

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ENERJİ HATTI HABERLEŞME SİSTEMİNDE  
EMPEDANS VE ZAYIFLATMANIN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elek-Elkn. Müh. Engin KARADENİZ**

**TEMMUZ 2006  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ENERJİ HATTI HABERLEŞME SİSTEMİNDE  
EMPEDANS ve ZAYIFLATMANIN BELİRLENMESİ**

**Elek-Elkn. Müh. Engin KARADENİZ**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"Elektrik-Elektronik Yüksek Mühendisi"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23.06.2006  
Tezin Savunma Tarihi : 14.07.2006**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. İ. Hakkı ÇAVDAR  
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Haydar KAYA  
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Cemal KÖSE**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT**

**Trabzon 2006**

## ÖNSÖZ

Enerji hattı üzerinden sayısal haberleşme son yıllarda gittikçe önem kazanmaktadır. Birçok avantaj sunmasının yanında, gerçekleştirilmede de halen çözülmesi gereken sorunlar mevcuttur. 1838 yılında ortaya çıkmış, fakat teknolojik yetersizlikler nedeniyle 1990'lı yıllara kadar yavaş bir gelişim süreci izlemiştir. 1990'lı yıllarda yarıiletken teknolojisindeki gelişmeler ve yeni modülasyon tekniklerinin bulunması ile hızlı bir gelişim sürecine girmiştir. Bu çalışmada, enerji hattı empedansının ve zayıflamanın Faz-Nötr, Faz-Toprak ve Nötr-Toprak üzerinde ölçümleri yapılarak, enerji hattı iletişim kanalı sistem tasarımcılarına Türkiye'deki enerji hatları durumu hakkında gerekli yeni veriler sunulmaktadır.

Çalışmalarım boyunca bana değerli zamanını ayıran ve verdiği fikirler ile beni yönlendiren değerli hocam Sn. Doç. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR'a, çalışmalarım da desteğini esirgemeyen Yük. Elk. Elkn. Müh. Tuncay DEĞERMENCİ'ye, Elk. Elkn. Müh. Serkan EROĞLU'ya, Elk. Elkn. Müh. Turgay DEĞERMENCİ'ye ve kardeşim Funda KARADENİZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunar, ayrıca maddi ve manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Engin KARADENİZ  
Trabzon, 2006

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekeleri .....	2
1.2.1. Alçak Gerilim Şebekeleri.....	2
1.2.2. Orta Gerilim Şebekeleri.....	3
1.2.3. Yüksek Gerilim Şebekeleri.....	3
1.2.4. Çok Yüksek Gerilim Şebekeleri.....	4
1.3. Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Yerel Ağ Modeli.....	4
1.3.1. Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekeleri Farklılıkları.....	4
1.4. Haberleşme Kanalları.....	5
1.5. Gürültü.....	6
1.5.1. Şebeke Frekansı ile Eşzamanlı Gürültüler.....	7
1.5.2. Düzgün Tayflı Gürültüler.....	7
1.5.3. Tek Darbeli Gürültüler.....	8
1.5.4. Şebeke Frekansı ile Eşzamanlı Olmayan Periyodik Gürültüler.....	8
1.6. Harmonikler.....	8
1.6.1. Harmonik Tanımı.....	10
1.6.2. Harmoniklerin Kaynakları Ve Etkileri.....	10
1.6.2.1. Nonlinear Elemanlar.....	11
1.6.3. Harmoniklerin Sisteme Etkileri.....	11
1.6.4. Harmoniklerin Sebep Olduğu Rezonans Olayları.....	12
1.6.5. Harmoniklerin İletim Hatları Üzerine Etkisi.....	13

