

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL GÜRÜLTÜLERİN GÜÇ HATTI İLE OLUŞTURULAN  
İLETİŞİM KANALI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Zeynep Tülin ÖZNEY**

**Anabilim Dalı : Elektrik Mühendisliği**

**Programı : Elektrik Mühendisliği**

**MAYIS 2010**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL GÜRÜLTÜLERİN GÜÇ HATTI İLE OLUŞTURULAN  
İLETİŞİM KANALI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Zeynep Tülin ÖZNEY  
(504041073)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Mayıs 2010**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ömer USTA (İTÜ)  
Eş Danışman : Prof. Dr. A. Hamdi KAYRAN (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Yard. Doç. Dr. Emine AYAZ (İTÜ)**

**MAYIS 2010**



*Aileme,*



## **ÖNSÖZ**

Bu tezin oluşturulmasında, yardım ve destekleriyle bana yön veren ve gerekli ölçüm ve gözlemlerin yapılması için Maktek Teknoloji Laboratuvarı'nda çalışmamı sağlayan Prof. Dr. Ömer Usta'ya teşekkürlerimi sunarım. Tez konusunda desteğini esirgemeyen Araştırma Görevlisi Kahraman Yumak'a, destekleri için aileme; anneme, babama ve kardeşime, biricik dostum Cem Renda'ya teşekkür ederim.

Mayıs 2010

Zeynep Tülin Özney  
Elektrik Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>viii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xv</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.2 Literatür Özeti .....	1
1.3 Hipotez .....	2
<b>2. TEMEL HABERLEŞME KAVRAMLARI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Elektrik Enerjisi Temel Kavramları .....	7
2.1 Güç Hatlarının Haberleşme Kanalı Olarak Kullanılması Üzerine .....	8
2.2 Güç Hattının İletişim Kanalı Olarak Kullanılması İçin Yapılması Gereken Çalışmalar .....	9
2.3 Dijital Haberleşmenin Temelleri .....	9
2.3.1 Sistem modeli .....	9
2.3.2 Kaynak kodlaması .....	10
2.3.3 Kanal kodlaması .....	10
2.3.4 Modülatör .....	10
2.3.5 Kanal .....	10
2.3.6 Bant genişliği .....	10
2.3.7 Çeşitlilik .....	11
2.4 Güç Hattının İletişim Amacıyla Kullanılması .....	11
2.4.1 Bant genişliği kısıtlamaları .....	12
2.4.2 İletilen sinyalin yayılımı .....	13
2.4.3 Empedans uyumsuzluğu .....	14
2.4.4 Sinyal/Gürültü oranı .....	14
2.5 Şebekenin Zamana Bağlı Davranışı .....	15
2.6 Güç Hattı İletişimi İçin Bir Kanal Modeli .....	15
2.7 Güç Hattı Üzerinden İletişim .....	16
2.8 Güç Hattı İletişiminin Önemi .....	17
2.9 Şebeke Yapısı ve Sistem Bileşenleri .....	20
2.10 Standartlar .....	21
2.11 Dar Bant Güç Hattı İletişimi .....	22
2.12 Güç Hattı Erişim Şebekeleri .....	23
2.12.1 Güç hattı iletişim şebekelerinin yapısı .....	23
2.12.2 Bina İçi Güç Hattı İletişim Şebekesi .....	24
2.13 Güç Hattı İletişimi Dağıtım Şebekeleri İçin İletişim Teknolojileri .....	26
2.14 Güç Hattı İletişimine Özel Performans Problemleri .....	27

2.14.1 Güç hattı iletişim kanalının özellikleri .....	28
2.14.2 Elektromanyetik Uyumluluk .....	29
2.14.3 Bozulmaların ve veri hızı limitlerinin etkisi .....	28
2.15 Bina İçi Güç Hattı İletişim Şebekesinin Yapısı .....	29
2.16 Güç Hattı İletişim Kanalının Özellikleri .....	30
2.16.1 Kanal Karakterizasyonu .....	31
2.16.2 Güç Hattı İletişim Şebekesinin Elektromanyetik Uyumluluğu .....	31
2.16.3 Bozulmaların Sınıflandırılması .....	34
<b>3 .GÜRÜLTÜNÜN SINIFLANDIRILMASI .....</b>	<b>37</b>
3.1 Gürültü Tipleri .....	42
3.1.1 Renkli arkaplan gürültüsü (Tip 1) .....	43
3.1.2 Darband gürültüsü (Tip 2) .....	43
3.1.3 Şebeke frekansına asenkron periyodik tepki gürültüsü (Tip 3) .....	43
3.1.4 Şebeke frekansına senkron periyodik tepki gürültüsü (Tip 4) .....	43
3.1.5 Asenkron Tepki Gürültüsü (Tip 5) .....	44
3.2 Gürültü Kaynakları .....	44
3.3 Gürültünün Matematiksel Modeli .....	46
<b>4. BAZI MATEMATİKSEL TANIMLAR .....</b>	<b>49</b>
4.1 Güç Spektrumu .....	49
4.2 Fourier Dönüşümü .....	49
4.3 Ayrık Zamanlı Fourier Dönüşümü .....	51
4.4 Hızlı Fourier Dönüşümü .....	54
4.5 Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü .....	54
<b>5. ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE EVSEL GÜRÜLTÜLERİN ÖLÇÜLMESİ .....</b>	<b>57</b>
5.1 Dizüstü Bilgisayarın Oluşturduğu İmpuls Gürültüsünün Analizi .....	57
5.2 Su Isıtıcının Oluşturduğu İmpuls Gürültüsünün Analizi .....	62
5.3 Saç Kurutma Makinesinin Oluşturduğu Gürültünün Analizi .....	65
5.3.1 Saç kurutma makinesinin açıldığı andaki gürültü analizi .....	65
5.3.2 Saç kurutma makinesinin kademe değişikliğinde oluşturduğu gürültünün analizi .....	67
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>69</b>
6.1 Gürültü Ölçümleri Neden Yapılır ve Bu Veriler Nasıl Kullanılır? .....	69
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>73</b>

## **KISALTMALAR**

<b>LAN</b>	: Local Area Network
<b>CFS</b>	: Carrier Frequency Systems
<b>RCS</b>	: Ripple Carrier Signalling
<b>USB</b>	: Integrated Services Digital Network
<b>DSL</b>	: Digital Subscriber Line
<b>WAN</b>	: Wide Area Network
<b>BS</b>	: Base Statiton
<b>WLAN</b>	: Wireless Local Area Network
<b>ISDN</b>	: Integrated Services Digital Network
<b>QoS</b>	: Quality of Service
<b>AWGN</b>	: Additive White Gaussian Noise
<b>FFT</b>	: Fast Fourier Transform



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 : Elektrik üretimi ve dağıtımı .....	6
Şekil 2.2 : Dijital haberleşme modeli .....	9
Şekil 2.3 : Güç hattını iletişim sistemi olarak kullanan dijital iletişim sistemi ...	12
Şekil 2.4 : Cenelec bandı frekans aralıkları .....	13
Şekil 2.5 : Güç hattı iletişim kanalı modeli .....	16
Şekil 2.6 : Güç hattı iletişim şebekesinin genel görünümü .....	24
Şekil 2.7 : Bina içi güç hattı iletişim sistemi genel yapısı .....	26
Şekil 2.8 : Omurga şebekesine yapılan bağlantı .....	27
Şekil 2.9 : Bina içi şebeke bağlantısı .....	30
Şekil 2.10 : Elektromanyetik uyum .....	33
Şekil 3.1 : Toplamsal gürültü .....	44
Şekil 5.1 : Yüksüz halde şebeke geriliminin zamanla değişimi .....	58
Şekil 5.2 : Dizüstü bilgisayarın prize takıldığındaki gerilim/akımın zamanla değişimi .....	59
Şekil 5.3 : Dizüstü bilgisayar devreye alınmadan önceki periyodun frekans spektrumu .....	60
Şekil 5.4 : Dizüstü bilgisayarın devreye alındığı andaki impuls gürültüsünün spektrum analizi .....	61
Şekil 5.5 : Su ısıtıcı devreye alındığı andaki gerilim/akımın zamanla değişimi .....	62
Şekil 5.6 : Su ısıtıcı devreye alınmadan önceki periyodun frekans spektrumu ...	63
Şekil 5.7 : Su ısıtıcı devreye alındığında oluşan impuls gürültüsünün frekans spektrumu .....	64
Şekil 5.8 : Saç kurutma makinesi devreye alınmadan önceki periyodun frekans spektrumu .....	65
Şekil 5.9 : Saç kurutma makinesi devreye alındığı andaki frekans spektrumu ...	66
Şekil 5.10 : Saç kurutma makinesi kademe değişikliği öncesi periyodun frekans spektrum .....	67
Şekil 5.11 : Saç kurutma makinesinin kademe değişikliğinde oluşturduğu İmpuls gürültüsünün frekans spektrumu .....	68



## **EVSEL GÜRÜLTÜLERİN GÜÇ HATTI İLE OLUŞTURULAN İLETİŞİM KANALI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

### **ÖZET**

Son yıllarda gelişen iletişim teknolojileri ile birlikte, veri iletişiminin önemi son derece artmıştır. Genelde veri iletişimi, telefon hatları üzerinden yapılmaktadır. Her geçen gün iletişim kanallarının kalitesi ve hızı artmaktadır.

Ancak, sadece telefon hatlarının bulunduğu ortamlardan veri iletişiminin gerçekleştirildiği düşünüldüğünde, kırsal bölgelerin bu konuda eksik kaldığını görüyoruz. Bu açıdan, güç hatları, her bölgede son derece yaygın olduklarından iletişim sistemi olarak kullanılmaya aday sistemlerdir.

Bunun yanında, gelecekte akıllı binaların artacağı da düşünüldüğünde, güç hatlarının iletişim sistemleri üzerindeki önemi son derece artacaktır. Akıllı binalardaki iletişim sistemlerinin güç hatları üzerinden sağlanması, bu iki sistemin birbirine entegre olmasını gerektireceğinden, yakın gelecekte güç hattı üzerinden sağlanan iletişim sistemlerinin çok daha önemli bir konumda olacağı son derece açıktır.



# **THE EFFECTS OF THE NOISES OF THE DEVICES USED IN HOME ENVIRONMENT ON POWER LINE COMMUNICATION**

## **SUMMARY**

With the improving technology during the last decades, the importance of the data communication has raised dramatically. Generally, data communication is done through the telephony lines. Every day, the quality and the speed of the communication systems improve.

Considering the communication is provided in the environment containing the telephony lines, rural areas have a very big disadvantage. To overcome this disadvantage, the power lines are the candidates to be used as communication systems.

Besides this, in the near future smart houses will be quite popular and the importance of the power lines will improve. Providing the communication systems through the power lines means that these two systems should be integrated, in the near future the communication systems built on the power lines will have a high importance.



## **1. GİRİŞ**

### **1.1 Tezin Amacı**

Gelişen iletişim teknolojileri sayesinde, veri aktarımının önemi her geçen gün artmaktadır. Bu teknolojinin yaygınlaşması nedeniyle artan talepler ve kullanım alanlarının çeşitlenmesi nedeniyle, veri aktarımının gerçekleştirilmesi için kullanılan iletişim hatlarının dışında, başka ortamlarda da iletişim yapılması ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyacın oluşmasının bir diğer nedeni de, iletişim hatlarının bulunmadığı kırsal kesimde de veri ihtiyacına duyulan ihtiyacın öne çıkmış olmasıdır. Güç hatları da veri iletişimi için kullanılan kanallardan biri haline gelmiştir. Bu nedenle, esas kullanım amacı iletişim olmadığı için, gürültülerin veri iletişimini engellememesi amacıyla, gürültü ölçümlerinin yapılması ve bu veriler ışığında, gerekli çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, gürültü tanımlarından ve yapılan ölçümlerden bahsedilmiştir. Gürültü ölçümleri, iletişimin kalitesinin ve sürekliliğinin sağlanması açısından önemlidir. Aynı zamanda, güç hattı üzerinde oluşturulan iletişim sistemlerine uygun cihazların üretilmesi ve ortamın kararsızlığı dolayısıyla kötü durum senaryolarının çıkarılması açısından gürültü ölçümlerinin büyük önemi bulunmaktadır.

Özellikle tezin konusunu oluşturan evsel gürültüler detaylı olarak incelenmiştir. Bu cihazların açma/kapama ve çalışma anlarında gürültülerin izlenmesi çok önemlidir. Özellikle açma/kapama anlarındaki değişik tepki gürültüleri, ani veri bozulmalarına sebep olmaktadır.

### **1.2 Literatür Özeti**

Güç hattının iletişim amacıyla kullanılması, aslında elektrik şebekesinin kapsama alanının artmasından hemen sonra olmuştur. Güç hattı üzerinden ses iletiminin gerçekleştirilmesi, 1920'lere dayanmaktadır. [5] Bunun yanında, telefon şebekesi halen elektrik şebekesi kadar yaygın olmadığından, veri iletişiminin öneminin artması kırsal kesimde güç hattının veri iletişimi için kullanılmasını alternatif bir metod olarak ortaya çıkarmıştır. Bunun yanında, şehirlerde akıllı binaların artması

da, güç hattı ile entegre bir sistemin oluşturulmasına neden olmuştur. [2] Yine benzer şekilde, şehirlerde de güç hatları, veri iletişimi için tercih edilir bir kanal haline gelmiştir.[7][10]

Sonuç olarak, tezin konusunu oluşturan evsel gürültüler, açma/kapamaları ve çalışma anlarında gözlemlenmeli ve güç hattı iletişim sisteminin oluşturulmasında kullanılmalıdır. Bu tip bir çalışma M. Tlich, H. Chaouche, A. Zeddani ve P.Pagani tarafından yapılmış ve evde kullanılan pek çok cihazın açma/kapama anları ile çalışma anları gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, gürültülerin frekans düşümleri hesaplanmıştır. Gürültüler, gürültü kaynaklarına yakın bir ortamda izlenmiştir. Ayrıca oluşan gürültüler kategorilere ayrılmıştır. [12][14][15]

Güç hatları üzerinden oluşturulan iletişim sistemlerinin, kırsal kesimler için yaygın bir alternatif olduğu konusu, tezin çıkış noktasını oluşturmaktadır. Bu konuyu işleyen çalışma ise J. Anatory, M. M. Kissaka ve N. H. Mvungi'nin yaptığı çalışmadır. [1]

Gürültü tipleri ve zamana bağlı davranışları M. Zimmerman ve K. Dostert tarafından gerçekleştirilmiş [17] ve [18]'de gösterilmektedir. Ayrıca frekans domenindeki analizler de bu çalışma da incelenmiştir. Sinyal/Gürültü ve impulsun etkileşimi yine bu çalışmada detaylı olarak incelenmiştir. [6] [11][16]

J.A. Cortes, L.Diez, F.J. Canete ve J. Lopez'in çalışmasında da, asenkron impuls gürültüsünün tanımı ve analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, zamana bağlı analizin yansıması, gürültünün yüksek çözünürlüklü spektral analizi ele alınmıştır.[3] [4]

Güç hatları üzerinden darbant iletişim için matematiksel gösterim; [13]'te yapılan çalışmada verilmiştir. Sözü edilen model, güç hatlarının genel özelliklerinden kaynaklanan gürültünün bulunduğu ortamlarda iletişimin gerçekleştirilmesi için önerilen bir modeldir. Bu model, ölçüm yapılan pek çok ortamdaki verilere kolaylıkla uyarlanabilir.

Ayrıca, tezin çalışma konusu olan analiz yapılırken temel matematiksel kavramlar konusunda [8]'deki tanımlardan yardım alınmıştır.

### **1.3 Hipotez**

Tezin amacı bölümünde yapılan açıklamalardan yola çıkarak, güç hatlarındaki gürültü ölçümlerinin, bu hatları iletişim kanalı olarak kullanan sistemlerin tasarımı açısından çok büyük önemi olduğunu söylenebilir. Bu sistemlerin tasarımının yanısıra, bu sistemlerde kullanılan cihazların üretilmesi ve gürültülerin etkilerinin önlenmesi açısından, gürültülerin sınıflandırılması ve incelenmesi gerekmektedir.

Bu bilgiler ışığında, yapılan ölçümlerin sonuçları MATLAB programıyla işlenerek, dalga şekilleri tekrar oluşturulmuş ve kısa zamanlı Fourier dönüşümü yöntemiyle frekans düşümleri gösterilmiştir.

Bu frekans düşümlerinin hesaplanması ile hem uygun filtrelerin kullanımı, hem de uygun cihazların üretilmesi için gerekli olan veriler elde edilmiş olacaktır.



## **2. TEMEL HABERLEŞME KAVRAMLARI**

### **2.1 Elektrik Enerjisi Temel Kavramları**

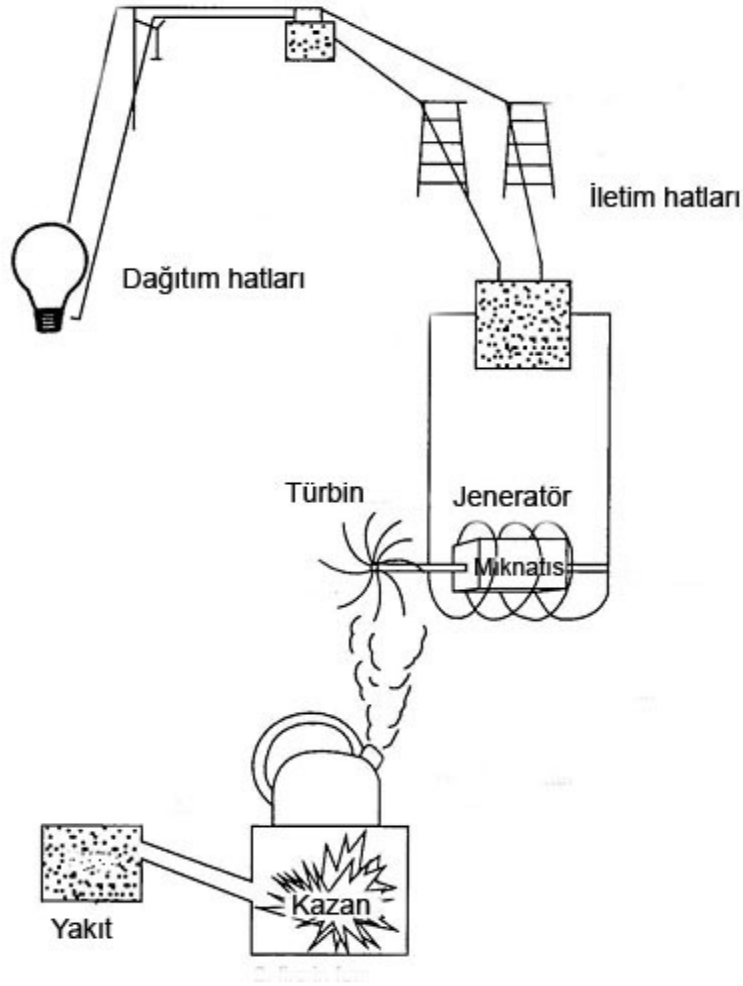
Elektrik enerjisi, dünyanın büyük bir bölümünde vazgeçilmez bir enerji biçimidir. Elektrikten başka enerji biçimleri kullanan sistemler bile, elektrikle çalışan denetim düzenekleri ve araçlar içerebilir. Örneğin, evlerimizdeki kaloriferler; doğalgaz, mazot yada kömür yakıyor olsa bile, pek çoğunda, elektrikle çalışan yanma ve sıcaklık denetimi düzenekleri bulunur. Benzer biçimde, sanayi ve üretim süreçlerinin çoğu için elektrik enerjisi gereklidir. Bu nedenle en yaygın şekilde kullanılan enerji, elektrik enerjisidir ve tüm yaşam alanlarının bir çoğunu kapsayarak evlerimizde kullanılan bir enerji biçimi olmuştur. Bu özelliğinden ötürü de, son yıllarda büyük gelişmeler kaydeden iletişim biçimleri için de iletim aracı olma yolunda çalışmaların yapılması gerekliliğinin düşünülmesine neden olmuştur.

Kısaca elektriğin üretiminden bahsetmek gerekirse, elektriği elde etmek için gücün üretilmesi gerekmektedir. Güç genel olarak, etrafı tellerle sarılı bir mıknatısın döndürülmesiyle elde edilir. Mıknatıs döndürüldüğünde, kuvvet çizgileri tellerin etrafında bir elektrik akımı oluşturur. Bu mıknatıs buhar gücüyle çalışan türbine bağlanmış mil yardımıyla döndürülür. Buharın elde edilmesi, bir yakıtın yakılmasıyla olur. Tipik olarak kullanılan yakıtlar, kömür, petrol, doğal gaz ve nükleer reaktörlerdir. Birçok jeneratör mıknatısı çevreleyen üç tel bobini kullanırlar. Bunun nedeni üç fazlı alternatif akım elde etmektir. Aralarında 120 derece faz farkı olması dışında bu alternatif akım değerleri bire bir aynıdır. Üç fazın seçilmesinin sebebi her defasında fazlardan birinin mutlaka en yüksek değere ulaşmış olmasıdır. Yüksek ve kararlı bir güç çıktısı elde etmek için bu özelliğın büyük önemi vardır.

Elektrik üretildikten hemen sonra, tüketiciye ulaştırılması gerekmektedir. Elektrik jeneratörü dört tel ile terk eder, bu dört telin üçü fazları, son tel ise toprağı taşır. Üretilen güç öncelikle güç tesisindeki iletim istasyonuna girer, uzak mesafe iletimi için çok yüksek seviyelere (110-380 kV) dönüştürülür. Bu işlem uzak mesafelere taşımada hat kayıplarını azaltmak için yapılır.

Enerji dağıtım şebekesi üç voltaj seviyesinden oluşur. Bunlar, yüksek gerilim (110-380 kV), orta gerilim (10-30 kV) ve alçak gerilim (0.4 kV) seviyeleridir. En yüksek gerilim seviyesi uzak mesafe iletimi için kullanılır. Genellikle, iletim yapılacak en uzak mesafe yaklaşık olarak 480 km seviyesindedir. Orta gerilim, küçük kasabalara, köylere ve endüstriyel tesislere elektrik sağlamakta kullanılır. Alçak gerilim ise küçük ticari kuruluşlara ve konutlara elektrik sağlamada kullanılan seviyedir.

Elektrik tüketici mahalline geldiğinde, evlere ve işyerlerine elektrik dağıtımını gerçekleştirmek için bir veya iki faz bir sekme aracılığıyla diğer fazlardan ayrılır. Aşağıdaki şekilde güç üretim ve dağıtım süreci gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Elektrik Üretimi ve Dağıtım

İletim hattından haberleşmeyi sağlamak için genellikle orta ve alçak gerilim seviyeleri kullanılır. Veri iletiminde yüksek gerilim seviyesinde çok fazla gürültü girişimi etkin olmaktadır.

İletim hatları üzerinden gerçekleştirilen haberleşmenin burada konu edilecek kısmı alçak gerilimle gerçekleştirilen olacaktır. Bu iletişim yönteminin en önemli avantajı mevcut alt yapıyı kullanmasından kaynaklanmaktadır. Böylece telefon hattı bulunmayan yerlerde de veri iletişimi sağlanmış olur. Günümüzde veri akışının çok yoğun olduğunu düşünüldüğünde, yeni bir yatırım yapmadan pek çok yerleşim biriminde, veri iletiminin mevcut güç iletim hattı üzerinden sağlanabileceği görülebilir. Veri iletiminin güç iletim hatları üzerinden yapılmasıyla bu iletimi sağlayan kurumlar için de yeni kar alanları ortaya çıkacaktır.

Ancak güç iletim hattı veri aktarımı için tasarlanmadığından haberleşme sırasında pek çok sorunla karşılaşılabilir. Ayrıca güç ile ilgili konuların aksine, veri iletim hatları yüksek bit aktarım hızlarını, hatta bazı zamanlarda gerçek zamanlı iletişimi gerektirmektedir. Çalışmanın ana konusunu bu sorunların tanımlanması ve çözümü konusunda neler yapılabileceği oluşturacaktır.

Veri iletişim hattının yüksek hızlı olması ve değişik cinsteki verileri kolaylıkla iletiyor olması çok önemlidir. Eğer her yerde bulunan güç iletim hatları, veri iletişimini sağlar hale gelirse çok önemli bir dönüm noktası olacaktır.

Veri iletişim hatları üzerinden haberleşmeye yönelik bugünkü çalışmalar, hat üzerinde gürültülerden veya girişimlerden kaynaklanan bozulmaları engellemek olduğu kadar, yüksek hızlı veri iletişimini destekleyecek şekilde bit iletim hızını artırmaya yöneliktir.

