerin toplanması gerekmektedir. Bu gün kullanılan en etkili arıza bulma tekniği, geçici olarak kabloların hattın ayrılıp uçlarına gerilim uygulayarak kısmi deşarj ölçümü yapılmasıdır. Online olarak bu ölçümleri yapan sistemler yeni bir eğilim olacaktır [88]. Orta gerilim hatlarında Avrupa CENELEC A bandı sınırı olan 95 kHz frekansına kadar inceleme amaçlı

PLC çalışmaları yapılmıştır. Buradaki arıza teşhisine yönelik yapılan çalışmalar, hem arıza bulma hem de haberleşmenin önemini vurgulamaktadır [89].

Dağıtık Üretim yapısında arızalı kısımların adalanarak beslenmesi gibi istenmeyen olayın tespitinin hızlı bir biçimde ortaya konması gerekmektedir. Geleneksel ölçümlerdeki pasif koruyucular, bu tür adalanmaların tespitini yapamayacak derecede yavaştır. Orta gerilim hatlarına sinyal enjekte ederek düşük veri hızlı darband PLC (CENELEC A band) kullanılarak yukarıda bahsedilen hususlarda analiz ve testler yapılmıştır [90]. Burada alternatif haberleşme yöntemlerine göre daha ekonomik olarak yapılması sağlanmıştır. Güneş santrali sistemlerinde denenmiş olan benzer bir çalışmada ise adalanmanın önlenmesinde mevcut diğer yöntemlere göre PLC temelli sistemlerde çok daha iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir [91]. Dağıtık Üretim hususunda PLC temelli başka uygulamalar da mevcuttur [92]. Genel şebekedeki arıza sonucu ortaya çıkabilecek bu adalanma olayının önlenmesi olayı dışında orta gerilim şebekesinde uzaktan kontrol yapılarak, orta gerilim uygulamalarına özgü olarak transformatörler içerisindeki yağ sıcaklığının ölçülmesi, YG/OG transformatörlerinin ikincil sargılarındaki gerilimlerin ölçülmesi, hata taraması yapılması, güç kalite ölçümlerinin yapılması ve analizi konusunda da çalışmalar görülmektedir [93].

2.3.3 Alçak gerilim hatlarında PLC

PLC Akıllı Şebeke uygulamalarının çoğu alçak gerilim tarafındadır. Bunları genel bir başlıkta toparlarsak;

- i) Otomatik sayaç okuma (Automatic Meter Reading (AMR)/ Advanced Metering Infrastructure (AMI)),
- ii) Elektrikli araç ve şebeke uygulamaları,
- iii) Talep tarafı yönetim ve
- iv) Ev içi enerji yönetim işlevleridir.

AMR ve AMI da kullanımına öncelikle değinecek olursak; tek yönlü sayaç okuma sistemi olan AMR'dan farklı olarak AMI sistemleri müşteri ile sistem arasında iki yönlü haberleşmeye izin veren bir yapıdır. Dahası AMI elektrik sağlayıcıların sayaçlarla etkileşime geçerek müşterilerine elektrik kullanım bedelinin gerçek zamanlı sunulduğu bir yapıda öngörülmektedir [94]. Her ne kadar akıllı sayaç

uygulama olarak dünya genelinde üzerine dikkatleri çekse de akıllı sayaç olmadan da Akıllı Şebeke uygulamalarını gerçekleştirmenin birçok yolu bulunmaktadır. Burada sayaçlar, elektrik sağlayıcılar için önem kazanmıştır, çünkü; işletim maliyetlerini ve kayıpları, hırsızlıkları azaltmada önemli bir araçtır. PLC teknolojisi kesinlikle AMR/AMI uygulamaları için en iyi yöntem olacaktır. UNB/NB PLC temelli çalışan yüz milyonlarca sayaç yer alacaktır. AMR/AMI uygulamalarında ilk önceleri UNB-PLC yer almıştır. Her ne kadar veri aktarım hızı çok düşük olsa da UNB PLC sinyalleri orta gerilim ve alçak gerilim transformatörlerinden kolaylıkla geçebilmiştir. Burada ayrıca değinilmesi gereken nokta UNB PLC'nin hatta uyumu ile ilgili bir gereksinim duymamış olmasıdır. Oysa dağıtım transformatörlerinin seri empedansları, güç faktörü düzeltmek için kullanılan kondansatörler yüksek frekanslı sinyaller için alçak geçiren bir filtre işlevi görmektedir. Sonuçta bu sistemlerle 150 km ye kadar mesafelerde iletişim yapılmıştır. UNB PLC sistemleri markettede büyük başarı elde etmiştir. Turtle system ABD de kırsal yerleşkelerde kullanılmıştır. TWACS temelli çalışan 15 dakika aralıkla okuma yapan birkaç milyon sayaç sistemi ABD ve Latin ABD ülkelerinde çalıştırılmıştır [95].

Darband PLC AMI uygulamaları özellikle yüksek veri aktarım hızı konusunda çalışılan iki darband PLC konusu ile ağırlık kazanmıştır. Bunlar IEEE 1901.2 ve ITU-T G.hnem standartlarıdır. Tüm PLC uygulamalarının başarı ölçütlerini sınırlayan bir diğer unsur da dağıtım transformatörleri ve kapasitelerdir. Bunlar alçak geçiren filtre davranışı sergilerler [96-97]. Kapasiteler ve transformatör endüktansları çeşitli frekanslarda rezonans devresi oluşturması hatların frekans seçiciliği sergilemesine neden olur. Bu durum yüksek frekanslarda RF sinyallerinin hatta kuplajı nedeniyle de görülür [98]. Genişband PLC için de orta gerilim (OG) ve alçak gerilim (AG) transformatörleri arası geçiş için yine kuplaj devrelerine gereksinim duyulmaktadır. OG/AG transformatörleri Kuzey Amerikada 10 dan az müşteriyi besler. Bu sayı Avrupa da 200 civarındadır. ABD deki bu az sayıdaki müşteriler nedeni ile merkezi bir konsantratör ile ilave bir altyapıya gerek kalmaksızın (repeater veya kuplaj elemanları) haberleşme ekonomik olarak gerçekleştirilebilir. PLC teknolojisinin uygulanabilirliği bu açıdan ABD de daha kolaydır. PLC temelli çözümler, hatta meydana gelen tıkanıklık gibi problemleri çözme konusunda ZigBee veya WiFi gibi kablosuz çözümlere nazaran daha iyi sonuçlar verebilir [99].

Elektrikli araç ve şebeke haberleşmesi (Vehicle-to-Grid Communications) konusuna da değinecek olursak: Plug-in ve hybrid elektrikli araçların aküleri elektrikli araç şarj ünitelerine bağlanarak şarj işlemlerinin yapılması planlanmaktadır. Burada bu cihazların şarjı esnasında oluşacak talebin karşılanması ile ilgili çeşitli senaryolar düşünülmektedir. Bu senaryolar içerisinde olmazsa olmazlar arasında araç ile şarj istasyonu, şarj istasyonu ile sayaç, internet, elektrik dağıtım şirketi bilgi ağına bağlantı gibi işlemler için haberleşme ihtiyacı bulunmaktadır. PLC araç içerisinde kablolu azlığı, basitlik gibi avantajları yanında güvenlik ve yetkilendirme konusunda da kablosuz (wireless) çözümlere göre üstünlükleri bulunmaktadır. Her ne kadar bu gün eviricilerin (inverter) ürettiği harmonikler problem olarak gözükse de çözümü konusunda çalışmalar sürmektedir. Burada NB PLC çözümlerinin yer alması, sayaç ve diğer uygulamalar arası bütünleşme için önemli bir avantajdır [76].

Talep tarafı yönetim uygulamasına (Demand Side Management - DSM) değinecek olursak; Alçak gerilim tarafında talep yönetimi özellikle ABD’de üzerinde çalışılan ve önem verilen bir konudur [100-101]. Kullanıcıların tüketim alışkanlıklarının şebekenin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde etkilenmesi ve değiştirilmesi ile ilgili tüm uygulamalar, talep tarafı yönetimi başlığı altında toplanmaktadır. Dünyadaki en büyük yük kontrol sistemi Florida da yirmi yılı aşkın bir süredir UNB PLC (TWACS) teknolojisini kullanarak yapılmaktadır. Florida Power and Light 700000 müşterisinin bulunduğu yerde 800000 Yük Kontrol Cihazı yerleştirerek birkaç dakikalık süre içerisinde 2 GW’lık bir yükü yönetebilmektedir. Florida Power and Light 1.4 milyon AMI için TWACS altyapılı bir çalışma yapmaktadır [95]. Alçak gerilim tarafındaki yüksek zayıflama oranları nedeni ile genişband PLC çözümleri talep yönetimi konusunda iyi sonuçlar vermemektedir.

Ev içi uygulamalarda; Akıllı Şebeke’de ev veya bina enerji yönetim sistemi merak uyandıran bir diğer başlıktır. Buradaki çeşitli uygulamalarda CENELEC/FCC/ARIB bandlarında verilen PLC çözümleri ile eğlence (entertainment) ve internet amaçlı genişband PLC çözümlerini doğru yere oturtmak gerekmektedir. Ev/Bina enerji yönetim sistemleri binada oturanlara her zaman ekonomik bir getiri sağlamaktan ziyade şebekenin güvenilirliğini artırma ve ani taleplerin azaltılması konusunda katkı sağlar. Buradaki birimlerde bir akıllı sayaç da hizmet verebilir. Akıllı sayaçların bunlardan farkı, daha düşük maliyetli sensörler olması ve ani talebi raporlayabilmesidir. Ev/Bina enerji yönetim sistemleri cihazları yönetmek

konusunda bir işlev kazanmaktadır [102]. Bu gün karma bir AA/DA elektrik altyapısı yaygınlaşmaktadır. Evlerde elektrik üretimi (güneş paneli, yakıt hücresi) ve depolanması hususunda DA yapıları çoğalmaktadır. Bu nedenle DA yapılar üzerinde PLC haberleşmesi yine önemli bir yer tutacaktır.

2.4 Doğru Akım (DA) PLC Sistemleri

PLC her ne kadar mevcut alternatif akım taşıyan elektrik hatları için üzerinde çok konuşulan bir uygulama olsa da Doğru Akım uygulamalarında da yer almaktadır. Bu alanlardan en öne çıkanlar otomotiv ve sağlık olarak gözükmektedir. Bilindiği üzere elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımı 19. yy da Edison'un doğru akıma yönlendirmesi neticesinde ABD'de bir süre kullanılmıştır. Ancak iletim hatlarında iletkenlerden dolayı kaybolan güç nedeni ile Alternatif Akım yavaş yavaş Doğru Akım sistemlerinin yerine kullanılmaya başlandı. Elektrik enerji üretim yöntemi hemen hemen tüm ülkede on yıllık bir süre içerisinde Alternatif Akım şeklinde yer aldı. Günümüz modern toplumlarında artan enerji taleplerini en verimli bir şekilde karşılamak için gerilimin yükseltilerek akımın azaltılması yoluna gidilmektedir. Bu ihtiyaçlar, birlikte çalışabilecek yüksek güçlü üretim tesislerinin inşasını gerektirmektedir. Hem bu tesislerin inşası, hem de senkronizasyon, faz kayması, yüksek iletken direnç değerleri gibi sınırlayıcı faktörler daha da iyi üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin bulunmasını zorunlu kılmaktadır. Daha iyi çözüm bulunması hususunda artık Doğru Akım sistemlerinin de tekrar kullanılmaya başlandığını görmekteyiz. Örnek verecek olursak, raylı sistemlerde ilerleyen toplu taşıma araçları 500V ve 750V, otomobiller 12V veya 24V, hibrid veya elektrikli tren sistemleri 320V ve 600V, elektronik cihazlar 3.6V veya 5 V ve telefon sistemleri -48V doğru gerilimle çalışan sistemlerdir.

2.4.1 DA PLC otomotiv uygulaması

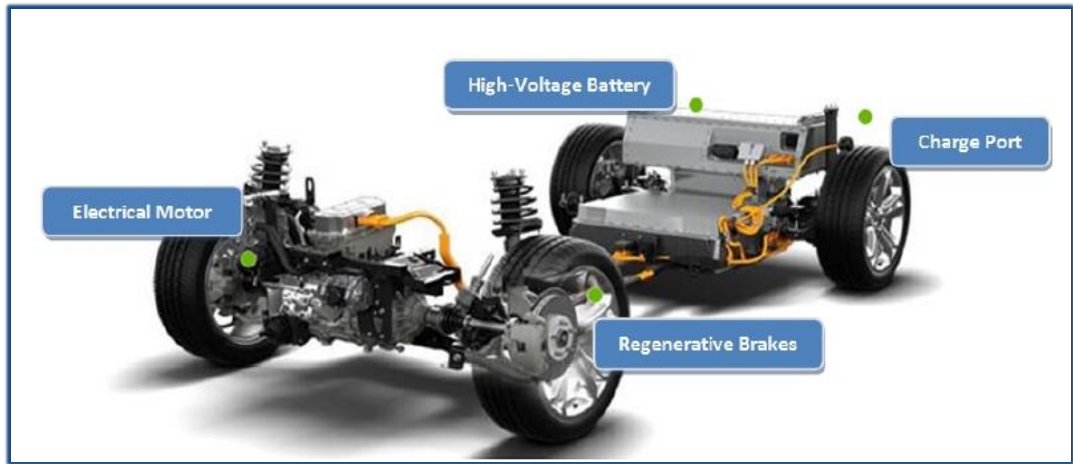
Otomotiv sektörü geçtiğimiz on yıl içerisinde kontrol teknolojisi için iyi bir uygulama alanı buldu. Odaklanılan en birincil konular emniyet, güvenilirlik, sürücü ve yolcular için konfor oldu. Otomatik vites araçlarda yaygınlaştı. Pencere, ayna ve klima vb. paraçlar otomatik olarak ayarlanabilir hale geldi [103]. Ulaşımda elektrik uygulaması (elektrifikasyonu), 18 yy.'ın ortalarında başlamakla beraber genellikle toplu taşımada tercih edilmiştir [104]. Bireysel ulaşım araçlarının artışı ve karbon

salınımının azaltılmasına yönelik eğilimler, elektriğin şahsi araçlarda kullanımını yeniden gündeme getirmiştir. 90'ların sonunda California'da gerçekleştirilen pilot uygulama, elektrikli araçların kullanımıyla ilgili önemli bilgiler sağlamıştır [105].

Elektrikli araçların yaygın olarak kullanımı ile ulaşımında fosil kaynaklara olan bağımlılığın azaltılması, ulaşım giderlerinin aşağı çekilmesi, çevre ve gürültü kirliliğinde düşüşler hedeflenmektedir [106].

Eskiden bir fonksiyonun gerçekleşmesinin kontrolü için çok devreli ve çok bağlantılı yapılar vardı. Günümüzde haberleşme ağına direkt olarak bilgiyi aktaracak nitelikte çalışan çok yaygın kullanıma sahip Local Interconnect Network (LIN), Controller Area Network (CAN) veya Flex-ray kontrol protokolleri yer almaktadır [107].

Bir aracın 50 farklı ucunda kontrol yapılmakta gelecek nesil araçlarda bu sayının artması beklenmektedir. Bu durumda araç içinde kontrol edilecek birimlerin bilinen mevcut kontrol yöntemi ve kablolama yapısı ile devam etmesi mümkün gözükmemektedir. **Şekil 2.4** tam elektrikli bir araç gözükmemektedir.



Şekil 2.4 : Tam elektrikli bir araç (www.ford.com/technology/electric/).

Karmaşılaşan kablolama yapısı maliyeti artıracaktır. Ayrıca gerçekleşmesinde yer problemi ortaya çıkacaktır. Kablolardan kaynaklı kayıplar söz konusu olacaktır.

24 V DA sisteme sahip 10 kW güç gereken bir araç kablosu içinden akan akım 400 A dir. Böyle bir akımın taşınması için uygun kablo temini, bunun tesisi, anahtarlanması ve koruma elemanlarının seçimi, kablolarda meydana gelen kayıpları da göz önüne aldığımızda bu yapının değişmesi gerektiği gözükmemektedir. 610 V Doğru akım sistemde yine aynı 10 kW'lık güç için yaklaşık 16A akım çekilecektir. Bu akım değeri kablonun kesit, maliyet ve ağırlığında azaltma meydana getirir.

Otomotiv uygulamalarında kablosuz sistemler, ağ güvenlik problemleri, frekanslar arası girişim, cihazların mevcut yeteneklerinin artırılmasının maliyeti çok artırması gibi nedenlerle otomotiv sektöründe kullanımı çok yaygın değildir. Ayrıca kontrol ihtiyacı bulunan cihazların enerjilerinin basit ve ekonomik olarak sağlamanın yolu direkt olarak batarya sistemlerine bağlantısı ile mümkündür.

Mevcut DA enerji hatlarının haberleşme amacı ile de kullanılması elektrikli araçlardaki bu yapıyı çok basitleştirecektir. PLC sisteminin otomotiv uygulamalarında sağlayacağı avantajların ilki maliyetlerde azalmadır. Bu haberleşme amacı ile ilave bir kablolamaya ihtiyaç duyulmaması sayesinde. İkincisi basitliktir. Tek bir güç hattı hem haberleşme de hem de kontrol birimlerinin enerji ihtiyacı temininde kullanılması bu basitliği sağlıyor. Daha az devre demek daha az kurulum daha az sorun demektir. Aynı zamanda daha az bakım gereken eleman olacaktır. Üçüncü unsur esnekliktir. Haberleşme sadece güç hattının kullanımı ile olduğundan ilave bir cihaz takmak veya sökmek çok rahat olacaktır. Yeni bir güncelleme gerektiğinde istenen güncelleme istenilen cihaza sökmeden kolaylıkla yüklenebilecektir.

2.4.2 DA PLC sağlık uygulaması (Giyilebilir ürünler)

Günümüzde sağlık alanında giyilebilir ürünler sayesinde; kalp atışlarının takibi, özürlülerin uzuv hareketlerinin sağlanması, solunumun izlenmesi ve vücut sıcaklığının takibi gibi işlevler hayat bulmaktadır. Bu tür sistemler iyileşme ve nekahet dönemelerinin kısılmasına, olumsuz ani gelişen olayların bir an önce müdahale edilerek aşılmasını sağlamaktadır. Bu cihazlar savaşan askerler [108-109] ve oldukça yaşlı insanlar [110-111] için kullanılabilir. Uygulamanın özellikle yaşlı insanlarda yaygınlaşması beklenmektedir.

Yaşam standartlarındaki iyileşmeler insan ömrünü artırmaktadır. 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren insanların ömürleri 20 yıl artmış olup 2050 yılında bunun 10 yıl daha artacağı tahmin edilmektedir [112]. Bu yaşlı insanların artacağı ve bu artışın sağlık alanındaki teknolojik iyileşmeler ile hızlanacağı beklenilmektedir. Bu aynı zamanda ekonomik olarak bazı sorunları da ortaya koymaktadır. ABD de 65 yaşının üzerindeki bir insan için yapılan sağlık harcaması bu yaşın altındaki bir insan için yapılan harcamanın üç ile beş katı arasında değişmektedir [113]. Bu yaşlı insanların

toplam nüfustaki artışı bir süre sonra, onların sağlık ihtiyaçlarının ve bakımının da uzaktan izlenmesini gerektirmektedir [114,115].

Bu insanları izlemek amacıyla yerleştirilecek sensörler, besleme sistemi, kablolama yaşam konforunu azaltmaması gerekmektedir. Bu amaca yönelik giyilebilir ürünler üretilmektedir. Bu ürünlerde PLC haberleşme sisteminin kullanılması, tasarım, üretim ve uygulanabilirlik açısından avantaj sağlamaktadır [116].

Doğru Akım PLC sistemi üç kısımdan oluşmaktadır. İletim ortamı, kontrol kısmı (master node) ve sensörlerdir. Sistem iki telli besleme hattı ile birbirine bağlıdır. Bu güç ve haberleşme sinyali müşterek (Consolidated Power-Signal (CPS)) olarak giden besleme hattı pozitif ucu ile elektriksel sinyalin dönüş hattından oluşur. CPS hem DA gücü hem de anabirim (master) ve sensör uçları (nodları) arasındaki veri haberleşmesini sağlar. Sistem tek bir batarya ile beslenir. Sonuçta her bir yerel nokta (local) için ayrı bataryaya ihtiyaç duyulmaz. Bu da giyilebilir ürünlerin daha hafif olmasını sağlar.

DA PLC sisteminin buradaki en büyük avantajı ürünün içerisindeki bileşenlerin (component) kurulumuna, bakımına kolaylık sağlamasıdır. Çünkü haberleşme amacıyla ilave kablo gereksinimi duyulmaması sistemi basitleştirir ve ekonomik olmasını sağlar [117]. Giyilebilir bu ürünlerde metalik kablolar yerine daha hafif olması için gümüş kaplamalı naylon kullanımına gidilmektedir. Burada akla neden kablosuz haberleşme yerine kablolu bir iletişimin tercih edildiğinin yanıtı yine kullanıcın giyeceği bu ürünün ağırlığını azaltmaktır. Her bir sensörün olduğu noktaya bu kablosuz cihazları beslemek üzere konulacak bataryalar bu konforu sağlayamamaktadır [118]. Ayrıca enerjinin dağıtımının tek bir noktadan olması ihtiyaç halinde şarj işleminin de basit bir biçimde gerçekleşmesini sağlar. Kablosuz sistemdeki her bir noktanın şarj işlemi zor olmaktadır. Kablolu bir sistem seçimini gerektiren bir diğer neden her bir uçta yer alacak kablosuz sistemlerin koordinasyon ve sinyalizasyon zorlukları çıkartmasıdır. Vericilerin boyutları da sinyalleşilecek lokasyon durumuna göre daha büyük boyutlarda olmasını doğurmaktadır.

3. PLC SPEKTRAL ANALİZ TEMEL KAVRAMLARI

Spektral analiz frekans domeninde tanımlı bir sinyalin frekans ve zaman domenindeki durumunu tanımlamak için yapılır.

Haberleşme sistemlerinde kanal, veri iletişimi gerçekleştiren iki nokta arasında fiziksel olarak gerçekleştirilmiş, telli veya telsiz ortamdır. PLC sistemlerinde kanal olarak enerji hatları kullanılmaktadır.

Veri iletimi kısa ve uzun mesafe olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Mesafe uzadıkça, taşınan sinyal, iletim ortamının karakteristiğinden veya çevredeki gürültü faktörlerinden kaynaklanan bazı kısıtlamalarla karşı karşıya gelir. İletişimde kullanılan yöntem çeşitliliği de bu kısıtlamalar yüzünden ortaya çıkan ihtiyaçları gidermektedir.

Sinyal, bilginin bir uçtan diğer uca taşınması için kullanılan elektriksel nicelik olup genlik, frekans ve faz bileşenleri ile beraber ifade edilir. Haberleşme sistemlerinde analog ve sayısal olmak üzere iki tür sinyal tanımlanır. Ses gibi doğal bir kaynak tarafından üretilenlere analog sinyal denir. Analog sinyallerden farklı olarak Sayısal sinyaller ise 1 ve 0 olmak üzere sadece iki sembolle bilgisayar gibi cihazlar tarafından doğrudan üretilir ya da analog sinyallerin örnekleme ile elde edilir. Bu semboller bit olarak adlandırılır. İletim ortamında saniyede gönderilen bit sayısı ise alıcı ve verici donanımları arasındaki veri aktarım hızını ifade eder. Verinin kendisi sayısal bir bilgi olduğu için, doğrudan sayısal sinyaller kullanılarak iletilmesi birçok açıdan fonksiyoneldir. Bu nedenle, tüm veri şebekelerinde sayısal sinyaller kullanılır.

Sürekli ve zamanla genliği değişen bir analog sinyalin ayrık (discrete) süreler ve genliklerle ifade edilmesi işlemi Analog Dijital Çevrimi tanımlar. Bu çevrim esnasında elde edilen yeni verilerin analog sinyali tanımlayabilmesi için mümkün olduğu kadar az bilgi kaybı olması gerekir. Bunun için ise örnekleme ve kuantalama önem kazanır [122-123].

3.1 Örnekleme

Örnekleme, analog sinyallerden ayırık zamanlı örnekler alma işlemidir. Bu konuyu derinleştirmeden önce analog frekans ve dijital frekans kavramına kısaca değinmekte fayda bulunmaktadır. Analog bir sinyal $x(t)$, maksimum genliği A , faz farkı Φ ve frekansı ω rad/s olmak üzere zaman t ye bağlı değişimi (3.1) ile ifade edilebilir.

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (3.2)$$

$x(t)$ sinyalinin, eşit T_s süreler ile alınmış ayırık sinyallere dönüşen her hangi bir n . örneği için ise (3.2) ile tanımla yapılabilir.

$$x[n] = A \cos(\omega n T_s + \phi) = A \cos(\theta n + \phi), \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3.2)$$

Bu denklemde $\theta = \omega T_s = 2\pi f / f_s$ birimi radyan olan dijital frekansı belirtmektedir. Yine denkelemde yer alan f_s örnekleme frekansıdır. (3.2) nin yorumuna gelince;

- i) Farklı frekanslı analog sinyaller için ωT_s çarpımı aynı olacak şekilde aynı ayırık sinyal yapısına sahip olması mümkündür.
- ii) Aynı analog sinyal, örnekleme frekansı değişmesi durumunda farklı ayırık zamanlı sinyallerin elde edilmesine yol açacaktır.
- iii) Analog sinyal frekansı ve örnekleme frekansı ikisi birlikte dijital sinyal frekansını tanımlar.

3.2 Analog ve Ayırık Zamanlı Sinyaller İçin Fourier Dönüşümü

Analog sinyaller için Fourier Dönüşüm çifti (3.3) ve (3.4) de, ayırık zamanlı sinyaller için ise (3.5) ve (3.6) da verilmiştir.

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (3.3)$$

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(j\omega) d\omega \quad (3.4)$$

$$X(e^{j\theta}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]e^{-jn\theta} , \quad \theta = \omega T_s \quad (3.5)$$

$$x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(e^{j\theta}) e^{jn\theta} d\theta \quad (3.6)$$

Buradan elde edilecek sonuç; dijital düzlemde (domain) elde edilen Fourier dönüşümünün sonucu, analog düzlemde elde edilen Fourier dönüşümü sonucunun periyodik hali olduğudur. Bu sebeple ayrık sinyaller sadece $[0, f_s/2]$ aralığında incelenir. Ayrık zamanlı işaretlerde örtüşme (aliasing) veya bozulmaları önlemek için analog sinyalin frekansı f_{max} ise örnekleme frekansı $f_s \geq 2 \cdot f_{max}$ olmalıdır. Bu Nyquist oranı olarak bilinir.

3.3 Kuantalama

Analog sinyallerin, ayrık işaretlere çevirilip belirli dijital değerlere atanması öncesi belirli analog kademelere ayrılmasına kuantalama adı verilir. Kuantalamada çevrim yapılabilecek en küçük aralık değerinin tayinini Analog Dijital Dönüştürücünün (ADC) çözünürlük değeri (resolution) belirler. Örneğin 16 bitlik bir ADC için 1 Voltluk bir referansta bu değer 15.25 μ V olur.

3.4 Analog Sinyalin Tekrar Elde Edilmesi

Nyquist teoremine göre Analog sinyallerin ayrık işaretlere çevirilmiş halinden tekrar elde edilmesi sinc x fonksiyonu yardımı ile şu şekilde gerçekleştirilir.

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[kT_s] \left[\text{sinc} \left(\frac{t - kT_s}{T_s} \right) \right] \quad (3.7)$$

3.5 Güç Spektrumu ve Güç Yoğunluk Spektrumu

Haberleşme sistemlerinde, verilen bir dalga şekli olan $x(t)$ için $\overline{x^2(t)}$ zaman ortalaması (time average) bir salınım için hesaplanır. Bu sinyalin 1 Ohm'luk dirençteki güç değeri normalize güç olarak adlandırılır. Genellikle normalize ifadesi de kullanılmayıp güç olarak ifade edilir. Bir haberleşme sisteminde güçleri S_1 ve S_2

olan iki noktanın güçlerini değerlendirme yapmak için desibel kavramından faydalanılır. Buna göre güçlerin oranı **(3.8)** ile bulunur.

$$10 \log \frac{S_2}{S_1} \text{ dB} \quad (3.8)$$

V_2 ve V_1 gerilimleri için yine desibel olarak ifade edip karşılaştırmayı **(3.9)** ile buluruz.

$$20 \log \frac{V_2}{V_1} \text{ dB} \quad (3.9)$$

İşlemlerin desibel cinsinden yapmanın ilk avantajı büyük güç oranlarının daha küçük sayılarla gösterilmesi sağlanır. İkinci bir kolaylık güç oranları çarpımı basit bir işlem olan toplama yöntemi ile yapılabilir. Normalize güç ifadesi **(3.10)** ile bulunur.

$$S = \frac{1}{T_s} \int_{-T_s/2}^{T_s/2} [v(t)]^2 dt \quad (3.10)$$

Güç Yoğunluk Spektrumu, f frekansındaki normalize gücün df aralığındaki değişimidir. Buna göre $dS(f)/df$ yani güç yoğunluk spektrumu $G(f)$ **(3.11)** ile belirlenir.

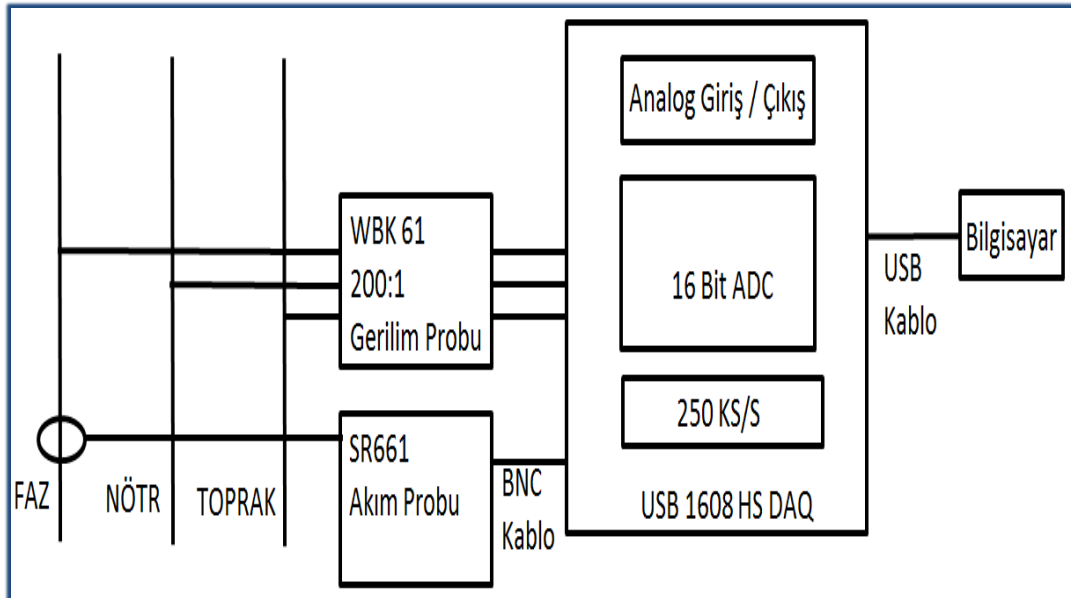
$$G(f) = \frac{dS(f)}{df} \quad (3.11)$$

4. ÖLÇÜM SİSTEMİ TASARIMI

Enerji hattında gerekli ölçümlerin yapılabilmesi için diferansiyel ve tek uçlu (single ended) gerilim probu ve kuplaj devresi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde 250 KS/s ve 2 MS/s olan iki ayrı veri toplama kartı (DAQ) ile Labview, MATLAB ve MS Office Excel programı kullanılmıştır. Gürültülerin sınıflandırılması amacı ile yapılan çalışmalarda 250 KS/s lik DAQ ve WBK61 200:1 (diferansiyel prob olarak), gürültü modellenmesi amacı ile yapılan çalışmalarda 2MS/s DAQ ve WBK61 (200:1 tek uçlu prob olarak) kullanılmıştır. Empedans ölçümleri kuplaj devresi ve tek uçlu proba, 2 MS/s'lik DAQ kartla yapılmıştır.

