



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ASANSÖR KABİNLERİNDE ESNEK
KABLOLAR ÜSTÜNDEN GÜÇ HATTI
HABERLEŞMESİ

Motuma Muktar ABAFOĞİ

DOKTORA TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Motuma Muktar ABAFOĞI tarafından hazırlanan “**ASANSÖR KABİNLERİNDE ESNEK KABLOLAR ÜSTÜNDEN GÜÇ HATTI HABERLEŞMESİ**” adlı tez çalışması 30/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Elektrik Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

.....

Danışman

Doç. Dr. Bayram AKDEMİR

.....

Üye

Doç. Dr. Kadir SABANCI

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Hakkı SOY

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Dilek UZER

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Motuma Muktar ABAFOĞİ

Tarih: 30/6/2022

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ASANSÖR KABİNLERİNDE ESNEK KABLOLAR ÜSTÜNDEN GÜÇ HATTI HABERLEŞMESİ

Motuma Muktar ABAFOĞI

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Bayram AKDEMİR

2022, 74 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Bayram AKDEMİR
Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN
Doç. Dr. Kadir SABANCI
Dr. Öğr. Üyesi Hakkı SOY
Dr. Öğr. Üyesi Dilek UZER**

Dar bantlı güç hattı haberleşmesi, konut ortamlarındaki potansiyel uygulamalarla birlikte çalışmanın önemli bir odak noktası olmaktadır. Asansör kumanda panosundan kabine giden esnek AC güç hattı kabloları üzerinden veri aktarımı bu tezin konusudur. Önceki araştırmalarda, bir asansör sisteminin PLC kanal tepkisini ve gürültüsünü karakterize etmek için hiçbir zaman ciddi bir girişimde bulunulmamıştır. Bir asansör sisteminin güç hattı kanal gürültüsü, bir karma alan osiloskopu kullanılarak ölçülmüştür. Kanal yanıtı ise bir vektör ağ analizörü kullanılarak elde edilmektedir. Bu ölçüm cihazları, bir asansör sisteminin AC güç hatlarına kuplaj cihazları vasıtasıyla bağlanmaktadır. Bir asansör sisteminin güç hattı kanal gürültüsü ve yanıtı, bir vektör ağ analizörü, karma alan osiloskopu ve bağlantı cihazları kullanılarak ölçülmüştür. 9 kHz - 500 kHz frekans aralığı için asansörün boş ve hareketli durumlarına karşılık gelen kanal transfer fonksiyonları alınmıştır. Ortalama PLC kanal frekans yanıtı için matematiksel bir model sunulmuştur. Asansör hız kontrolü için kullanılan invertör birincil gürültü kaynağıdır. Asansör boşta modundan hareket moduna geçerken, kanal 281 kHz'den düşük frekanslar için dikkate değer farklılıklar gösterirken, 281 kHz - 500 kHz frekans aralığında genellikle sabit kalmıştır. Bu tezde, bir dikgen frekans bölmeli çoğullama alıcı-vericisini modellemek için Reed Solomon, evrişimli kodlar ve hatalı bitleri dağıtmak için serpiştirme kullanılmıştır. Kanal yanıtı ve gürültü için elde edilen ölçüm verileri, alıcı-verici sistemini modellemek için kullanılmıştır. Simülasyon deneyleri, harmonik gürültü bileşenleriyle örtüşmeyen alt taşıyıcı frekanslarını metodik olarak seçerek 4 dB'den daha büyük bir sinyal-gürültü oranı için başarılı bir veri kurtarma göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Asansör, Güç Hattı Haberleşmesi, Gürültü, Kanal Transfer Fonksiyonu.

ABSTRACT

PhD THESIS

POWER LINE COMMUNICATION OVER FLEXIBLE CABLES FOR ELEVATOR CABINS

Motuma Muktar ABAFOĞI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Bayram AKDEMİR

2022, 74 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Bayram AKDEMİR
Assoc. Prof. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN
Assoc. Prof. Dr. Kadir SABANCI
Assist. Prof. Dr. Hakkı SOY
Assist. Prof. Dr. Dilek UZER**

Narrowband power line communication has been a significant focus of study, with potential applications in residential settings. The data transfer across flexible AC power line cables extending from the elevator control panel to the cabin is the subject of this thesis. In prior research, there has never been a serious attempt to characterize the PLC channel response and noise of an elevator system. An elevator system's power line channel noise is measured using a mixed domain oscilloscope. The channel response, on the other hand, is measured using a vector network analyzer. These measurement devices are connected to the AC power lines of an elevator system via coupling devices. For the 9 kHz - 500 kHz frequency range, channel transfer functions corresponding to the elevator's idle and moving states are acquired. For the average PLC channel frequency response, a mathematical model is presented. The inverter used for elevator speed control is the primary noise source. As the elevator moves from idle to moving mode, the channel shows noticeable variances for frequencies less than 281 kHz while generally constant within the 281 kHz-500 kHz frequency range. This thesis has utilized Reed Solomon, convolutional codes, and interleaving to distribute erroneous bits to model an orthogonal frequency division multiplexing transceiver. Acquired measurement data for the channel response and noise is used to model the transceiver system. Simulation experiments have shown successful data recovery for a signal-to-noise ratio larger than 4 dB by methodically selecting subcarrier frequencies that do not coincide with the harmonic noise components.

Keywords: Channel Transfer Function, Elevator, Noise, Power Line Communication.

ÖNSÖZ

İlk olarak, bu tezin tamamlanmasını sağlayan Rabbime şükrederim.

Bu çalışmada bana her türlü bilimsel görüşleri ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatan, danışmanım Doç. Dr. Bayram Akdemir hocama derin şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, doktora tez izleme komitesi üyeleri Doç. Dr. Seyfettin Sinan Gültekin ve Dr. Öğr. Üyesi Hakkı Soy hocalarıma tüm yardımları için teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, her zaman iyiye ve doğruya yönelmemi sağlayan aileme, bütün kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

Motuma Muktar ABAFOĞİ
KONYA-2022



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Motivasyon	2
1.2. Problem Tanımlaması.....	2
1.3. Araştırma Hedefi ve Katkısı	3
1.4. Tez Organizasyonu	4
2. GÜÇ HATTI HABERLEŞMESİ.....	6
2.1. Dar Bant PLC.....	7
2.2. Geniş Bant PLC.....	8
2.3. Dar Bant ve Geniş Bant PLC Karşılaştırması.....	8
2.4. PLC Kanal Modelleme	9
2.4.1. Yukarıdan aşağıya yaklaşım.....	9
2.4.2. Aşağıdan yukarıya yaklaşım	10
2.4.3. Hibrit yaklaşım.....	10
2.5. PLC Gürültü Modelleri	10
2.5.1. Arkaplan gürültüsü.....	11
2.5.2. Dürtüsel gürültü	11
2.5.3. Dar bant girişimi	12
2.6. PLC Zorlukları.....	12
2.6.1. Gürültü.....	12
2.6.2. Sinyal bozulması ve zayıflaması.....	12
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI	14
3.1. Gürültü Modelleme ile İlgili Araştırmalar.....	15
3.2. Kanal Modelleme ile İlgili Araştırmalar	19
3.3. Gürültü Azaltma ve Hata Düzeltme ile İlgili Araştırmalar.....	23
3.4. Kanal Tahmini ile İlgili Araştırmalar.....	27
4. MATERYAL VE YÖNTEM	29
4.1. Asansör Sistemi.....	29
4.2. Fourier Dönüşümü.....	31
4.3. Kanal Darbe ve Frekans Cevabı	32
4.4. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM).....	32

4.5. Bit Hata Oranı (BER)	33
4.6. İleri Hata Düzeltme ve Kanal Tahmini.....	34
4.6.1. Reed-Solomon hata düzeltmesi	35
4.6.1. Evrişimli kod.....	35
4.6.3. Serpiştirme.....	36
4.6.4. En küçük kareler	36
4.7. Saçılma Parametreleri.....	37
4.8. Veri Toplama Cihazları.....	38
4.8.1. Vektör ağ analizörü.....	38
4.8.2. Karışık alan osiloskopu.....	39
4.8.3. PLC bağlayıcılar	39
4.9. Araştırma Metodolojisi	41
5. ÖLÇÜM KURULUMU VE VERİ TOPLAMA.....	43
5.1. Ölçüm Kurulumu	43
5.2. Gürültü Verisi Toplama	45
5.3. Kanal Yanıt Verisi Toplama	45
6. KANAL KARAKTERİZASYONU VE ANALİZİ	48
6.1. Gürültü Analizi	48
6.2. Kanal Analizi	56
7. ALICI-VERİCİ SİSTEM TASARIMI	61
7.1. Kanal Kapasitesi.....	61
7.2. OFDM Alıcı-Verici Simülasyonu	62
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
8.1. Sonuçlar	66
8.2. Öneriler	67
KAYNAKLAR.....	68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$A(f, d_i)$	: Kablo kaybı
C	: Işığın boşluktaki hızı
C_{tot}	: Toplam kanal kapasite
d_i	: i yolunun uzunluğu
f	: Frekans
g_i	: i yolunun ağırlık faktörü
$H(f)$	: Frekans yanıtı
$h(t)$	: Kanal darbe yanıtı
$P(t)$	: Sinyal gücü
T_{AC}	: Şebeke geriliminin zaman aralığı
T_s	: Örnekleme süresi
v_p	: Sinyalin yayılma hızı
ϵ_r	: Dielektrik sabiti
τ_i	: i yolunun gecikme süresi
τ_{mean}	: Ortalama gecikme yayılım süresi
τ_{rms}	: RMS gecikme yayılım süresi

Kısaltmalar

AC	: Alternatif Akım (Alternating Current)
ANC	: Uyarlanabilir Gürültü Engelleyici (Adaptive Noise Canceller)
AVSF	: Bulanık Çıkarıma Dayalı Uyarlanabilir Değişken Adım Boyutu Algoritması (Adaptive Variable Step-Size Algorithm Based On Fuzzy Inference)
AWGN	: Toplanır Beyaz Gauss Gürültüsü (Additive White Gaussian Noise)
BB-PLC	: Geniş Bant Güç Hattı İletişimi (Broadband Power Line Communication)
BCH	: Bose-Chaudhuri-Hocquenghem
BER	: Bit Hata Oranı (Bit Error Rate)
BPSK	: İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Binary Phase-Shift Keying)
CAT5	: Kategori 5 Kablo
CENELEC	: Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (European Committee for Electrotechnical Standardization)
CP	: Çevrimsel Önek (Cyclic Prefix)
CS	: Sıkıştırılmış Algılama (Compressed Sensing)
CTF	: Kanal Transfer Fonksiyonunu (Channel Transfer Function)
DAQ	: Veri Toplama Cihazları (Data Acquisition Device)
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
DFT	: Ayırık Fourier Dönüşümü (Discrete Fourier Transform)
DSP	: Dijital Sinyal İşlemcisi (Digital Signal Processor)
DUT	: Test Edilen Cihaz (Device Under Test)
EED	: Hata ve Silme Kod Çözücüsü (Error-and-Erasure Decoder)
FAM	: FFT Biriktirme Yöntemi (FFT Accumulation Method)
FCC	: Federal İletişim Komisyonu (Federal Communications Commission)
FEC	: İleriye Dönük Hata Düzeltme (Forward Error Correction)
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform)

FIR	: Sonlu Darbe Tepkisi (Finite Impulse Response)
FSK	: Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (Frequency Shift Keying)
FT	: Fourier Dönüşümü (Fourier Transform)
ICI	: Taşıyıcılar Arası Girişim (Intercarrier Interference)
IFFT	: Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (Inverse Fast Fourier Transform)
IN	: Dürtüsel Gürültü (Impulsive Noise)
ISI	: Semboller Arası Girişim (Inter-symbol Interference)
LDPC	: Düşük-Yoğunluklu Eşlik-Denetim (Low-Density Parity-Check)
LMMSE	: Doğrusal Minimum Ortalama Kare Hata (Linear Minimum Mean Square Error)
LMS	: En Küçük Ortalama Kare (Least Mean Square)
LPTV	: Doğrusal Zamanla Periyodik Değişen (Linear Periodically Time-Varying)
LS	: En Küçük Kareler (Least Squares)
MDO	: Karışık Alanı Osiloskopu (Mixed Domain Oscilloscope)
MOV	: Metal Oksit Varistörü (Metal Oxide Varistor)
MSE	: Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error)
NBI	: Dar Bant Girişimi (Narrow-Band Interference)
NB-PLC	: Dar Bant Güç Hattı İletişimi (Narrowband Power Line Communication)
OFDM	: Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
OMP	: Ortogonal Eşleştirme Takibi (Orthogonal Matching Pursuit)
PDP	: Güç Gecikme Profili (Power Delay Profile)
PLC	: Güç Hattı İletişimi (Power Line Communication)
PSD	: Güç Spektral Yoğunluğu (Power Spectral Density)
QAM	: Karesel Genlik Modülasyonu (Quadrature Amplitude Modulation)
QC	: Yarı-Döngüsel (Quasi-Cyclic)
RF	: Radyo Frekansı
RMS	: Ortalama Karekök (Root Mean Square)
RS	: Reed-Solomon
RVM	: Alaka Vektör Makinesi (Relevance Vector Machine)
SMPS	: Anahtarlama Güç Kaynakları (Switched-Mode Power Supply)
SNM	: İstatistiksel Gürültü Modeli (Statistical Noise Model)
SNR	: Sinyal-Gürültü Oranı (Signal-to-Noise Ratio)
SVD	: Tekil Değer Ayrışması (Singular Value Decomposition)
TVS	: Geçici Gerilim Bastırma (Transient Voltage Suppression)
USRP	: Evrensel Yazılım Radyo Çevre Birimi (Universal Software Radio Peripheral)
VLF	: Çok Düşük Frekans (Very Low Frequency)
VNA	: Vektör Ağ Analizörü (Vector Network Analyzer)
VSD	: Vektör Sembol Kod Çözme (Vector Symbol Decoding)
VSWR	: Gerilim Duran Dalga Oranı (Voltage Standing Wave Ratio)

1. GİRİŞ

Güç hattı haberleşmesi (PLC), yalnızca güç iletimleri için kurulmuş kablolar üzerinden veri iletimini kolaylaştırmak için mevcut altyapıyı kullanmaktadır. PLC, Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (CENELEC) ve 500 kHz'in altındaki frekansları kullanan dar bant PLC'yi yöneten Federal İletişim Komisyonu (FCC) gibi standartlarla akıllı şebeke uygulamaları için umut verici bir aday haline gelmiştir. Geniş bant PLC, daha yüksek frekansları kullanarak çok yüksek veri hızları sağlamaktadır. PLC teknolojisi cazip olsa da, frekans seçici sönmüleme ve zamanla değişen kanal nedeniyle güvenilir iletim sağlamak zor bir iş olmaktadır. Renkli arka plan ve darbeleri gürültü tarafından da bozulmaktadır.

Bir asansör sistemi, bir binanın tüm katı boyunca uzanan hem kontrol hem de güç kablosunu içermektedir. Bu kablolar, asansör hareketi, gürültü vb. nedeniyle genellikle hatalı veya gecikmeli veri iletimlerine ve hatta bağlantının kesilmesine neden olan ciddi çevresel koşullara maruz kalmaktadır. Kabinlere hem veri hem de güç sağlamak için bu güç kablolarının kullanılması, daha az kabloyla daha az karmaşık bir sistemin kurulmasına yardımcı olmaktadır, dolayısıyla daha basit ve daha az maliyetli kurulum, yükseltme ve onarımlara olanak tanımaktadır. Esnek AC güç kablosu üzerinden PLC, halihazırda kurulmuş bir PLC ağı ile akıllı binalara da entegre edilebilir, böylece asansöre uzaktan erişim sağlanılabilir. Konut sakinleri asansöre erişebilir ve uzaktan çağırabilir, bu nedenle özellikle kalabalık binalarda zaman kaybından kaçınılabilmektedir.

(Rajoba ve Raste, 2019)'da, asansör AC güç hatları üzerinden basit bir yarı çift yönlü iletişim, frekans kaydırmalı anahtarlama modülasyon tekniği kullanılarak gösterilmiştir. Kullanılan PLC modem, 9600 baud hızı ile 72 kHz'lik bir taşıyıcı frekans kullanmaktadır. (Zepke ve ark., 2003)'te bahsedilen patentli bir çalışma, bir asansör sistemi için bir PLC sistem tasarımını tanımlamaktadır. Asansör güç hatları üzerinden veri iletişimini kolaylaştırmak için detaylı bir tasarım sağlamaktadır. Bir PLC sistemi kullanmanın, asansör güç hattı kabloları dışında ayrı bir kontrol kablolarına olan ihtiyacı ortadan kaldırdığını göstermektedir.

Mevcut asansör güç kabloları üzerinden veri iletimi kurmanın fizibilitesi (Heriyanto ve ark., 2016)'da tartışılmıştır. Araştırmaya göre, tüm asansör kuyusu boyunca hareket eden halihazırda mevcut bir güç hattı kablosu bulunduğundan, 50 Hz veya 60 Hz güç hattı üzerinden iletilecek verilerin üst üste bindirilmesiyle güç hattı iletişimi sağlanabilmektedir. Bu nedenle, Kategori 5 kablosu (CAT5) gibi iletişim kablolarının

rolü, daha az kabloyla daha basit bir kurulum ve daha düşük kurulum maliyeti ile değiştirilebilmektedir.

Geçici dalgalanmalar, yakındaki elektrikli cihazlardan gelen gürültü, radyo frekansı vericileri vb. dahil olmak üzere bir asansör sisteminin güç hatları üzerinden güvenilir veri iletimini etkileyen çeşitli faktörler vardır. PLC modemler için yaygın olarak kullanılan aşırı gerilim koruma cihazları arasında metal oksit varistörü (MOV), koruma diyotları, gaz deşarj tüpleri vb. bulunmaktadır.

Ortak mod bobinleri gibi bileşenler, radyo frekansı vericilerinden kaynaklanan istenmeyen ortak mod sinyallerini ortadan kaldırmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu koruma elemanları, istenmeyen sinyalleri ortadan kaldırarak, ilgili frekans bandı üzerinden temiz bir PLC sinyalinin iletilmesine yardımcı olmaktadır. Dar bantlı bir PLC kanalı için, bir bant geçiren filtre, iletim frekansı aralığının dışındaki yüksek frekanslı gürültü bileşenlerini bastırmaya yardımcı olabilir ve bunların PLC modemin dahili devrelerine ulaşmalarını engelleyebilmektedir.

1.1. Motivasyon

Bir asansör sistemi bir binanın tüm katı boyunca uzanan hem güç hem de kontrol kablosunu içermektedir. Eğer elektrik hatları hem güç hem de veri sağlamak için kullanılacaksa, kurulum ve iletişim yeteneklerinde daha az karmaşıklık sağlayabilir ve böylelikle asansörün hareketini kolaylaştıracaktır. Ayrıca, binadaki kat sayısı arttıkça boyut olarak artan ayrı kontrol kablolarına ihtiyaç duyulmamasına yardımcı olacaktır. Dolayısıyla, kurulum maliyetlerini de önemli ölçüde azaltacaktır.

Elektrik hattı üzerinden haberleşme kanalı standartlaştırılmış yeterli kanal modeline sahip olmadığı için, bu araştırmada elde edilecek olan gürültü özelliklerinin analizi gelecekteki araştırmalar için önemli bir katkı sağlayabilecektir. Bu araştırmanın sonucu da diğer benzer uygulamalarda elektrik hattı üzerinden bir haberleşme sistemi geliştirmek için bir referans olarak kullanılabilir.

1.2. Problem Tanımlaması

Güç hattı haberleşmesi (PLC), mevcut elektrik hattı ağı üzerinden video, ses, veri veya diğer herhangi bir hizmetin iletimini sağlayan bir teknolojidir. Güç hattı, evdeki elektrik şebekesi veya ulusal elektrik iletim şebekesi olabilir. Akıllı şebeke (Smart Grid),

PLC'lerin en önemli uygulama alanlarından biridir. Kullanılabilecek yeni kablo ihtiyacının olmamasından faydalanabilecek diğer uygulamalar arasında akıllı şehir, telemetri, ev otomasyonu vb. bulunmaktadır. Ayrıca, geçmiş yıllarda araç içi veri aktarımı için PLC dikkat çeken enteresan bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu bağlamda, birçok PLC ağı otomobillerde, trenlerde, gemilerde ve uçak sistemlerinde araştırılmıştır. Bu tez, asansör kabinlerinde esnek kablolar üstünden güç hattı haberleşmesine odaklanmaktadır.

1.3. Araştırma Hedefi ve Katkısı

Yerleşim alanlarında alınan ölçümlerden elde edilen dar bant PLC gürültü modelleri ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Ne yazık ki, bir asansör sisteminin güç hattı kabloları boyunca güç hattı iletişim gürültü ölçümleri kanal modeli oluşturulması ile ilgili herhangi bir dikkate değer bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma, birkaç pratik ölçüm yaparak asansör güç hatları boyunca mevcut olan gürültü özelliklerini sağlamaktadır.

Konut alanları gibi farklı sitelerden türetilmiş az sayıda dar bant PLC kanal yanıt modeli vardır, ancak bu sonuçların hiçbirisi asansör güç hattı kablolarının PLC kanal özelliklerini içermemektedir. Bu çalışma, hem boşta hem de hareketli asansör durumlarında pratik kanal ölçümlerinden elde edilen bir asansör sisteminin PLC kanal karakteristiklerini sunmaktadır.

Bu tez aynı zamanda, asansör güç hattı kablolarının elde edilen dar bant PLC gürültüsünü ve kanal özelliklerini benimseyen OFDM tabanlı bir alıcı-verici simülasyonunu göstermektedir. PLC kanal yanıtı ve gürültü için standart bir model formüle etmek için halen devam eden araştırmalar vardır. Bir asansör sistemi için PLC kanal tepkisini ve gürültüyü karakterize etmeye yönelik önemli bir araştırma olmaması nedeniyle, bu araştırmadan elde edilen sonuçlar, bir asansör PLC sistemi için standart bir model formüle etmeyi amaçlayan gelecekteki çalışmalar için temel olarak kullanılabilmektedir.

Bu tezin üzerinde çalıştığı temel konular aşağıdakileri içerir, ancak bunlarla sınırlı değildir.

- Elektrik Hattı Üzerinden Haberleşme (PLC) sisteminin gürültü özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesinde araştırmalar devam etmektedir. Bu araştırmada

asansör sisteminin elektrik hatlarındaki gürültü kaynaklarını ve özelliklerini belirlemek için veri toplama cihazları (DAQ) kullanılmıştır.

- Asansör güç hattı kanal modeli ve özelliklerini belirlemek için Vektör Ağ Analizörü (VNA) kullanılmıştır ve elde edilen kanal ile ilgili veri analiz edilmiştir.
- Elektrik hattı üzerinden haberleşmeyi sağlamak için OFDM modülasyon tekniği uygulanmıştır.
- Gürültü ve kanaldan dolayı alınan hatalı verilerden iletilmiş olan doğru verileri elde etmek için, dar bant PLC teknolojilerinde yaygın olarak kullanılan hata düzeltme kodlama teknikler MATLAB yazılımı vasıtasıyla uygulanmıştır.

Bu tez, bir asansör sisteminin elektrik hatları üzerinden veri iletimini etkileyen ilgili parametreleri göz önünde bulundurmaya ve elektrik hattı üzerinden sağlam bir alıcı-verici sistemi tasarlamaya amaçlamaktadır.

1.4. Tez Organizasyonu

Bu tez 8 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümde, tezin amacı, araştırma problemlerine yönelik motivasyonu ve bilimsel katkısı sunulmaktadır.

Bölüm 2, kullanılan frekansa göre PLC sınıflandırması da dahil olmak üzere, güç hattı haberleşmesine genel bir giriş sağlamaktadır. Ayrıca PLC kanalı ve gürültü hakkında da biraz bilgi vermektedir.

Bölüm 3, PLC sisteminin kapsamlı bir literatür incelemesini sunmaktadır. Bu bölüm, teze ilgili çok çeşitli çalışmalardan elde edilen referansların kategorik bir incelemesini sunmaktadır.

Bölüm 4, tez çalışmasında yer alan önemli parametrelerin kısa bir tanımını sağlamaktadır. Ayrıca, veri toplama ile ilgili materyallerin yanı sıra bazı sinyal bütünlüğü bakım tekniklerinin açıklamasını da sağlamaktadır. Ayrıca tezde kullanılan bazı teknikler ve yaklaşımlar hakkında kısa tartışmalar bulunmaktadır.

Bölüm 5, ölçüm kurulumu ve bir asansörün esnek kablosundan gerçek kanal gürültü bilgilerinin elde edilmesi ile ilgilidir. Bu bölümde asansör kontrol panelinden asansör kabinine kadar uzanan AC güç hattının gürültü ve kanal karakteristiklerini ölçmek için ayrıntılı bir veri toplama kurulumu hakkında bilgi verilmektedir. Elde edilen ölçümün kısa bir açıklaması da bu bölümde tartışılmaktadır.

Bölüm 6'da, elde edilen asansör PLC kanal ölçümünün analizi yapılmaktadır. Bu kanal gürültüsünün karakterizasyonu ile birlikte elde edilen gürültü ölçümlerinin analizi ve PLC kanalının ayrıntılı bir modelleme stratejisi hakkında bilgi verilmektedir.

Bölüm 7, elde edilen kanal ve gürültü özelliklerine göre alıcı-verici sisteminin tasarımını ele almaktadır. Alıcı-verici sistemini tasarlamak için kullanılan tasarım parametreleri de bu bölümde tartışılmaktadır.

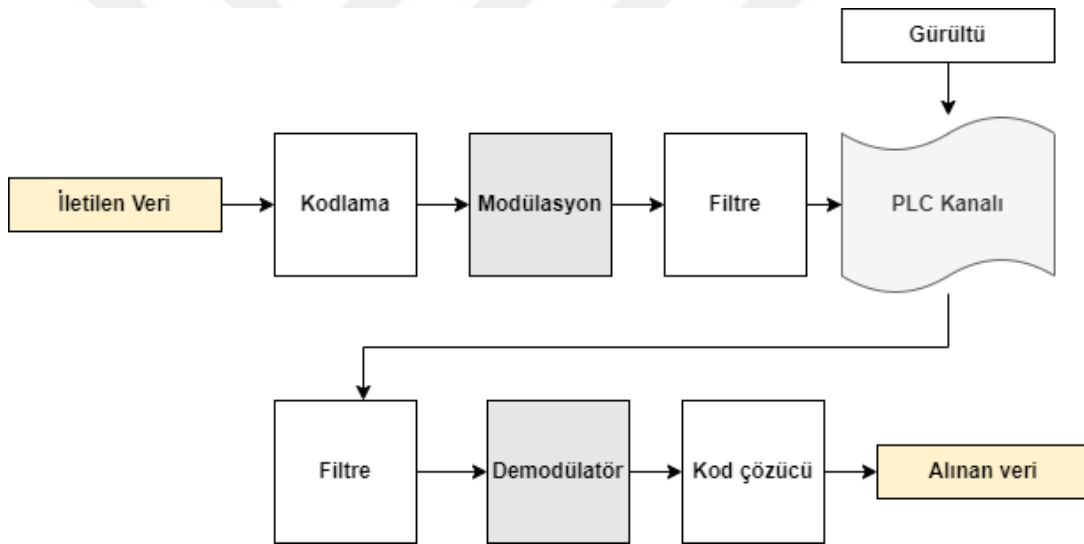
Son bölümde, bu tezin sonuçları ile birlikte gelecekteki benzer çalışmalar için öneriler sunulmaktadır.



2. GÜÇ HATTI HABERLEŞMESİ

PLC (Güç Hattı Haberleşmesi), verilerin mevcut elektrik hatları üzerinden iletilmesine izin veren bir iletişim tekniğidir. Orijinal olarak güç aktarımı için tasarlanmış bir güç hattı kablosu veri aktarımı için de kullanılabilir.

Kullanılan frekansa bağlı olarak PLC, Dar Bant (500 kHz'den düşük frekanslar) veya Geniş Bant (500 kHz'den büyük frekanslar) olarak sınıflandırılabilir. Bu iki farklı frekans aralığının kendi artıları ve eksileri bulunmaktadır. Dar bant iletim, daha düşük frekansların kullanılması nedeniyle yavaştır, oysa geniş bant PLC yüzlerce Mbps'ye kadar ulaşabilir. PLC, kablo üzerinden iletilen gücün türüne göre AC ve DC PLC olarak da sınıflandırılabilir. Şekil 2.1, güç hattı haberleşmesini içeren bir alıcı-verici sisteminin temel bir akış diyagramını göstermektedir (Meza ve Aspiazu, 2014).

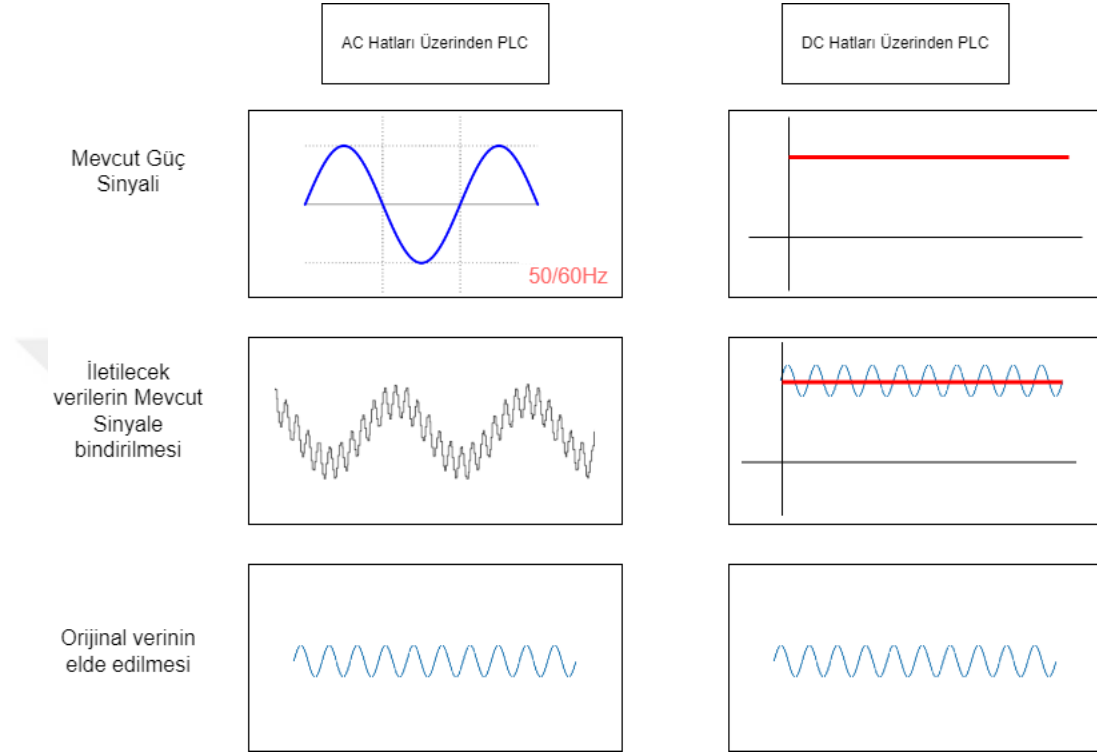


Şekil 2.1. PLC alıcı-verici sistemi

İletilen verilerin kodlanması, alınan bozuk bir veriden gerçek aktarılan verilerin kurtarılmasına yardımcı olmaktadır. Bu, veri bozulması durumunda yeniden iletim ihtiyacını en aza indirmektedir. İstenmeyen sinyalleri filtrelemeden önce çeşitli modülasyon teknikleri kullanılabilir. 50Hz/60Hz şebeke gerilimi, güvenilir bir veri iletimini etkileyebilecek istenmeyen sinyallerden biridir. Ek gürültü iletilen verileri bozarken, PLC kanalı karakteristikleri sinyali de zayıflatır ve iletilen verileri bozabilir.