## **2.1 Güç Hatlarının Haberleşme Kanalı Olarak Kullanılması Üzerine**

Daha önce de bahsedildiği gibi enerji iletim hatları şebekesi, yerleşim bölgelerinin büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Her alçak gerilim şebekesinin bir alçak gerilim alt istasyonu vardır. Bu alt istasyonlar, gerilimi yerleşim biriminde kullanılacak seviyeye indirerek gerilim hatları üzerinden bağlı evlere dağıtır. Sözü edilen alt istasyonlar yani dağıtım noktalarına genellikle pek çok alçak gerilim hattı bağlıdır. Her alçak gerilim hattı dört kablodan oluşur. Bu kablolardan üçü faz, sonuncusu topraktır. Kabloların toplandığı yere pano adı verilir ve evlerin şebekeye bağlandıkları noktalardır.

Pek çok sistem, abonelerle iletim halinde bulunan bir merkezi nokta içermektedir. Bütün iletim dağıtım noktaları ile aboneler arasındadır. Alçak gerilim iletim hatları üzerinden aboneler arası iletişim yapılmamaktadır. Bütün aboneler arası fiziksel bağlantı olduğu için bu şekilde bir iletim de teorik olarak mümkündür. Alternatif olarak bu iletişim, bu merkezi noktadan yapılabilir.

Güç hatları üzerinden haberleşme verinin iletim hattı üzerinden yayılmasını sağlayan elektrik sinyallerine dayandırılır. Bir haberleşme kanalı, iletişim halinde olan iki nokta arasındaki fiziksel yol olarak adlandırılır. Alçak gerilim şebekesinde, pek çok farklı kanal bulunmaktadır. Bu kanallar, dağıtım noktaları arası ve evler ile dağıtım noktası arasındaki her hat ayrı karakteristiklere ve kalitelere sahip kanallardır. Evler arasındaki iletişimin desteklendiği ortamlarda bu hatların farklı iletişim kanalları vardır.

Kanalın kalitesi kanal üzerindeki iletişimin ne kadar iyi olduğuna bakılarak tahmin edilir. Kalite, alıcıdaki gürültü seviyesi ve elektrik sinyallerinin değişik frekanslardaki zayıflamasına bağlı bir parametredir. Gürültü seviyesi ne kadar yüksekse, alınan sinyalin saptanması o kadar zor olur. Bazı durumlarda iletişim sinyali, gürültü tarafından saklanır ve sonuç olarak gerçek verinin algılanması imkansızlaşır.

Güç hattında şebekeye bağlı her yük gürültü meydana getirir. Aynı zamanda radyo yayını da haberleşme kanalına girişimde bulunur. Zayıflama, kanalın fiziksel uzunluğu ve şebekedeki empedans uyumsuzluğunun bir sonucudur. Gürültü ve zayıflamanın zamanla değişen özelliklerinden dolayı güç hattı iletişim için zor bir ortamdır ancak pek çok iletişim sisteminde erişilebilecek performansı sınırlar. Günümüzde bu gibi zorlukların üstesinden gelecek iletişim sistemleri bulunmaktadır.

## **2.2 Güç Hattının İletişim Kanalı Olarak Kullanılması İçin Yapılması Gereken Çalışmalar**

Gelecekte, sadece endüstriyel ve ticari alanlarda değil, bina otomasyonu ve eğlence alanlarında da önemi artacağından güç hattı konusunda düzenleme ve iyileştirme anlamında çalışmalar yapılması gerekmektedir. Yüksek veri hızlarında sorunsuz bir iletişim sağlanması için aşağıda listelenen çalışmaların yapılması gerekmektedir:

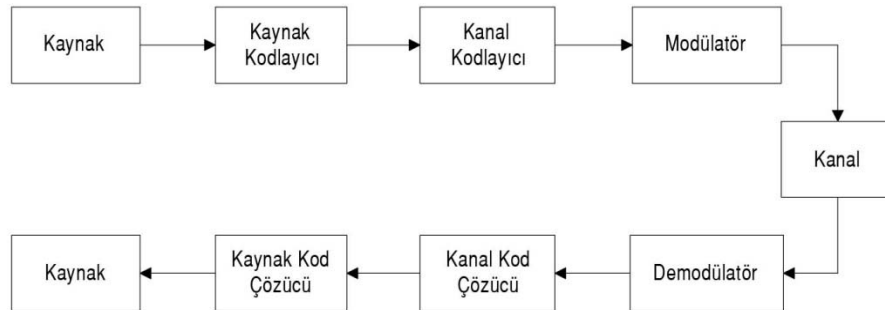
- a) Kanal analizi ve modellenmesi

- b) Düzenlemeler: Elektromanyetik uyum için limitlerin tanımlanması
- c) Standardizasyon: Spektrum kullanımı, modülasyon şemaları ve protokoller gibi konularda üreticilerin ve servis sağlayıcıların yaptığı anlaşmalar örnek verilebilir.
- d) Elektromanyetik uyumun sağlanması ve performans analizi için saha çalışmaları
- e) Seri üretime girecek ürünler için yazılım ve donanım geliştirilmesi

## 2.3 Dijital Haberleşmenin Temelleri

### 2.3.1 Sistem modeli

Aşağıdaki şekilde dijital haberleşme sisteminin basitleştirilmiş modeli görülmektedir. İletişim sisteminin amacı, gürültülü kanalda mümkün olan en yüksek bit hızıyla dijital verinin (sıfır ve birlerden oluşan sıralı verinin) iletilmesini sağlamaktır. İletilecek her veri her hangi bir bilgi kaynağında oluşabilir. Verinin, mesela konuşma gibi, analog olması durumunda, vericiden önce bir analog dijital dönüştürücü kullanılması gerekir.



**Şekil 2.2:** Dijital Haberleşme Modeli

Kaynak kodlayıcısı belirli bir  $R_b$  bit aktarım hızıyla kanalda yayılacak veriyi oluşturur. Varış noktasında hatalı olarak alınan bitlere bit hata olasılığı denir,  $P_b$  ile gösterilir ve performansın bir ölçüsü olarak kabul edilir. Kanal, iletişime girişimde bulunarak, bit iletimindeki hata olasılığını artırabilir.

### 2.3.2 Kaynak kodlaması

Bazı verilerde tekrarlar olduğu için verinin sıkıştırılması mümkün hale gelir. Bu kaynak kodlayıcı tarafından yapılır ve kanalda yayınlanan veri miktarını azaltır.

Alıcıda, kaynak kodlayıcı ya sıkıştırılmış veriyi birebir kopyası olarak (kayıpsız veri sıkıştırma) ya da bozulmuş bir versiyonu olarak (kayıplı veri sıkıştırma) açar. Eğer alınan verinin tamamına iletilen veriyle aynı sırada olması gerekmiyorsa, sıkıştırma seviyesi artırılabilir.

### **2.3.3 Kanal kodlaması**

Hata olasılığını azaltmak için, kanal kodlayıcı bit sırasına kontrollü olarak veri güvenilirliği (ekstra kontrol biti) ekler. Bitlerin diziliş sırasında bir hata görülürse, bu ekstra bilgi kanal dekoderi tarafından hatayı ayıklamak ve muhtemelen düzeltmek için kullanılır. Eklenecek bitlerin miktarını ihtiyaç duyulan düzeltme belirlenir ancak aynı zamanda kanalın karakteristikleriyle uyumlu olarak değişir. Blok kodlaması ve katmanlı kodlama, kullanılan iki kodlama şeklidir.

### **2.3.4 Modülatör**

Modülatör, kanal üzerinde yayılarak veri taşıyan bir sinyal üretir. Bu aşamada veri bitler dizisinden kanalın taşıyabileceği bir analog sinyal şekline dönüştürülür. Modülatörde bir dizi analog dalga şekli bulunmaktadır ve belirli dalga şekli bir ikili dijitle ya da dijit dizisiyle eşleşir. Alıcıda, demodülatör hangi dalga şeklinin iletildiğini saptar ve analog veriyi tekrar bit dizisine çevirir.

Pek çok modülasyon tekniği bulunmaktadır: yayık spektrum, dik frekans bölmeli çoğullama, Gauss tipi asgari kayma anahtarlama, frekans kayma anahtarlama, faz kayma anahtarlama, karesel genlik modülasyonu.

### **2.3.5 Kanal**

Kanal, koaksiyel kablo, hava, su ve telefon telleri gibi herhangi bir fiziksel ortam olabilir. Kanalın zayıflama ve gürültü seviyesi gibi karakteristiklerini bilmek önemlidir, çünkü bu parametreler iletişim sisteminin performansını doğrudan etkiler.

### **2.3.6 Bant genişliği**

Veri taşıyan sinyalin frekans içeriği çok önemlidir. İletişim sistemi tarafından kullanılan frekans aralığına bant genişliği,  $W$ , denir. Özel bir iletişim yöntemi için, ihtiyaç duyulan bant genişliği bit hızıyla orantılıdır. Bunun yanında, daha yüksek bir veri hızı daha büyük bir bant genişliği gerektirecektir. Eğer bant genişliği iki katna çıkarsa, veri hızı da aynı şekilde iki katna çıkacaktır.

Günümüzde, bant genişliği sınırlı ve değerli bir kaynaktır ve bant genişliği genellikle

belirli küçük bir aralık olarak değerlendirilir. Bunun sonucu olarak da iletişim sistemi, belirlenen bant genişliğinde iletimi gerçekleştirmek üzere sınırlandırılır.

Farklı iletişim sistemlerini karşılaştırmak için bant genişliği verimliliği,  $\rho$ , şu şekilde tanımlanır :

$$\rho = R_b / W$$

ve iletişim sisteminin ne kadar iyi olduğunun ölçüsü olarak verilir. Günümüzde gelişmiş bir telefon modemi, 4 kHz'lik bir bant genişliğini ve 14,15 b/s Hz'lik bant genişliği verimliliğini kullanarak 56,6 kb/s'lık bir veri iletişim hızına erişebilir. 10 kb/s'lık bir veri iletişim hızına sahip bir uzaktan okuma güç hattı iletişim modeli olan ve 0,11 b/s Hz'lik bant genişliği verimliliğiyle CENELEC A bandında iletişim halindedir, böylece telefon modeminin performansının çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

### **2.3.7 Çeşitlilik**

Zorlu kanallarda hata olasılığını azaltmak için, çeşitlilik teknikleri kullanılabilir. Bu tekniklere örnekler, zaman çeşitliliği ve frekans çeşitliliğidir.

Zaman çeşitliliğinde, aynı bilgi değişik zaman dilimlerinde bir defadan fazla iletilir. Eğer bir zaman diliminde kanal kötüyse, kanalın iyi (veya nispeten daha iyi) bilgi başka bir zamanda iletilebilir. Bu teknik, özellikle zaman değişkenli kanallarda kullanışlıdır.

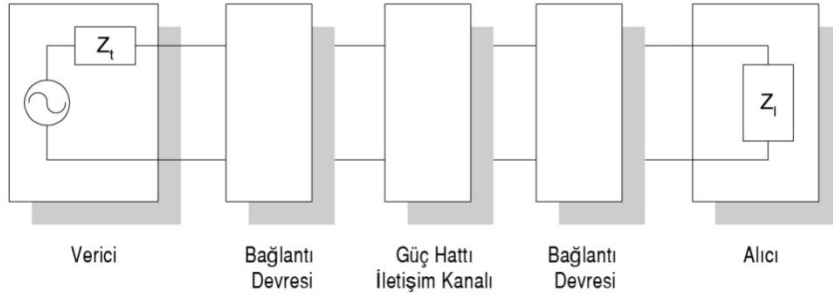
Frekans çeşitliliği tekniği de, aynı bilgiyi frekans alanındaki farklı konumlarda tekrar iletir. Farklı frekanslarda iletim yapan ve birinin çalışmaması durumunda diğerinin iletimi gerçekleştirdiği iki antenin var olması gibi düşünülebilir.

### **2.4 Güç Hattının İletişim Amacıyla Kullanılması**

Daha önce de tanımlandığı gibi, verici ve alıcı arasındaki fiziksel yola kanal denir. Alçak gerilim şebekesinde, her biri kendine özgü karakteristiği ve kalitesi olan pek çok kanal bulunmaktadır.

Şekilde, güç hattını iletişim hattı olarak kullanan bşr dijital iletişim sistemi görülmektedir. Solda verici, sağda alıcı gösterilmiştir. İletişim sisteminin önemli parametreleri olarak vericinin  $Z_t$  çıkış empedansı ve alıcının giriş empedansı  $Z_1$

verilebilir.



**Şekil 2. 3:** Güç Hattını İletişim Sistemi Olarak Kullanan Dijital İletişim Sistemi

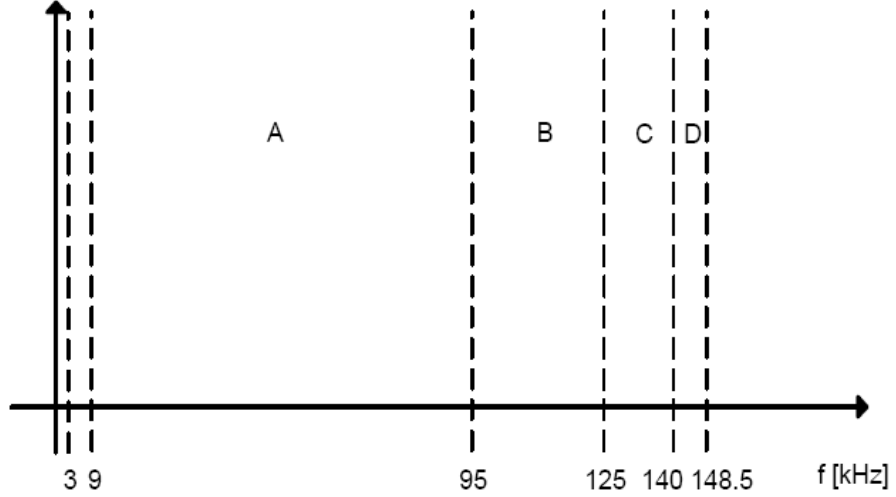
Güç hattıyla iletişim hattını birbirine bir bağlantı devresiyle bağlanır. Bu bağlantı devresinin iki amacı vardır. İlki, güç dağıtımı için kullanılan ve zarar verme ihtimali olan 50 Hz'lik sinyalin cihaza girişini engeller. İkincisi, gönderilen/alınan sinyalin büyük bir kısmının iletişim için kullanılan frekans bandının içinde olduğunu doğrular. Bu alıcının dinamik aralığını artırır ve vericinin kanala girişim sinyali göndermesini engeller.

#### 2.4.1 Bant genişliği kısıtlamaları

Daha önce de açıklandığı gibi, bant genişliği bit hızıyla doğru orantılıdır ve yüksek bit hızlarıyla haberleşmek için büyük bir bant genişliğine ihtiyaç vardır.

Avrupa'da izin verilen bant genişliği CENELEC standardıyla belirlenmiştir. Standart, 3 kHz ile 148.5 kHz arasındaki frekanslara izin vermektedir. Bu durum, güç hattının iletişim kanalı olarak kullanılması için sert bir sınırlandırma getirmektedir ve özellikle gerçek zamanlı video gibi yüksek bit hızlı yüksek performans gerektiren uygulamalarda yeterli olmayacaktır.

Aşağıdaki şekilde CENELEC standardında belirlendiği şekliyle band genişliği görülmektedir. Frekans aralığı 5 alt banda ayrılmıştır. İlk iki bant (3-9 kHz ve 9-95 kHz) güç sağlayıcılarına, diğer 3 band da güç sağlayıcılarının müşterilerine ayrılmıştır. İzin verilen aralığın belirlenmesi dışında, standart aynı zamanda vericideki güç çıkışını da sınırlandırır.



**Şekil 2.4:** Cenelec Bandı Frekans Aralıkları

Bit hızını artırmak için, daha büyük bir bant genişliğine gerek vardır. Yapılan araştırmalar 1 ila 20 Mhz arasındaki frekansın kullanılmasını önermiştir. Eğer bu aralık kullanılabilirse bant genişliğinde büyük bir artış sağlanabilir ve güç hattı üzerinde yüksek veri hızlı uygulamalara izin verilebilir. Bu durumda, en önemli problem bu frekans bandının diğer iletişim sistemlerine atanmıştır ve bozulmalardan korunmalıdır. Bu frekansları kullanan diğer iletişim sistemleri güç hattı üzerindeki iletişimi bozabilir. Bu aralıktaki iletişim sistemleri, radyo yayını, amatör radyo ve hava seyir haberleşme sistemleridir.

#### **2.4.2 İletilen sinyalin yayılımı**

Sinyali güç hattı üzerinden iletirken sinyal havada yayılır. Güç hattı, sinyalleri gönderen ve alan büyükçe bir anten olarak düşünülebilir. Güç hattından yayılan sinyalin başka iletişim sistemlerine girişimi olmaması önemlidir.

1-20 MHz frekans aralığına diğer pek çok radyo uygulamaları atandığı için, bu aralıktaki yayılım son derece önemlidir. Bir iletişim sisteminin hava haberleşme veya radyo yayın sistemleriyle etkileşimi uygunsuzdur. Yapılan araştırmalarda, bu problem ele alınmış ve iletim için maksimum güç seviyesini belirlemeye çalışılmıştır. Bu çalışmaların tamamlanması band genişliğini sınırlaması ve güç hattı iletişim kanalı için kullanılacak iletişim sisteminin belirlenmesi açısından önemlidir.

Yeraltı kablolarında yayılım küçüktür. Ancak yayılımdaki en büyük pay evlerde bulunan elektrikli eşyalardan gelmektedir. Evdeki kablolar ekranlanmadıklarından

yüksek oranda yayılıma neden olurlar. Çözüm olarak, iletişim sinyallerinin eve girmesini engellemek için filtreleme kullanılabilir.

### **2.4.3 Empedans uyumsuzluğu**

Geleneksel iletişim sistemlerinde, empedans uyumuna dikkat edilir. Örneğin 50 ohm'luk kablolarla 50 ohm'luk vericiler kullanılır. Ancak güç hatları iletişim devrelerinde empedans uyumsuzluğu vardır. Giriş ve çıkış empedansları, farklı yükler ve bölgelerde, zamanla değişmektedir. Çok küçük ve çok büyük empedans değerleri arasında değişiklik gösterir, alt istasyonlarda özellikle çok düşüktür.

Erişim empedansı dışında pek çok farklı empedans uyumsuzluğu güç hattı iletişimde ortaya çıkabilir. Örneğin panolardaki empedansla, kabloların empedansı uyumsuzdur, çünkü sinyal zayıflamaktadır.

Şebekenin stabilizasyonu için filtreler kullanılabilir. Bu filtreler, oldukça pahalı olabilir ve stabilizasyon için her panoya yerleştirilmesi gerekebilir.

### **2.4.4 Sinyal/Gürültü oranı**

İletişim performansının performansını tahmin etmek için, sinyal/gürültü oranı önemli bir parametredir.

$$\text{SNR} = \text{Alınan Güç} / \text{Gürültü Gücü}$$

Bu parametre, iletişim sisteminin performansı ile doğrudan ilgilidir. Sinyal/gürültü oranı ne kadar yüksekse, iletişim o kadar iyidir.

Güç hattındaki gürültü gücü, pek çok bozulmanın toplamıdır. Televizyon, elektrik süpürgeleri ve bilgisayarlar gibi evde kullanılan şebekeye bağlı pek çok yük, güç hattı üzerinde yayılan gürültü oluşturur. Alıcıda diğer iletişim sistemlerinden kaynaklanan gürültü de bu toplama eklenir.

Sinyal vericiden alıcıya yayılırken, sinyalde zayıflama olur. Eğer zayıflama çok fazlaysa, alınan güç çok küçük ya da algılanamayacak kadar küçük olur. Güç hattı üzerindeki zayıflamanın çok yüksek olması (100 dB'ye kadar) mümkündür ve bu durum da verici ile alıcı arasındaki mesafenin sınırlandırılmasına sebep olur. Bu problemin çözerek iletişim mesafesini artırmak için panolarda tekrarlayıcılar kullanılır.

Filtrelerin kullanılması, sinyal/gürültü oranını yükseltebilir. Bunu sağlamak için her

binada, kendi içinde ürettiği gürültüyü engelleme amaçlı olarak filtre kullanır ve gürültünün şebekeye geçişini engelleyebilir, ancak bu da maliyetleri artıracaktır.

Önemli olan, güç iletişimi çalışmalarında bu ortamın iletişim için zorlu bir ortam olduğuna dikkat çekmektir, bu tip zorluklara her türlü iletişim ortamında rastlanmaktadır.

## **2.5 Şebekenin Zamana Bağlı Davranışı**

Güç hatlarındaki iletişim kanalındaki bir problem de bozuklukların zamanla değişiyor olmasıdır. Gürültü seviyesi ve zayıflama, zamanla değişir ve bağlı olan yüklerden ortaya çıkar. Zamana bağlı bir kanal da, iletişim sisteminin tasarımını karmaşık hale getirir. Bazen iletişim mükemmel olarak kurulabilir, bazen de yüksek gürültü kanalı bozarak iletişimi engelleyebilir.

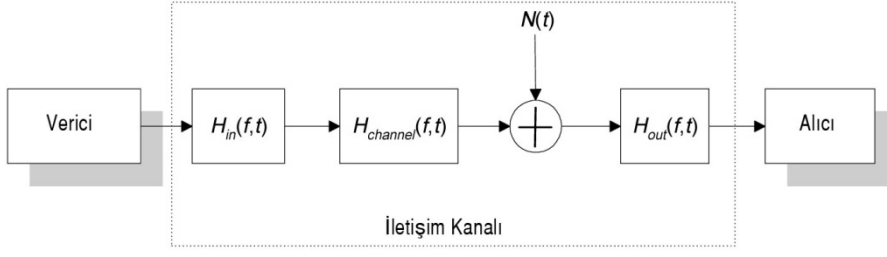
Bu durumda, iletişim sisteminin kanal karakteristiklerine adapte olabiliyor olması gerekir. Her hangi bir zamanda, örneğin bir takım ölçümler yapılarak, kanal karakteristikleri hesaplanmalı ve daha iyi karar vermek için kullanılmalıdır. Bu durum yine maliyeti artırmaktadır.

## **2.6 Güç Hattı İletişimi İçin Bir Kanal Modeli**

Daha önce de bahsedildiği gibi, aşağıda listelenen problemler güç hattı iletişim sisteminin performansının bozulmasına sebep olmaktadır :

- Vericideki empedans uyumsuzlukları
- Kanal zayıflaması
- Bozulmalar (Gürültü)
- Alıcıdaki empedans uyumsuzlukları
- Bozulmaların zamana göre değişimleri

Aşağıda, yukarıdaki parametreleri içeren güç hattı iletişim kanalı modellenmiştir. Gürültü dışındaki tüm bozulmalar; frekans yanıtlarını esas alarak karakterize edilmiş ve zamana bağlı lineer filtreler olarak gösterilmiştir. Bozulmalar da rastgele ek süreçler olarak ifade edilmektedir.



**Şekil 2.5:** Güç Hattı İletişim Kanalı Modeli

Aşağıdaki şekilde ise bu bozulmalar; zamana bağlı bir filtre ve ek gürültü içeren tek bir filtre olarak gösterilmektedir. Şeklin basit görünüşüne rağmen, iletişim sistemlerinin tasarımı ve performansının değerlendirilmesi için gerekli yapıya sahiptir. Transfer fonksiyonu ve gürültü, ölçümler sonucunda veya teorik analizler sonucu tahmin edilebilir. Ancak elektrik şebekesinin karmaşık yapısından dolayı, bu analiz ve ölçümler yetersiz kalabilmektedir.

## 2.7 Güç Hattı Üzerinden İletişim

“E-dönüşüm, Türkiye KDEP-2204, 3 Numaralı Eylem Raporu İnternet Altyapısı ve Kullanımı ile Geniş Bant Erişimini de İçerecek Şekilde Ülke Geneline Yaygınlaştırılması Yönünde Alınması Gereken Tedbirler” isimli rapordaki tanıma göre güç hattı iletişimi, elektrik şebekesi üzerinde geniş bant erişimi sağlayan bir teknolojidir. Bu teknoloji, elektrik dağıtım şebekesini yüksek hızlı veri iletimine olanak sağlayan geniş bant veri iletişim şebekesine dönüştürür. Erişim için kullanılan modem normal elektrik prizine takılır ve buradan veri elektrik telleri üzerinden veri iletişimi sağlayan servis sağlayıcısının kurduğu erişim noktasına iletilir.

Mevcut elektrik şebekesinin kullanılması ile bu teknoloji kullanıcılara benzersiz bir iletişim olanağı sunar. Her eve kadar giden elektrik şebekesi halihazırda mevcut olduğundan ilave yatırım gerektirmeyen bir altyapı iletişim şebekesinin kullanımına olanak verir. Evdeki kullanıcılara da ev içerisinde ilave yatırım yapmadan kendi yerel alan şebekelerini (LAN) kurma olanağı verir.