1.6.6.	Harmonik Standartları.....	13
1.7.	Enerji Hatlarında Veri İletiminin Tarihsel Gelişimi.....	15
1.8.	Gerçekleştirilmiş Pratik Uygulamalar.....	16
1.9.	RCS ve CTS Metotları.....	16
1.10.	PLC Sisteminde Mikro İşlemci Uygulamaları Gelişimi.....	17
1.11.	Şebeke Empedansı.....	18
1.11.1.	Enerji Hatlarının Eşdeğer Devresi.....	27
1.11.2.	Enerji Hattı Karakteristiklerinin Test Edilmesi.....	28
1.12.	Elektrik Devre Empedansları ve Kısa Devre Güçleri.....	28
1.12.1.	Şebeke.....	28
1.12.1.1.	Enerji Nakil Hatları.....	29
1.12.1.2.	Kablo Hatları.....	29
1.13.	Sinyal Zayıflaması.....	30
1.14.	İşaret Gürültü Oranı.....	31
1.15.	Kanala Sinyal Kuplajı.....	31
1.16.	Enerji Hattı Haberleşmesinde Kullanılan Modülasyon Teknikleri.....	32
1.16.1.	Enerji Hattı Haberleşmesi Teknolojileri.....	33
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA.....	34
2.1.	Giriş.....	34
2.2.	Enerji Hattı Data İletim Standartları.....	34
2.3.	Enerji Hattı Haberleşme Sisteminin Modellenmesi.....	35
2.3.1.	Enerji Hattı Haberleşmesi Kanal Modeli.....	36
2.4.	Bağlantı / İzolasyon Devresi.....	38
2.4.1.	Enerji Hattı Arabirimi.....	38
2.4.2.	Hat Arabirimi.....	38
2.4.3.	707VX – T1002N Trafosu.....	39
2.5.	Empedans Analizi.....	40
2.5.1.	Giriş Empedansı.....	40
2.5.2.	Kentsel Bölgede Empedans Analizi.....	45
2.5.3.	Sanayi Bölgesi Empedans Analizi.....	55
2.5.4.	Kırsal Bölge Empedans Analizi.....	65

2.5.5.	Enerji Hattı Empedansı Özel Ölçümleri.....	73
2.6.	Zayıflama Analizi.....	88
2.6.1.	Sinyal Zayıflaması.....	88
2.6.2.	Kentsel Bölgede Sinyal Zayıflaması.....	92
2.6.3.	Sanayi Ortamında Sinyal Zayıflaması.....	97
2.6.4.	Kırsal Bölgede Sinyal Zayıflaması.....	97
2.6.5.	Enerji Hattı Sinyal Zayıflaması Özel Ölçümleri.....	99
3.	SONUÇLAR.....	109
4.	ÖNERİLER.....	110
5.	KAYNAKLAR.....	111
	ÖZGEÇMİŞ	

## ÖZET

Veri haberleşmesi için ihtiyaçların artmasıyla, enerji hattı haberleşmesi ilginç alternatif bir metot olmuştur. Bu çalışma da 10-170 kHz arasındaki taşıyıcı frekansları için, enerji hattı haberleşmelerinin empedans karakteristiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu frekanslar, CENELEC A, B, C, D standardı olarak kabul edilmiştir. Aynı zamanda hat üzerinde değişik durumlar için sinyal zayıflatma değerleri de deneysel olarak belirlenmiştir.

Ölçümler şehirsal evler, kırsal evler ve endüstriyel alanlar gibi değişik ortamlarda yapılmıştır. Türkiye'de enerji hattı haberleşme sistemi için bazı deneysel modeller geliştirilmiştir. Ölçüm sonuçları grafik ve tablolar biçiminde verilmiştir. Bu modeller empedans ve frekans parametrelerine sahiptir. Ayrıca değişik durumlar için hat modelleri geliştirilerek, enerji hattı haberleşmesi simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen deneysel verilere dayalı; hat empedanslarına uygun yaklaşımlar yapılarak deneysel model denklemleri geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Hattı Empedans ölçümü, Enerji Hattında ki Sinyal zayıflaması, Enerji Hattı Haberleşmesi, Hat Empedansı, Deneysel Modelleme.

## SUMMARY

### **Determining of Empedance and Attenuation on Power Line Communication System**

With the ever increasing demand for data communication methods, power line communication has become an interesting alternative method for data communication. The purpose of this study is to summarize measurements which characterize the empedance of the powerline communication systems in the carrier frequency region from 10 to 170 kHz. These frequencies were determined the standart of CENELEC A, B, C, D. On the other hand, the signal attnuating values have been experimantally determined for different conditions on power line.

Measurements have been made in the different environments such as urban homes, rural homes and industrial areas. Some emprical models have been developed for power line communication system in Turkey. The result of these measurements have been presented in tables and graphics forms. These models have the parameters of empedance and frequency. In addition, with developing line models for different situation , power line communication have been simulated. with getting the experimantal values, the equations have been developed with making approach with appropriate to power line empedance.

**Keywords:** Measurement of Power Line Empedance, Signal Attenuation on Power Line, Power Line Communication, Line Empedance, Emprical Modeling.