Güç Hattı İletişiminin temel prensibi Şekil 2.2'de verilmiştir. Genel olarak, bir PLC alıcı-verici sistemindeki verici, iletilecek verileri modüle eder ve AC veya DC güç kaynağı geriliminin üzerine bindirmektedir. Alıcı ise, alıcı tarafından modülasyon

uygulanmadan önce tüm istenmeyen sinyalleri filtreler ve iletilen verileri elde etmek için bunları demodüle etmektedir. Tamamlayıcı kod çözme teknikleri uygulanarak, verici tarafından gönderilen gerçek veriler alıcıdan alınmaktadır. PLC, hem AC güç hatlarında hem de DC güç hatlarında kullanılabilir.



Şekil 2.2. Güç hattı haberleşmesinin temel prensibi

2.1. Dar Bant PLC

Dar bant PLC (NB-PLC) sistemleri 3 kHz ile 500 kHz arasındaki frekans bandında çalışmaktadır. Daha uzun mesafelerde veri iletimi için oldukça avantajlıdır. Düşük frekansların kullanımı, lisanslı radyo iletişim hizmetlerine gerek duymadan NB-PLC teknolojilerinin harici uygulamalarda kullanılmasına izin verir. NB-PLC'nin bazı uygulamaları arasında ev aletlerinin izlenmesi ve kontrolü, güç tüketimi ölçümü vb. bulunmaktadır.

Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (CENELEC), 3 kHz ile 148,5 kHz arasındaki frekans bandını CENELEC A, B, C ve D bantları olarak adlandırılan dört gruba ayırmıştır (Tonello ve Pittolo, 2015).

- CENELEC A (3 kHz –95 kHz) frekans aralığı
- CENELEC B (95 kHz –125 kHz) frekans aralığı

- CENELEC C (125 kHz –140 kHz) frekans aralığı
- CENELEC D (140 kHz –148,5 kHz) frekans aralığı

ABD'deki Federal İletişim Komisyonu (FCC), 9 kHz – 490 kHz frekans bandının kullanımına izin vererek dar bant PLC uygulamalarının daha yüksek veri hızlarında iletim yapabilmesini sağlamaktadır. Dar bant PLC sistemlerinde frekans kullanımı için farklı ülkelerin kendi düzenlemeleri vardır.

2.2. Geniş Bant PLC

Geniş bant PLC (BB-PLC) sistemleri üzerinden veri iletimi 1,8 MHz ila 250 MHz frekans bandına ayrılarak 2 Gbps'ye kadar ulaşabilen çok yüksek veri iletim hızları sağlamaktadır. ABD'de BB-PLC sistemleri için düzenlenmiş bir frekans bandı bulunmazken, Avrupa'nın CENELEC EN 50561-1 standardı BB-PLC sistemleri için 1,6 MHz – 30 MHz frekans bandını düzenlemektedir (Tonello ve Pittolo, 2015).

2.3. Dar Bant ve Geniş Bant PLC Karşılaştırması

NB-PLC ve BB-PLC'nin frekans aralığı, veri hızları, modülasyon şemaları ve standartlar açısından karşılaştırması Çizelge 2.1.'de verilmiştir. NB-PLC, akıllı şebeke uygulamaları için de kullanılabilir. NB-PLC'nin uzun menzili, onu çok geniş alanlarda kurulum için çok uygun hale getirir. Bununla birlikte, her frekans aralığının kendi avantajları ve dezavantajları vardır (Tonello ve Pittolo, 2015).

Çizelge 2.1. NB-PLC ve BB-PLC Karşılaştırması

	Dar bant PLC	Geniş bant PLC
Veri hızı	< 500kbps	yüzlerce Mbps'ye kadar
Frekans aralığı	3 kHz - 500 kHz	1,8 MHz - 250 MHz
Mevcut standartlar	PRIME, G3 PLC, IEEE P1901.2	HomePlug, IEEE 1901 vb.
Modülasyon	BPSK, FSK, OFDM vb.	BPSK, FSK, OFDM vb.

Hem Dar Bant hem de Geniş Bant PLC sistemleri için çeşitli standartlar bulunmaktadır. En önemli NB-PLC standartları IEEE P1901.2, G3-PLC ve PRIME'dir. Hem BB-PLC hem de NB-PLC sistemlerinde, İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (BPSK),

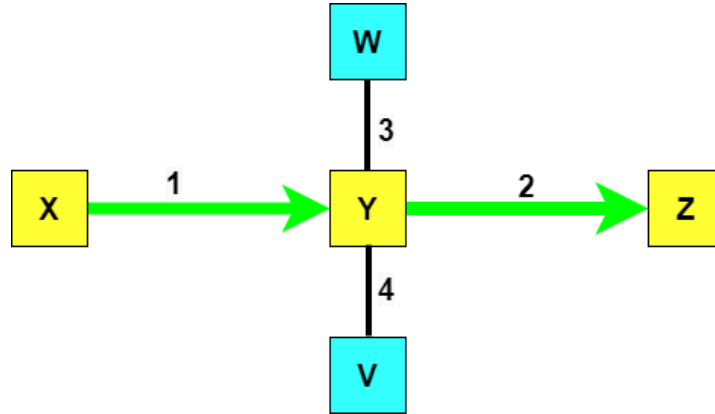
Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK), Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) vb. gibi modülasyon teknikleri kullanılmaktadır. Geniş Bant PLC çok yüksek veri hızları sağlama yeteneğine sahiptir.

2.4. PLC Kanal Modelleme

Frekans seçiciliği, gürültü vb. gibi çeşitli faktörler, bir güç hattı haberleşme kanalının modellenmesini zorlaştırır. Aynı zamanda zamanla değişen bir durum sergilemektedir. Güç hattı haberleşme kanallarını karakterize etmek ve modellemek için literatürde yapılan çeşitli girişimler arasında yukarıdan aşağıya yaklaşım, aşağıdan yukarıya yaklaşım ve hibrit yaklaşım bulunmaktadır.

2.4.1. Yukarıdan aşağıya yaklaşım

Bu yaklaşımda, gerçek ölçüm verilerini gösteren model parametreleri, veri uydurma teknikleri kullanılarak belirlenir. Bu yaklaşımın güç hattı haberleşme kanallarını nasıl modellediğini anlamak için, Şekil 2.3'te gösterildiği gibi tipik bir çift dallı güç hattı ağını varsayalım.



Şekil 2.3. Tipik çift dallı güç hattı ağı

X'ten Z'ye ana elektrik dalı için en kısa yol $X \rightarrow Y \rightarrow Z$ 'dir. Bununla birlikte, X düğümünden Z düğümüne bir iletişim sinyali iletildiğinde, $X \rightarrow Y \rightarrow W \rightarrow Y \rightarrow Z$, $X \rightarrow Y \rightarrow W \rightarrow Y \rightarrow V \rightarrow Y \rightarrow Z$ gibi birçok yol da vardır. Her i yolu (Şekil 2.3'teki yol 1, 2 vb.) bir g_i ağırlık faktörüne sahiptir ve $|g_i| \leq 1$. Daha uzun yollar boyunca hareket eden sinyaller daha yüksek zayıflama sergiler ve alınan genel sinyale daha az katkıda

bulunmaktadır. N adet yayılma yolu ile yol uzunluğuna ve kablo tipine bağlı olan i yol nedeniyle oluşan bir gecikme τ_i verildiğinde, frekans yanıtı aşağıdaki Denklem (2.1) gibi ifade edilebilir (Lampe ve ark., 2016).

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i A(f, d_i) e^{-j2\pi f \tau_i} \quad (2.1)$$

Burada $A(f, d_i)$ kablo kaybı nedeniyle iletişim sinyalinin zayıflamasını ve f iletişim sinyalin frekansını temsil eder. Bu tezde, bir asansör sisteminin PLC kanalını karakterize etmek için yukarıdan aşağıya yaklaşım kullanılmıştır.

2.4.2. Aşağıdan yukarıya yaklaşım

Aşağıdan yukarıya yaklaşım, iletim hattı teorisine dayalı güç hattı kanal transfer fonksiyonunu (CTF) üretmektedir. Bu yaklaşım, güç hattı haberleşme kanalı hakkında ayrıntılı bir ön bilgi gerektirir, böylece iletişim sinyali üzerindeki kanal etkisi ile güç hatlarının fiziksel özellikleri arasında kesin bir ilişki sağlamaktadır. PLC kanalı ile ilgili tüm bilgileri elde etmek çok zordur, ancak eğer mevcutsa bu yaklaşım kanal transfer fonksiyonunun deterministik bir karakterizasyonunu sağlamaktadır (Lampe ve ark., 2016).

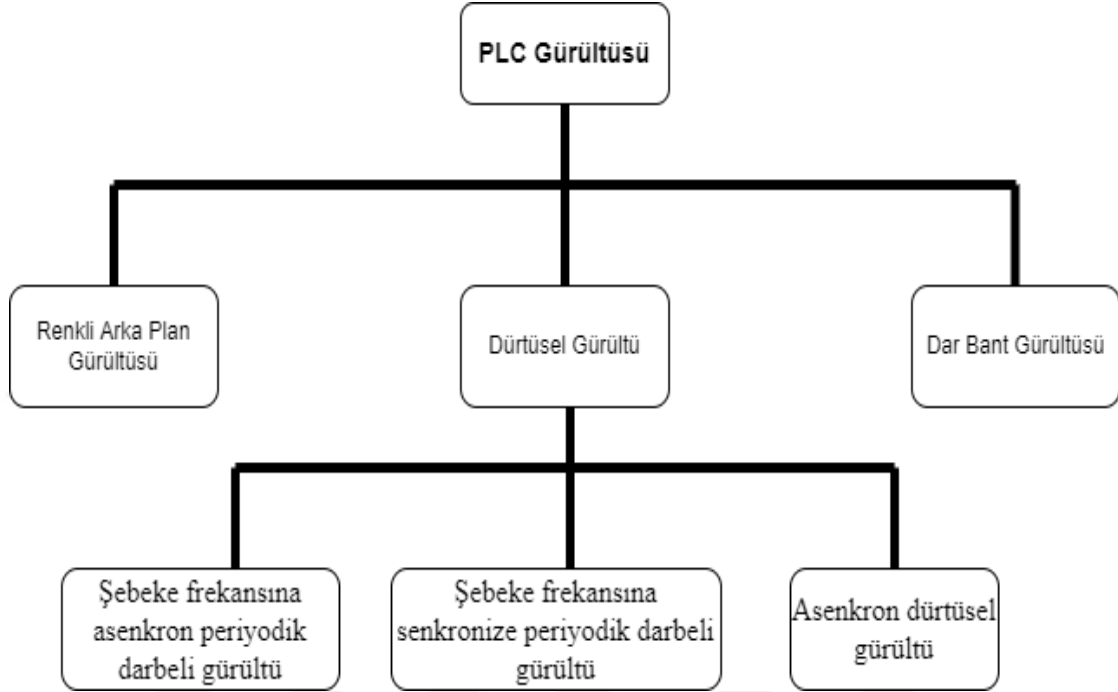
2.4.3. Hibrit yaklaşım

Son çalışmalarda belirtildiği gibi, hibrit yaklaşım hem yukarıdan aşağıya hem de aşağıdan yukarıya yaklaşımlar kullanılmaktadır. Önceden kanal bilgisi gerektiren deterministik yaklaşımlar ve kapsamlı ölçüm kampanyaları gerektiren ampirik tabanlı istatistiksel yaklaşımlar, güç hattı haberleşme kanalının modellenmesine ve karakterize edilmesine yardımcı olur.

2.5. PLC Gürültü Modelleri

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi, güç hattı haberleşme kanalı zamanla değişen ve gürültülü bir kanaldır. Bu PLC gürültüsü zamanla değişen bir sinyal ve Gauss şeklinde

değildir. PLC gürültüsünün genellikle üç ana sınıfı vardır: renkli arka plan gürültüsü, dar bant gürültüsü ve dürtüsel gürültü. Şekil 2.4, PLC gürültü türlerini göstermektedir (Bai ve ark., 2021).



Şekil 2.4. PLC gürültüsü türleri

2.5.1. Arkaplan gürültüsü

Arka plan gürültüsüne tipik olarak bir PLC sisteminin kuvvetlendiricilerinden üretilen termal gürültü neden olmaktadır. Güç spektral yoğunluğu frekans arttıkça azalmaktadır. Renkli arka plan gürültüsünü, bir filtre kullanarak spektral renklendirmeye tabi tutulmuş beyaz gürültü olarak modellemek mümkündür (Bai ve ark., 2021).

2.5.2. Dürtüsel gürültü

Dürtüsel gürültü veri iletimi için çok zararlıdır. Bunun nedeni, kısa süreli darbelerin çok yüksek genlikleridir. Zaman alanında rastgele oluşmaktadır. Böylece, iletişim sinyallerini ciddi bir şekilde bozmaktadır. Dürtüsel gürültü üç kategoriye ayrılabilir (Bai ve ark., 2021).

- Şebeke frekansıyla senkronize olan periyodik dürtüsel gürültü: Şebeke ile senkronize olarak meydana gelir ve genellikle güç kaynağı cihazlarındaki

diyotların anahtarlanması kaynaklanmaktadır. Bu tür bir gürültü yalnızca kısa bir süre, genellikle birkaç mikrosaniye sürmektedir.

- Şebeke frekansı ile senkronize olmayan periyodik dürtüsel gürültü: Daha yüksek bir tekrarlama oranına sahiptir ve esas olarak güç kaynaklarının değiştirilmesinden kaynaklanmaktadır.
- Periyodik olmayan asenkron dürtüsel gürültü: Genellikle beklenmedik geçiş geçişlerinden kaynaklanır ve tipik olarak bazı mikrosaniyelerden birkaç milisaniyeye kadar uzanmaktadır.

2.5.3. Dar bant girişi

Dar bant parazit gürültüsüne tipik olarak yayın istasyonları neden olmaktadır. Yakında bir kablosuz iletişim sistemi varsa, parazit oluşturur ve PLC sistemlerinin çalışmasını bozar (Bai ve ark., 2021).

2.6. PLC Zorlukları

Güç hattı haberleşme kanalları zamanla değişmektedir. Güç hatları üzerinden verimli ve güvenilir veri iletimini çeşitli faktörler etkilemektedir. En dikkate değer faktörler gürültü ve kanal zayıflamasıdır (Chao ve ark., 2013).

2.6.1. Gürültü

Zayıf sinyaller, kanal gürültüsüne daha duyarlı olma eğilimindedir. Bağlı cihazlar veya yükler, iletilen sinyali bozabilecek gürültü sinyali üretmektedir. Örneğin, Anahtarlamalı güç kaynakları (SMPS) sorunlu olabilir ve anahtarlama frekansı dikkatle değerlendirilmelidir. Anahtarlama cihazlarının etkisine ilişkin ayrıntılar sonraki bölümlerde verilmektedir.

2.6.2. Sinyal bozulması ve zayıflaması

Güç hatlarında PLC sinyallerinin zayıflaması ve bozulmasının birçok kaynağı vardır. Bu kaynaklardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Çok yollu yayılım – Bölüm 2.4'te belirtildiği gibi, dallanma noktalarındaki empedans uyumsuzlukları yansımalara neden olmaktadır. Birden fazla gecikmeli ve muhtemelen bozuk sinyal alıcıya ulaşacaktır.
- İletim hattı kayıpları – İletim ve alımı birbirine bağlayan PLC kablosunun karakteristik empedansı da sinyal zayıflamasına neden olmaktadır.
- Yük Empedansı – Elektrik şebekesine bağlı cihazlara göre sürekli değişmektedir.



3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

PLC (güç hattı haberleşmesi), daha önce yalnızca güç dağıtımı için kullanılan hatlar aracılığıyla verilerin iletilmesine izin vermek için mevcut altyapıdan yararlanır. Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (CENELEC) ve 500 kHz'in altındaki frekansları kullanan dar bant PLC'yi kontrol eden Federal İletişim Komisyonu (FCC) gibi standartlarla PLC, akıllı şebeke uygulamaları için çekici bir rakip haline gelmiştir.

Geniş bant PLC, daha yüksek frekanslarda çalışan ve son derece yüksek veri hızları üretebilen bir PLC türüdür. PLC teknolojisinin cazibesine rağmen, frekans seçici sönümleme ve renkli arka plan ve dürtüsel gürültü tarafından engellenen zamanla değişen bir kanal nedeniyle güvenilir bir iletim üretmenin zor olduğu kanıtlanmıştır.

(Shukla ve ark., 2011)'de, PLC'nin alternatif bir iletişim teknolojisi olarak nasıl kolayca benimsenebileceği anlatılmaktadır. Bu çalışma aynı zamanda PLC cihazları pazarının yakın gelecekte hem ağ hem de telekomünikasyon uzmanlarının ihtiyaçlarını karşılamak için Wi-Fi, Ethernet, kablo TV vb. PLC arayüzlerinin entegrasyonu ile gelişeceğini göstermektedir.

(Galli ve ark., 2011)'de açıklanan çalışma, PLC teknolojisindeki genel gelişmelere genel bir bakış sunarak, Akıllı Şebeke uygulamaları için PLC'nin uygulanabilirliğini kanıtlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca Akıllı Şebeke için PLC uygulama senaryolarını analiz ederken sönümlenen PLC kanal modelleri de dikkate alınmıştır.

En son teknolojinin titiz bir incelemesi, devam eden ilgili araştırma çalışmaları ve yenilikçi yollar gerektiren engeller aracılığıyla, (Sharma ve Saini, 2017)'de bahsedilen çalışma, akıllı şebeke uygulamaları için PLC standartlarının uygunluğunu araştırmıştır. Ayrıca PLC teknolojisinin sınıflandırılması, düzenlenmesi, standardizasyonu ve sertifikasyonunu da incelemiştir. Düşük/orta/yüksek hızlı PLC alıcı-vericilerinin faydaları ve uygulamalarının yanı sıra çeşitli sabit-iç/dış yeraltı kabloları ve havai hatlar arasında PLC tabanlı iletim ve dağıtım da bu çalışmada tartışılmaktadır.

Bir asansör sisteminin PLC kanalının yapısını anlatan önemli bir makale bulunmamaktadır. Bir asansör sisteminin esnek AC güç hatları üzerinden PLC uygulaması ile önemli bir ilişkisi olan mevcut kaynaklar giriş bölümünde verilmiştir. Sonraki bölümler, bu araştırmayla ilgili çok çeşitli çalışmalardan kategorik katkılar sunmaktadır.

3.1. Gürültü Modelleme ile İlgili Araştırmalar

Önemli ve zamanla değişen beyaz olmayan bir gürültünün varlığından dolayı, PLC sistemlerinde karmaşık iletişim şemalarının benimsenmesi için iletişim kanalları olarak güç hatlarının ortamı bilinmelidir. (Katayama ve ark., 2006)'da, minimum sayıda parametre ile güç hatlarındaki gürültünün zamansal değişkenini ve beyaz olmayan yönlerini temsil eden basit bir matematiksel temsil sunulmaktadır. Bu yazıda önerilen model, zamanla değişen renkli bir güç hattı gürültü ortamında iletişim sistemi tasarımı ve değerlendirmesi için bir kıyaslama ve aynı zamanda zamanla değişen insan yapımı gürültüyü incelemek için etkili bir araç olarak hizmet eder. Bu model, çok çeşitli gürültü ölçümlerini tanımlamak için kullanılabilir.

Dar bant PLC gürültüsünün davranışını hem zaman hem de frekans alanında yakalayabilen yeni bir döngüsel durağan model (Nassar ve ark., 2012a)'da önerilmiştir. Bu yaklaşım OFDM sistemleri için uygundur ve doğrusal bir periyodik zamanla değişen (LPTV) sistem kullanarak durağan bir işlemi filtrelemeye dayanır.

(Rouissi ve ark., 2019), Dar Bant PLC için 500 kHz'in altındaki frekans bandında bir dürtü gürültü modeli önermektedir. Sönümlü sinüzoidler şeklinde darbelere sahip iki durumlu bir model benimsendiğinde, ölçüm bulgularıyla eşleşen darbe gürültü modelinde bir gelişme vardır.

(Çürük, 2019)'da atıfta bulunulan çalışma, Middleton Sınıf A, Bernoulli Gaussian ve Alpha Stabil istatistiksel modeller dahil olmak üzere PLC sistemlerinin dürtüsel gürültüsünü karakterize etmek için çeşitli istatistiksel modelleri karşılaştırmaktadır. Bu çalışmanın bulguları, tümü dürtüsel gürültü için uygun olsa da, Middleton Sınıf A'nın daha genel olduğunu ve Bernoulli Gauss modelinin kompakt ve basit yapısı nedeniyle daha çok yönlü ve arzu edilir olduğunu göstermektedir.

(Voglsang ve ark., 2000)'de sunulan araştırma, 1MHz ila 30MHz frekans aralığında iç mekan elektrik hattı kanalı için istatistiksel bir gürültü modeli (SNM) sağlamaktadır. PLC kanalı, çeşitli elektrikli ekipmanlardan belirlenen SNM kriterlerine göre bir AWGN kanalı değildir. İstatistiksel bir gürültü modeli, PLC kanalının gürültü özelliklerini tanımlar. Bulgular, elektrik hattı iletişim sistemleri için bir gürültü simülatörü oluşturmak ve iyi bir ileriye dönük hata düzeltme şeması geliştirmek için kullanılabilir.

Dar bantlı güç hattı iletişimleri için uzun vadeli gürültü karakterizasyonunun zorluğu (Raponi ve ark., 2022)'de belirtilen çalışmada ele alınmaktadır. FCC bandı (10

kHz – 490 kHz) için zaman ve frekans alanlarındaki gürültü sürecinin istatistiksel bir tanımını ve ayrıca gürültü seviyelerini etkileyen uzun vadeli eğilimlerin istatistiksel bir analizini içerir. Veriler, üç ayrı konumdan birkaç gün içinde toplanan çok sayıda numuneden oluşur. Ayrıca durağanlık, otokorelasyon ve bağımsızlığın kapsamlı bir incelemesini de içerir.

Darbant PLC gürültüsü (Sonmez ve Bagriyanik, 2013)'te ölçülmekte ve değerlendirilmektedir. Zaman ve frekans alanı ölçümlerine dayalı bir güç hattı kanal gürültü modeli önerilmiştir. Şebeke gerilimleri, bir veri toplama cihazı (DAQ) ve dijital sinyal işleme uygulamaları kullanılarak iki farklı yerde ölçülür. (Nieman ve ark., 2013)'te yayınlanan çalışmaya göre, çoklu kullanım lokasyonlarında güç hattı gürültüsünün karakterizasyonu, asenkron darbesel gürültü ve dar bant gürültü kaydedilirken, ana gürültünün çevrimsel durağan olduğunu ve baskın periyodun AC döngüsünün yarısına eşit olduğunu ortaya koymuştur. CENELEC-A bandında çalışan G3-PLC için uyarlanabilir bir döngüsel modülasyon yöntemini uygulamak için ölçülen gürültü örneklerinin kullanılması, bu şemanın mevcut G3 modülasyon setini kullanarak verimi neredeyse ikiye katlayabildiğini ortaya çıkarmıştır.

(Cañete ve ark., 2005)'te, iç mekan güç hattı ağlarına bağlı elektrikli cihazların yüksek frekans özellikleri ana odak noktası, ana şebeke gerilimi nedeniyle kanalın sergilediği kısa vadeli varyasyona odaklanılarak incelenmiştir. Bu davranışı karakterize etmek için doğrusal, periyodik olarak zamanla değişen bir sistem geliştirilmiştir. Araştırma ayrıca zamanla değişen bir davranış gösteren deneysel bulgulara da yer veriyor. Evrensel Yazılım Radyo Çevre Birimi (USRP) donanımı ve DSP algoritmalarını kullanan kodlanmamış bir M-QAM Yazılım Tanımlı PLC alıcı-vericisinin yapısı (Iyiola ve ark., 2022)'de anlatılmıştır. Amacı, dürtüsel gürültü hatası ölçüm deneyleri için çok yönlü bir NB-PLC alıcı-verici ve test yatağı sağlamaktır. Deneysel ölçümler yoluyla toplanan iletilen ve alınan verilerin bir karşılaştırmasına göre, uzun hataları 4-QAM ve 8-QAM'de küçük ve 16-QAM'de büyük olduğu görülmüştür. Bu da daha yüksek hata oranının onu düşük dereceli QAM'den daha az etkili kıldığını gösterir.

Bir güç hattı ağındaki farklı çıkışlarda aynı anda ölçülen bir çift gürültü dalga formu arasındaki ilişki (Kawaguchi ve ark., 2006)'da tartışılmaktadır. Bir güç hattı ağında farklı yerlerdeki anlık gürültü gerilimleri bile, deneysel çalışmalara göre, özellikle de aynı şebeke fazındaki çıkışlarda gürültü dalga biçimleri alındığında korelasyon gösterir. Ev içi PLC durumu için (Luca ve ark., 2011), hem arka plan hem de dürtüsel gürültüyü içeren mevcut gürültü modellerini incelemektedir. Dürtüsel gürültü ile ilgili olarak, kaynakta

oluşan gürültü ve kanal etkisi dikkate alınarak 100 MHz'e kadar olan frekans aralığında basit bir modelin türetilbileceği gösterilmiştir.

(Karakuş ve ark., 2020)'de, PLC sistemleri için önde gelen darbeli gürültü modeli olan Middleton Sınıf A dağılımı da dahil olmak üzere iç mekan PLC sistemlerinde darbeli gürültü genliğini modellemek için beş istatistiksel modelin karşılaştırma analizi sunulmaktadır. Yaygın kullanımına rağmen, bu çalışmanın bulguları, Middleton A Sınıfı modelinin, iç mekan PLC ölçümlerinde dürtüselligi modellemek için en iyi seçim olmadığını ve deneysel olarak doğrulama yaparak sınırlı bir kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir. Gerçek iç mekan PLC sistemi gürültü ölçümlerinin analizi, simetrik α -kararlı dağılımının istatistiksel hata kriterleri açısından diğer ailelerle karşılaştırıldığında en iyi modelleme sonuçlarını aldığını göstermektedir.

Araç güç hattı iletimi, (Krasovsky ve ark., 2020)'de otomobillerde bilgi ve kontrol sinyallerini iletmek için uygun bir iletişim mekanizması olarak sunulmaktadır. Sinyalin kablolama yoluyla kısa darbelerle gönderildiği doğrudan dijital iletim, düşük maliyetli bir alternatiftir. Bu çalışma, darbeli gürültünün araştırılmasına ilişkin deneysel verileri içerir ve geçerli bir sinyal alma üzerindeki etkisini tartışır.

(Cheng ve ark., 2019)'da, güç hattı kanallarındaki patlama darbe gürültüsünün kapsamlı bir analizi sağlanmaktadır. Röle ve motor başlatma veya durdurma tarafından oluşturulan patlama darbe gürültüsünün zaman alanı ve frekans alanı özellikleri araştırılmıştır. Gürültü modeli parametreleri, bir veri toplama cihazı ve bir DSP yazılımı kullanılarak şebeke gerilimi ölçümlerinden oluşturulmuştur. Ölçülen özellikler, türetilmiş patlama darbe gürültü modeli kullanılarak simüle edilmiş ve sonuçlar, gerçek güç hattı gürültüsüne büyük ölçüde benzemiştir.

(Meng ve ark., 2005)'te, güç hattı gürültüsünün istatistiksel dalgalanmasını karakterize etmek ve modellemek için hem arka plan hem de darbeli gürültüyü hesaba katan bir frekans alanı yaklaşımı önerilmiştir. Arka plan gürültü modeli, bir laboratuvar ve bir apartman dairesi olmak üzere iki bağımsız alanda yapılan iki uzun vadeli gürültü spektrumu ölçümünün bulgularının istatistiksel analizine dayanırken, dürtüsel gürültü modeli doğrudan gürültü kaynağı ölçümlerine dayanmaktadır. Sonuç olarak, Gauss olmayan istatistiklerle güç hattı gürültüsü mevcut olduğunda, tek taşıyıcı ve çok taşıyıcı modülasyon karşılaştırması, çok taşıyıcı şemanın tek taşıyıcı sistemden daha iyi performans gösterdiğini açıklamıştır.

(Oyeleke ve ark., 2021)'de, Nijerya'da bir ev ve işyeri ortamındaki PLC kanallarındaki çeşitli gürültülerin bir karakterizasyonu sağlanmaktadır. Araştırma, birçok

gürültü türünü, kaynaklarını ve PLC veri iletimi üzerindeki olası etkilerini tanımlar. Deneysel ölçümlerin bulguları, PLC kanalının beyaz gürültü, renkli gürültü ve dürtü gürültüsü içerdiğini göstermektedir.