4.1 Gürültülerin Sınıflandırılmasında Kullanılan Ölçüm Sistemi

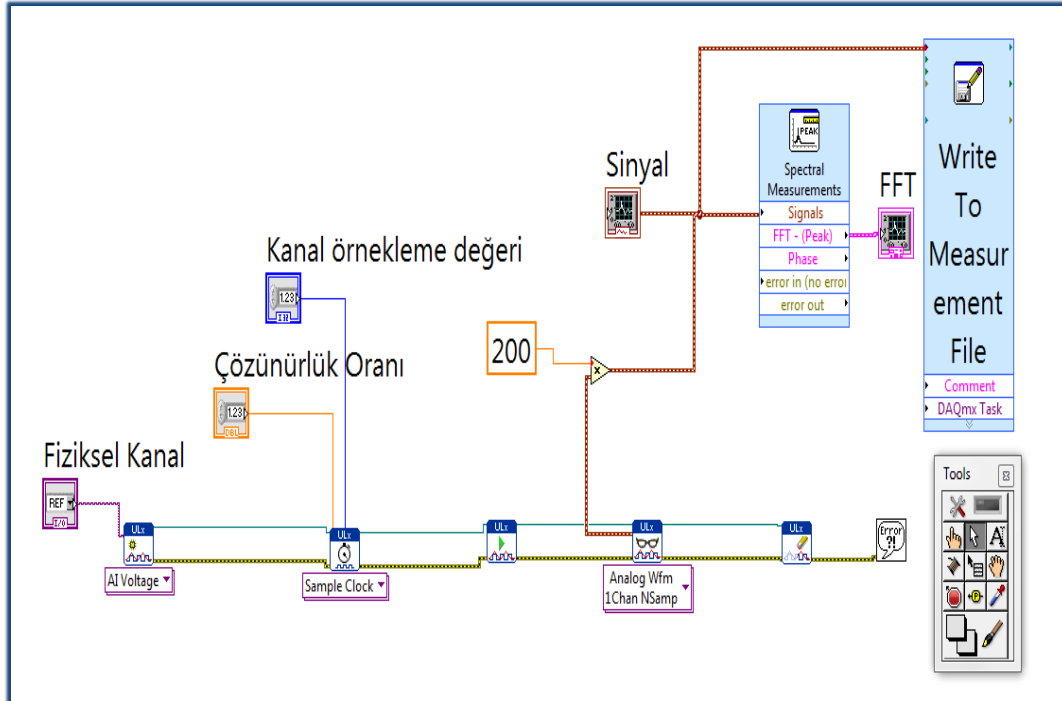
Gürültünün ölçülmesi üniversite ve ev ortamında çeşitli yükler düşünülerek yapılmıştır. Bu ölçümlerde kullanılan cihazlar ve ölçüm düzeneği **Şekil 4.1**'de görülmektedir.



Şekil 4.1 : Gürültü ölçüm düzeneği (3–125 kHz).

Bu çalışmada darband PLC için 125 kHz'e kadar olan frekans bandı üzerine odaklanılmıştır. Ölçümlerde yük olarak iki farklı tipte kompakt floresan lamba

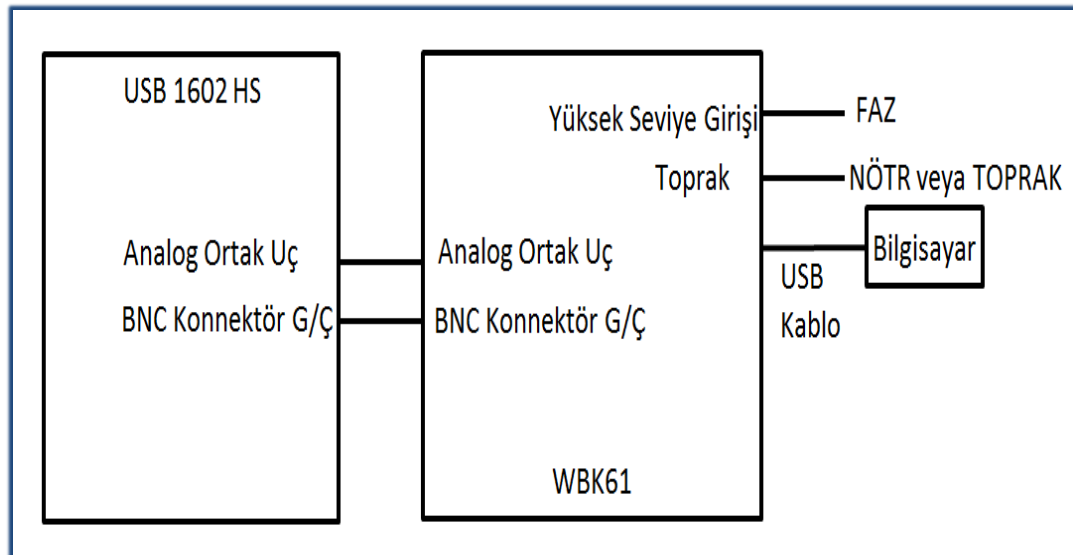
kullanılmıştır. Bunlardan birisi helis biçiminde 15 W, diğeri ise 32 W dairesel tiptedir. Yük olarak TV (uydu alıcısı seti ile birlikte), bilgisayar beslemesi (SMPS) buna ilaveten bir de güneş paneli eviricisi (Solar Inverter) incelenmiştir. Evirici gücü 300W, giriş gerilimi 10.5 - 28V DA arasında olup çıkış gerilimi 180 ile 260 V AA dır. Bu yüklerin incelenme için seçilmesinde yatan ana neden, lamba, TV ve bilgisayarların hemen her evde bulunması, mikro-eviricili güneş panelinin ise gelecekte yaygınlaşması en muhtemel yenilenebilir enerji üretim yöntemi olmasıdır. Ayrıca literatürdeki çalışmalarda da benzer yüklerin incelendiği görülmüştür [124]. Ölçümler USB-1608HS veri toplama kartı ile yapılmıştır. Bu kart 16 bit'lik çözünürlük (resolution) ve 250 KS/s'lik örnekleme hızına sahiptir. Bu kartın şebeke hattına bağlantısı WBK61 gerilim probu aracılığıyla olmaktadır. Bu prob, diferansiyel girişi destekleyen 200:1 çevirme oranına sahiptir. Bu şekilde karta yüksek gerilim girmesi ve zarar görmesi önlenir. Ölçümde faz, nötr ve toprak uçları **Şekil 4.1**'de gösterildiği gibi bağlanır. Ölçümlerde Labview sayısal işaret işleme programı kullanılmıştır. Bu ölçüm işlemi için gerçekleştirilen panel görüntüsü **Şekil 4.2**'de görülmektedir. Yukarıda belirtilen periyodik darbe gürültü ölçümüne ilaveten çeşitli RLC devreleri için laboratuvarında periyodik olmayan darbe gürültü ölçümleri de yapılmış bunun için SR661 akım ölçüm probundan yararlanılmıştır.



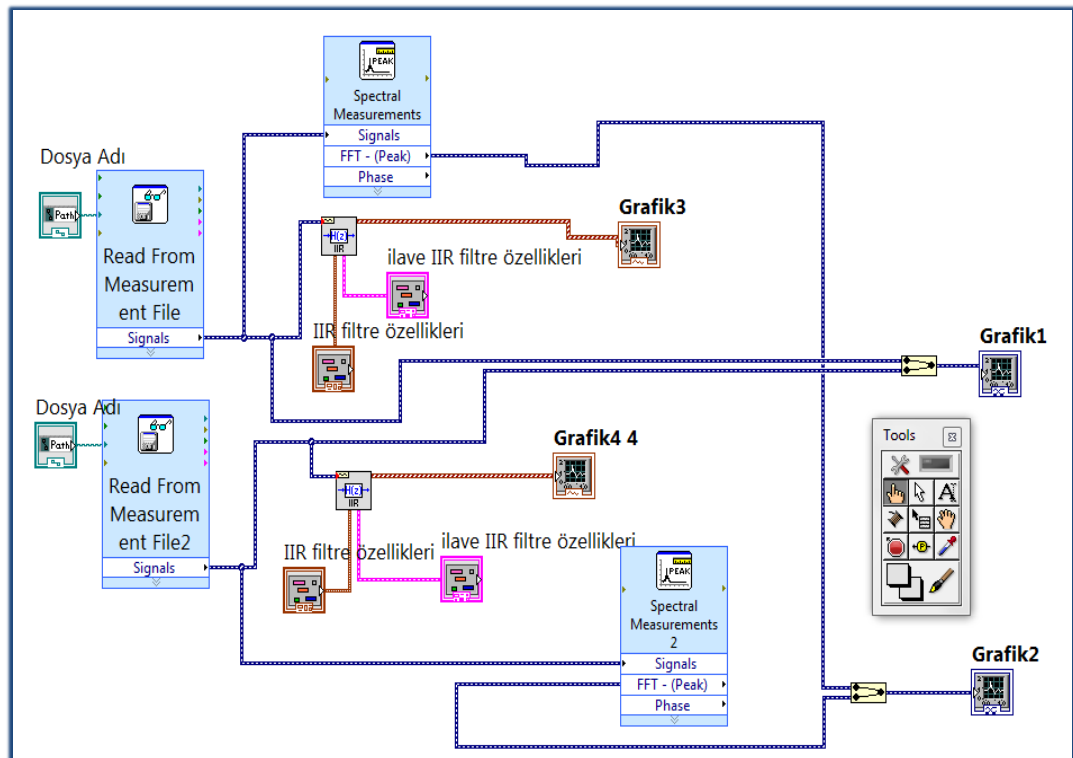
Şekil 4.2 : Labview gürültü ölçüm panel görüntüsü.

4.2 Gürültülerin Tekrar Üretilmesinde Kullanılan Ölçüm Sistemi

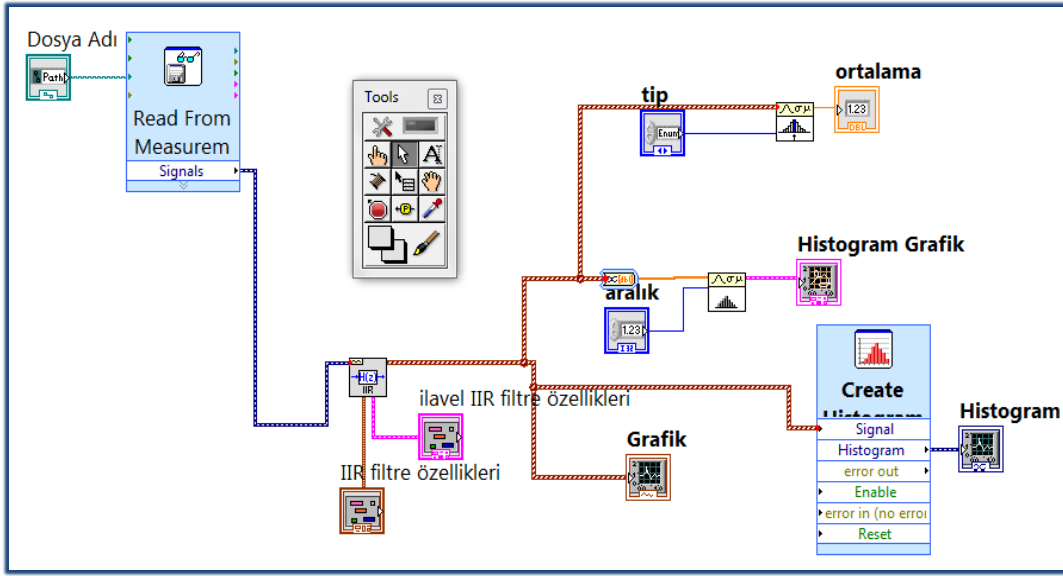
Gürültünün tekrar üretilmesi çalışmasında üniversite laboratuvarında **Şekil 4.3**'te görülen düzenekle hatta var olan gürültüler ölçümlenmiştir. Yine burada gürültünün istenilen banda ait sinyaller **Şekil 4.4**'te verilen Labview arayüzü ile elde edilmiştir. Olasılık hesaplaması **Şekil 4.5** ve **Şekil 4.6** ile yapılmıştır.



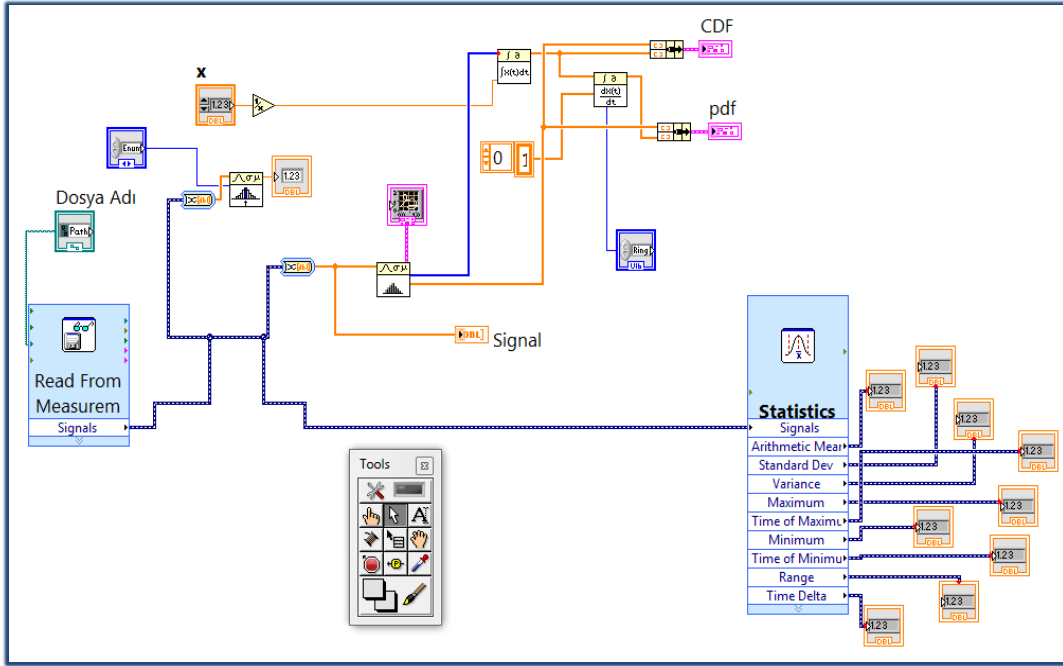
Şekil 4.3 : Gürültü üretim çalışması için ölçme düzeneği.



Şekil 4.4 : Gürültü üretimi Labview bandgeçiren filtre.



Şekil 4.5 : Gürültü üretimi için histogram çalışması.

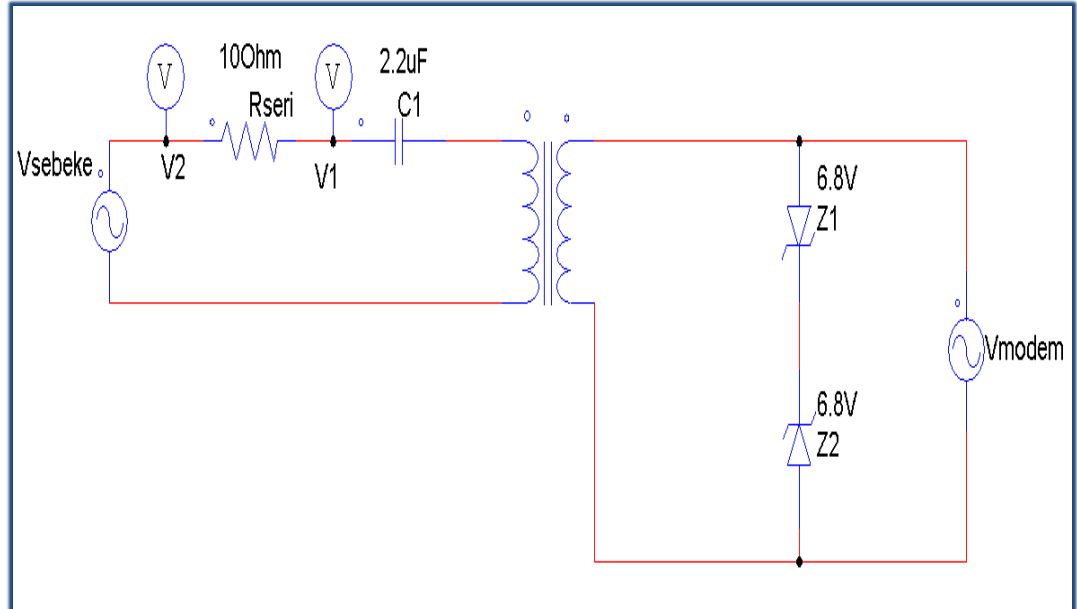


Şekil 4.6 : Gürültü üretimi için istatistiki büyüklüklerin toplanması.

4.3 Empedansın Ölçümünde Kullanılan Ölçüm Sistemi

Empedans ölçülmesi üniversite laboratuvarında yapılmıştır. Bu ölçümlerde kullanılan cihazlar ve ölçüm düzeneği Şekil 4.7’de görülmektedir. Empedans ölçümü 3 kHz ile 1 MHz frekansları aralığında yapılmıştır. 3 kHz - 125 kHz arası ölçümlerdeki frekans aralığı 1 kHz , 130 kHz - 1000 kHz arasında ise 10 kHz olarak seçilmiştir. Bu farklılık A ve B bandlarının daha hassas olarak ölçülmesi isteğinden

kaynaklanmaktadır. Ölçümler **Şekil 4.7**'deki kuplaj devresi aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Kuplaj devresi tasarımı ile ilgi ayrıntılar [125] de yer almaktadır. Veri toplama kartı olarak (DAQ) USB 1602 HS kullanılmıştır. Bu kart 2 MS/s örnekleme hızında ve 16 bit'lik çözünürlüktedir. **Şekil 4.7**'de gösterilen V1 ve V2 uçlarının gerilimleri tek uçlu (single ended) gerilim probu ile DAQ ünitesine bağlanmıştır. Ölçümler Labview Sayısal İşaret İşleme programı ile alınıp kaydedilmiştir. Sonrasında Labview programı aracılığı ile yine istenilen çıktılar Microsoft Excel olarak derlenip Matlab programı ile değerlendirilmiştir. Buradaki kuplaj devresi transformatörü ferrit E20 nüve (core) kullanılarak yapılmıştır. Primer (modem tarafı) ve sekonder sargıları (enerji hattı tarafı) arasındaki oran 7:1 dir. Sarım sayısı enerji tarafı için 8 olup 3x0.20 mm'lik bakır tel ile sekonder kısmın sarımı yapılmıştır. Modem tarafı 13x0.20 mm'lik bakır tel ile 56 sarım olarak gerçekleştirilmiştir. Kuplaj kapasitörü yönsüz MKP tip olup değeri 2.2 μ F dır. Ölçümlerde seri olarak 10 Ohm direnç kullanılmıştır. Enerji hattına giren ve çıkan yükler nedeni ile oluşabilecek yüksek genlikli sinyalleri etkisiz hale getirme amacı ile Zener diyot kullanılmış olup değeri ve bağlantı biçimi **Şekil 4.7**'de görülmektedir. Vmodem olarak adlandırılan kaynak olarak PM5126 sinyal üretici kullanılmıştır. Üreteç 10 Hz – 1 MHz arasında sinüsoidal işaret üretebilmektedir.



Şekil 4.7 : Empedans ölçüm düzeneği ve kuplaj devresi.

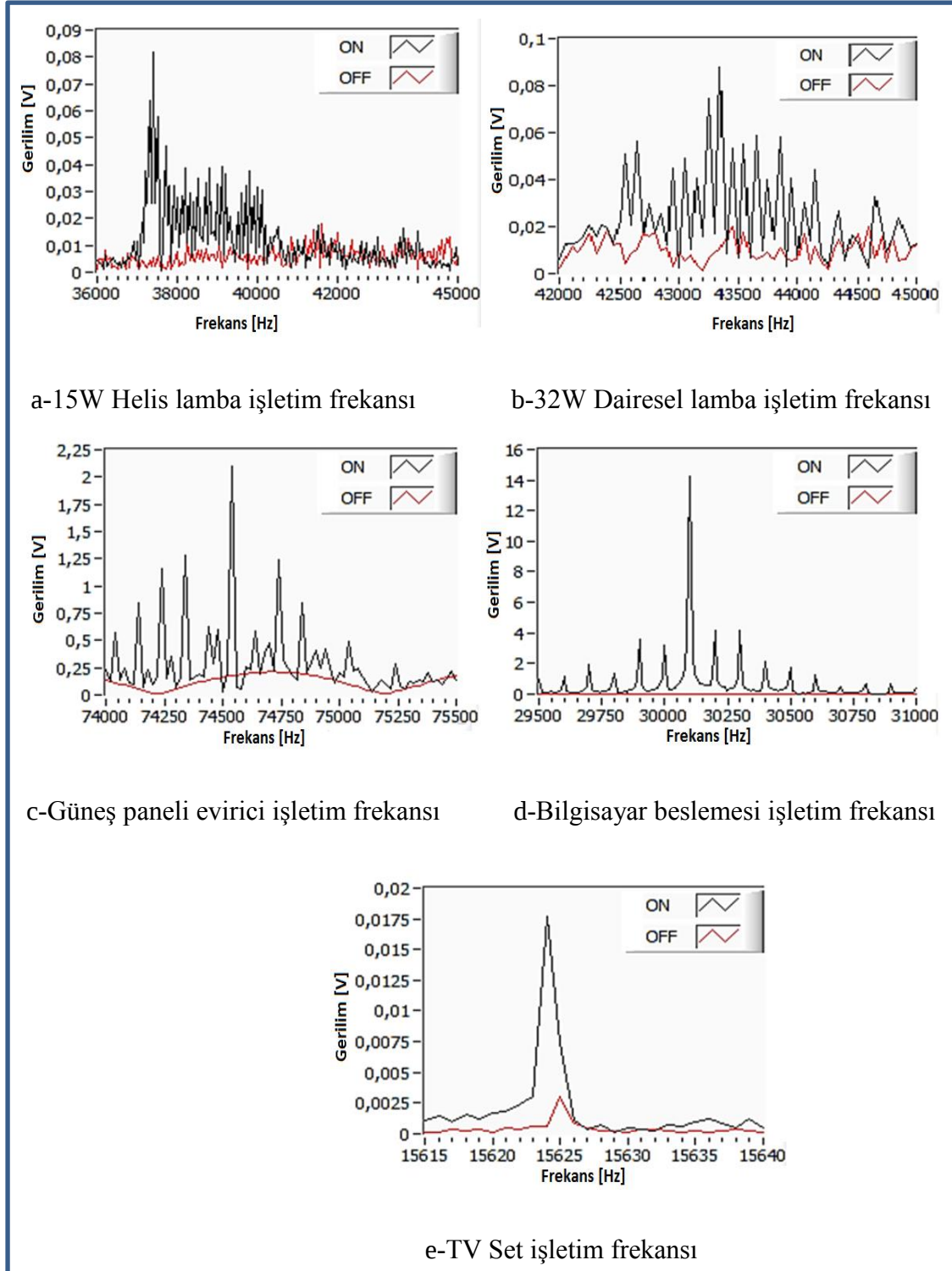
5. SAHA ÖLÇÜM SONUÇLARI VE MODELLEMELER

Saha ölçümü çalışmasının, gürültü türlerinin belirlenmesi ile ilgili kısmında elde edilen sonuçlar Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK) modülasyon tekniği açısından performansın nasıl etkilendiği konusuna ışık tutmaktadır. Gürültünün tekrar elde edilmesi konusunda yapılan çalışmalar, bilgisayar aracılığı ile gürültü benzetim için ihtiyaç duyulan üreteç ile ilgili beklentileri karşılamaktadır. Empedans ölçümü ile elde edilen veriler, kuplaj devresi, modem gücü, modülasyon türü gibi bileşenlerin nasıl olması gerektiğini PRIME ve PLC G3 uygulamaları açısından irdelemektedir.

5.1 Ölçümlenen Gürültü Türleri ve Karakteristikleri

Gürültü kaynağı olarak seçilen yüklerin çalışma frekanslarını tespit etmek için hat üzerinde bu yükler yokken (OFF) ve devredeyken (ON) alınan Fourier (FFT) dönüşümleri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda ON durumunda genliğin en büyük olduğu frekans, çalışma frekansı olarak kabul edilmiştir. Gürültü etkisi, lamba ile aynı fazda olan prizden 3 metrelik uzatma kablosu ile ölçüm düzeneğine getirilmektedir. Sadece ölçümü istenilen lamba için enerji sağlanmaktadır. Helis şeklindeki 15 W'lık enerji tasarruflu bir lambanın ON ve OFF durumunun frekans spektrumunda yarattığı etki **Şekil 5.1(a)**'da görülmektedir. Burada gürültü kaynağının çalışma frekansı 37 ile 37.5 kHz arası ve bu frekansta hatta aktarılan gürültünün tepe değeri maksimum 82 mV'dur. **Şekil 5.1(b)**'de 32 W'lık dairesel lambanın, **Şekil 5.1(c)**'de güneş paneli eviricisinin, **Şekil 5.1(d)**'de masaüstü bilgisayar (2005 model) beslemesinin (SMPS) ve **Şekil 5.1(e)**'de TV ünitesinin (yatay tarama frekansının) ON ve OFF durumu görülmektedir. Dairesel floresan lamba çalışma frekansı 43 ile 44 kHz arası ve tepe değeri olarak maksimum 88 mV genlikli bir gürültü üretmektedir. Evirici 75 kHz civarında 2.25 V tepe geriliminde bir gürültü üretmektedir. Bilgisayar beslemesi (anahtarlama frekansı 30 kHz belirtilmiş) için 30 kHz civarında tepe değeri olarak 14 V genlikte gürültü elde edilmiştir. TV için 15625 Hz de 18 mV luk bir tepe gerilim gözlemlenmiştir. Burada seçilmiş olan yüklerin

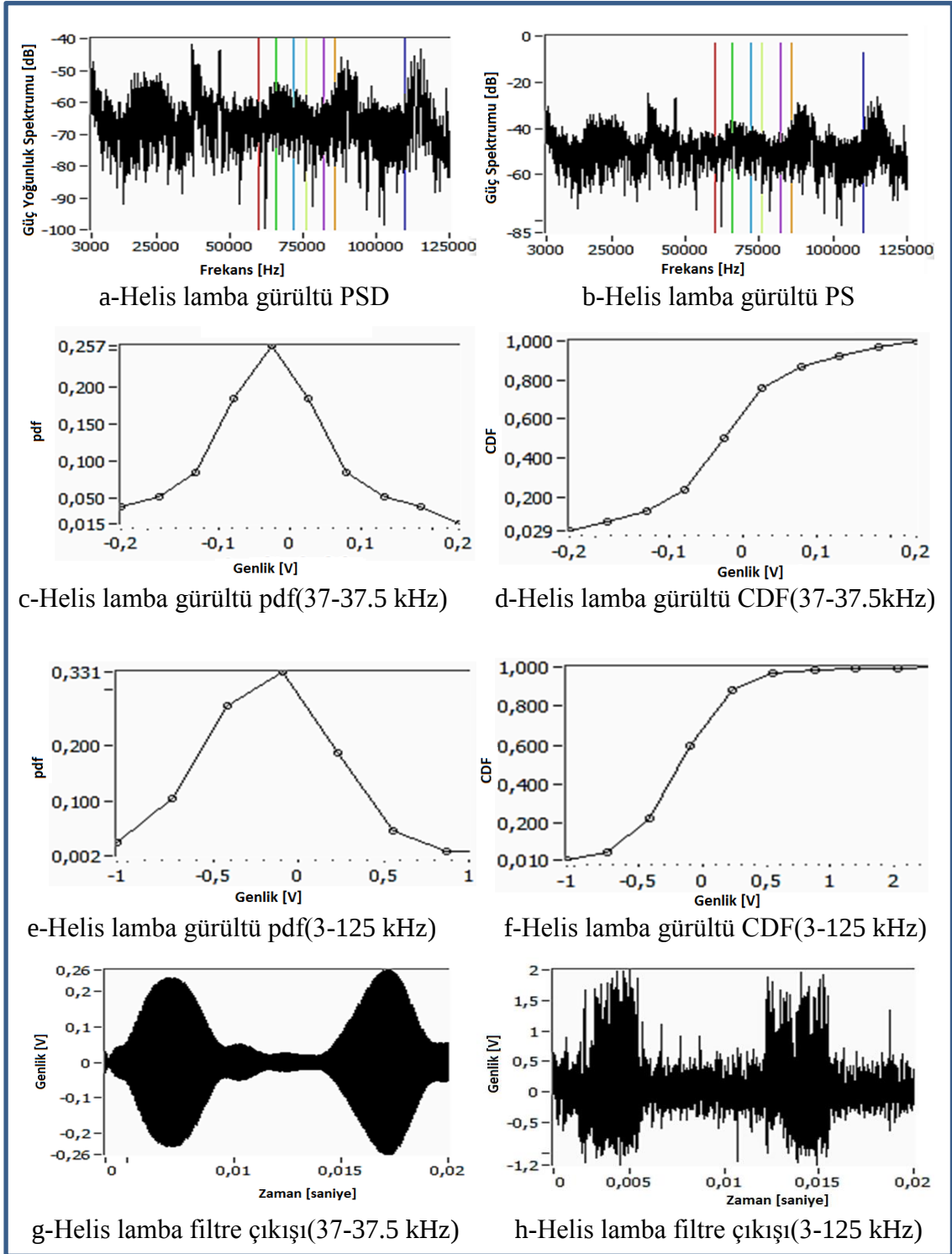
üretmiş olduğu gürültüler darbe türü gürültü grubunda yer almaktadır. Bunların ürettiği gürültülerin FSK modülasyonuna etkisi araştırılmaktadır.



Şekil 5.1 : Seçilmiş yüklerin işletim frekansı ve maksimum gerilimleri.

FSK performansının nasıl olacağını değerlendirmek üzere ST7540 tümleşik devresine ait taşıyıcı frekansları göz önüne alınarak bunların Güç Yoğunluk Spektrumu (Power Spectral Density - PSD) ve Güç Spektrumu (Power Spectrum -

PS) durumu 3 kHz ile 125 kHz bandı için gösterilmiştir. Şekil 5.2(a) ve (b)'de 15W'lık enerji tasarruflu lamba için PSD ve PS görülmektedir.



Şekil 5.2 : 15W Helis biçimli lamba için alınan ölçüm sonuçları.

Alt ve üst kesim frekansları 37 kHz ve 37.5 kHz olan beşinci dereceden bir band geçiren Butterworth filtrenin çıkışından elde edilen sinyalin genliğinin Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (Probability Density Function - pdf) ve Olasılık Dağılım

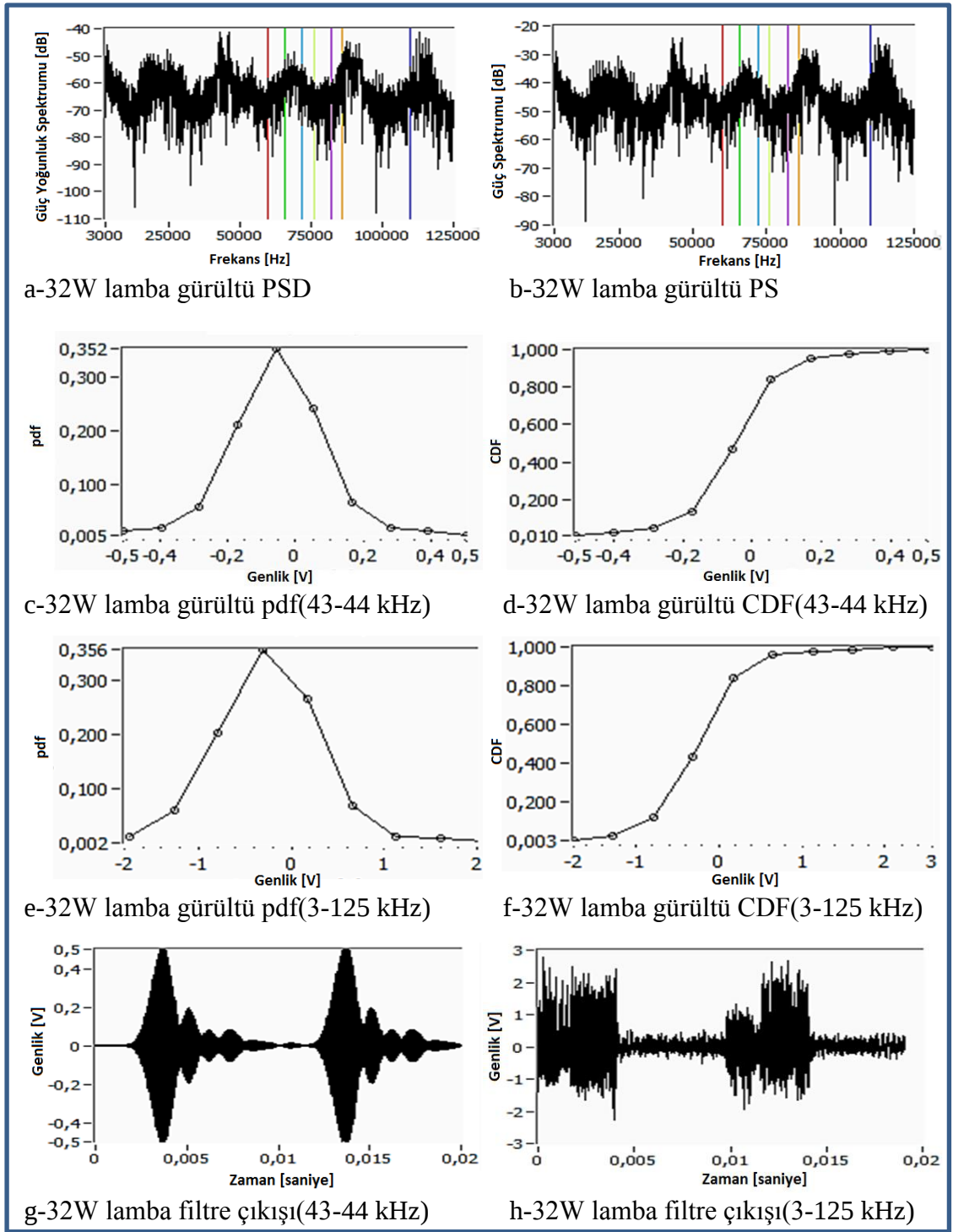
Fonksiyonu (Cumulative Distribution Function - CDF) değerleri **Şekil 5.2(c)** ve **(d)**'de görülmektedir. Filtrenin alt ve üst kesim frekansları 3 kHz ve 125 kHz olarak seçilerek zaman düzleminde elde edilen sinyalin bu band için genliğinin pdf ve CDF değerlerinin durumu **Şekil 5.2(e)** ve **Şekil 5.2(f)**'de görülmektedir. Sinyallerin yukarıda bahsedilen filtrelerden ilgili alt ve üst kesim frekanslarına göre genliğinin durumu **Şekil 5.2(g)** ve **Şekil 5.2(h)**'deki biçimde elde edilmiştir. Gürültünün pdf değerleri Gaussian olup gürültü pdf fonksiyonu $f(x)$ denklem (5.1) ile ifade edilebilir.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5.1)$$

Şekil 5.2(c)'de pdf değeri verilen helis lamba için aritmetik ortalama değer (arithmetic mean value, μ) $6,66.10^{-6}$, standart sapma (standard deviation, σ) 0,0982. Band geçiren filtre çıkışından ölçümlenen darbe genişliği (T_i) 27 μ s dir. Ölçüm sonucunda frekans denklem (5.2) yardımı ile hesaplanmıştır.