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. 60 Hz güç devresiyle çalışan ışık reostası ile üç üniversal motorun gerilim tayflarının karşılaştırılması.....	7
Şekil 2. Yarı periyotta harmonik bileşenler.....	9
Şekil 3. Nonlineer yükler ile harmonik akım kaynakları.....	10
Şekil 4. Geniş Batlı Sistem.....	15
Şekil 5. Toplam Avrupa şebeke empedansı.....	20
Şekil 6. Batı Almanya şebeke empedansı.....	21
Şekil 7. Hollanda şebeke empedansı.....	21
Şekil 8. U.S. ve Avrupa şebeke empedanslarının karşılaştırılması.....	22
Şekil 9. Şebeke giriş direnci ölçüm devresi.....	23
Şekil 10. Empedansın frekansla değişimi.....	24
Şekil 11. Nicholson ve Malak tarafından yapılan Enerji Hattı Empedans Ölçümleri.....	25
Şekil 12. Downey ve Sutterlin Enerji Hattı Modeli.....	27
Şekil 13. Zayıflamanın frekansla değişimi.....	31
Şekil 14. CENELEC standartlarına göre bant genişlikleri.....	35
Şekil 15. Enerji hatları için dijital haberleşme sistemi.....	36
Şekil 16. Enerji hattı kanalında görülen bozucu etkiler.....	37
Şekil 17. Enerji Hattı Arabirimi Blok Şeması.....	38
Şekil 18. 707VX – T1002N trafosu bağlantı şekli.....	39
Şekil 19. 707VX – T1002N Trafosu'nun transfer fonksiyonu.....	39
Şekil 20. Tek fazlı alçak gerilim kablosu.....	40
Şekil 21. Hat modeli.....	41
Şekil 22. Sistem modeli.....	42
Şekil 23. Empedans ölçüm devresi.....	44
Şekil 24. 10 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	45
Şekil 25. 20 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	45
Şekil 26. 30 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	46
Şekil 27. 40 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	46
Şekil 28. 50 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	46

Şekil 29.	60 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	47
Şekil 30.	70 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	47
Şekil 31.	80 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	47
Şekil 32.	90 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	48
Şekil 33.	100 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	48
Şekil 34.	110 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	48
Şekil 35.	120 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	49
Şekil 36.	130 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	49
Şekil 37.	140 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	49
Şekil 38.	150 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	50
Şekil 39.	160 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	50
Şekil 40.	170 kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi .....	50
Şekil 41.	08:00-11:30 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi.....	51
Şekil 42.	12:00-15:30 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi.....	51
Şekil 43.	16:00-19:30 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi.....	52
Şekil 44.	20:00-23:30 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi.....	52
Şekil 45.	Kentsel bölgede empedansın frekansa göre ortalama değişimi .....	53
Şekil 46.	10 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	55
Şekil 47.	20 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	56
Şekil 48.	30 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	56
Şekil 49.	40 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	56
Şekil 50.	50 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	57
Şekil 51.	60 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	57
Şekil 52.	70 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	57
Şekil 53.	80 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	58
Şekil 54.	90 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	58
Şekil 55.	100 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	58
Şekil 56.	110 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	59
Şekil 57.	120 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	59
Şekil 58.	130 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	59
Şekil 59.	140 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	60

Şekil 60.	150 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	60
Şekil 61.	160 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	60
Şekil 62.	170 kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.....	61
Şekil 63.	09:00-10:30 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi.....	61
Şekil 64.	10:45-12:15 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi.....	62
Şekil 65.	12:30-14:00 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi.....	62
Şekil 66.	14:15-15:45 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi .....	63
Şekil 67.	16:00-17:30 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi.....	63
Şekil 68.	Sanayi ortamında empedansın frekansa bağlı olarak ortalama değişimi.....	64
Şekil 69.	10 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	65
Şekil 70.	20 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	66
Şekil 71.	30 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	66
Şekil 72.	40 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	66
Şekil 73.	50 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	67
Şekil 74.	60 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	67
Şekil 75.	70 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	67
Şekil 76.	80 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	68
Şekil 77.	90 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	68
Şekil 78.	100 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	68
Şekil 79.	110 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	69
Şekil 80.	120 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	69
Şekil 81.	130 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	69
Şekil 82.	140 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	70
Şekil 83.	150 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	70
Şekil 84.	160 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	70
Şekil 85.	170 kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi.....	71
Şekil 86.	Kırsal bölgede empedansın frekansa bağlı olarak ortalama değişimi.....	71
Şekil 87.	Televizyonun enerji hattında olmaması durumu.....	73
Şekil 88.	Hattın omik yükü temsil edilmesi.....	73
Şekil 89.	Empedansın, ölçme devresinde omik yük durumu için, frekansla değişimi.....	74
Şekil 90.	Kazancın, ölçme devresinde omik yük durumu için, frekansla değişimi.....	74