Şiddetli ortamlardaki gürültü koşullarını en iyi şekilde açıklamak için (Tan ve ark., 2017)'de dürtüsel gürültü ile arka plan gürültüsünü birleştiren pratik bir gürültü modeli önerilmiştir. Gürültü modeli parametreleri, bir veri toplama cihazı ve bir DSP yazılımı kullanılarak şebeke gerilimi ölçümlerinden oluşturulmuştur. Gürültünün özellikleri hem zaman hem de frekans alanında araştırılmıştır ve önerilen modelin simülasyon sonuçları gerçek güç hattı gürültüsüne çok benzemektedir. Uzun süreli darbe gürültüsü ile birlikte kullanıldığında, bu model son derece kullanışlıdır.

(Rieken, 2011) çalışmasında önemsiz olmayan geniş anlamlı bir periyodik bileşenin çok düşük frekanslı (VLF) bir PLC kanalında tanımlanabileceğini iddia etmenin yanı sıra gerçek güç hattı gürültüsünün ölçümleri hakkında çalışmıştır. Toplanan sonuçlar, gürültünün VLF frekanslarında veya altında döngüsel değil periyodik olduğunu göstermektedir. Bu, SNR'yi artırma olasılığını açar. (Nassar ve ark., 2012b)'de, kanal bozulmalarını ve dürtüsel gürültüyü modellemek ve bunların dar bant PLC sistemleri üzerindeki etkilerini azaltmak için sinyal işleme algoritmaları üzerine bir çalışma sağlanmaktadır. Öncelikle 50 veya 60 Hz'de tek yönlü güç akışı için oluşturulmuş ortamın kanal ve ek gürültüsünü analiz ederek mevcut ve ortaya çıkan standartlara dayalı iletişim performansını artırma yöntemleri araştırılmıştır. Bu çalışma, yalnızca döngüsel gürültü formlarının baskınlığını ortaya koymakla kalmaz, aynı zamanda mevcut modeller kullanılarak kanal bozulmalarının ve ek gürültünün nasıl en aza indirileceğini de gösterir.

Çeşitli çevresel ve topolojik konfigürasyonlarda PLC kanalı gürültü güç seviyesini çıkarmak için kapsamlı saha ölçümlerine dayanan PLC kanalının temel istatistiksel özellikleri (Baycan ve ark., 2018)'de açıklanmıştır. Bu çalışma, yerleşim ve sanayi bölgelerinin araştırılmasına ek olarak, çeşitli yerlerden kanal zayıflama ölçümlerini toplamıştır. Veriler, özellikle ilgilenilen bandın alt kısmında, dürtüsel gürültünün daha belirgin hale geldiği 9 kHz – 148 kHz bölgesinde toplanır. Gürültünün zamanla değişen doğası nedeniyle, güç seviyesi ölçümün yapıldığı zaman periyoduna göre büyük ölçüde değişir.

(Degardin ve ark., 2002)'de rapor edilen çalışma, iletim şeması optimizasyonu için bir gürültü modelinin temeli olarak hizmet eden istatistiksel özellikleriyle, dürtüsel gürültü ölçümlerine odaklanmaktadır. Tesis içi alçak gerilim elektrik güç dağıtımında gözlemlenen darbeli gürültü sınıflandırılmış ve istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Deneyssel veriler, daha sonra iletim yöntemini geliştirmek için bir simülasyon aracında kullanılan gürültü özelliklerinin ampirik dağılım fonksiyonlarını geliştirmek için kullanılır.

(Fernandes ve ark., 2015)'te belirtilen çalışma, Bernoulli-Gauss gürültüsü olarak temsil edilen ölçülen güç hattı gürültüsünün içe aktarılan tasarım parametrelerini tahmin etmek için bir teknik sunar. Brezilya'nın Juiz de Fora şehrinde birkaç gürültü örneği toplanmıştır. Algoritmanın kullanışlılığı, güç hattı gürültüsü için Bernoulli modeli kullanılarak üretilen sentetik gürültünün deneyssel sonuçlarıyla gösterilmiştir. (Mlynek ve ark., 2012)'de yayınlanan araştırma, özellikle gürültülü bir senaryoya odaklanarak PLC iletişim paradigmasına genel bir bakış sağlar. Ayrıca bu araştırma, bir PLC modeli, güç hattı modeli ve gürültü modeli içeren bir model sunmaktadır. Bu araştırmaya göre, bu model kabul edilebilir en iyi kodlama ve modülasyon yaklaşımlarını bulmak için uygundur.

(Tan ve ark., 2018)'de, güç hattındaki gürültü özelliklerini incelemek için dürtüsel gürültü ve arka plan gürültüsünden oluşan pratik bir gürültü modeli önerilmiştir. Dürtüsel gürültünün özellikleri, ev aletlerinin ölçümlerinden elde edilir. Arka plan gürültüsü, birbirini üzerine yerleştirilmiş birçok kaynaktan gelen gürültü kullanılarak modellenmiştir. Bu çalışmada önerilen gürültü modeli ile gerçek gürültü modeli karşılaştırılmakta ve simülasyon sonuçları önerilen ve gerçek güç hattı gürültüsünün son derece benzer olduğunu göstermektedir.

3.2. Kanal Modelleme ile İlgili Araştırmalar

10 MHz ila 30 MHz frekans aralığında iç mekan elektrik prizlerinde gerçekleştirilen PLC kanal darbe tepkisi ölçümleri ve gürültü ölçümlerinin sonuçları (Kim ve ark., 2002)'de rapor edilmiştir. Bu ölçümler, belirli bir çıkışta defalarca gerçekleştirilir ve kritik PLC kanal bilgilerinin çıkarılmasına yardımcı olur. Ölçülen kanal parametreleri, elektrikli cihazların neden olduğu gürültüden etkilenen zayıflama, ortalama aşırı gecikme ve RMS gecikme yayılımıydı.

Yukarıdan aşağıya bir stratejiye dayalı olarak, (Gassara ve ark., 2018)'deki çalışma, dar bantlı güç hattı haberleşmesi (PLC) için bir rastgele kanal üretici sunmaktadır. 500 kHz'in altındaki frekanslarda, ortalama kanal zayıflamasına, RMS gecikme yayılmasına ve tutarlılık bant genişliğine odaklanır. Rastgele üretilen PLC kanallarının zaman-frekans metrikleri, ölçülen kanallarinkilerle aynı istatistiksel

davranışa sahiptir. (Banwell ve Galli, 2001)'de açıklanan araştırma, güç hattı kanalının tek tip bir iletim hattı olarak ele alınmasıyla başlayan bir PLC kanalının transfer fonksiyonunu modellemek için yeni bir yöntem sunar. Bu, PLC kanalının basit iki bağlantı noktalı ağlar dizisi olarak tanımlanmasını sağlar ve topolojiden bağımsız olarak frekans alanındaki herhangi bir güç hattı kanalını modellemeyi kolaylaştırır.

Güç hattı iletim kablosu (Sartenaer ve Delogne, 2001) çalışmasında çok iletkenli bir iletim hattı olarak tanımlanmıştır. Zayıflama ve karakteristik empedans gibi çeşitli parametreler, 30MHz'e kadar bir frekans aralığında her mod için hesaplanır. Bu, geniş bant güç hattı iletişimi için ayrılan spektrumu içerir ve güç sistemi ağlarının kanal yanıtı hesaplanır.

(Zimmermann ve Dostert, 1999)'da, geniş bant frekans aralığında bir PLC kanalının karmaşık transfer fonksiyonunun bir modeli gösterilmektedir. Çok yollu sinyal iletimi gibi fiziksel etkilere dayalı olarak geliştirilen model, simülasyon ve ölçüm verileri arasında iyi bir uyum göstermiştir. Model, simülasyonların farklı ağ topolojilerini ve bunların iletişim sistemleri üzerindeki etkilerini araştırmak için kullanılmasına izin verir. Ayrıca, gelecekteki standardizasyonun yanı sıra çeşitli modülasyon ve kodlama şemalarının performansını karşılaştırmak için tipik kanalların referans modelleri oluşturulabilir.

Geniş bant frekans aralığı için PLC kanal karakteristiklerini modellemek için çeşitli yöntemler (Philipps, 1999)'da sunulmuştur. PLC kanal transfer fonksiyonu, bir yankı modeli ve bir seri rezonans devre modeli kullanılarak modellenmiştir. (Galli ve Banwell, 2006)'da sunulan araştırma ve veriler, bir güç hattı kanalını modellemek için çok iletkenli iletim hattı tekniğinin doğruluğunu doğrulamaktadır. Makale ayrıca, tekniğinin standart bir PLC kanal transfer fonksiyonunun mevcudiyetine yönelik kritik bir adım olduğunu iddia etmektedir.

(Ajenikoko, 2019)'da sunulan araştırma, PLC kanal modelini yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya iletişim yaklaşımlarını kullanarak incelemektedir. Kanal, birkaç ölçüm toplamak için hem zaman hem de frekans alanında bir referans sinyali ile değerlendirilmiştir. Zayıflamanın bir sonucu olarak, sinyal frekansındaki bir artış, daha kısa bir kapsama mesafesi ile sonuçlanır.

(Galli, 2010)'da verilen çalışma, bir PLC kanalı istatistiksel olarak modellenirken ortalama kare gecikme yayılımı ile kanal zayıflaması arasındaki bağlantıyı dikkate almaktadır. Bu yöntem, çeşitli iletişim teknikleriyle elde edilen verilerin kapsamlı bir

değerlendirmesini ve aynı zamanda PLC kanalı için sonuçların kolayca çoğaltılmasını sağlar.

(Banwell ve Galli, 2005; Galli ve Banwell, 2005)'teki çalışma, çok iletkenli bir iletim hattı tekniği kullanarak, iç mekan PLC kanalının doğru ve tam bir modelini geliştirmenin fizibilitesini analiz etmiştir. Devre modelini tanımlamak için basit iki kapılı bir ağ dizisi kullanılabilir. Vericinin çıkış empedansı, alıcının giriş empedansına eşit olduğunda, PLC kanalını, dağıtılmış bir parametre devresini tek bir toplu ağ ile değiştirerek iletim matrisleri aracılığıyla tanımlamak, PLC kanalının her iki taraftan da aynı transfer fonksiyonunu sergilediğini kanıtlamaya yardımcı olur.

(He ve ark., 2021)'de, paralel iki hatlı iletim hattı teorisine dayalı benzersiz bir PLC kanal transfer fonksiyonu modeli önerilmiştir. Bir güç hattı ağındaki bir kaynak ile bir terminal arasındaki gerilim oranının hesaplanması, PLC kanal transfer fonksiyonunu verir. Prosedürün uygulanabilirliğini ve önerilen modelin geniş bant frekans aralığında geçerliliğini doğrulamak için birkaç yük empedansı kullanılır.

(Galli, 2009)'a göre, iç mekan PLC kanallarındaki çoklu yol, lognormal dağılımlı sönümlemeye neden olur. İç mekan kanal kazancı ve Kök-Ortalama-Kare Gecikme Yayılımı da hem lognormal olarak dağıtılır hem de ters olarak ilişkilendirilir. (Barmada ve ark., 2006)'daki çalışma, hem ölçülebilir hem de geometrik kanal özelliklerini dikkate alarak zamanla değişen yükler için geniş bantlı bir PLC kanal modeli sağlar. Kanalin iki kapılı bir eşdeğeri, bir saçılma matrisi ile karakterize edilir. Kanal yanıtı için üst ve alt sınırların belirlenmesi, OFDM gibi PLC'de kullanılan modülasyon şemalarının optimizasyonuna yardımcı olur.

Ortalama PLC kanal kazancının istatistiksel bir analizi (Cortes ve ark., 2011) çalışmasında sunulmuştur. Ayrıca yüzlerce gerçek geniş bant PLC kanalının gecikmeli yayılmasını sağlar. Çok sayıda kanal modelinin etkinliği, ölçümlerden toplanan istatistikler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışma ayrıca aşağıdan yukarıya, yukarıdan aşağıya, Opera ve iki dokunuş dahil olmak üzere çeşitli kanal modelleri kullanılarak oluşturulan kanalların istatistiklerini de karşılaştırmıştır.

(Tonello ve Versolatto, 2011)'de, iç mekan durumu için istatistiksel bir aşağıdan yukarıya PLC kanal üretici ve tam olarak belgelenmiş bir topoloji üretme mekanizması sunulmaktadır. ABCD matris yöntemi ile bir karşılaştırmının yanı sıra kanal transfer fonksiyonlarının hesaplanması için verimli bir yaklaşım sunar. (Tonello ve Versolatto, 2010)'da rapor edilen araştırma ise simülatörün derinlemesine istatistiksel incelemesini

içermektedir. Çıkış sayısı, yükler vb. gibi topoloji özelliklerinin bir fonksiyonu olarak istatistiklerin çıkarılmasını sağlar.

Bir iç mekan PLC kanalı üzerindeki çok yollu etkiyi verimli bir şekilde hesaplamak için analitik bir yaklaşım (Anastasiadou ve Antonakopoulos, 2005)'te açıklanmıştır. Bu teknik, bir PLC ağında herhangi bir çift iletişim cihazı arasındaki iletimin kalitesini belirlemek için kullanılabilir. Bu çalışmaya göre, bir PLC kanalındaki çok yollu sinyal bileşenlerini tahmin etmek, ortalama kare gecikme yayılımı gibi metriklerin belirlenmesine yardımcı olabilir. PLC kanal davranışını tanımlayarak, verilen metodoloji genel bir güç hattı iletişim modeli geliştirmek için kullanılabilir.

Düşük gerilimli iç mekan PLC kanalları için uygun kanal yanıtları verebilen bir model (Cañete ve ark., 2001)'de tanıtılmıştır. Yaklaşım ölçeklenebilir ve çok çeşitli elektrik ağı konfigürasyonlarına uyarlanabilir. (Tlich ve ark., 2008b)'de, PLC kanallarının karmaşık transfer fonksiyonlarının büyüklüğünü ve fazını tanımlamak için sadece bir parametre kullanan deterministik bir model sunulmaktadır. Bir PLC kanal sınıflandırmasının yanı sıra ortalama büyüklük ve fazlı bir kanal modeli sunar.

Öte yandan, (Tlich ve ark., 2008a) geniş bant frekans aralığında kurum içi PLC kanalları için hem tutarlılık bant genişliği hem de zaman gecikmesi yayılma parametrelerinin incelenmesini amaçlamaktadır. Frekans bandının bir fonksiyonu olarak tutarlılık bant genişliğinde hızlı bir artış ve zaman gecikmesi parametrelerinde bir düşüş olduğunu göstermiştir.

İç mekan PLC kanalları için çeşitli PLC kanal modelleri (Cortes ve ark., 2013)'te araştırılmıştır. Hem modellenen hem de ölçülen kanal özellikleri OFDM tabanlı bir simülasyon kullanılarak analiz edilir. İç mekan elektrik ağlarının fiziksel doğasına dayanan geniş bant iç mekan PLC kanalları için bir kanal modeli (Cañete ve ark., 2011)'de açıklanmıştır. Daha az fiziksel parametre kullanarak gerçekçi kanallar vermenin yanı sıra rastgele PLC kanal sentezine izin vermek için istatistiksel dağılımlar önerir.

(Cañete ve ark., 2002)'de, düşük gerilimli iç mekan geniş bant PLC kanal özellikleri için bir model sunulmaktadır. Bu çalışma, laboratuvarlarda ve konut binalarında ölçümler yaparak daha yüksek veri hızlarında iletim için kanalın davranışını tahmin etmek için bir model sağlar. Yüksek frekans bandındaki iç mekan tek fazlı düşük gerilimli PLC kanallarının güç gecikme profili (Papaleonidopoulos ve ark., 2003)'te rapor edilmiştir. Simülasyonlar, kullanılan istatistiksel modellemenin geçerliliğini kanıtlamış ve PLC kanallarının istatistiksel özelliklerini tanımlayan bir model tanıtılmıştır.

(Götz ve ark., 2004)'te, çeşitli testler ve iletişim sistemlerinin karşılaştırmalı analizi için faydalı olan kanal öykünücülerinin oluşturulması için temel görevi gören uygun PLC kanal modelleri sunulmaktadır. Güç hattı kanallarının yüksek hızlı iletişim için büyük potansiyeli, kapasitelerinin temel bir değerlendirmesiyle gösterilir ve PLC sistem tasarımını optimize etmek için alternatif modülasyon şemalarının değerlendirilmesi yapılır.

İstatistiksel kanal modellemesi ve simülasyonu için yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya metodolojiler (Tonello ve Versolatto, 2009)'da önerilmiştir. Her iki yaklaşımın da gerçek ölçümlerden elde edilenlere benzer kanallar üretmesine rağmen, yukarıdan aşağıya yaklaşım daha basittir, aşağıdan yukarıya yaklaşım ise gerçek ağa çok daha yakın bir bağlantı sağlar.

(Esmailian ve ark., 2003)'te, geniş bant frekans aralığı için, gerçekçi PLC test kanallarının bir grubunu sözde rastgele sentezlemek için kullanılabilecek bir model oluşturulmuştur. Çalışma ayrıca, kanal modelindeki arka plan ve darbe gürültüsünü hesaba katarak, güç hattı modemlerinin performansını değerlendirmek için farklı güç hattı test kanalları sağlar.

Yukarıdan aşağıya tekniği, (Tonello ve ark., 2012)'de rastgele bir kanal üretici geliştirmek için kullanılır. Modeli bir gözlemlenen kanal koleksiyonuna sığdırmadan önce, çalışma çok yollu yayılımı ve birleştirme etkilerini bir analitik modelle analiz eder. Hem ortalama yol kaybı profili hem de kanal frekans yanıtının istatistiksel korelasyon fonksiyonu, önerilen model kullanılarak kapalı formda tanımlanabilir.

1,8 MHz – 100 MHz frekans bandında (Tonello ve ark., 2014)'te çok sayıda ölçülen kanalın analizinden, ev içi PLC kanalının istatistiksel bir karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, kanal kazancı, ortalama karekök gecikme yayılımı gibi PLC kanal parametreleri de incelenmiştir.

3.3. Gürültü Azaltma ve Hata Düzeltme ile İlgili Araştırmalar

Bir dar bant OFDM tabanlı PLC sisteminde kırpma/körleme doğrusal olmayanlık tekniğinin etkinliği (Korki ve ark., 2011)'de araştırılmıştır. PLC sisteminin bit hata oranı performansı MATLAB simülasyonu kullanılarak değerlendirilir. Elde edilen bulgulara göre alıcı, darbeli gürültünün etkisini azaltmak için Kırpma/Boşluk özelliğini kullanabilir. Dar bant frekans bölgesinde bu teknik, PLC sistemlerinin performansını

iyileştirmiştir. Bu çalışma aynı zamanda optimal Kırpma/Körleme ve sabit eşik Kırpma/Körleme tekniğinin karşılaştırmalı bir analizini sağlar.

(Bai ve ark., 2019)'da, serpiştirme ile dürtüsel gürültü azaltma sağlamak için çoklu sinyal sınıflandırması kullanılır. En küçük kareler yaklaşımı, frekans alanında dürtüsel gürültü tahmini için kullanılır ve zaman alanı serpiştirmeye dayanır. (Tan ve ark., 2021)'de, darbeli gürültü, uyarlanabilir serpiştirici ve boş taşıyıcı permütasyonunun bir kombinasyonu kullanılarak azaltılır. Sonuçlar, PLC sistemlerinde darbeli gürültü için önerilen IN azaltma stratejisinin basit ve etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

PLC sistemi için (Al-mawali ve ark., 2009)'da, kırpma ve boşluk bırakma gibi dürtüsel gürültü azaltma yaklaşımlarının karşılaştırmalı bir analizinin yanı sıra bir kırpma/boşluk araştırması sağlanmaktadır. (Prasad ve ark., 2014)'teki çalışma, optimum blok uzunluklarına sahip PLC sistemlerinde LDPC kodlarının uygulamasını incelemektedir. Önerilen QC-LDPC kodları, düşük SNR'lerde Turbo kodlarıyla karşılaştırılabilir hata oranlarına sahiptir. Öte yandan, daha yüksek SNR'lerde QC-LDPC kodları Turbo kodlarından daha iyi performans gösterme eğilimindedir.

(Sanz ve ark., 2009; Sendin ve ark., 2015)'te açıklandığı gibi, PRIME, çeşitli Akıllı ölçümler sağlamak için kullanılabilen OFDM tabanlı yeni bir güç hattı teknolojisi için tam bir taslak standarttır. Güç dağıtım ağlarında şebeke hizmetleri. PRIME PLC'de kullanılan ileri hata düzeltme tekniklerinden biri evrişimli kodlamadır. Güç hattı haberleşmesi için yeni bir fiziksel katman özelliği olan G3-PLC'ye genel bir bakış (Razazian ve ark., 2010)'da sunulmaktadır. Hataları düzeltmek için Reed Solomon ve evrişimli kodlama tekniklerini kullanan OFDM tabanlı bir PLC sistemidir.

Dürtüsel gürültü için sağlam bir kod çözme tekniği (Tseng ve ark., 2013)'te önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, darbe gürültüsünün kapsamlı istatistiksel bilgisini gerektiren, hesaplama açısından zorlu bir kod çözücünün yerine kullanılabilir. Alınan veriler büyük olasılıkla iletim sırasında kırılan ilgili modüle edilmiş sembol olarak yorumlanır. Sonuç olarak, kırpma işleminin kullanılması şartıyla olasılık yoğunluk fonksiyonu sıralı olarak hesaplanır. Bunu takiben, turbo kod çözücünün metriği, artan kodlamadan yararlanmak için değiştirilebilir ve bu da önerilen tekniğin esnekliğini teyit eder.

Kırpma şeması ve eşitleme (Kim ve ark., 2011)'de, PLC sistemlerinde dürtüsel gürültünün ve kanal zayıflamasının etkilerini azaltmaya yönelik yaklaşımlar olarak önerilmiştir. Kırpma şeması, alınan sinyalin genliğinin bir eşik seviyesinin üzerinde kırılmasını içerir. Gürültünün iletilen sinyal üzerindeki etkisini azaltma yeteneğine

sahiptir. Kanalin neden olduğu bozulma veya zayıflama bir ekolayzır kullanılarak düzeltililebilir. Önerilen şemanın bit hata oranı (BER) tabanlı performansı, kırpma yaklaşımının geleneksel bir PLC sistemine kıyasla daha iyi performans sunduğunu göstermektedir.

(Kim ve ark., 2010)'da önerildiği gibi bir çift ikili turbo kodlu PLC sistemi, OFDM tabanlı PLC sistemi için önemli kodlama iyileştirmeleri elde etme yeteneğine sahiptir. Çalışmaya göre, kod çözme işlemindeki yinleme sayısı arttıkça bit hatası olasılığı performansı önemli ölçüde iyileşiyor. Ayrıca kodlama hızı arttıkça sistem performansının da arttığı ortaya çıkmıştır.

(Chuah, 2009)'daki çalışma, başarılı temel bant filtreleme ve çok çeşitli gürültü özellikleri üzerinde RS kod çözme için eşleşen filtreye bir darbe azaltma mekanizmasının dahil edilmesini önermektedir. Sonuçlar, önerilen stratejinin dürtüsel kanallarda eşleşen filtre tabanlı sistemlerden daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Bir serpiştiricinin olmaması, yüksek veri hızına ihtiyaç duyan PLC uygulamalarında kritik olan serpiştirme gecikmesini ortadan kaldırdığı için dikkate değerdir.

İyi optimize edilmiş bir LDPC kodunun, dürtüsel gürültü ile ayırık çok tonlu sistemlerde uygulanabilir bir aday kodlama şeması olduğu (Ardakani ve ark., 2005)'te gösterilmiştir. Belirli bir SNR'de bir LDPC kodunun optimizasyonu da bu çalışmada ele alınmaktadır.

(Laksir ve ark., 2019)'da tanıtılan çalışma, ileri hata düzeltme, serpiştirme ve sinyal işleme tabanlı teknikler dahil olmak üzere bir dizi stratejiyi vurgulamaktadır. Ek olarak, mevcut dürtüsel gürültü hataya dayanıklı tekniklerin karşılaştırmaları da bu araştırmaya dahil edilmiştir. Ayrıca, bu çalışmaya göre, polar kodların ve yarı döngüsel LDPC şemalarının daha iyi hata düzeltmesi sağladığı kanıtlanmıştır.

(Schaffenroth ve ark., 2021)'de, sonlu darbe tepkisi (FIR) filtrelerine dayalı yeni bir renkli darbeleri gürültü azaltma stratejisi tanıtılmıştır. Bu benzersiz teknikle, renkli dürtüsel gürültüye sahip simülasyonlar daha düşük bir BER gösterir. Ayrıca, değişken hızlı sürücülerden gelen darbeleri gürültüyü ölçerek önerilen azaltma yönteminin verimliliğini doğrulamak için gerçek veriler kullanılır.

Boşluk-doğrusal olmama tekniği ile üretilen taşıyıcılar arası girişim (ICI), (Zhou ve ark., 2021)'de hesaplanmıştır. Bu çalışma, ICI'yi kaldırmak için yinlemeli bir ICI iptal yaklaşımı sunar. Çalışmadaki simülasyon bulgularına göre önerilen yaklaşım hem BER'i hem de kanal tahmin performansını büyük ölçüde iyileştirmektedir.

Hem dar bant hem de geniş bant güç hattı iletişimleri (NB-PLC ve BB-PLC) için (Tuntoolavest ve ark., 2017)'de benzersiz bir sıralı kodlama yöntemi önerilmektedir. İç ve dış kodlar G3-PLC standardından farklı olarak düzenlenir ve serpiştirici kaldırılır. Hata ve silme kod çözücüsü, Reed-Solomon iç kodu (EED) olarak seçilir. Daha uzun hataları, vektör sembol kod çözme (VSD) ile ikili olmayan evrişimli bir dış kod kullanılarak düzeltilebilir.

Asenkron dürtü gürültü kanalları altında, (Su ve ark., 2021)'deki çalışma, Gigabit Ev Ağı (G.hn) geniş bant PLC sistemleri için çeşitli tasarımların performansını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Sinyal gücü azalması, darbeli gürültü kesme işleminin taşıyıcılar arası girişim (ICI) üretimi ve en küçük kare ekolayzerin gürültü-güç değişimi gibi parametreleri dikkate alan olabilirlik-değer hesaplamasını değiştirerek, performansının iyileştirilebileceği gösterilmiştir. Çalışma ayrıca, patlamalı dürtü gürültüsünden bozulmayı dağıtmak için bir serpiştirici kullanır.

Çeşitli gürültü biçimlerinin PLC kanalı üzerindeki etkileri (Rajkumarsingh ve Sokappadu, 2019)'da test edilmiş ve analiz edilmiştir. Gürültüyü azaltmak için, En Küçük Ortalama Kare (LMS) filtre tekniğine sahip Uyarlanabilir Gürültü Engelleyici (ANC) uygulanmıştır. Hem dürtüsel hem de Gauss gürültüsü, LMS filtresi kullanılarak başarıyla iptal edilmiştir. LMS filtresinin uygulanması, bit hata oranını önemli ölçüde azaltır.

PLC'lerde dürtüsel gürültüyü azaltmak için zaman alanı, zaman/frekans alanı, hata düzeltme kodu ve ek teknikler olmak üzere dört kategoriye ayrılan stratejilere genel bir bakış (Peter ve ark., 2014)'te sunulmaktadır. OFDM demodülasyon FFT işleminden önce, alınan zaman alanı sinyali, zaman alanı yaklaşımı kullanılarak darbeli gürültü azaltma işlemine tabi tutulur. Bununla birlikte, Zaman/Frekans yaklaşımı, OFDM sisteminin FFT demodülasyonunu Zaman/Frekans tekniğinden önce ve sonra içerir. Hata düzeltme kodlama tekniği, iletim sırasında hata tespiti ve olası düzeltme için kullanılabilir veri bitlerine artıklık bitleri ekler. Dürtüsel gürültünün ortadan kaldırılması açısından, hata düzeltme kodlamasının en etkili olduğu kanıtlanmıştır.

OFDM tabanlı güç hattı iletişim sistemlerinden periyodik darbeli gürültüyü ortadan kaldırmak için yeni bir yöntem (Mathew ve Prasanth, 2014)'te sağlanmaktadır. Gürültü, periyodik bir darbeli gürültü algılama tekniği ile tanımlanır ve uyarlanabilir bir çentik filtresi ile filtrelenir. Periyodik darbeli gürültü, LMS algoritmasına dayalı uyarlanabilir bir filtre ile de bastırılır.

3.4. Kanal Tahmini ile İlgili Araştırmalar

Düşük gerilimli PLC için OFDM'deki en küçük ortalama kareler (LMS) uyarlamalı kanal tahmin tekniği (Zhang ve ark., 2012)'de incelenmiştir. Yavaş zaman değişkeni özelliğine dayalı LMS uyarlanabilir kanal tahmini, minimum miktarda hesaplamaya, iyi kanal kullanımına ve kararlılığa sahiptir. Bir PLC sistemi için daha uygun bir kanal kestirim yaklaşımıdır.

PLC kanal tahmini için SVD tabanlı tahmin ve gürültü giderme algoritmalarının kullanımı (Gay ve ark., 2016)'da tartışılmıştır. Bu yaklaşımlar, üstel bir sinyal olarak kabul edilen PLC kanalının parametrik seyrekliğini kullanır. Simülasyon bulguları, bu yöntemlerin geleneksel yöntemlere uygun alternatifler olabileceğini göstermektedir. Yaklaşımlar PLC kanalıyla sınırlı değildir ve diğer iletişim kanallarıyla da kullanılabilir.

(Tunç ve Perrins, 2013)'te, geniş bant (BB) güç hattı haberleşmesi (PLC) için pilot tabanlı bir kanal tahmin yöntemi incelenmiştir. Çeşitli pilot düzenlemelerin performansını analiz etmek için araştırma, doğrusal veya kübik enterpolasyon kullanan en küçük kareler (LS) ve doğrusal minimum ortalama kare hata (LMMSE) tahmincilerini kullanır.

Güç hattı iletişim sistemleri için OFDM ve pilot sinyallere dayalı çok taşıyıcı modülasyonu kullanan bir kanal tahmini yaklaşımı (Picorone ve ark., 2014)'te ele alınmaktadır. Çalışma ayrıca OFDM tabanlı güç hattı iletişim sistemleri için kanal tahmini yaklaşımlarının kapsamlı bir incelemesini de içermektedir.