Güç hattı üzerinden veri iletişimi, her yerde bulunuyor olması, çokça dallara ayrılmış ve hiyerarşik bir yapıya sahip olması nedeniyle güç hattı iletişimi açısından tercih edilen bir yapı olmuştur. Aynı zamanda sayılan bu üç özellik sebebiyle telekom

alanında rekabet açısından büyük önemi vardır. Yüksek hızlı iç mekan iletişimi için, güç hatları yeni kabloları gerektirmeksizin herhangi iki noktayı birbirine bağlamak için önemli bir kaynaktır.

## **2.8 Güç Hattı İletişiminin Önemi**

Güç hattı iletişimi, mevcut altyapıyı kullanması nedeniyle önemli avantajlara sahiptir. Güç hattı üzerinden sinyaller, yeniden üretilmelerine gerek kalmadan uzak mesafelere iletilebilirler. Mevcut kabloları her hangi bir değişiklik yapılmasına gerek yoktur. Her prizden geniş bant bağlantısı sağlanabilir. Bu sebeple, dünya üzerindeki en yaygın altyapıya sahip olur. Aynı zamanda gözetim, alarmlama, bina otomasyonu, bina yönetimi uzaktan bakım ve uzaktan okuma gibi katma değerlere sahip bir sistem oluşturulmuş olacaktır. Bütün sistemin kontrol edilebilir olması, yüksek hizmet kalitesini de beraberinde getirecektir. Kullanımı basit ve yaygın olacağından, kişiye bağımlı bir sistem olmaktan çıkacak ve her son noktanın birbirinden bağımsız yapılandırılması sağlanmış olacaktır. Güç hattının yüksek hızından faydalanarak, veri ve görüntü iletişimi, son derece hızlı yapılmış olacaktır.

Yerel erişim şebekelerinin var olan yerel güç dağıtım şebekesi üzerinden sağlanması sonucunda, ek altyapı kurulmasına gerek kalmaması, bakır hırsızlığı riskinin ortadan kaldırılması ve karşılanabilir giderlerle gerekli servisin alınması mümkün hale gelecektir. Güç hattı iletişimiyle, yerel güç şebekesi kullanılarak ses ve veri iletişimi sağlanması amaçlanmaktadır. Aynı zamanda, yeni ve pahalı bir iletişim ağının kurulması var olan altyapıyı kullanarak önlenir. Bu durumda, aboneler kablolu şebeke üzerinden iletişim şebekesine bağlanacaklardır. Aşağıdaki şebekeler bu amaçla kullanılabilir:

- Klasik telefon şebekesi
- Kablo TV şebekesi
- Elektrik güç tedarik şebekesi, ki burada ele alınan ve üzerinde durulacak olan konu budur.

Güç hattı iletişimi, elektrik güç tedarik hatlarının iletişim için kullanılan şeklinin adıdır. Bu durumda, elektrik dağıtım şebekeleri ek olarak değişik uzak iletişim hizmetlerinin iletim ortamı olarak kullanılır. Güç hattı iletişim şebekelerinin oluşturulmasındaki esas fikir, masrafların ve yeni uzak iletişim şebekesi yatırımlarının azaltılmasıdır.

Yüksek ve orta gerilim güç tedarik şebekeleri, ekstra uzak iletişimi şebekelerinin kurulmasını engelleyerek uzak iletişim sistemleri arasında köprü olarak kullanılabilirler. Alçak gerilim güç tedarik şebekeleri de, hanelerde ve işyerlerinde çok yoğun olarak bulunan ve güç hattı iletişimin son noktası olarak da kullanılabilir yapıyı oluşturabilir. Güç hattı iletişimi aynı zamanda binalar arasındaki iletişimde elektrik tesisatının iletişim altyapısını oluşturduğu şebekelerde de kullanılabilir.

Yirminci yüzyılın başından itibaren güç hatları uzak iletişim amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek gerilim elektrik şebekeleri üzerinde çalışan ilk Taşıyıcı Frekans Sistemleri (CFS), yüksek gerilim şebekelerinde 500 Km'lik mesafeleri 10 W'lık sinyal taşıma gücüyle yayılma gücüne sahipti. Bu tip sistemler, elektrik firmalarının iç iletişimini sağlamak ve uzaktan ölçme işleminin gerçekleştirilmesi için kullanılmaktaydı. Aynı zamanda, orta gerilim ve alçak gerilim elektrik şebekeleri üzerinde de iletişim gerçekleştirilmiştir. Elektrik tedarik sistemlerinde, dalga taşıma sinyalleşmesi (RCS) yük yönetiminin gerçekleştirilmesi için orta ve düşük gerilim şebekelerinde uygulanmıştır.

Güç tedarik şebekelerinin veri iletişimi için ek olarak kullanılmaya başlanması, elektrik şebekesinin kapsama alanının yayılmasından hemen sonra olmuştur. Yüksek gerilim hatları üzerinden sesin taşıma frekansı iletimi 1920'de başlamıştır. Yaygın yüksek gerilim şebekelerinin önemli görevleri arasında; işletme yönetimi, izleme ve arıza bulma sayılabilir. Yaygın yüksek frekans şebekelerinin fonksiyonlarını oluşturan bu görevler, enerji üretim tesisleri, trafo istasyonları, anahtarlama ekipmanları ve komşu şebekelerle bağlantı noktaları arasında çift taraflı mesaj akışını gerektiren görevlerdir. Elektrik şebekelerinin ilk kurulduğu zamanlarda, telefon şebekesinin kapsama alanı çok geniş değildi. Günümüzde bile, telefon şebekesinin erişim alanı, yüksek gerilim şebekesinin eriştiği her nokta kadar geniş değildir. Ayrıca, uzaktan okuma ve izleme gibi görevleri için oluşturulmuş aktif bağlantıların telefon şebekesi üzerinden gerçekleştirilmesi uygun değildir ve bu tip bir veri aktarımı sadece kısa mesafeler için ekonomiktir.

Bunun yanında, telefon hatlarının esas görevi ses ve veri iletimidir. Özellikle son yıllarda internet kullanımı, iletişimin önemini artırmıştır. Hayatın her alanında internet iletişimine olan ihtiyaç da gün geçtikçe artmaktadır. Ses ve veri iletişimi gibi dar bantların yeterli olduğu uygulamaların dışında, görüntü ve ses gibi eşzamanlı

iletişimin önemli olduğu geniş bant uygulamalar da öne çıkmaktadır. Akıllı bina kavramının hayatımıza girmesiyle çok yakın bir zamanda evimizdeki her cihazın bir IP adresi olacağı düşünülürse, telefon hatlarının giremediği yada yetersiz kaldığı her noktaya erişim için büyük imkanlar sağlayan güç hattı üzerinden veri iletişiminin daha da öne çıktığı görülecektir. Ancak unutulmamalıdır ki, güç hattı iletişim amaçlı olarak tasarlanmamış olduğundan, kanallar iletişim açısından pek de elverişli olmayacaktır. Ayrıca, gürültüler ve harmonikler gibi çevresel faktörlerin olumsuz etkilerine son derece açık bu ortam, veri iletişiminde bir takım sorunlar ortaya çıkacaktır. Güç iletişim hattının kapasitesi tam olarak ortaya konularak, uygun kanal özellikleri ve modülasyon teknikleri kullanılarak bu olumsuz etkilerin özellikleri en aza indirgenebilir.

Özellikle geri kalmış ülkelerde, düşük veri hızları için ödenen yüksek maliyetler nedeniyle, güç hattı iletişimi ek maliyet gerektirmeyen ve ucuz bir veri iletişim tekniği olacaktır. Ancak gelişmekte olan ülkelerde, dağıtım trafosu yüksek veri hızını destekleyecek kapasiteye sahip değildir. Dağıtım trafosunun güçlendirilmesi sonucu hem enerji kalitesi, hem de iletişim kabiliyeti artırılabilir.

Geniş bant erişim sisteminin güç hattı iletişimi üzerinde uygulanması için bir takım çalışmaların yapılması ve bu çalışma sonucunda ortaya çıkan problemlerin giderilmesi gerekmektedir. Bu çalışmalar aşağıdaki gibi listelenebilir :

- 1) Kanal özelliklerini belirleme
- 2) Elektromanyetik uyum
- 3) Empedans uyumsuzlukları ve bağlı olan yüklerin tipleri
- 4) Dağıtım trafolarının bypass edilmesi
- 5) Frekans tahsisleri
- 6) Şebekelerle bağlantı
- 7) Kullanılacak modülasyon ve kodlama teknikleri
- 8) Çoklu erişim ve trafik kontrolü
- 9) Çoklama modu
- 10) Şebekede kullanılacak yönlendirme mekanizması

Güç hattı iletişim sistemi aşağıdaki çevresel koşullarda olmalıdır :

- 1) Bu sistem, tek bir dağıtım trafosundan beslenen kullanıcılara hizmet sağlar

- 2) Alıcı ve verici arasındaki mesafe 1 Km'yi aşmamalıdır
- 3) Bir trafoya bağlı olan yerleşim birimi sayısı 100'den fazla olmamalıdır
- 4) Sinyal trafonun 3 fazı arasında yer değiştirebilir

## 2.9 Şebeke Yapısı ve Sistem Bileşenleri

Trafo alt istasyonu ve müşterinin bulunduğu ortamdaki prizler arasındaki son mesafeyi katetmek için, alçak gerilim güç dağıtım şebekesini iç ve dış güç hattı iletişim birimleri olarak ikiye ayırmak gerekir. Bunun sebebi, şebekeye bağlı tüm mesafenin yüksek zayıflamaya yatkın bir yapıda olmasıdır. Genellikle abonelerin yalnızca onda biri, elektromanyetik uyumluluk gerekliliklerinde belirtilen güç kısıtlamaları kapsamında sadece bir sekmeden doğrudan beslenebilir.

Şebekenin ikiye ayrılan kısımlarından dış bölüm, trafo alt istasyonu ve ev erişim noktasını kapsamaktadır. Bunun yanında, binadaki ev erişim noktasıyla prizler arasındaki iç bölüm özel alana karşılık gelmektedir.

Güç hattı iletişim sistemleri merkezi bir master/slave yapısına sahiptir. Genellikle trafo alt istasyonuna kurulan dış şebeke masterı, abonenin bölgesindeki dış erişim noktasını kontrol eder. Uzak binaların kapsanması için bir dış bölge tekrarlayıcısı mevcuttur.

Hizmet verilen her binada, dış bölge kontrolörü tarafından yönetilen bir iç mekan güç hattı iletişim şebekesi mevcuttur. İç bölge kontrolörü; ethernet, USB ve analog telefon hattı gibi arayüzleri destekleyen standart şebeke arayüzlerine sahip iç mekan adaptörlerini kontrol eder. İç ve dış güç hattı iletişim şebekesi, dış erişim noktası ve iç şebeke kontrolörü arasındaki bir ethernet hattıyla birbirine bağlanır.

Dış şebeke masterları, omurgaya bağlanmak için Ethernet arayüzlerini sağlarlar. Omurgaya bağlantı için sıklıkla kullanılan teknolojiler, fiber optik ve dijital abone hattı (DSL) teknolojileridir. Telekom altyapısının bulunmadığı trafo alt istasyonları için orta gerilim güç hattı iletişimi alternatif bir çözüm olabilir.

Dış şebeke güç hattı iletişim şebekesi, 1-10 Mhz arası düşük bir frekans bandını kullanırken, iç şebeke güç hattı iletişim şebekesi 15-30 Mhz arası daha yüksek bir frekans bandını kullanır. Her bant, bant genişliği 2 Mhz civarında olan 3 taşıyıcıya kadar barındırabilir. Taşıyıcı frekansının barındırılması aşağıdaki koşullara bağlanmıştır :

- Zorunlu olarak ayrılmış radyo / televizyon ve amatör radyo servisleriyle bir arada çalışabiliyor olması gerekir.

- Düşük frekanslar daha az hat zayıflaması gösterir ve bu nedenle dış güç hattı iletişim şebekelerinde uzun mesafelerin kat edilmesinde çok daha uygundur.

- Dahili ve harici güç hattı iletişim sistemlerinin eşzamanlı ve düzenlenmemiş dahili ve harici güç hattı iletişim şebekesinin birbirinden uygun bir şekilde ayrılması gerekir.

- İçteki mesafeler dış mesafelerden oldukça kısadır. Bu sebeple, daha yüksek frekanslar iç hatlarda kullanılır. Bunun yanında, yüksek frekansta elektrikli cihazların çıkardığı gürültülerden etkilenme oranı çok daha düşüktür.

- Yüksek frekanslardaki farklı fazlar arasındaki parazit karakteristikleri daha iyi olduğundan sinyal tüm fazlarda aynı kalitede olmaktadır.

## **2.10 Standartlar**

Elektrik şebekeleri üzerinden haberleşmenin esasları, 9 ila 140 kHz frekans spektrumu için CENELEC EN 50065 sayılı standardı ile belirlenmiştir. CENELEC standardı, güç hattı iletişimi uygulaması için frekans aralığı 500 kHz'e kadar genişleyen Amerikan ve Japon standartlarından farklıdır.

CENELEC normu, yalnızca bazı ölçüm fonksiyonları için uygun olan saniyede binler seviyesinde bit iletebilen uygulamalar (elektrik şebekesindeki yük yönetimi, uzaktan tüketimi okuma, vb gibi), çok düşük hızlarla veri iletimi ve ses iletimi için birkaç iletim kanalının oluşturulması için mümkün olan veri iletim hızlarını açıklar. Ancak modern uzak iletişim şebekelerinde güç hattı iletişim şebekeleri çok yüksek veri iletim hızlarını (2 Mbps veya daha yüksek) desteklemek zorundadırlar. Eğer bu veri iletişim hızları desteklenirse, güç hattı iletişimi diğer iletişim teknolojileri ile yarışır hale gelebilecektir.

Yüksek veri hızlarının gerçekleştirilmesi için, güç hattı iletişim sistemleri daha geniş bir frekans spektrumunda (30 Mhz'e kadar) çalışmak durumundadırlar. Ancak, CENELEC standardı dışındaki frekans aralıklarında belirlenmiş frekans aralıkları dışındaki çalışmayı belirleyecek bir güç hattı iletişimi normu bulunmamaktadır. Bu konuda çalışmaları olan PLCforum ve HomePlug adında iki organizasyon bulunmaktadır.

## 2.11 Dar Bant Güç Hattı İletişimi

Dar bant güç hattı iletişim şebekeleri, CENELEC normu tarafından belirlenen frekans bandında çalışır. Bu frekans aralığı, 3 banda ayrılmıştır : A; güç tedarik firmaları tarafından kullanılmak üzere, B ve C özel kullanım için ayrılmıştır. Firmalar, güç hattı iletişim şebekesini, enerji ilgili işlerde kullanmak üzere kullanırlar. B ve C bantları, esas olarak, bina ve ev otomasyonunun gerçekleştirilmesi için kullanılmaktadır. Günümüzde, dar bant güç hattı iletişim şebekeleri, saniyede bir kaç bin seviyesinde veri iletim hızına sahiptir. Güç hattı iletişim modemleri arasındaki maksimum mesafe 1 km'yi aşmamalıdır. Daha uzak mesafeler için, tekrarlayıcı tekniği kullanılmalıdır.

Dar bant güç hattı iletişiminin kullanıldığı en önemli alan, bina ve ev otomasyonudur. Güç hattı iletişimi tabanlı otomasyon sistemleri, bir başka iletişim şebekesinin kurulmasına gerek duymadan gerçekleştirilebilir. Bunun sonucunda, var olan binalarda güç hattı iletişimini kullanmanın maliyeti düşürülmüş olur. Güç hattı iletişimi sayesinde gerçekleştirilen otomasyon sistemleri, binalarda değişik görevlerin yürütülmesini sağlayabilirler:

- Işıklandırma, ısıtma, havalandırma, asansörler ve bunun gibi elektrik şebekesine bağlı cihazların kontrolü
- Binanın karartılması ve kapı kontrolleri gibi çeşitli bina sistemlerinin merkezi kontrolü
- Gözlem ve sensörler arası bağlantının kurulması gibi güvenlik görevleri

Güç hattı iletişimi tabanlı sistemler, yalnızca büyük binalarda değil, özel mülklerde ve evlerde de benzer otomasyonu gerçekleştirmektedirler.

CENELEC standardında belirlendiği gibi enerji bağlantılı hizmetleri yürütmek için elektrik firmaları tarafından standardın A bandı kullanılmaktadır. Bu yolla, firmalar başka bir ek iletişim şebekesi kurmaya gerek kalmadan veya iletişim altyapısını sağlayan her hangi bir firmadan hizmet almadan, kendi kontrol merkezi ile diğer cihazlar arasındaki iletişimi, uzaktan kontrol fonksiyonlarını da güvence altına alarak gerçekleştirebilir. Aynı zamanda, güç hattı şebekesi aynı zamanda müşterinin tükettiği enerji miktarını da uzaktan okuyarak bu sarfiyatı müşterinin yerine gidecek kaydedecek çalışan maliyetinden tasarruf edilmiş olur. Son olarak, güç hattı iletişimi enerji tüketiminin ve üretiminin gözlenmesinde kullanılacağı gibi dinamik

fiyatlandırma alanında da kullanılabilir. Enerji tüketiminin ve üretiminin gözlendiği durumlarda söz konusu olan sayıları artmakta olan hidroelektrik santralleri ve rüzgar türbinleri gibi küçük elektrik santralleridir. Ancak, küçük elektrik santralleri bu konuda tam anlamıyla güvenilir değildirler ve o anki hava durumuna göre, elektrik üretim miktarları değişmektedir. Bu nedenle, küçük santraller tarafından beslenen bölgeler gerekirse diğer santraller tarafından da beslenmelidir. Bu amaçla, elektrik üretim firmalarının kendi sistemlerinin parçaları arasında, en azından bir kısmının güç hattı iletişim şebekesi üzerinden gerçekleştirilebilecek kalıcı bir iletişim ağına ihtiyaçları vardır.

## **2.12 Güç Hattı Erişim Şebekeleri**

### **2.12.1 Güç hattı iletişim şebekelerinin yapısı**

Alçak gerilim şebekeleri, trafo ünitesi ve son kullanıcıları birbirine bağlayan, şebekeye metrelerce mesafede olan kablolardan oluşur. Alçak gerilim şebekesine uygulanan güç hattı iletişim sistemi, güç hattı iletişim şebeke erişiminin gerçekleştirilmesi için kullanılmaktadır. Bu şekilde, alçak gerilim şebekeleri, iletişim şebekelerindeki son noktayı oluşturmuş olurlar.

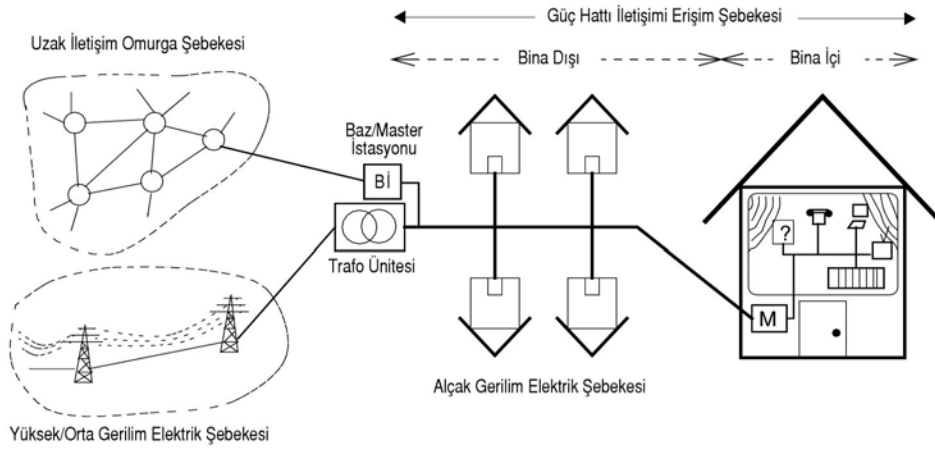
Alçak gerilim elektrik şebekeleri, orta ve yüksek gerilim şebekeleri trafo ünitesi aracılığıyla bağlıdır. Güç hattı iletişim şebekesi, omurga iletişim şebekesine (WAN), trafo ünitesi içine yerleştirilen baz/master istasyonu (BS) ile bağlıdır. Elektrik sağlayan kurumlar, trafoları bağlayan kendi iletişim ağlarına sahiptirler ve bu ağlar omurga olarak kullanılabilir. Eğer bağlantı bu şekilde oluşturulmamışsa, trafo üniteleri geleneksel iletişim şebekesiyle oluşturulabilir.

Omurga şebekesine olan bağlantı, özellikle bu bağlantının yapılması için uygun bir ortam varsa (örneğin ek kablolamaya ve masrafa gerek kalmadan bu şekilde kullanılacak bir kablo bulunmaktaysa), abone veya dağıtım kutuları üzerinden de gerçekleştirilebilir. Her durumda, omurgada oluşan herhangi bir iletişim sinyali, alçak gerilim güç hattı iletişim şebekesinde iletilecek şekle dönüştürülmelidir. Bu iletişim güç hattı iletişim şebekesi sisteminin ana / baz istasyonda gerçekleşmektedir.

Güç hattı iletişim şebekesinin aboneleri, iletişim şebekesine elektrik tüketim ölçüm cihazına yerleştirilen güç hattı iletişim modemi veya bina içi elektrik şebekesindeki herhangi bir prizden bağlanırlar. Birinci durumda, bir ev veya binadaki aboneler güç hattı iletişim modemine bir başka iletişim teknolojisini (örneğin DSL, WLAN)

kullanarak bağlanır. İkinci durumda, bina içi elektrik tesisatı, bina içi güç hattı iletişim şebekesi adını alarak iletişim amaçlı olarak kullanılır.

Modem, güç hattı iletişim şebekesi tarafından alınan sinyalin geleneksel uzak iletişim sistemleri tarafından işlenmesini sağlayacak bir standart şekle dönüştürülmesine yardımcı olur. Diğer taraftan, standart uzak iletişim arayüzleri (Ethernet veya ISDN S<sub>0</sub>) genellikle önerilir. Bina içinde, iletişim ayrı bir iletişim şebekesi veya bina içi elektrik tesisatı (bina içi güç hattı iletişimi) ile gerçekleştirilir. Bu yolla, çok sayıda güç hattı iletişim cihazı güç hattı iletişim erişim şebekesine bağlı hale getirilebilir.



**Şekil 2.6:** Güç Hattı İletişim Şebekesinin Genel Görünümü

### 2.12.2 Bina içi güç hattı iletişim şebekesi

Bina içi güç hattı iletişim şebekesi, iletim ortamı olarak elektrik alt yapısını kullanır. Bina içindeki, telefon, bilgisayar, yazıcılar, görüntü cihazları ve bunun gibi cihazların oluşturduğu güç hattı iletişimi yerel ağlarının gerçekleştirilmesi böylelikle mümkün olur. Aynı yolla, küçük ofisler de güç hattı iletişim sistemi yerel ağına bağlanabilir. İki durumda da, iletişim sistemi için kullanılması gereken yeni kablo döşenmesi işleminin yüksek maliyetinden kaçınılmış olur.

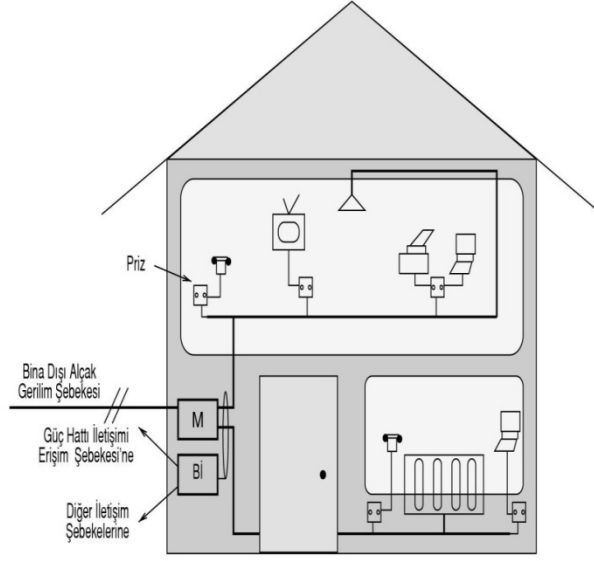
Günümüzde, otomasyon servislerini içeren sistemler sadece endüstriyel ortamlarda, değişik sektörlerde yada büyük binalarda değil, özel mülklerdeki uygulamalarıyla da dikkat çekmektedir. Güvenlik gözetlemesi, ısı kontrolü ve otomatik aydınlatma gibi otomasyon servislerini sağlayan sistemler, çok sayıda sensör, kamera, elektromotor,

aydınlatma işlevini yürüten pek çok son uç cihazlarını birbirine bağlamak zorundadır. Bu nedenle, çok sayıda cihazın bulunduğu bu tür şebekeleri gerçekleştirmek için, özellikle uygun bir bina içi iletişim sistemi bulunmayan eski binalarda, bina içi güç hattı iletişimi çok uygun bir çözümdür.