Şekil 91.	Hattın kapasitif yükle temsil edilmesi.....	75
Şekil 92.	Empedansın, ölçme devresinde kapasitif yük durumu için, frekansla değişimi.....	75
Şekil 93.	Kazancın, ölçme devresinde kapasitif yük durumu için, frekansla değişimi....	76
Şekil 94.	Hattın endüktif yükle temsil edilmesi.....	76
Şekil 95.	Empedansın, ölçme devresinde endüktif yük durumu için, frekansla değişimi.....	77
Şekil 96.	Hattın seri R-C devresi ile temsil edilmesi.....	77
Şekil 97.	Hattın paralel R-C devresi ile temsil edilmesi.....	77
Şekil 98.	Ölçme devresinde seri 1nF -R yük durumu.....	78
Şekil 99.	Ölçme devresinde seri 10nF -R yük durumu.....	78
Şekil 100.	Ölçme devresinde seri 33nF -R yük durumu.....	79
Şekil 101.	Ölçme devresinde seri 100nF -R yük durumu.....	79
Şekil 102.	Ölçme devresinde seri 10 $\Omega$ -C yük durumu.....	80
Şekil 103.	Ölçme devresinde seri 47 $\Omega$ -C yük durumu.....	80
Şekil 104.	Ölçme devresinde paralel 1 $\Omega$ -C yük durumu.....	81
Şekil 105.	Ölçme devresinde paralel 1nF -R yük durumu.....	81
Şekil 106.	Ölçme devresinde paralel 3,3nF -R yük durumu.....	82
Şekil 107.	Ölçme devresinde paralel 10nF -R yük durumu.....	82
Şekil 108.	Ölçme devresinde paralel 33nF -R yük durumu.....	83
Şekil 109.	Hattın seri C-L devresi ile temsil edilmesi.....	83
Şekil 110.	Hattın paralel C-L devresi ile temsil edilmesi.....	83
Şekil 111.	Ölçme devresinde seri C-470 $\mu$ H yük durumu.....	84
Şekil 112.	Ölçme devresinde paralel C-470 $\mu$ H yük durumu.....	84
Şekil 113.	Hattın seri R-L devresi ile temsil edilmesi.....	85
Şekil 114.	Hattın paralel R-L devresi ile temsil edilmesi.....	85
Şekil 115.	Ölçme devresinde seri R-470 $\mu$ H yük durumu.....	85
Şekil 116.	Ölçme devresinde paralel R-470 $\mu$ H yük durumu.....	86
Şekil 117.	Hattın seri R-L-C devresi ile temsil edilmesi.....	86
Şekil 118.	Hattın paralel R-L-C devresi ile temsil edilmesi.....	86
Şekil 119.	Ölçme devresinde seri R-L-C yük durumu.....	87
Şekil 120.	Ölçme devresinde paralel R-L-C yük durumu.....	87

Şekil 121.	Basitleştirilmiş yapı.....	89
Şekil 122.	Zayıflama ölçüm devresi.....	92
Şekil 123.	Priz 1'deki zayıflama ölçümleri .....	93
Şekil 124.	Priz 2'deki zayıflama ölçümleri .....	93
Şekil 125.	Priz 3'deki zayıflama ölçümleri .....	94
Şekil 126.	Priz 4'deki zayıflama ölçümleri .....	94
Şekil 127.	Priz 5'deki zayıflama ölçümleri .....	95
Şekil 128.	Priz 6'deki zayıflama ölçümleri .....	95
Şekil 129.	Priz 7'deki zayıflama ölçümleri .....	96
Şekil 130.	Priz 8'deki zayıflama ölçümleri .....	96
Şekil 131.	Sanayi ortamında sinyal zayıflaması.....	97
Şekil 132.	Priz 1'deki zayıflama ölçümleri.....	98
Şekil 133.	Priz 2'deki zayıflama ölçümleri.....	98
Şekil 134.	Kanalın seri R devresi ile temsil edilmesi.....	99
Şekil 135.	Kanalın paralel R devresi ile temsil edilmesi.....	99
Şekil 136.	Kanalın seri bir dirençle modellenmesi durumu.....	99
Şekil 137.	Kanalın paralel bir dirençle modellenmesi durumu.....	100
Şekil 138.	Kanalın seri C devresi ile temsil edilmesi.....	100
Şekil 139.	Kanalın paralel C devresi ile temsil edilmesi.....	100
Şekil 140.	Kanalın seri bir kondansatörle modellenmesi durumu.....	101
Şekil 141.	Kanalın paralel bir kondansatörle modellenmesi durumu.....	101
Şekil 142.	Kanalın seri L devresi ile temsil edilmesi.....	102
Şekil 143.	Kanalın paralel L devresi ile temsil edilmesi.....	102
Şekil 144.	Kanalın 470 $\mu$ H nin seri ve paralel bağlanmasıyla modellenmesi.....	102
Şekil 145.	Kanalın seri R-C devresi ile temsil edilmesi.....	103
Şekil 146.	Kanalın paralel R-C devresi ile temsil edilmesi.....	103
Şekil 147.	Kanalın seri bir R-10nF devresiyle modellenmesi durumu.....	103
Şekil 148.	Kanalın paralel bir R-10nF devresiyle modellenmesi durumu.....	104
Şekil 149.	Kanalın seri bir R-22nF devresiyle modellenmesi durumu.....	104
Şekil 150.	Kanalın paralel bir R-22nF devresiyle modellenmesi durumu.....	105
Şekil 151.	Kanalın seri bir R-47nF devresiyle modellenmesi durumu.....	105