(Bogdanović, 2014)'te kanal tahmin tekniklerine odaklanan bir alçak gerilim güç hattı iletişimi (PLC) uygulaması sunulmaktadır. PLC kanallarının frekans seçici sönmüleme özellikleriyle etkin bir şekilde mücadele ettiğinden, OFDM şeması PLC sistemlerinde tercih edilen bir tekniktir. Bu çalışma, kanal tahmini OFDM tabanlı bir PLC sisteminde en önemli konulardan biri olduğundan, geliştirilmiş bir LS tahmin yaklaşımı önermektedir. Önerilen teknik ayrıca mevcut pilot tabanlı tahmin algoritmaları ile karşılaştırılır.

Alçak gerilim güç hatlarının kanal özelliklerine göre, (Liu, 2018)'de sıkıştırılmış algılama (CS) teknolojisine dayalı bir OFDM kanal tahmini yaklaşımı önerilmektedir. Bir OFDM sisteminde sıkıştırılmış algılama tekniğini kullanarak PLC kanal bilgilerini kurtarmak için ortogonal eşleştirme takibi (OMP) yöntemi kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, bir güç hattı taşıyıcı iletişim sisteminde, CS metodolojisine dayalı iletişim kanalı tahmini yaklaşımının uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Alt taşıyıcı iletim sembolleri için ilk pilot, CS kanal tahmin tekniği kullanılarak kullanıcı veri bilgilerinin

iletimi için tutulmuş, bu nedenle OFDM sistemlerinde bilgi iletiminin etkinliği geliştirilmiştir.

Bir temel bant modelindeki güç hattı iletişim kanalı darbe yanıtı, (Asadpour ve ark., 2016)'da bir alaka vektör makinesi (RVM) kullanılarak tahmin edilmiştir. Dörtüsel gürültü ve çok yollu etkiler altında bit hata oranı ve ortalama karesel hatanın (MSE) performansı araştırılmıştır. Önerilen yöntemin yakınsama hızı ve MSE, en küçük ortalama kare hatası kriterine göre hiperparametrelere doğru değerler uygulanarak iyileştirilir.

Düşük gerilimli bir güç hattı üzerinden OFDM için kanal tahmini (Zhang ve Chao, 2010)'da incelenmiştir. Klasik en küçük ortalama kareler (LMS) tekniği incelendikten sonra, bulanık çıkarsama (AVSF) dayalı uyarlanabilir değişken adım boyutu yaklaşımı sunulmaktadır. Bulgular, AVSF algoritmasının tahmini kanal değerinin gerçek değere yakın olduğunu ortaya koymaktadır. Algoritma, düşük gerilimli bir güç hattı boyunca dalgalanan kanalı başarıyla takip edebilir.

OFDM tabanlı bir düşük gerilimli PLC sistemi (Zhao ve ark., 2011; Zhao ve ark., 2012)'de tartışılmaktadır. Çalışma ayrıca pilot etkinliğini artırabilecek bir zaman alan yayılım yapısı önermektedir. Güç Hattı kanalının gürültüsünü ve zayıflamasını bastırmak için benzersiz bir kanal tahmini yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen yaklaşım, tüm pilot bilgileri tek bir OFDM sinyalinde tam olarak kullanır ve LMMSE'den daha düşük bir karmaşıklığa sahiptir. Simülasyonun sonuçlarına dayanarak, önerilen kanal tahmini yaklaşımı, özellikle Sinyal-Gürültü Oranı (SNR) daha düşük olduğunda, LMMSE tahmin edicisinden daha iyi performans gösterir.

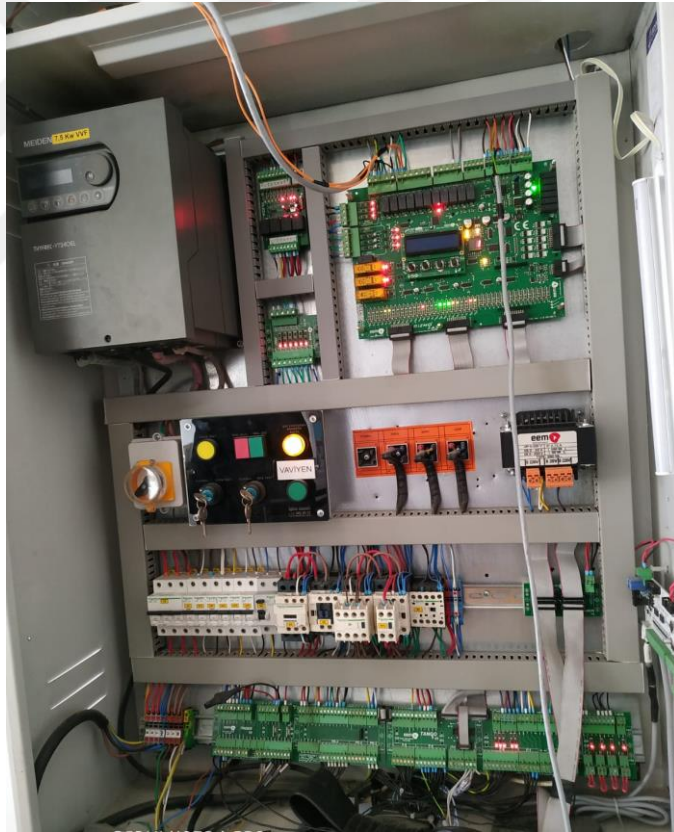
(Laguna-Sánchez ve ark., 2010)'da, dalgacık tabanlı tahmin ilkelerini kullanarak LS kanal tahminini geliştirmek için bir yaklaşım sağlanmıştır. Uygulama, Gauss ve yoğun darbeleri gürültüye sahip PLC sistemlerine yöneliktir. Bu çalışmada dalgacık alanında dürtü gürültü ile ifade edilmiştir. Bulgular, önerilen kanal tahmini yaklaşımının, kanal karakteristiğine yaklaşmak için basit bir yol sağladığını ve SNR düşük ve dürtüsel gürültü yoğun olduğunda bile gelişmiş kanal tahmini ile sonuçlandığını göstermektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Asansör PLC kanalının doğasını yakalamak için kullanılan ölçüm cihazları ve aksesuarları bu bölümde ele alınmıştır. Bu bölüm ayrıca, bu tez çalışmasında yer alan önemli parametrelerin kısa tanımını da vermektedir.

4.1. Asansör Sistemi

Çok katlı binaların katları arasında yolcu veya yük taşımak için, modern asansörlerin çoğu, bir kablo ve makara sistemi aracılığıyla bir karşı ağırlık yardımıyla elektrik motorlarını kullanır. Şekil 4.1, asansör sisteminde kullanılan bir kontrol panelini göstermektedir.



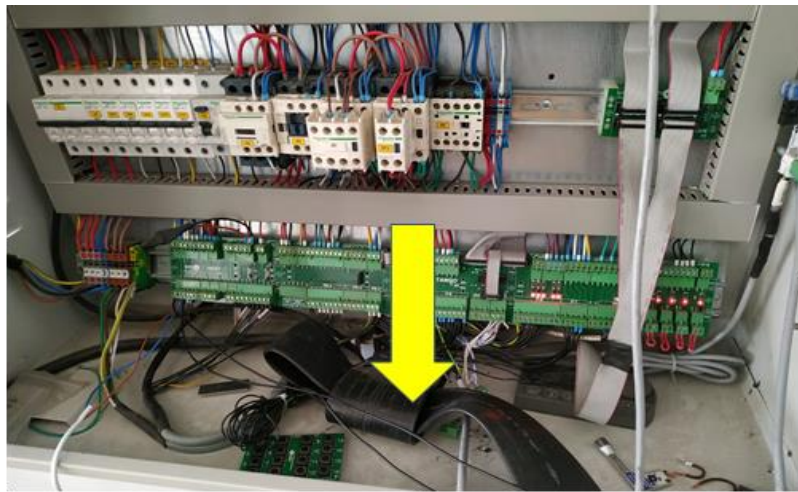
Şekil 4.1. Asansör kontrol paneli

Asansör kontrol panelinin birkaç elektronik cihaz içerdiği görülebilir. Örneğin invertör, asansör sisteminde kullanılan motoru kontrol etmek için kullanılır. Şekil 4.2 ise esnek kablolar ve asansör kabloları gibi kablolar ile asansör kabin kontrolü için kullanılan cihazları göstermektedir.



Şekil 4.2. Asansör kabini

Şekil 4.3'te gösterilen esnek kablo, kontrol panelinden asansör kabinine kadar uzanır. Diğer sinyallerle birlikte 220V AC sinyalini de kumanda panosundan kabine taşır. Bu tezde, bu güç hattı bir asansör sistemindeki PLC için bir ortam olarak ele alınmıştır.



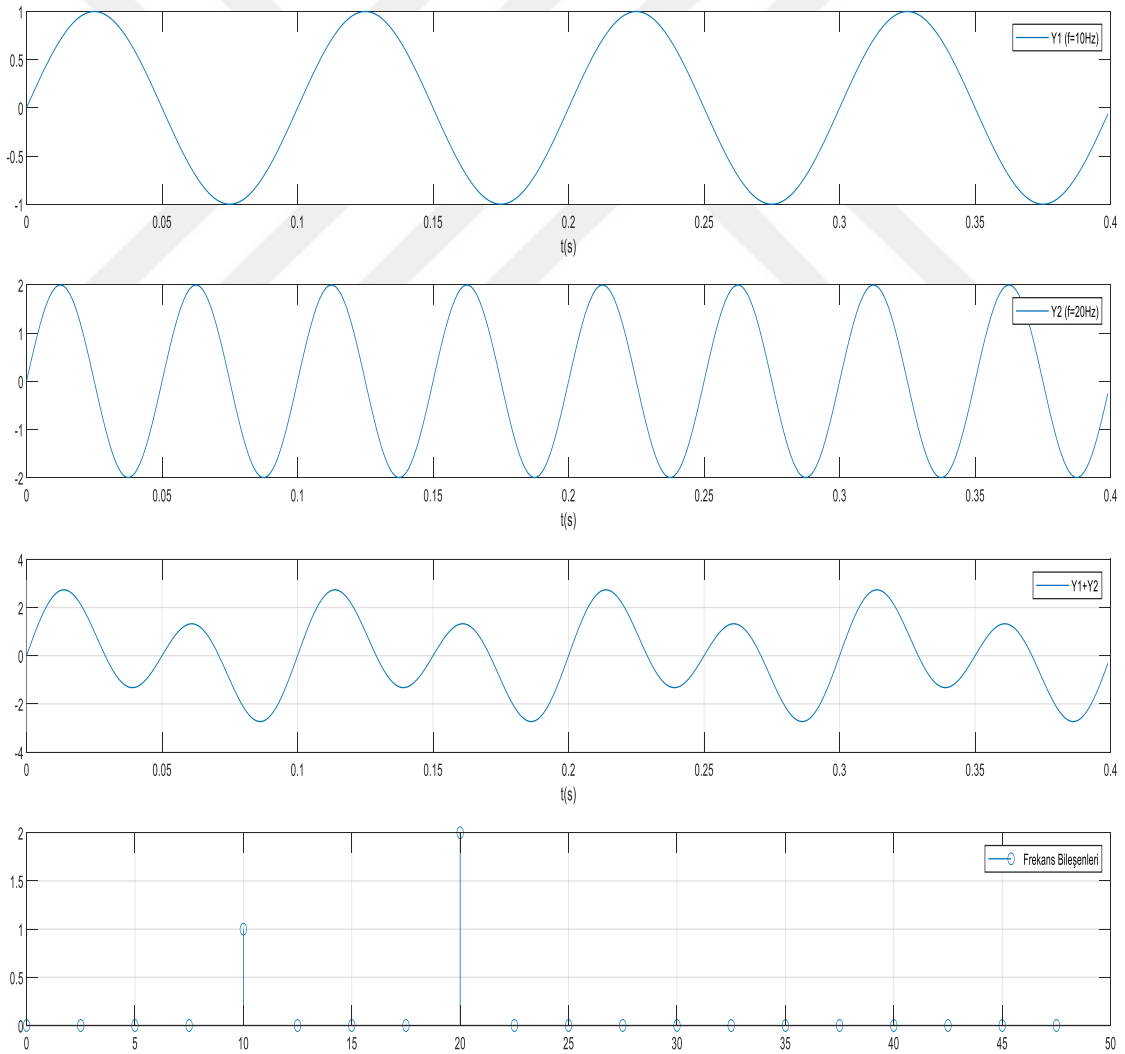
Şekil 4.3. Asansör esnek kablosu

4.2. Fourier Dönüşümü

Fourier dönüşümü (FT), zamana bağlı fonksiyonlardan frekans bileşenleri elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Fourier serisinin genelleştirilmesi aşağıdaki Denklem (4.1) gibi ifade edilebilir.

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (4.1)$$

Frekans ω , $2\pi/T$ 'nin tam katıdır. Burada T , $x(t)$ sinyalinin periyodudur. Şekil 4.4, belirli bir sinyali oluşturan frekans bileşenlerini gösterir.



Şekil 4.4. Fourier dönüşümü

Kırmızı renkle gösterilen grafik, üç sinüzoidin toplamıdır. Fourier dönüşümü, bu bileşenlerin büyüklüğünü ve fazını çıkarır. Ayırık Fourier dönüşümü (DFT) aşağıdaki Denklem (4.2) gibi edilebilir.

$$X_j = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-i2\pi kj/N} \quad (4.2)$$

N, zaman serisi uzunluğudur.

Hızlı hesaplama yeteneği nedeniyle, hızlı Fourier dönüşümü ayırık zamanlı Fourier dönüşümünü hesaplamak için kullanılmaktadır.

4.3. Kanal Darbe ve Frekans Cevabı

Giriş olarak bir darbe sinyali kullanıldığında, sistemin çıkışına darbe yanıtı denir. Aşağıdaki Şekil 4.5, temel bir dürtü yanıtını göstermektedir.



Şekil 4.5. Darbe ve frekans yanıtı gösterimi

Bir sistemi tamamen karakterize etmek için dürtü yanıtı kritiktir. Doğrusal zamanla değişmeyen bir sistemin dürtü yanıtını biliyorsanız, herhangi bir girdi biçimine tepkisini anlayabilirsiniz. Güç hattı kanalı zaman değişkeni olduğundan, darbe girişte her uygulandığında darbe yanıtı farklı olmaktadır. Birkaç ölçüm alarak, bir PLC kanalı için ortalama bir kanal modeli oluşturulabilmektedir. Bir dürtü yanıtının Fourier Dönüşümü, bir sistemin frekans yanıtıdır.

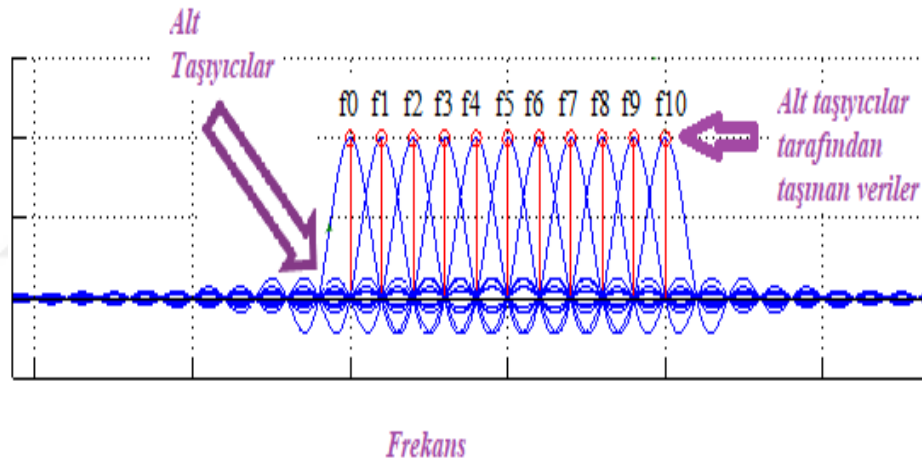
4.4. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM)

Esasen OFDM teknolojisi, veri akışını ortogonal kanallara bölerek her bir iletim kanalı arasındaki paraziti en aza indirmektedir. Diğer bir faydası ise her kanaldaki gürültü hakkında varsayımlarda bulunmasıdır. Model gürültüsünün geniş ve benzersiz bir geçiş

bandı kanalı üzerinde AWGN olduğunu varsaymak zordur. Eğer model biliniyorsa ve doğruysa optimal frekans eşitleme yöntemi seçilebilmektedir. Ancak, geniş geçiş bantlı kanallardaki gürültü modeli belirsiz ve tahmin edilemez.

Tek bir kanalı alt kanallara ayırma yaklaşımı, her bir alt kanal için yaklaşık olarak AWGN olduğu varsayılabilen gürültü varsayımlarını azaltır. Bu alt kanalların her birinde, her bir alt taşıyıcının ayrı bir frekans sunması ile bir dijital modülasyon gerçekleştirilir, böylece bir kanal diğerine müdahale etmez ve ortogonallığı korumaktadır.

OFDM modülasyonu yapmak için ters DFT (IDFT) kullanılabilir. IDFT'nin hızlı versiyonu olan IFFT, işlem süresini ve donanım gereksinimlerini azaltmak için kullanılabilir. Demodülasyon FFT kullanılarak da yapılabilir. FFT, DFT'yi hesaplamak için gereken işlem sayısını azaltır. Şekil 4.6, bir alt taşıyıcı örneği tarafından taşınan verileri göstermektedir.



Şekil 4.6. OFDM alt taşıyıcı örneği

OFDM, birkaç örtüşen ortogonal alt taşıyıcı kullanarak mevcut spektrumu yönetmektedir. Frekans seçiciliği azalması ve PLC kanalı üzerinde çok yollu yayılımın varlığı, OFDM tabanlı çözümleri daha yüksek veri hızlarında aktarım için paha biçilmez kılmaktadır. Zorlu PLC kanalları üzerinden güvenilir veri iletimleri kurmak için sağlam ve verimli bir veri kurtarma tekniği zorunludur.

4.5. Bit Hata Oranı (BER)

Bir iletişim kanalı aracılığıyla bir veri akışında alınan bitlerin sayısının gürültü, girişim, bozulma veya bit senkronizasyon hataları nedeniyle değiştirilme hızına Bit Hata

Oranı denir. Bit Hata Oranı veya BER, veri ağlarının performansını değerlendirmek için önemli bir ölçümdür. Bir iletişim kanalı üzerinden veri gönderirken dikkat edilmesi gereken en önemli parametre, diğer uçtaki veride ne kadar hata çıkacağıdır.

Belirli sayıda bittten oluşan bir dizide meydana gelen hataların sayısı, bit hata oranı olarak varsayılarak hemen çevrilebilmektedir. Bit hata oranı tanımı aşağıdaki Denklem (4.3) gibi ifade edilebilir.

$$BER = \frac{\text{Hatalı Bit Sayısı}}{\text{Toplam Bit Sayısı}} \quad (4.3)$$

Verici ve alıcı arasındaki ortam iyiye ve sinyal gürültü oranı güçlüyse, bit hata oranı çok düşük olmaktadır. Yayılma yolundaki gürültü ve değişiklikler, bir veri kanalının bozulmasının ve bunun sonucunda ortaya çıkan BER'nin ana nedenleridir. İletim verimliliği, PLC kanalının zaman değişkeni olması gerçeğinden büyük ölçüde etkilenmektedir.

4.6. İleri Hata Düzeltme ve Kanal Tahmini

İleriye dönük hata düzeltme (FEC), verilerdeki az sayıda hatayı yeniden göndermek zorunda kalmadan keşfetmenize ve düzeltmenize olanak tanıyan bir hata düzeltme tekniğidir. Bu yaklaşımda gönderici, veri çerçevesiyle birlikte fazladan bir hata düzeltme kodu göndermektedir. Verinin hatasız olduğu tespit edilirse, gerçek çerçeveyi oluşturmak için hata düzeltme kodunu çalıştırmaktadır. Mesaj üst katmanlara iletilmeden önce gereksiz bitler kaldırılır.

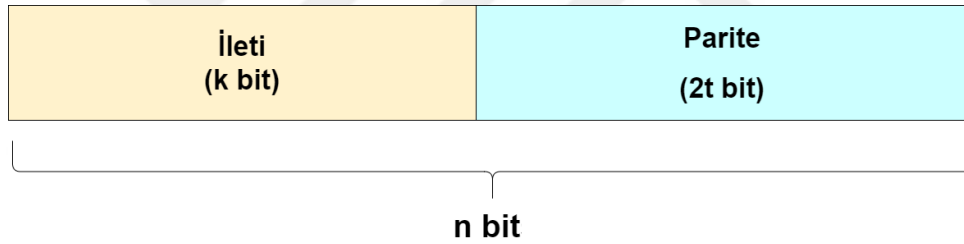
Blok kodlar ve evrişim kodları, ileri hata düzeltme için kullanılan iki tür hata düzeltme kodudur. Mesaj, Blok kodlarında sabit boyutlu bit bloklarına ayrılır ve hata düzeltmesi için fazladan bitler eklenmektedir. Öte yandan evrişimli kodlar, bir Boole işlevini veri akışı boyunca kaydırarak oluşturulan eşlik sembollerini oluşturmak için herhangi bir uzunluktaki veri akışları kullanılmaktadır.

Kanal tahmini, pilot destekli, yarı kör veya kör olarak karakterize edilebilir ve iletim kanalının doğasının karakterize edilmesini içermektedir. Alıcı tarafından bilinen eğitim sembolleri, pilot tabanlı tahmin tekniğinde veri akışı ile çoğullanır. Kanalı tahmin etmek için, pilot kanal tahmin yöntemi, alıcıda iletilen pilot sembollerin bir kavramı ve belirli bir pilot modele sahip ekstra bir pilot sembolü kullanılmaktadır. Alınan sembollerin istatistiksel verileri kör kanal tahmininde kullanılmaktadır. Başlıca avantajı,

çok fazla bant genişliği kullanmasıdır, ancak yalnızca zamanla değişen yavaş kanallar için iyidir ve alıcıda daha karmaşıktır. Yarı Kör kanal tahmini, kanal tahmininin pilotlar ve doğal kısıtlamalar kullanılarak gerçekleştirildiği pilot tabanlı ve kör kanal tahmininin bir kombinasyonudur.

4.6.1. Reed-Solomon hata düzeltmesi

Reed-Solomon kodları bir tür ikili olmayan Bose-Chaudhuri-Hocquenghem kodlarıdır (BCH kodları). Reed-Solomon kodları, bir ağ üzerinden gönderilen bozuk verilerin kurtarılmasına yardımcı olmaktadır. Reed-Solomon kodlarında, kodlayıcı verileri alır ve gürültülü ağ üzerinden geçirmeden önce orijinal veri bitlerle bazı eşlik bitleri ekler. Alıcıdaki bir Reed-Solomon kod çözücü, bozuk mesajları algılar ve orijinal verileri geri yüklemektedir. Reed - Solomon Kodu bir tür blok koddur. Şekil 4.7'de bir Reed-Solomon kod sözcüğü gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Reed-Solomon kod sözcüğü

$RS(n,k)$ Reed-Solomon kodudur ve $n=2m-1$ blok uzunluğudur. Mesaj boyutu k harfi ile gösterilmektedir. Blok uzunluğu ile mesaj boyutu arasındaki fark, eşlik kontrol boyutudur (yani $n-k$). Bir kod sözcüğünde, Reed-Solomon kodu t hataya kadar düzeltebilir ve $2t = n - k$.

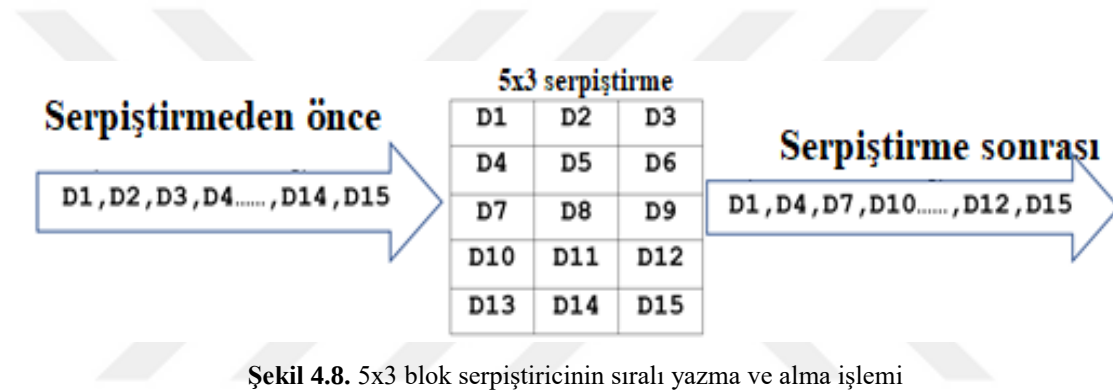
4.6.1. Evrişimli kod

Bilgi, bir evrişimli kod üretmek için bir lineer sonlu-durum kaydırma yazmacından art arda beslenmektedir. (n,k, K) bir evrişimli kodun temsilidir; burada k , kodlayıcıya bir defada kaydırılan bitlerin sayısıdır. Çoğu durumda, $k = 1$. k bilgi bitine karşılık gelen kodlayıcı çıkış bitlerinin sayısı n ile verilmektedir. $R_c = k/n$ kod oranıdır.

Geçerli giriş bitleri ve K içeriği n'yi belirler. (K - 1) bitlerinin değeri, kodlayıcının durumunu belirtmektedir.

4.6.3. Serpiştirme

Veri bozulmasının olası oluşumunu yaymak ve böylece alıcıda daha basit bir kurtarma mekanizmasını kolaylaştırmak için kodlanmış verilere serpiştirme uygulanmaktadır. Bu çalışmada, giriş verilerinin sıralı olarak yazılmasını ve çıkış sembollerinin alınmasını içeren (Jayalath ve Tellambura, 2000)'de bahsedilen blok serpiştirme kullanılmıştır. 5x3 blok serpiştiricinin basit bir gösterimi Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. 5x3 blok serpiştiricinin sıralı yazma ve alma işlemi

$R \times C = N$ boyutunda bir satır-sütun matrisinde düzenlenir, burada R ve C sırasıyla satır ve sütun sayısıdır. Serpiştirme, girdi verilerinin satır bazında bir $R \times C$ matrisine yazılması ve sütun bazında alınmasıyla gerçekleştirilir.

4.6.4. En küçük kareler

Eğrideki noktaların ofsetlerinin karelerinin toplamını en aza indirerek, bir grup veri noktası için en uygun eğriyi belirlemek için en küçük kareler yaklaşımı kullanılmaktadır. Regresyon analizi bu prosedürün adıdır ve eğri uydurma, regresyon verilerini analiz etmek için kullanılan bir tekniktir. En küçük kareler yaklaşımı, sağlanan ham verilere eğrileri yaklaştıran bir denklem uydurma yöntemidir.

Belli bir veri toplama için eğri uydurma tabii ki her zaman benzersiz değildir. Sonuç olarak, toplanan tüm veri noktalarından en küçük sapmaya sahip bir eğri bulunmalıdır. En uygun eğriyi bulmak için en küçük kareler yaklaşımı kullanılmaktadır.

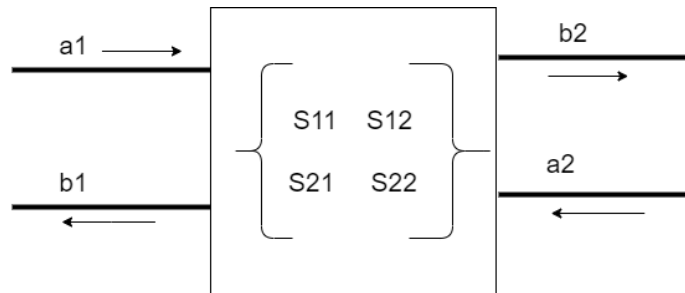
4.7. Saçılma Parametreleri

Doğrusal elektrik veya elektronik ağların saçılma parametreleri (S-parametreleri), kısa devre veya açık devre giriş ve çıkış portlarına ihtiyaç duymadan ölçülmektedir. Bunun yerine, bu portlar, tasarıma dahil edilen sonlandırma empedanslarına genellikle benzer veya hatta özdeş olan sabit ve bilinen karakteristik empedanslarda sonlandırılır.

Lineer iki portlu bir ağın S parametreleri, giriş ve çıkış portlarındaki gerilim ve akımların iç içe geçmesine karşıt olarak, giriş ve çıkış portlarındaki olay ve yansıyan enerji dalgaları arasında ilişki kurduğundan, bunlar mikrodalga yükselteçlerin tasarımında kullanışlıdır.

S parametreleri, RF elektronik devrelerinin ve bileşenlerinin doğrusal özelliklerini temsil etmektedir. S-parametre matrisinden kazanç, kayıp, empedans, faz grubu gecikmesi ve gerilim duran dalga oranı (VSWR) gibi doğrusal ağların özelliklerini hesaplayabilirsiniz.

S parametre matrisi, rastgele sayıda bağlantı noktasına sahip ağları tanımlamaktadır. Gelen dalga ile bir dizi frekans üzerinden her portta yansıyan ve iletilen dalgalar arasında bir ilişki sağlamaktadır. Örneğin, iki bağlantı noktalı bir cihaz için, dört elemanlı bir S-parametre verisi matrisi, Şekil 4.9'da gösterildiği gibi frekansın bir fonksiyonu olarak ağın çift yönlü davranışını temsil etmektedir.



Şekil 4.9. İki portlu bir cihazın S parametre gösterimi

S_{11} : giriş bağlantı noktası yansıması

S_{12} : ters kazanç

S_{21} : ileri kazanç (doğrusal kazanç/ekleme kaybı)

S_{22} : çıkış bağlantı noktası yansıması

Denklem (4.4) ve (4.5), iki portlu bir cihazın S parametre matrisini temsil eder.

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (4.4)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (4.5)$$

S-parametreleri kolaylıkla Z-parametrelerine, Y-parametrelerine ve diğer lineer matrislere dönüştürülebilir. S parametreleri, farklı çalışma koşulları üzerinde vektör ağ analizörleri (VNA) kullanılarak ölçülür. Sonuç olarak, RF test mühendisleri genellikle büyük miktarda S parametresi verisini işlemek zorundadır.

4.8. Veri Toplama Cihazları

Asansör PLC kanalının kanal ve gürültü özelliklerine karşılık gelen ölçümleri elde etmek için bir osiloskop ile birlikte bir vektör ağ analizörü kullanılmıştır. Bu veri toplama cihazları, bir PLC bağlantı devresi kullanılarak asansörün AC güç hattına bağlanmıştır. Bu düzeneğin kısa açıklaması aşağıdaki gibi tartışılmaktadır.