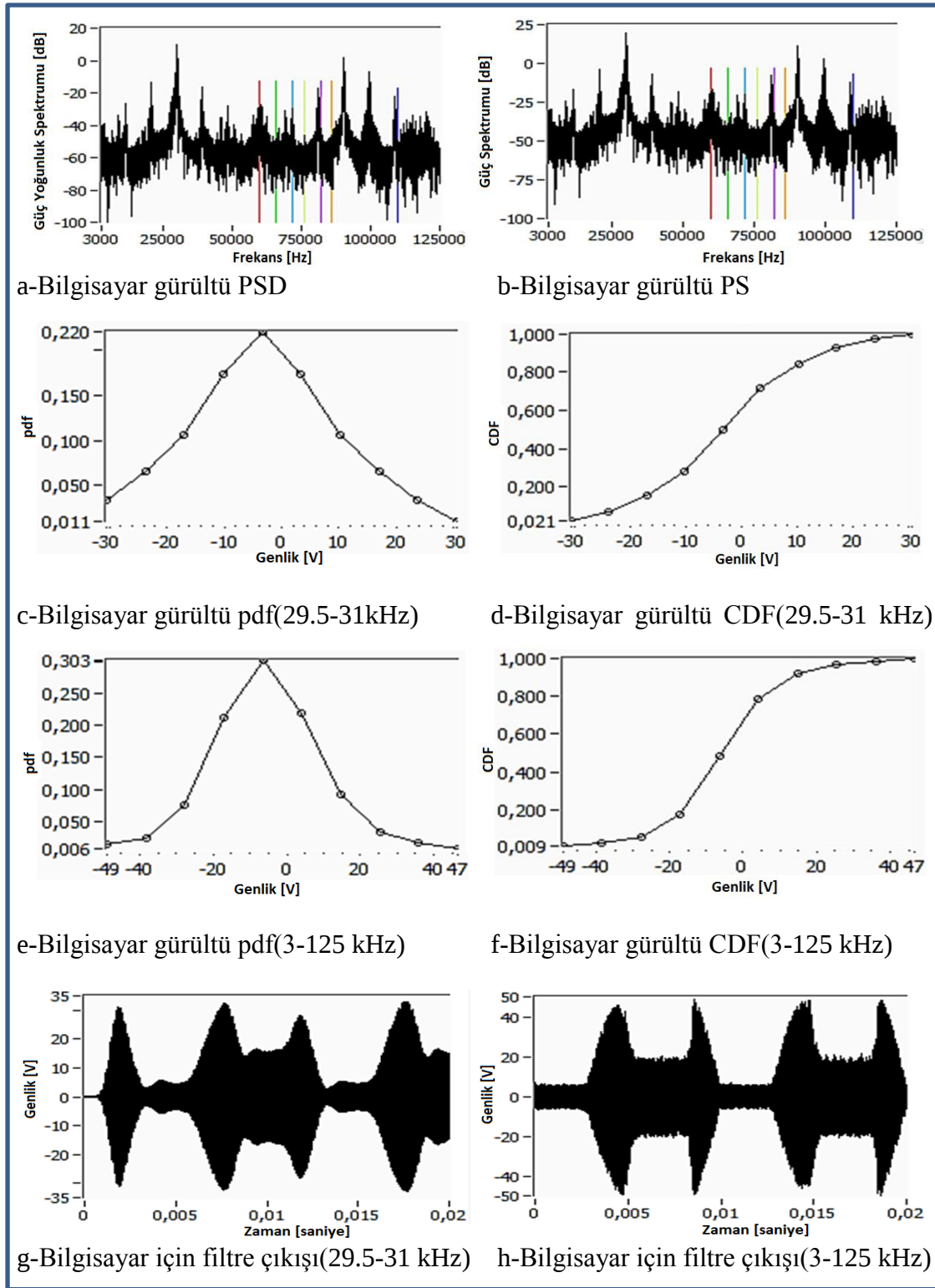
$$f_i = \frac{1}{T_i} \quad (5.2)$$

Ölçülen değer denklem (5.2)'de yerine konduğunda frekans yaklaşık olarak 37 kHz dir. Burada bu işlem sonucunda ortaya çıkan sonuç, kanalda darbe genişliğini yükün işletim frekansının belirlediğidir. Daha öncede bahsedildiği üzere zaman düzlemindeki analizler 5. dereceden Butterworth band geçiren filtre kullanılarak yapılmıştır. Helis lamba için izin verilen maksimum gürültü düzeyi olan 6 mV değerine göre darbe süresi (impulse time duration) 6.8 ms olarak ölçümlenmiştir. Darbe gürültü türü zaman düzlemi çıkışlarına bakıldığında periyodik darbelerin bir katar şeklinde, **Şekil 5.2(g)** ve **(h)**'de periyodu 10 ms olan bir gürültü formunda olduğu görülmektedir. Yukarıda bahsedilen çalışmalar diğer yükler içinde tekrarlanmıştır. Bunun neticesinde 32W dairesel floresan lamba için **Şekil 5.3(a)** ve **(b)**'de PSD ve PS elde edilmiştir. **Şekil 5.3(c)** ve **(d)**'de band geçiren filtrenin alt ve üst kesim frekanslarının 43 ve 44 kHz yapılması sonrası elde edilen genliklerin pdf ve CDF değerleri görülmektedir. **Şekil 5.3(e)** ve **(f)**'de frekans aralığının 3 – 125 kHz olması durumunda filtrenin çıkış genliğinin pdf ve CDF değerleri verilmiştir. Filtre çıkışlarının zaman düzlemindeki değişimi **Şekil 5.3(g)** ve **(h)**'de görülmektedir. 32W'lık dairesel lamba için filtre çıkışında genliğin 6 mV üzerinde olduğu süre 5.6 ms olarak elde edilmiştir. Darbe genişliği 24 μ s dir. Darbe genişliği denklem (5.2)'de yerine konulduğunda elde edilen frekans 41.7 kHz'dir.



Şekil 5.3 : 32W Dairesel lamba için alınan ölçüm sonuçları.

32W lamba için gürültü periyodunun yine şebeke periyodunun yarısı kadar yani 10 ms olduğu **Şekil 5.3(g)** ve **(h)**'den görülmektedir.

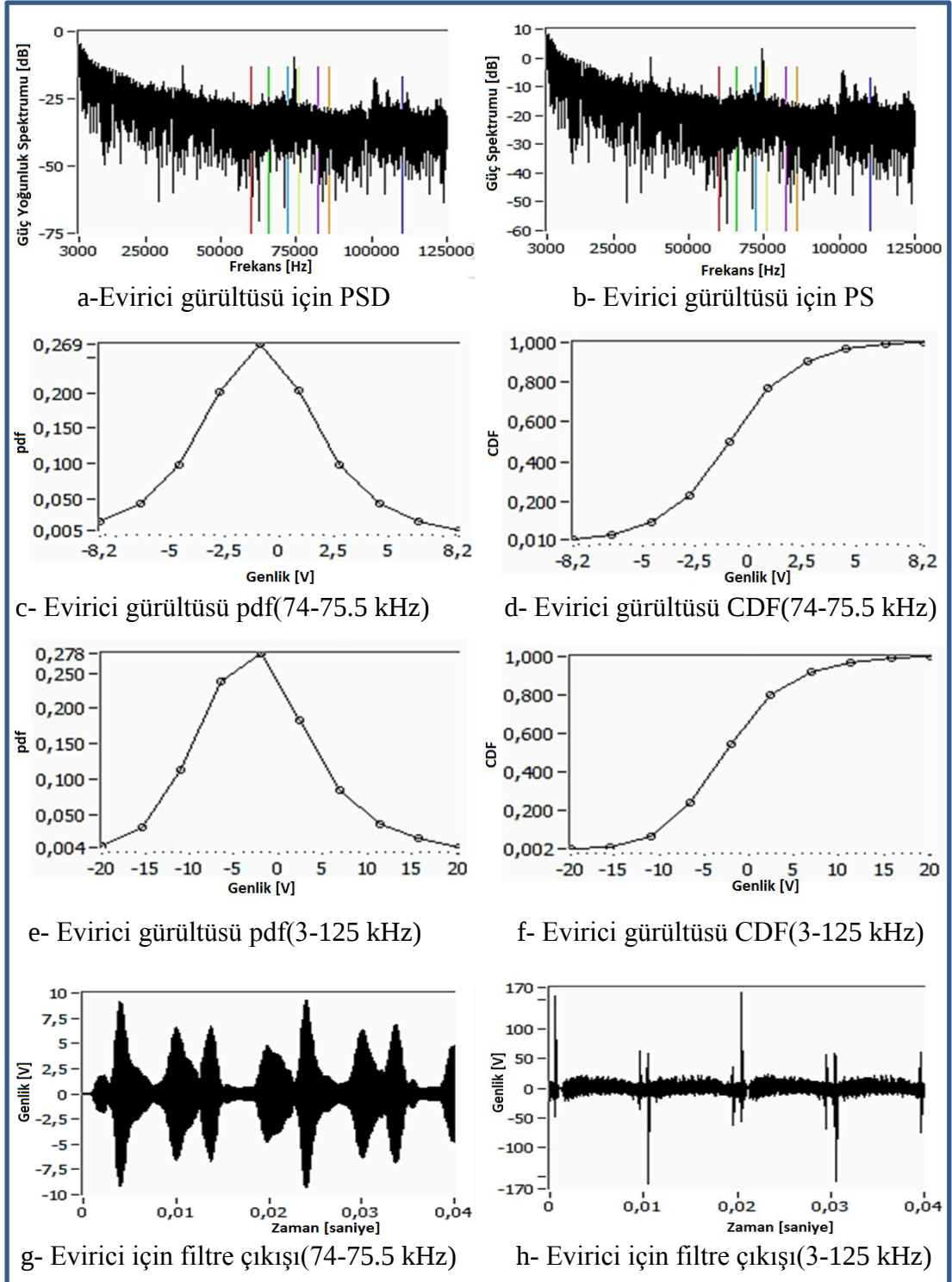


Şekil 5.4 : Bilgisayar besleme ünitesi için alınan ölçüm sonuçları.

Bilgisayar beslemesi için elde edilen sonuçlar **Şekil 5.4**'te görülmektedir. Burada darbe genişliği 32 μ s olup denklem (5.2) ile bulunan frekans 31.2 kHz'dir.

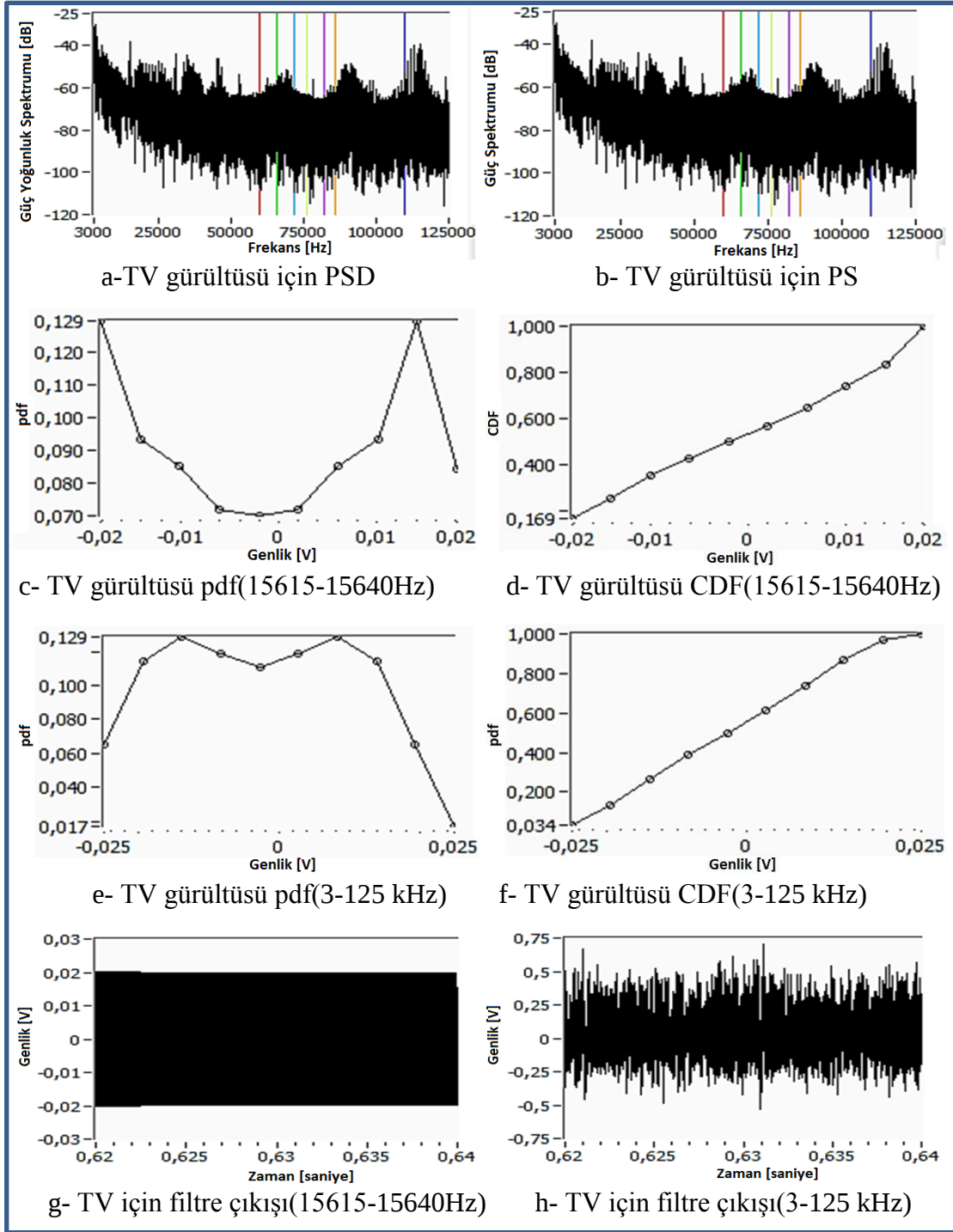
Dağıtık üretim sistemlerinde doğru akım şeklinde olan çıkışlar evirici aracılığı ile şebeke gerilim ve frekansına uygun hale getirilerek hatta aktarılır. Bu sistemlerin

gelecek on yıllık sürede artış göstereceği beklenmektedir. Dolayısı ile eviricilerin haberleşme sistemlerine olan etkisinin araştırılması gerekmektedir. Evirici için elde edilen sonuçlar Şekil 5.5'te yer almaktadır.



Şekil 5.5 : Güneş paneli eviricisi için elde edilen ölçümler.

Burada darbe genişliği 13 μ s olup bu durum için denklem (5.2) ile frekans 76.9 kHz olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.6 : TV set için alınan ölçüm sonuçları.

TV için elde edilen değerler **Şekil 5.6**'da görülmektedir. Buna göre darbe genişliği filtre çıkışından 64 μ s elde edilmiştir. Frekansı denklem (5.2) ile 15625 Hz olarak bulunmuştur. Bu TV nin yatay tarama frekansına karşı düşmektedir. Tüm bu yükler için elde edilen grafiksel sonuçlar **Çizelge 5.1**'de özetlenmiştir. Çizelgede A yüklerin işletim frekans aralığını göstermektedir. B ise 3-125 kHz aralığını belirtir.

Çizelge 5.1 : pdf parametreleri ve darbe genişlikleri

		Ortalama değer (μ) $\cdot 10^{-6}$	Standart sapma (σ)	Çarpıklık (Skewness)	Basıklık Normalize (Kurtosis)	Darbe genişliği μs
CFL	A	6,66513	0,0982	-0,0002	0,54	27
15W	B	533,378366	0,351535	1,25	6,14	27
CFL	A	4,8859	0,129101	-0,0001	6,44	24
32W	B	-2737,6	0,463258	1,37	7,20	24
SMPS	A	-7,3871	12,6124	0,0001	-0,06	32
	B	-1720,42	14,222	0,006	2,18	32
Solar	A	-254,174	2,67825	0,0002	0,99	13
Inverter	B	-7716,86	5,80781	0,58	1,05	13
TV set	A	-8,54878	0,014232	0,0006	-1,50	64
	B	0,0713814	0,013369	-4,27.10 ⁻⁶	-1,20	64

Çizelgede A ile belirlenen aralıkta Çarpıklık değeri sıfır olup simetrik bir dağılım mevcuttur. Sıfıra normalize edilmiş Basıklık değerlerine bakıldığında (SMPS hariç) leptokurtic ve platykurtic dağılım görülmektedir. B ile belirlenen aralıkta sağdan ve soldan Çarpıklık ve leptokurtic ve platykurtic Basıklık mevcuttur. Yapılan gürültü ölçüm çalışması neticesinde bilgisayar beslemesi (SMPS) ve enerji tasarruflu lambalar (CFL) için elde edilen gürültü seviyeleri izin verilen limitleri, araştırılan band içerisinde bazı frekanslarda aşmakta olduğu görülmüştür. Genliği A volt olan bir sinyalin T periyodu süresince ortalama işaret gücü $S=A^2/2$ ve ortalama gürültü gücü, $N=\mu B$ ve $B=1/T$, olmak üzere toplam hata olasılığı denklem (5.3) ile belirlenir ve toplam bit hata olasılığı P_e ile ifade edilir. $Erfc(.)$, hata fonksiyonu komplementeridir, bu fonksiyon Q ile de sembolize edilmektedir [122].

$$P_e = Erfc\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{S}{N}\right)}\right) = Q\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{S}{N}\right)}\right) \quad (5.3)$$

Yukarıda çeşitli yükler için verilen gürültüler için gürültü spektrumları göz önüne alınarak denklem (5.3) kullanılarak değerlendirildiğinde bazı seviyelerde bunların yüksek bit hata oranına sebep olacağı açıktır. **Çizelge 5.2** izin verilen limitlere göre ST7540 FSK tümleşik devresinin taşıyıcı frekanslarına isabet eden gürültü düzeylerini göstermektedir. TV ünitesinin hatta verdiği gürültü, izin verilen limitleri araştırılan 3-125 kHz bandı içerisinde, aşmamaktadır. Ancak, limitleri aşan gürültülerin haberleşme sistemlerinde hatalara yol açmaması için bunların etkisini minimum yapacak şekilde filtreleme yapılmalıdır.

Çizelge 5.2 : ST7540 taşıyıcı frekansları ve ölçümlenen gürültü genlikleri

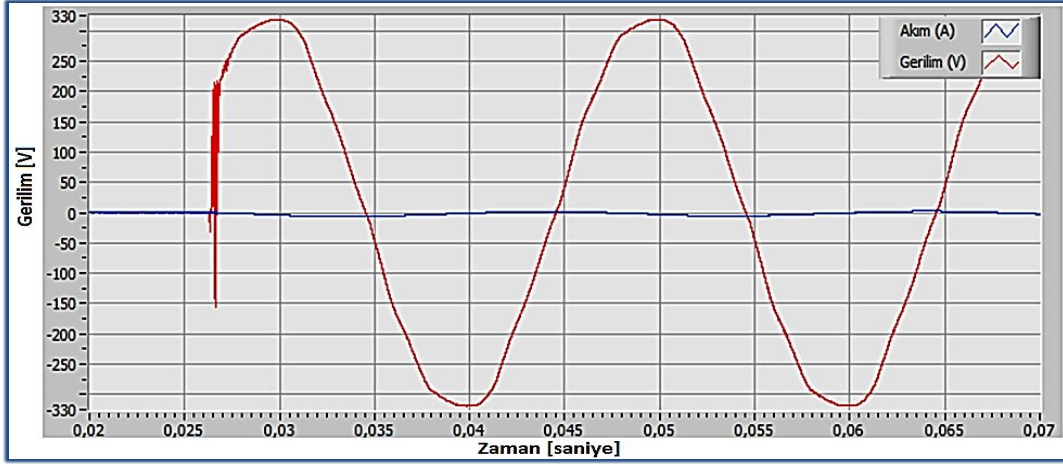
ST7540 Taşıyıcı frekansı, Hz	İzin verilen MDL (mV)	Ölçülen MDL (mV)				
		CFL 15W	CFL 32W	TV Set	SMPS	Solar Inverter
57617	28	7	4	0,24	15	50
58757	28	3,5	1,5	0,5	20	120
59408	28	2,5	4,5	0,22	35	100
59733	28	9	7,5	0,4	28	110
60221	28	4,5	9	0,35	20	200
60547	28	2,5	4,6	0,25	70	40
61198	28	9	10	0,7	9	180
62337	28	5,5	11	0,35	28	140
63639	28	6	14	0,65	4,5	155
64779	28	3,5	11	0,8	20	245
65430	28	8	10,5	0,8	3	90
65755	28	5	19	1,5	10	250
66243	28	7,5	13	0,4	9	155
66569	28	16	9	0,25	11	130
67220	28	5	20	0,65	15	150
68359	28	10	10	0,7	25	20
69661	28	13,5	8	0,6	30	180
70801	28	11	16,5	0,8	10	170
71452	28	7	10	0,37	35	112
71777	28	2,5	16	0,8	32	200
72266	28	5	10,5	0,9	35	80
72591	28	6	13	0,3	5,5	180
73242	28	5	8	0,65	10	175
74382	28	5	3,5	0,3	7	170
79590	28	4	4,5	0,25	12	200
80892	28	4	10	0,35	130	100
81380	28	4,5	4,5	0,26	2	165
81706	28	2,5	5	0,25	14	150
82357	28	4,5	5	0,35	7,5	165
82682	28	7	4	0,45	18	130
83171	28	3	8	0,27	6	130
83659	28	3	9,5	0,25	3,5	220
84473	28	3,5	7	0,12	8	140
84798	28	7	5,5	0,35	9	70
85449	28	2	11	0,55	12	150
85775	28	3,5	10,5	0,32	5	140
86263	28	12	22,5	0,9	9,5	150
86589	28	4	12,5	0,55	20	120
87240	28	27,5	37	0,35	10	160
88379	28	31,5	21	2,2	28	210
107585	6	2	3	0,2	4	105
108724	6	3,5	5	0,25	325	200
109701	6	1	4,2	0,65	4	70
109375	6	2	5	0,7	7	70
110352	6	1	4	0,6	6,5	70
110677	6	7	8	0,2	8	270
111165	6	5	4	0,2	7	50
112467	6	5	8,5	0,35	9	140

Periyodik ve darbe şeklinde hatta yer alan bu gürültüler dışında periyodik olmayan fakat yine darbe formunda olan gürültülerinde haberleşme sistemlerine olan etkisi laboratuvarda R, L, C devreleri ile çeşitli kombinasyonları oluşturularak ölçümler yapılmıştır.

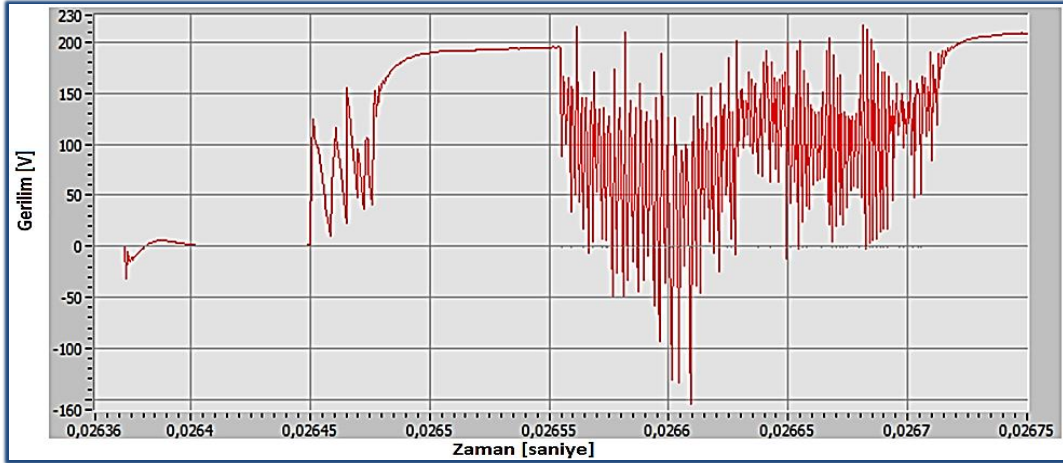
Bu çalışmada, enerji hattında çok sık olarak meydana gelen anahtarlama sırasında olan geçici olayların oluşturduğu, kısa süreli olarak gelişen gerilim ve akım büyüklüklerindeki ani değişikliklerin, haberleşme kanalında doğurduğu bozucu etkileri karakterize etmek amaçlanmıştır. Geçici olaylar sonucunda yeni sinyalin nominal gerilimi veya akımı eklenen veya çıkan sinyaller şeklinde hem negatif hem de pozitif salınımda anahtarlama anına bağlı olarak yer almaktadır. Kararlı duruma ait dalga şeklinin geçici durumda oluşan sinyalden oluşan farkı geçici durum (transient) olarak adlandırmaktadır. Geçici durum sinyalleri darbe veya salınlı olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar [126]. Geçici durum, enerji hattında yer alan iç olaylardan veya hattın dışında gerçekleşmiş dış olaylardan da meydana gelebilir [127]. Yıldırımlar dış olaylar arasında en yaygın bilinenidir. Buna ilaveten enerji dağıtım şirketlerinin normal elektrik operasyonlarından kaynaklanan anahtarlama, iletim hattına enerji verilip kesilmesi, kompanzasyon grupları veya transformatörlerin gerilim ayarlaması kademelerinin değiştirilmesi gibi olayların yarattığı geçici durumlar da diğer hatlarda geçici durumlar oluşmasına neden olabilmektedir. Dağıtım hatlarındaki gevşek veya kalitesiz bağlantı metaryelleri de geçici olaylar oluşturabilir. Rüzgar gibi bazı doğa olayları enerji hattında kabloların birbirine temasına veya ağaçların dallarının teması nedeni ile istenmeyen geçici durumlar oluşabilir. Kazalarla veya insan hatası nedeni ile geçici durumlar oluşabileceği gibi hayvanlar veya hava olayları da bunların oluşmasını sağlayabilir. Bir diğer geçici durum kaynağı ise diğer kullanıcı kaynaklı olan fakat aynı transformatörden beslenilmesi nedeni ile paylaşılan geçici durumlardır.

Ölçümlerde **Şekil 4.1**'deki düzenek veri toplama kartı yerine USB1602 bağlanılarak gerçekleştirilmiştir. Akım ölçümleri için SR661 akım probu kullanılmıştır. Ölçümlerde endüktansı (L) 165 mH, direnci (R) 0.4 Ohm olan endüktif reaktansın hattan beslenirken veya hattan ayrılırken oluşturduğu gürültüler ölçülmüştür. Ayrıca bu yük devredeyken kompanzasyon amaçlı bağlanan 1 μ F'lık kondansatör gruplarının hatta sokulması ve çıkartılması durumunda elde edilen gürültülerde gözlenmiştir. Endüktif reaktansın anahtarlama anı **Şekil 5.7(a)** ve **(b)**'de

görülmektedir. Şekil 5.8’de endüktif reaktansın enerjisinin kesilmesi durumunda hatta meydana getirdiği bozucu etki görülmektedir.

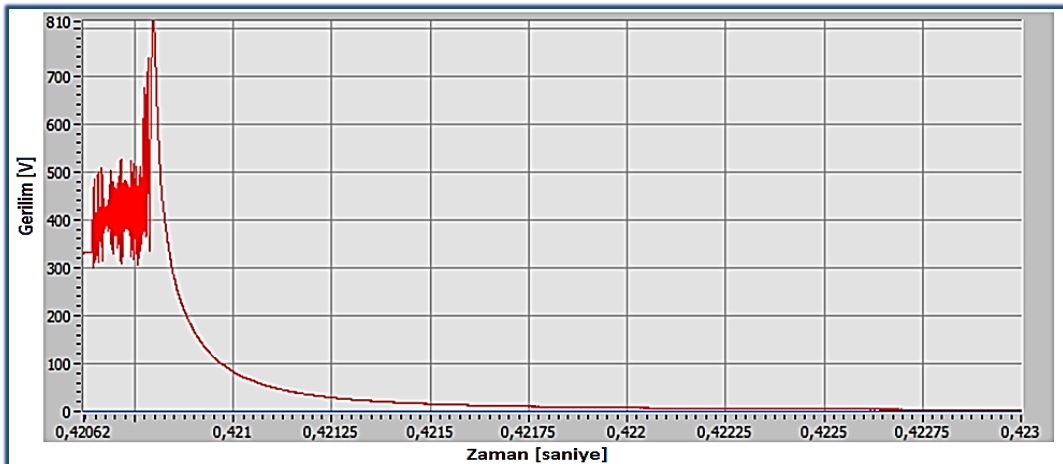


a- Endüktif reaktansın anahtarlama anı ve gerilimdeki bozulmalar



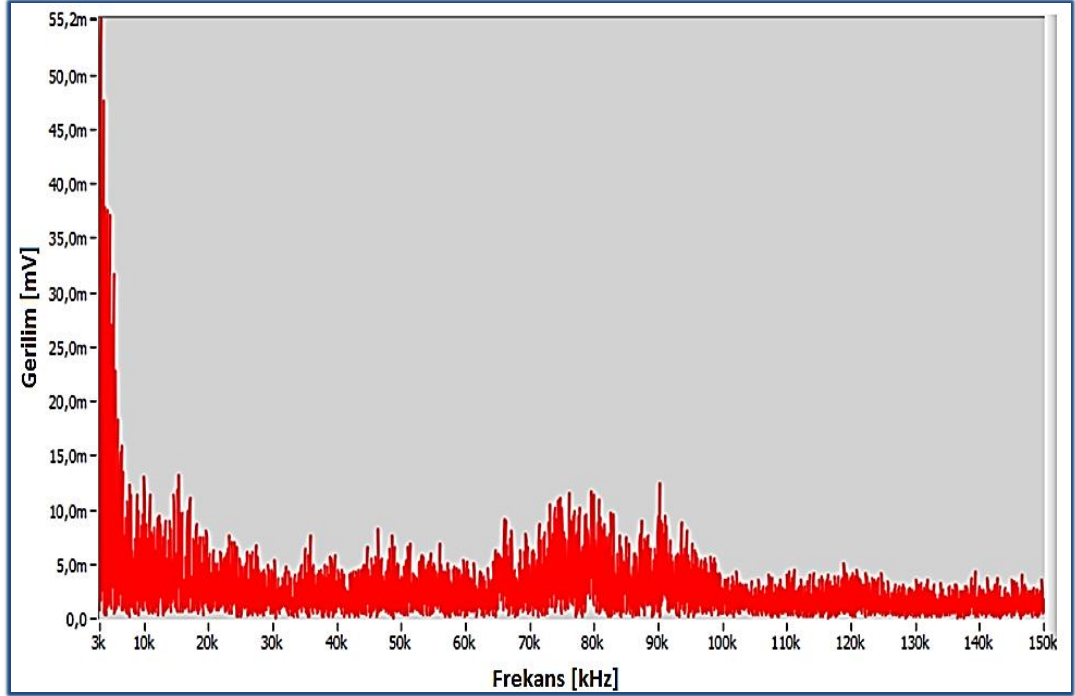
b- Anahtarlama anının büyük ölçekte gösterimi

Şekil 5.7 : Endüktif bir yükün enerjilenme anı ve hat geriliminin geçici durumu.