Şekil 152.	Kanalın paralel bir R-47nF devresiyle modellenmesi durumu.....	106
Şekil 153.	Kanalın seri bir R-100nF devresiyle modellenmesi durumu.....	106
Şekil 154.	Kanalın paralel bir R-100nF devresiyle modellenmesi durumu.....	107
Şekil 155.	Kanalın seri R-C devresi ile temsil edilmesi.....	107
Şekil 156.	Kanalın, R seri C paralel bağlanmasıyla modellenmesi.....	108

**TABLolar DİZİNİ**

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. ABD, Avrupa ve Japonya dağıtım sistemi özellikleri.....	5
Tablo 2. Dağıtım sistemleri için akım bozulma sınırları.....	14
Tablo 3. Limit harmonik akım değerleri(IEC-555).....	14
Tablo 4. Altı ticari ülkede yapılan ölçümlerin dağılımı.....	18
Tablo 5. Toplam Avrupa şebeke empedansının deneysel ölçümleri.....	18
Tablo 6. Toplam Avrupa ülkelerinin kompleks şebeke empedansı.....	19
Tablo 7. Günlük evdeki cihazların çalışma durumu.....	54
Tablo 8. Kentsel Bölge Empedans ölçüm değerleri.....	54
Tablo 9. Sanayi bölgesi empedans ölçüm değerleri.....	64
Tablo 10. Kırsal bölge empedans ölçüm değerleri.....	72
Tablo 11. Kentsel bölgede prizlerin ölçüm noktasına olan uzaklığı.....	92
Tablo 12. Kırsal bölgede prizlerin ölçüm noktasına olan uzaklığı.....	97

## SEMBOLLER DİZİNİ

A	:Amper
AC	:Alternatif Akım
AG	:Alçak Gerilim
AGH	:Alçak Gerilim Hattı
$a_h$	:Ara Değişken
AM	:Genlik Modülasyonu
AMR	:Otomatik Sayaç Okuma
ATO	:Analog verici çıkışı
$a_z$	:Ara değişken
BEP	:Bit Hata Olasılığı
$b_h$	:Ara Değişken
bps	:Saniye başına bit sayısı
$b_z$	:Ara değişken
C	:Hat Kapasitesi
c	:Işık Hızı
$c_h$	:Ara Değişken
$C_{km}$	:km Başına Hat Kapasitesi
CTS	:Taşıyıcı Frekansı İletimi
ÇYG	:Çok Yüksek Gerilim
D	:Sinyal Zayıflaması
d	:Hat Boyu
dB	:Decibel
DC	:Doğru Akım
D(f)	:Sinyal Zayıflatması
$d_h$	:Ara Değişken
dI	:Akımdaki Değişim
dp	:Denklem parçası
dp <sub>1</sub>	:1 numaralı denklem parçası
dp <sub>2</sub>	:2 numaralı denklem parçası
DS-SS	:Yeni Modülasyon Tekniği



dz	:Birim Uzunluktaki Hücrenin Sonsuz Küçük Uzunluğu
$e_h$	:Ara Değişken
ENH	:Enerji Nakil Hattı
F	:Farad
f	:Frekans
$f_h$	:Ara Değişken
FHSS	:Frekans Sıçrama Yayılma Spektrumu
$f_s$	:Verici Çalışma Frekansı
$f_s$	:Seri Rezonans Frekansı
FSK	:Frekans Kaydırmalı Modülasyon
$f_1$	:Temel Frekans
G	:Kondüktans
H	:Henry
H	:Transfer Fonksiyonu
h	:Harmonik Derecesi
$h(t)$	:Darbe Cevabı
Hz	:Hertz
I	:Ana Kol Akımı
$I_C$	:Kondansatör üzerinden akan akım
$I_K$	:Devreden Akan Akım
$I_{KD}$	:Kısa Devre Akımı
$I_{K3}$	:3-Fazlı Simetrik Sürekli Kısa Devre Akımı
$I_{K3max}$	:3- Fazlı Maksimum Simetrik Kısa Devre Akımı
$I_{K3min}$	:3- Fazlı Minimum Simetrik Kısa Devre Akımı
$I_L$	:Alıcı Giriş akımı
IPL	:Güç Hattı Üzerinden İnternet Erişimi
$I_{S3max}$	:Darbe kısa devre akımı
$I_1$	:Temel Bileşen Akımı
k	:Kilo
KAB	:Kablo Hattı
kbps	:Saniyedeki Kilo Bit Sayısı
kHz	:Kilo Hertz
km	:Kilo Metre