4.8.1. Vektör ağ analizörü

Rohde ve Schwarz ZVL13 Vektör Ağ Analizörü (VNA), hem boşa hem de hareketli asansör durumlarında pratik kanal ölçümleri elde etmek için kullanılmıştır. Bu vektör ağ analizörü, kompakt, güçlü ve geleceğe yönelik bir ağ analizörüdür ve bu nedenle geliştirme, üretim ve hizmette kullanım için idealdir. Şekil 4.10, tipik bir ZVL13 Vektör Ağ Analizörü (VNA) göstermektedir.

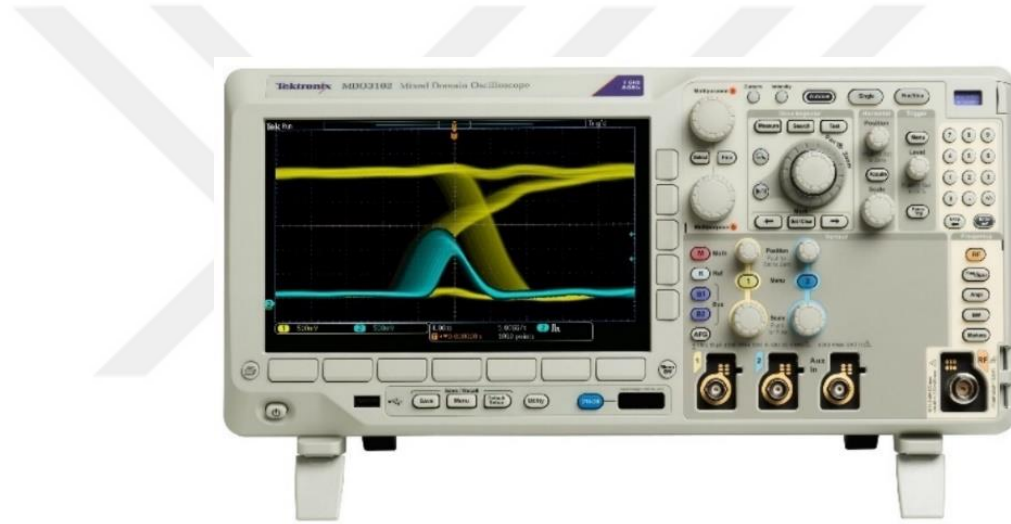


Şekil 4.10. Rohde ve Schwarz ZVL13 Vektör Ağ Analizörü (VNA)

Bir ağ analizörü, spektrum analizörü ve güç ölçerin fonksiyonlarını tek bir kutuda birleştiren tek araçtır ve böylece iş verimliliği büyük ölçüde artıracaktır. Ölçüm görevlerinin sıklıkla değiştiği laboratuvar uygulamaları için idealdir ve S-parametrelerini ölçmek için de kullanılabilir.

4.8.2. Karışık alan osiloskopu

Tektronix MDO3022 Karışık Alanı Osiloskopu (MDO), hem boşa hem de hareketli asansör durumlarında pratik gürültü ölçümleri elde etmek için kullanılmıştır. Şekil 4.11, tipik bir Tektronix MDO3000 serisi Karışık Etki Alanı Osiloskopunu (MDO) göstermektedir.



Şekil 4.11. Tektronix MDO3022 Karışık Alanı Osiloskopu (MDO)

MDO3000 Karışık Etki Alanı Osiloskopu (MDO) Serisi, entegre bir spektrum analizörü, keyfi fonksiyon üretici, mantık analizörü, protokol analizörü ve dijital voltmetre/sayıcı içeren bir osiloskoptur. MDO3000 tamamen özelleştirilebilir ve tamamen yükseltilebilir.

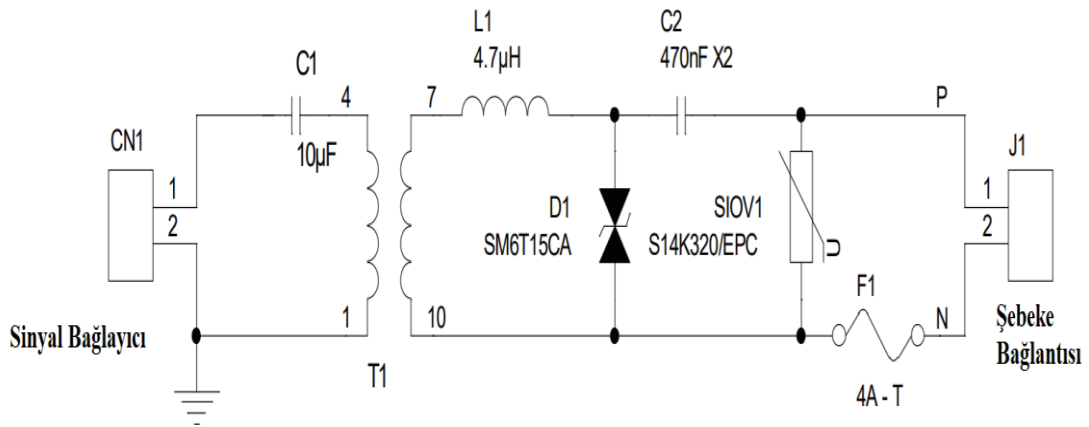
4.8.3. PLC bağlayıcılar

STEVAL-XPLM01CPL, AC güç ağlarında güç hattı iletişim testi için basit ama çok kullanışlı bir araç olan güç hattı haberleşmesi AC bağlantı devresidir. Şekil 4.12 tipik bir STEVAL-XPLM01CPL PLC kuplörünü göstermektedir.



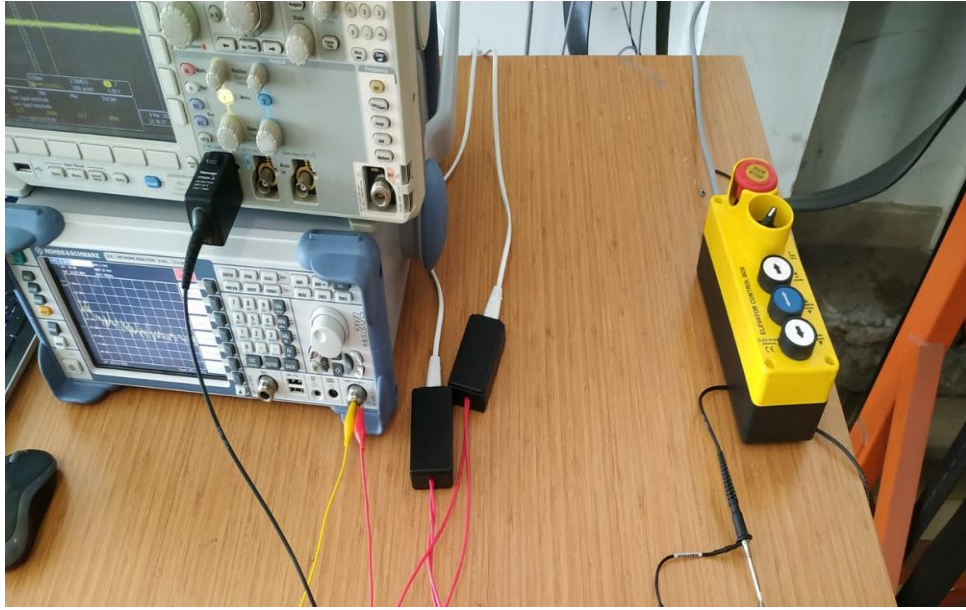
Şekil 4.12. STEVAL-XPLM01CPL PLC kuplörü

Kuplaj devresinin frekans yanıtı, normal test koşulları altında herhangi bir dar bantlı PLC sinyaline uyacak kadar geniştir. STEVAL-XPLM01CPL, bir osiloskop veya bir spektrum analizörü için izole edilmiş bir prob gibi ekipman kullanan laboratuvar ölçümleri için veya isteğe bağlı bir fonksiyon üreticiden bir sinyal enjekte etmek için uygundur. Şekil 4.13, STEVAL-XPLM01CPL PLC kuplörlerinin dahili devresini göstermektedir.



Şekil 4.13. STEVAL-XPLM01CPL devre şeması (Stmicroelectronics, 2017)

Bu kuplör, istenmeyen AC şebeke sinyalini filtreleyebilmektedir. Devre, bağlı cihazları korumak için bir varistör ve TVS diyotuna sahiptir. Ölçüm için kullanılan STEVAL-XPLM01CPL kuplörleri Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Ölçüm için kullanılan STEVAL-XPLM01CPL kuplörleri

4.9. Araştırma Metodolojisi

Yerleşim alanlarında alınan ölçümlerden elde edilen dar bant PLC gürültü modelleri ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Ne yazık ki, bir asansör sisteminin güç hattı kabloları boyunca güç hattı iletişim gürültü ölçümleri ile ilgili herhangi bir ölçüm yapılmamıştır. Bu çalışma, Tektronix MDO3022 Karışık Etki Alanı Osiloskopu (MDO) kullanarak birkaç pratik ölçüm yaparak asansör güç hatları boyunca mevcut olan gürültü özelliklerini sağlamaktadır.

Konut alanları gibi farklı sitelerden türetilmiş birkaç dar bant PLC kanal yanıt modeli vardır, ancak bu sonuçların hiçbirisi asansör güç hattı kablolarının PLC kanal özelliklerini içermemektedir. Bu çalışma, hem boşa hem de hareketli asansör durumlarında pratik kanal ölçümleri yapmak için Rohde ve Schwarz ZVL13 Vektör Ağ Analizörü (VNA) kullanılarak elde edilen bir asansör sisteminin PLC kanal karakteristiklerini sunmaktadır.

Bu araştırma aynı zamanda, asansör güç hattı kablolarının elde edilen dar bant PLC gürültüsünü ve kanal özelliklerini benimseyen OFDM tabanlı bir alıcı-verici simülasyonunu da göstermektedir.

- Bu çalışmada asansör sisteminin elektrik hatlarındaki gürültü kaynaklarını ve özelliklerini belirlemek için Tektronix MDO3022 Karışık Alanı Osiloskopu (MDO) kullanılmıştır.

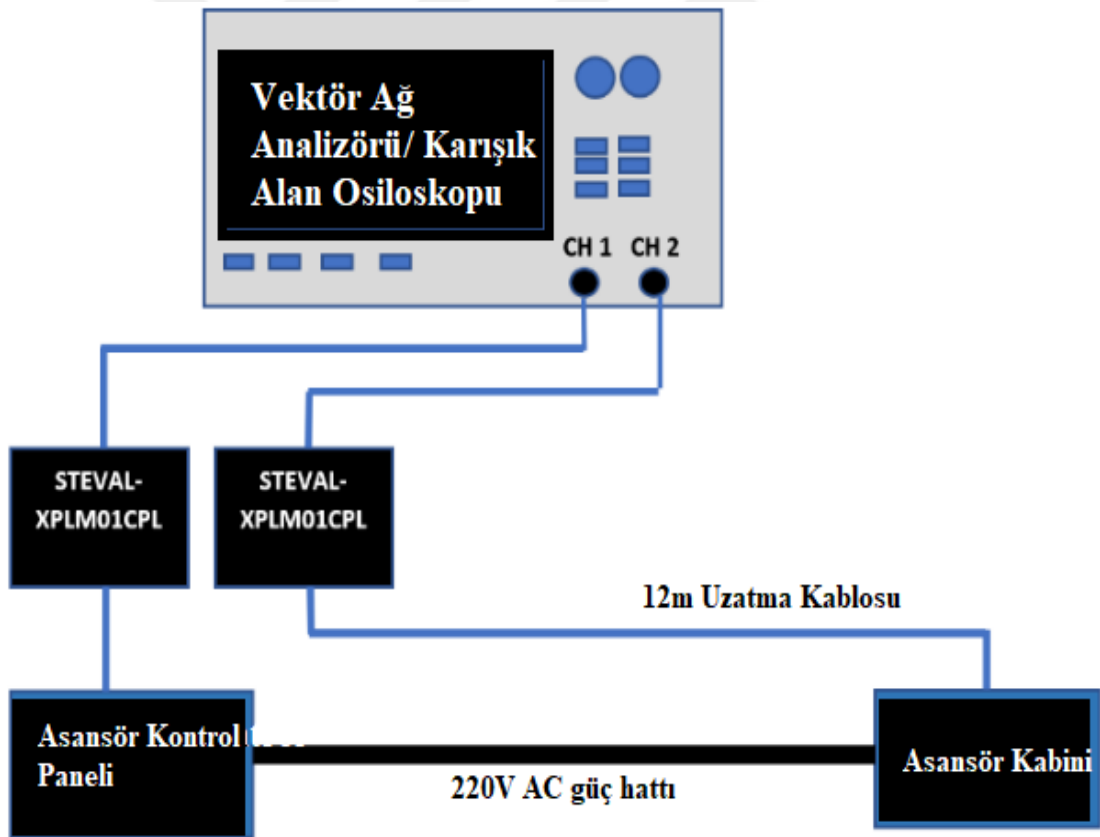
- Asansör güç hattı kanal bilgisi ve özelliklerini belirlemek için Rohde ve Schwarz ZVL13 Vektör Ağ Analizörü (VNA) kullanılmıştır.
- Elde edilen kanal ve gürültü bilgisi, asansör PLC kanalı karakterize etmek ve modellemek için analiz edilmiştir.
- Elektrik hattı üzerinden verimli bir haberleşmeyi sağlamak için var olan modülasyon tekniklerinden dikgen frekans bölme (OFDM) tekniği uygulanmıştır.
- Gürültüden dolayı alınan hatalı verilerden iletilmiş olan doğru verileri elde etmek için, var olan hata düzeltme kodlama tekniklerinden Reed-Solomon hata düzeltmesi, evrişimli kod ve serpiştirme gibi yöntemler MATLAB yazılımı vasıtasıyla uygulanmıştır.
- Kanaldan dolayı alınan iletilmiş olan verilere oluşan zayıflama ve bozulmayı gidermek amacıyla en küçük kareler yöntemi MATLAB yazılımı vasıtasıyla uygulanmıştır.
- Bir asansör sisteminin elektrik hatları üzerinden veri iletimini etkileyen ilgili parametreleri göz önünde bulundurarak sağlam alıcı-verici sistemi tasarlanmıştır.

5. ÖLÇÜM KURULUMU VE VERİ TOPLAMA

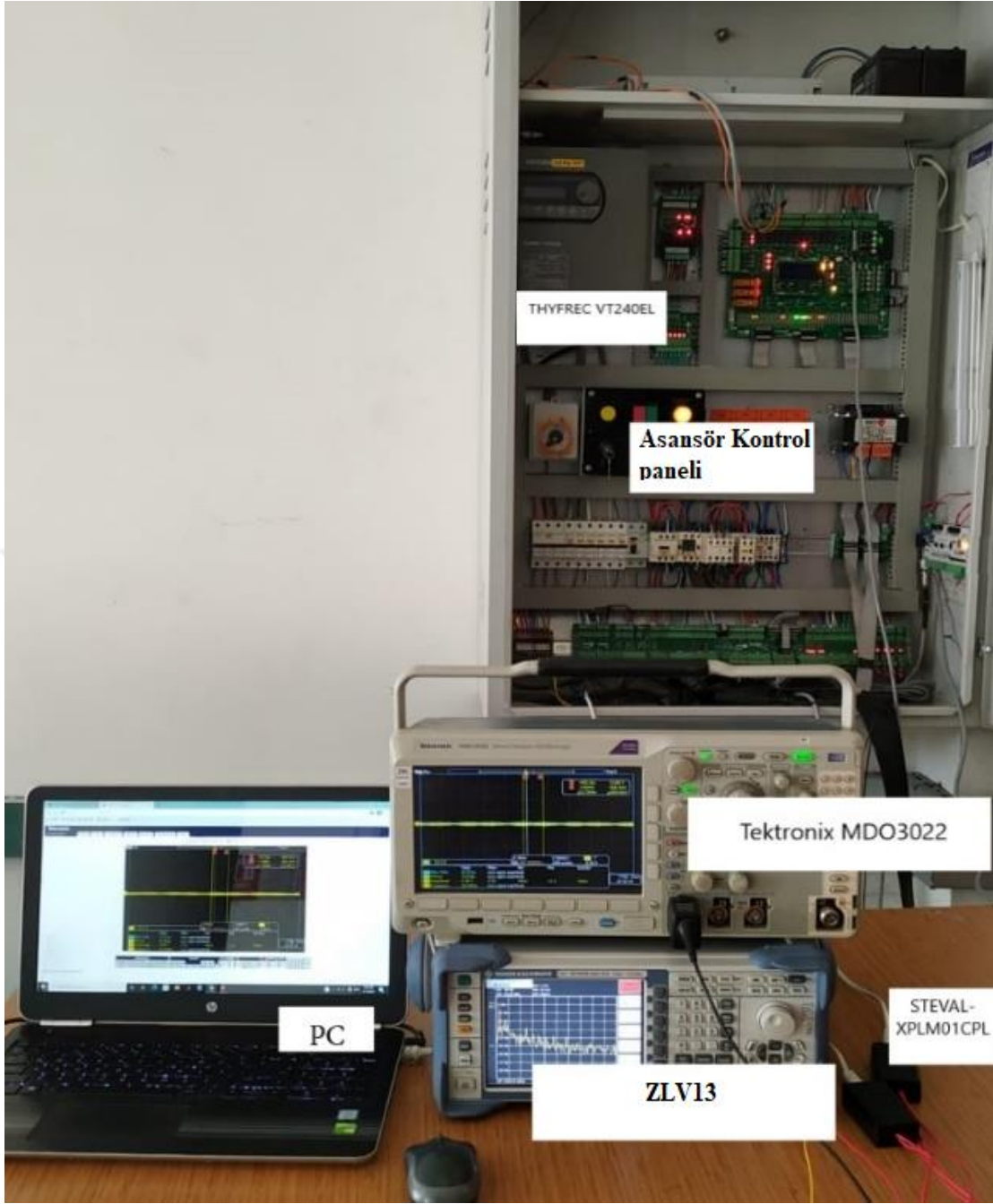
Dürtüsel PLC gürültüsünün karakterizasyonu, ya alıcı kuplörün bağlı olduğu portta ya da ana gürültü kaynaklarının bağlı olduğu portlarda gerçekleştirilebilen kapsamlı bir deneysel aktivite gerektirmektedir. Aşağıdaki bölümlerde ölçüm kurulumu ve elde edilen sonuçlar açıklanmaktadır.

5.1. Ölçüm Kurulumu

Asansör kumanda panosundan asansör kabinine kadar uzanan AC güç hattının gürültü ve kanal karakteristikleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de belirtilen ölçüm düzeneği kullanılarak elde edilmiştir. Ölçümler EEM Asansör Kontrol ve Otomasyon Sistemleri ana merkezinde yapılmıştır.



Şekil 5.1. Ölçüm kurulumunun blok şeması

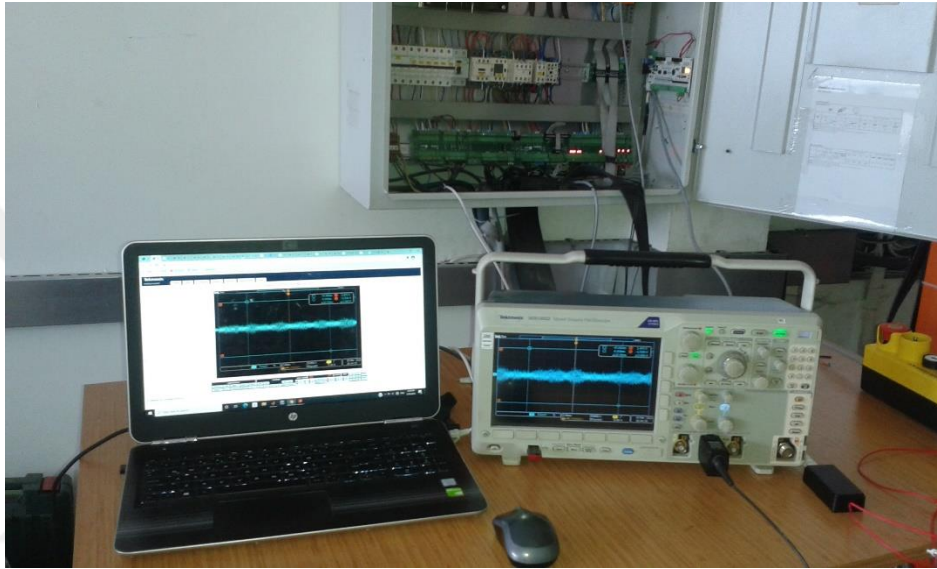


Şekil 5.2. Deneysel Ölçüm kurulumu

12 m uzatma kablosunun yanı sıra Şekil 5.1'de gösterilen iki kuplörün etkisi, veriler işlenmeden önce bir ayırma işlemi ile ortadan kaldırılmıştır. Güç hatlarına kuplaj cihazı vasıtasıyla bağlanan ölçüm cihazları, güç hattı kanalının zaman ve frekans alanlarındaki anlık değişimlerini elde etmek için kullanılmaktadır.

5.2. Gürültü Verisi Toplama

Şekil 5.2’de gösterilen Tektronix MDO3022 Karışık Alan Osiloskopu (MDO), PLC kanal gürültüsünü ölçmek için kullanılmıştır. Spektrum analizörü ve isteğe bağlı fonksiyon üretici gibi çeşitli işlevleri içeren entegre bir osiloskoptur. Mevcut her kanalda 10 Mega kayıt uzunluğu ile saniyede 5 Giga örneğine kadar örnekleme yapabilmektedir. Şekil 5.3, anlık PLC gürültü ölçümünü göstermektedir.

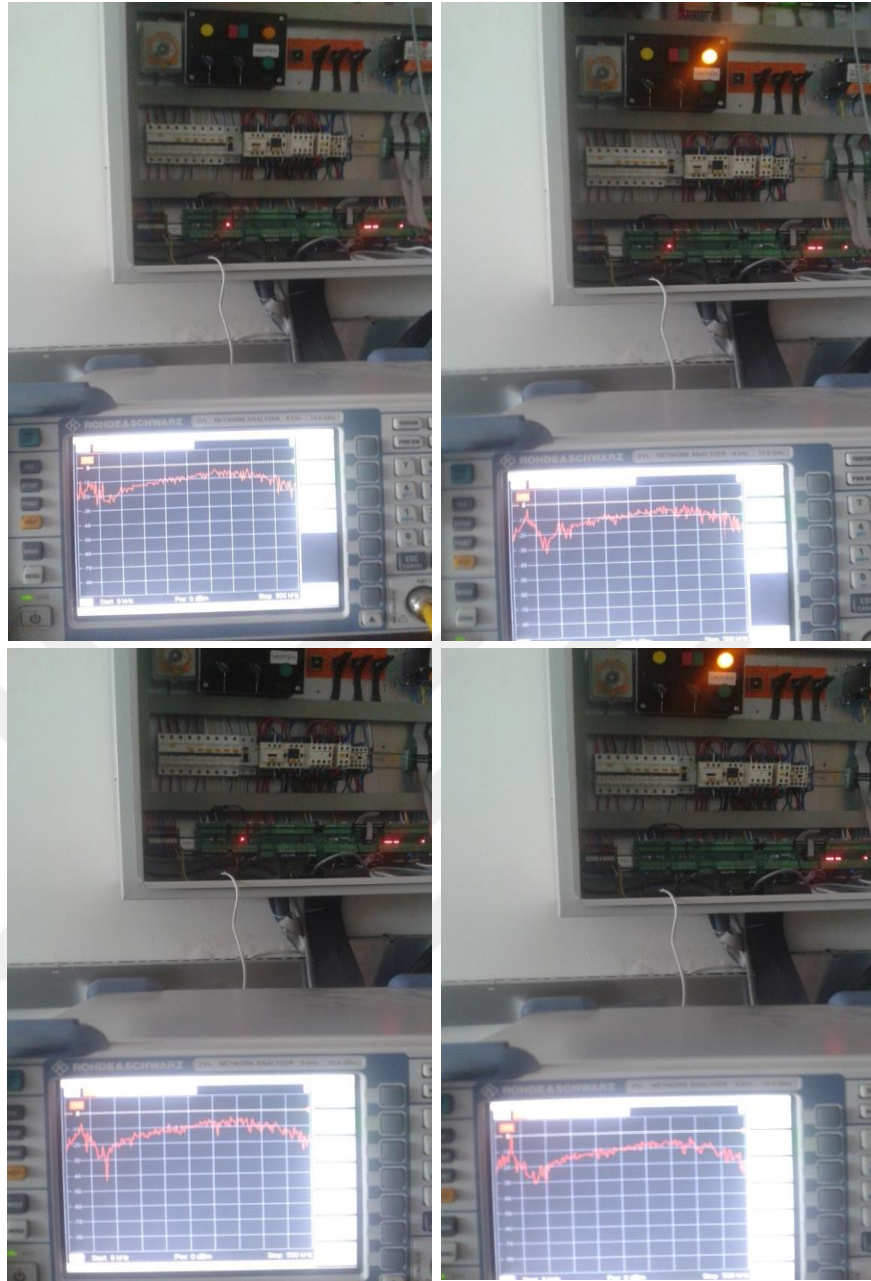


Şekil 5.3. Gürültü ölçümü

MDO, şebeke geriliminden izolasyon sağlamak için iki STEVAL-XPLM01CPL AC Kuplaj Devresi aracılığıyla güç hatlarına bağlanmaktadır.

5.3. Kanal Yanıt Verisi Toplama

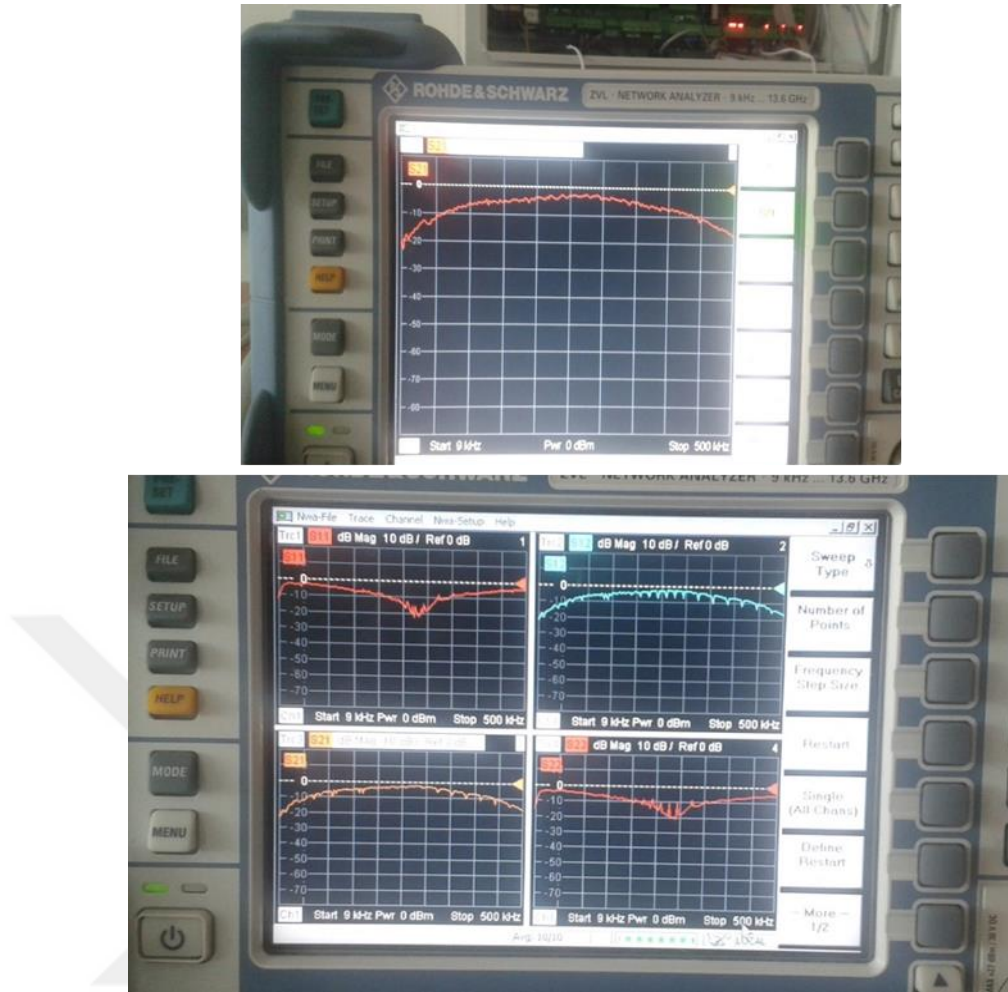
Rohde ve Schwarz ZVL13 Vektör Ağ Analizörü (VNA) yardımıyla 9 kHz ile 500 kHz arasında değişen frekans değerleri için hem boşa hem de hareketli asansör durumları için çeşitli kanal transfer fonksiyonu ölçümleri elde edilmektedir. 281 kHz - 500 kHz frekans aralıkları için nispeten tutarlı bir zayıflama sağlarken, asansör hareket etmeye başladığında kanal 281 kHz'den daha düşük frekanslar için zayıflamada ani bir değişiklik yaşamaktadır. Sonuç olarak, bu çalışmada veri iletimi 281 kHz ile 488 kHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Asansörün hem boşa hem de hareketli durumu için anlık ölçümlerin yanı sıra ortalama kanal tepkileri de gösterilmiştir. Şekil 5.4, asansör hareket halindeyken kanal tepkisini göstermektedir.



Şekil 5.4. Asansör hareket halindeyken kanal cevabı ölçümü

Kanalın daha düşük frekanslarda daha büyük zayıflama ve bozulmadan muzdarip olduğu yanıtın açıktır. Şekil 5.5 ise, asansör sabit durumdayken kanal tepkisini göstermektedir.

Rohde ve Schwarz ZVL13 Vektör Ağ Analizörü (VNA), test edilen cihazı (DUT) yeniden bağlamadan S parametrelerini ölçebilmektedir. VNA, şebeke geriliminden izolasyonu sağlamak için iki STEVAL-XPLM01CPL AC Kuplaj Devresi aracılığıyla güç hatlarına bağlanır.