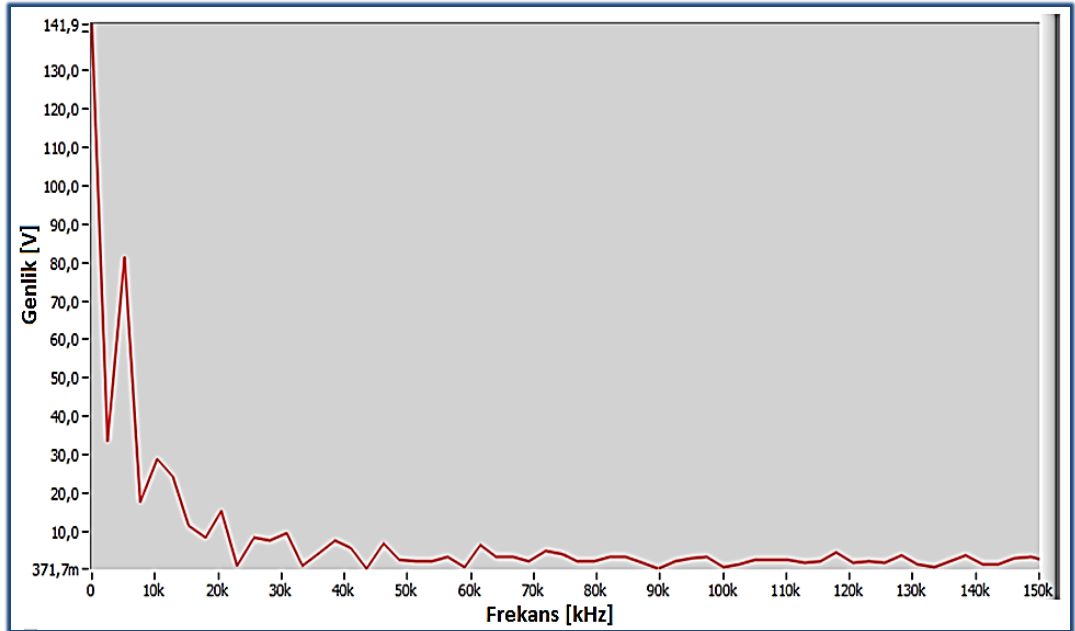


Şekil 5.8 : Endüktif yükün enerjisinin kesilme anı ve hat gerilimi.

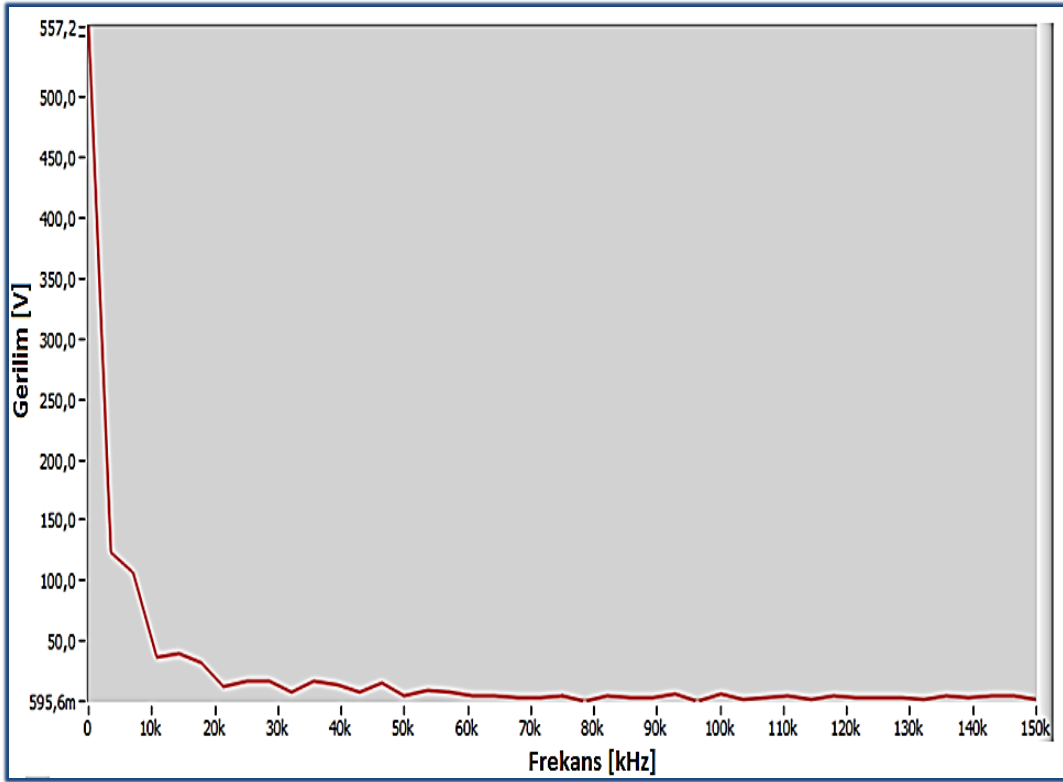
Endüktif yükün enerjilenme anı öncesi gürültülerin FFT sonuçlarını **Şekil 5.9**, enerjilenme anı **Şekil 5.10** ve enerjisinin kesilme anında hatta meydana gelen gürültü sinyallerinin seviyelerindeki değişim **Şekil 5.11**'de görülmektedir.



Şekil 5.9 : Endüktif yük hattın beslenmezken ölçülen gürültünün FFT açılımı.

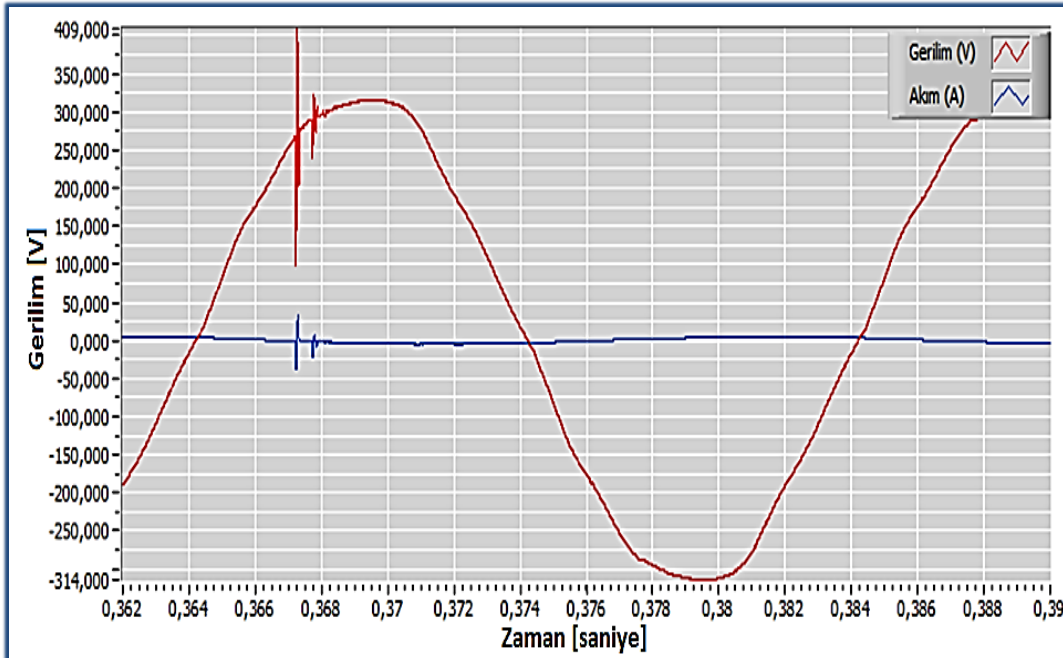


Şekil 5.10 : Endüktif yükün enerjilenme anındaki gürültüler için FFT açılımı.



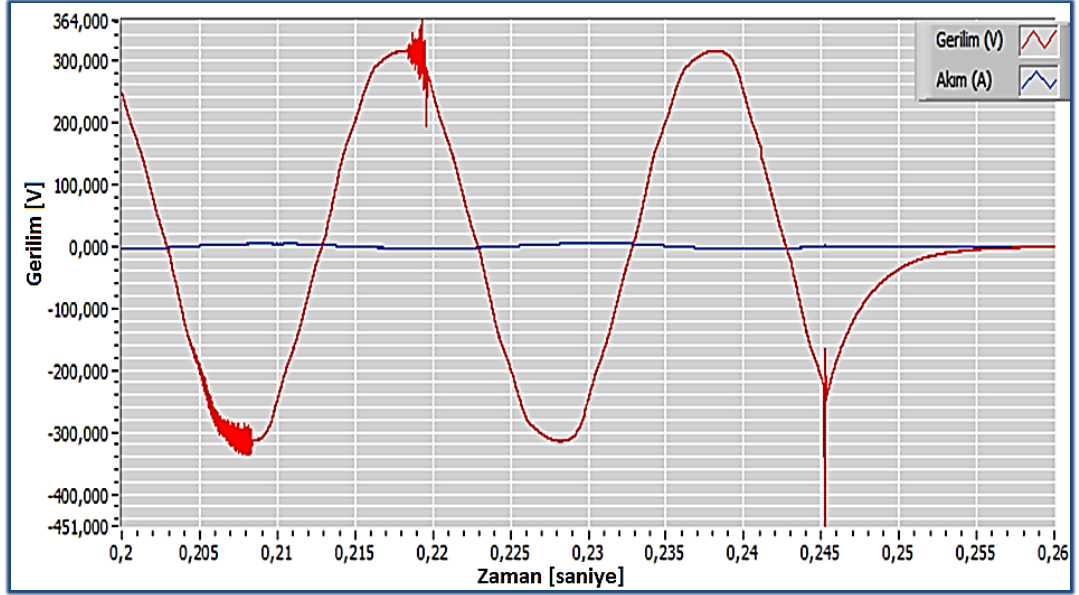
Şekil 5.11 : Endüktif yükün enerjisinin kesilmesi anı için gürültünün FFT açılımı.

Endüktif yük devrede iken 1 μ F'lık kompanzasyon kondansatörlerinin devreye alınması esnasında hatta var olan gürültü **Şekil 5.12**'de görülmektedir.



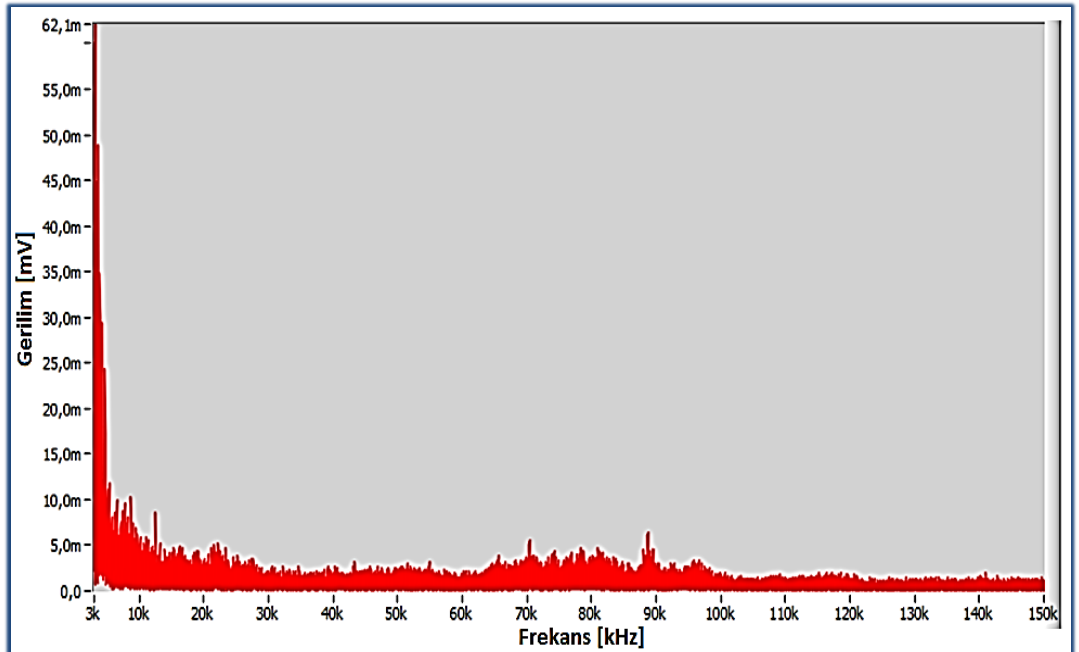
Şekil 5.12 : Kapasitif yükün enerjilenme anı ve oluşan gürültü.

Endüktif yük ve 1 μF 'lık kompanzasyon kondansatörleri hattın besleniyorken kondansatörlerin hattın çıkma durumunda hatta oluşan gürültü Şekil 5.13'te görülmektedir.

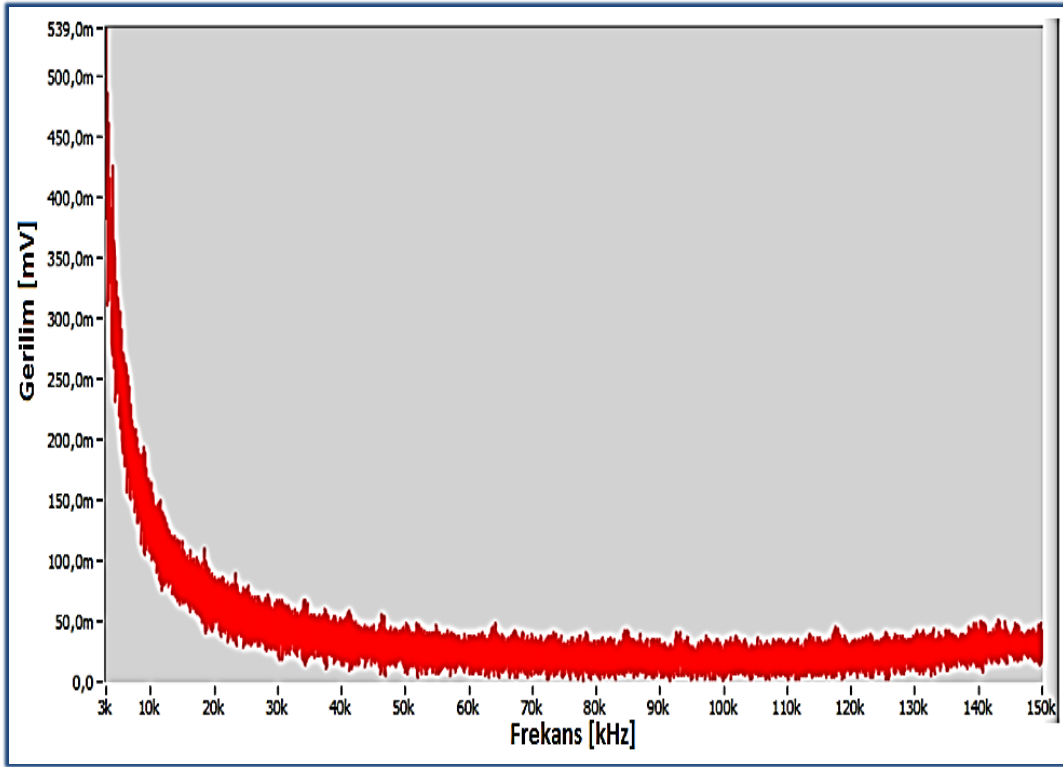


Şekil 5.13 : Kapasitif yüklerin devreden çıkartılması anı oluşan gürültüler.

Kondansatörler devreye alınma sonrası oluşan kararlı durumda hatta var olan gürültülerin FFT açılımı yapılmış durumu Şekil 5.14'te görülmektedir.



Şekil 5.14 : Kapasitif yüklerin kararlı anı için gürültü FFT açılımı.



Şekil 5.15 : Kondansatörlerin devreden çıkma anına ait gürültü FFT açılımı.

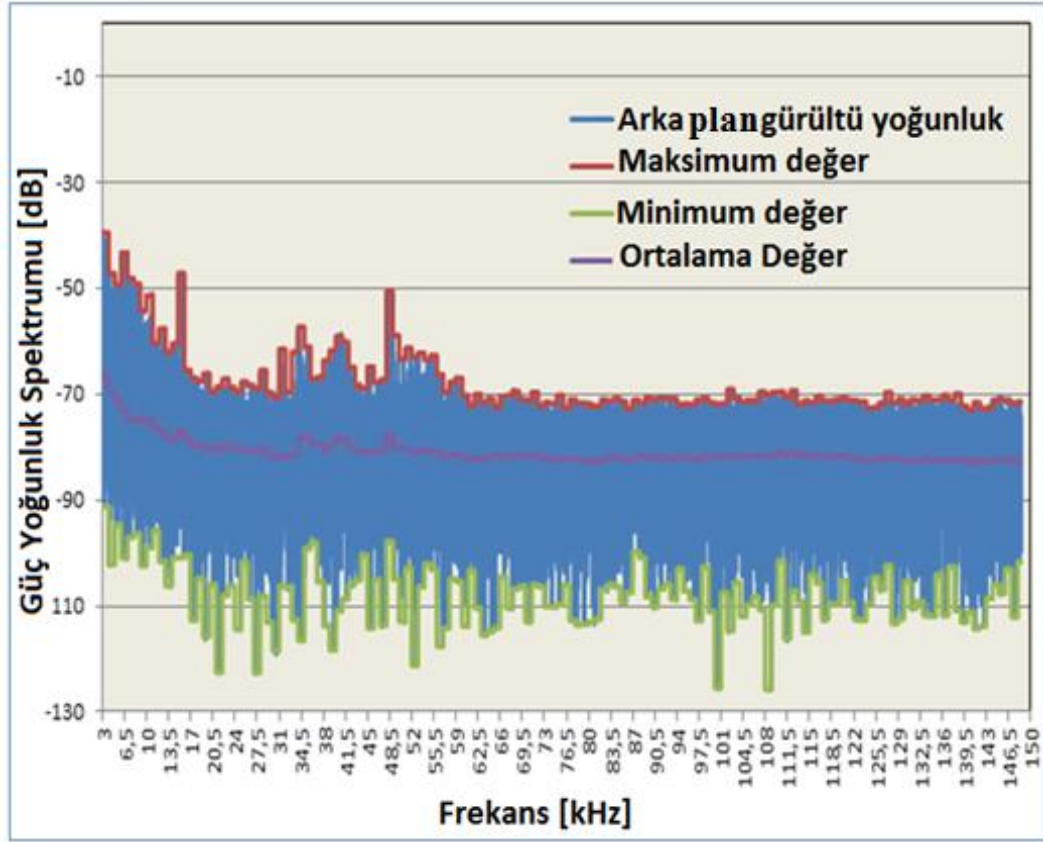
Kondansatörlerin devreden çıkma anında alınmış hattaki gürültülerin FFT açılımı **Şekil 5.15**'ten görülmektedir.

5.2 Gürültünün Üretimi ve Modellenmesi

Gürültü üretimi ve modelleme çalışması; üniversite laboratuvarında ve ev ortamında, Bölüm 4.2'de anlatılan yöntemlerle, ölçüm düzeneği **Şekil 4.3**'te bulunan biçimde ölçülmesi ve bunların tekrar üretilmesini kapsayan bir çalışmadır.

Ev ortamında yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen gürültünün Güç Yoğunluğu Spektrumunun (Power Spectral Density, PSD) iyi ve kötü senaryolar için hangi değerlerde yer aldığı **Şekil 5.16**'da görülmektedir. Gürültünün seviyesi haberleşme hattının kapasitesini belirlemede çok önem arz etmektedir. Bilindiği üzere Hartley Shannon kanunu, verilen bir kanal için enformasyon geçiş hızının sınırlı olduğunu ve band genişliği (B) ile iletilecek sinyal gücü P_S ile gürültü gücü P_N olmak üzere (P_S/P_N) dB oranı ile arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Buna göre kanal kapasitesi (C) denklem (5.4)'deki gibi yazılabilir.

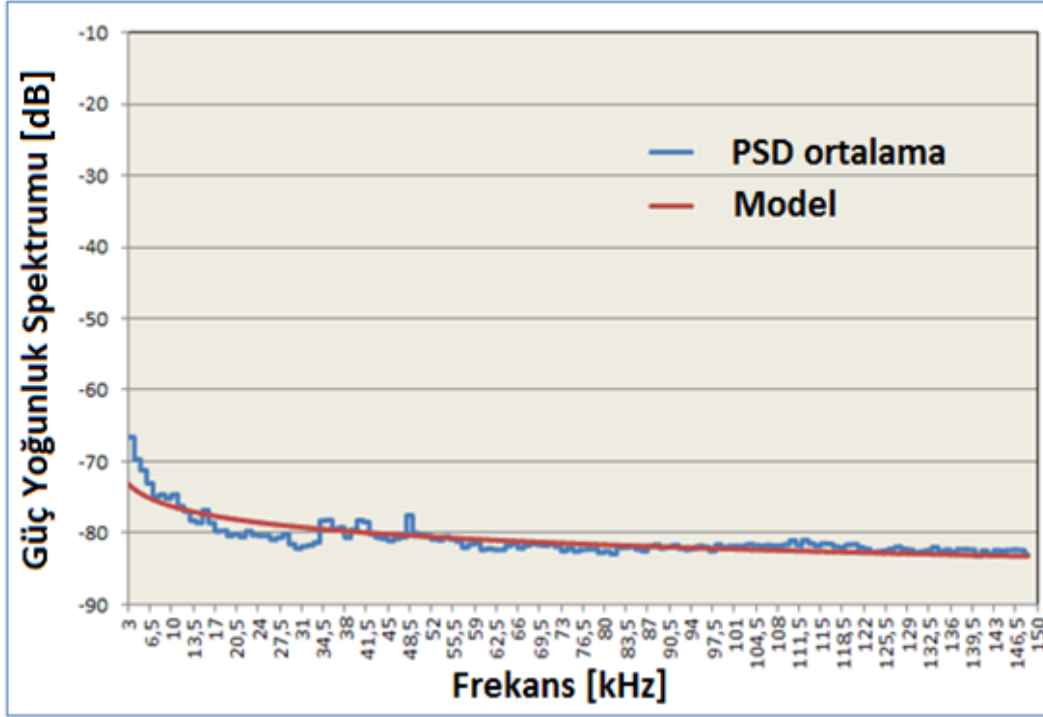
$$C = B \log_2 \left(1 + \left(\frac{P_S}{P_N} \right)_{dB} \right) \quad (5.4)$$



Şekil 5.16 : Evde alınan PSD (Güç Yoğunluk Spektrumu) (3-150 kHz).

Evde yapılan PSD ölçümleri neticesinde en büyük minimum değer: -91.26 dB. En küçük minimum değer: -125.8 dB. En büyük maksimum değer: -39.6 dB. En küçük maksimum değer: -73.04 dB dir. Ev için arka plan gürültüsü (Background noise) ortalama değeri, minimum ve maksimum değerler gibi frekans (Hz) arttıkça genliği azalmaktadır. Bu gürültü için model (PSD_{ev}) denklem (5.5) ile verilmiştir. Model ve gerçek durum Şekil 5.17’de görülmektedir.

$$PSD_{ev} = -2.5972 \ln(f) - 52.323 \text{ dB} \quad (5.5)$$

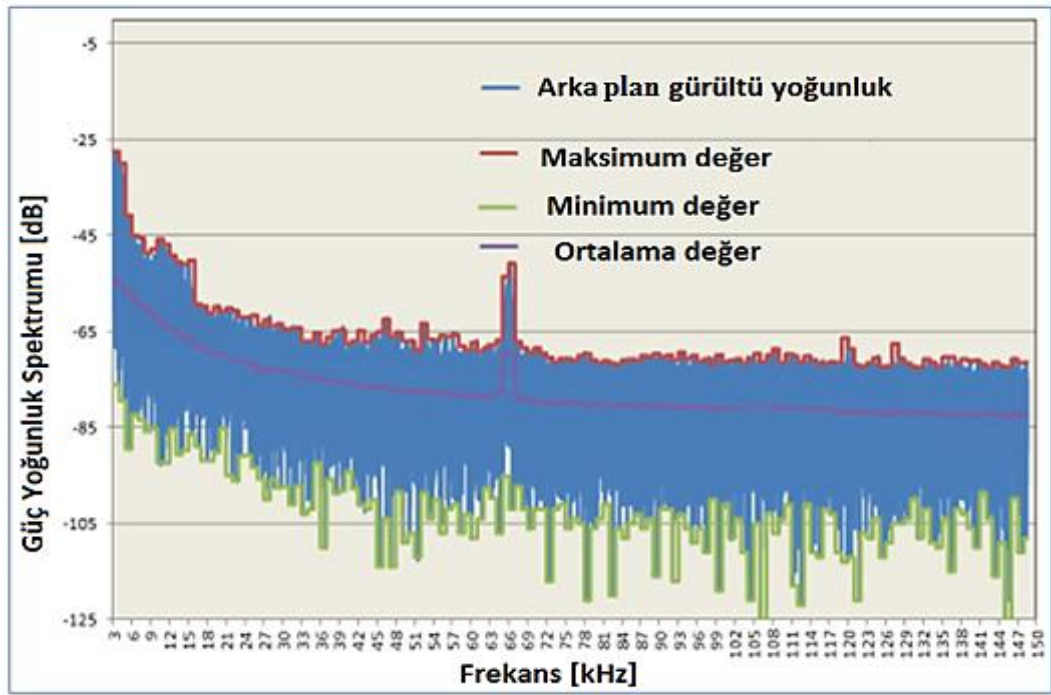


Şekil 5.17 : Evde alınan PSD ve Modellenen PSD (3-150 kHz).

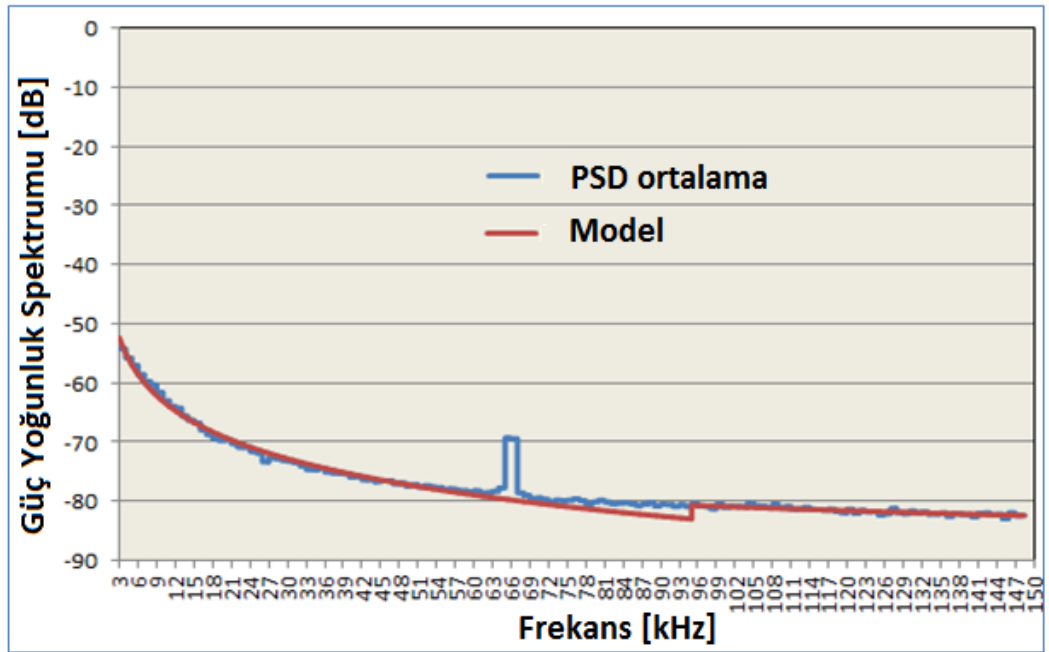
Laboratuvar ortamında yapılan ölçümler neticesinde elde edilen arka plan gürültüsü **Şekil 5.18**'de görülmektedir. Laboratuvarda yapılan ölçümler neticesinde en büyük minimum değer: -76 dB. En küçük minimum değer: -125 dB. En büyük maksimum değer: -27.4 dB. En küçük maksimum değer: -72.4 dB dir. Laboratuvar için arka plan gürültüsü (Background noise) ortalama değeri, minimum ve maksimum değerler gibi frekans (Hz) arttıkça genliği azalmaktadır. Bu gürültü için model PSD_{LaB} , denklem (5.6) ve (5.7) ile verilmiştir. Model ve gerçek durum **Şekil 5.19**'da gözükmemektedir.

$$PSD_{LaB\ 3-95kHz} = -8.8569 \ln(f) + 18.516\ dB \quad (5.6)$$

$$PSD_{LaB\ 95-148.5kHz} = -3.8796 \ln(f) - 36.21\ dB \quad (5.7)$$

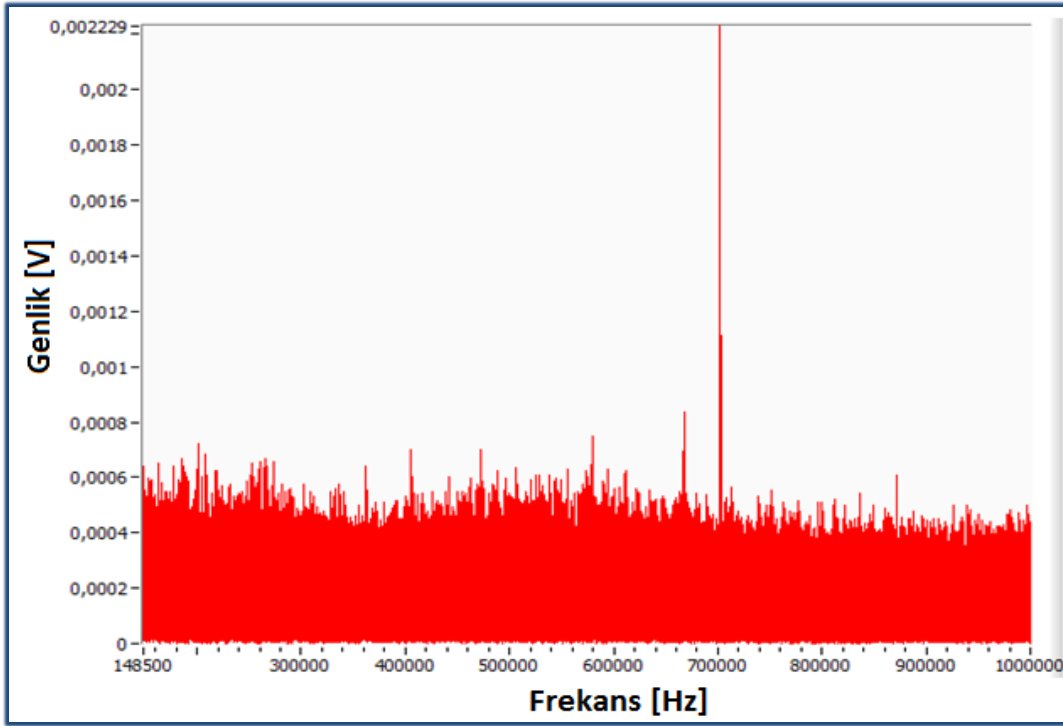


Şekil 5.18 : Laboratuvarda alınan PSD değişimi (3-150 kHz).

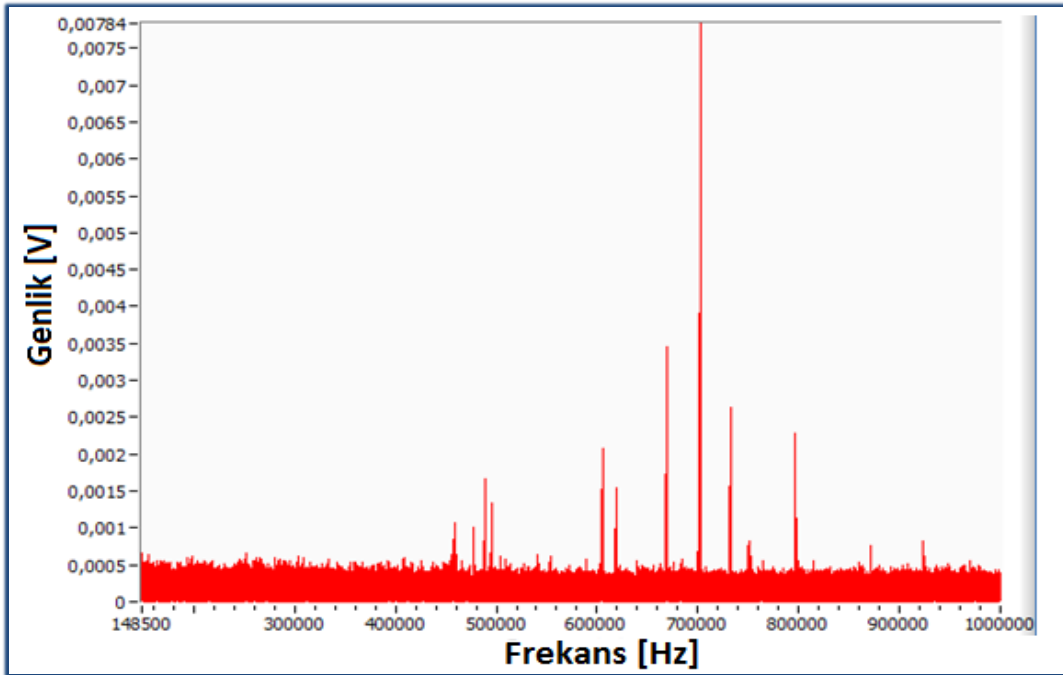


Şekil 5.19 : Laboratuvar için ölçülen ve modellenen PSD (3-150 kHz).