kV	:Kilo Volt
k	:Kilo Ohm
L	:Hat Endüktansı
L	:İletken Boyu
$L_{ENH}$	:ENH'nın uzunluğu
$L_{KAB}$	: KAB'nın uzunluğu
$L_{km}$	:km Başına Hat Endüktansı
M	:Mega
m	:Metre
m	:Mili
mm	:Mili Metre
MA	:Abone
Mbps	:Saniyedeki Mega Bit Sayısı
MHz	:Mega Hertz
MVA	:Mega Volt Amper
m	:Mili Ohm
n	:Tam Sayı
n	:Nano
nF	:Nano Farad
$n(t)$	:Toplamsal Gürültü
OFDM	:Dikey Frekans Bölmeli Çoğullama
OG	:Orta Gerilim
OG/AG	:Orta Gerilim/Alçak Gerilim Trafosu
OG/OG	:Orta Gerilim/Orta Gerilim Trafosu
OOK	:Aç-Kapa Anahtarlama
PABC	:Güç yükselteci akım kontrollü terslenmiş çıkış
PLC	:Güç Hattı Haberleşmesi
PSK	: Faz Kaydırmalı Modülasyon
R	:Hat Direnci
RCS	:Dalgalı Taşıyıcı Sinyali
$r_{ENH}$	:ENH'nın birim omik direnci
RF	:Radyo Frekansı
$R_{FE}$	:Demir Kaybı

$r_{KAB}$	:KAB'nın birim omik direnci
$R_{km}$	:km Başına Hat Direnci
Rx/Tx	:Rx veya Tx mod seçme girişi
$r(t)$	:Alıcı Sinyali
$S_c$	:Kondansatör Gücü
SCADA	:Denetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi
SCR	:Silikon Kontrollü Doğrultucu
$S''_{ENH}$	:ENH Kısa Devre Gücü
$S''_{ENHS}$	:ENH'na Ait Sekonder Gerilim Cinsinden Kısa Devre Gücü
$S''_K$	:Şebeke Kısa Devre Gücü
$S''_{KAB}$	:KAB Kısa Devre Gücü
$S''_{KABP}$	:Primer Gerilim Cinsinden KAB'na Ait Kısa Devre Gücü
$S''_{KABS}$	:Sekonder Gerilim Cinsinden KAB'na Ait Kısa Devre Gücü
SL	:Omik Yük
SMPS	:Switched Mode Power Supplies
SNR	:İşaret Gürültü Oranı
$s_p$	:En Büyük Sinyal Genliği
$S_t$	:Transformatör Gücü
$s(t)$	:Verici Çıkış Sinyali
THD	:Toplam Harmonik Distorsiyonu
TSE	:Türk Standartlar Enstitüsü
$U_N$	:Hattın Nominal gerilimi
$U_{NP}$	:Şebeke Tarafından Görülen Gerilim Değeri
V	:Volt
VDE	:Alman Standartlar Enstitüsü
$V_G$	:Kaynak Gerilimi
$V_L$	:Alıcı Giriş Gerilimi
$v_p$	:Dalga'nın Faz Hızı
$V_s$	:Kaynak Gerilimi
W	:Watt
$X_C$	:Kapasitif Reaktans
$x_{ENH}$	:ENH'nın birim reaktansı
$x_{KAB}$	:KAB'nın birim reaktansı