Şekil 5.5. Asansör sabit durumdayken kanal cevabı ölçümü

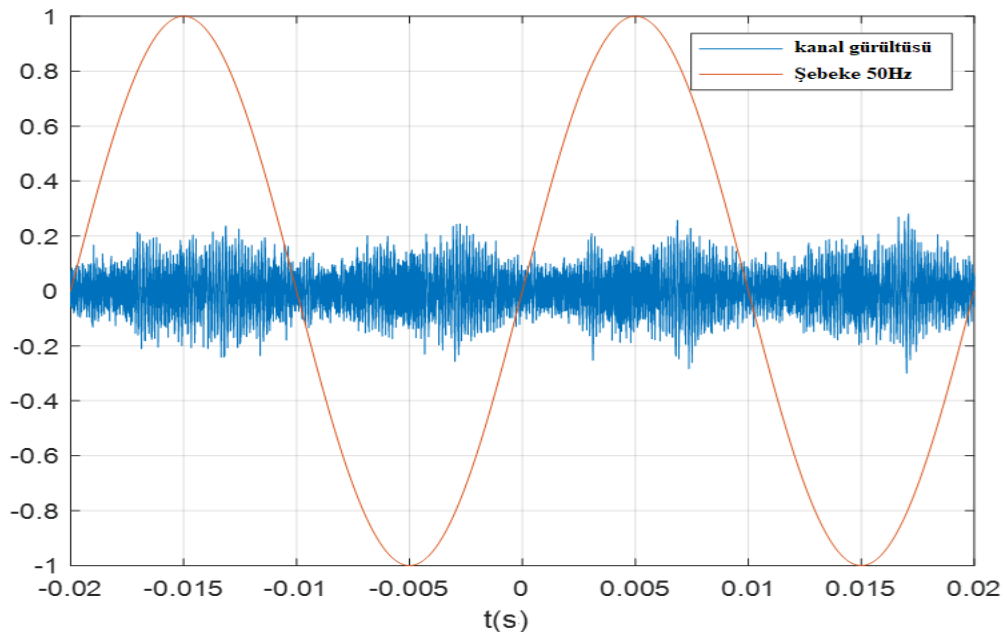
Test edilen cihaz (DUT) veya bir devre ağı için transfer fonksiyonunu belirlemeden önce, DUT için S parametrelerinin çıkarılması gereklidir. Bu normalde, çeşitli frekanslarda sinyalleri bir DUT'ye gönderen ve yansıyan/iletlen dalgaları ölçen bir vektör ağ analizörü ile yapılır. DUT'ye giden bağlantı armatürlerinin ve iletim hattının S-parametreleri çıkarıldıktan sonra, DUT'nin kendisi için S-parametreleri kullanılabilir hale gelir.

6. KANAL KARAKTERİZASYONU VE ANALİZİ

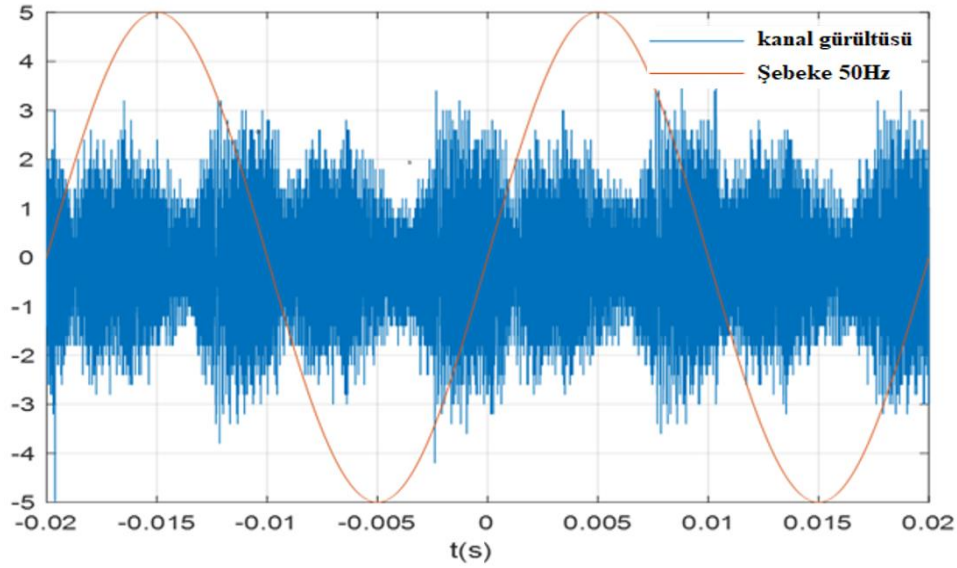
Dar bant PLC sistemlerinde karmaşık iletişim şemalarının tanıtılması için, iletişim kanalları olarak güç hatlarının ortamı bilinmelidir. Elektrik hatlarının en ilginç özelliklerinden biri, güçlü ve zamanla değişen beyaz olmayan gürültüdür. Bir prizdeki elektrik hattı gürültüsü, elektrik hattı ağına bağlı cihazlardan üretilen ve hatlara yayılan gürültü dalga biçimlerinin toplamıdır. Konvansiyonel iletişim sistemlerinin tasarımında ve analizinde, bir gürültü modeli olarak genellikle sabit eklemeli beyaz Gauss gürültüsü (AWGN) kullanılır. Ancak PLC sistemlerinde, bu insan yapımı gürültünün istatistiksel davranışı, durağan AWGN'ninkinden oldukça farklıdır. Gürültünün Gauss olmayan özelliklerinin genellikle PLC sistemlerinin düşük kalitesinin nedeni olmuştur.

6.1. Gürültü Analizi

Bir asansör sisteminin güç hatları üzerindeki gürültünün yakalanmasında hem ortalama hem de tepe algılama modu kullanılmıştır. Şekil 6.1, asansör boştayken ortalama mod kullanılarak yakalanan gürültü örneklerini göstermektedir. Her yarım şebeke döngüsünde tekrarlanan periyodik bir gürültünün varlığını göstermektedir. Şekil 6.2 ise, asansör boştayken tepe algılama modu kullanılarak yakalanan gürültü örneklerini göstermektedir. Dar darbelerin varlığını göstermektedir.



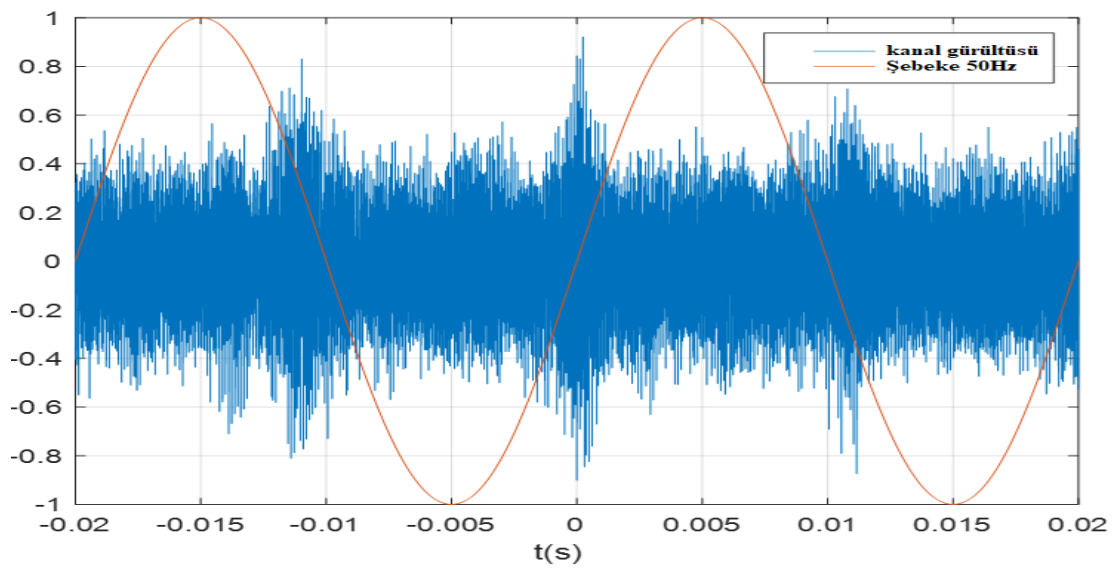
Şekil 6.1. Asansör boştayken ortalama mod kullanılarak yakalanan gürültü



Şekil 6.2. Asansör boştayken tepe algılama modu kullanılarak yakalanan gürültü

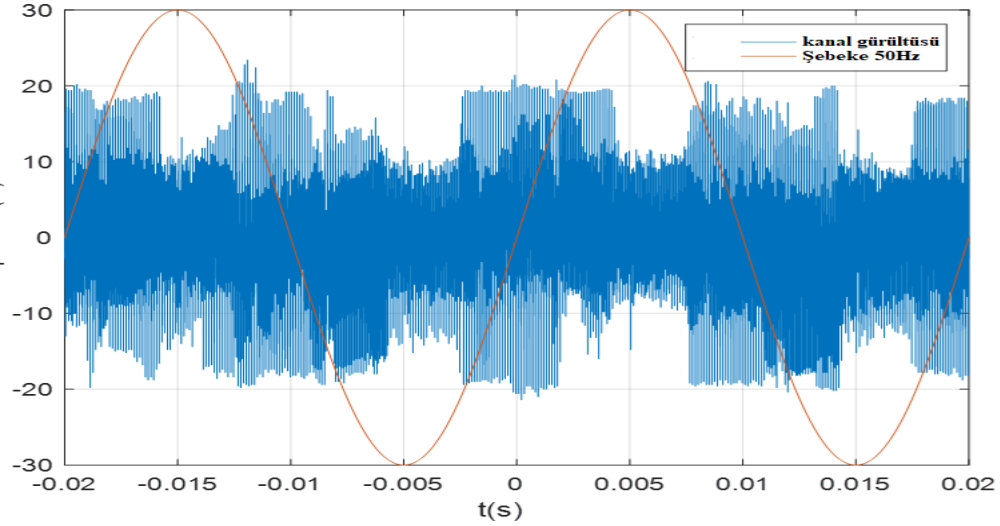
Şekil 6.3, asansör hareket halindeyken ortalama modu kullanılarak yakalanan gürültü örneklerini göstermektedir. Güç hattındaki gürültünün güç frekansının (50Hz) iki katı, yani $T_{AC}/2$ zaman periyodunda tekrarlandığını görebiliriz. T_{AC} , şebeke geriliminin zaman aralığıdır.

Elektrik hatlarındaki gürültünün özellikleri durağan değildir. Güç hattı gürültüsünün şebeke gerilimine senkron periyodik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Bunun nedeni, birçok cihazın şebeke geriliminin anlık değerine eş zamanlı olarak gürültü üretmesidir. Bazı anahtarlama cihazları belirli bir AC gerilimde açılır ve kapanır ve bu anahtarlama işlemleri ayrıca şebeke gerilimine senkronize darbelerle neden olmaktadır.



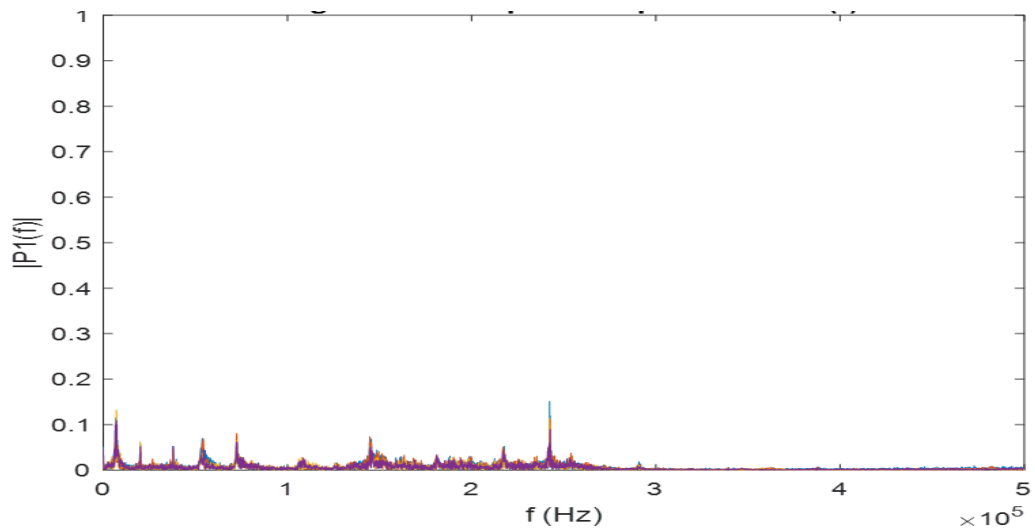
Şekil 6.3. Asansör hareket halindeyken ortalama modu kullanılarak yakalanan gürültü

Şekil 6.4, asansör hareket halindeyken tepe algılama modu kullanılarak yakalanan gürültü örneklerini göstermektedir. İnvertörden kaynaklanan gürültünün ölçülen gürültü dalga biçimine hakim olduğu görülebilmektedir.



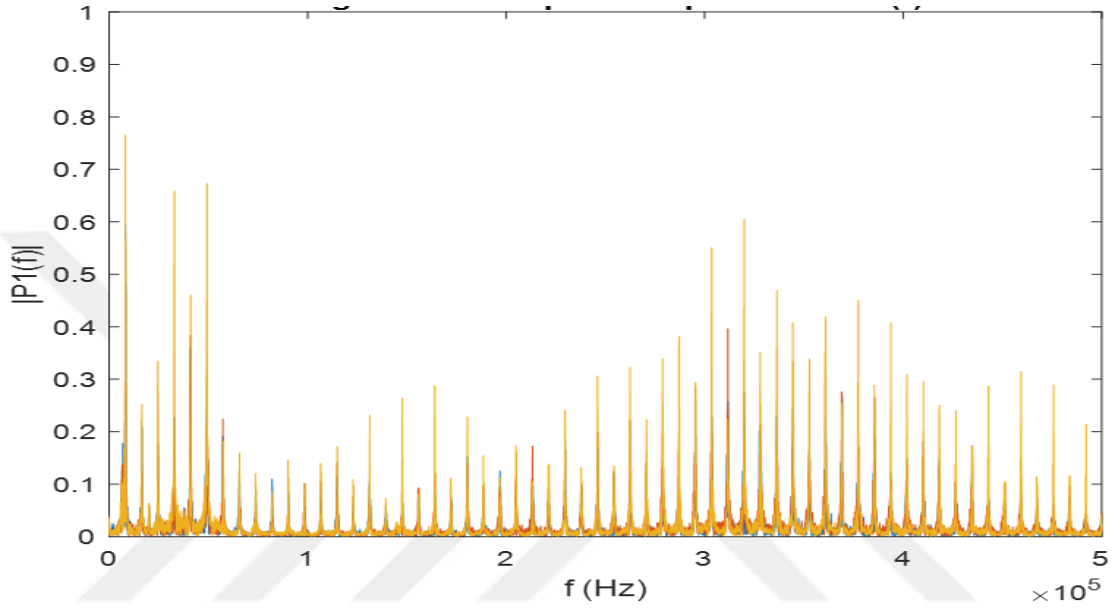
Şekil 6.4. Asansör hareket halindeyken tepe algılama modu kullanılarak yakalanan gürültü

Sinyal işlemenin merkezinde Fourier Dönüşümü (FT) bulunur. FT, bir fonksiyonu sinüslere ve kosinüslere, yani dalgalara ayırıştırır. Teoride, herhangi bir fonksiyon bu şekilde, yani farklı genlik ve frekanslardaki sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının bir toplamı olarak temsil edilebilmektedir. Verilere gömülü frekans bilgilerini çıkarabilmektedir. Asansör boştayken alınan gürültü örneklerinin Fourier dönüşümü aşağıdaki Şekil 6.5'te verilmiştir. Frekans arttıkça gürültü genliğinin azaldığı açıkça görülebilmektedir.

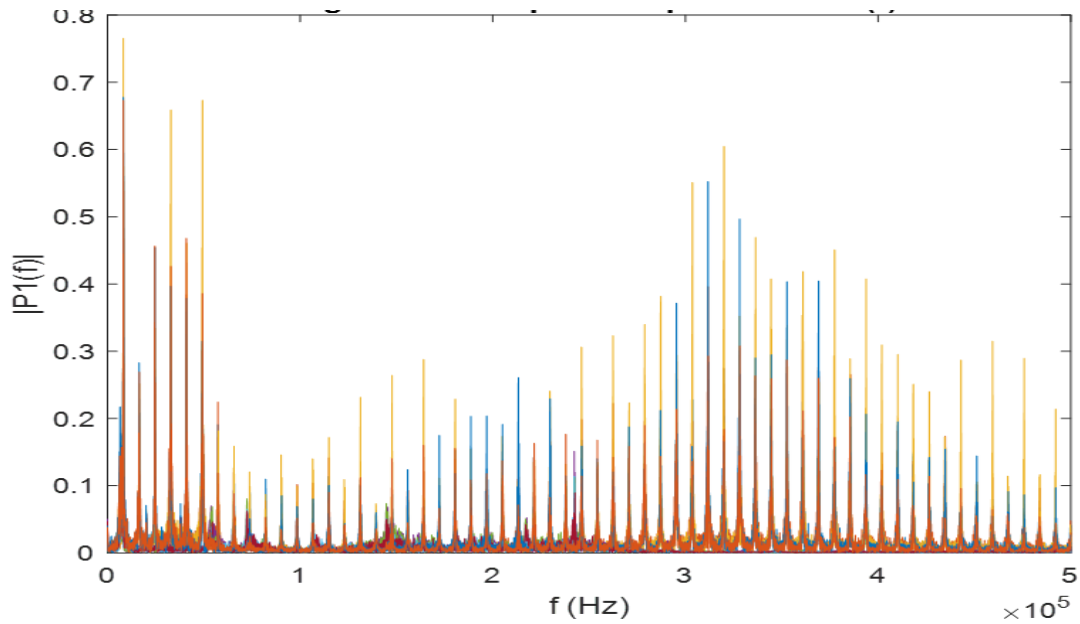


Şekil 6.5. Tek taraflı genlik spektrumu (Asansör boştayken)

Asansör hareket halindeyken alınan gürültü örneklerinin Fourier dönüşümü aşağıdaki Şekil 6.6'da verilmiştir. Harmonik gürültünün kanala girdiği açıkça görülebilmektedir. Asansör hız kontrolü için kullanılan invertör 8 kHz'lik bir taşıyıcı frekansa ayarlanmıştır, bu nedenle asansör hareket halindeyken 8 kHz temel frekanslı harmonik gürültü bileşenleri üretir. Asansörün hem boşa hem de hareket halindeyken genel gürültü örneği için Fourier dönüşümleri aşağıdaki Şekil 6.7'de verilmiştir.

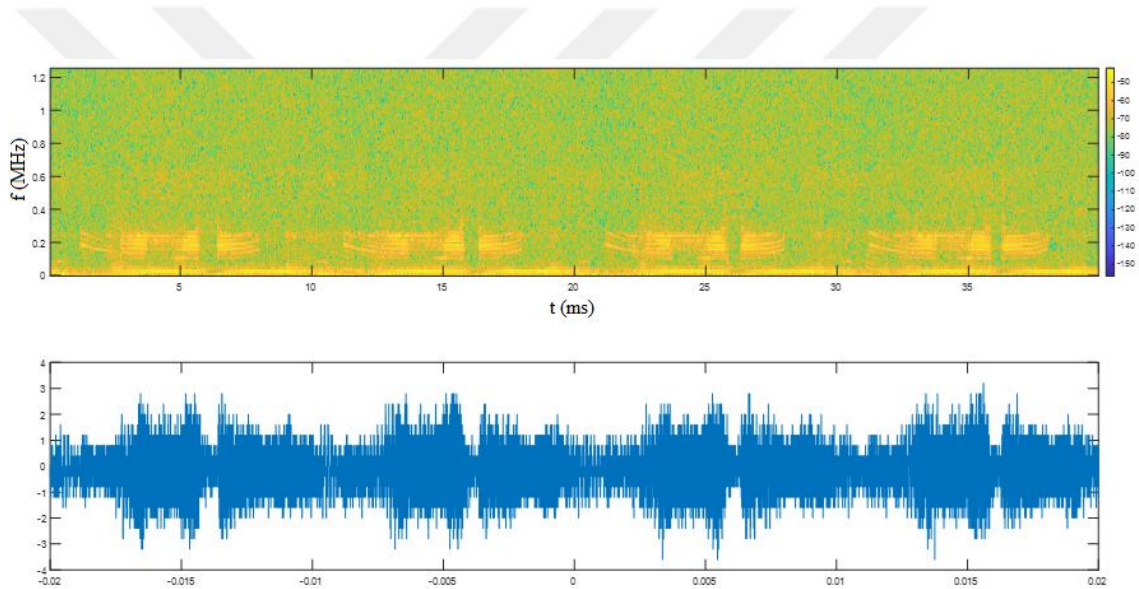


Şekil 6.6. Tek taraflı genlik spektrumu (Asansör hareket halindeyken)



Şekil 6.7. Tek taraflı genlik spektrumu (Asansör boşa ve hareket halindeyken)

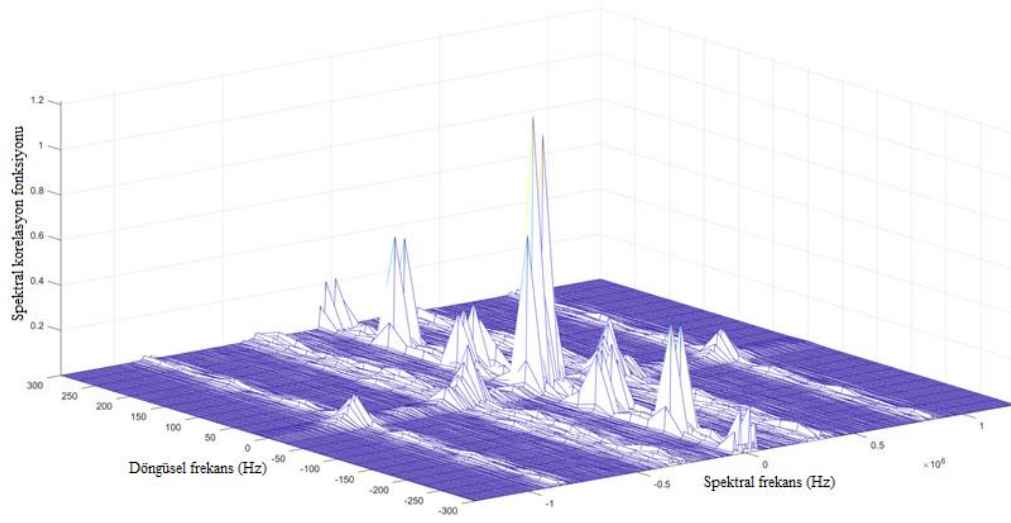
Aşağıdaki Şekil 6.8’de gösterildiği gibi gürültü örneklerinin döngüsellikini görüntülemek için spektrogram grafiği de kullanılabilir. Gürültü dalga formunun döngüsel davranışı, elektrikli cihazlarda bulunan diyotlar ve transistörler gibi doğrusal olmayan elemanların varlığından kaynaklanmaktadır. Çıkışlara (yüklere) takılan elektrikli cihazlar, küçük ve hızla değişen iletişim sinyallerine göre, AC şebeke gerilimi tarafından önyargılı bir direnç olarak görünen diyotlar ve transistörler gibi doğrusal olmayan elemanlar içerir. Periyodik olarak değişen AC sinyali, cihazları doğrusal olmayan akım/gerilim eğrilerinin farklı bölgeleri üzerinde sallar. Bu, dirençlerinde periyodik olarak zamanla değişen bir değişikliğe neden olur. Genel empedans, hat ve nötr teller boyunca bir şönt empedansı olarak görünür. Zaman değişkenliği AC şebeke dalga biçiminden kaynaklandığı için doğal olarak periyodiktir.



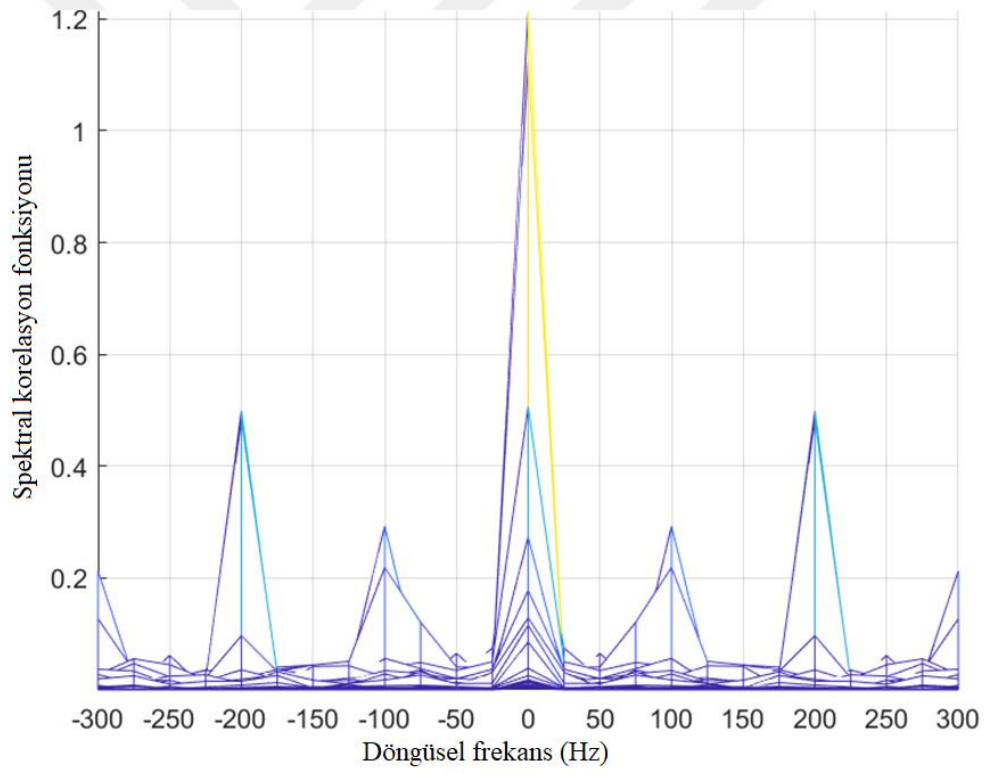
Şekil 6.8. Gürültü örneklerinin spektrogram grafiği

(Roberts ve ark., 1991)'de bahsedilen FFT Biriktirme Yöntemi (FAM) olarak adlandırılan spektral korelasyon fonksiyonu tahmincisi, gürültü örneklerinin durağanlığını değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu tahmin edici zaman yumuşatma kategorisindedir, tüm ana etki alanı üzerinde spektral korelasyon fonksiyonunun tahminlerini hesaplamak için tasarlandığından ayrıntılıdır.

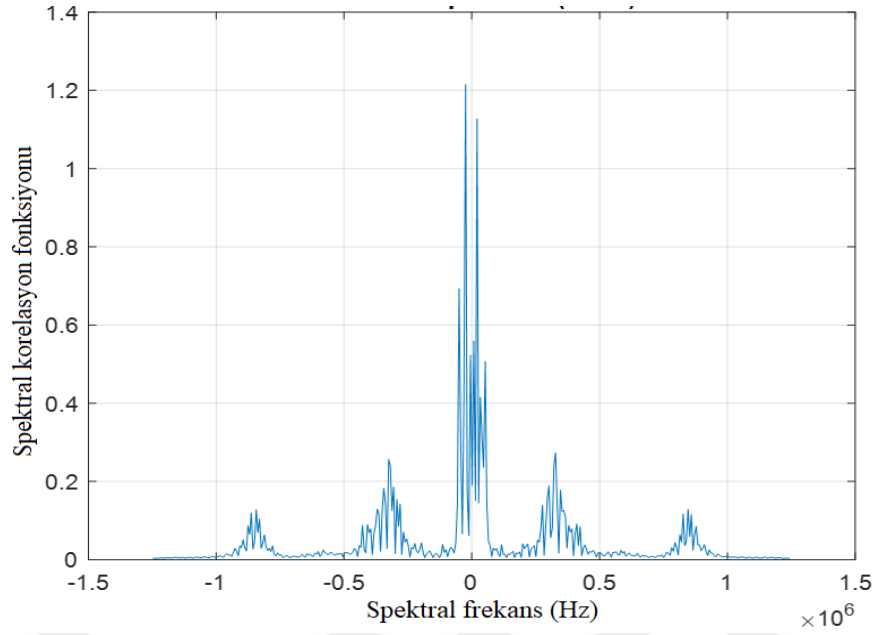
Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12, yakalanan gürültü örneklerinin döngüsel durağanlığını gösterir.