Ev ve laboratuvar ortamında ölçümlenen yayımlama gürültüleri (Narrowband noise) Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de görülmektedir. Bu şekillerde arka plan gürültüsü (Background noise) de görülmektedir. Üniversite laboratuvarının, ölçümlenen band içerisinde, yayım yapan istasyonlara daha yakın olması nedeni ile bu gürültünün genliği daha yüksek düzeyde görülmüştür.

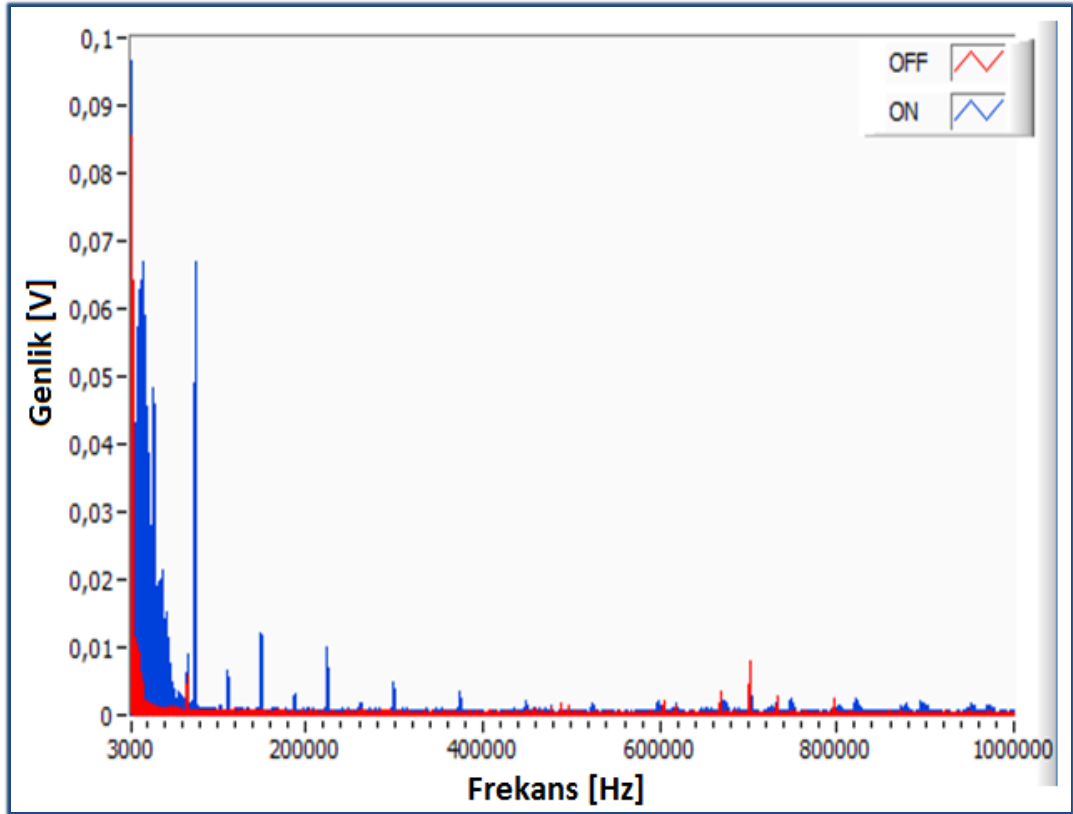


Şekil 5.20 : Ev çevresindeki LF ve MF radyo sinyallerinin hatta olan etkisi.



Şekil 5.21 : Laboratuvar çevresindeki LF ve MF radyo sinyallerinin etkisi.

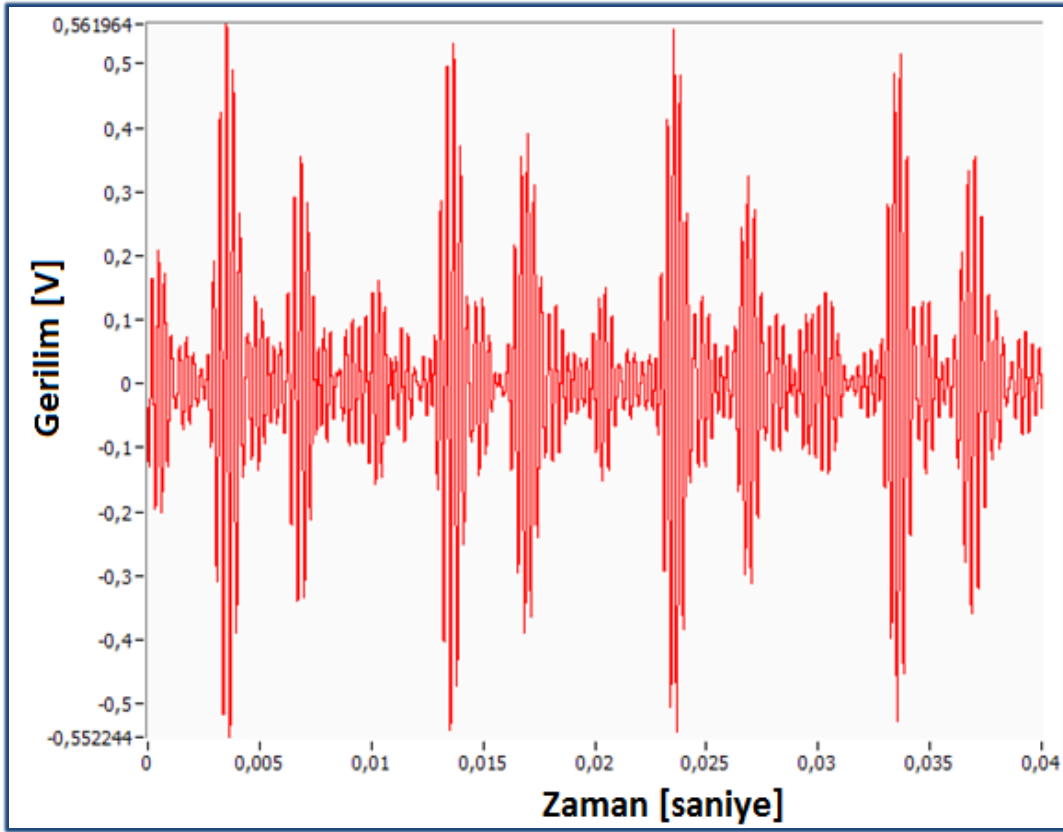
Laboratuvar ortamında bir eviricinin hatta oluşturduğu darbe gürültüler ve onun harmonikleri Şekil 5.22’de görülmektedir.



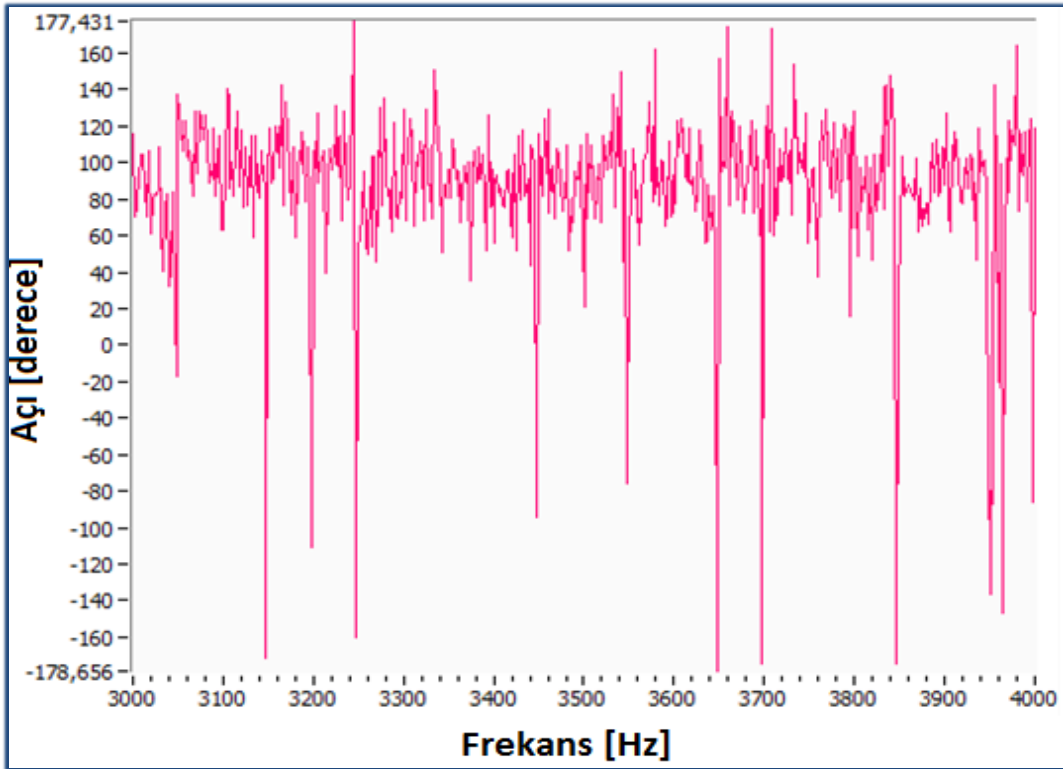
Şekil 5.22 : Laboratuvarıda ölçülen darbe gürültüsü ve harmonikleri.

Buraya kadar anlatılan tüm gürültülerin birbirine bindirilmiş hali haberleşme kanalında gözlemlenir. Bu gürültülerin bilgisayar destekli benzetim programları ile tekrar üretilmesi, haberleşme sisteminin bu gürültülerin durumuna göre modellenmesi olası problemlerin önceden öngörülmesine ve çözümünlenmesine katkı sağlayacaktır.

Gürültü istatistiksel yöntemler kullanılarak üretilmiştir. Hatta var olan gürültü zaman düzleminde analizi yapılmak üzere 5. Dereceden Butterworth band geçiren filtreden geçirilmiştir. Burada gürültü üretimi için çalışılan frekans 3 kHz ile 150 kHz bandıdır. 3 kHz (*fstart*) ile 150 kHz (*fstop*) arası band 1 kHz genişliğinde 147 frekans aralığına (*I*) bölünmüştür. Modelleme ve üretim örnek olarak seçilmiş bir frekans aralığı için açıklanacaktır. **Şekil 5.23**'te 3 kHz - 4 kHz bandında alınmış gürültünün zamana göre değişimi görülmektedir. **Şekil 5.24**'te ise gürültünün faz açısının frekansa göre değişimi görülmektedir.

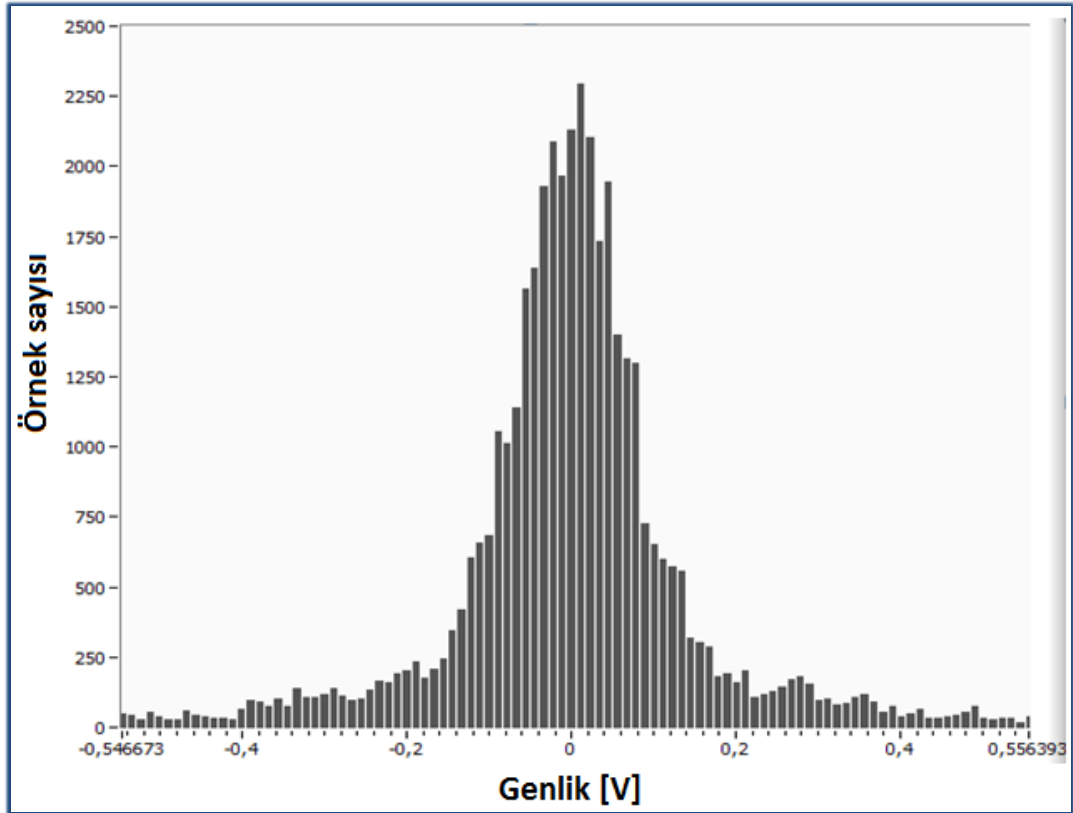


Şekil 5.23 : 3 kHz – 4 kHz bandındaki gürültü genliğinin zamana göre değişimi.



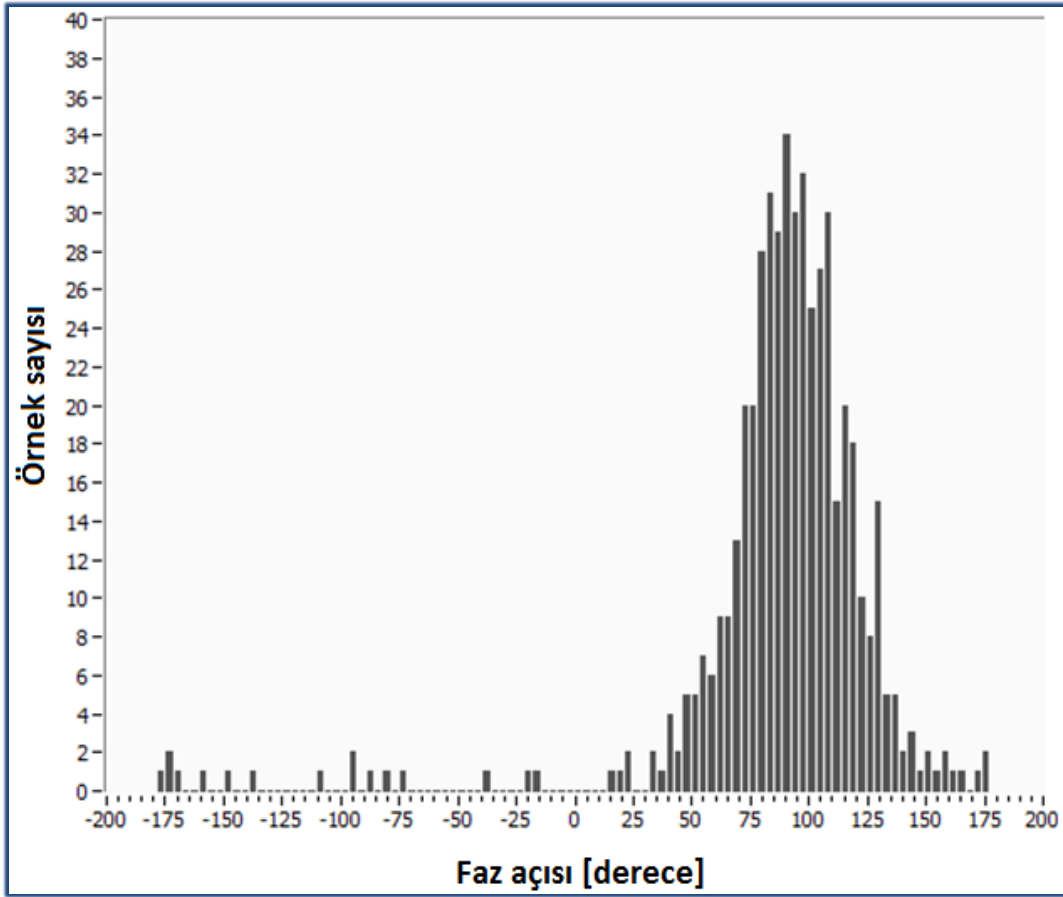
Şekil 5.24 : 3 kHz – 4 kHz bandındaki gürültünün faz açısının değişimi.

Burada I frekans aralığındaki gürültü genlikleri, istatistiki olarak birbirinden bağımsızdır. Her bir frekans aralığı i ($i \in [1, 147]$) 40000 örnek içermektedir. Gürültünün ölçüm yapılan i . aralıktaki bir periyot boyunca örneklenmiş sinyalin tepe değeri ξ_i ($\xi_i \in [x_{\min}, x_{\max}]$) dir. Her bir ξ_i değeri histogram uzunluğu 100 olacak şekilde x düzleminde gösterilmiştir. Yani diğer bir ifade ile x düzlemi sinyalin genliğini gösterecek biçimde düzenlenmiştir. Böylece tüm ξ_i değerleri aynı uzunlukta (Δx) değeri 1 olan bir sınıf (c) altında toplanmış olurlar. Burada anlatılan durumun gerilim açısından oluşturulan histogramı **Şekil 5.25**'te görülmektedir.



Şekil 5.25 : 3 kHz – 4kHz bandındaki gürültünün genlik histogramı.

3 kHz- 4kHz bandında alınmış bir gürültünün faz açısının değişimi için alınan örneklerden oluşturulmuş histogram **Şekil 5.26**'da görülmektedir.



Şekil 5.26 : 3 kHz- 4 kHz bandındaki gürültünün faz açısı histogramı.

Her bir sınıf içerisinde yer alan y düzleminde yer alan değerlerin sayısı N_c ile toplam örnek sayısı veya bir diğer ifade ile ölçüm sayısı N_M olmak üzere göreceli sıklık denklem (5.8) ile ifade edilir.

$$H(\xi_i \in c) = \frac{N_c}{N_M} \quad (5.8)$$

$N_M \rightarrow \infty$, olmak üzere, denklem (5.8) ile gösterilen göreceli sıklık ifadesi $P(\xi_i \in c)$ olasılık tanımını verecektir. Yine i aralığındaki c sınıfına toplanan gürültünün tepe değeri olarak genliğinin olasılığı denklem (5.9) ile ifade edilecektir.

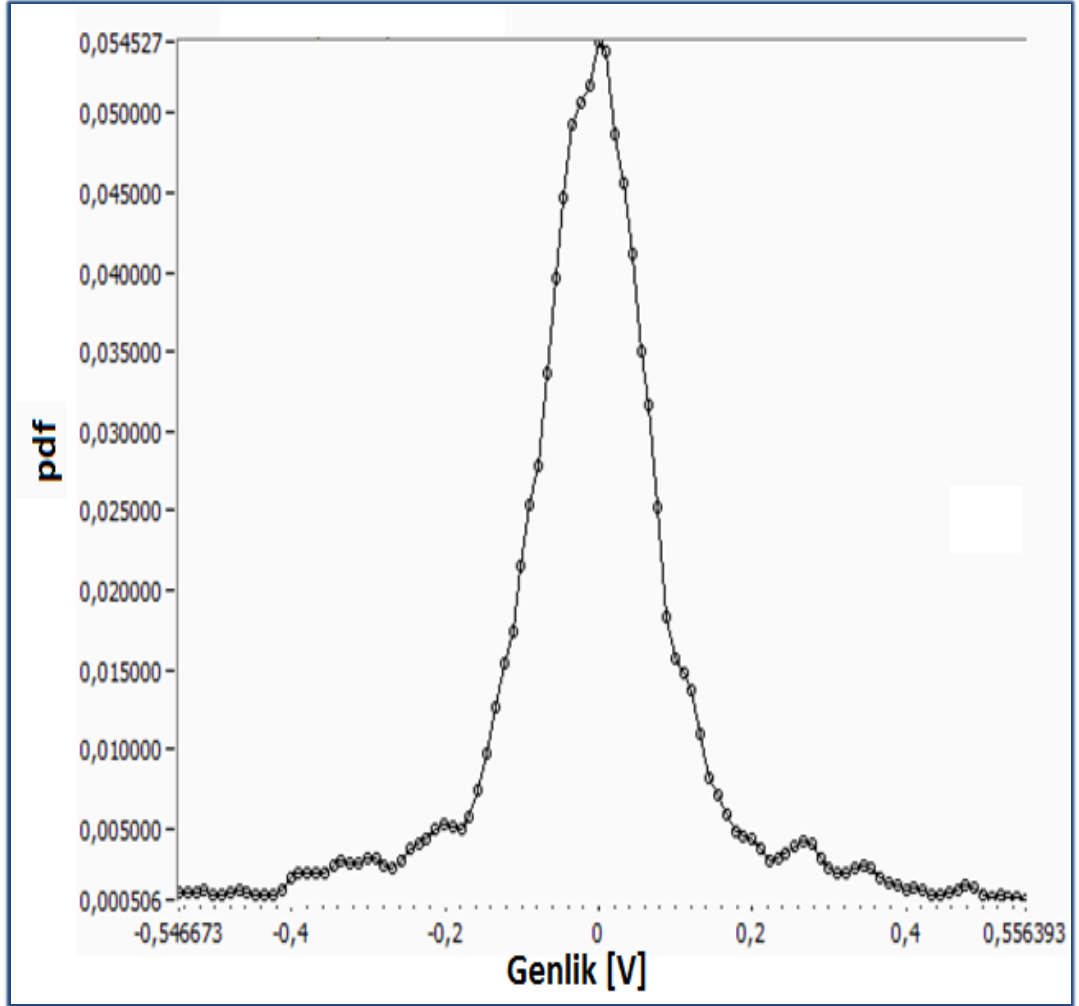
$$P[x < \xi_i \leq x + \Delta x] \approx \frac{N_c}{N_m} \text{ ve } x \in [x_{min}, x_{max}], \Delta x > 0 \quad (5.9)$$

Olasılık yoğunluk fonksiyonun (probability density function-pdf) $f_{\xi_i}^i(x)$, i frekans aralığındaki ifadesi;

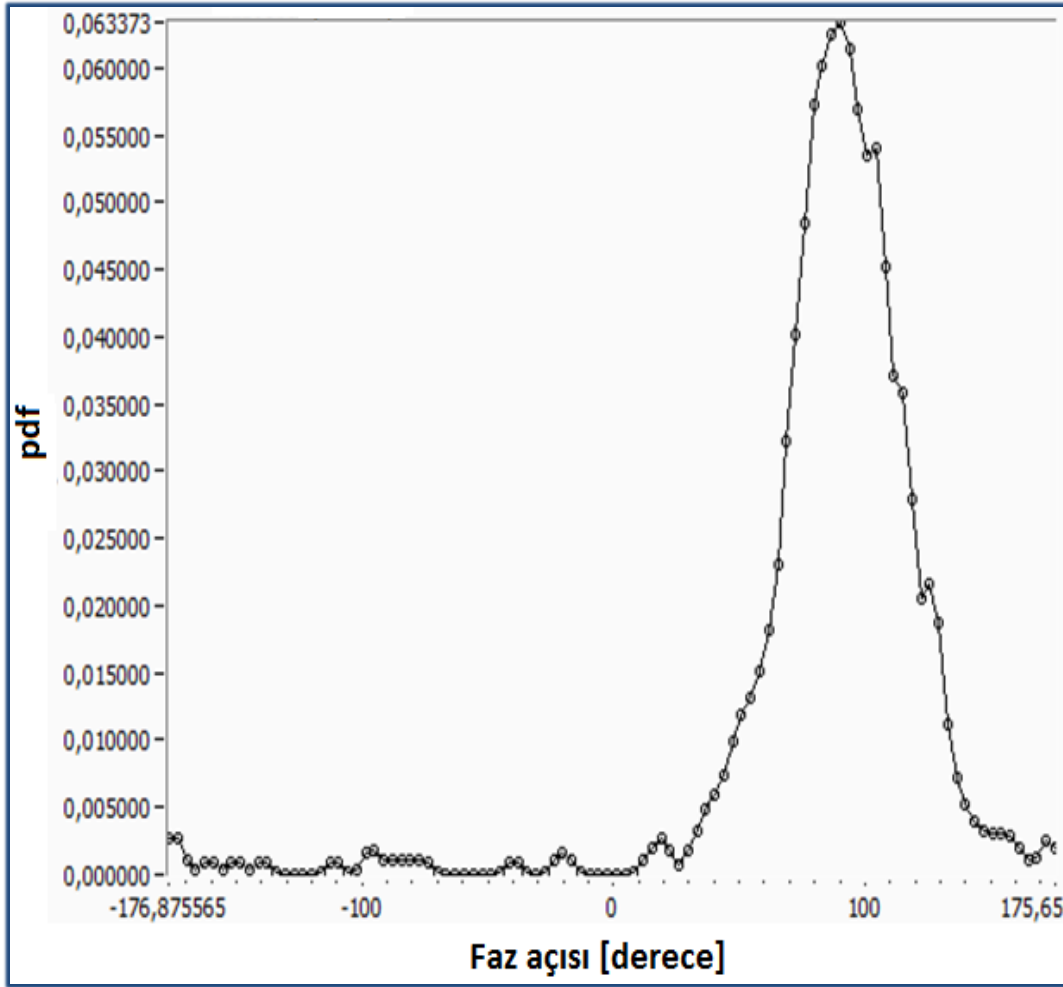
$$\int_x^{x+\Delta x} f_{\xi_i}^i(x)dx = P[x < \xi_i \leq x + \Delta x] \quad (5.10)$$

$$f_{\xi_i}^i(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P[x < \xi_i \leq x + \Delta x]}{\Delta x} \quad (5.11)$$

Denklem (5.11) den görüleceği üzere pdf ile $P[x < \xi_i \leq x + \Delta x]$ eşdeğeri olasılık yaklaşımının başarısının veya doğruluğunun artması o sınıf içerisindeki Δx değerine bağlıdır. Bu denklem neticesinde elde edilen gerilim ve faz açısına ait pdf'ler Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de görülmektedir.



Şekil 5.27 : 3 kHz- 4 kHz bandındaki gürültünün genliği için pdf.



Şekil 5.28 : 3 kHz- 4 kHz bandındaki gürültünün faz açısı için pdf.

Rastgele değişken (random variable) olan ξ_i için Olasılık Dağılım Fonksiyonu (Cumulative Distribution Function-CDF) denklem (5.12) deki gibi tanımlanır.

$$F_{\xi_i}(x) = P[\xi_i \leq x] = \int_{-\infty}^x f_{\xi_i}^i(t) dt \quad (5.12)$$

Benzetim (simulation) amaçlı olarak arka plan gürültüsünü üretmek üzere her bir frekans aralığı I ve bu aralıktaki pdf $f_{\xi_i}^i(x)$ rastgele bir biçimde seçilir. Burada bilgisayar aracılığı ile $[0,1]$ aralığında rastgele değişkeni η olarak temsil edilen 100 sayı üretilir ve bunların düzgün (uniform) dağılıma sahip olduğu kabul edilir. Bilgisayarda bunları yerine getirirken düzgün dağılımlı η rastgele değişkeni, ξ_i ile pdf $f_{\xi_i}^i$ ye eşleştirilir. Böylelikle η rastgele değişkeni oldukça düzgün dağıtılmış ξ_i rastgele değişkenlerine dönüştürecektir. Denklem (5.13) ve denklem (5.14)'den bu görülebilir.

$$f_{\xi_i}^i(x)dx = \mp f_{\eta}(y)dy \quad (5.13)$$

$$F_{\xi_i}(x) = F_{\eta}(y) \quad (5.14)$$

Düzgün dağılımlı rastgele değişkenin dağılım fonksiyonu ise;

$$F_{\eta}(y) = \int_{-\infty}^y f_{\eta}(u)du = y, \quad y \in [0,1] \quad (5.15)$$

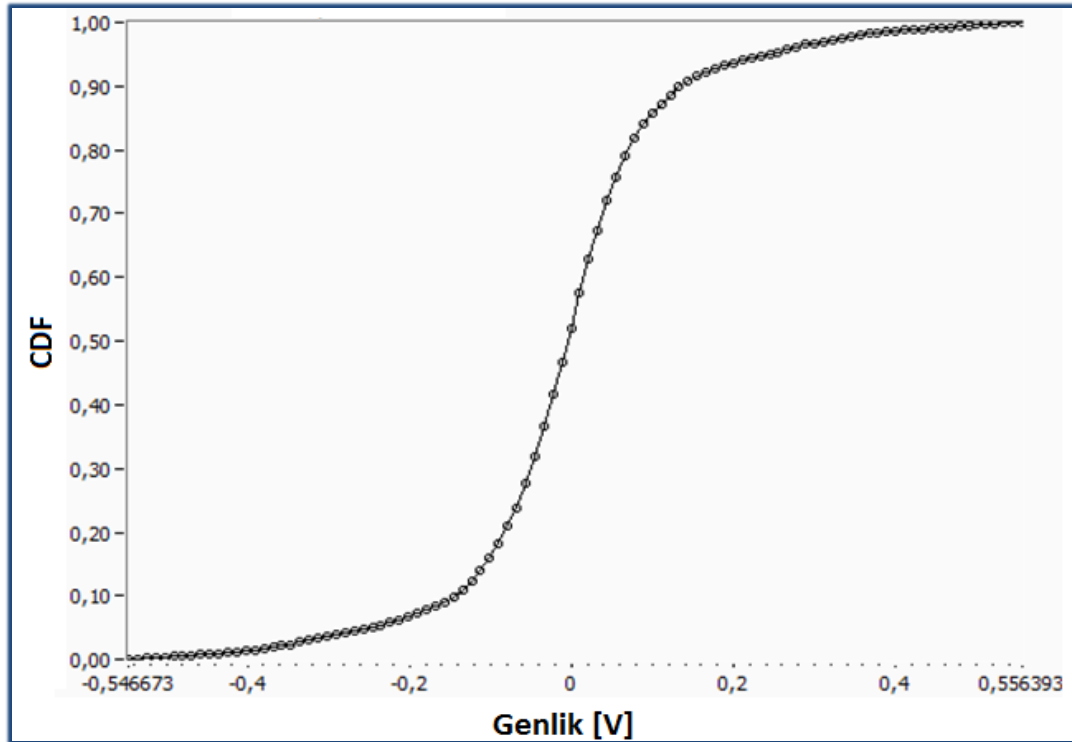
Bu durumda denklem (5.14) ve (5.15) ifadeleri;

$$F_{\xi_i}(x) = F_{\eta}(y) = y \quad (5.16)$$

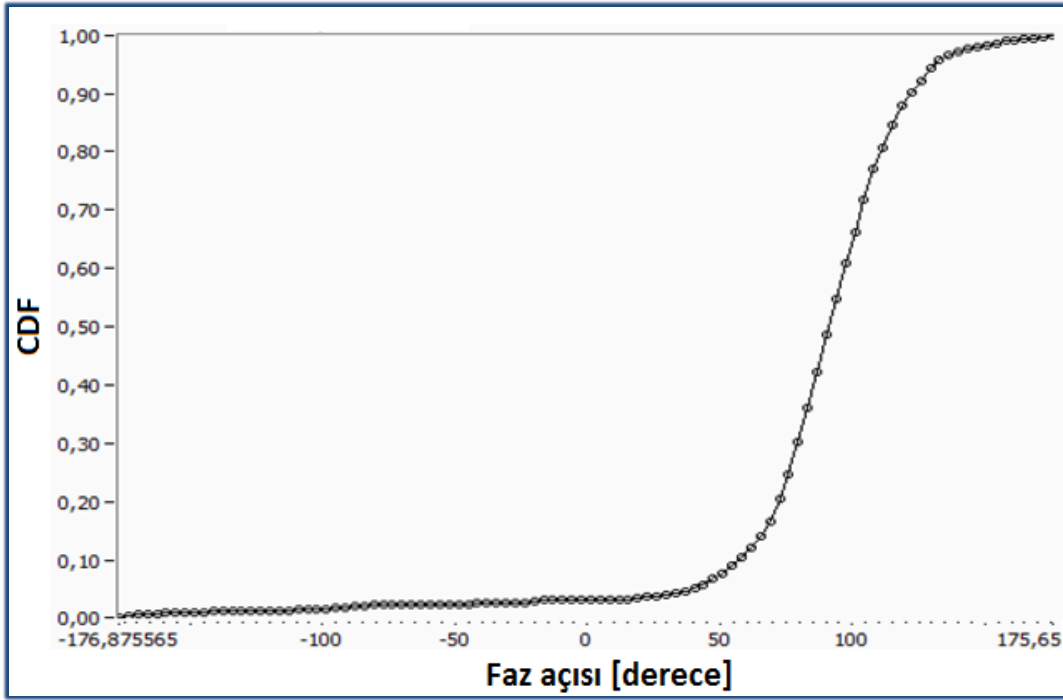
$$x = F_{\xi_i}^{-1}(y) = g_{\xi_i}(y) \quad (5.17)$$

olarak elde edilir. Burada $g_{\xi_i}(x)$, ξ_i rastgele değişkeninin pdf değerini düzgün dağıtımli rastgele değikene eşitleyen fonksiyondur.