$X_L$	:Endüktif Reaktans
X-10	:Güç Hattı Veri Transfer Modulu
YG	:Yüksek Gerilim
YG/OG	:Yüksek Gerilim /Orta Gerilim Trafosu
Z	:Giriş Empedansı
$Z_{ENH}$	:ENH Empedansı
$Z_{ENHP}$	:ENH empedansının transformator Primer gerilimdeki değeri
$Z_{ENHS}$	:ENH empedansının transformator Sekonder gerilimdeki değeri
$Z_G$	:Kaynak Empedansı
$Z_i$	:Giriş Direnci
$Z_{KAB}$	:KAB Empedansı
$Z_L$	:Alıcı Giriş Empedansı
$Z_L$	:Yük Empedansı
$Z_{Lx}$	:Alıcı giriş empedansının reel bileşeni
$Z_{Ly}$	:Alıcı giriş empedansının sanal bileşeni
$Z_N$	: Şebeke Kısa Devre Empedansı
$Z_t$	:Çıkış Direnci
$Z_t$	:Transformatör Per- unit Empedansı
$Z_T$	:Verici Çıkış Empedansı
$z(t)$	:Zayıflatılmış Verici Sinyali
$Z_x$	:Giriş empedansının reel bileşeni
$Z_y$	:Giriş empedansının sanal bileşeni
$Z_0$	:Karakteristik Empedans
$\alpha$	:Rezistif Kayıplar Nedeniyle İşaretin Zayıflaması
$\alpha_H$	:Transfer fonksiyonunun fazı
$\alpha_z$	:Giriş empedansının fazı
$\beta$	:Dalga Yayılma Sabiti
$\gamma$	:Dalga Yayılma Sabiti
$\lambda$	:Dalga Boyu
$\mu$	:Mikro
$\mu V$	:Mikro Volt
$\omega$	:Açısal Hız
	:Ohm

## 1.GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Üzerinde uzun yıllardır analog iletişim yapılan alçak gerilim hatlarının (AGH) sayısal iletişim ortamı olarak kullanılması için yoğun bilimsel araştırmalar yapılmaktadır. AGH, gerek gürültü gerekse zayıflatma özellikleri nedeniyle iletişim için uygun bir ortam sayılmayabilir. Ayrıca, zaman ve kurulmuş oldukları bölgeye bağlı olarak değişen özellikleri nedeniyle AGH'nın iletişim ortamı olarak davranışı birçok belirsizlikler de içermektedir. Bununla birlikte, AGH, her eve ulaşıyor olmaları nedeniyle, ek bir iletişim kanalı alt yapısı gerektirmemektedir. Bu özelliği AGH'nı iletişim ortamı olarak kullanmak konusunda çekici kılmaktadır. Kanalın gürültü ve zayıflatma özelliklerinden kaynaklanan sorunlar, son yıllarda büyük gelişmeler gösteren sayısal iletişim ve bilgi işleme yöntemleri ile aşılabilmektedir. Bu nedenle AGH, yakın gelecekte ev otomasyonu, internet hizmeti sağlama, uzaktan sayaç okuma vb. amaçlarla yaygın olarak kullanılma potansiyeline sahiptir.[1]

AGH üzerinden iletişim yapabilmek için kanalın gürültü, zayıflatma, empedans ve evre kaydırma gibi özelliklerinin belirlenmesi gerekir. AGH üzerinde yapılacak iletişimi sınırlayan gürültü türleri yaklaşık Gauss dağılımlı normal (background) gürültü, vuru (impulse) gürültüsü, 50 Hz'in harmonikleri ve darbandlı gürültüdür. Normal gürültünün spektral güç yoğunluğu frekansla azalmaktadır. Süresi, geliş frekansı ve gücü tarafından belirlenen vuru gürültüsü önlem alınmadığı takdirde sistem başarımını olumsuz yönde etkiler. AGH'nın sayısal sinyalleri zayıflatması zamana, frekansa ve hatların kurulmuş olduğu bölgenin kullanıcı özelliklerine bağlı olarak değişmektedir [2, 3]. Sayısal sinyallerin evrelerinin kaymasının belirlenmesi evre kaymalı modülasyon sistemlerinin AGH üzerinde sayısal iletişim amacıyla kullanılıp kullanılmayacağına belirlenmesine yöneliktir. Sistem tasarımcıları bu iletişim kanalı için modem tasarlarken, gereken verici gücü, iletişim mesafesi, bit hızı ve bant genişliği gibi parametreleri belirlemede enerji hattının empedansını da dikkate almalıdırlar. [1]

## 1.2. Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekeleri

Elektrik enerjisini üretmeye, iletmeye, dağıtmaya ve tüketmeye yarayan ve bir yerde birbirine bağlanan, elektrikli işletme gereçlerinin tümüne *elektrik tesisleri* denir. Aynı anma gerilimli, birbirine bağlı elektrik tesislerinin tümüne *şebeke* denir. İletimde kullanılan şebekelere *iletim şebekeleri*, dağıtımda kullanılan şebekelere de *dağıtım şebekeleri* adı verilir [4, 5].

Elektrik iletim ve dağıtım şebekeleri, elektrik enerjisinin üretilmesinden tüketilmesine kadar enerjinin kesintisiz ve güvenilir bir şekilde iletilip dağıtılmasına uygun olmalıdır. Elektrik enerjisi iletimi ile elektrik dağıtımını arasında ki fark, elektrik enerjisi iletiminde elektrik enerjisi elektrik santrallerinden trafoya kadar olan kısmı, elektrik enerjisi dağıtımını ise trafolardan abonelere kadar olan kısmı içermektedir [4, 6].