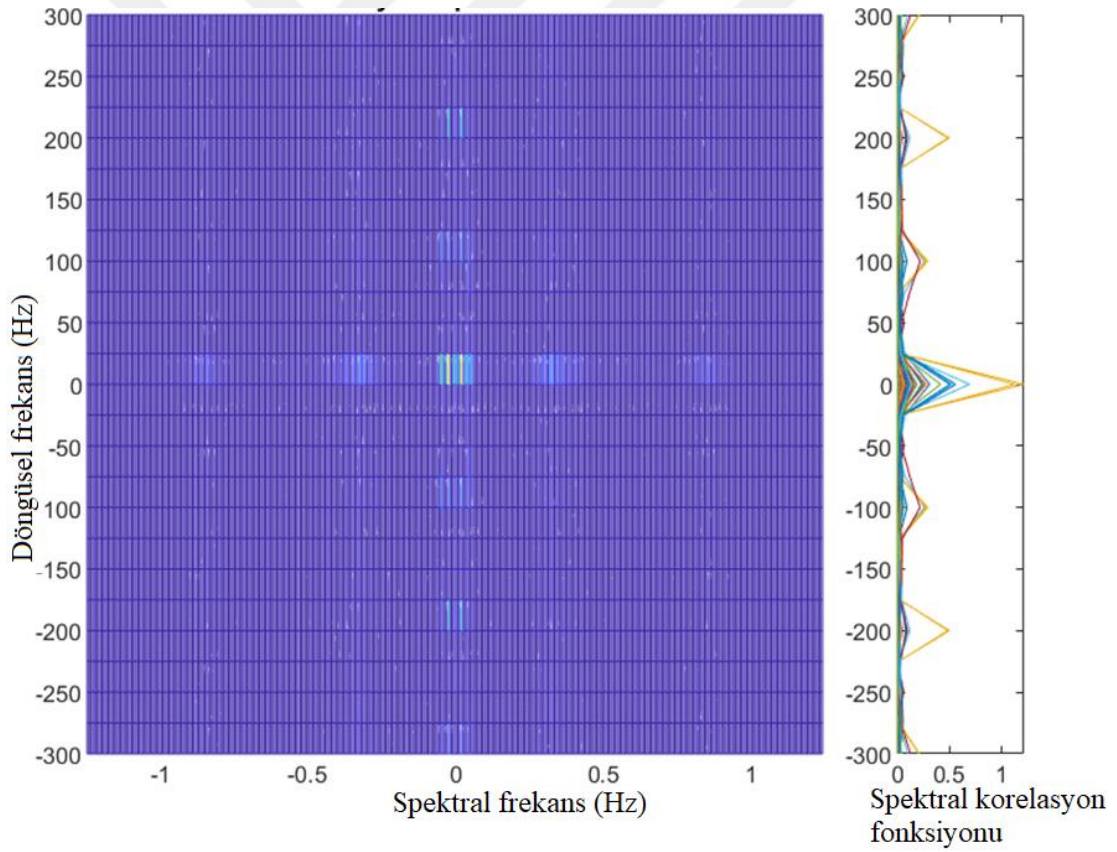
Şekil 6.9. Döngüsel spektrum (3b görünüm)



Şekil 6.10. Döngüsel spektrum (döngüsel frekans)



Şekil 6.11. İki taraflı spektrum



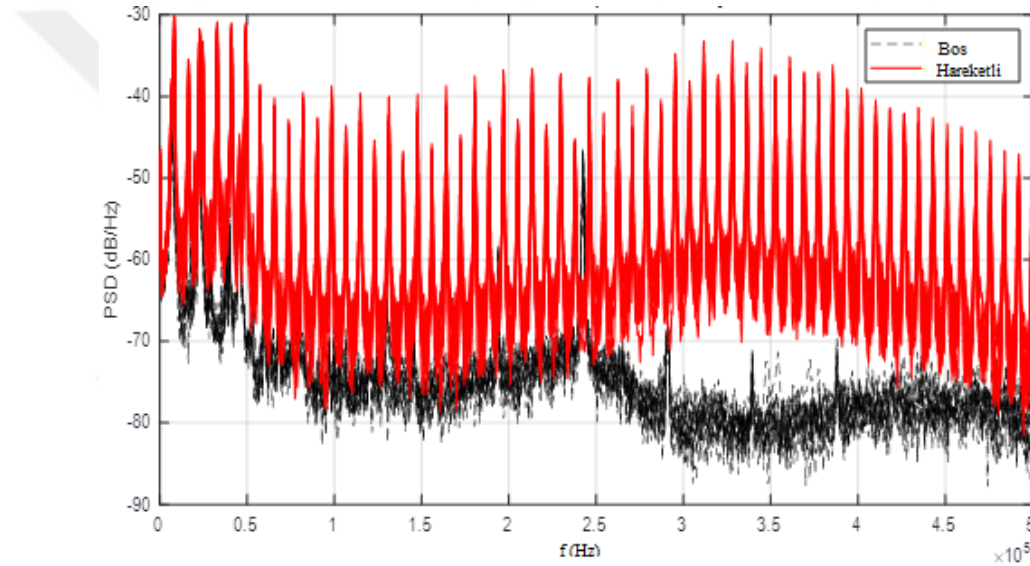
Şekil 6.12. Döngüsel spektrum (2b görünüm)

Yukarıdaki Şekil 6.12'den periyodik sinyal frekansının çıkarılması görülebilmektedir. Gürültü her yarım şebeke döngüsünde tekrarlandığından, frekans

şebekeninkinin iki katı olacaktır. 50 Hz'lik bir şebeke gerilimi için, yukarıdaki Şekil 6.12, gürültü örnekleri için 100 Hz frekansını göstermektedir.

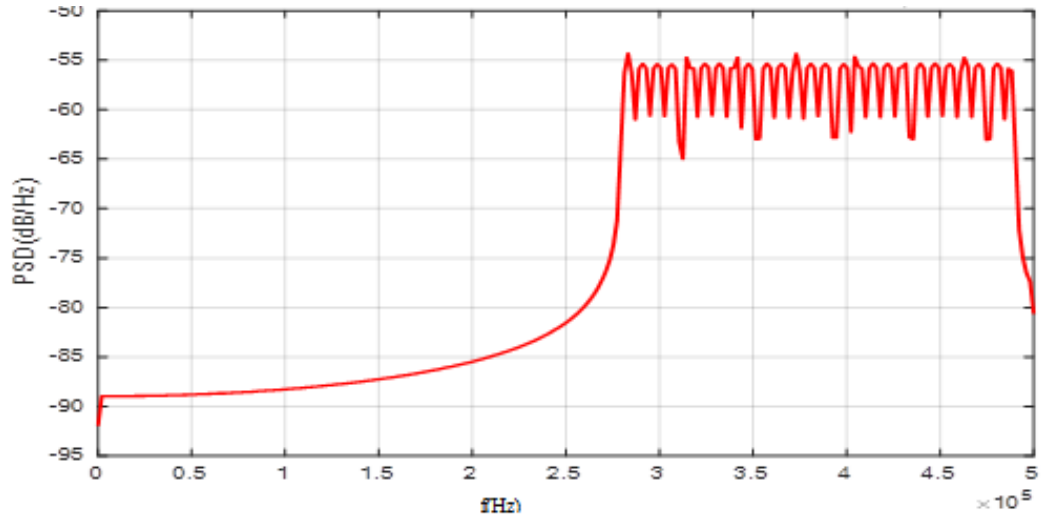
Tektronix MDO3022 Karışık Etki Alanı Osiloskopu (MDO) ile çeşitli gürültü örnekleri ölçülmüştür. Şekil 6.13'te sağlanan asansörün hem boşa hem de hareketli durumlarına karşılık gelen 20 ölçülen gürültü örneğinin güç spektral yoğunluğu (PSD) grafikleri tepe dedektör modunda ölçülmüştür.

Asansörün hareket halindeyken kanala harmonik gürültü gelir. Yukarıdaki Şekil 5.2'de gösterilen THYFREC VT240EL invertör, asansörün hız kontrolü için kullanılır ve taşıyıcı frekansı 8kHz olarak ayarlanmıştır, bu nedenle asansör hareket halindeyken 8 kHz temel frekanslı harmonik gürültü bileşenleri üretir.



Şekil 6.13. Gürültü gücü spektral yoğunluğu

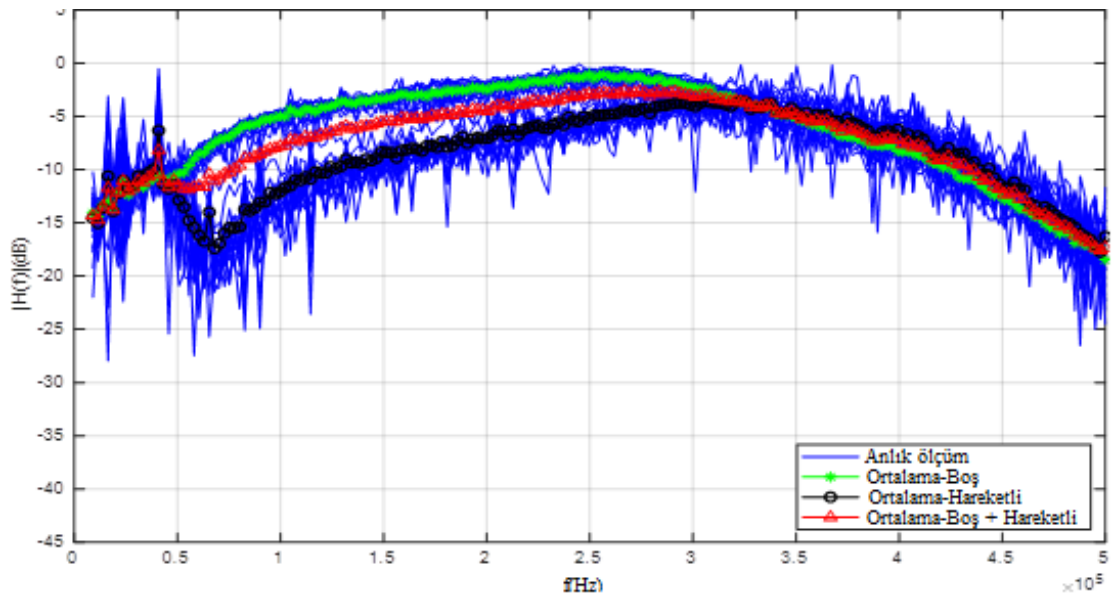
281 kHz – 488 kHz frekans aralığı için PLC kanal transfer fonksiyonunun asansörün durumundan bağımsız olarak tutarlı olduğu görülmektedir. Harmonik gürültü bileşenleri ile örtüşmeyen alt taşıyıcı frekansları sistematik olarak seçilerek, veri ve pilot iletimleri için toplam 77 alt taşıyıcı kullanılmaktadır. Asansörün hareket halindeki durumu için 133 dB μ V iletim gücüne sahip iletilen sinyalin güç spektral yoğunluğu, Şekil 6.14'te gösterildiği gibi Welch'in yöntemiyle tahmin edilmiştir. Alt taşıyıcı frekanslarının seçimi esas olarak invertörün taşıyıcı frekans ayarına bağlıdır. Daha uygun sonuçlar elde etmek için farklı alt taşıyıcı konum gruplar seçilebilmektedir.



Şekil 6.14. 133dB μ V'de iletilen sinyalin güç spektral yoğunluğu

6.2. Kanal Analizi

Anlık ölçümler gerçek bir güç hattı kanal senaryosunu andırdığı için ölçüm süresi tüm gün olarak tanımlanan uzun periyotlarda gerçekleştirilmiş ve 30 günlük uzun süreli ölçümler gerçekleştirilmiştir. Anlık ölçümler de bilgisayar ortamında saklanmıştır. Yapılan kanal ölçümlerinden kanalın ortalama frekans yanıtı türetilmiştir. Şekil 6.15, asansörün hem boşta hem de hareketli durumlarına karşılık gelen 50 ayrı kanal transfer fonksiyonu ölçümünü göstermektedir.



Şekil 6.15. Asansörün boşta ve hareketli durumları için kanal büyüklük tepkileri

Asansör kontrol panelinden kabine uzanan güç hattı kanalı için çok yollu sinyal yayılımı (Zimmermann ve Dostert, 2002; Arbab ve Mirghani, 2021; Masood ve ark., 2021)'de gösterilen çok yollu sinyal yayılım modeli kullanılarak ifade edilebilmektedir. Böylece, güç hattı kanal transfer fonksiyonu Denklem (6.1)'deki gibi ifade edilebilmektedir.

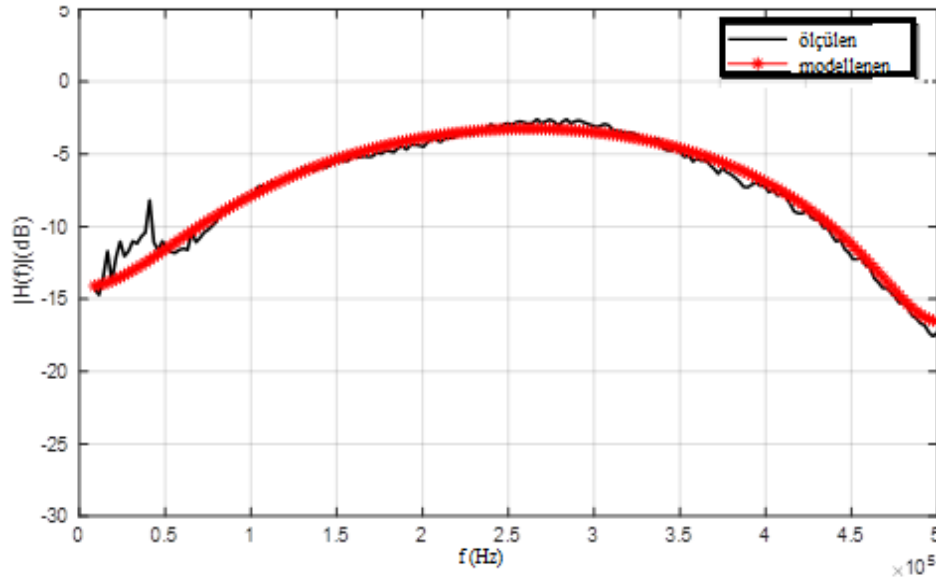
$$H(f) = \sum_{i=0}^N g_i \cdot e^{-(a_0+a_1 f^k) d_i} e^{-j2\pi f(d_i/v_p)} \quad (6.1)$$

i yolunun ağırlık faktörü, uzunluğu ve gecikmesi sırasıyla g_i , d_i ve d_i/v_p parametreleriyle temsil edilir. N parametresi baskın yolların sayısını belirtirken a_0 , a_1 ve k belirli bir güç hattı kanalına karşılık gelen zayıflama faktörlerini belirtir. v_p , yalıtım malzemesinin dielektrik sabiti ϵ_r 'ye bağlı olan güç hattı kablosu boyunca sinyal yayılma hızıdır. $c/\sqrt{\epsilon_r}$ 'ye eşit bir değere sahiptir; burada c , ışığın boşluktaki hızıdır. Bu asansör sistemindeki esnek kablounun yalıtım malzemesi için ϵ_r 4 olarak belirlenmiştir. Asansör sisteminin güç hattı kanalının modellenmesi için parametre ayarları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

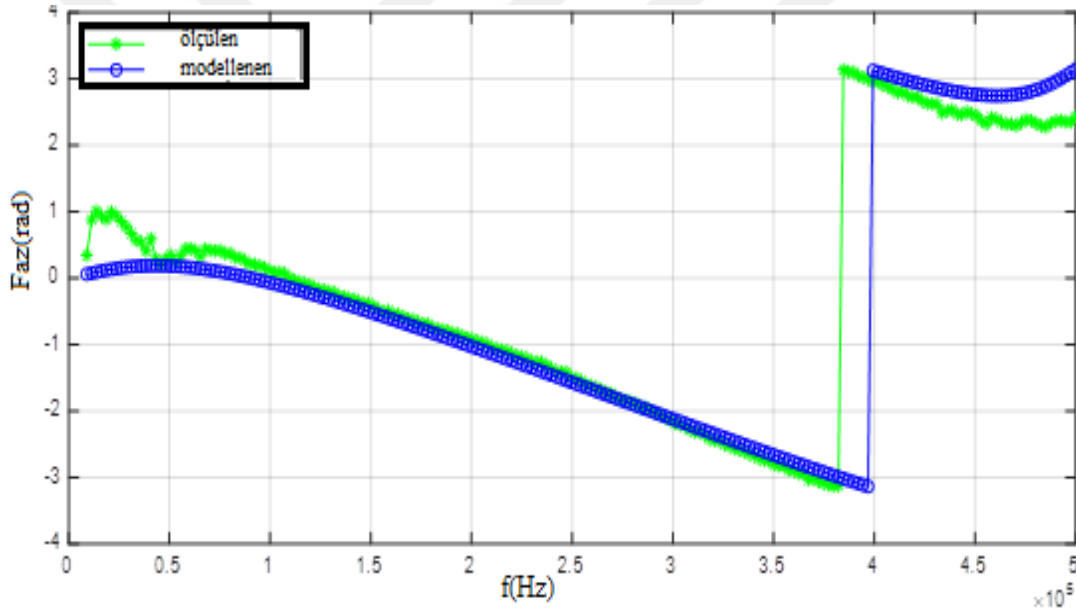
Çizelge 6.1. Kanal yanıt modelleme parametreleri

Yol parametreleri ($N = 2, k = 0,7936, a_0 = 5,878 \times 10^{-4} m^{-1}, a_1 = -2,889 \times 10^{-8} s/m$)		
i	g_i	$d_i(m)$
1	0.4322	150
2	-0.2602	450

Asansör sistemine karşılık gelen ortalama güç hattı kanalının iki yollu bir model gösterimi, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de gösterildiği gibi ölçülen kanal büyüklüğü ve faz tepkilerinden çok küçük varyasyonları açıkça göstermektedir.

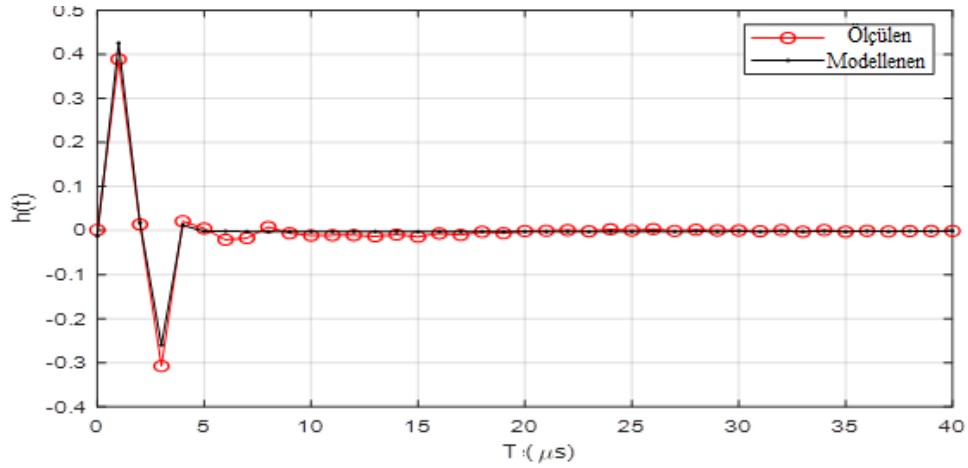


Şekil 6.16. Ölçülen ve modellenen kanal büyüklüğü yanıtları



Şekil 6.17. Ölçülen ve modellenen kanal faz yanıtları

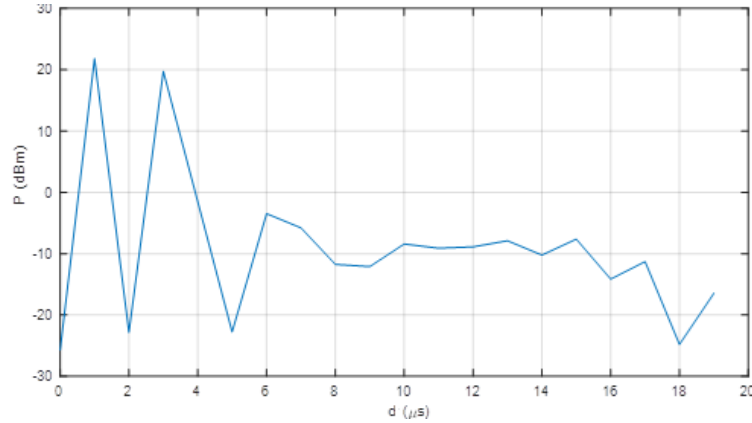
Dar bantlı güç hattı iletişim frekans aralığı için (500 kHz'e kadar), darbe yanıtı $T_s=1\mu s$ periyodunda örneklenir. Çoklu yolun varlığının göstergesi olan dürtü yanıtının tepe değerleri, (Zimmermann ve Dostert, 2002)'de açıklanan adımları benimseyerek Çizelge 6.1'deki kanal modelleme parametrelerinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Şekil 6.18, ölçülen ve modellenen kanal darbe yanıtlarını göstermektedir.



Şekil 6.18. Ölçülen ve modellenen kanal darbe yanıtları

Güç gecikme profili (PDP), alınan sinyalin gücünün bir çok yollu kanal üzerinden dağılımını yayılma gecikmesinin bir fonksiyonu olarak ifade ederek çok yollu kanalları karakterize etmektedir. Şekil 6.19'da sağlanan ortalama ölçülen güç hattı kanalına karşılık gelen PDP dağılımı, zaman gecikmelerine göre her bir çoklu yol boyunca sinyalin gücünü tanımlar. Ölçülen kanal darbe yanıtından PDP'yi belirlemek için kullanılan formül Denklem (6.2) (Janssen ve ark., 1996)'da olduğu gibi ifade edilir.

$$P(t) \triangleq h(t)h^*(t) = |h(t)|^2 \quad (6.2)$$



Şekil 6.19. Güç gecikme profili

Kanalın ortalama gecikme yayılımı ve ortalama karekök (RMS) gecikme yayılımı sırasıyla Denklem (6.3) ve (6.4)'teki gibi ifade edilebilmektedir (Lampe ve ark., 2016; Picorone ve ark., 2020).

$$\tau_{mean} = T_s \cdot \frac{\sum_{k=0}^{N-1} k |h_k|^2}{\sum_{k=0}^{N-1} |h_k|^2} \quad (6.3)$$

$$\tau_{rms} = T_s \cdot \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{N-1} k^2 |h_k|^2}{\sum_{k=0}^{N-1} |h_k|^2} - \frac{\sum_{k=0}^{N-1} k |h_k|^2}{\sum_{k=0}^{N-1} |h_k|^2}} \quad (6.4)$$

T_s , N ve h_k parametreleri, güç hattı kanalının örnekleme süresi, darbe yanıt uzunluğu ve darbe yanıtıdır. Bu kanal için $T_s=1 \mu s$ ve $N=21$ ile ortalama ve RMS gecikme yayılım değerleri $\tau_{mean}=1,8326 \mu s$ iken $\tau_{rms}=1,2482 \mu s$ 'dir.



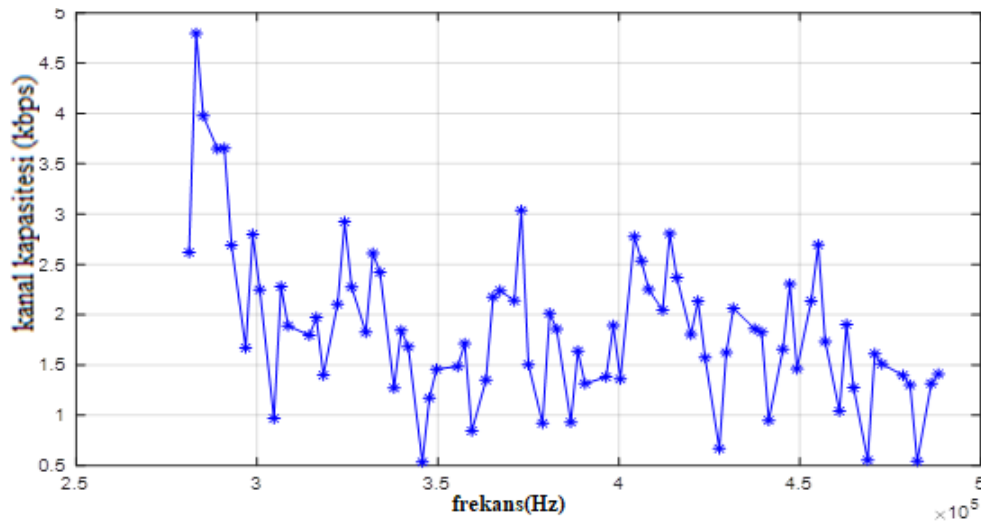
7. ALICI-VERİCİ SİSTEM TASARIMI

7.1. Kanal Kapasitesi

Kanal kapasitesi, belirli bir kanal için bit iletim hızının teorik üst sınırına karşılık gelen bir parametredir. Bağımsız iletim kanalları üzerinden kanal kapasitesinin ilave niteliğinden dolayı, toplam kanal kapasitesi, tüm alt taşıyıcıların kanal kapasitelerinin toplamıdır. k . alt taşıyıcının kapasitesi, hem alt taşıyıcı aralığına Δf hem de k . alt taşıyıcının sinyal-gürültü oranına (SNR_k) bağlıdır. N sayıda alt taşıyıcı için toplam kapasite (C_{tot}) Denklem (7.1)'deki gibi ifade edilir.

$$C_{tot} = \Delta f \cdot \sum_{k=1}^N \log_2(1 + SNR_k) \quad (7.1)$$

133 dB μ V sinyal iletim gücü için, $N=77$ alt taşıyıcı frekanslarına göre kanalın en kötü senaryosu (yani asansörün hareket durumu) için bağımsız kanal kapasiteleri Şekil 7.1'de verilmiştir. Toplam kapasite 145,44 kbps'dir. Alt taşıyıcı aralığı gibi parametreler değiştirilerek veya alt taşıyıcıların sayısı sistematik olarak artırılarak farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. İletim gücünün arttırılması, toplam kanal kapasitesinde de bir artışa yol açabilmektedir.



Şekil 7.1. Toplam kanal kapasitesi

7.2. OFDM Alıcı-Verici Simülasyonu

Dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM), mevcut bant genişliğini birkaç dikgen alt taşıyıcıya bölerek verimli kullanımını destekleyen çok taşıyıcılı bir iletim tekniğidir. Modern sinyal iletim sistemlerinde yüksek spektral verimlilik, frekans seçici sönmleme kanallarına karşı sağlamlık ve çok yollu gecikme yayılmasına karşı dayanıklılık gibi birçok nedenden dolayı yaygın olarak benimsenmiştir. Semboller arası girişim (ISI), iletilen sinyale uygun uzunlukta döngüsel önek eklenerek azaltılır.

OFDM alıcı-vericisinin Şekil 7.2'de gösterilen verici bölümü, kanal kodlama, modülasyon, Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (IFFT) vb. gibi ayrı bloklardan oluşur. Bu çalışmada, birleştirilmiş Reed Solomon (RS) ve Evrişim kodları kullanılmıştır. Uygulanan RS kodlaması, $n=255$ 'lik bir blok uzunluğuna ve $k=239$ 'luk bir mesaj uzunluğuna sahiptir, bu nedenle $2t = n-k$ olduğunda hatalı sembolleri düzeltebilmektedir. Viterbi kod çözücü ile birlikte simülasyon için $\frac{1}{2}$ kod oranına sahip bir evrişimli kod kullanılmıştır.

Frekans seçici sönmleme kanallarından dolayı patlama hatalarından mustarip olan kod çözme mekanizmaları, bitişik alt taşıyıcıların hatalı bitlerinin yayılmasını sağlayan frekans serpiştirmeden faydalanır. Bu çalışmada, OFDM sembolü (N) başına bit sayısına eşit bir blok boyutuna sahip bir blok serpiştiricisi, OFDM sembolü başına serpiştirmeyi gerçekleştirmek için uygulanmıştır.

Frekans seçici sönmleme ve zamanla değişen PLC kanalı, orijinal verileri hatalı veri aktarımlarından kurtarmak için sağlam bir kanal tahmin mekanizması gerektirir. Bu çalışmada OFDM alıcı-vericisini simüle etmek için tarak tipi En Küçük Kare (LS) kanal tahmin tekniği kullanılmıştır. s . OFDM sembolü ve p . pilot konumu için, ilgili pilot konumlarındaki ($H_{s,p}^{LS}$) LS tabanlı kanal tahmini, iletilen ve alınan pilot sembolü $X_{s,p}$ ve $Y_{s,p}$ cinsinden Denklem (7.2) gibi ifade edilir (Bogdanović, 2014; Sure ve Bhuma, 2017).

$$H_{s,p}^{LS} = \frac{Y_{s,p}}{X_{s,p}} \quad (7.2)$$

Pilot alt taşıyıcılar dışındaki konumlardaki kanal yanıtlarını belirlemek için enterpolasyon kullanılır. Bu çalışmada spline enterpolasyon tekniği uygulanmıştır.

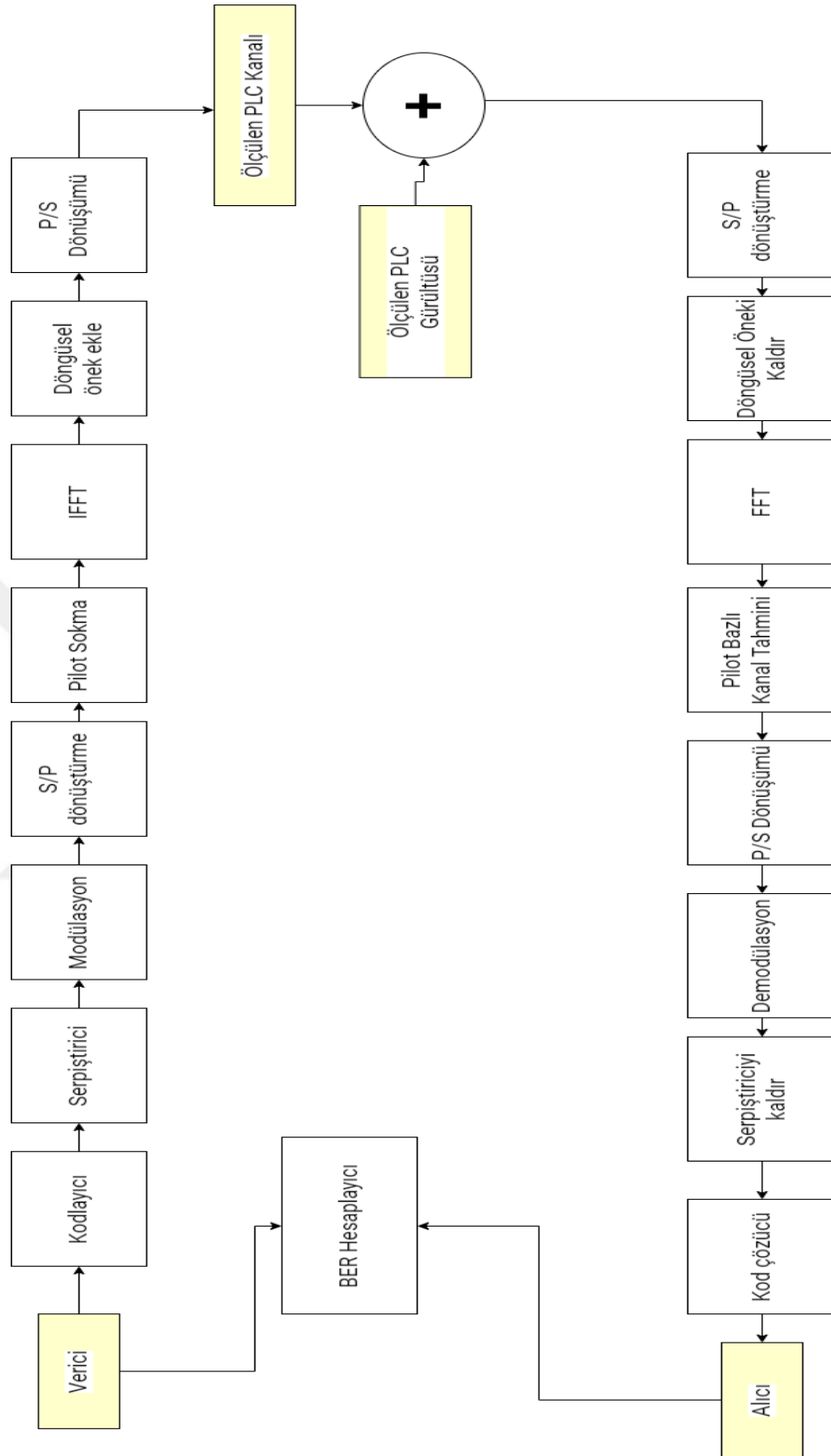
Kodlanmış giriş verileri, ikili faz kaydırmalı anahtarlama (BPSK) ile modüle edilir. OFDM veri iletiminde pilotların avantajlarından biri, iletim kanalının yapısını karakterize etmek için alıcı tarafından daha sonra benimsenmesidir. Bu çalışmada 7 adet eşit aralıklı pilot yer almaktadır. Verileri PLC kanalına teslim etmeden önce 32'lik bir çevrimsel önek (CP) uzunluğu eklenmiştir.