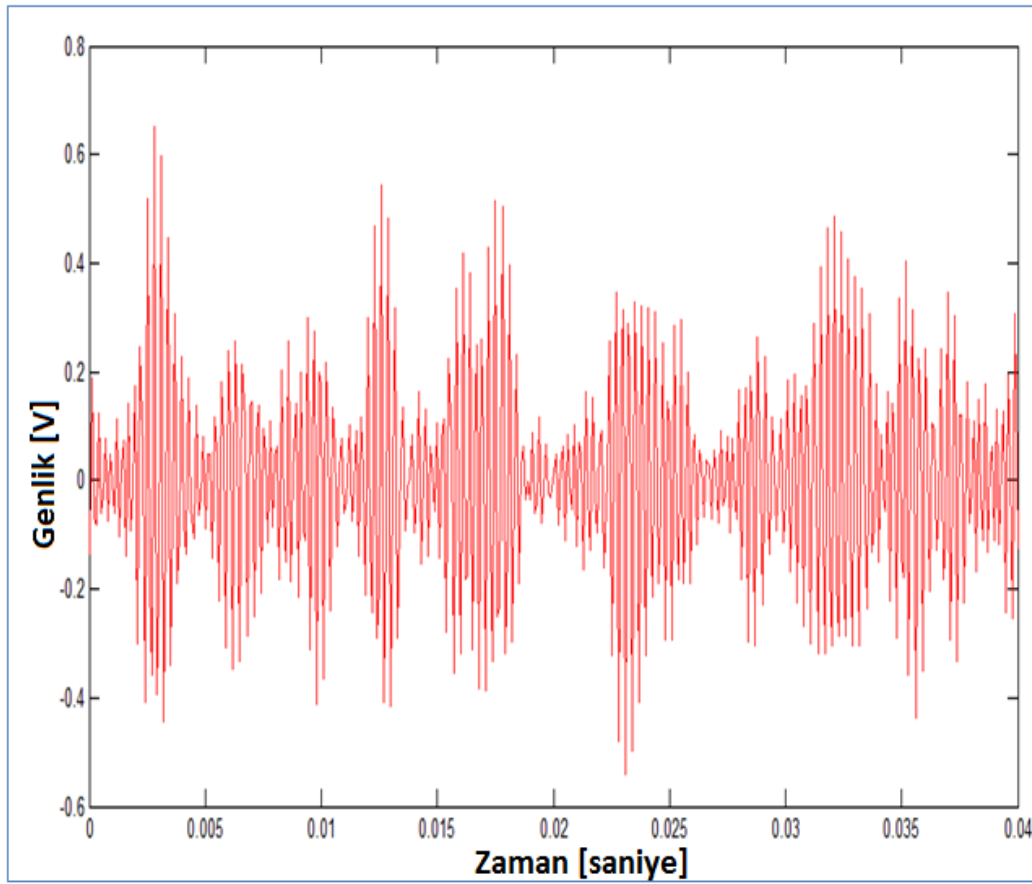
$F_{\xi_i}(x)$ Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (CDF) bu ifadeler neticesinde 3 kHz- 4kHz arası gürültü için genlik ve faz için **Şekil 5.29** ve **Şekil 5.30**'da verilmiş.



Şekil 5.29 : 3 kHz- 4 kHz bandındaki gürültünün genliği için CDF.



Şekil 5.30 : 3 kHz- 4 kHz bandındaki gürültünün faz açısı için CDF.



Şekil 5.31 : 3 kHz- 4 kHz bandındaki gürültünün üretilmiş hali.

Sonuç olarak CDF değerleri, genlik ve faz değerleri dijital sinyal işleme programı yardımı ile yukarıda anlatılan çerçevede elde edilmiş ve Microsoft Excel dosyası olarak çıktılar saklanmıştır. **Ek A**'da verilen MATLAB yazılımı yardımı ile bu gürültülerin istenilen bir süre boyunca üretilmesi sağlanmıştır. Elde edilen sinyal **Şekil 5.31**'de görülmektedir.

5.3 Empedans Ölçümü ve Modeller

Empedans ölçülmesi üniversite laboratuvarında yapılmıştır. Bu ölçümlerde kullanılan cihazlar ve ölçüm düzeneği **Şekil 4.7**'de görülmektedir. Darband PLC kanal empedansı veya diğer bir deyişle erişim empedansı frekansa ve yüklere bağlı olarak değişim gösterir. Bu çalışmada erişim empedansı için ölçümler 3 kHz ile 1000 kHz aralığını kapsamaktadır. Bu ölçümler 125 kHz'e kadar 1 kHz aralıklarla alınmıştır. 130 kHz ile 1000 kHz aralığında ölçüm aralığı 10 kHz seçilmiştir. Bu seçim farkı darband PLC için A ve B bandlarında daha hassas ölçüm yapma istekliliğinden kaynaklanmaktadır. PLC G3 ve PRIME için empedansın pdf ve CDF değerleri de verilmiştir. Kabloların hat empedansı üzerine etkisi de bu çalışmada araştırılan diğer bir konudur. Ölçülen sonuçların tekrar eldesi için modelleme yapılmıştır. Son olarak empedans ve empedans açısındaki değişim de pratik olarak kullanılmak üzere tablo halinde sunulmuştur.

5.3.1 PLC kanalı için empedans modelleri

Uygun bir PLC sistemi tasarımı için kanal empedansının bilgisayarlarda benzetimine (simülasyon) ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrik dağıtım yapısı fiziksel özellikleri açısından diğer haberleşme teknolojilerinden farklıdır [128]. Hattın modellenmesinde her bir ülke için kabloların seçim farklılığından kaynaklanan ayrı bir model oluşturulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. En yaygın olarak iki paralel kablolu bir iletim hattı gibi düşünülerek yapılmış çalışmalar mevcuttur [129-130]. İletim hattının bu çalışmada dört elektriksel büyüklükten oluştuğu düşünülmektedir. Bunlar birim uzunluk için tanımlanmış seri endüktans (L'), seri direnç (R'), paralel kapasite (C') ve paralel kondüktans (G') kanal empedansını tanımlar. Bu durumda kanal empedansı (Z_C) denklem (5.18) ile ifade edilir.

$$Z_c = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}} \quad (5.18)$$

Yayıma sabiti (propagation constant) γ ; zayıflama sabiti (α) ve faz sabiti (β) olmak üzere denklem (5.19) ile yazılabilir.

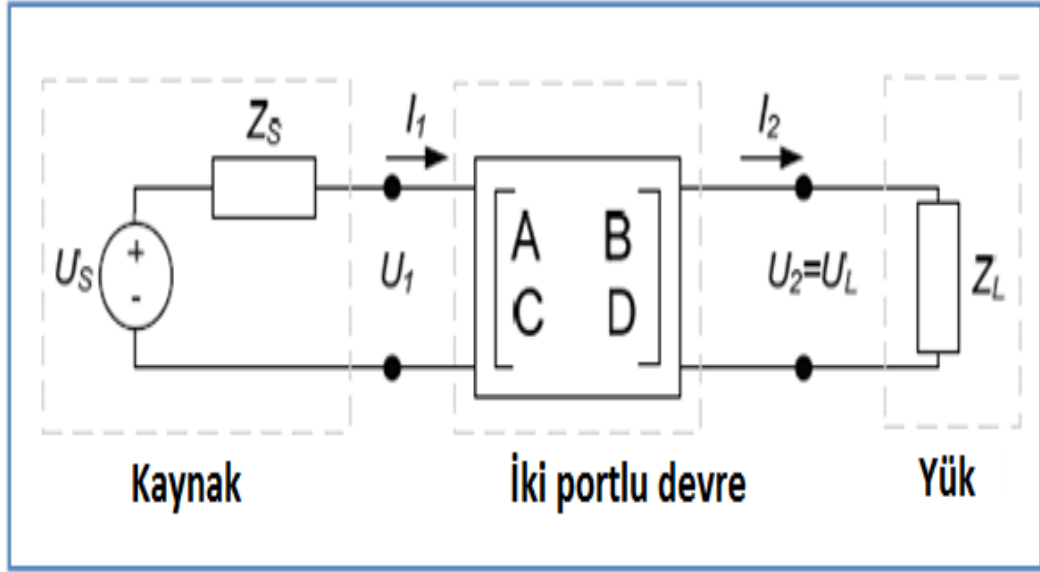
$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')} \quad (5.19)$$

PLC kanal modelleri zaman ve frekans düzleminde deterministik veya istatistiki yollarla elde edilmiş verilere dayalı olarak yapılmaktadır. Deterministik yolla modelleme için; hatta yer alan kablo ve onun topolojisinin, hatta yer alan diğer yüklerin enerjilenme anı ve sonrası için karakteristik bilgilerinin bilinmesi gerekir. Deterministik yöntemle yapılan modelleme çalışması da iki ayrı kategoride ilerlemektedir. Bunlar frekans temelli olup ilki hatta ilerleyen dalganın davranışı esasına dayanır [131]. Bu modellemeler 1 MHz üzeri frekanslar için geçerlidir. Burada dalga (travelling wave) ilerleyen ve yansıyan dalga olmak üzere iki ayrı dalga oluşturur. İlerleyen ve yansıyan dalga arası orana yansıma katsayısı adı verilir. İletim hattında (transmission line) her hangi bir noktadaki giriş empedansı ve yansıma katsayısı arası ilişki denklem (5.20) ile tanımlanır. Denklemden (Z_{in}) giriş empedansı, (Z_c) hattın karakteristik empedansı, (Z_L) yük empedansı, (γ) yayılma sabiti ve (l) hat uzunluğudur.

$$Z_{in} = Z_c \frac{Z_L + Z_c \tanh \gamma l}{Z_c + Z_L \tanh \gamma l} \quad (5.20)$$

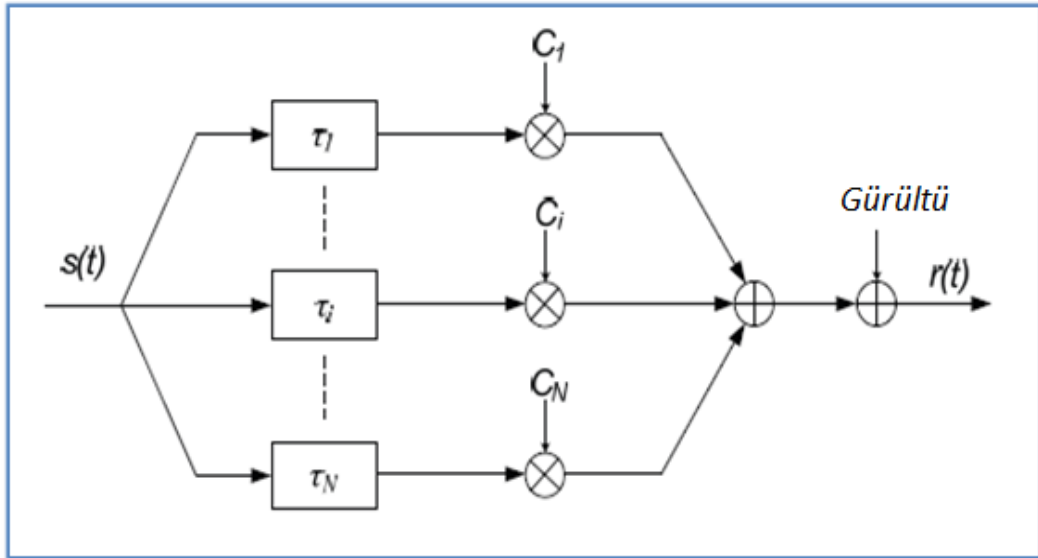
İkinci bir deterministik yöntem zincir matris parametreleri ile hattın empedansının tanımlanmasıdır. **Şekil 5.32**'de görüleceği üzere zincir parametre matrisleri (ABCD matris) giriş ve çıkış arası gerilim ve akım ilişkilerine dayanarak bir transfer fonksiyonu tanımlamayı esas alır [132]. İletim hattı empedansının ABCD matrislerine göre, γ yayılım sabiti ve l hat uzunluğuna bağlı olarak ifadesi denklem (5.21)'de verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma l) & Z_c \sinh(\gamma l) \\ \frac{1}{Z_c} \sinh(\gamma l) & \cosh(\gamma l) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (5.21)$$



Şekil 5.32 : İletim hattı için ABCD matrisleri.

Zaman düzleminde yapılan modelleme çalışmaları genellikle istatistiki temellere dayanır. Burada hattın ilerlediği çoklu yolların (multi-path) ve ağırlık katsayılarının tahmini gerekmektedir. Hatta empedans uyumsuzlukları çok sayıda yansımalar ve çok sayıda yayılımına neden olur. Bu davranış **Şekil 5.33**'te görülmektedir.



Şekil 5.33 : İletim hattı için çok yoldan sinyal yayılımı (multipath effect).

İletilen her bir sinyal alıcıya N farklı yoldan ulaşmaktadır. Her bir yol i için belirli bir τ_i gecikmesi ve C_i zayıflama faktörü bulunmaktadır. Denklem (5.22)'de verilen kanalın darbe cevabı gecikmiş ve zayıflamış Dirac palsleri ile ifade edilir [133-136].

$$h(t) = \sum_{i=1}^N C_i \delta(t - \tau_i) \Leftrightarrow H(f) = \sum_{i=1}^N C_i e^{-j2\pi f \tau_i} \quad (5.22)$$

Hattın transfer fonksiyonu $H(f)$; yollardaki zayıflama $A(f, l_i)$ ve g_i ağırlık faktörüne göre denklem (5.23) ile ifade edilir.

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i A(f, l_i) e^{-j2\pi f \tau_i} \quad (5.23)$$

5.3.2 Literatürde yer alan PLC kanal empedans ölçüm sonuçları

Empedans ölçümü ile ilgili ilk ayrıntılı çalışma 1976 yılında Avrupa’da 86 ülkenin AA dağıtım şebekesi için 0.02-30 MHz frekans bandında yapılmıştır [137]. Bu ölçümler evde kullanılan devrelerin, frekans arttıkça empedansı da arttırdığı, empedanstaki değişimin 100 kHz’e kadar 1.5 Ohm ile 80 Ohm arasında değiştiği ifade edilmektedir. Yine Avrupa’da İtalya, Almanya ve Fransa ülkelerinin alçak gerilim hattında yapılan bir çalışmada tipik empedans değerinin 5 Ohm civarında olduğu, neredeyse ölçümlerin % 90 nının 0.5 Ohm ile 10 Ohm arasında değiştiği görülmüştür [138]. 20 kHz ile 150 kHz arası yapılan bir çalışmada sinüsoidal gerilim ve akım ölçümleri yapılarak, erişim empedansı 1 Ohm ile 6 Ohm arasında bulunmuştur [139]. 120 V luk alçak gerilim hattında ev için yapılan ölçümler neticesinde kanal empedansının ölçümü yapılmıştır. Ölçümlenen frekanslar 10 kHz’den 20 MHz’ e kadar uzanmaktadır. 10 kHz -150 kHz bandında empedansın 1 Ohm ile 20 Ohm arasında olduğu ölçülmüştür [140]. Türkiye alçak gerilim şebekesinde yapılan bir çalışmada 10 kHz ile 150 kHz aralığında farklı dağıtım hatlarında yapılan ölçümlerde empedansın 1 Ohm ile 20 Ohm arasında değiştiği ifade edilmiştir [32]. Literatürde alçak gerilim kabloları için yapılmış çalışmalar da mevcuttur. CYKY 3x1.5 mm² ve AKYK 3x2.5 mm² kablolarının 1 km uzunluğunun empedansı ölçülmüştür [141]. Bir başka çalışmada 3x1.5 mm², 3x2.5 mm² ve 3x4 mm² kesitli kablolar için empedans ölçümleri yapılmıştır [135].

5.3.3 Empedans saha ölçüm sonuçları

Empedans ölçümleri Bölüm 4.3’te anlatıldığı şekilde yapılmıştır. Hattın karakteristik empedansını bulmak üzere aşağıdaki denklemlerden yararlanılmıştır.

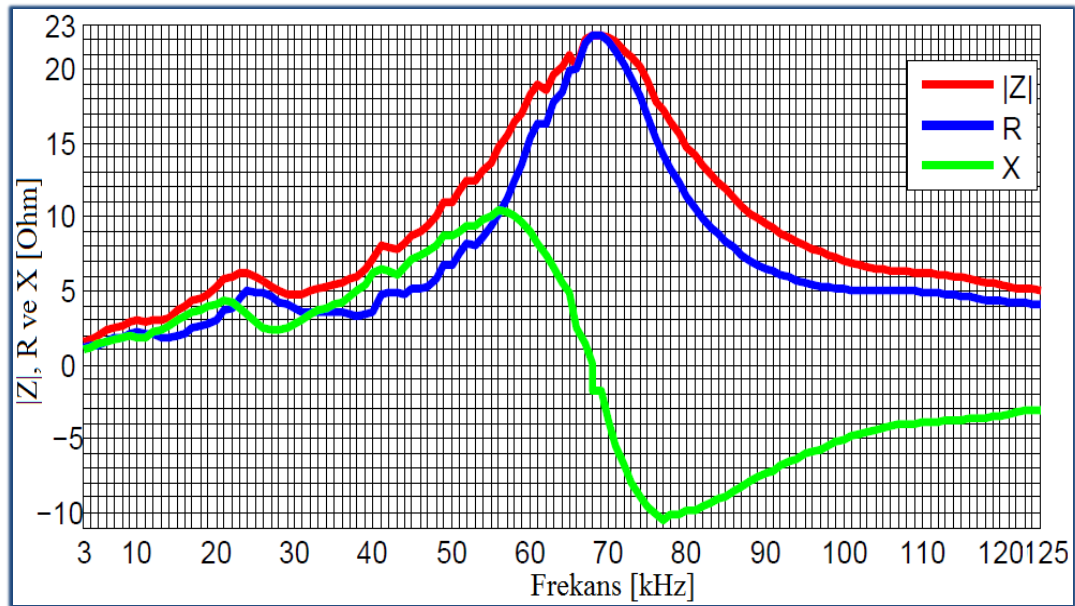
$$Z_C \angle \theta_C = R_S \frac{V_2 \angle \theta_2}{V_1 \angle \theta_1 - V_2 \angle \theta_2} \quad (5.24)$$

$$Z_C = R + jX \quad (5.25)$$

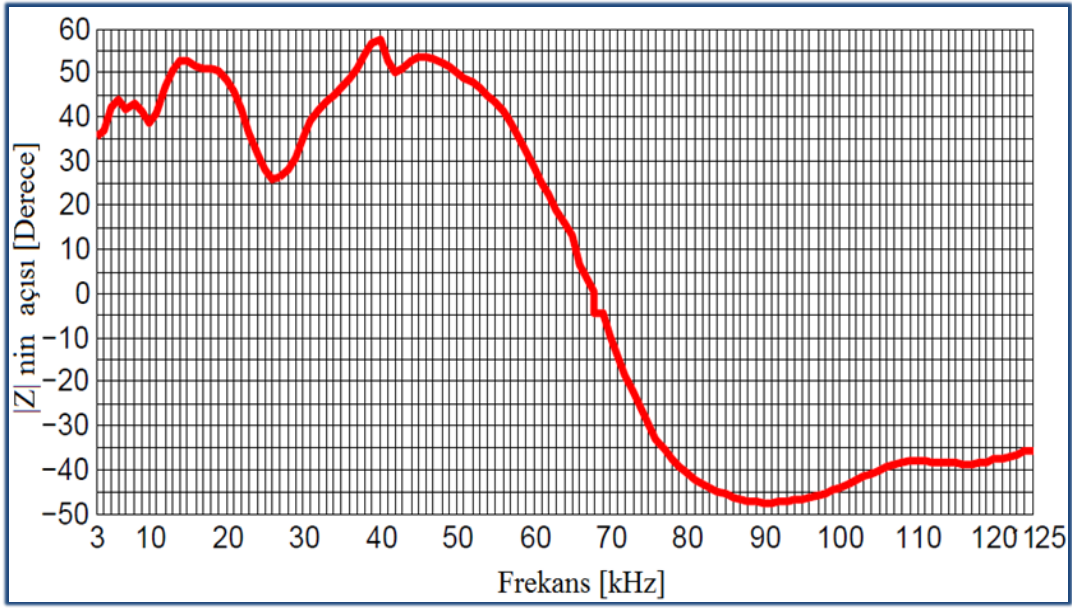
$$|Z_C| = \sqrt{R^2 + |X|^2} \quad (5.26)$$

$$\theta_C = \tan^{-1} \frac{X}{R} \quad (5.27)$$

Bu denklemlerde Z_C karakteristik empedansı (veya erişim empedansını), R erişim empedansının gerçel kısmı ve X empedansın sanal kısmı yani reaktansdır. X değerinin pozitif olması endüktif reaktansı negatif olması kapasitif reaktansı ifade eder. θ ise ilgili büyüklüğün açısını sembolize eder. 3 kHz ile 125 kHz aralığındaki empedansın değişimi **Şekil 5.34**'te, empedans açısının değişimi ise **Şekil 5.35**'te görülmektedir.

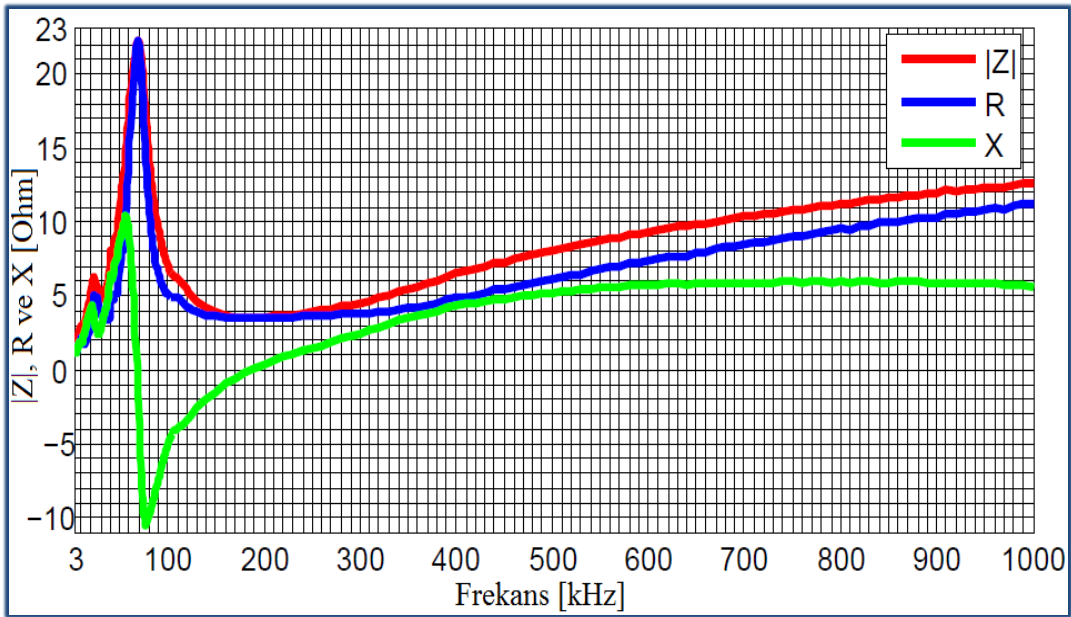


Şekil 5.34 : 3 kHz - 125 kHz arası empedans ve bileşenlerinin değişimi.

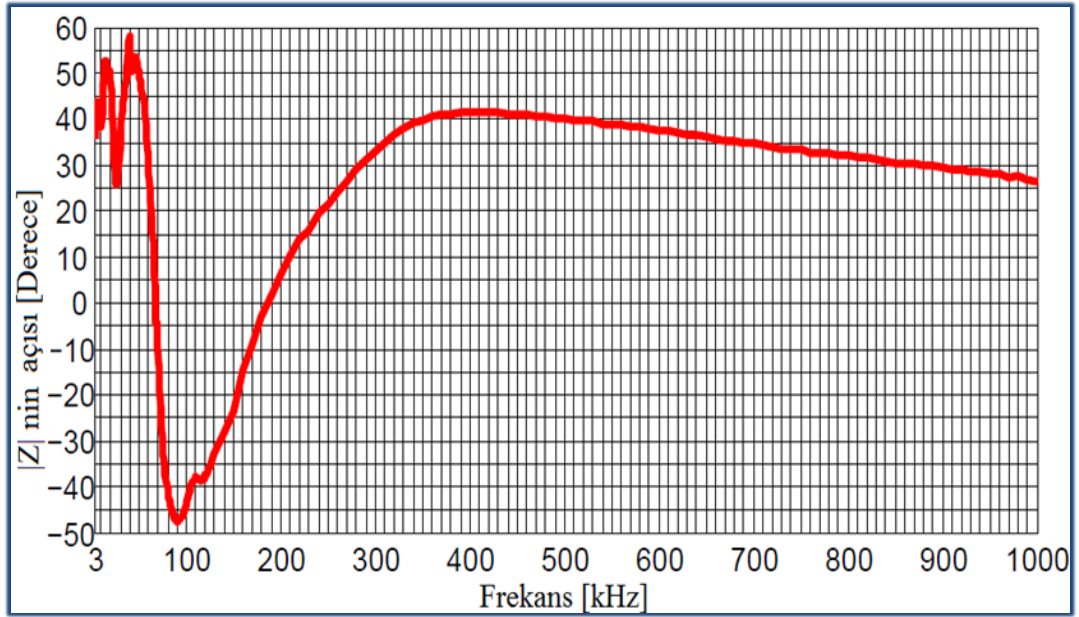


Şekil 5.35 : 3 kHz- 125 kHz bandındaki empedans açısının değişimi.

Frekans aralığının 3 kHz ile 1000 kHz olarak ele alınması durumunda elde edilen ölçüm sonucu, empedans için **Şekil 5.36**'da, empedans açısı için **Şekil 5.37**'de görülmektedir.

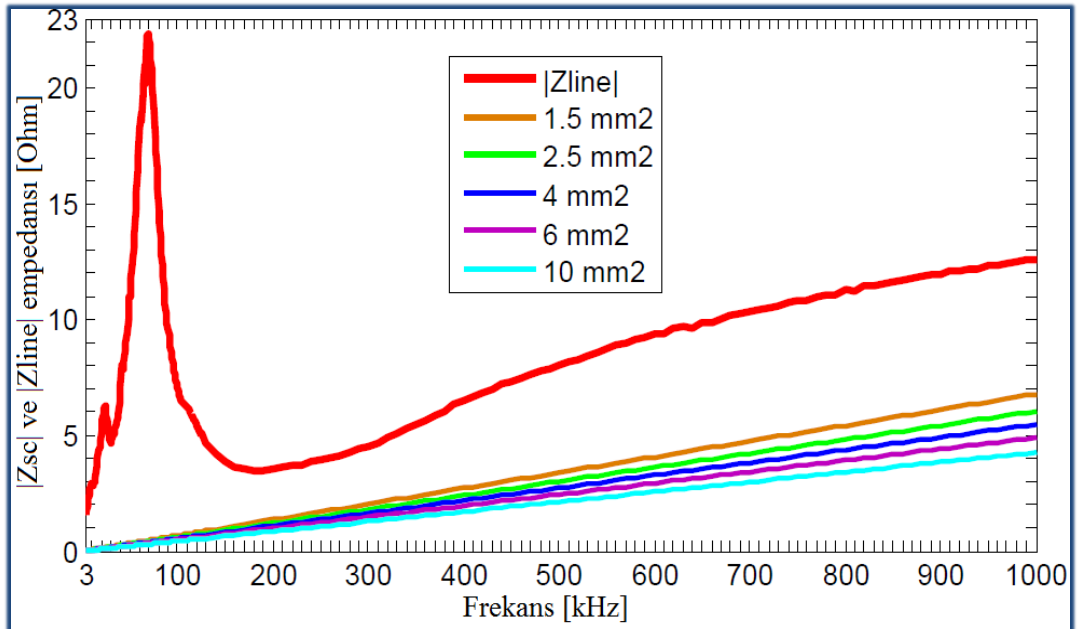


Şekil 5.36 : 3 kHz – 1 MHz arası empedans ve bileşenleri değişimi.

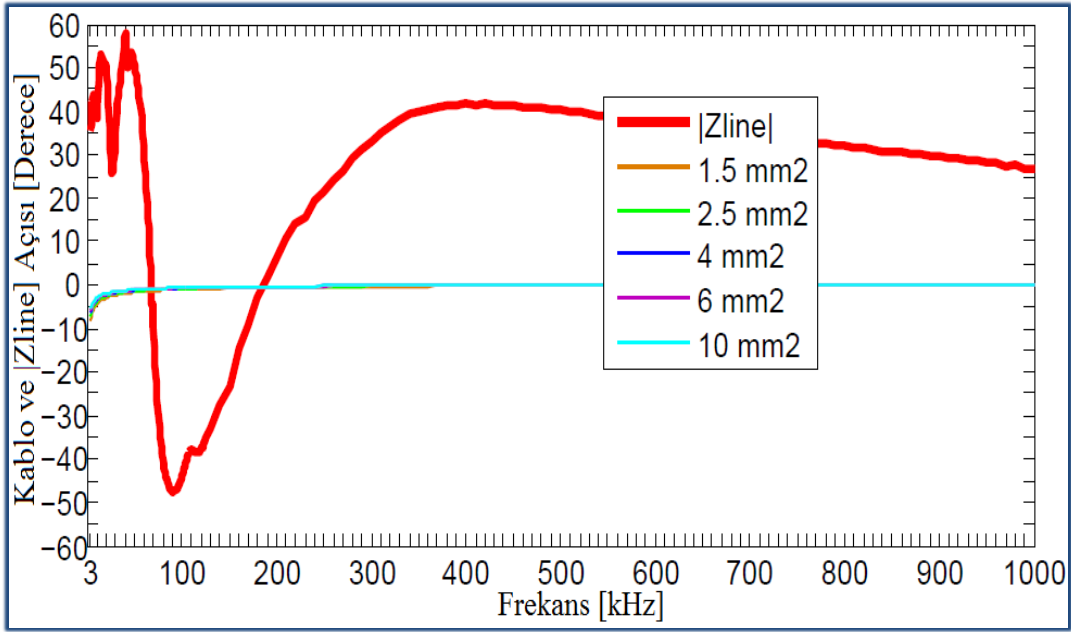


Şekil 5.37 : 3 kHz- 1 MHz bandındaki empedans açısının değişimi.

Kabloların empedans üzerine olan etkisini göstermek üzere **Çizelge 5.5**'te verilen veriler [142] kullanılarak 1000 kHz frekansına kadar olan empedans ve empedans açısı değişimi hesaplanmıştır. Kablo empedansının ($|Z_{sc}|$), hat empedansına ($|Z_{line}|$) göre değişimi **Şekil 5.38**'de, empedans açısı değişimi ise **Şekil 5.39**'da görülmektedir.

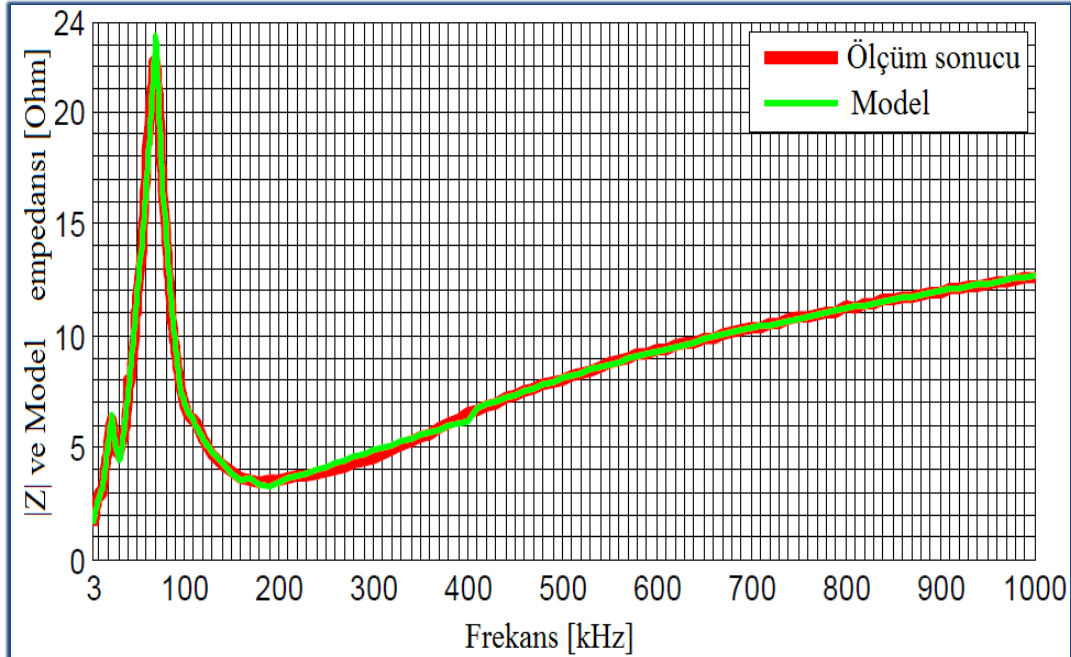


Şekil 5.38 : 3 kHz - 1 MHz bandı hat ve kablo empedans değişimi.