Basit olarak, bina içi güç hattı iletişim şebekesinin yapısı, alçak gerilimi kullanan güç hattı iletişimi erişim sisteminden çok da farklı değildir. Bina içi güç hattı iletişim şebekesini kontrol eden ve büyük ihtimalle dış alana bağlayan bir baz istasyonu da olabilir. Baz istasyonu, ölçüm ünitesinin içine ya da uygun olan herhangi bir noktaya yerleştirilebilir. Güç hattı iletişim şebekesindeki tüm cihazlar, güç hattı iletişim erişim şebekesindeki aboneler gibi güç hattı iletişim modemiyle bağlıdır. Modemler, her binada çokça bulunan prizlere doğrudan bağlanmaktadır. Yani, güç hattı iletişim hattı cihazları, bina içinde prizlerin olduğu her yerden güç hattı iletişim şebekesine bağlanabilir.

Bir bina içi güç hattı iletişim şebekesi sadece bir evi ya da bir binayı kapsayan bir bağımsız şebekedir. Ancak, güç hattı iletişim şebekesinin kontrolü ve kullanılması bu durumun dışında tutulur. Diğer taraftan, uzaktan kontrol edilen bir güç hattı iletişim şebekesi pek çok otomasyon faaliyetinin (güvenlik, enerji yönetimi, vb. gibi) gerçekleştirilmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır. Aynı zamanda, bina içi güç hattı iletişim sisteminin geniş alan ağına (WAN) bağlanması, uzak iletişim servislerinin bina içindeki elektrik prizinden gerçekleştirilmesine neden olur.

Bina içi güç hattı iletişim şebekesi, sadece güç hattı iletişim erişim şebekesine değil, diğer teknolojiler tarafından oluşturulan erişim şebekesine de bağlanmaktadır. Bu durumda, eğer erişim şebekesi elektrik üretim kurumu tarafından yönetiliyorsa, manuel okumalardan kaynaklanan maliyeti azaltan elektrik tüketimi ölçüm cihazlarının uzaktan okunması veya çekici tarifelerle tamamlanan enerji yönetimi gibi ek tüketim ölçümü servisleri gerçekleştirilebilir. Diğer taraftan, bina içi güç hattı iletişim şebekesi, diğer şebeke operatörleri üzerinden de erişim şebekesine bağlanabilir.



**Şekil 2.7:** Bina İçi Güç Hattı İletişim Sistemi Genel Yapısı

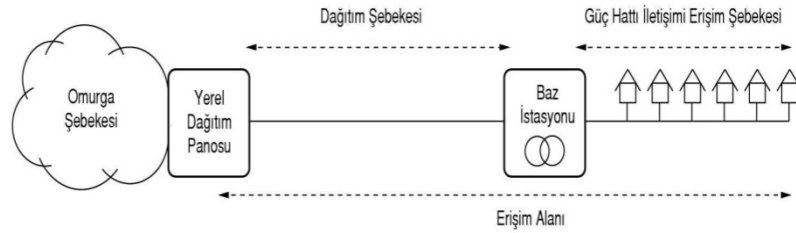
### 2.13 Güç Hattı İletişimi Dağıtım Şebekeleri İçin İletişim Teknolojileri

Güç hattı iletişimi erişim şebekesi ve omurgası arasındaki bağlantıyı gerçekleştirmek için en ucuz yöntem, uygulama alanında mevcut olan iletişim teknolojisini kullanmaktır. Trafo ünitelerinin bir kısmı, standart iletişim kablolarıyla (bakır kablo) zaten bakım şebekesine bağlıdır. Bu bağlantıların esas amacı, uzaktan kontrol fonksiyonlarının gerçekleştirilmesi ve kontrol merkezi ile bakım personeli ve cihazı arasındaki iç iletişimi sağlamaktır. Ancak, güç hattı iletişim şebekelerinin omurgaya bağlanması için DSL teknolojilerinden birinin uygulanması gerekmektedir.

Son zamanlarda, pek çok elektrik kuruluşu hatlarını optik iletişim şebekesiyle oluşturmaktadır ve bu yapı, bu tür şebekelerin omurga yapısına da uygulanabilir. Bu durumda, erişim şebekesi optik ve güç hattı iletişim şebekesi bölümlerinden oluşur, bu durum sonucunda ortaya Hibrid Fiber Koaksiyel çözümler çıkar. Bir ileri çözüm de, her şekilde alçak gerilim şebekesine bağlı orta gerilim şebekelerinde omurga bağlantısına güç hattı iletişim teknolojisini uygulanmasıdır.

Belli bir iletişim teknolojisini güç hattı iletişim şebekesi omurgasına uygulanması, güç hattı iletişimi erişim şebekesini sağlayan şebeke servis sağlayıcısının teknik imkanlarına da bağlıdır. Bir elektrik tedarik firmasının yada servis sağlayıcının var olan iletişim şebekesinin kullanılıyor olması ayrıcalıklı bir durumdur. Genel olarak, merkezi şebekeye bağlanmak için aşağıdaki seçenekler sayılabilir:

- Var olan yada yeni iletişim kablolarının veya optik şebekelerin kullanılması
- Kablosuz dağıtım şebekelerinin kurulması
- Güç hattı iletişim teknolojisinin orta gerilim şebekelerinde uygulanması



**Şekil 2.8:** Omurga Şebekesine Yapılan Bağlantı

Güç hattı iletişim sistemlerine uygulanan teknolojilerin, güç hattı iletişimi erişim şebekelerinde kullanılan tüm servislerde iletimi sağlayacak şekilde uyumlu olması gerekmektedir. Aynı zamanda, güç hattı iletişimi omurga şebekesinde, güç hattı iletişim aboneleri ile omurga şebekesi arasındaki iletişimde bir darboğaz oluşturmaması gerekir. Bu nedenle, uygulanan omurga teknolojisi, yeterli iletim kapasitesini (veri hızı) sağlamalı ve çeşitli Servis Kalitelerini (QoS) garanti etmelidir.

## 2.14 Güç Hattı İletişimine Özel Performans Problemleri

Erişim şebekelerinde güç hattı iletişimin kullanılmasının sebebi maliyetleri düşürmeye yarayan bir uygulama olmasıdır. Ancak, elektrik tedariki amacıyla kurulan bu şebekeler iletişim amaçlı olarak oluşturulmadıklarından, veri iletimi için uygun bir ortam oluşturmamaktadır. Bu bölümde, güç hattı iletişim teknoloji uygulamalarını sınırlandıran özel performans problemlerinden ve bu problemlerin çözümünden bahsedilecektir.

### 2.14.1 Güç hattı iletişim kanalının özellikleri

Alçak gerilim şebekeleri, veri iletişimi için tasarlanmadığından, güç hattı kanallarının iletim karakteristikleri veri transferi için uygun değildir. Güç hattı kabloları asimetrik olarak bölünür ve şebeke bölümleri, müşteriler ve havai ve yeraltı kablolar arası geçişlerde pek çok düzensiz bağlantıyı içerir. Kablo geçişleri yansımalar ve

karakteristik empedansın değişmesine sebep olur. Ek olarak, güç hattı iletişim şebekesi söz konusu olduğunda, özellikle her anahtarlama olayının şebeke topolojisini değiştirebileceği bina içi uygulamalarda, şebeke yapısı değişebilir.

Güç hattı iletişim şebekeleri, kabloların birleşmesi ve bu kabloların değişik empedansları nedeniyle çok yollu yayılım yapılarıyla tanımlanırlar. Bunun sonucu olarak, frekans seçmeli olarak sönmülenen çok yollu sinyal yayılımı oluşur. Sinyal yayılımını etkileyen en önemli etmenler, kablo kayıpları, kabloların kollara ayrıldığı noktalardaki yansımalarından dolayı ortaya çıkan kayıplar, kabloların yanlış sonlandırılması ve seçmeli zayıflamadır.

Güç hattı iletişim şebekelerindeki zayıflama hatta, uzunluğa ve iletim hattının değişen karakteristik empedansına bağlıdır. Yapılan pek çok ölçüm, görece olarak kısa kablolarda (ortalama 200-300 m) kabul edilebilir sınırlarda olduğunu, ancak daha uzun kablolarda çok kötü olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, uzun şebekelerde tekrarlayıcı tekniği kullanılmalıdır.

#### **2.14.2 Elektromanyetik uyumluluk**

Güç hattı iletişimi erişim sistemleri için iletim ortamı olarak kullanılan alçak gerilim tedarik şebekeleri elektromanyetik radyasyon üreten antenler gibi davranırlar. Diğer taraftan, geniş bant erişim şebekelerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan güç hattı iletişim sistemleri 30 Mhz'e kadar olan frekans spektrumunu kullanırlar. Bu frekans aralığı değişik radyo servisleri için ayrılmıştır ve güç hattı iletişim sistemleri tarafından bozulmaya uğrayabilirler. İlk sırada, amatör radyo, çeşitli genel servisler, askeri servisler ve uçuş kontrolü gibi hassas servisler, güç hattı iletişim sistemlerinden ileri gelen negatif etki altında kalabilir.

#### **2.14.3 Bozulmaların ve veri hızı limitlerinin etkisi**

Sınırlı sinyal gücü sebebiyle, güç hattı iletişim şebekeleri, bozulmalara karşı daha hassastır ve yeterli iletim kapasitesini garanti altına alacak şekilde uzun mesafeleri kapsayacak durumda değildir. Güç hattı iletişim şebekesinin kendisinden kaynaklanan bozulmalar da vardır. Bunların kaynağı alçak gerilim şebekesine veya yakındaki güç hattı iletişim şebekesinde bulunan elektromotorlar gibi ağır makineler, televizyon ve bilgisayar ekranları, cihazlarda gerçekleşen anahtarlama olayları olabilir. Son olarak, bozulmalar yakındaki güç hattı iletişim şebekesinden de kaynaklanabilir.

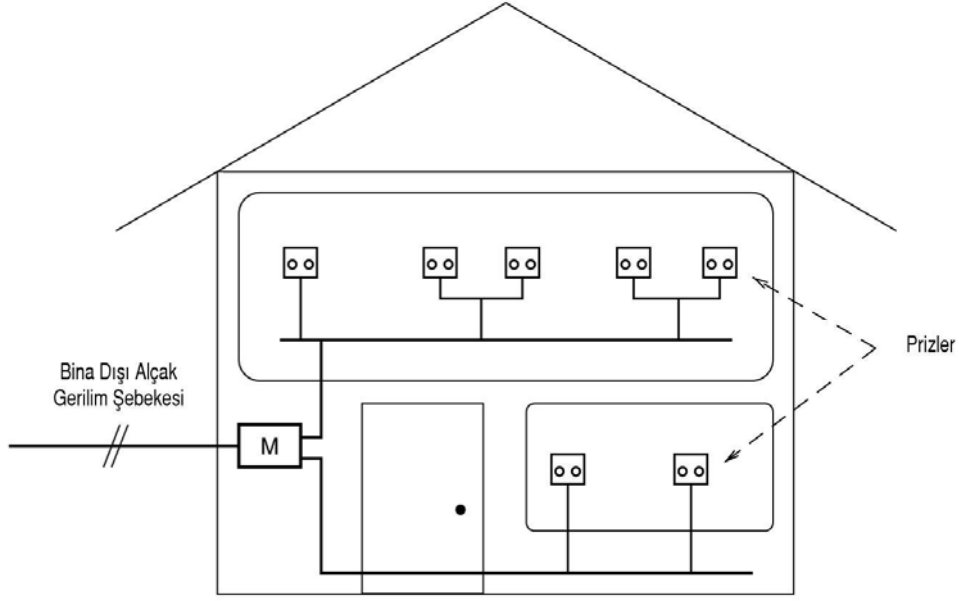
## 2.15 Bina İçi Güç Hattı İletişim Şebekesinin Yapısı

Daha önce de bahsedildiği gibi, bina içi iletişim sistemlerinin gerçekleştirilmesi için üç seçenek vardır:

- Bina içindeki tesisat, alçak gerilim şebekesi tarafından sağlanan güç hattı iletişim şebekesinin basit bir uzatması olarak kullanılabilir.
- Bina içi güç hattı iletişim sistemi, erişim şebekesine ağ geçidi aracılığıyla bağlanır. Bu bağlantı güç hattı iletişim sistemi ile yapılacağı gibi, her hangi bir başka erişim teknolojisiyle (örneğin DSL) gerçekleştirilebilir.
- Bina içi güç hattı iletişim şebekesi, bağımsız bir sistem olarak var olabilir.

Birinci durumda, bina içi elektrik şebekesi, homojen bir güç hattı iletişimi erişim şebekesinin bir parçasıdır. Alçak gerilim şebekesi üzerinden iletilen bir iletişim sinyali, ölçüm biriminde sonlanmaz ve bina içi tesisat üzerinden de iletilebilir. Bu yolla, güç hattı iletişimi erişim sistemine bağlantı, ev içindeki her prizden mümkün hale gelecektir. Bir dahili elektrik tesisatı, bina içi güç hattı iletişimi erişim şebekesinin bir parçası olarak, alçak gerilim şebekesinin bir özelliği olarak bilinen fiziksel ağaç topolojisini de korur.

Bina içi güç hattı iletişim şebekeleri, her hangi bir erişim şebekesine, ağ geçidi üzerinden de bağlanabilirler. Bu durumda, ağ geçidi erişim şebekesi üzerinde bir kullanıcı ve bina içi güç hattı iletişim şebekesinde bir ana / baz istasyon gibi davranır. Eğer hem erişim ve bina içi şebekeleri güç hattı iletişim teknolojisi kullanıyorsa, ağ geçidi ölçüm ünitesinin içine yerleştirilebilir. Bu nokta aynı zamanda, üç akımın fazının bir diğerine kolayca bağlandığı, bina içi tesisatın her parçasından güç hattı iletişimi erişim şebekesini erişilebilir kılan noktadır. Benzer şekilde, diğer teknolojiler tarafından gerçekleştirilse bile, bu nokta ağ geçidi için istenen bir yerdir.



**Şekil 2.9:** Bina İçi Şebeke Bağlantısı

Bağımsız bina içi iletişim şebekeleri, tüm bina içi güç hattı iletişim sistemi için master fonksiyonu üstlenen bir baz istasyonunu içermektedirler. Bağımsız bina içi güç hattı iletişim sisteminin baz istasyonu da aynı zamanda ölçüm biriminin içine yerleştirilebilir. Güç hattı iletişimi tipi bağımsız olduğunda da, güç hattı iletişimi erişim şebekelerinde olduğu gibi, fiziksel ağ topolojisi korunur. Aynı zamanda, bina içi güç hattı iletişim şebekesi içerisinde baz istasyonu bir başka noktaya taşınırsa (örneğin duvardaki bir prize), fiziksel ağ yapısı korunur. Ancak, bina içi şebekeleri büyük binalar da söz konusu olsa bile, erişim şebekelerinden belirgin bir şekilde kısadır.

Bazı bina içi güç hattı iletişim sistemleri, dağınık olarak organize edildiğinden, bu yaklaşım güç hattı iletişim sistemi baz istasyonunun şebeke yapısında olmamasına sebep olur. Bu durum, iletişimin tüm şebeke istasyonları arasında anlaşma yapılarak organize edilmesiyle gerçekleştirilen bağımsız şebekelerde ortaya çıkar. Ancak bu gibi güç hattı iletişim şebekelerinde bile fiziksel ağ topolojisi uygulanabilir.

## 2.16 Güç Hattı İletişim Kanalının Özellikleri

Uzak iletişim şebekesindeki iletişim sistemi, ileteceği veriyi iletim kanalına (veya ortamına) iletmeye önce uygun bir şekilde dönüştürmek zorundadır. Diğer iletişim kanalları gibi, güç hattı iletişim ortamı sinyallerin üzerine zayıflama ve faz kaybı

ekler. Dahası, güç hattı iletişim ortamı başlarda enerji dağıtımı için tasarlandığı için, pek çok makine ve cihaz bu şebekeye bağlıdır. Güç tedarik şebekesindeki bu uygulamalar bu ortamı veri iletişim sinyalleri açısından uygun bir ortam olmaktan çıkarır. Bu sebeple, güç hattı iletişim kanalı ve özelliklerini iyi incelemek gereklidir. Güç hattı iletişimini zorlu hale getiren zayıflamalar ve gecikmeler de önemlidir ve dikkatle incelenmesi gerekir. Güç hattı iletişim ortamının özelliği olan empedans devamsızlığından dolayı, sinyaller bir kaç kez yansır, bu durum da çok yollu yayılmaya neden olur. Bu etki özellikle kablosuz uygulamalardan bilinmektedir.

### **2.16.1 Kanal karakterizasyonu**

Prizlere bağlı olabilecek cihazlar sebebiyle, güç hattı iletişim ortamı empedans değişimine bağlı olarak kararsız bir iletişim ortamıdır. Bu hatlar veri iletişimi için değil enerji dağıtımı için tasarlandığından, dikkate alınacak derecedeki gürültü ve yüksek zayıflamasıyla istenmeyen kanal karakteristiklerine sahiptir. Her zaman değişken olduğundan, empedans devamsızlıkları yoluyla kablo kanallarında oluşan yansımalar nedeniyle bir çok yollu kanal olarak değerlendirilir. Güç hattı kanallarının empedansı, bulunduğu yere bağlı olarak yüksek oranda frekansa bağlı olarak değişkendir ve bir kaç ohmdan bir kaç kilo ohm aralığında değişir. Empedans, esas olarak kabloların karakteristik empedansından, şebekenin ele alınan parçasının topolojisinden ve bağlı olarak elektrik yüklerinin doğasından etkilenir. Yapılan ölçümlerden elde edilen istatistikler, yaklaşık olarak spektrumun tamamında empedansın ortalama değeri 100 ile 150 ohm arası değişmektedir. Ancak, 2 Mhz'in altında, ortalama değer 30 ile 100 ohm arasında bir değere inme eğilimindedir. Empedansın bu değişiminden dolayı, gelen uyumsuz bağlantı sebebiyle ortaya çıkan iletim kayıpları güç hattı iletişim şebekelerindeki önemli bir sorundur.

### **2.16.2 Güç hattı iletişim şebekesinin elektromanyetik uyumluluğu**

Güç hattı iletişim şebekesi, iletişim sinyallerinin iletimi için elektrik şebekesini kullanır. Elektromanyetik olarak, güç hattı iletişim sinyalinin güç kablosuna verilmesi ortama verilmesi sonucu ortamda güç kablolarının anten gibi davranmasını sebep olacak bir elektromanyetik yayılım meydana gelir. Bu durumda iletim ortamında bir bozulma meydana gelir ve bu sebeple bu yayılma, elektromanyetik uyum açısından belli bir seviyenin üzerinde olmamalıdır. Elektromanyetik uyum,

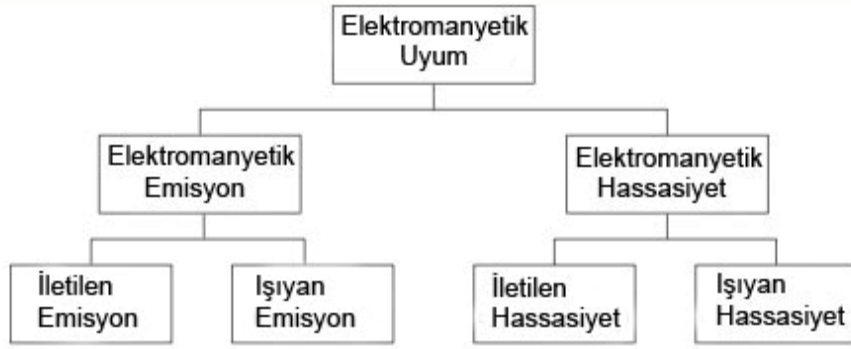
ortamda bulunan diğer sistemlerin fonksiyonlarının bozulmasına sebep olmadan g¼c hattı iletişim sisteminin çalışabiliyor olması anlamına gelir.

Bu b¼l¼mde elektromanyetik uyum konusunun detayları anlatılacaktır. Elektromanyetik bozulmanın iki tanımı ¼zerinde durulacaktır. G¼c hattı iletişim ortamında elektromanyetik uyumluluğun tam olarak tanımının yapılması için pek çok ¼l¼m yapılmış ve bu ¼l¼mler sonucunda standartlar oluşturulmuştur. Aşağıda elektromanyetik uyumluluğu anlamak açısından gerekli tanımlar yer almaktadır.

Elektromanyetik uyumluluk, bir cihazın yada sistemin, kendisi ve diğer cihaz ve sistemlerin çalışmasını etkileyecek derecede ortamda bozulmalara neden olmadan elektromanyetik ortamında tatmin edici bir şekilde çalışıyor olmasına verilen addır. Elektromanyetik uyum, aşağıdaki iki şartla sağlanmış olur:

- Tatmin edici alışma: Ekipmanın diğer ekipmanlara karşı toleranslı olması anlamına gelir. Ekipman, diğer cihazların ortama yaydığı elektromanyetik sinyallerin etkilerine açık olmamalıdır. Elektromanyetik uyumluluğun bu y¼n¼ elektromanyetik duyarlılığı olarak adlandırılır.
- Tolerans g¼sterilemez bozulmalar olmadan alışma: Ekipmanın diğer cihazların bozulmasına sebep olmayacak şekilde çalışıyor olması anlamına gelir. Bir cihaz tarafından salınan elektromanyetik radyasyon, diğer cihazlarda girişim problemleri yaratmamalıdır. Bu elektromanyetik uyum davranışı elektromanyetik emisyon olarak adlandırılır.

Elektromanyetik g¼r¼lt¼ iletim ve yayılım yoluyla yayılır ve bu nedenden dolayı, bozulmanın kaynağını da içine alacak şekilde hem sistemin içinde hem de dışında etkileri olmaktadır. İletilen yayılımlardan kaynaklanan elektromanyetik emisyonların oluşması halinde, sistem içi uyumluluktan; yayılımdan kaynaklanan emisyonun ortaya çıkan elektromanyetik uyumluluk durumundaysa, sistemler arası uyumluluktan bahsedilebilir. Buna benzer bir ayırım hassasiyet konusunda da; sistemler arası uyumluluk iletilen hassasiyetten kaynaklandığında ve sistemler arası tolerans yayılan hassasiyetten kaynaklandığında yapılabilir. şekilde bu ayırım g¼r¼lmektedir.



**Şekil 2.10:** Elektromanyetik Uyum

Elektromanyetik girişim uzak iletişimdeki önemli sorunlardan biri olduğundan, elektromanyetik uyum konusu uzak iletişim konusuyla bir arada ele alınmıştır. Bu sebeple, uzak iletişim cihazları ve sistemleri tasarlanırken, ürün dikkatlice incelenmelidir. Elektromanyetik uyum standartları konusunda çalışmalar yapan International Electrotechnical Commission (IEC) elektromanyetik girişimi “bir cihaz veya sistemin performansının elektromanyetik girişim nedeniyle bozulması” olarak adlandırır. Bu tanımın sonucu olarak da elektromanyetik uyum problemleri üç bölümde modellenebilir :

- Elektromanyetik enerjiyi yayan olayın kaynağı
- Elektromanyetik olaydan etkilenen ve düzgün olarak çalışmayan cihaz
- Elektromanyetik sorunun kaynağı ile sorundan etkilenen cihazın arasındaki bağlantı yolu denilen ve sorundan etkilenen cihazın kaynaktan etkilenmesine izin veren yol

Uygulamada, bir kaynak birden fazla cihazı ve birden fazla kaynak da cihazın tek parçasını etkileyebilir. Şekilde elektromanyetik uyum problemlerini modelleyen basit model görülmektedir. Bu modele göre, bu üç elemandan birinin ortadan kalktığı durumlarda, girişim problemi de çözülmüş olur. Bu sebeple, bozulma kaynağı, pek çok soruna neden oluyorsa, kaynağı bastırıp aradaki yolu bloklayarak etkisini bozulma etkisini ortadan kaldırmak yoluna gidilebilir. Ancak vericiler gibi kaynaklarının etkilerinin bu şekilde ortadan kaldırılması mümkün değildir. Bozulmadan etkilenen cihazın bir bölümü, bozulma kaynağı cihaza en yakın olduğu yerde bloklanarak problem ortadan kaldırılır.