Alıcıdaki kanal tahmini, En Küçük Kareler (LS) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bit Hata Oranı (BER), Viterbi kod çözücünün çıkışının ardından bir RS kod çözücünün iletilen verilerle karşılaştırılmasıyla belirlenir. Simüle edilmiş OFDM alıcı-verici sistemi için temel takip çizelgesi Şekil 7.2'de verilmiştir.

Simülasyon için parametre ayarları Çizelge 7.1.'de derlenmiştir.

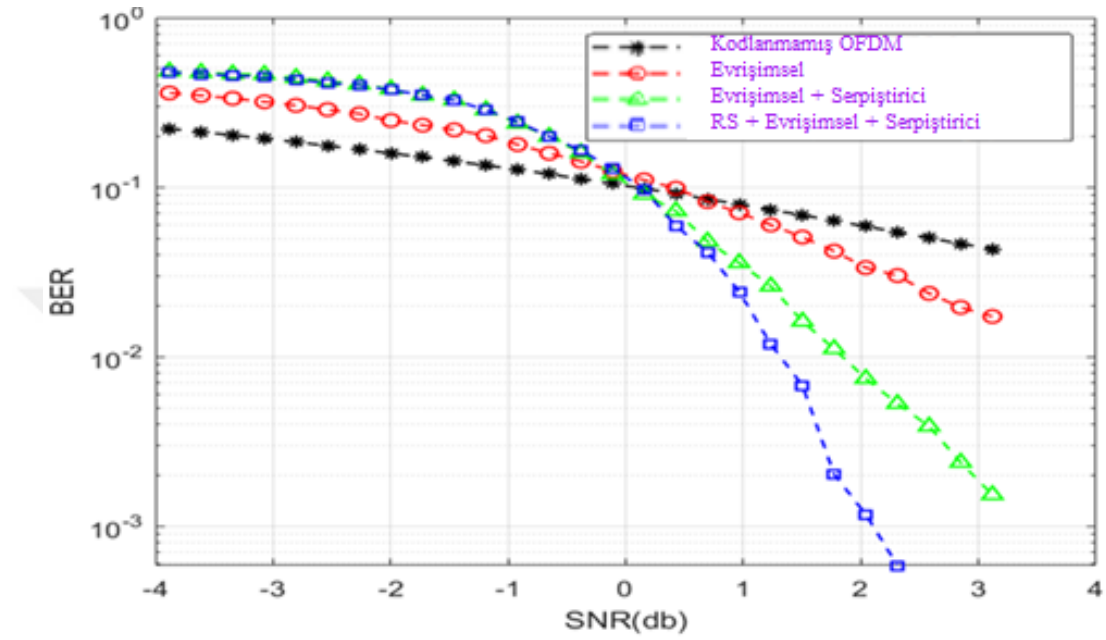
Çizelge 7.1. OFDM alıcı-verici simülasyon parametreleri

Simülasyon Parametreleri	Değer
Örnekleme frekansı	1 MHz
FFT boyutu	512
Döngüsel Önek Uzunluğu	32
Alt Taşıyıcı Aralığı	1,9531 kHz
Toplam Alt Taşıyıcı	77
Veri Alt Taşıyıcıları	70
Pilot Alt Taşıyıcılar	7
Kanal Kodlama	RS(255,239), Evrimsel
Serpiştirme	Blok serpiştirici
Modülasyon Tekniği	BPSK
Kanal Tahmini	LS
Frekans aralığı	281 kHz - 488 kHz



Şekil 7.2. OFDM alıcı-verici blok şeması

Farklı kanal kodlama şeması kombinasyonları için BER performansının karşılaştırmalı bir analizi Şekil 7.3'te verilmiştir. Grafikten, serpiştirmenin hatalı bitleri yayarak BER'i azalttığı açıktır. Evrişimli kod, serpiştiriciyle birlikte kullanıldığında bit hata oranlarında önemli bir azalma gösterir. Birleştirilmiş RS ve evrişimli kodlar, 4 dB'den büyük SNR değerleri için güvenilir bir aktarım sağlar.



Şekil 7.3. BER ve SNR karşılaştırılması

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Her yerde bulunan altyapı, kolay erişim ve düşük ek bina maliyeti gibi benzersiz avantajları nedeniyle, güç hattı haberleşmesi (PLC), akıllı şebekelerin iletişim omurgası için genellikle rekabetçi bir çözüm olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle, büyük ölçüde ilgi uyandırmıştır. Mevcut elektrik şebekeleri başlangıçta veri değil, yalnızca enerji sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Bir güç hattı iletişim kanalı genellikle güçlü zayıflama, yüksek gürültü gücü, karmaşık girişim senaryoları, frekans seçiciliği ve döngüsel durağanlık gibi zorlu kanal koşulları sergiler. Bu, standart oluşturma, cihaz geliştirme ve sistem değerlendirmesi ile ilgili olarak PLC'nin devreye alınmasını zorlaştırmaktadır.

Bu araştırma, asansör PLC kanalı ile ilgili yeni bulgular sağlamayı amaçlamıştır. Araştırma, asansör kontrol panelinden kabine uzanan AC güç hattı boyunca kanal ve gürültü özelliklerine karşılık gelen gerçek verileri elde etmeyi başarmıştır. Aşağıdaki alt bölüm, gelecekteki önerilerle birlikte araştırmanın genel özetini sunmaktadır.

8.1. Sonuçlar

Mevcut güç hatları üzerinden veri iletimi, güvenilir sinyal yayılımını kolaylaştırmak için ortaya çıkan yeni teknolojilerle yaygın olarak dikkat çeken kritik bir araştırma alanı olmuştur. Güç hattı haberleşmesi (PLC) teknolojisini çevreleyen ana problemler, değişen kanal yanıtının yanı sıra alınan sinyale eklenen gürültüdür. Bu çalışmanın ana ilgi alanlarından biri, asansör kontrol panelinden kabine uzanan AC güç hattı için PLC kanalını karakterize etmenin yanı sıra veri iletimini etkileyen gürültünün yapısını karakterize etmektir. AC güç hatları üzerinden video, ses veya veri iletilebilmektedir.

Analiz için dar bant PLC frekans aralığı dikkate alınmıştır. Bu PLC kanalı, 281 kHz-500 kHz frekans aralığı için nispeten tutarlı kalırken, 281 kHz'den düşük frekanslar için dikkate değer kanal tepkisi varyasyonları göstermiştir. Ana gürültü kaynağı, asansör hız kontrolü için kullanılan invertör olarak belirlenmiştir. Taşıyıcı frekansına eşit bir temel frekansa sahip harmonik gürültü bileşenleri üretir. Bu tez aynı zamanda uygun alt taşıyıcı frekanslarını dikkatlice seçerek OFDM tabanlı bir alıcı-verici sistemini simüle etmeyi başarmıştır. Sistemin BER performansını değerlendirmek için serpiştirmeli RS ve Evrişimli kodlar kullanılmıştır.

8.2. Öneriler

Diğer herhangi bir PLC kanalında olduğu gibi, asansör elektrik hatları da çevreden gelen bozucu sinyallerin varlığından etkilenir. İstenmeyen sinyallerin PLC cihazlarının devre elemanlarına ulaşmasını etkili bir şekilde engellemek için PLC modemlerine ek koruyucu devre elemanları dahildir. PLC kanalını ve gürültüyü karakterize eden önceki çalışmalar, konutlar, kurumlar vb. gibi farklı alanları ele almıştır. Ne yazık ki, bir asansör PLC kanal analizi ile ilgili herhangi bir araştırma yapılmamıştır. PLC gürültüsü ve kanalı için standart bir model olmadığından, bu çalışmanın bulguları, PLC kanalının ve bir asansör sisteminin gürültü modelinin standartlaştırılmasına yardımcı olabilecek gelecekteki deneyler için temel taşı mahiyetinde olmaktadır. Sonuç olarak, farklı kat sayılarına sahip farklı tipte asansör invertörlerinin benimsenmesini içerebilen deneysel senaryoların daha da genişletilmesi kullanılabilir. Gelecekteki araştırmalar, asansör sistemleri için kullanılan farklı iletişim sistemlerinin karşılaştırmalı analizini de içerebilir. Modülasyon tekniği, FFT uzunluğu, alt taşıyıcı sayısı vb. gibi alıcı-verici sistem simülasyon parametreleri, ilgili iletim kapasitesini karşılamak için değiştirilebilmektedir.

Alçak gerilim ağları üzerinden yüksek hızlı geniş bant güç hattı haberleşmesi (BB-PLC), konut veri iletimi için dikkate değer bir seçenek haline gelmiştir. Bu teknolojinin, diğer şeylerin yanı sıra modülasyon tekniğini dikkate alan belirli standartları vardır. Dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM) gibi çok taşıyıcılı sistemler veya alternatif olarak tek taşıyıcının kullanımı esas olarak dikkate alınmaktadır. Bu tez esas olarak dar bant PLC'ye odaklandığından, gelecekteki araştırmalar geniş bant frekans aralığında bir asansör PLC sisteminin kanal ve gürültü karakterizasyonunu içermektedir.

KAYNAKLAR

- Ajenikoko, G. A., 2019, Development of Top-Up And Bottom –Up Techniques for Assessment of Power Line Communication Channel Model, *Journal of Natural Sciences Research*, 9 (16), 32-37.
- Al-mawali, K. S., Sadik, A. Z., Hussain, Z. M. ve System, A. O., 2009, Time-Domain Techniques for Impulsive Noise Reduction in OFDM-Based Power Line Communications: A Comparative Study, *Proceedings of the 2009 International Conference on Communication, Computer and Power (ICCCP'09)* (September 2014), 1-5.
- Anastasiadou, D. ve Antonakopoulos, T., 2005, Multipath characterization of indoor power-line networks, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20 (1), 90-99.
- Arbab, O. I. ve Mirghani, M., 2021, Power Line Communication Channel Modelling and System Design, *Proceedings of: 2020 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering, ICCCEE 2020*, 2020-2023.
- Ardakani, M., Kschischang, F. R. ve Yu, W., 2005, Low-density parity-check coding for impulse noise correction on power-line channels, *2005 International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, ISPLC 2005*, 2005, 90-94.
- Asadpour, M., Mozaffari Tazehkand, B. ve Seyedarabi, H., 2016, A robust Bayesian inference-based channel estimation in power line communication systems contaminated by impulsive noise, *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 24 (4), 2865-2880.
- Bai, L., Tucci, M. ve Raugi, M., 2019, Impulsive noise mitigation with interleaving based on music in power line communication, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10 (4), 3575-3584.
- Bai, T., Zhang, H., Wang, J., Xu, C., Elakashlan, M., Nallanathan, A. ve Hanzo, L., 2021, Fifty Years of Noise Modeling and Mitigation in Power-Line Communications, *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 23 (1), 41-69.
- Banwell, T. ve Galli, S., 2005, A novel approach to the modeling of the indoor power line channel part I: Circuit analysis and companion model, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20 (2 I), 655-663.
- Banwell, T. C. ve Galli, S., 2001, A new approach to the modelling of the transfer function of the Power Line Channel, *Proceedings of the International Symposium on Power Line Communications and its Applications*, 319-324.
- Barmada, S., Musolino, A. ve Raugi, M., 2006, Innovative model for time-varying power line communication channel response evaluation, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 24 (7), 1317-1325.
- Baycan, E., Erturkler, I. H., Sarac, M. S. ve Yarkan, S., 2018, Statistical Characterization of Noise for Power Line Communications Channels: Field Measurements, *2018 11th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, CSNDSP 2018*.
- Bogdanović, M., 2014, Frequency domain based LS channel estimation in OFDM based Power line communications, *Automatika – Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications*, 55 (4).
- Cañete, F. J., Diez, L. ve Entrambasaguas, J. T., 2001, A Time Variant Model for Indoor Power-Line Channels, *International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC)*, 85-90.

- Cañete, F. J., Díez, L., Cortés, J. A. ve Entrambasaguas, J. T., 2002, Broadband modelling of indoor power-line channels, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 48 (1), 175-183.
- Cañete, F. J., Cortés, J. A., Díez, L., Entrambasaguas, J. T. ve Carmona, J. L., 2005, Fundamentals of the cyclic short-time variation of indoor power-line channels, *2005 International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, ISPLC 2005*, 2005 (May), 157-161.
- Cañete, F. J., Cortés, J. A., Díez, L. ve Entrambasaguas, J. T., 2011, A channel model proposal for indoor power line communications, *IEEE Communications Magazine*, 49 (12).
- Chao, C. W., Ho, Q. D. ve Le-Ngoc, T., 2013, Challenges of power line communications for advanced distribution automation in smart grid, *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 1-5.
- Cheng, Y., Tan, Z. ve Wu, X., 2019, Measurement and modelling of burst impulse noise in power line communication, *Proceedings - 10th International Conference on Information Technology in Medicine and Education, ITME 2019*, 688-692.
- Chuah, T. C., 2009, On reed-solomon coding for data communications over power-line channels, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 24 (2), 614-620.
- Cortes, J. A., Canete, F. J., Díez, L. ve Moreno, J. L. G., 2011, On the statistical properties of indoor power line channels: Measurements and models, *2011 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, ISPLC 2011*, 271-276.
- Cortes, J. A., Canete, F. J., Díez, L., Torres, L. M. ve Hispania, S. L. M., 2013, On PLC channel models: An OFDM-based comparison, *ISPLC 2013 - 2013 IEEE 17th International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, Proceedings*, 333-338.
- Çürük, S. M., 2019, Impulsive Noise Models Used in Power Line Communications, *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7 (2), 115-122.
- Degardin, V., Lienard, M., Zeddami, A., Gauthier, F. ve Degauque, P., 2002, Classification and characterization of impulsive noise on indoor power line used for data communications, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 48 (4), 913-918.
- 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*, 16 (5).
- Fernandes, V., Angelova, S., Finamore, W. ve Ribeiro, M., 2015, On modeling power-line communication noise, (2).
- Galli, S. ve Banwell, T., 2005, A novel approach to the modeling of the indoor power line channel - Part II: Transfer function and its properties, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20 (3), 1869-1878.
- Galli, S. ve Banwell, T. C., 2006, A deterministic frequency-domain model for the indoor power line transfer function, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 24 (7), 1304-1315.
- Galli, S., 2009, A simplified model for the indoor power line channel, *2009 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications, ISPLC 2009*, 13-19.
- Galli, S., 2010, A simple two-tap statistical model for the power line channel, *IEEE ISPLC 2010 - International Symposium on Power Line Communications and its Applications*, 242-248.

- 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, *Proceedings of the IEEE*, 99 (6), 998-1027.
- Gassara, H., Rouissi, F. ve Ghazel, A., 2018, Top-down random channel generator for the narrowband power line communication, *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 89 (November 2017), 146-152.
- Gay, M., Lampe, L. ve Lampe, A., 2016, SVD-based de-noising and parametric channel estimation for power line communication systems, *2016 International Symposium on Power Line Communications and its Applications, ISPLC 2016*, 7-12.
- Götz, M., Rapp, M. ve Dostert, K., 2004, Power line channel characteristics and their effect on communication system design, *IEEE Communications Magazine*, 42 (4), 78-86.
- He, D., Wei, Y., Cui, S., Hua, W., Duan, X. ve Liu, L., 2021, Modeling of broadband power line communication channel based on transmission line theory and radiation loss, *IEICE Electronics Express*, 16 (16).
- Heriyanto, H., Hamdani, M. ve Wardhana, K., 2016, Perancangan Sistem Komunikasi Manajemen Elevator Menggunakan Jaringan Power Line [Elevator Management Communication System Design Using Power Line Network], *Sainstech*, 26 (2), 68-76.
- Iyiola, A. O., Familua, A. D., Shongwe, T. ve Swart, T. G., 2022, Impulse Noise Modeling in an Indoor Narrowband Power Line Communication Channel using M-QAM and a Software-Defined Radio Approach, 1-6.
- Janssen, G. J. M., Stigter, P. A. ve Prasad, R., 1996, Wideband indoor channel measurements and BER analysis of frequency selective multipath channels at 2.4, 4.75, and 11.5 GHz, *IEEE Transactions on Communications*, 44 (9), 1272-1288.
- Jayalath, A. D. S. ve Tellambura, C., 2000, The use of interleaving to reduce the peak-to-average power ratio of an OFDM signal, *Globecom '00 - IEEE. Global Telecommunications Conference. Conference Record (Cat. No.00CH37137)*, 82-86 vol.81.
- Karakuş, O., Kuruoğlu, E. E. ve Altınkaya, M. A., 2020, Modelling impulsive noise in indoor powerline communication systems, *Signal, Image and Video Processing*, 14 (8), 1655-1661.
- 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).
- Kawaguchi, A., Okada, H., Yamazato, T. ve Katayama, M., 2006, Correlations of noise waveforms at different outlets in a power-line network, *2006 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, ISPLC'06*, 92-97.
- Kim, E. C., Il, S. S., Heo, J. ve Kim, J. Y., 2010, Performance of double binary turbo coding for high speed PLC systems, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56 (3), 1211-1217.
- Kim, Y., Nam Bae, J. ve Young Kim, J., 2011, Performance of power line communication systems with noise reduction scheme for smart grid applications, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 57 (1), 46-52.
- Kim, Y. H., Song, H. H., Lee, J. H. ve Kim, S. C., 2002, Wideband Channel Measurements and Modeling for In-House Power Line Communication, *Proc.\ Int.\ Symp.\ Power Line Commun.\ and its Applic.*

- Korki, M., Hosseinzadeh, N. ve Moazzeni, T., 2011, Performance evaluation of a narrowband power line communication for smart grid with noise reduction technique, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 57 (4), 1598-1606.
- Krasovsky, A., Vasyukov, S. ve MacOvey, A., 2020, Measurement and Analysis of Impulsive Noise in Vehicular Power Lines, *Proceedings - 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020*, 410-415.
- Laguna-Sánchez, G. A., Barrón-Fernández, R. ve Prieto-Guerrero, A., 2010, Wavelet-based improvement for channel estimation in a power-line communication environment impaired by impulsive noise, *Proceedings - 2010 IEEE Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, CERMA 2010*, 523-528.
- Laksir, S., Chaoub, A. ve Tamtaoui, A., 2019, Impulsive noise reduction techniques in power line communication: A survey, *International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems*, 12 (2), 146-186.
- Lampe, L., Tonello, A. M. ve Swart, T. G., 2016, Power line communications: Principles, standards and applications from multimedia to smart grid: Second edition, p.
- Liu, T., 2018, Channel estimation for power line communication, *International Conference on Communication Technology Proceedings, ICCT*, 2017-Octob, 272-276.
- Luca, D. B., Caldera, P., Schwingshackl, D. ve Tonello, A. M., 2011, On noise modeling for power line communications, *2011 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, ISPLC 2011*, 283-288.
- Masood, B., Guobing, S., Naqvi, R. A., Rasheed, M. B., Hou, J. ve Rehman, A. U., 2021, Measurements and channel modeling of low and medium voltage nb-plc networks for smart metering, *IET Generation, Transmission and Distribution*, 15 (2), 321-338.
- Mathew, S. ve Prasanth, M., 2014, Periodic Impulsive Noise Reduction in Ofdm Based Power Line Communication, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03 (05), 517-522.
- Meng, H., Guan, Y. L. ve Chen, S., 2005, Modeling and analysis of noise effects on broadband power-line communications, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20 (2 I), 630-637.
- Meza, E. M. ve Aspiazu, J. B., 2014, Design of a Power Line Communications Transceiver Based on OFDM, *Procedia Technology*, 17, 107-113.
- Mlynek, P., Misurec, J. ve Koutny, M., 2012, Noise modeling for power line communication model, *2012 35th International Conference on Telecommunications and Signal Processing, TSP 2012 - Proceedings*, 282-286.
- Nassar, M., Dabak, A., Kim, I. H., Pande, T. ve Evans, B. L., 2012a, Cyclostationary noise modeling in narrowband powerline communication for Smart Grid applications, *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, 3089-3092.
- Nassar, M., Lin, J., Mortazavi, Y., Dabak, A., Kim, I. H. ve Evans, B. L., 2012b, Local utility power line communications in the 3-500 kHz band: Channel impairments, noise, and standards, *IEEE Signal Processing Magazine*, 29 (5).
- Nieman, K. F., Lin, J., Nassar, M., Waheed, K. ve Evans, B. L., 2013, Cyclic spectral analysis of power line noise in the 3-200 kHz band, *ISPLC 2013 - 2013 IEEE 17th International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, Proceedings*, 315-320.
- Oyeleke, O. D., Idowu-Bismark, O., Andrew, A., Dyaji, C. B., Muhammad, I. ve Adamu, T., 2021, Noise characterization and modelling for powerline communications in Nigeria, *CIVEMSA 2021 - IEEE International Conference on Computational*

Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications, Proceedings.

- Papaleonidopoulos, I. C., Capsalis, C. N., Karagiannopoulos, C. G. ve Theodorou, N. J., 2003, Statistical analysis and simulation of indoor single-phase low voltage power-line communication channels on the basis of multipath propagation, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 49 (1), 89-99.
- Peter, A. O., Ng, C. K. ve Noordin, N. K., 2014, Power Line Communication (PLC) Impulsive Noise Mitigation: A Review, *Journal of Information Engineering and ...*, 4 (10), 1-15.
- Philipps, H., 1999, Modelling of Powerline Communication Channels, *IEEE Intl. Symp. on Power Line Commun. and Its Appl. (ISPLC)*, 14-21.
- Picorone, A. A. M., Oliveira, T. R. ve Ribeiro, M. V., 2014, PLC channel estimation based on pilots signal for OFDM Modulation: A review, *IEEE Latin America Transactions*, 12 (4), 580-589.
- Picorone, A. A. M., de Oliveira, T. R., Sampaio-Neto, R., Khosravy, M. ve Ribeiro, M. V., 2020, Channel characterization of low voltage electric power distribution networks for PLC applications based on measurement campaign, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 116 (September 2019), 105554-105554.
- Prasad, G., Latchman, H. A., Lee, Y. ve Finamore, W. A., 2014, A comparative performance study of LDPC and Turbo codes for realistic PLC channels, *IEEE ISPLC 2014 - 18th IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications*, 202-207.
- Rajkumarsingh, B. ve Sokappadu, B. N., 2019, Noise Mitigation in a Power Line Communication Channel, Springer International Publishing, p.
- Rajoba, N. S. ve Raste, M. M., 2019, A Review on Hot Line communication for Lifts, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 67 (5), 140-143.
- Raponi, S., Fernandez, J. H., Omri, A. ve Oligeri, G., 2022, Long-Term Noise Characterization of Narrowband Power Line Communications Measurements, Analysis and Modeling, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 37 (1), 365-373.
- Razazian, K., Umari, M., Kamalizad, A., Loginov, V. ve Navid, M., 2010, G3-PLC specification for powerline communication: Overview, system simulation and field trial results, *IEEE ISPLC 2010 - International Symposium on Power Line Communications and its Applications*, 313-318.
- Rieken, D. W., 2011, Periodic noise in very low frequency power-line communications, *2011 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, ISPLC 2011*, 295-300.
- Roberts, R. S., Brown, W. A. ve Loomis, H. H., 1991, Computationally efficient algorithms for cyclic spectral analysis, *IEEE Signal Processing Magazine*, 8 (2), 38-49.
- Rouissi, F., Vinck, A. J. H., Gassara, H. ve Ghazel, A., 2019, Improved impulse noise modeling for indoor narrow-band power line communication, *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 103, 74-81.
- Sanz, A., Garcia-Nicolás, J. I., Estopiñán, P. ve Miguel, S., 2009, PRIME from the definition to a SoC solution, *2009 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications, ISPLC 2009*, 347-352.
- Sartenaer, T. ve Delogne, P., 2001, Powerline cables modelling for broadband communications, *Communications*.

- Schaffenroth, S., Schmidt, H. P. ve Kolpin, A., 2021, Mitigation of Coloured Impulsive noise in OFDM receiver, *2021 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications, ISPLC 2021*, 43-48.
- Sendin, A., Kim, I. H., Bois, S., Munoz, A. ve Llano, A., 2015, PRIME v1.4 evolution: A future proof of reality beyond metering, *2014 IEEE International Conference on Smart Grid Communications, SmartGridComm 2014*, 332-337.
- Sharma, K. ve Saini, L. M., 2017, Power-line communications for smart grid: Progress, challenges, opportunities and status, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 704-751.
- Shukla, M., Sharma, N. ve Dwivedi, J. K., 2011, Power Line Communication_ A Survey - ResearchGate.pdf, (February 2011).
- Sonmez, M. A. ve Bagriyanik, M., 2013, Statistical model study for Narrowband Power Line Communication Noises, *ELECO 2013 - 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, 539-543.
- Stmicroelectronics, 2017, STEVAL-XPLM01CPL : Power line communication AC coupling circuit.
- Su, S. L., Huang, N. H. ve Yang, J. F., 2021, Impulse Noise Suppression for G.hn Broadband Power-Line Communication in Smart Grid, *2021 IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids, SmartGridComm 2021*, 175-180.
- Sure, P. ve Bhuma, C. M., 2017, A survey on OFDM channel estimation techniques based on denoising strategies, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20 (2).
- Tan, Z., Cheng, Y., Liu, H. ve Ma, Z., 2017, Noise modelling for power line communication in harsh environment, *Proceedings - 2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering, ICISCE 2017*, 1559-1563.
- Tan, Z., Liu, H., Ma, Z. ve Cheng, Y., 2018, Noise modeling and analysis for indoor broadband power line communication, Springer International Publishing, p.
- Tan, Z., Ma, Z., Liu, H., Peng, K. ve Shao, X., 2021, Subcarrier and interleaver assisted burst impulsive noise mitigation in power line communication, *IEICE Transactions on Information and Systems*, E104D (2), 246-253.
- Tlich, M., Zeddami, A., Moulin, F. ve Gauthier, F., 2008a, Indoor Power-Line Communications Channel Characterization Up to 100 MHz—Part I: One-Parameter Deterministic Model, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 23 (3), 1402-1409.
- Tlich, M., Zeddami, A., Moulin, F. ve Gauthier, F., 2008b, Indoor power-line communications channel characterization up to 100 MHz-Part II: Time-frequency analysis, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 23 (3), 1402-1409.
- Tonello, A. M. ve Versolatto, F., 2009, New results on top-down and bottom-up statistical PLC channel modeling, *Proc. 3rd Workshop on Power Line Commun. Its App*, 11-14.
- Tonello, A. M. ve Versolatto, F., 2010, Bottom-up statistical PLC channel modeling - Part II: Inferring the statistics, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25 (4), 2356-2363.
- Tonello, A. M. ve Versolatto, F., 2011, Bottom-up statistical PLC channel modeling-part I: Random topology model and efficient transfer function computation, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26 (2).
- Tonello, A. M., Versolatto, F., Béjar, B. ve Zazo, S., 2012, A fitting algorithm for random modeling the PLC channel, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27 (3).

- Tonello, A. M., Versolatto, F. ve Pittolo, A., 2014, In-home power line communication channel: Statistical characterization, *IEEE Transactions on Communications*, 62 (6).
- Tonello, A. M. ve Pittolo, A., 2015, Considerations on narrowband and broadband power line communication for smart grids, *2015 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, 13-18.
- Tseng, D. F., Tsai, T. R. ve Han, Y. S., 2013, Robust turbo decoding in impulse noise channels, *ISPLC 2013 - 2013 IEEE 17th International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, Proceedings*, 230-235.
- Tunç, M. A. ve Perrins, E., 2013, Pilot based channel estimation and transform domain analysis in broadband PLC for Smart Grid, *2013 IEEE International Conference on Smart Grid Communications, SmartGridComm 2013*, 283-288.
- Tuntoolavest, U., Sakunnithimetha, N. ve Limchaikit, K., 2017, Reed solomon inner-convolutional outer concatenated code with error-erasure decoding for narrowband and broadband power line communications, *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 39 (5), 601-608.
- Voglsgang, A., Langguth, T., Korner, G., Steckenbiller, H. ve Knorr, R., 2000, Measurement, Characterization and Simulation of Noise on Powerline Channels, *Proc. 4th Int. Symp. Power Line Commun. Appl.* 139-146.
- Zepke, B., Morgan, R., Dademad, B. S. ve Slabinski, C., 2003, Power line carrier used in elevator system. United States Patent Application Publication. , Otis Elevator Company. US 200300895.58A1: 1-4.
- Zhang, Q., Xiao, Y., Ling, H. ve Dang, S., 2012, The LMS channel estimation algorithm of low-voltage power line communication, *Proceedings - Power Engineering and Automation Conference, PEAM 2012* (2), 1-4.
- Zhang, R. ve Chao, Z., 2010, Channel estimation based on fuzzy inference for OFDM system over low voltage power line, *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC*, 911-914.
- Zhao, H., Hei, Y. ve Qiao, S., 2011, A novel channel estimation algorithm in OFDM power line communication system, *Proceedings of International Conference on ASIC*, 715-718.
- Zhao, H., Hei, Y., Qiao, S. ve Ye, T., 2012, Design and implementation of channel estimation for low-voltage power line communication systems based on OFDM, *Journal of Semiconductors*, 33 (10).
- Zhou, C., Wang, Z., Wang, H. ve Yang, D., 2021, Iterative Channel Estimation and Impulsive Noise Mitigation for OFDM Signals in Power-Line Communication, *International Conference on Communication Technology Proceedings, ICCT*, 2021-Octob, 228-232.
- Zimmermann, M. ve Dostert, K., 1999, A Multi-Path Signal Propagation Model for the Power Line Channel in the High Frequency Range, in *Proc. 3rd Int. Symp. Powerline Communications and its Applications, Lancaster, U.K.*, 45-51.
- Zimmermann, M. ve Dostert, K., 2002, A multipath model for the powerline channel, *IEEE Transactions on Communications*, 50 (4).