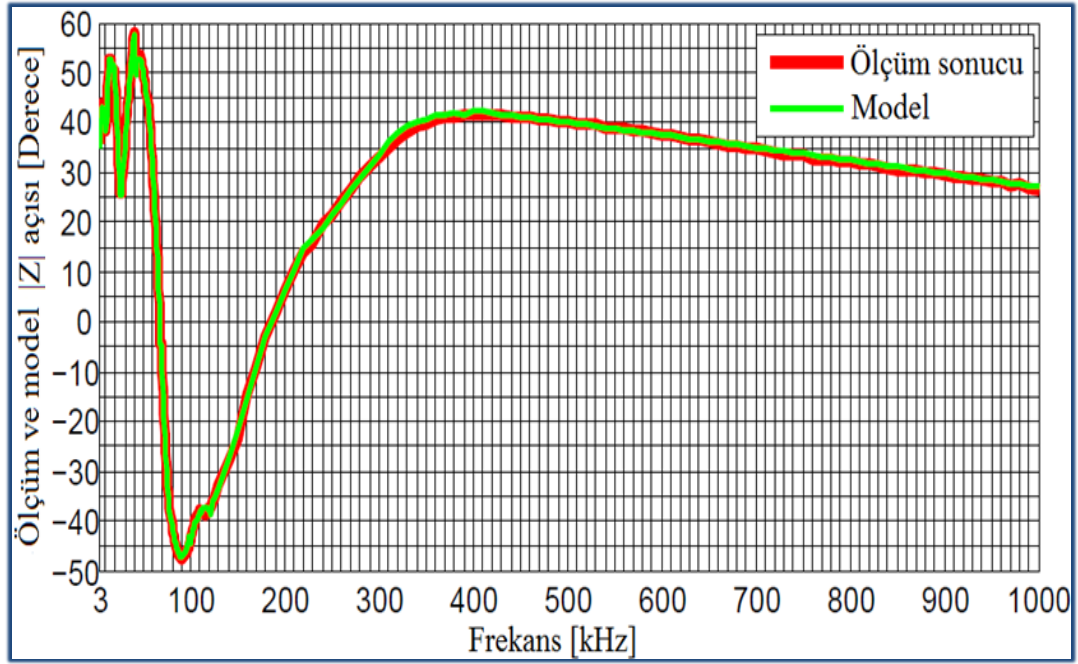


Şekil 5.39 : 3 kHz - 1 MHz bandındaki hat ve kablo empedans açısı.

Hat empedansına ait bu ölçüm sonuçlarının tekrar üretilmesi için nümerik denklemlerle modelleme yapılmıştır. Modelleme yapılan empedans ve empedans açısı **Çizelge 5.3**'te ve **Çizelge 5.4**'te mevcuttur. Modellemenin gerçekte ölçülen değerlerle ne kadar örtüştüğü empedans için **Şekil 5.40**'da, empedans açısı için ise **Şekil 5.41**'de görülmektedir.



Şekil 5.40 : 3 kHz - 1 MHz bandındaki hat empedansı ve modeli.



Şekil 5.41 : 3 kHz - 1 MHz bandındaki hat ve model empedans açısı.

Çizelge 5.3 : $|Z|$ için nümerik modeller

Frekans [kHz]	$ Z(f) $ [Ohm]
$3 \leq f < 15$	$0,9298.f^{0,4809}$
$15 \leq f < 25$	$0,135.f^{1,2185}$
$25 \leq f < 31$	$420,12.f^{-1,325}$
$32 \leq f < 70$	$0,003.f^{2,1093}$
$71 \leq f \leq 95$	$108.f^{-3,586}$
$96 \leq f \leq 160$	$6870,1.f^{-1,493}$
$170 \leq f \leq 180$	$6860,1.f^{-1,47}$
$190 \leq f \leq 400$	$0,0388.f^{0,847}$
$410 \leq f \leq 1000$	$6,648.\log_e(f) - 33,245$

Çizelge 5.4 : $|Z|$ 'nin açısı için nümerik modeller

Frekans [kHz]	$ Z(f) $ Açısı [Derece]
$3 \leq f \leq 10$	$-0,0003.f^3 - 0,5222.f^2 + 7,3305.f + 17,698$
$11 \leq f < 17$	$-0,9478.f^2 + 27,547.f - 147,19$
$17 \leq f < 27$	$-0,0662.f^3 - 4,5252.f^2 + 98,67.f - 644,29$
$27 \leq f < 41$	$-0,06.f^2 + 6,4682.f - 105,23$
$41 \leq f \leq 42$	$-0,0146.f^3 + 1,3614.f^2 - 39,378.f + 383,75$
$43 \leq f < 65$	$-0,1052.f^2 + 9,4969.f - 161,46$
$65 \leq f < 67$	$-6,3128.f + 423,33$
$67 \leq f \leq 99$	$0,058.f^2 - 10,508.f + 428,78$
$100 \leq f \leq 122$	$-0,0308.f^2 + 7,1042.f - 446,92$
$123 \leq f \leq 125$	$0,491.f - 96,818$
$130 \leq f \leq 170$	$0,6055.f - 112,37$
$180 \leq f \leq 190$	$0,0015.f^2 + 0,1558.f - 78,219$
$200 \leq f \leq 220$	$0,4398.f - 81,836$
$230 \leq f \leq 310$	$0,2425.f - 39,2$
$320 \leq f \leq 400$	$-0,0011.f^2 + 0,8343.f - 116,59$
$400 \leq f \leq 1000$	$-3.10^{-6}.f^2 - 0,0214.f + 51,47$

Çizelge 5.5 : Kablo parametreleri

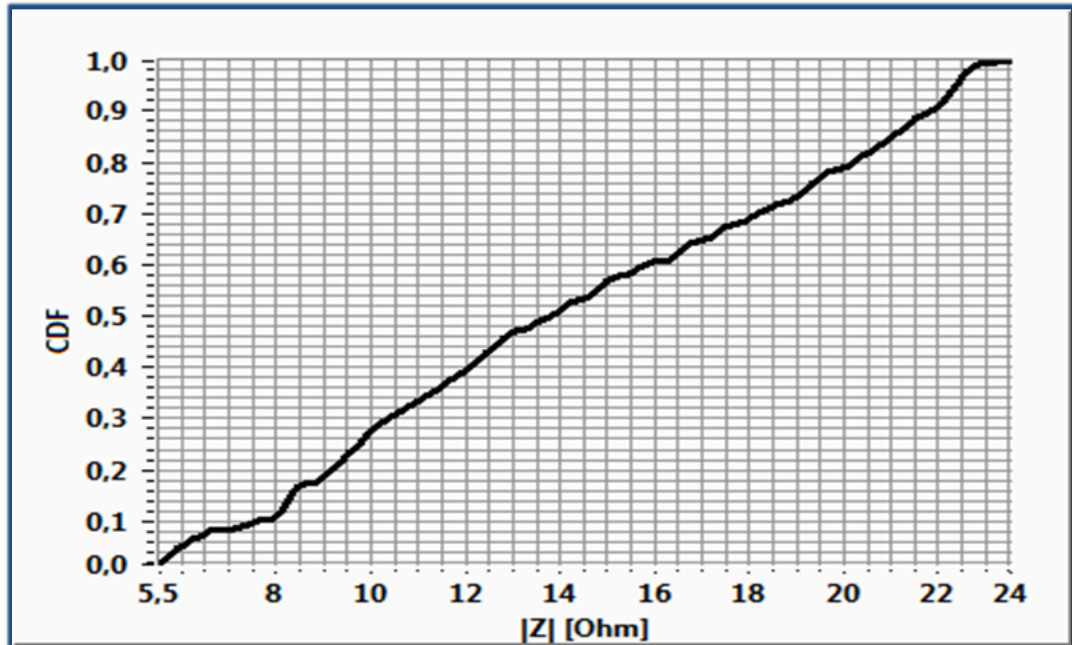
Kablo	HO7VU	HO7VU	HO7VU	HO7VU	HO7VU
Kesit mm ²	1,5	2,5	4	6	10
C(pF/m)	15	17,5	20	25	33
L(μH/m)	1,08	0,96	0,87	0,78	0,68
R ₁	$1,2.10^{-4}$	$9,34.10^{-5}$	$7,55.10^{-5}$	$6,25.10^{-5}$	$4,98.10^{-5}$
G ₁	30,9	34,7	38,4	42,5	49,3
$R=R_1\sqrt{f}$ (Ω/m) and $G=2\pi fG_1.10^{-14}$ (S/m)					

Empedans ve empedans açısı değişiminin geliştirilecek uygulamalarda kolay bir şekilde eldesi için darband PLC CENELEC bandlarına uygun bir biçimde **Çizelge 5.6** hazırlanmıştır. Burada σ standart sapmayı ifade etmektedir.

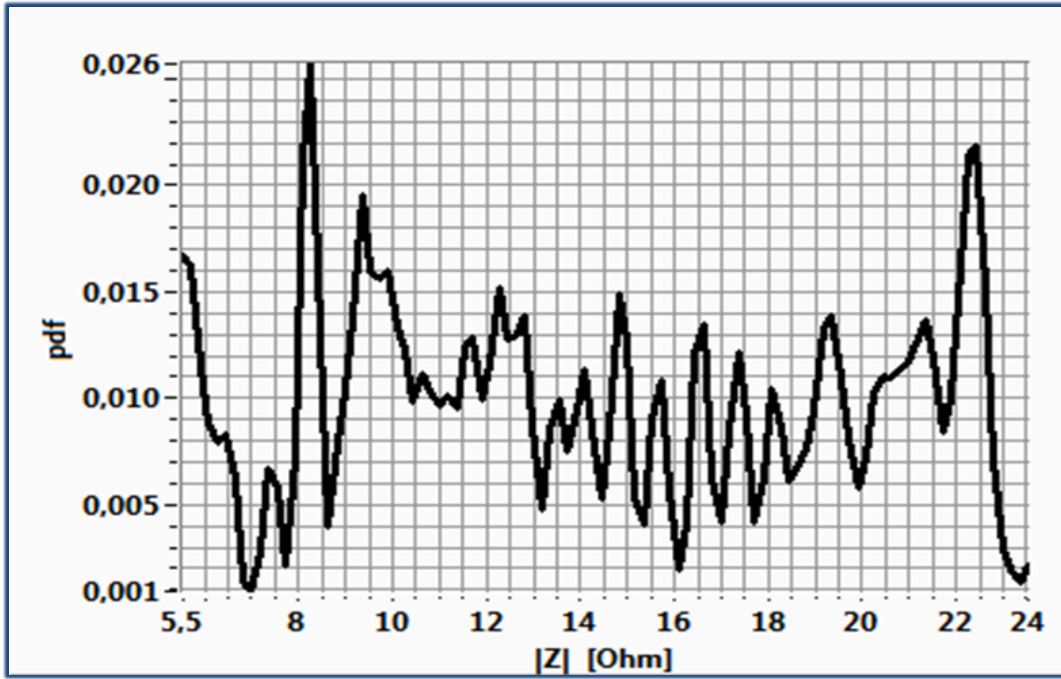
Çizelge 5.6 : Empedans ölçüm sonuçlarının özeti

	Band A	Band B	Band C	Band D	PLC G3	PRIME
$ Z_{\min} $	1,55	5,03	4,18	3,89	5,45	7,83
$ Z_{\max} $	23,62	8,49	5,20	4,26	23,62	23,62
$ Z_{\text{ortalama}} $	10,65	6,31	4,67	4,07	14,32	15,65
$\sigma_{Z\min}$	6,62	0,81	0,36	0,14	5,29	4,63
$R_{\min}$	1,09	4,11	3,71	3,59	3,31	4,75
$R_{\max}$	23,55	5,93	4,26	3,77	23,55	23,55
R_{ortalama}	8,44	4,84	3,95	3,68	11,55	12,89
$\sigma_{R\min}$	6,28	0,40	0,17	0,06	6,16	5,79
$X_{\min}$	-10,54	-6,07	-3,03	-1,97	-10,54	-10,54
$X_{\max}$	10,75	-2,87	-1,90	-1,48	10,75	10,75
X_{ortalama}	1,46	-4,04	-2,46	-1,72	1,18	0,93
$\sigma_{X\min}$	6,35	0,79	0,40	0,21	7,75	8,12
$\theta_{\min}$	-47,66	-46,68	-35,68	-27,73	-47,66	-47,17
$\theta_{\max}$	60,75	-34,66	-26,96	-22,33	60,75	56,26
θ_{ortalama}	19,19	-39,48	-31,68	-25,02	10,45	6,60
$\sigma_{\theta\min}$	37,59	3,15	3,21	2,38	39,66	38,04

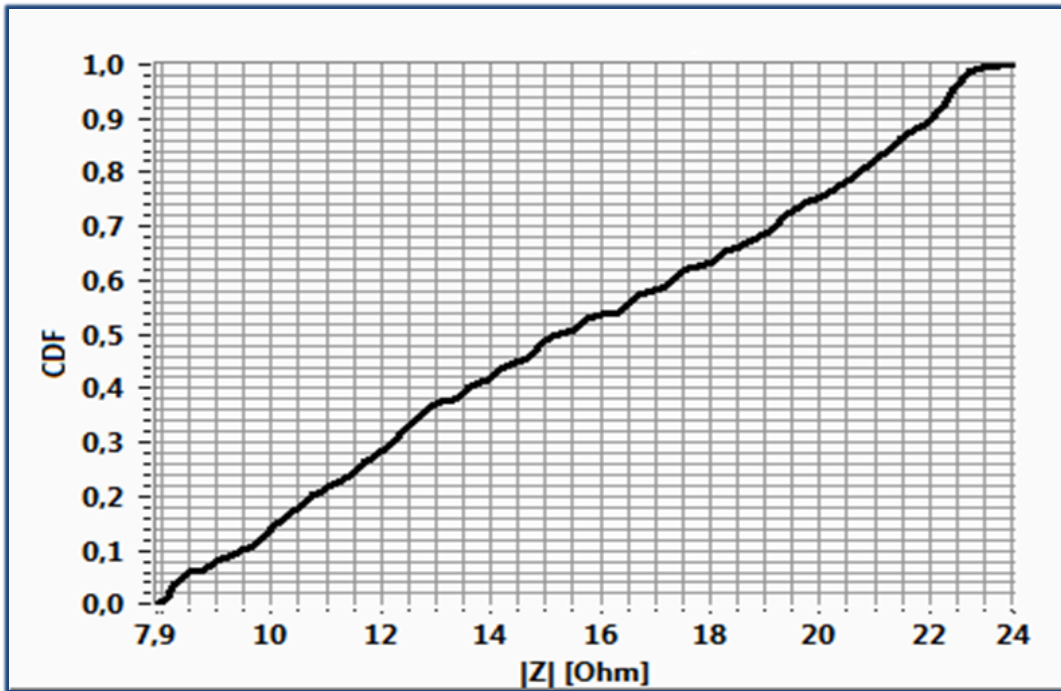
PLC G3 ve PRIME teknolojilerine özgü olarak empedans değişiminin pdf ve CDF çalışmaları yapılmıştır. PLC G3 için bu çalışmalar **Şekil 5.42**'de ve **Şekil 5.43**'te mevcuttur. PRIME için ise **Şekil 5.44**'te ve **Şekil 5.45**'te görülmektedir.



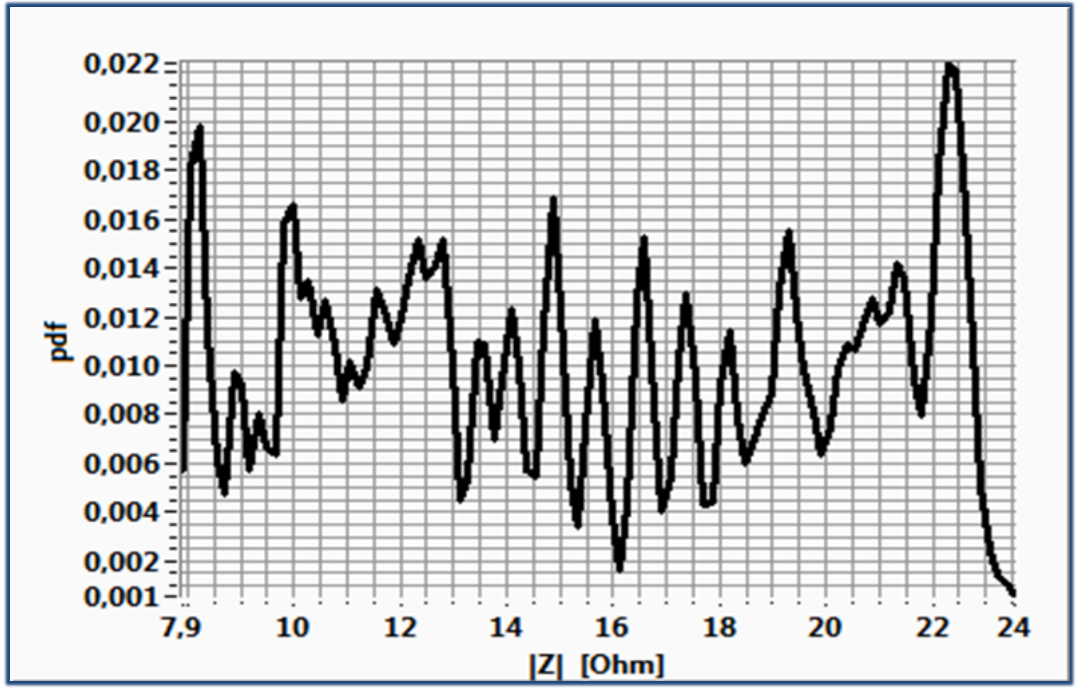
Şekil 5.42 : PLC G3 için empedans CDF.



Şekil 5.43 : PLC G3 için empedans pdf.



Şekil 5.44 : PRIME için empedans CDF.



Şekil 5.45 : PRIME için empedans pdf.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

PLC üzerine çalışmalar geçen yüzyıldan beri bilimsel gelişmeler ve ihtiyaçlara bağlı olarak aralıklı bir şekilde sürmektedir. Son yıllarda ‘Akıllı Şebeke’ kavramının ortaya çıkmasıyla, elektrik enerji sistemlerinde haberleşme uygulamalarına olan ihtiyacın artması, PLC konusunda yapılan çalışmalara hız kazandırmıştır. Özellikle alçak gerilim alternatif akım sistemleri üzerine yoğunlaşan bu araştırmalar, PLC haberleşmesine yönelik mikrodenetleyici üreticilerinin geliştirdikleri yeni mikrodenetçiler doğrultusunda ilerlemektedir.

Alçak gerilim alternatif akım tarafında mevcut gündemde olan uygulamalar şu an için otomatik sayaç okuma sistemidir. Bu konuda mevcut deneyimler, yeni darband PLC teknolojilerinin ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Burada bu teknolojiyi transfer eden ülkelerin hangi darband PLC’nin kendi uygulamaları için en uygun olduğuna karar vermesi ve sonrası ihtiyaçlarını bunun üzerinde gerçeklemesi ancak bu çalışmaların içerisinde yer alması ve bu alana katkı sağlaması ile sorunsuz atlatılabilir. TelCo’lar ile bu altyapıyı kurmak ve yönetimini onlara bırakmak stratejik olarak doğru gözükmemektedir. TelCo’ları tamamen dışlamak da mümkün değildir. Enerji konusunda çalışan şirketlerin telekomünikasyon şirketleri ile geniş iş birliklerine gitmesini de bu süreçte görebiliriz.

Orta gerilim hatlarındaki PLC uygulamalarının en önemlisinin alternatif akım hatlarının arızalara karşı izlenmesi ve arıza yeri tespiti olduğunu görmekteyiz. Yine dağıtık üretim santrallerinin adalanmasının önlenmesi de en önemli uygulamalar içerisinde yer almaktadır. YG/OG transformatörlerinin ikincil sargılarının gerilimlerinin ölçülmesi, hata taraması yapılması ve kalite analizlerinin yapılması üzerinde çalışma istekliliği gösterilen diğer uygulamalardır. Bu konuların, araştırmacıların daha fazla çalışma göstereceği alanlar olabileceği öngörülmektedir.

Genişband PLC, darband PLC’ye göre daha çok bireysel müşterileri ilgilendiren bir teknoloji olması nedeni ile doğru ürünlerin kullanıcılar tarafından alınması ve beklentileri karşılaması konusunda standartlaşma çalışmasının gerçekleşmesine

ihtiyaç bulunmaktadır. Çünkü CENELEC standardının bu konuda bir standartlaşma çalışması bulunmamaktadır.

Yüksek gerilim alternatif akım uygulamaları yine yapılacak bir standartlaşma çalışması sonrası hız kazanacaktır. Bu gün pek çok enerji şirketinin, fiber optik kabloları yüksek gerilim hatları boyunca çektiğini görmekteyiz. Fiber optik kablo band genişliğinin yüksek olması nedeni ile binlerce noktadan alınan pek çok veriyi kablo içindeki tek bir fiber çiftinden iletmesi mümkündür. Ancak pek çok verinin gittiği kablonun yedeklenmesi, alternatif yön bulma veya alternatif hizmetle yedekleme çok zordur. Fiber optik kablo mevcut Telco altyapıları içerisinde maliyeti en yüksek olan bir erişim yöntemidir. Radyo Link uygulamaları birbirini görme, yapılabilecek atlama sayısı ve iletilebilecek veri büyüklüğü bakımından uygulanabilirliği çok sınırlıdır. Dolayısı ile fiber optik seçeneğini dışlamadan yüksek gerilim PLC uygulamalarının devam etmesi, bunun için beklenen standartlaşmanın kısa sürede tamamlanması bu noktada önem arz etmektedir.

Araştırmacılar ve modem üreticileri, PLC kanal karakteristiklerinin ortaya çıkartılması üzerine yoğun çalışmalar yürütmektedir. Bu çalışmaların bu kadar fazla olmasının başlıca nedeni, elektrik enerjisinin olduğu her bir yerde hattın, frekans ve zaman seçiciliğine sahip olmasıdır. Gürültü ve empedans, hattın seçicilik özelliği gösterdiği en temel konudur. PLC haberleşme kanalında ortaya çıkan bu seçicilik, veri iletiminde sınırlama ve sorunlara sebep olmaktadır. PLC performansını arttırmak için bu konular üzerinde çalışılması gerekmektedir.

Bu tezde, darbe gürültüleri analizinin yapıldığı bölümde, gürültü band genişliğinin kanal band genişliğinden küçük olduğu, darbe gürültülerinin izin verilen limitleri aşma sürelerinin 5.6 ms ve 6.8 ms gibi oldukça yüksek değerler alabildiği görülmüştür. Bu sinyaller, FSK modülasyon türü için hata oranının tespitinde veya kanal kapasitesinin tanımlanmasında kullanılabilecek şekilde gürültü güç spektrum değerleri elde edilmiştir. Darbe gürültü kaynağı olarak seçilen yükler arasında en olumsuz etkinin güneş paneli eviricisi tarafından oluşturulduğu ve tüm frekans spektrumunda izin verilen limitleri aştığı görülmüştür. SMPS ve kompakt lambaların ise yine birkaç bazı frekansta limitleri aştığı yerler vardır. Gürültü gücünün yüksek olması diğer bir ifade ile genliklerinin istenilen limitleri aşmasının haberleşme açısından önemi bit hata oranını artırmasından kaynaklanır. Denklem (5.3)'den de görüleceği üzere gürültü gücü arttıkça hata olasılığı değeri büyük olmaktadır.

Gürültü gücü ne kadar az ise elde edilen hata olasılığı küçük değerler vermektedir. Mesela sinyal gürültü oranı (S/N) 32 dB olduğunda bit hata olasılığı $P_e = \text{Erfc}(4) = 3,17 \cdot 10^{-5}$ ve S/N oranı 50 iken bit hata olasılığı $P_e = \text{Erfc}(5) = 2,87 \cdot 10^{-7}$ dir. Yine bu çalışmalarda gürültünün periyodu 10 ms olarak bulunmuştur. Burada 10 ms süre içerisinde gürültünün limitleri aştığı 5.6 ms ve 6.8 ms'lik sürenin olmasının orta çıkardığı sonuç darbe gürültülerinin iletişime nasıl bir sınırlandırma getirdiğini göstermesi açısından çok önem arz etmektedir. Evirici için gürültü periyodu 20 ms olup izin verilen bozucu sinyal genlik değerini aştığı görülmüştür. Denklem (5.4) ile ifade edilen kanal kapasitesini elde edilen gürültü sonuçları açısından yorumlayacak olursak, gürültü gücünün artması, kanal kapasitesinin azalmasını doğuracaktır. Literatürde darbe gürültülerinin kanal kapasitesine etkisine ilişkin elde edilmiş farklı denklemler ve bu etkileri azaltmak yani kanal kapasitesini artırmak için gürültünün az olduğu frekanslara ilave bit yüklemeleri yapılması da çalışılan önemli bir konudur. Gürültünün etkisini azaltmak için verici gücünü artırmak pratikte mümkün olsa da standartlar nedeni ile bunu gerçekleştirmek mümkün olamayabilmektedir. Bu da mevcut limitlerin tekrar gözden geçirilmesi, yeni modülasyon teknikleri ve yöntemlerinin oluşmasını tetiklemektedir. Bu çalışmada yine gürültünün pdf dağılımı Gaussian şekline oldukça yakın bir formda elde edilmiştir. İncelenen yükler dışında yeni türlerin eklenmesi ile genişletilmesi bu çalışmanın devamı olabilir. Geçici olaylar nedeni ile oluşan periyodik olmayan ve darbe formundaki gürültülerin izin verilen gürültü limitlerini aştığı gözlenmiştir. Ancak etkilerinin kısa süreli olması nedeni ile periyodik olanlar kadar sürekli bir olumsuz etkisi olmamaktadır. Burada asıl sorun, gürültünün varlık gösterdiği kısa an içerisinde bunu sönmüleyecek Zener Diyot, Varistör, Transil gibi elemanların seçiminin nasıl olacağıdır. Bunların doğru belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu elemanların seçiminde yapılacak hatalar modemlerin bozulmasına, kilitlenmesine veya yanmasına neden olabilir. Yine bu çalışma üretilmiş modemler üzerinde test edilerek elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılabilir. Modemlerde bu etkileri azaltmak adına yapılmış filtre ve kuvvetlendirici elemanlarının performansı ortaya konulabilir.

Gürültünün tekrar elde edilmesi konusunda yapılan çalışmada, literatürde yer alan sınıflandırmaya uygun örnekler üzerinde bunların frekans ve zaman düzleminde genlik ve faz değişimlerine ait veriler toplanmıştır. Elde edilen PS veya PSD değerlerine ilişkin sonuçlar tekrar elde edilebilecek şekilde nümerik olarak

modellenmiştir. Ayrıca gürültü istatistiksel yöntemlerle istenilen frekans aralığından çıkartılarak zaman düzleminde tekrar elde edilmesi sağlanmıştır. Burada darband PLC için radyo yayınlarının darband PLC'nin bandında etkisinin olmadığı görülmüştür. Faz açısı değişimlerinin de dikkate alınarak üretimi yapılan gürültü için literatürde yer alan diğer çalışmalar da açıklanmış olmasına rağmen bunlara göre bir üretim yapılmamıştır. Bunun nedeni seçilecek pek çok parametrenin bulunmasıdır. Bunun yerine daha kolay olan bir yöntem tercih edilmiştir. Elde edilen gürültülerin anlatılan diğer yöntemlerle tekrar eldesi ve bunların farklılıklarının ortaya konması da bu çalışmanın bir devamı olabilir.

Empedans ölçümü üzerine yapılan çalışmada, incelenen frekans aralığında yüklerin etkisi açık bir şekilde ortaya konulmuştur. Kabloların darband PLC için kanal empedansı üzerine etkisinin önemli bir değerde olmadığı görülmüştür. Hat üzerinde dört paralel rezonans olayına rastlanılmıştır. Bunlar 10 kHz, 23 kHz, 40 kHz ve 69 kHz frekanslarındadır. 10 kHz'de rastlanılan paralel rezonans için üst kesim frekansı 14 kHz ve alt kesim frekansı 7 kHz olarak ölçümlenmiştir. Denklem (1.3) ile elde edilen Q kalite katsayısı 1.42 dir. İkinci rastlanılan paralel rezonans frekansı olan 23 kHz için, alt kesim frekansı 17 kHz, üst kesim frekansı 30 kHz ve Q kalite katsayısı 1.76 olarak elde edilmiştir. 40 kHz'de yer alan paralel rezonans olayında, alt kesim frekansı 38 kHz, üst kesim frekansı 43 kHz ve Q kalite katsayısı 8 olarak bulunmuştur. 69 kHz'de yer alan paralel rezonansın alt kesim frekansı 57 kHz, üst kesim frekansı 78 kHz olup kalite katsayısı 3.28 olarak elde edilmiştir. Burada sistem kararlılığı açısından denklem (1.4) ile elde edilen sönüm katsayısı $\xi < 1$ olarak elde edilmiştir. Bu durumda PLC kanalında iletilen bir sinyal büyük Q değerleri için alıcı tarafında kararlı duruma geçinceye kadar bir çok salınım yapacaktır. Bu salınım süresinin bilinmesi haberleşme sistemi tasarımında önemlidir. Yapılan bu çalışmalar neticesinde bu paralel rezonans olayına sebep olan yüklerin şunlar olduğu tahmin edilmektedir. 40 kHz'deki paralel rezonans, enerji tasarruflu lambaların çalışma frekansına yakın bir frekansta gerçekleşmiştir. Bu nedenle bu paralel rezonans, lambalar kaynaklıdır diyebiliriz. 69 kHz'deki paralel rezonans, bilgisayar besleme ünitelerinin anahtarlama frekansı olan, (yeni model bilgisayarlarda ölçümlenerek bulunmuş) 67 kHz'e yakın bir bölgede olması nedeni ile bilgisayarlardan kaynaklanmaktadır denilebilir. Diğer paralel rezonans olayları yine bazı cihazların elektronik ünitelerinin besleme kaynaklarının anahtarlama kaynaklarına ait frekanslar

olduğu düşünölmektedir. Bu yüklerin lineer olmayan yükler olması empedans değışiminin en önemli unsuru olduklarını ortaya çıkarması açısından önemlidir. Bu çalışmada yine empedans açısı değışimlerinin darband PLC'nin B, C, D bandları içinde olan değışimlerinin A bandına göre daha düzgün olduğu görölmüşür. Bu da Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Phase Shift Keying, PSK) modölasyon uygulamaları için uygun olabileceğini göstermektedir. Kuplaj devresi tasarımında 50 Ohm'luk bir modem için PLC G3 de kuplaj devresinin 1:3 sarım oranında, PRIME için ise 1:2.5 oranında olmasının uygun olacağı bulunmuştur. Empedans çalışması yüklerin bu bandlardaki değışimlerini de kapsayacak şekilde bu çalışma devam ettirilebilir. Bu sarım oranlarına göre yapılmış bir modem ve farklı bir sarım oranındaki modem performansı yine bu çalışmanın bir devamı şeklinde yürütölebilir.

Sonuç olarak, bu tez ile elde edilen bilgiler, araştırmacılara ve modem tasarımcılarına darband PLC kanal çalışmaları konusunda katkı sağlamaktadır. PLC konusunda yürütölen çalışmaların artması, en doğru ve ekonomik çözümler bekleyen kullanıcıların bu teknoloji ile daha yakın bir gelecekte tanışmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Türkiye Elektrik İletim A. Ş., Araştırma, Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı.** (2012). Türkiye elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2012-2021). <<https://www.teias.gov.tr/KAPASİTEPROJEKSİYONU2012.pdf>>, alındığı tarih: 04.04.2014.
- [2] **Dettmer, R.** (1995). The Net Effect, *IEEE Review*, Sf. 67-71.
- [3] **Lin, Y. J., Latchman H. A., Lee M. ve Katar S.** (2002). A power line communication network infrastructure for the smart home, *IEEE Wireless Commun.*, Dec. 2002, **9(6)**, 104-111,.
- [4] **Mikoczy, E., Sivchenko, D., Xu, B., ve Moreno, J. I.** (2008). IPTV services over IMS: Architecture and standardization, *IEEE Commun. Mag.*, **46(5)**, May 2008, Sf. 128-135.
- [5] **Farhangi, H.** (2010). The path of the smart grid, *IEEE Power Energy Mag.*, **8(1)**, 18-28, Jan.- Feb. 2010.
- [6] **Gungor, V. C., Bin, L., ve Handle, G. P.** (2010). Opportunities and Challenges of Wireless Sensor Networks in Smart Grid, *IEEE Trans. Ind. Informat.*, **57(10)**, 3557-3564, Oct. 2010.
- [7] **CENELEC EN 50065-1.** (1991). Signaling on low voltage electrical installations in the frequency range 3 kHz to 148.5 kHz. Part 1: General requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances, Belgium.
- [8] **Biglieri, E.** (2003). Coding and modulation for a horrible channel, *IEEE Commun Mag.*, **41**, 92-98, May 2003.
- [9] **Dostert, K. M.** (1998). Power Lines As High Speed Data Transmission Channels-Modelling the Physical Limits, Proceeding of the 5th IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications (ISSSTA 98), Sf. 585-589.
- [10] **Ferreira, H. C., Lampe, L., Newbury, J. ve Swart, T. G.** (2010). Power Line Communications, Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Lines, John Wiley & Sons, 2010, Sf. 9.
- [11] **Russell, M. J.** (2000). The impact of mains impedance on power quality, presented at Power Quality 2000, Boston, MA, on October 4, 2000.
- [12] **Janse van Rensburg, P. A. ve Ferreira, H. C.** (2003). Coupling circuitry: Understanding the functions of different components, *Proc. Int. Symp. Power Line Commun. and its Applic.*, Kyoto, Japan, Mar. 26-8, Sf. 204-209.