### 2.16.3 Bozulmaların sınıflandırılması

Elektrik cihazlardan kaynaklanan elektromanyetik bozulmaların net olarak tanımlanması, belirlenmesi ve analiz edilmesi kolay değildir; ancak bu bozulmaları sınıflandırmak için bu bozucu sinyallerin karakteristikleri üzerinden sınıflandırmak için bir takım yöntemler bulunmaktadır. Genel olarak, özellik, frekans içeriği ve iletim modu, elektromanyetik bozulmaların sınıflandırılmasında temel olarak alınır. Elektromanyetik bozulmaları sınıflandıran birinci yöntem, kaynaktan gelen elektromanyetik enerjiyi bir alıcıya bağlamaktır. Bağlantı aşağıdaki yöntemlerden biriyle gerçekleştirilebilir :

- İletim yoluyla (elektrik akımıyla)
- Endüktif bağlantı yoluyla (manyetik alan)
- Kapasitif bağlantı yoluyla (elektrik alan)
- Yayılım yoluyla (elektromanyetik alan)

Bağlantı yollarının tanımlanması, alıcı ve verici oldukça iyi tanınsa da, bu bileşenlerin çok karmaşık bir karışımıyla olduğundan zordur. Girişimin frekansına bağlı olarak, ekipmandan farklı yollarla da girişim yayılabilir. Örneğin, yüksek frekanslarda kablolar ve baskı devre üzerindeki bağlantılar çok yüksek oranda yayılım yaparlar. Düşük frekanslarda, girişim sinyaller ve şebeke kabloları üzerinden iletimle yayılır. Bu iletilen emisyonlar, daha ileri noktalarda yayılan emisyonlar halinde girişime sebep olabilirler. Genel olarak yayılan ve iletilen emisyonlar arasındaki geçiş 30 Mhz olarak kabul edilmektedir. İletilen emisyonlar bu değer altında, yayılan emisyonlar ise üstünde baskın gelmektedirler.

Elektromanyetik bozulmaların categorize edilmesinin bir başka yolu da; bu bozulmaların süresi, tekrar sıklığı ve görev döngüsüdür. Bu bozulmalar kısa veya uzun süreli olabilir. Uzun süreli değişimler, sadece şebeke geriliminin rms (root mean square) değerinde değişikliğe neden olduğu için, elektromanyetik uyumluluğun etki bölgesinde dahil değildir. Kısa süreli bozulmalarsa, bir kaç saniyeden, bir kaç milisaniyeye kadar bir süre devam eden bozulmalardır. Kısa süreli elektromanyetik bozulmalar üç sınıfta ele alınabilir :

Gürültü: Gerilim eğrisinde az yada çok kalıcı değişim gürültü sebebiyle ortaya çıkar. Gürültü periyodik karakterdedir ve tekrarlama oranı şebeke frekansından daha

yüksektir. Bu tip gürültü, tipik olarak elektrik motorları, kaynak makinesi gibi cihazlardan ortaya çıkmaktadır. Gürültünün genliği, şebeke gerilimi genliğinin en yüksek değerinin altında kalmaktadır.

Tepki: Şebeke gerilimi üzerine binen negatif ve pozitif tepe değerlerine verilen addır. Tepkiler, kısa süreli, yüksek genlikli ve hızlı yükselen/hızlı düşen özellikleriyle tanımlanmaktadır. Tepkiler, şebeke gerilimiyle senkron veya asenkron olabilir. Anahtarlama olayı sırasında ortaya çıkan gürültüler, tepkiler arasında var olabilirler. Tepki üreten cihazlar, anahtarlar, röle kontrolleri ve doğrultuculardır.

Geçici Olaylar: Süreleri, frekansın bir kaç periyodundan, bir kaç saniyeye kadar olabilen olaylardır. En yaygın olarak, yüksek güç anahtarları tarafından üretilir. Geçici olayları sürekli gürültüden ayırmak için, görev döngüsü  $\delta$  aşağıdaki eşitlikle tanımlanır :

$$\delta = \tau x f$$

Burada;

$\tau$  = genliğin yüzde 50'sinde ölçülen titreşimin genişliği

$f$  = titreşimin tekrar sıklığı veya saniyedeki ortalama titreşim sayısı

Görev döngüsü ( $\delta$ ),  $10^{-5}$ 'ten düşük olan elektrikli cihazlar, geçici olay kaynağı olarak düşünülebilir. Anahtarlama mod güç kaynaklarında olduğu gibi görev döngüsü,  $10^5$ 'ten dikkati çekecek şekilde yükselmeye başladığında, kaynak geçici olay veya titreşim olarak değil, sürekli olarak değerlendirilir.



### 3 .GÜRÜLTÜNÜN SINIFLANDIRILMASI

Enerji kabloları, enerji iletimi için tasarlandıklarından, yüksek frekans aralığında bu ortamın özellikleriyle ilgilenilmemiştir. Bunun yanında, değişik özellikteki çok çeşitli cihazlar, elektrik şebekesine bağlıdır. Bu nedenle, veri iletimi için bu ortamı kullanmadan önce, enerji kablolarının özellikleri hakkında geniş bir araştırma yapılmalıdır. Veri sinyalinin bozulmasının yanında, kablo zayıflaması ve çok yollu yayılım nedeniyle, faydalı sinyalin üzerine binen gürültü, alıcı tarafında verinin alınmasını zor hale getirir. Sinyale eklenen gürültü, bozulmalar gibi, veri sinyali üzerinde önemli bir zayıflamaya sebep olmaktadır. Diğer uzak iletişim kanallarının aksine, güç hattı iletişim kanalı, tüm iletim spektrumu üzerinde sabit güç spektrum yoğunluğuna sahip ilave beyaz Gaus gürültüsü (AWGN) göstermez.

Güç hattı iletişim şebekesindeki gürültü karakteristiklerinin detaylı olarak tanımlanması için pek çok inceleme ve ölçüm yapılmıştır. Gürültünün en ilginç tanımlarından biri, orijin, süre, spektrum dağılımı ve yoğunluklarına göre ayırt edilen beş değişik gürültü tipinin üst üste bindirilmesi olarak verilmiştir.

Bu beş gürültü çeşidi aşağıdaki gibi listelenebilir:

- 1) Renkli Arkaplan Gürültüsü (Colored Background Noise) (Tip 1)
- 2) Darband Gürültüsü (Narrowband Noise) (Tip 2)
- 3) Şebeke Frekansına Asenkron Periyodik Tepki Gürültüsü (Periodic Asynchronous Noise) (Tip 3)
- 4) Şebeke Frekansına Senkron Periyodik Tepki Gürültüsü (Periodic Asynchronous Noise) (Tip 4)
- 5) Asenkron Tepki Gürültüsü (Asynchronous Impulse Noise) (Tip 5)

Yukarıda sayılan bu gürültü tipleri, öncelikli olarak iki ayrı grupta incelenebilir. Arka plan gürültüsü ve tepki gürültüsü. Şebeke geriliminden çok yüksek tekrar oranıyla renkli arkaplan gürültüsü, darband gürültüsü ve şebeke frekansıyla senkron olmayan periyodik tepki gürültüsü genel olarak arkaplan gürültüsü tanımı içine girmektedir.

Bunların içinde en baskın olanı, darband istasyonlarının girişimiyle ortaya çıkan darband gürültüsüdür. Özellikle 49-m, 41-m, 32-m ve 25-m darbantları için oldukça belirgin olmakla birlikte, 5 Mhz altındaki frekans aralığı, en yoğun girişim darband gürültüsünden kaynaklanır. Normal olarak, darband gürültüsü, gündüz daha düşük değerleyken, en büyük genliğine kısa dalga radyoların yayılım koşullarının en iyi olduğu akşam saatlerinde ulaşır. Spektrumda aralarında eş boşluklar olan değişik genlikli sinyaller bazen 10 MHz üzerinde ortaya çıkabilir. Bu gibi aralıklı sinyaller, tekrarlama periyodları 10 mikrosaniye olacak şekilde bir tekrarlama oranına sahip olacak şekilde 100 KHz frekansıyla oluşur.

Şebeke gerilimine senkron tepki gürültüsü ve asenkron tepki gürültüsü ise tepki gürültüsü genel başlığı altında incelenebilir. Arkaplan gürültüsü genel olarak sabitken, tepki gürültüsü zamana bağlı olarak belirgin bir değişiklik gösteren anahtarlama geçişlerinden oluşur. Tepki gürültüsü, tepki genliği, tepki genişliği ve tepkiler arası zaman parametreleriyle tanımlanır.

Tepki genliği, tepki genişliği ve tepkiler arası zaman parametreleri rastlantısal değişkenlerdir ve istatistiksel özellikleri, ölçümlerle araştırılmalıdır. Yapılan araştırmalara göre güç hattı iletişimi, tüm zamanların ancak yüzde birinde tepki gürültüsünden etkilenmektedir.

Yüksek frekanslarda girişim senaryolarının modellenmesi, halen araştırma konusudur. Farklı tepki gürültüsü türlerinin tanımlarının detaylandırılmasında hala ciddi problemler bulunmaktadır. Yüksek hızlı iletişim söz konusu olduğunda, tipik gürültü tepkisinden daha kısa süreli olabilecek dalga şekilleri kullanılır. Bu nedenle, sembol veya bit seviyesinde çoklu hatalar ortaya çıkabilir. Tepki gürültüsü söz konusu olduğunda, basit ileri hata düzeltme metotları düşük veri hızları için yararlı olmayacaktır. Bu nedenle tepki genliği, tepki genişliği ve tepkileri arası zaman olarak sayılan tüm parametreler, tepki gürültüsünün güç hattı iletişimi üzerindeki etkilerini incelemek için gerekli parametrelerdir. Bu parametrelerle, tepki gürültüsü modellenmesi ve sentezi yapılabilir.

Güç hattı iletişiminin gerçeğe en uygun şekilde modellenmesi için, tepki gürültüsü sentezi çok önemlidir. Tepki gürültüsünü açıklamamıza yardımcı olan bu değişkenleri, rahatlığı açısından frekans domeninde spektral olarak incelemek yararlı olacaktır. Bunun için hızlı Fourier Transformı kullanılır. Bunun için fourier sabitleri

hesaplanarak spektral dağılım oluşturulur. Daha sonra, ters fourier dönüşümüyle zaman domenine geçilir ve sentezlenmiş tepki gürültüsü elde edilmiş olur.

Ayrıca, 500 kHz ile 20 MHz frekans aralığında tepki gürültüsünün yanısıra bazı diğer girişimler de görülmektedir. Bu frekans aralığındaki girişimlerin normal elektrik kullanımından kaynaklandığı varsayılabilir ve bu değerler (tepki gürültüsü dışındakiler) ihmal edilecek değerlere kadar zayıflamış olabilir. Ancak diğer taraftan, gerçekte gürültüyü temsil etmeyen ve değişik radyo hizmetlerinden kaynaklanan sinyaller de bulunmaktadır ve daha önce sistemde bulunmalarına rağmen güç hattı iletişimi sözkonusu olmadığından sistemler bu durumdan etkilenmemiştir. Güç hattı iletişimi konusunun gündeme gelmesiyle bu konuda düzenlemelerin yapılması gerekecektir. Çünkü gerekli düzenlemeler yapılmadığı takdirde; kısa, orta ve uzun dalga bantları güç hattı iletişimini, güç hattı iletişimi de istasyonlardan alınacak sinyalleri bozacaktır.

Genel olarak gürültü kaynakları aşağıdaki gibi sıralanabilir :

- 1) Atmosfer koşulları
  - a) Atmosferik deşarj
  - b) Statik deşarj
- 2) İletim cihazları (Güç kapasitörleri, filtreler, korona deşarjı)
- 3) Güç üretim istasyonları
- 4) Endüstriyel kuruluşlar

Gürültü kaynağı, iç (güç şebekesi içinde) ve dış (güç şebekesi dışında) kaynaklar olabilir.

Orta gerilim şebekesinin şu anda iletişim amaçlı yaygın ve genel kullanımı günümüzde çok düşük olacağı tahmin edilmektedir. Ancak gelecekteki uygulamalarda, enerji iletimine has veri transferi söz konusu olduğunda güç tedarik kuruluşlarında kullanışlı olabilir. Bu konuda çeşitli araştırmalar ve çalışmalar devam etmektedir. Orta gerilim şebekeleri genellikle bir trafo istasyonunu üzerinden yüksek gerilim şebekesinden beslenmektedir. Sonrasında bu orta gerilim şebekeleri, normalde, yüksek güç talebi olan uzak küçük yerleşim bölgeleri veya endüstriyel tesisler gibi bağımsız besleme adacıkları dışında, bir kaç adet alçak gerilim trafosunu beslerler. 20 kHz altındaki frekans aralıklarında, hem orta gerilim

şebekelerinden yüksek ve alçak gerilim şebekelerine sinyal bağlantısı olmaması, hem de bu şebekelerden gelen girişimin yüksek oranda azaltılmasından dolayı bu trafolar mükemmel bariyerler oluştururlar. Havai şebekeler ele alındığında, orta gerilim şebekelerinin özellikleri yüksek gerilim şebekelerinininkine benzer ve girişim yüklerinin de dikkate alınması gerekir. Enerji iletimi orta gerilim şebekeleri üzerinden sağlanırken, havai hatlar ve kablolar ele alındığında, orta gerilim şebekesinden düşük gerilim şebekesine bir bağlantı yapılması gerekmektedir. Bunun sonucu olarak da orta gerilim şebekelerinin tüm iyi nitelikleri kaybolur, oluşacak iletişim hatlarının yeni özellikleri alçak gerilim şebekesi tarafından belirlenir, yani sonuç olarak girişim son derece etkin olacaktır.

Neredeyse hiç bir şebeke, eriştiği son noktada ve dağıtımı gerçekleştiren binalar arasında enerji dağıtım şebekesinin gösterdiği kadar çok çeşitli girişim sinyalleri göstermez. Girişimin çok büyük bir kısmı, normal çalışmaları sırasında elektrik makinelerinden ve cihazlarından dolayı oluşmaktadır. Ek olarak, çok çeşitli anahtarlama olaylarından dolayı ortaya çıkan pek çok dar voltaj veya akım tepe değerleri (geçici) vardır. Özel olarak bina içi tesisatları, elektromanyetik olarak açık yapılardır ve değişik radyo servislerinin parazit yayılmalarından kaynaklanan sinyaller bulunmaktadır. Esas olarak, orta ve uzun dalga seviyelerindeki radyo istasyonlarından kaynaklanan bu yayılımlar, önemli gerilimlere neden olurlar. Normalde, önemli girişim etkileri oluşturmazlar, tersine şebekeden beslenen radyolar için yararlı bile olabilir. Ancak ileride, frekans aralıkları yakın, hatta üstüste binmiş olduğundan özel önlemler alınmadan elektrik güç şebekeleri üzerinde telekomünikasyon sistemleri kullanılması çakışmalara neden olacaktır. Bu durum özellikle 30 Mhz'e kadar olan örneğin tüm kısa dalga frekans aralığını etkileyecektir.

Örneğin, bir binadaki prizlerin girişim spektrumunun genliği analiz edilirken, genel olarak üç farklı sınıf tanımlanabilir: renkli arka plan gürültüsü, dar bant girişimi ve tepki gürültüsü. Şekilde, girişim tanımına genel bir yaklaşım ve alıcı noktasındaki etkileri gösteren bileşenleri verilmektedir.

Güç hattı iletişim kanalının karakteristiklerini ve özelliklerini belirlemek için, pek çok binada çok sayıda ölçüm yapılmıştır. Yapılan bu ölçümlerden ortaya çıkan parametreler şu şekilde belirlenmiştir:

#### 1) Zayıflama

- Bir apartman yada evdeki iki priz arasındaki zayıflama
- Komşudaki ev yada apartmandaki prizle arasındaki zayıflama
- Fazlar arası zayıflama

2) Gürültü

3) Radyasyon

4) Empedans

- Farksal Mod : Zdm

- Ortak Mod : Zcm

5) Geri dönüş kaybı

6) Farksal Moddan Ortak Moda dönüştürme (LCTL, TCTL)

Konutlardaki güç hattı iletişim sistemlerine en çok zarar veren gürültü, dağıtım transformatörünün sekonder tarafında meydana gelen gürültüdür. Bu gürültü, güç hattı iletişim sisteminin bağlı olduğu sekonder kısımdaki cihazlar tarafından oluşturulur. Bunun dışında ışık reostaları ve universal motorlarda kullanılan triyaklar da diğer gürültü kaynaklarıdır. Triyaklar 60 Hz'lik şebeke frekansıyla senkron gürültü oluşturular ve bu gürültü 60 Hz'in harmonikleri şeklinde görülür. Universal motorların gürültü oluşturma sebebi de, anahtarlamaya sebep olan fırçaların hareketidir. Bu gürültü genellikle 60 Hz ile senkron değildir. Triyaklar nedeniyle meydana gelen gürültünün, güç hattı iletimi taşıyıcı sistemlerinin çalıştığı 100-200 kHz aralığında triyakların oluşturduğu gürültünün daha fazla enerjisi olacağına dair bir şüphe vardır. Bunun yanında, ışık reostaları uzun süre açık bırakılırken, universal motorlar aralıklarla çalıştırılır.

Elektromanyetik girişimi oluşturan en önemli sebeplerden birisi, değişik radyo frekans cihazlarından ve elektromekanik ekipmanlardan kaynaklanan gürültü sebebiyle oluşan dış gürültüye karşı elektromanyetik ekranlaması yapılmamış güç hattı kablolarının kullanılmasıdır.

Konutlardaki gürültü kaynakları aşağıdaki sırayla listelenebilir :

1) O konutta bulunan cihazlar

2) Aynı dağıtım trafosuna bağlı komşu konuttaki cihazlar

- 3) Dağıtım trafosunun primer tarafından veya elektromanyetik radyasyondan dolayı ortaya çıkarak konuttaki elektrik devresine giren arkaplan gürültüsü

Elektromanyetik enerjinin bir iletişim sistemi tarafından emilmesi, bozucu sistemleri ortaya çıkarır. Bozucu etkiler, çıkış noktalarına bağlı olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler:

- 1) Şebeke gerilimine bağlı bozulmalar
- 2) DC güç kaynaklarından kaynaklanan bozulmalar
- 3) Mekanik kontak anahtarlamaından oluşan gürültü
- 4) Dijital devrelerden emilen gürültü
- 5) Trafo gürültüsü
- 6) Elektrostatik deşarja bağlı darbe gürültüsü

5-100 Khz frekans bandı; dağıtım hattı taşıyıcısı, bir takım alarmlar ve diğer bina içi sistemleri gibi iletişim sistemleri tarafından kullanılır. Dağıtım hattı taşıyıcısının etkin tasarımı için, güç dağıtım şebekesinde alıcı-verici yerleşiminin nasıl olması gerektiği belirlenmelidir. Bina içi alıcı-verici için en uygun yer, dağıtım trafosunun sekonder kısmıdır. Bu tip iletişim, sistemlerinde faz kaydırmalı anahtarlama veya farksal faz kaydırmalı anahtarlama kullanılır ve ortamın özelliklerinden dolayı yüksek gürültü seviyelerinde çalışmak üzere tasarlanmalıdır.

### **3.1 Gürültü Tipleri**

Gürültü konusunda daha önce yapılan ölçümler, gürültü seviyesinin önemli ölçüde bina içinde ve aynı dağıtım şebekesinde bulunan diğer binalardaki aygıtların kullanılmasına bağlıdır. Bu durum gürültü kaynaklarının ve bu kaynakların gürültü karakteristiklerinin incelenmesini gerekli kılmıştır. Bir yerleşim birimindeki önemli gürültü kaynakları, universal motorlar, ışık ayarlayıcı reosta ve televizyon alıcılarıdır. Klimalarda kullanılan, büyük tipleri de dahil olmak üzere endüksiyon motorları, 5-100 Khz aralığında çok az gürültü oluştururlar. Floresan lambalar da bu frekans aralığında çok az gürültü açığa çıkarırlar. Güç dağıtım sistemlerindeki gürültü beş kategoride incelenebilir :

### **3.1.1 Renkli arkaplan gürültüsü (Tip 1)**

Bu tip gürültünün kuvvet spektrum yoğunluğu görece olarak daha azdır ve frekansla birlikte azalır. Bu tip gürültü esas olarak, düşük yoğunluklu çok sayıda gürültünün üst üste binmesinden oluşur. Belirli frekans aralığında frekanstan büyük ölçüde bağımsız olan sürekli ve tekdüze bir kuvvet spektrumu yoğunluğuna sahip olan beyaz gürültünün tersine, renkli arkaplan gürültüsü, belirlenen frekansa büyük ölçüde bağımlılık gösterir. Bu gürültünün parametreleri dakikalar ve saatler bazında zamanla değişmektedir.

### **3.1.2 Darband gürültüsü (Tip 2)**

Radyo yayını yapan istasyonların girişimiyle oluşan ve genellikle genlik modülasyonlu sinüsoidal sinyallerdir. Bu tip gürültüde, frekans spektrumu üzerinde göreceli olarak küçük ve sürekli olan pek çok altbanda sahiptir. Bu gürültü, esas olarak yayın yapan istasyonların orta ve kısa dalga yayın bantlarına girişimiyle ortaya çıkar. Bu gürültünün genliği gün içerisinde değişir ve özellikle atmosferin yansıma özelliğinin arttığı akşam saatlerinde en yüksek seviyesini alır.

### **3.1.3 Şebeke frekansına asenkron periyodik tepki gürültüsü (Tip 3)**

50 ile 200 kHz arasında tekrar oranına sahip olan impulslar şeklinde olan ve tekrarlama oranına bağlı olarak ortaya çıkan frekans boşluklarında ayrık çizgilerden oluşan bir spektruma sahiptir. Bu tip gürültü genellikle anahtarlamalı güç kaynakları nedeniyle oluşur. Bir güç kaynağı, uyumsuz kaynak ve yük arasına, ikisini uyumlu yapmak için yerleştirilen tampon devre olarak yerleştirilir. Yüksek tekrarlama oranı yüzünden, bu gürültü birbirine çok yakın frekansları işgal eder ve bu nedenle dar bantlar olarak temsil edilen frekans yığınları oluştururlar.

### **3.1.4 Şebeke frekansına senkron periyodik tepki gürültüsü (Tip 4)**

50 ile 100 Hz arasındaki tekrarlama oranıyla şebeke frekansına senkron tepkiler oluşur. Bu tip tepkiler mikrosaniyeler seviyesindedir ve frekansla azalan bir kuvvet spektrum yoğunluğuna sahiptir. Bu tip gürültü, şebeke frekansıyla senkron çalışan, şebekeye bağlı konvertörler gibi güç kaynaklarından ortaya çıkar. Aynı zamanda pek çok elektrikli cihazda bulunan doğrultucu diyotların anahtarlamalarından dolayı oluşur.



bina içinde kullanılan cihazların ortaya çıkardığı gürültüler olacaktır. Bu nedenle bina içinde kullanılan ve gürültü oluşturan cihazları incelemek gerekmektedir.

Üniversal motorlar, AC veya DC voltajla çalışabilen seri sarımlı küçük motorlardır. Hafif olmaları nedeniyle, küçük cihazlarda, özellikle evde kullanılanlarda tercih edilmektedirler. Bu tip motorla çalışan cihazlar, elektrik süpürgeleri, mikserler, blenderlar, dikiş makineleri ve taşınabilir zımpara makinesi, matkaplar ve testerelelerdir. Seri motorlar gibi universal motorların da fırçaları vardır ve seri motorlara benzer şekilde çalışırlar. Motora yük yüklendiğinde, hız azalır ve motor üzerinde voltaj artırıldığında hız artar. Motordan değişken bir hız elde etmek için, seri bağlı bir değişken direnç kullanılır. Bazı cihazlar, hızlarını kontrol etmek için katı anahtarlama aygıtları kullanılır. Tam yük altında tipik maksimum hız 3500 ile 10000 devir arasındadır. Fırçalı motorlarda oluşan gürültü, rastlantısal genlik ve frekansa sahip ve radyo girişimine neden olabilecek gürültü olarak tanımlanmaktadır.

Şekilde en yüksek hızda çalışan universal motorlu bir gerecin (örneğin blender) geçen akımı göstermektedir. Akım, motoru süren 60 Hz'lik gerilimle senkronudur. Şekilden de görülebileceği gibi, çıkış akımı 60 Hz'lik temel frekans bileşeninden, dalga şekline üçgen şeklini veren 60 Hz'lik harmoniklerden ve şekle pürüzlü yapısını veren yüksek frekanslı bileşenlerden meydana gelmektedir. Ölçüm cihazından dolayı yüksek frekans bileşenleri zayıflamaktadır, bu sebeple yüksek frekans bileşenleri, şekilde görüldüklerinden daha büyüktür.

Evlerde en sık kullanılan ve yüksek seviyede harmonik gürültü yaratan aygıt ışık reostalarıdır. Normal olarak, sürekli değişken lamba parlaklığını sağlamak için 600 W'a kadar akkor aydınlatma kullanılır. Reostalar, akkor lambalara seri olarak bağlanır ve SCR veya triyak üzerinden yapılan anahtarlama ile lambanın parlaklığını kontrol eder. Bu gürültü için limitler, frekansın bir fonksiyonu olarak elde edilir ancak en düşük frekans 500 Khz olarak belirlenmiştir. Bu cihaz tarafından yaratılan gürültü, cihazla anahtarlama şebekenin fonksiyonu olmaktadır.

Bu reosta, anahtarlama için bir triyak ve gürültünün azaltılması için LC tip filter kullanılmıştır. LC alçak geçiren filtrenin rezonans frekansı 134 kHz'dir.

Anahtarın (triyak) ilk yarı periyodun erken devresinde maksimum parlaklık için kapandığı görülebilir (minimum parlaklık için ilk yarı periyodun geç devresinde) ve sıfır geçişi sırasında açılır. İkinci yarı period için aynı durum tekrarlanır. SCR

anahtarlama nedeniyle ortaya çıkan yüksek frekanslı voltaj, yaklaşık olarak 125 kHz'lik bir doğal rezonans frekansına sahip sönümlü bir osilasyon dalga formudur. Dikkat edilmelidir ki, reosta maksimum parlaklık için ayarlandığında, sivri uçlu akım dalga şeklinin var olması için voltaj tüm period için uygulanmamıştır.

Belirli bir frekansta çift veya tek harmoniklerin etkin olması ışık reostasının ayarına bağlıdır. Işık reostasının ayarları voltaj impulslarının zamanlarını kontrol eder, ve simetrilerini kontrol ederek, tek ve çift harmoniklerin kuvvetini belirler.

Çizgi spektrumu 60 Hz'in katlarında ortaya çıkmaktadır. Seçilen frekans penceresi, 60 Hz'in 208. harmoniğine denk gelen 12480 Hz'lik merkez frekansına sahiptir ve bu merkez frekansının her iki yanında 10 harmonik göstermektedir. Işık reostasının ayarı tek ve çift harmoniklerin kuvvetini kontrol eder. Şekilde, seçilen frekans penceresi içinde tek harmoniklerin frekansla artıracak ve çift harmoniklerin frekansla azaltacak şekildedir. Reosta, frekans penceresinde sadece tek veya sadece çift harmonikler bulunacak şekilde ayarlanabilirdi. Voltaj spektral çizgilerinin zarfının büyüklüğü, reostanın kontrol ayarlarıyla az da olsa değişir ve 0 ila 100 kHz arası görece olarak düzdür. Büyüklük kontrol edilen yük tarafından etkilenir. 400 W'lık aydınlatma için, gerilim impulsları 100 V tepe değerinden daha büyüktür ve her biri 80 mV'a (-22 dBV) kadar olan harmonikler oluşturmaktadırlar.

Özetle, katı hal aydınlatma reostası, tek veya çift harmonikleri reostanın kontrol ayarına bağlı olan 60 Hz'lik harmonik gürültü oluşturur. Gürültü genliği, lamba yüküyle, reostanın alçak geçiren filtresiyle, tahrik voltajıyla bağlantılı triyak ateşleme noktasıyla ve güç devresinin empedansı ile tanımlanır; ve 400 W'lık aydınlatmada 80 mV rms değerine sahip spektral çizgide olduğu görülmüştür.

Işık reostası ve universal motor, görece olarak büyük miktarda harmonik ve rastlantısal impulsive gürültü yaratan iki örnektir. Diğer gürültü tiplerini yaratan cihazlara örnekler, oluşturdukları gürültü tipleriyle ilişkilendirilerek bu bölümde verilecektir. Bu örnekler; saç kurutma makineleri, mısır patlatma makineleri, indüksiyon motorları, radyo ve televizyon alıcıları ile floresan aydınlatmalardır.

### **3.3 Gürültünün Matematiksel Modeli**

Gürültü tiplerinin temel olarak, arka plan gürültüsü ve impuls gürültüsü olarak ikiye ayrıldığı, arka plan gürültüsü saniyeler, dakikalar ve hatta saatler boyunca sabitken;

anahtarlama nedeniyle elektrik hatlarına girişim yapan kısa süreli değişimlerin impuls gürültülerini oluşturduğu daha önce yapılan tanımlardan bilinmektedir. Bu bölümde, impuls olaylarının matematiksel modeli üzerinde durulacaktır.

Tipik asenkron impuls olaylar, güç hattı şebekesinin herhangi bir yerinde gerçekleşen anahtarlama geçişleri sonucunda oluşabilir. Çoğunlukla sönümlü veya bindirilmiş sönümlü sinüs dalgasına benzer bir şekil almaktadırlar. Veri iletişiminde impulsların etkilerini tanımlamak için impuls enerjisi ve impuls gücü ele alınmaktadır. Varış süresi  $t_{arr}$  ve impuls olayının genişliği  $t_w$  ile sinyalin süresi kullanılarak impuls enerjisi  $E_{Imp}$  hesaplanabilir.

$$E_{Imp} = \int_{t_{arr}}^{t_{arr}+t_w} n_{Imp}(t)^2 dt$$

Impuls enerjisi, sinyalin şeklinden olduğu kadar sinyalin uzunluğundan da etkilenir. Impuls olayını arkaplan gürültüsüyle kıyaslamak için, impuls gürültüsünün ortalama gücü en uygun olanıdır. Impuls gücü  $P_{Imp}$  şu şekilde hesaplanabilir:

$$P_{Imp} = \frac{1}{t_w} \int_{t_{arr}}^{t_{arr}+t_w} n_{Imp}(t)^2 dt$$

$T_B$  gözlem zamanında, örnek bir  $n(t)$  arka plan gürültü sinyalinin  $P_N$  ortalama gücü ise:

$$P_N = \frac{1}{T_B} \int_0^{T_B} n(t)^2 dt$$

İmpuls enerjisi ve impuls gücü, impulsun alıcıdaki etkisinin göstergesi olarak ele alınabilir. Arka plan gürültü gücünün ortalaması  $P_N$  ile impuls gücü  $P_{Imp}$  arasındaki ilişki, impuls olayı süresince gürültünün dinamik değişimini ortaya koymaktadır.

Sınırlı bir bant genişliğiyle, iletişim sistemi üzerindeki etkilerin daha kesin değerlendirmesini yapmak için, gürültü gücünün spektrumdaki dağılımını incelemek daha iyi sonuçlar oluşturan bir yaklaşımdır. Bu nedenle, ek olarak impuls olayının ortalama güç spektrum yoğunluğu  $S_{nn,Imp}(f)$  da, impuls olaylarının sınıflandırılması için kullanılmalıdır. 5. Bölüm'de bu konu daha detaylı ele alınmış ve incelenen impuls gürültülerinin spektrum yoğunlukları gösterilmiştir.

### İmpuls Gürültüsünün Genliği, İmpuls Genişliği ve Varış Zamanı

İmpuls gürültüsünün veri iletimindeki büyük etkisinden dolayı, impuls genişliği, impuls genliği ve iki impuls arasındaki sürelerin olasılık dağılımları ile ilgili istatistiksel veriler toplanmalıdır.

Bir yaklaşım, impulsları, birim genlik ve birim genişlikteki genelleştirilmiş impuls ile impuls dizisi olarak modellemektedir. Darbe genişliği  $t_w$ , darbe genliği  $A$  ve impulslar arası süre süre  $t_{arr}$  ile impuls dizisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$n_{imp}(t) = \sum_i A_i \text{imp} \left( \frac{t - t_{a,i}}{t_{w,i}} \right)$$

$A$ ,  $t_w$  ve  $t_{arr}$ , istatistiksel özellikleri ölçümlerle açıklanabilecek rastgele değişkenlerdir. İki impuls arası zaman aralığı  $t_{IAT}$  ile gösterilir ve iki impuls arasındaki süre impuls uzunluklarından aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$t_{IAT} = t_{arr,i} - t_{arr,i-1}$$

## 4. BAZI MATEMATİKSEL TANIMLAR

### 4.1 Güç Spektrumu

$s(t)$  sinyalinin enerjisi zaman domenindeki değerlerin karelerinin toplamının integrali olarak tanımlanır. Toplamlarla ifade edilmesinden dolayı, integrali sinyalin belli bir zaman dilimindeki enerjisi olarak tanımlanabilir. İncelenen zaman dilimini küçülterek, sonsuz küçük  $d(t)$  zaman dilimindeki  $E(t) = |s(t)|^2$  iken  $E(t)dt$  olduğundan,  $E(t)$  güç değeri elde edilir. Güç, enerjinin zaman yoğunluğu olarak düşünülebilir.

Belli bir zaman diliminde gücün integrali alındığında, sinyalin o zaman dilimindeki enerjisi elde edilir. Sinyal gücünün tamamının integrali alındığında da, toplam enerji hesaplanmış olur.

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} E(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} |s(t)|^2 dt \quad (4.1)$$

Enerji, aynı zamanda, frekans domenindeki değerlerin karelerinin toplamının integrali alınarak da hesaplanabilir. Bu nedenle,  $E(f) = |S(f)|^2$  ile ifade edilen enerjinin spektral yoğunluğu, sinyalin enerjisinin frekans üzerinde dağılımı olarak ifade edilebilir.  $E(f)$ 'in anlamı güç ile aynıdır ve  $f$  frekansı üzerinde ortalanan  $df$  bant genişliği ile gösterilen aralıktaki sinyal bileşenlerinin enerjisi olarak tanımlanır. Sinyallerin zamana bağlı spektral dağılımları incelenirken,  $t$  zamanı ve  $f$  frekansı civarında ne kadar enerji bulunduğu ele alınır. Zaman domeninde enerji yoğunluğu güç olarak ifade edildiğinden, bu veriye Güç Spektral Yoğunluğu adı verilir.

### 4.2 Fourier Dönüşümü

Periyodik bir fonksiyonun periyodunun sonsuza götürülmesiyle Fourier integrali geliştirilebilir. Yöntemin daha etkin kullanımı için, istenen periyodik işaret orijine yerleştirilir ve  $P$  periyodu sonsuza yaklaşırken orijinden ölçülen limit simetrik olarak alınır.

Periyodik  $f_p(t)$  fonksiyonu üstel Fourier serisi olarak gösterilebilir.

$$f_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f_n e^{jn\omega_0 t} \quad (4.2)$$

burada

$$f_n = \frac{1}{P} \int_{-P/2}^{P/2} f_p(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (4.3)$$

ve

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{P} \quad (4.4)$$

ilişkileri kullanılmaktadır.

4 nolu denklemde, P periyodu sonsuza götürülürse, tüm Fourier serisi katsayılarının sıfıra yaklaştığı görülmektedir. Bu nedenle, P'yi sonsuza götürecektir limit alınmadan önce aşağıdaki tanımlamalar yapılır:

$$\omega_n = n\omega_0 \quad (4.5)$$

$$F(\omega_n) = \lim_{P \rightarrow \infty} P f_n \quad (4.6)$$

Bu tanımlar kullanılarak, 2 ve 3 denklemleri;

$$f_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \lim_{P \rightarrow \infty} \frac{1}{P} F(\omega_n) e^{-j\omega_n t} \quad (4.7)$$

$$F(\omega_n) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \lim_{P \rightarrow \infty} F(\omega_n) e^{-j\omega_n t} \quad (4.8)$$

olur.  $f_p(t)$ 'nin spektrum çizgileri arasındaki uzaklık  $\Delta\omega$  olarak tanımlanırsa:

$$\Delta\omega = \omega_{n+1} - \omega_n = \frac{2\pi}{P} \quad (4.9)$$

ve P sonsuza götürülürse (sonuçta  $\Delta\omega$  sıfıra gider), 7 numaralı denklem şu şekilde olur:

$$f(t) = \lim_{\substack{P \rightarrow \infty \\ \Delta\omega \rightarrow 0}} \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(\omega_n) e^{j\omega_n t \Delta\omega} \quad (4.10)$$

10 numaralı denklemdeki limit alınır,  $f_p(t)$ 'nin ayrık spektrum çizgileri birbiriyle birleşir ve spektrum sürekli olur. Matematiksel olarak, 10 numaralı denklemdeki sonsuz toplamı bir Riemann İntegrali'dir.

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (4.11)$$

Benzer şekilde, 8 numaralı denklemden;

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (4.12)$$

elde edilir.

11 ve 12 denklemleri, standart Fourier integrali dönüşümünü tanımlayan ilişkilerdir. 11 numaralı denklem işaretin kompleks fonksiyonlara ayrılabilirliğini gösterir.  $F(\omega)$ ,  $\omega$  rad/sn'deki frekans bileşeninin büyüklüğünü verir.

Fourier integralini yukarıdaki gibi tanımlamak gerekmez, aksiyomatik bir yaklaşım kullanılarak 11 ve 12 denklemleri doğrudan verilebilir. Ancak Fourier serisi yoluyla verilen tanım,  $F(\omega)$ 'nin işlevine fiziksel bir anlam getirir.

### 4.3 Ayrık Zamanlı Fourier Dönüşümü

Teorik olarak tanımlanan bazı dizilerin aksine, gerçek dizilerin Fourier dönüşümleri hesaplanamaz. Bu nedenle, sayısal işaretler için Fourier dönüşümünün kullanılması uygun değildir. Frekansın analog olarak gösterimi ve sonsuz sayıda örneğin işareti karakterize etmek için gerekmesi, bu uygunsuzluğun temel nedenleridir.

Bu güçlüklerden dolayı, Fourier dönüşümünün işaret işlemedeki önemi dikkate alınır, daha pratik bir dönüşüm tanımlamak gerekmektedir. Birim daire etrafında düzgün aralıklı N frekans noktası  $\omega_k$  ve  $x(n)$  dizisinin N örneği için tanımlanan bu yeni dönüşüm, ayrık Fourier dönüşümü (AFD) olarak adlandırılır. Tersine de alınabilen bu dönüşümün önemli özellikleri vardır. Bir çok spektrum analiz yöntemi AFD'ne dayanmaktadır.

Ayrık Fourier dönüşümünü (AFD), Fourier serisi, Fourier dönüşümü veya dik fonksiyon açılımından yararlanarak tanımlamak mümkündür. Gerçekten AFD işlemi, verilen sonlu uzunlukta bir dalga formunun periyodik yapıldıktan sonra Fourier serisi katsayılarının bulunmasıyla gerçekleştirilebilir. Ayrıca, tüm  $n$  değerleri için verilen bir  $x(n)$  dizisinin Fourier dönüşüm ifadesinde sadece  $N$  örneğin alınmasıyla da AFD bulunabilir. Diğer taraftan, dik fonksiyonlar kullanılarak, AFD dik fonksiyon açılımı biçiminde de tanımlanabilir.

Ayrık Fourier dönüşümü, ayrık zamanlı sinyal işleme algoritma ve sistemlerinin analizi, tasarımı, gerçekleştirilmesi ile doğrusal filtreleme, korelasyon analizi ve spektrum analizi gibi sinyal işleme uygulamalarında önemli bir rol oynar. AFD'nin bu öneme sahip olmasının ardındaki temel neden AFD'yi hesaplamakta kullanılan verimli algoritmaların varlığıdır.

AFD, Fourier dönüşümünün eşit aralıklı frekanslardaki örneklerine özdeştir. Sonuç olarak  $N$  noktalı bir AFD'nin hesaplanması Fourier dönüşümünün  $N$  örneğinin,  $N$  eşit aralıklı frekanslarla ( $\omega_k = 2\pi k/N$ ),  $z$ -düzlemindeki birim çember üzerinde  $N$  nokta ile hesaplanmasına karşılık gelir. Burada temel amaç  $N$  noktalı AFD'nin hesaplanması için verimli algoritmaların kullanılmasıdır. Bu algoritmalar ortak olarak hızlı Fourier dönüşümü (FFT) algoritmaları adını alır. En yüksek verimin elde edilebilmesi için FFT algoritmaları AFD'nin  $N$  değerlerinin hepsini hesaplamalıdır.

Sinyallerin frekans domeni dönüşümü olan zamana bağlı fonksiyonlar olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda, frekans ve zaman domenleri arasında dönüşümün sağlanması büyük önem taşımaktadır. Fourier dönüşümü analog sinyallerde bu işlemi gerçekleştiren bir araçken, dijital sinyal işlemede de ayrık zamanlı fourier dönüşümü kullanılmaktadır.

Ayrık Fourier dönüşümü, Fourier dönüşümünden zaman değişkenini küçük parçalara ayırarak elde edilebilir:

$$s(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-i\omega t} dt \quad (4.13)$$

Bunu sağlamak için,  $s(t)$ 'nin sıfırdan farklı olduğu tüm zaman diliminin  $[t_a \dots t_z]$  belirlenmesi gerekir. Bu zaman aralığı  $T = t_a - t_z$  şeklinde tanımlanabilir. Bu zaman aralığı, çok büyükse, yada tüm zaman dilimini kapsıyorsa daha küçük parçalara ayırarak, her parçanın fourier dönüşümü hesaplanabilir. Zaman aralığı,  $N$  ile ifade

edilen eşit aralıklara sahip eşit uzunlukta parçalara ayrılır. Burada  $\{ t_n \}_{n=0}^{N-1}$  olarak alınır ve  $t_n = t_a + n\Delta t$  şeklinde ifade edilir.  $\Delta t = T/N$  olarak seçilir. ( $t_0 = t_a$  olduğuna ve  $t_{N-1} = t_z - \Delta t$  olduğuna dikkat edilmelidir. Bunun yanında  $N \gg 1$  veya  $\Delta t \ll T$  iken  $t_{N-1} \approx t_z$  'dir.) Örnek sinyaller için,  $\Delta t$  temel örnekleme aralığı (örnekleme frekansının tersi)  $t_s = 1 / f_s$  olarak alınır.

Aynı zamanda frekans değişkeni de küçük parçalara ayrılmalıdır. Bu durumda,  $\Delta \omega = \Omega / N$  iken  $\omega_k = k \Delta \omega$  olarak belirlenir. Görülmektedir ki, kısa zaman dilimleri yüksek frekanslara denk gelmektedir. Bu nedenle, küçük bir  $\Delta t$  seçildiğinde; daha yüksek bir frekans sınırlamasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla ilgili eşitlik, aşağıda gösterilmektedir:

$$N\Delta\omega = \Omega = \frac{2\pi}{\Delta t} \quad \text{veya} \quad \Delta\omega\Delta t = \frac{2\pi}{N} \quad (4.14)$$

Buradan zaman ve frekans değerlerine,  $t_n$  ve  $\omega_k$  değişenleri konularak fourier dönüşümü hesaplanabilir:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{i\omega t} dt \rightarrow S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s_n e^{-i(k\Delta\omega)(n\Delta t)} \quad (4.15)$$

ve aşağıdaki formülle ayırık fourier transformu hesaplanmış olur:

$$S_k = \sum_{n=0}^{N-1} s_n e^{-i\frac{2\pi nk}{N}} \quad (4.16)$$

Bu durumda güç spektrumu  $|S_k|^2$  olarak hesaplanır ve her  $k$  değerine karşılık gelen bir enerji değeri bulunmaktadır.

#### 4.4 Hızlı Fourier Dönüşümü

Ayrık Fourier dönüşümünün doğrudan hesaplanmasında her bir  $X_n$  değeri için  $N$  karmaşık çarpma ve  $N-1$  karmaşık toplama işlemi kullanılmaktadır. Bu nedenle,  $N$  adet AFD'nin değeri bulunurken,  $N^2$  çarpma ve  $N(N-1)$  toplama işlemi gereklidir.

Ayrıca, her karmaşık çarpma işlemi dört gerçel çarpma ve iki gerçel toplama işlemi ve her bir karmaşık toplama iki gerçel toplama işlemi ile gerçekleştirilmelidir. Sonuç olarak, dizi uzunluğu  $N$ 'nin 1000'in üzerinde olması durumunda doğrudan AFD'nin

bulunması çok fazla miktarda işlem gerektirmektedir. Yani, N sayısı artarken gereken işlem sayısı çok hızlı artmaktadır.

AFD hesaplanmasında etkin ve günümüzde kullanılan yaklaşım hızlı Fourier dönüşümü (HFD) algoritmalarıdır. Her ne kadar dönüşüm olarak adlandırılrsa da, hızlı Fourier dönüşümü, ayrık Fourier dönüşümünden farklı değildir. AFD'nin hesaplanmasında etkin ve kullanışlı bir algoritmadır.

AFD'nin sayısal işleme alanında spektrum analizi, konvolüsyon ve korelasyon gibi işlemlerin gerçekleşmesinde önemli bir rol oynamasının nedeni, HFD algoritmalarından dolayıdır.

#### 4.5 Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü

Fourier dönüşümü çok güçlü bir matematiksel araçtır, ancak integrasyon tüm zamanlar için yapıldığından analog sinyal işlemede pratik değildir. Pratik bir araç olması için Fourier dönüşümleri sayısı sınırlandırılmalıdır.

Matematiksel sonuçlar, sonlu zaman diliminde inceleme yapılarak tahmin edilebilir. Spektrumunu tahmin etmek için sinyali uzun süre incelemeye gerek yoktur. Tabii ki çok uzun süre inceliyor olmak, spektrumun daha sağlıklı bir şekilde hesaplanmasına neden olacaktır. Gözlem yapılan zaman diliminde spektrumun neye benzediğini hesaplayabiliriz. Fourier dönüşümü bu şekilde tanımlanmadığından, kısa zamanlı fourier dönüşümü adı verilen bir tanım yapılmıştır.

Aşağıdaki sinyalin, başlangıç zamanından  $f_1$  frekansına kadar saf sinüs olduğunu ve  $t = 0$  zamanından itibaren her hangi bir sebeple frekansının  $f_2$  olarak değiştiği ele alınırsa, sinyal aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$s_1(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_1 t) & t < 0 \\ \sin(2\pi f_2 t) & t \geq 0 \end{cases} \quad (4.17)$$

Her frekans bileşeni,  $t = -\infty$ 'dan  $t = +\infty$ 'a kadar sinyalin bu frekansa etkisinin toplamı olarak ele alınır. Sonuç olarak, Fourier dönüşümünden hesaplanan güç spektrumu, biri  $f_1$  ve diğeri  $f_2$ 'ye karşılık gelen iki eşit bileşenden oluştuğu düşünülür.

$$s_2(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_1 t) & t < 0 \\ \sin(2\pi f_2 t) & t \geq 0 \end{cases} \quad (4.18)$$

Burada, frekans düzeni değişmediği için frekansların yer değiştirmesinden önceki gibi, güç spektrumunun iki eşit bileşenden meydana geldiğini söylemek doğru

olacaktır.  $f_1$  ve  $f_2$ 'nin saniyedeki döngü sayısı olarak tanımlanamayan bir sayı olduğu varsayılırsa,  $s_3(t)$  sinyali:

$$s_3(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_1 t) & |t| \text{ çift} \\ \sin(2\pi f_2 t) & |t| \text{ tek} \end{cases} \quad (4.19)$$

birbirini takip eden  $\sin(2\pi f_1 t)$  ve  $\sin(2\pi f_2 t)$  şeklindeki aralıklar da aynı güç spektrumuna sahip olacaktır.

Kısa zamanlı Fourier dönüşümü, farklı zamanlarda farklı spektral bileşimler olarak, farklı sinyalleri ayırmaya yardımcı olur. Fourier dönüşümü tüm sinyallerin değişmediğini ve spektrumunun aynı kaldığını varsayarken; kısa zamanlı Fourier dönüşümü, Fourier dönüşümü fikrinin gerçek zamanlı uygulamalara uyarlanmış hali olarak ele alınabilir. Periyodik olmayan sinyalin içinden sırayla alınan pencerelerin kesikli Fourier dönüşümlerinin hesaplanmasıyla kısa zamanlı Fourier dönüşümleri elde edilir.

Kısa zamanlı Fourier dönüşümü, ya da kısa zamanlı güç spektrum yoğunluğu, farklı konularda kullanılan bir araçtır.



## 5. ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE EVSEL GÜRÜLTÜLERİN ÖLÇÜLMESİ

Gürültülerin, şebeke üzerinden yapılan iletişimi ne şekilde etkileyebileceği konusu bu tür sistemlerin ve cihazların tasarımı açısından önemlidir. Evlerde en sık kullanılan cihazların, güç hattı üzerinden gerçekleştirilen iletişimi hangi tip gürültülerle ve ne şekilde etkileyeceğini görmek için, öncelikle şebek analizörüyle gürültülerin kaydedilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Wavebook isimli cihazla evlerde en çok kullanılan 3 cihazla yani saç kurutma makinesi, su ısıtıcı ve laptopla bu kayıtlar alınmıştır. Cihazlar, açma/kapama ve çalışma anlarında incelenmiştir.