- [13] **Fiorelli, R. ve Colombo, M.** (2012). ST7580 power line communication system-on-chip design guide, AN4068, Application note, Sf. 34.
- [14] **Vines, R. M., Trussell, H. J., Gale, L. J., ve O'Neal, J. B.** (1984). Noise on residential power distribution circuits, *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, **26(4)**, Sf. 161-168.
- [15] **Chan, M. H. L., ve Donaldson, R. W.** (1989). Amplitude, width and interval distribution for noise impulses on intrabuilding power line communication networks, *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, **31(3)**, Sf. 320-323.
- [16] **Hooijen, O. G.** (1998). A Channel model for the residential power circuit used as a digital communications medium, *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, **40(4)**, Sf. 331-336.
- [17] **Bausch, J., Kistner, T., Sauvage, S., ve Milanini, S.** (2005). Advanced "Orphelec" test equipment and novel test procedures, in *Int. Symp. On Power Line Commun. and its Applic. 2005*, Sf. 385-389.
- [18] **Middleton, D.** (1977). Statistical-physical models of electromagnetic interference, *IEEE Trans. Electromagn. Compat. Mag.*, **19(3)**, Sf. 106-127.
- [19] **Middleton, D.** (1983). Canonical and Quasi-Canonical Probability Models of Class a Interference, *Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on*, On page(s): 76 - 106 Volume: EMC-25, Issue: 2, May 1983.
- [20] **Middleton, D.** (1979). Canonical nonGaussian noise models: Their implications for measurement and for prediction of receiver performance, *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, **21(3)**, Sf. 209-220.
- [21] **Arzberger, M., Dostert, K., Waldeck, T., ve Zimmermann, M.** (1997). Fundamental properties of the low voltage power distribution grid, *Proc. Int. Symp. Power Line Commun. and its Applic* Apr. 2-4, 1997, Essen, Germany, Sf. 45-50.
- [22] **Katayama, M., Yamazato, T., ve Okada, H.** (2006). A mathematical model of noise in narrowband power line communication systems, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, **24(7)**, Sf. 1267-1276.
- [23] **Guzelgoz, S., Celebi, H. B., Guzel, T., Arslan, H., ve Mihcak, M. K.** (2010). Time frequency analysis of noise generated by electrical loads in PLC, *IEEE 17th Int. Conference on Telecommunications (ICT)*, Sf. 864-871.
- [24] **Simois, F. J., ve Acha, J. I.** (2001). Study and modeling of noise on the low voltage part of the electrical power distribution network between 30 kHz and 1 MHz, in *Exposition 2001 IEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition*, Sf. 217-222.
- [25] **Khangosstar, J., Zhang, L., ve Mehboob, A.** (2011). An experimental analysis in time and frequency domain of impulsive noise over powerlines, in *IEEE Int. Symp. Power Line Commun. and its Applic. (ISPLC2011)*, Sf. 218-224.
- [26] **Proakis, J.** (2001). Digital communications, 4th ed., McGraw-Hill, 2001.

- [27] **Voglsang, A., Langguth, T., Körner, G., Steckenbiller, H., ve Knorr, R.** (2000). Measurement, characterization and simulation of noise powerline channels, in *Proc. Int. Symp. Power Line Commun. and its Applic.*, Sf. 139-146.
- [28] **Gracht, P. K. ve Donaldson, R. W.** (1985). Communication using pseudo noise modulation on electric power disturbance circuit, *IEEE Trans. on Communications, Comm-33, no.9*, Sf 964-974.
- [29] **Ferreira, H. C., Grové, H. M., ve Han Vinck, A. J..** (1996). Power Line Communications: An Overview, *IEEE AFRICON 4th* , 24-27 September , vol.2, Sf. 558-563.
- [30] **Chan, M. H. L., ve Donaldson, R. W.** (1986). Attenuation of Communication Signals on Residential and Commercial Intrabuilding Power-Distribution Circuits, *IEEE Trans. Electromagn. Compact. Mag.*, vol. EMC-28, no.4, Sf. 220-230.
- [31] **Maenou, T., ve Katayama, M.** (2006). Study on signal attenuation characteristics in power line communications, *IEEE Int. Symp. On Power Line Communications and its Applic.*, Sf. 217-221.
- [32] **Cavdar, H. I., ve Karadeniz, E.** (2008). Measurements of Impedance and Attenuation at CENELEC Bands for Power Line Communications Systems, *Sensor*, 8(12), Sf. 8027-8036.
- [33] **Fahie, J., J.** (1883). ‘Edward Davy’, *The Electrician*, 7th July 1883, Sf. 181-227.
- [34] **Routin, J., ve Brown, C. E. L.** (1897). Power line signaling electricity meters, UK Patent Office, London: British Patent No. 24833, 1897.
- [35] **Loubery, C. R.** (1901). Einrichtung zur elektrischen Zeichengebung an die Theilnehmer eines Starkstromnetzes, Berlin: German Patent 118717, March 15, 1901.
- [36] **Thoradson, C.** (1905). Meters, US Patent Office, US Patent Nos. 784712 and 784713, 1905.
- [37] **Podszeck, H. K.** (1972). Carrier Communication over Power Lines, 4th Edition, New York: Springer-Verlag, 1972.
- [38] **Schwartz, M.** (2009). History of communications- Carrier-wave telephony over power lines: Early history, *IEEE Commun. Mag.* Vol. 47, no.1, Sf. 14-18.
- [39] **Newel, J.** (1976). History and theory of ripple communication systems, Conference Record of the 1976 National Telecommunication Conference (NTC’76), Dallas, USA, 29 November-1 December 1976, Sf. 2.3.1-2.3.6.
- [40] **Snyders, A. J., Ferreira, P. A., ve Janse van Rensburg, P. A.** (2006). Carrier gain adjustment for improved power-line signal-to-noise ratios, Proceedings of the 10th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC’06), Orlando, USA, 26-29 March 2006, Sf. 39-43.
- [41] **Anatory, J., Theethayi, N., Kissaka, M., ve Mvungi, N.** (2007). Broadband power line communications: the factors influencing wave

- propagations in the medium voltage lines, Proceedings of the 11th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC'07), Pisa, Italy, 26-28 March 2007, Sf. 127-132.
- [42] **Ferreira, H. C., Grové, H. M., Hooijen, O., ve Vink, A. J. H.** (1999). Power Line Communication (in Wiley Encyclopaedia of Electrical and Electronics Engineering), New York: John Wiley & Sons, 1999, Sf. 706-716.
- [43] **Ferreira, H. C.** (2007). PLC issues in emerging countries: technical and economical factors for the developments of potential PLC markets, ISPLC 07 Panel Session 2 in Proceedings of the 11th International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC'07), Pisa, Italy, 26-28 March 2007.
- [44] **Hooijen, O.** (1998). Aspects of Residential Power Line Communications, Aachen: Shaker Verlag, 1998.
- [45] **Forrest, A., ve Gray, F. M.** (1977). Maximum demand limitation by the automatic and remote control of nonessential loads using the supply network as the communications medium, Proceedings of the 3rd International Conference on Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, (MATES' 77), London, UK, 15-17 November 1977, Sf. 112-116.
- [46] **IEEE Standard 643.** (1980). IEEE Guide for Power-Line Carrier Applications.
- [47] **Collins, A. F.** (2004). The Radio Amateur's Hand Book, La Vergne: Lightning Source Inc., 2004.
- [48] **Lokken, G., Jagoda, N., ve D'Autenil, R. J.** (1976). The proposed Winconsin Electrical Power Company load management system using power line carrier over distribution lines, Conference Record of the 1976 National Telecommunication Conference (NTC'76), Dallas, USA, 29 November – 1 December 1976, Sf. 2.2.1-2.2.3.
- [49] **Kaplan, G.** (1977). Two-way communications for load management, IEEE Spectrum, vol. 14(8), August 1977, Sf. 47-50.
- [50] **Eyre, B. E.** (2004). Results of a comprehensive field trial of a United Kingdom customer telemetry system using mainsborne signaling, Proceedings of the 5th International Conference on Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply (MATES'87), London, UK, 13-16 April 1987, Sf. 252-256.
- [51] **King, M. C.** (1990). Experimental systems for tele-reading over the low-voltage network, Proceedings of the 6th International Conference on Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, (MATES '90), London, UK, 3-5 April 1990, Sf. 154-157.
- [52] **Nunn, C., Moore, P. M., ve Williams, P. N.** (1992). Remote meter reading and control using high-performance PLC communications over the low voltage and medium voltage distribution networks, Proceedings of the 7th International Conference on Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, (MATES'92), London, UK, 17-19 November 1992, Sf. 304-308.

- [53] **Downey, W.** (1997). Central control and monitoring in commercial buildings using power line communications, Proceedings of the 1st International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC'97), Essen, Germany, 2-4 April 1997, Sf. 115-119.
- [54] **Ahn, N. –H., Chang, T. –G., ve Kim, H.** (2002). A systematic method of probing channel characteristics of home power line communication network, Digest of Technical Papers: 21st International Conference on Consumer Electronics (ICCE'02), Atlanta, USA, 18-20 June 2002, Sf. 378-379.
- [55] **Onunga, J. O., ve Donaldson, R. W.** (1989). Personal computer communications on intrabuilding power line LAN's using CSMA with priority acknowledgements, IEEE Journal on Selected Areas of Communication, vol. 7(2), February 1989, Sf. 180-191.
- [56] **Tuite, D.** (1992). Power line spread-spectrum saves copper in LAN's and control systems, Computer Design, November 1992, Sf. 50-53.
- [57] **Harris, M.** (1999). Power line communications- a regulatory perspective, Proceedings of the 3rd International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC'99), Lancaster, UK, 30 March -1 April 1999, Sf. 131-138.
- [58] **Newbury, J.** (2007). Standardization issues for PLC&DPLC in Europe,” ISPLC 07 Panel Session I in Proceedings of the 11th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC'07),Pisa, Italy, 26-28 March 2007.
- [59] **Newbury, J.** (2001). Regulatory requirements for power-line communications systems operating in the high frequency band, Proceedings of the 5th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC'01), Malmö, Sweden, 4-6 April 2001, Sf. 305-310.
- [60] **Strong, P.** (2001). Regulatory & consumer acceptance of powerline products,” Proceedings of the 5th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC'01), Malmö, Sweden, 4-6 April 2001, Sf. 175-184.
- [61] **Dalichau, H.** (2001). Evaluation of different frequency bands regarding their qualification for inhouse powerline communication,” Proceedings of the 5th International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC'01), Malmö, Sweden, 4-6 April 2001, Sf. 203-210.
- [62] **Newbury, J., ve Yazdani, J.** (2003). From narrow to broadband communications using the low voltage power distribution network,” Proceedings of the 7th International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC'03), Kyoto,Japan, 26-28 March 2003, Sf. 120-124.
- [63] **CENELEC 2010.** (2010). Signalling on low voltage installations in frequency range 3 kHz to 148.5 kHz-Part 1, General requirements, frequency-bands and Electromagnetic Disturbance, HIS, CENELEC FPREN 50065-1, Sep 2010. Boraboi, “Narrow Band Power Line

Communication, Applications and Challenges” Ariane Controls Inc.
Date: 23-03-14.

- [64] **FCC Standard.** (2014). Encyclopedia [online] version available on <http://www.fcc.gov/encyclopedia/radio-spectrum-allocation>. Date: 23-03-14.
- [65] **IEEE Standard.** (2014). IEEE P1901 working Group”, Official web site. IEEE Standards Association. Date: 23-03-14.
- [66] **Pokrzywa, J., ve Reidy, M.** (2011). SAE’s J1772 ‘combo connector’ for AC and DC changing advances with IEEE’s help”, SAE International. 2011.
- [67] **ITU-T Standard.** (2011). G.9972, Coexistence mechanism for wire line home networking transceivers” ITU-T. November 2011.
- [68] **PRIME Alliance.** (2010). Draft standard for PowerLine Intelligent Metering Evolution (PRIME), 1.3A ed., PRIME Alliance Technical Working Group, May 2010. [online]. Available: http://www.prime-alliance.org/portals/0/specs/PRIME-spec_v13E201005.pdf, Date: 23-03-14.
- [69] **Hoch, M.** (2011). Comparison of PLC G3 and PRIME” 15th IEEE Symposium on Power Line Communications and its Applications, April, 3-6, 2011, Udine, Italy, Sf. 165-169.
- [70] **Logvinov, O.** (2011). Home Plug Technology Conference, Netricity PLC and the IEEE P1901.2 standard, HomePlug Power Line Alliance, <http://www.homeplug.org/tech/whitepapers/NETRICITY.pdf>. 8-9 November, 2011, San Francisco, California.
- [71] **CENELEC 2014.** (2014). Standard evolution forecast, [online] <http://www.cenelec.eu/dyn/www/f?p=104:74:3282435438878299>.Tarih: 23. 03. 2014.
- [72] **Jordan Cordova, C. E. P., Asare-Bediako, B., Vanalme, G. M. A., ve Kling, W. L.** (2011). Overview and Comparison of Leading Communication Standard Technologies for Smart home Area networks enabling energy Management Systems” 46th International Universities’ Power Engineering Conference (UPEC’11), 5-8th Sept., Soest, Germany.
- [73] **Glover, L. A., ve Grant, P. M.** (2004). Digital Communications”, 2nd ed. Pearson Prentice Hall, 2004.
- [74] **Dickinson, J.** (1996). High frequency modelling of powerline distribution networks, Phd Thesis, Open University, 1996.
- [75] **Mulhern, B. E.** (1970). Telecommunication Systems in the ESB, The Institution of Engineers of Ireland, Paper read to the Electrical Division, IEI, 12th November 1970.
- [76] **Galli, S., Scaglione, A. ve Wang, Z.** (2011). For the grid and through the grid :The role of power line communications in the smart grid, Proc. of the IEEE, vol. 99, no.6, Sf. 998-1027.
- [77] **Galli, S., Koch, M., Latchman, S. L., ve Oksman, V.** (2010). Industrial and international standards on PLC base networking technologies,” in

Power Line Commun., H. Ferreira, L. Lampe, J. Newbury, and T. Swart, Eds., 1st ed. New York: Wiley, 2010.

- [78] **CENELEC.** (1992). Signalling on Low-Voltage Electrical Installations in the Frequency Range 3kHz-148.5kHz, CENELEC Std. EN 50065-1, 1992.
- [79] **Horowitz, S., Phadke, A., ve Renz, B.** (2010). The future of power transmission, IEEE Power Energy Mag, Mar. 2010, vol.8, no.2, Sf. 34-40.
- [80] **Remseier, S., ve Spiess, H.** (2006). Making power lines sing, ABB Switzerland, ABB Rev., 2/2006, 2006.
- [81] **Adami, J., ve Silveira, P., Martinez, M., Perez, R., ve Dallbello, A.** (2009). New approach to improve high voltage transmission line reliability, IEEE Trans.Power Del., vol.24, no.3, Sf. 1515-1520.
- [82] **Villiers, W. de, Cloete, J., ve Burger, A.** (2008). Real-time sag monitoring system for high voltage overhead transmission lines based on power line carrier signal behavior, IEEE Trans.Power Del., vol.23, no.1, Sf. 389-395.
- [83] **U.S. Dept. of Enrgy.** (2010). Broadband Over Power Lines Could Accelerate the Transmission Smart Grid U.S. Dept.of Energy,DOE/NETL-2010/1418,2010.
- [84] **Renz, B.** (2010). Private communication, Nov. 2010, Amperion.
- [85] **Pighi, R., ve Raheli, R.** (2005). On multicarrier signal transmission for high voltage power lines, in IEEE Intl. Symp.On Power Line Commun. And its Appl.(ISPLC), Vancouver, Canada, Apr. 6-8, 2005.
- [86] **Hyun, D., ve Lee, Y.** (2008). A study on the compound communication network over the high voltage power line for distribution automation system, in Proc. Int.Conf. Information Security and Assurance (ISA), Busan, Korea, Apr. 24-26, 2008.
- [87] **Aquilué, R., Pijoan, I. G. J., ve Sánchez, G.** (2009). High voltage multicarrier spread spectrum system field test, IEEE Trans. Power Del., vol.24, no.3, Sf. 1112-1121.
- [88] **Michel, M.** (2003). Moving toward a complete on-line condition monitoring solution, in Proc. Int. Conf. and Exhibition on electricity Distribution (CIRED), Barcelona, Spain, May 12-15, 2003.
- [89] **Wounters, P., Wielen, van der P., Veen, J., Wagenaars, P., ve Steennis, E.** (2005). Effect of cable load impedance on coupling schemes for mv power line communication, IEEE Trans. Power Del., vol.20, no.2, Sf. 638-645.
- [90] **Benato, R., Caldon, R., ve Cesena, F.** (2003). Application of distribution line carrier based protection to prevent DG islanding:An investigation procedure, in IEEE Power Tech. Conf., Bologna, Italy, Jun. 23-26, 2003.

- [91] **Ropp, M., Aaker, K., Haigh, J., ve Sabbah, N.** (2000). Using power line carrier communications to prevent islanding of PV power systems, in Proc. IEEE Photovoltaic Specialists Conf., Anchorage, Ak, Sep. 2000.
- [92] **Benato, R., ve Caldon, R.** (2007). Application of PLC for the control and the protection of future distribution networks, in Proc. IEEE Int. Symp. Power Line Commun. and its Appl. (ISPLC), Pisa, Italy, Mar. 26-28, 2007.
- [93] **Cataliotti, A., Daidone, A., ve Tiné, G.** (2008). Power line communication in medium voltage systems: Characterization of MV cables, IEEE Trans. Power Del., vol.23, no.4, Sf. 1896-1902.
- [94] **EPRI, Electric Power Research Institue.** (2009). Report to NIST on the smart grid interoperability standards roadmap, Electric Power Research Institute (EPRI) Tech. Rep., Jun.2009.
- [95] **McLaughlin, T.** (2010). Private communication, Nov. 2010, Aclara.
- [96] **Andrieu, C., Dauphant, E., ve Boss, D.** (1999). A frequency-dependent model for a MV/LV transformer, in Proc. Int. Conf. Power Systems Transients (IPST), Budapest, Hungary, Jun. 20-24, 1999.
- [97] **Olsen, R.** (2005). Technical overview of broadband powerline (BPL) communication systems, in Proc. IEEE Int. Symp. on Electromagn. Compat. (EMC), Aug. 2005.
- [98] **Black, W.** (2010). Data transmission through distribution transformers without bypass components, in Proc. IEEE Int. Symp. On Power Line Commun. And its Appl. (ISPLC), Rio de Janeiro, Brazil, Mar. 28-31, 2010.
- [99] **Bumiller, G., Lampe, L., ve Hrasnica, H.** (2010). Power line communication networks for large-scale control and automation systems, IEEE Commun. Mag., vol. 48, no.4, Apr. 2010.
- [100] **Hopper, N., Goldman, C., Bhavvirkar, R., ve Engel, D.** (2007). The summer of 2006: A milestone in the ongoing maturation of demand response, The Electricity J., vol.20, no.5, Jun. 2007.
- [101] **FERC, Federal Energy Regulatory Commission.** (2009). A national assessment of demand response potential, Federal Energy Regulatory Commission (FERC), Jun. 2009, Tech. Rep.
- [102] **Roozbehani, M., ve Mitter, S.** (2010). Dynamic pricing and stabilization of supply and demand in modern power electric power grids, in Proc. IEEE Int. Conf. on smart Grid Commun. (SmartGridComm), Gaithersburg, MD, Oct. 4-6, 2010.
- [103] **Degardin, V., Lienard, M., Degauque, P. ve Laly, P..** (2007). Peformances of the Home Plug PHY layer in the context of in-vehicle PLC, IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications, Sf. 93-97.
- [104] **Guarnieri, M. W.** (2011). When Cars Went Electric Part One, IEEE Industrial Electronics Magazine, **5(1)**, 61-62.

- [105] **Collantes, G., ve Sperling, D.** (2008). The origin of California's zero emission vehicle mandate, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(10), 1302-1313.
- [106] **Sovacool, B. K., ve Hirsh, R.F.** (2009). Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to pul-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition, *Energy Policy*, 37(3), 1095-1103.
- [107] **Huck, T., Schirmer, J., Hogenmuller, T., ve Dostert, K.** (2005). Tutorial about the implementation of a vehicular high speed communication system, *Power Line Communications and Its Applications*, 2005 International Symposium on, (ISPLC 2005), Pages: 162-166, 2005.
- [108] **Winterhalter, C. A., Teverovsky, J., Wilson, P., Slade, J., Horowitz, W., Tierney, E., ve Sharma, V.** (2005). Development of electronic textiles to support networks, communications, and medical applications in future US military protective clothing systems, *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, 9(3), 402-6, Sep. 2005.
- [109] **Zienniewicz, M. J., Johnson, D.C., Wong, C., ve Flatt, J. D.** (2002). The evolution of army wearable computers, *Pervasive Comput.*, 1(4), 30-40, Dec. 2002.
- [110] **Martin, T., Jovanov., E., ve Raskovic, D.** (2000). Issues in wearable computing for medical monitoring applications: *Proc. IEEE Int. Symp. Wearable Comput.*, Atlanta, USA, Oct. 18-21, 2000, Sf. 43-50.
- [111] **Stanford, V.** (2002). Using pervasive computing to deliver elder care, *Pervasive Comput.*, 1(1), 10-13, Mar. 2002.
- [112] **United Nations.** (2002). Report of the second world assembly on ageing, New York, NY:United Nations, 2002.
- [113] **Department of Defense Caregiver Guide.** (2010). Taking care of elderly family members. Available: http://dde.carlisle.army.mil/tcefm_main.htm[6 March 2010].
- [114] **Sherrill, D. M., Bonato, P., Moy, M. L., ve Reilly, J. J.** (2004). Accelerometer-based measurement of exercise and mobility for pulmonary rehabilitation, *Proc. IEEE. Annu. Northeast Bioeng. Conf.*, Springfield, USA, Apr. 17-18, 2004, Sf. 237-8.
- [115] **Marculescu, D., Marculescu, R., Zamora, N. H., Stanley-Marbell, P., Khosla, Park, Jayaraman, S., Jung, S., Lauterbach, C., Weber, W., Kirstein, T., Cottet, D., Grzyb, J., Troster, Jones, Martin, T., ve Nakad, Z.** (2003). Electronic textiles: a platform for pervasive computing. *Proc. IEEE*, 91 (12), 1995-2018, Dec. 2003.
- [116] **Gemperle, F., Kasabach, C., Stivoric, J., Bauer, M., ve Martin, R.** (1998). Design for wearability, *Proc. IEEE Int. Symp. Wearable Comput.*, Pittsburgh, USA, Oct. 19-20, Sf. 116-122.
- [117] **Wade, E., ve Asada, H. H..** (2004). Wearable DC powerline communication network using conductive fabrics. *IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, vol.4, New Orleans, USA, Apr. 26- May 1, 2004, Sf. 4085-90.

- [118] **Lifton, J., Broxton M., ve Paradiso, J. A.** (2005). Experiences and directions in pushpin computing. Proc. Int. Symp. Inform. Process. Sensor Netw., Los Angeles, USA, Apr. 25-7,2005, Sf. 416-21.
- [119] **IEA, International Energy Agency.** (2003). Guide Lines for monitoring Standalone Photovoltaic Power Systems Methodology and Equipment. Report IEA PVPS T3-13:2003.
- [120] **Nordman, Mikael.** (2004). An Architecture for Wireless Sensors in Distributed Management of Electrical Distribution Systems, Helsinki University of Technology, Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology, Helsinki University of Technology (Espoo, Finland), November 2004.
- [121] **Wade, E. R, ve Asada, H. H.** (2006). Design of a Broadcasting Modem for a DC PLC Scheme, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. October 2006.
- [122] **Kayran, A. H., Panayırçı, E., ve Aygölü, Ü.** (1998). Sayısal Haberleşme, Birsen Yayınevi, 4. Baskı, İstanbul, 1998.
- [123] **Kayran, A. H.** (1991). Analog Haberleşme, Sistem Yayınları, İstanbul, 1991.
- [124] **Pakonen, P., Vehmasvaara, S., Pikkarainen, M., Siddiqui, B. A., ve Verho, P.** (2012). Experiences on narrowband powerline communication of automated meter reading systems in Finland, in Electric Power Qualityand Supply Reliability Conference (PQ) 2012, Sf. 1-6.
- [125] **Janse van Rensburg, P. A., ve Ferreira, H. C.** (2004). Step-by-step design of a coupling circuit with bi-directional transmission capabilities, Proc. of 8th ISPLC-2004, Zaragoza, Spain, March 31-April 2, 2004 , Sf. 238-243.
- [126] **Degardin, V., Lienard, M., Degauque, P., Zeddam, A., ve Gauthier, F.** (2003). Impulsive noise on indoor power lines : characterization and mitigation of its effect on PLC system, 2003 IEEE Int. Symp. On Trans. Electromagn. Compact. ,Vol.1, EMC-3, Sf. 166-169.
- [127] **Cherniak, S.** (2001). A review of transient and their means of suppression, Application note AN843/D noise on indoor power lines, [online]. <http://www.onsemi.com>, March 2001.
- [128] **Dostert, K. M.** (1998). Power Lines As High speed Data Transmission Channels-Modelling the Physical Limits, Proceedings of the 5th IEEE .nternational Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications (ISSSTA 98), 1998, Sf. 585-589.
- [129] **Hooijen, O. G.** (1998). On the relation between network-topology and power line signal attenuation, Proc.Int.Symp.Power Line Commun. and its Applic., Tokyo, Japan, Mar.24-26, 1998, Sf. 45-56.
- [130] **Esmailian, T., Kschischang, F. R. ve Gulak, P. G.** (2002). An in-building power line channel simulator, Proc.Int.Symp.Power Line Commun. and its Applic., Athens, Greece, Mar. 27-9, 2002.
- [131] **Kim, Y. S., ve Kim, J. C.** (2007). Characteristic Impedances in Low-Voltage Distribution Systems for Power Line Communication, Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 2, No. 1, Sf. 29-34.

- [132] **Esmailian, T., Kschischang, F. R. ve Gulak, P. G.** (2003). In-building power lines as high-speed communication channels: channel characterization and a test channel ensemble, International Journal of Communication Systems Special Issue: Powerline Communications and Applications Volume 16, Issue 5, June 2003, Sf. 381–400.
- [133] **Zimmermann, M., ve Dostert, K.** (1999). A multipath signal propagation model for the power line channel in high frequency range, Proc. Int. Symp. Power Line Commun. and its Applic., Lancaster, UK, Mar. 30-Apr.1, 1999, Sfp.45-51.
- [134] **Barnes, J. S.** (1998). A A physical multi-path model for power distribution network, Proc. Int. Symp. Power Line Commun. and its Applic., Tokyo, Japan, Mar.24-6, 1998, Sf. 76-89.
- [135] **Mlynek, P., Misurec, J., ve Koutny, M.** (2011). Modelling and evaluation of power line for smart grid communication. PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY (Electrical Review) , Sf. 228 – 232.
- [136] **Galli, S.** (2011). A Novel Approach to the Statistical Modeling of Wireline Channels, IEEE Trans. on Communication, Vol.59, No.5, May 2011, Sf. 1332-1345.
- [137] **Malack, J. A., ve Engstrom, J. R.** (1976). Impedance of United States and European Power Lines, IEEE Trans. Electromag. Compat. 1976, 18, Sf. 36-38.
- [138] **Fiorelli, R., ve Colombo, M.** (2012). ST7580 power line communication system-on-chip design guide, AN4068, Application note, July 2012.
- [139] **Arzberger, M., Dostert, K., Waldeck, T., ve Zimmermann, M.** (1997). Fundamental Properties of the Low Voltage Power Distribution Grid, In Proc. Of Int. Symp. On Power Line Commun. and its Appl. (ISPLC), Essen, Germany, April 1997, Sf. 45-50.
- [140] **Tanaka, M.** (1988). High Frequency Noise Power Spectrum, Impedance and Transmission Loss of Power Line in Japan on Intrabuilding Power Line Communications, IEEE Trans. Consum. Electron. 1988, 34, Sf. 321-326.
- [141] **Misurec, J., ve Orgon, M.** (2011). Modeling of Power Line Transfer of Data for Computer Simulation, International Journal of Electrical communication Networks and Information Security-IJCNIS, Vol.3, No.2, Sf. 104-111, ISSN 2073-607X, Aug. 2011.
- [142] **Cañete, F.** (2004). Caracterización y modelado de redes eléctricas interiores como medio de transmisión de banda ancha. Ph. D. dissertation, Universidad de Málaga, Málaga, Spain, 2004.

EKLER

EK A: Matlab gürültü üretim yazılımı

EK A

```
clc
clear all
%read phase CDF from excel file
P2=xlsread('C:\Users\asus\Desktop\Tam\yeni3ile4.xlsx', 'E2:E101')
%read phase angles from excel file
Faz1=xlsread('C:\Users\asus\Desktop\Tam\yeni3ile4.xlsx', 'D2:D101')
%read cdf values from excel file for amplitude
S1=xlsread('C:\Users\asus\Desktop\Tam\yeni3ile4.xlsx', 'C2:C101')
%read voltage values from excel file
V1=xlsread('C:\Users\asus\Desktop\Tam\yeni3ile4.xlsx', 'B2:B101')
%read frequencies from excel file
E2=xlsread('C:\Users\asus\Desktop\Tam\yeni3ile4.xlsx', 'A2:A101')
for i=1:1:100
    E(1,i)=E2(i,1);
end
% generate a random number of 100 units
R1=rand(1,100);
% find CDF vs. Amplitude
for b=1:1:100
for a=1:1:100
    if(R1(1,b) <= S1(a,1))
        D(1,b)=V1(a,1);
        break;
    end
end
end
% find CDF vs. Phase
for b=1:1:100
for a=1:1:100
    if(R1(1,b) <= P2(a,1))
        Faz(1,b)=Faz1(a,1);
        break;
    end
end
end
% desired observation time
t=0:0.00001:0.04;
y1=D(1,1)*sin(2*pi*E(1,1)*t+Faz(1,1));
...
y100=D(1,100)*sin(2*pi*E(1,100)*t+Faz(1,100));

y=y1+...+y100;
plot(t,y,'r');
xlabel('Time (s)')
ylabel('Amplitude (V)')
```


ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mehmet Ali Sönmez

Doğum Yeri ve Tarihi: Tokat, 1977

Adres:İTÜ Elektrik Mühendisliği Bölümü Maslak, Sarıyer/İstanbul

E-Posta: masonmez@itu.edu.tr

Lisans:Selçuk Üniversitesi, 1997, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller: 1997 yılında Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun olduktan sonra, 1 yıl süre ile tekstil sektöründe Elektrik Mühendisi olarak çalışmıştır. 1998 yılında Türk Telekom A.Ş. İstanbul Yakası İl Telekom Müdürlüğünde göreve başlaması sonrası, sırasıyla 2003 yılına kadar ARGE Laboratuvarı Müdürlüğünde ARGE Mühendisi, 2003-2005 yılları arasında Laboratuvar ve Stok Müdürlüğünde DA/AA Enerji Sistemleri ile ilgili, 2005-2010 yılları arası Müşteri İlişkileri Müdürlüğünde Kurumsal Müşteriler için genişband data altyapılarının kurulması ve üzerinden hizmetlerin sağlanması, servis sonrası destek gibi konularla ilgili görevlerde bulunmuştur. Türk Telekom'un özelleştirilmesi sonrası Mayıs 2010 tarihinde İTÜ Elektrik Mühendisliği bölümünde Mühendis olarak göreve başlayarak, halen bu kurumda çalışmaya devam eden Müh. Mehmet Ali Sönmez evli ve bir çocuk babasıdır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **M.A. Sonmez**, M. Bagriyanik, “Statistical model study for Narrowband Power Line Communication Noises,” International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2013 8th , pp. 539 – 543, 28-30 Nov. 2013, Bursa, Turkey.
- **M.A. Sonmez**, M.A. Zehir, M. Bagriyanik, and O. Nak, “Impulsive noise survey on power line communication networks up to 125 kHz for smart metering infrastructure in systems with solar inverters in Turkey”, International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), pp. 705 – 710, 20-23 Oct. 2013, Madrid, Spain.