Şebeke üzerinden yapılan iletişimin, CENELEC standardı gereği, 3 kHz ile 148.5 kHz arasında gerçekleştiği önceki bölümlerde belirtilmişti. Ancak, bu dalga boyunun 95 ile 148.5 kHz arasındaki kısmının, ev kullanıcılarına hizmet ettiği de açıklanmıştı. Bu durumda, inceleme 150 kHz'e kadar yapılmıştır. Örneklem frekansı olarak da bu frekansın 2 katı olarak 300 kHz seçilmiş ve şebeke analizörünün ayarları bu şekilde yapılmıştır.

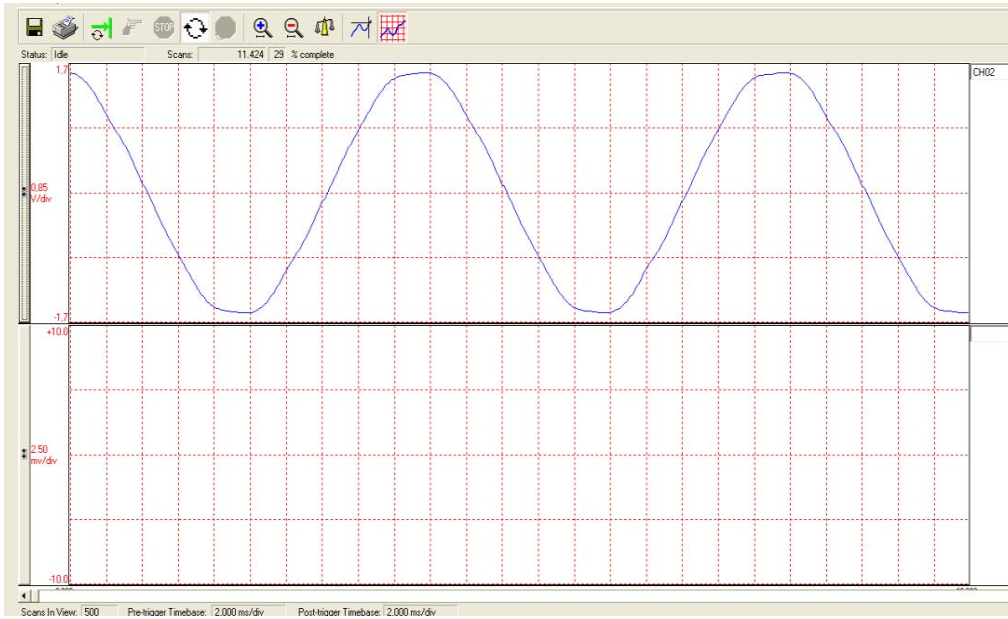
Ölçümler kaydedildikten sonra, MATLAB aracılığıyla analizleri gerçekleştirilmiş ve bu işlem için kısa zamnlı Fourier Dönüşümü kullanılmıştır. Şebeke frekansı 50 Hz olduğundan, 20 ms'lik ölçüm süresince alınan 6000 örnek inceleme için yeterli olmuştur. Aşağıda her bir cihaz için, gürültünün oluştuğu periyodun bir önceki periyodu gösterilmiştir. Yine her cihaz için, impuls gürültülerinin oluştuğu periyod da gösterilmiş ve gürültünün spktrum üzerinde dağılımı incelenmiştir.

Güç hattındaki evsel gürültülerin ölçülmesi ve alınan sonuçların değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçlar, özellikle filtre tasarımlarında ve iletişim frekanslarının net olarak belirlenmesinde kullanılır. Şebeke gerilimini bozulmaya uğratan gürültülerin hangi frekans aralığında bulunduğunu görmek, güç hattı iletişimiyle oluşturulan iletişim sisteminin bu bozulmalardan ne derecede etkilendiğini izlemek için bu ölçümler yapılmıştır.

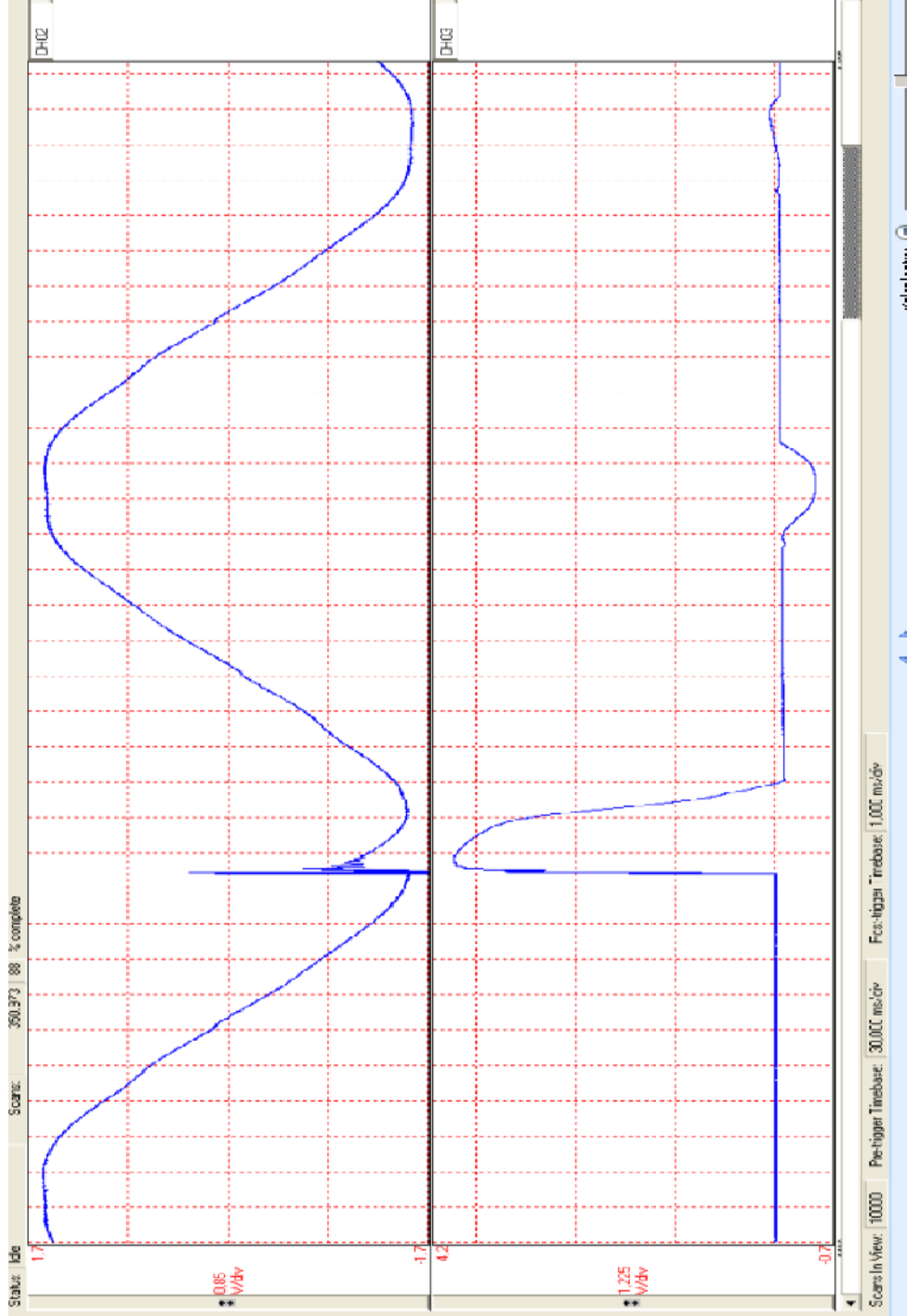
## 5.1 Dizüstü Bilgisayarın Oluşturduğu İmpuls Gürültüsünün Analizi

Şekil 5.1’de şebeke yüksüz haldeyken şebeke analizöründen alınan veri görülmektedir. Şekil 5.2’de ise dizüstü bilgisayar fişe takıldığı anda şebeke analizöründen alınan veri görülmektedir.

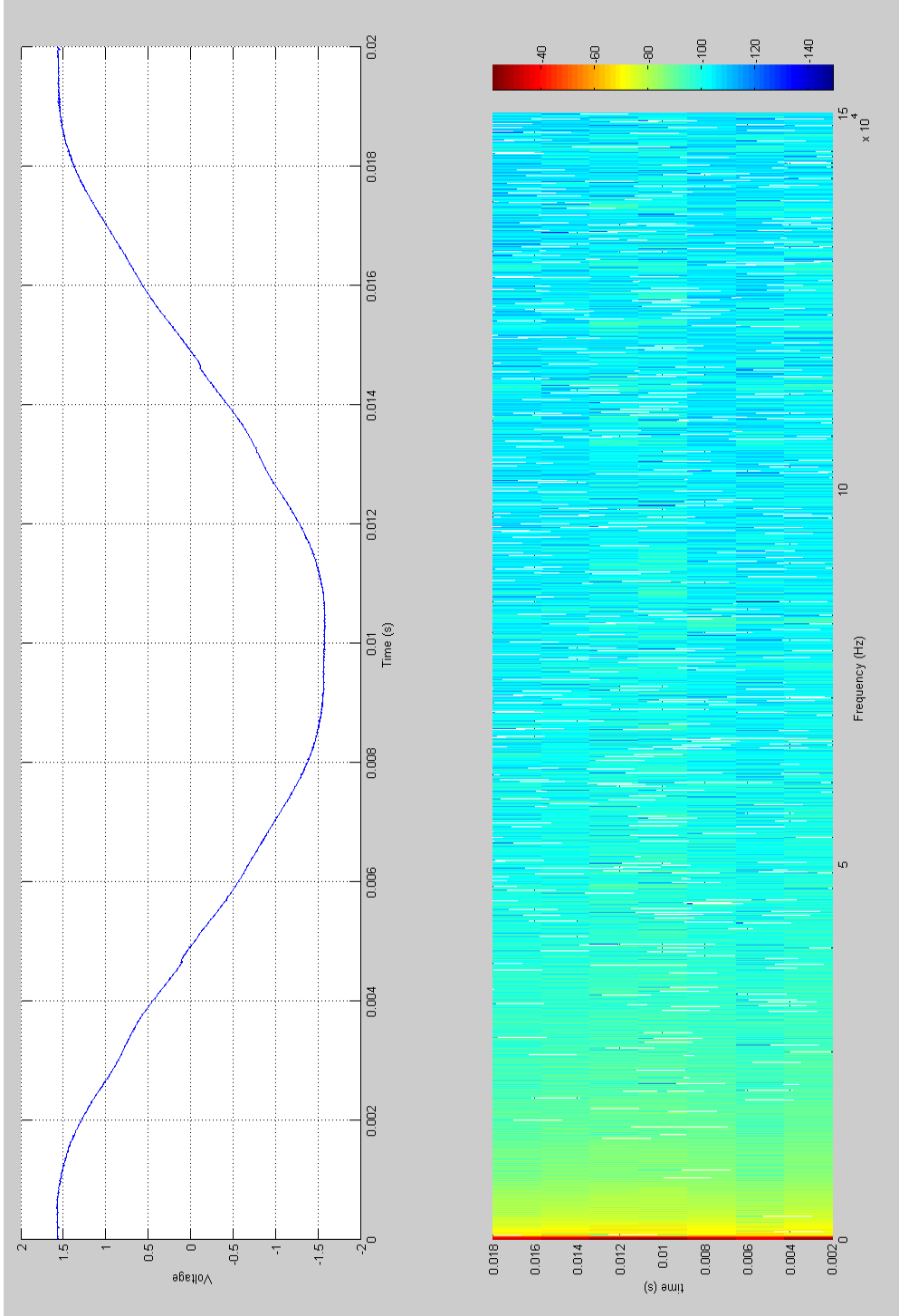
Şekilde 5.3’te şebeke analizöründen alınan verilerin kısa zamanlı Fourier dönüşümü ile analizi yapılmıştır. Şekil 5.4’te dizüstü bilgisayarın elektrik fişine takıldığı anda, 8 ms ile 10 ms arasında, meydana gelen impuls gürültüsü ve bu dalga şeklinin kısa zamanlı Fourier dönüşümü verilmiştir. Görüldüğü gibi 8 ms ile 10 ms aralığında spektrumda renk belirgin derecede farklılaşmaktadır ve bozulmanın 150 kHz’e kadar bütün frekans değerlerine yayıldığı görülmektedir. Bu incelemenin sonucu olarak, dizüstü bilgisayarın ele aldığımız 150 kHz’lik tüm spektrumu etkilediği görülmektedir.



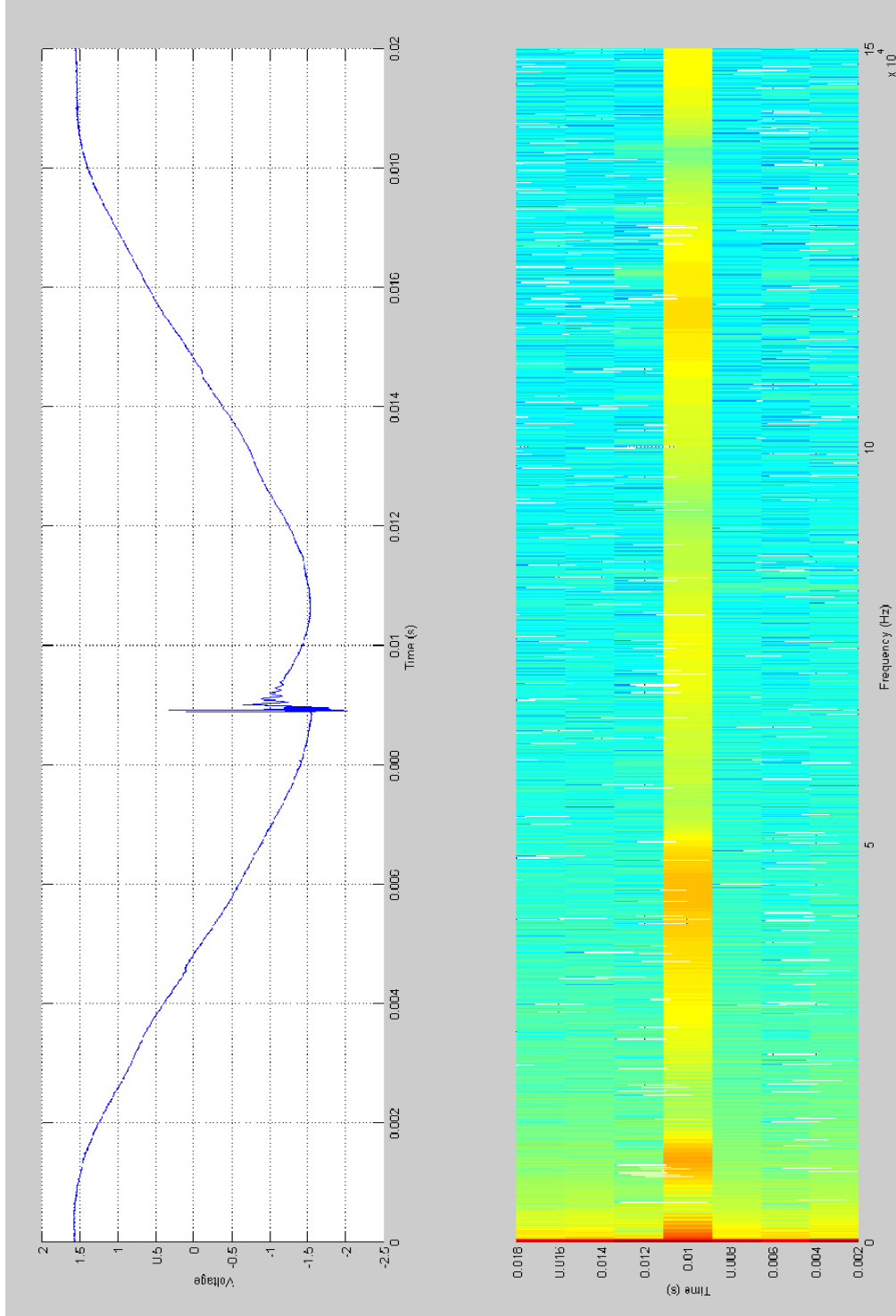
Şekil 5.1: Yüksüz Halde Şebeke Geriliminin Zamanla Değişimi



Şekil 5.2: Dizüstü Bilgisayar Prize Takıldığı Andaki Gerilim/Akımın Zamanla Değişimi



**Şekil 5.3:** Dizüstü Bilgisayar Devreye Alınmadan Önceki Periyodun Frekans Spektrumu



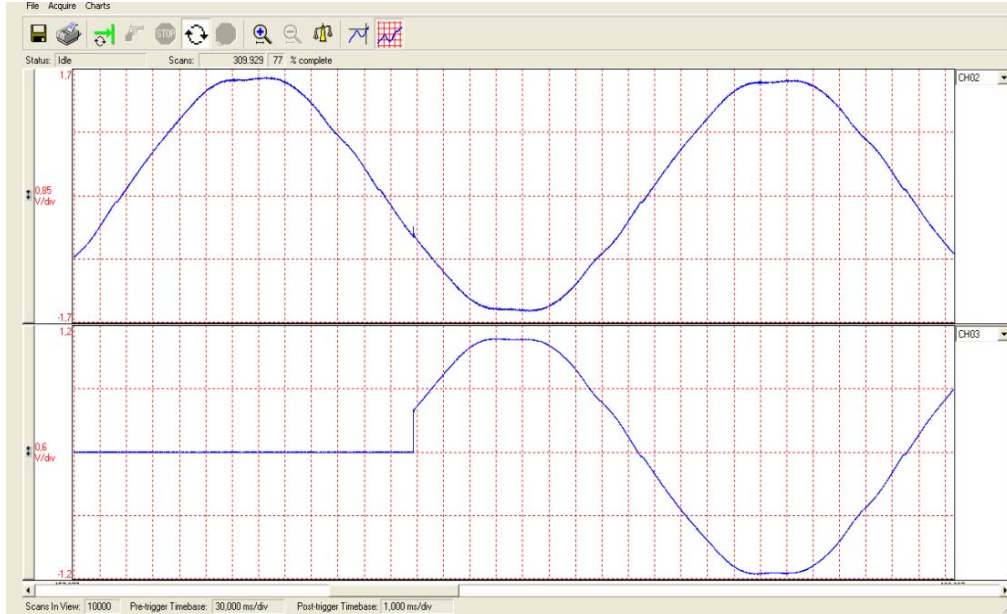
Şekil 5.4: Dizüstü Bilgisayarın Devreye Alındığı Andaki İmpuls Gürültüsünün Spektrum Analizi

## 5.2 Su Isıtıcının Oluşturduğu İmpuls Gürültüsünün Analizi

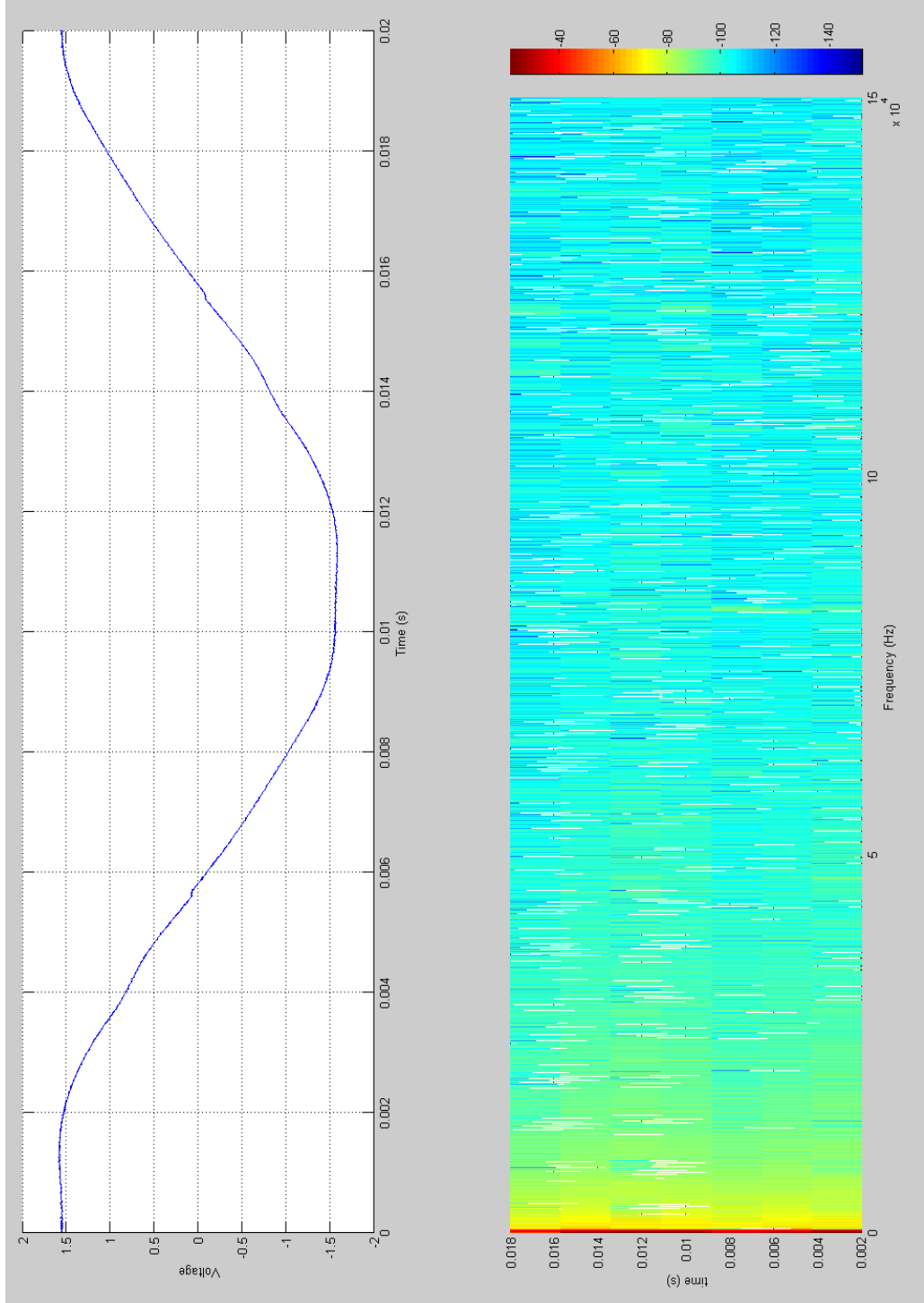
Şekil 5.5'te şebeke analizörü ile yapılmış ölçüm gürültü ölçümü görülmektedir. Bu ölçüm, su ısıtıcısı açıldığı anda gerçekleştirilmiştir. Analizörden elde edilen akım ve gerilimin zamanla değişimini göstermektedir.

Daha sonra, bu veriler ile kısa zamanlı Fourier analizi yapılarak, gürültünün spektrumdaki yayılımı incelenmiştir. Kıyaslama amacıyla, gürültünün oluştuğu periyod ve hemen öncesinde şebekeye hiçbir cihaz bağlı değilken alınan periyod değerlendirilmiştir. Şekil 5.6, şebekede hiçbir cihaz bağlı değilken yapılan analizi göstermektedir.

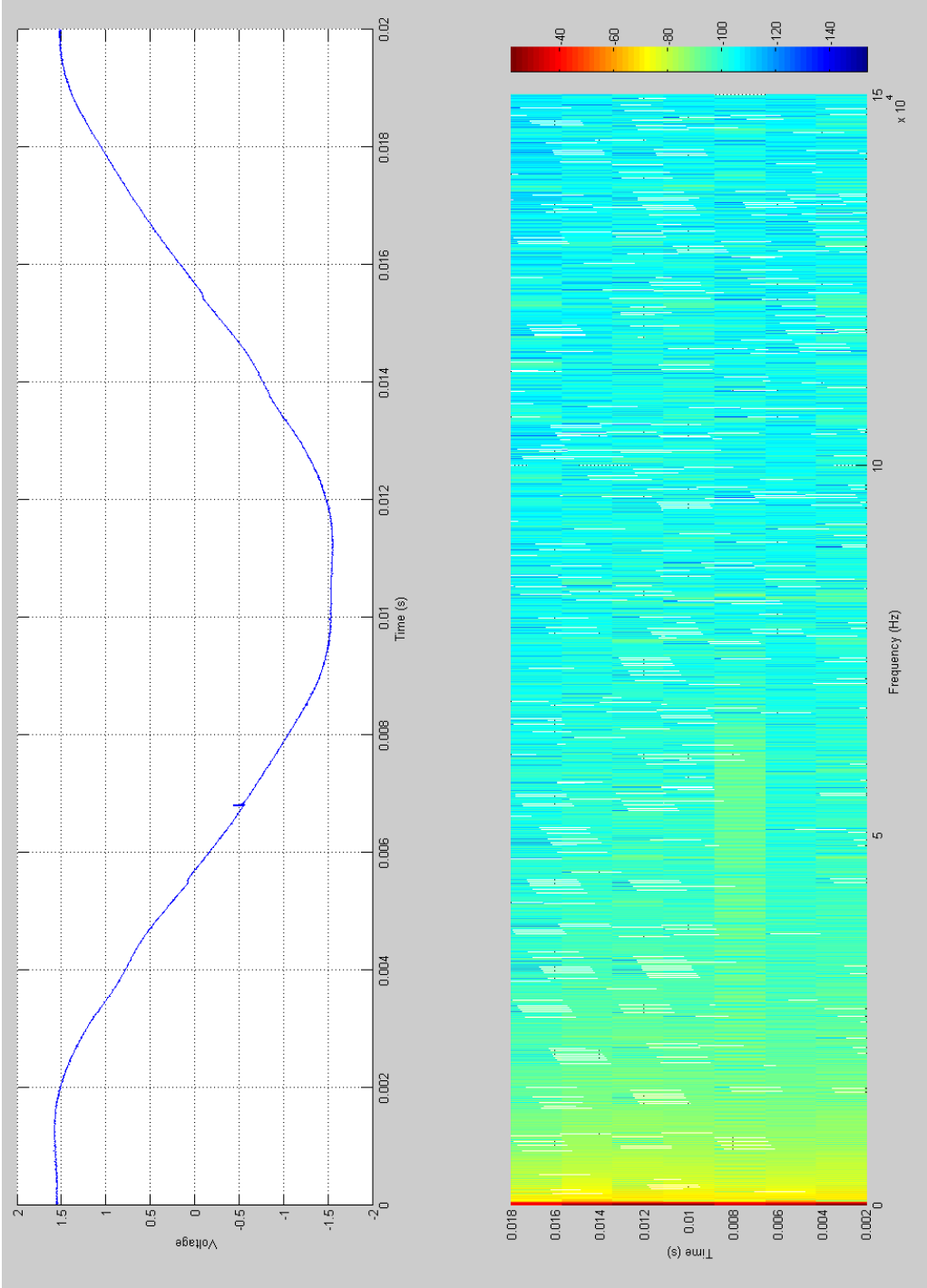
Şekil 5.7 ise, gürültünün oluştuğu periyodu incelemektedir. Analiz sonuçlarından görüldüğü gibi, su ısıtıcısının açıldığı anda oluşan gürültü 6 ms ile 8 ms arasındadır. Spektrum analizi incelendiğinde, bu gürültünün etkisinin 70 kHz civarında azaldığını görülmektedir. Bu durumda su ısıtıcısı, CENELEC standardına göre, ev kullanıcısının güç hatı üzerindeki iletişimini etkileyen bir impuls gürültüsü oluşmamaktadır.



Şekil 5.5: Su Isıtıcısı Devreye Alındığı Andaki Gerilim ve Akımın Zamanla Değişimi



Şekil 5.6: Su Isıtıcı Devreye Alınmadan Önceki Periyodun Frekans Spektrumu



**Şekil 5.7:** Su Isıtıcı Devreye Alındığında Oluşan İmpuls Gürültüsünün Frekans Spektrumu

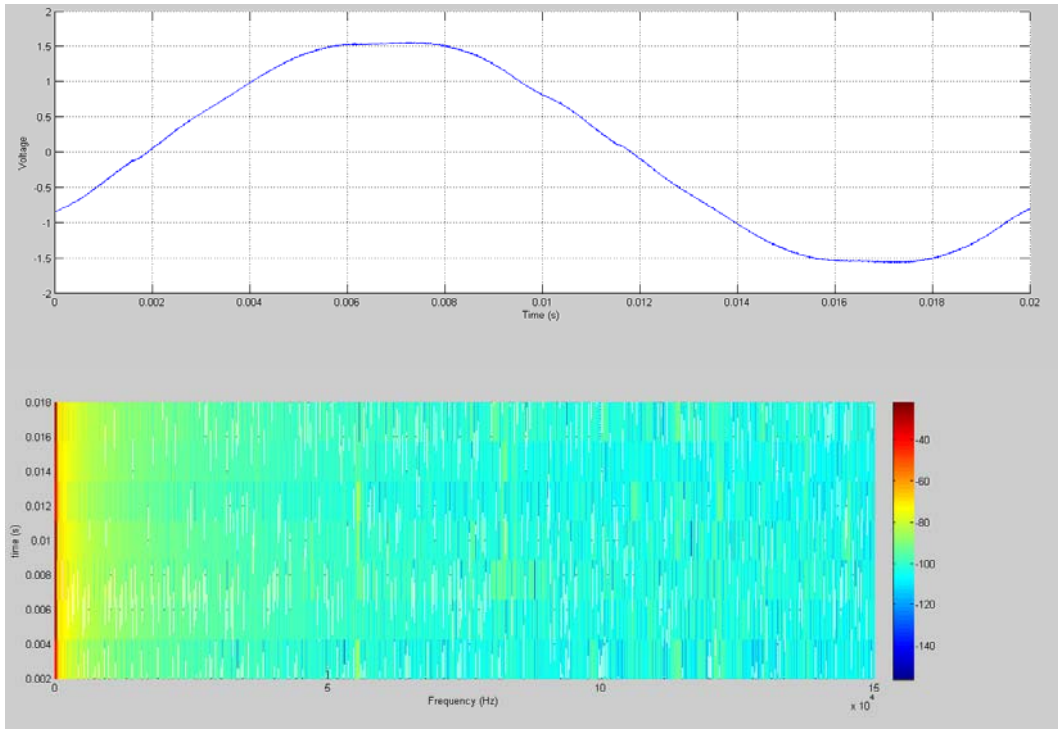
### 5.3 Saç Kurutma Makinesinin Oluşturduğu Gürültünün Analizi

Diğer analiz yine evlerde yoğun olarak kullanılan saç kurutma makinesi ile yapılmıştır. Bu ölçüm, saç kurutma makinesinin açılması ile kademe değişikliği olarak iki kademe yapılmıştır.

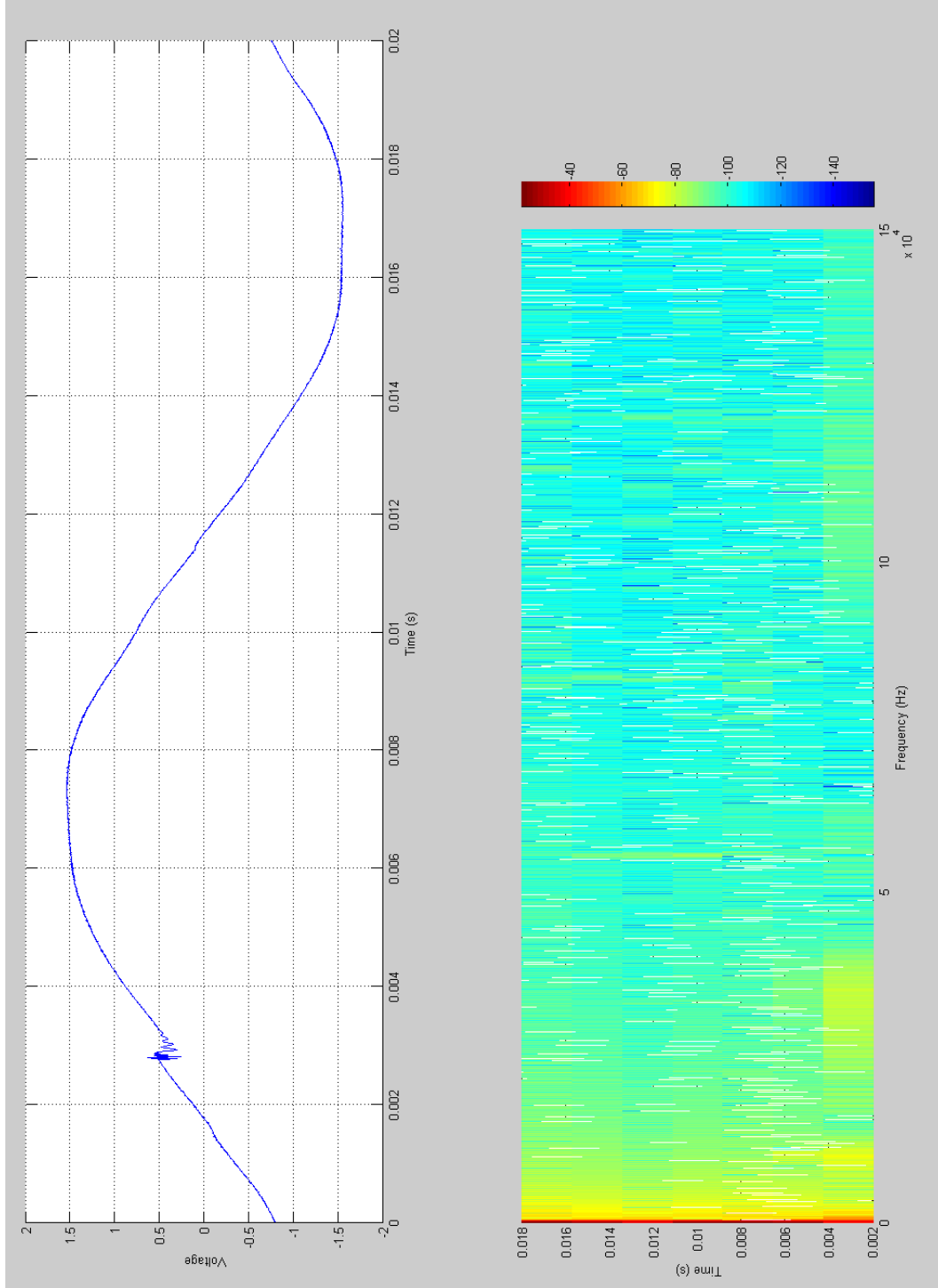
#### 5.3.1 Saç kurutma makinesinin açıldığı andaki gürültü analizi

Şekil 5.7’de, saç kurutma makinesinin açıldığı ana denk gelen periyoddan bir önceki periyod gösterilmiştir. Önceki cihazlarda olduğu gibi, sadece şebekede bulunan beyaz gürültü görülmektedir ve iki veri arasında kıyaslama yapılması açısından ele alınmıştır.

Şekil 5.8’de ise, saç kurutma makinesinin açıldığı andaki impuls gürültüsünün sepektrumu gösterilmektedir. Gürültü 2 ms ile 4 ms arasında oluşmuştur ve spektrumda da bu görülmektedir. Gürültünün etkisi tüm spektruma yayılmakla birlikte, 40 kHz civarında azalmaktadır. İletişim söz konusu olduğunda bu durum dikate alınmalı ve tasarım bu şekilde yapılmalıdır.



**Şekil 5.8:** Saç Kurutma Makinesi Devreye Alınmadan Önceki Periyodun Frekans Spektrumu

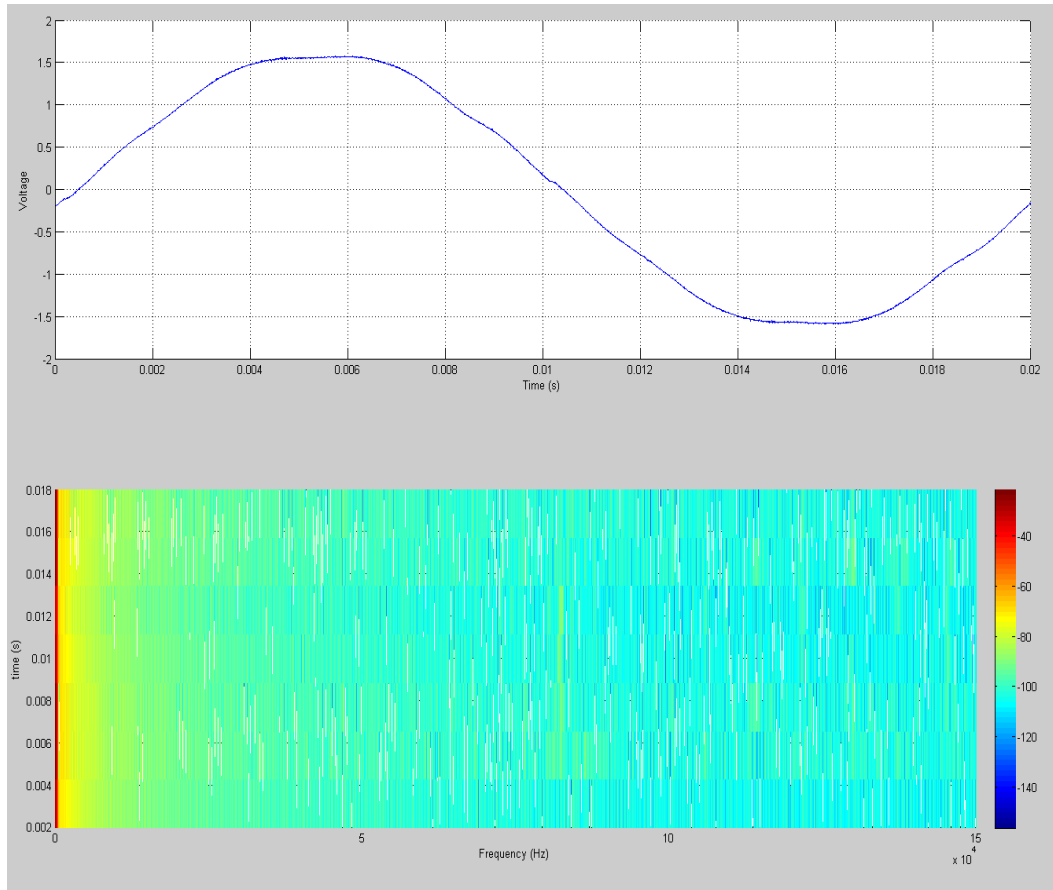


**Şekil 5.9: Saç Kurutma Makinesi Devreye Alındığı Andaki Frekans Spektrumu**

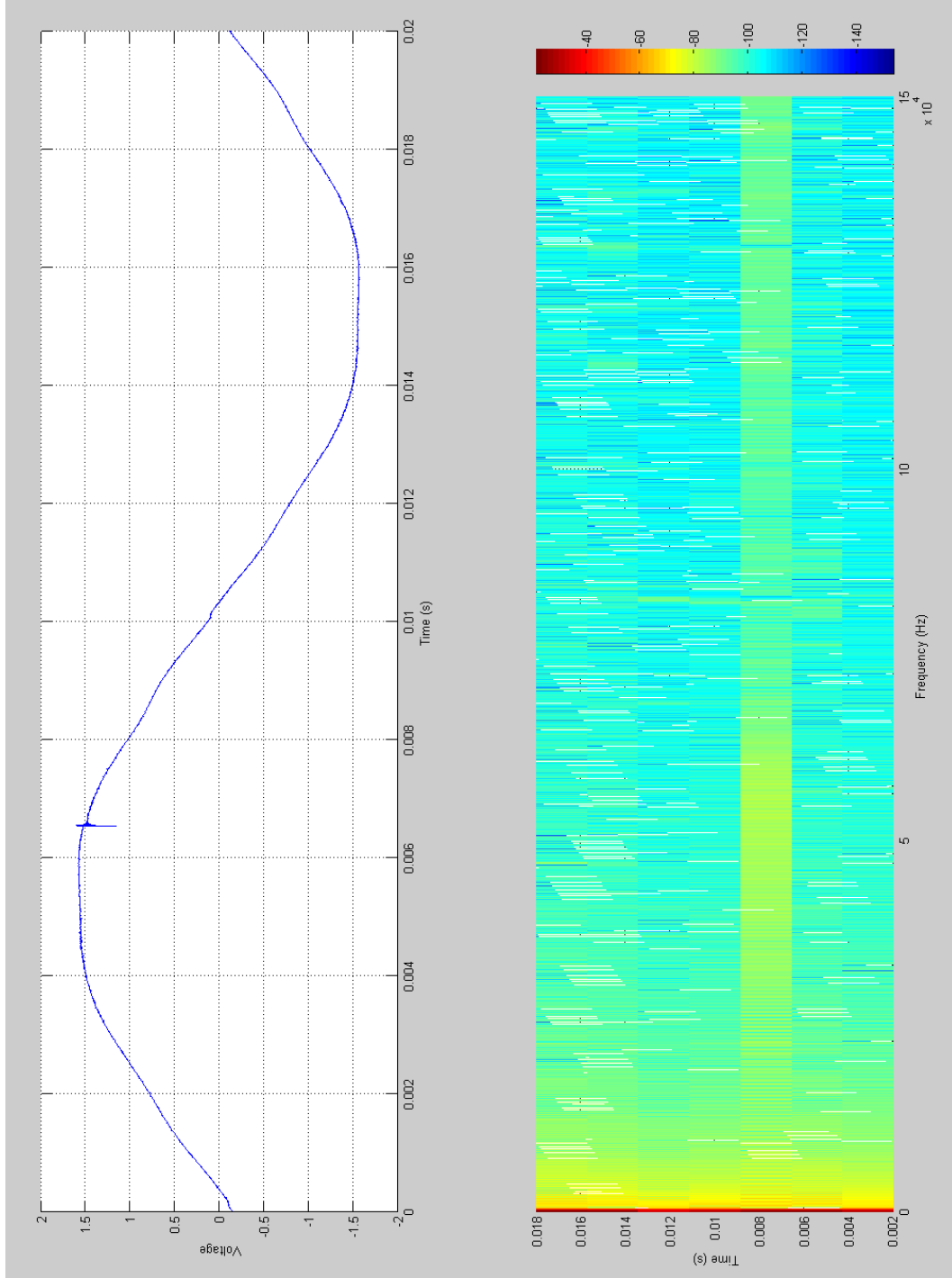
### 5.3.2 Saç kurutma makinesinin kademe değişikliğinde oluşturduğu gürültünün analizi

Şekil 5.9’da, saç kurutma makinesinin kademe değişikliğinde analizörden elde edilen akım ve gerilimin zamanla değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.10’da ise, gürültünün oluştuğu periyottan önceki periyot incelenmiştir. Görüldüğü gibi, şebekede her an görülen beyaz gürültü bulunmaktadır. Şekil 5.11’de ise, kademe değişikliğinin yapıldığı andaki gürültünün spektrumu ele alınmıştır. Kademe değişikliğinden dolayı meydana gelen impuls gürültüsü, 6 ms ile 8 ms arasında görülmektedir. Spektrumdaki etkisi incelendiğinde, oluşan bu gürültünün etkisini 60 kHz seviyesinde yitirdiği görülmektedir. Yine bu impuls gürültüsünün etkisi, bütün spektruma yayılmıştır.



**Şekil 5.10:** Saç Kurutma Makinesi Kademe Değişikliği Öncesi Periyodun Frekans Spektrumu



**Şekil 5.11** Saç Kurutma Makinesinin Kademe Değişikliğinde Oluşturduğu İmpuls Gürültüsünün Frekans Spektrumu

## **6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Güç hattı, dağılımı dünya üzerinde en yaygın olan dağıtım şebekesine sahiptir. Gelişen teknoloji ile birlikte iletişimin ve güvenlik ihtiyacının artmasından dolayı, özellikle veri iletişimi ve akıllı binalarda kullanılması açısından, yaygın bir altyapı olması dolayısıyla, güç hatları şebekesinin kullanımı, gelecekte daha büyük bir önem kazanacaktır. Burada güç hattının esas olarak iletişim amacıyla tasarlanmamasının bir dezavantaj olduğu düşünülmektedir. Dezavantajı ortadan kaldırmak ve güç hattı üzerinden oluşturulan iletişim sisteminin gerçekleştirilmesi için, gürültü tanımı iyi yapılmalı ve iletişim kanalı buna göre belirlenmelidir.

### **6.1 Gürültü Ölçümleri Neden Yapılır ve Bu Veriler Nasıl Kullanılır?**

Gürültü ölçümleri, çalışmada kullanılan Wavebook gibi bir şebeke analizörü ile evde kullanılan değişik cihazların açılma/kapanma ve çalışma anlarında gözlemler yapılarak tamamlanır. Bu açıp/kapamalar ve cihazların sürekli çalışmaları, evlerde yoğunlukla gerçekleşmektedir. Ayrıca belli bir doğrusal yapıya sahip olmadıklarından, iletişim kanalının yapısı kararsızdır.

Alınan gürültü ölçümleri, FFT yardımıyla frekans düşümlerinin hesaplanması sonucu frekans aralıklarını belirlemede ve filtrelerin tasarlanmasında kullanılır. Ayrıca şebekenin kararsız yapısına uygun iletişim cihazlarının tasarlanmasında da bu veriler kullanılır.



## KAYNAKLAR

- [1] **Anatory, J; Kissaka, M.M.; Mvungi, N.H.**, 2005. Broadband Services Provision in Powerline Communications of Developing Countries, *ISPLC 2005. IEEE International Symposium on Power Line Communications*, Vancouver, Canada, April 6-8.
- [2] **Anatory, J; Kissaka, M.M.; Mvungi, N.H.**, 2004. Trends in Telecommunications Services Provision : Powerline Network can provide alternative for Access in Developing Countries, *2004. 7th AFRICON Conference in Africa*, Bostwana, September 17.
- [3] **Cortes, J.A.; Diez, L.; Canete, F. J.; Lopez, J.**, 2009. Analysis of the Periodic Impulse Noise Asynconos with the Mains in Indoor PLC Channels, , *ISPLC 2009. IEEE International Symposium on Power Line Communications*, Dresden, Germany, March 29-April 1.
- [4] **Cortes, J.A.; Diez, L.; Canete, F. J.; F. J.; Entrambasaguas, J.T.**, April 2003. Modeling and Evaluation of the Indoor Power Line Transmission Medium, *IEEE Communications Magazine*, Volume **41**, p 41-47.
- [5] **Dostert, K.**, *Powerline Communications*, 2001, Prentice Hall, USA.
- [6] **Gebhart, M., Weinmann, F., Dostert, K.**, May 2003. Physical and Regulatory Constraints for Communication over the Power Supply Grid, *IEEE Communications Magazine*, Volume **41**, Issue 5, p 84-90.
- [7] **Hrasnica, H.; Haidine, A.; Lehnert, R.**, 2004. *Broadband Powerline Communications: Network Design*, p 14-15, 70-71, John Wiley and Sons, Ltd, West Sussex.
- [8] **Kayran, A.H.**, *Sayısal İşaret İşleme*, 1990. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası , İstanbul.
- [9] **Kim, C.J.; Chouikna, M.F.**, 2002. Attenuation Characteristics of High Rate Home-Networking PLC Signals, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Volume **17**, p 945-950.
- [10] **Liu, W.; Widmer, H.; Raffin, P.**; April 2003. Broadband PLC Access Systems and Field Deployment in European Power Line Networks, *IEEE Communications Magazine*, Volume **41**, p 114-118.
- [11] **Meng, H.; Guan, Y.L.; Chen, S.**; 2005. Modeling and Analysis of Noise Effects on Broadband Power-Line Communications, *ISPLC 2005 IEEE International Syposium on Power Line Communications*, Vancouver, Canada, April 6-8.
- [12] **Stein, Jonathan.**, *Digital Signal Processing*, 2000. Wiley Interscience, Canada.

- [13] **Tang, L.T; So, P.L.; Gunawan, E; Guan, Y.L.; Chen, S; Lie, T.T.,** 2003. Characterization and Modeling of In-Building Power Lines for High Speed Data Transmission, *ISPLC 2003. IEEE International Symposium on Power Line Communications*, Kyoto, Japan, March 26-28.
- [14] **Tlich, M.; Chaouche, H.; Zeddami, A.; Pagani, P.,** 2009. Novel Approach for PLC Impulsive Noise Modeling, *ISPLC 2009. IEEE International Symposium on Power Line Communications*, Dresden, Germany, March 29-April 1.
- [15] **Tlich, M.; Chaouche, H.; Zeddami, A.; Gauthier, F.,** 2009. Impulsive Noise Characterization at Source, *1st IFIP Wireless Days*, Dubai, November 24-27.
- [16] **Vines, R.M.; Trussell, J.H.; Gale, L.J.; O'neal, J.B.,** 1984. Noise on Residential Power Distribution Circuits, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Volume **EMC-26**, Issue 4, November 1984, p 161-168.
- [17] **Zimmermann, M.; Dostert, K.,** 2000. An Analysis of the Broadband Noise Scenario in Powerline Network, *ISPLC 2000 IEEE International Symposium on Power Line Communications*, Limerick, Ireland, April 5-7.
- [18] **Zimmermann, M.; Dostert, K.,** 2002. Analysis and Modelling of Impulsive Noise in Broad-Band Powerline Communications, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Volume **44**, p 249-258.

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Zeynep Tülin Özney

**Doğum Yeri ve Tarihi:** İstanbul, 27/5/1976

**Adres:** Halil Rıfat Paşa Mah. Dereboyu Sok. No : 20 Okmeydanı İstanbul

**Lisans Üniversitesi:** Yıldız Teknik Üniversitesi