Elektrik şebekeleri çok iyi planlanmış ve kurulmuş olmalıdır. Şebekede oluşacak arızalar ve olumsuz etkiler tüketicileri ve alıcıları etkilememelidir. Dağıtım şebekelerinde hat başında, hat ortasında ve hat sonunda bulunan abonelerin hepsi aynı özellikte (*sabit gerilim ve frekansta*) elektrik enerjisini kullanabilmelidir. Elektrik şebekeleri her an değişen koşullara ve güçlere cevap verebilmelidir [4].

Elektrik şebekeleri kullandıkları gerilimlere göre dört gruba ayrılmaktadır. [4, 5].

1. Alçak gerilim şebekeleri (*1V-1000 V arası*)
2. Orta gerilim şebekeleri (*1 kV-35 kV arası*)
3. Yüksek gerilim şebekeleri (*35 kV-154 kV arası*)
4. Çok yüksek gerilim şebekeleri (*154 kV'dan fazla*)

### 1.2.1. Alçak Gerilim Şebekeleri

1 V ile 1000 V arası gerilime sahip olan şebekeler alçak gerilim şebekeleridir. Bu şebekeler dağıtım trafolarından tüketicilere kadar olan elektrik hatlarından oluşur. Alçak gerilim şebekeleri yalıtımı ve korunması kolay olduğu için abonelere yakın kısımlarda kurulur. Alçak gerilimle yapılan iletimlerde gerilim düşümü ve güç kaybı fazla olduğu için alçak gerilim iletimden ziyade dağıtım şebekelerinde kullanılır. Ülkemizde alçak gerilim, abonelerde 220 V ve 380 V olarak kullanılır [4, 5].

### 1.2.2. Orta Gerilim Şebekeleri

1 kV ile 35 kV arasındaki gerilimi kullanan şebekeler orta gerilim şebekeleridir. Bu şebekeler yüksek ve çok yüksek gerilim şebekeleri ile alçak gerilim şebekelerinin birbirine bağlanması işleminde kullanılır. Yüksek gerilimlerin direkt olarak abonelere verilmesi izolasyon ve güvenlik açısından uygun olmadığından yüksek gerilimler uygun değerlere indirilerek orta gerilim şebekelerine bağlanır. Orta gerilim şebekeleri küçük şehirler ve sanayi bölgelerine elektrik enerjisinin taşınmasında kullanılır. Orta gerilimler şehirlerin girişindeki dağıtım trafolarına bağlanır ve bu trafolardan da abonelere dağıtılır.

Türkiye'de kullanılan orta gerilim şebekelerinde 10, 15 ve 33 kV'lik gerilimler kullanılmaktadır. Orta gerilim şebekelerinde kullanılan hattın uzunluğuna göre hat gerilimi tespit edilir [4].

Buna göre;

- 10 km' ye kadar olan uzunluklarda hat gerilimi 3 kV - 10 kV,
- 20 – 30 km arasında ki uzunluklarda hat gerilimi 10 kV – 20 kV,
- 30 – 70 km arasında ki uzunluklarda hat gerilimi 20 kV – 35 kV,
- 70 km' yi geçen uzunluklarda ise yüksek gerilimler kullanılmaktadır [4, 5].

### 1.2.3. Yüksek Gerilim Şebekeleri

35 kV ile 154 kV arasındaki gerilimi kullanan şebekeler yüksek gerilim şebekeleridir. Elektrik enerjisinin üretildiği santrallerden başlayan ve büyük şehirler ile bölgelerin başlangıcı arasında kullanılan şebekelerdir [4, 5].

Yüksek gerilimde dağıtım yapılmaz. Yüksek gerilimler iletme en uygun gerilimlerdir. Çok uzak mesafelere enerji iletiminde alçak gerilimlerde güç kaybı çok olurken yüksek gerilimlerde güç kaybı az olduğu için yüksek gerilimler çoğunlukla iletim şebekelerinde kullanılır. Türkiye'de kullanılan yüksek gerilim değerleri 66 kV ve 154 kV'tur.

Örneğin Kuzey-Batı Anadolu şebekesi 154 kV'luk gerilimle Güney Anadolu şebekesi de 66 kV'luk gerilimle beslenmektedir. Yüksek gerilim şebekelerinde 70 km-150 km arasındaki uzaklıklarda 60 kV-100 kV, 150 km-230 km arasındaki uzaklıklarda 100 kV-154 kV ve 230 km'den uzun hatlarda ise çok yüksek gerilimler kullanılır [4].

#### **1.2.4. Çok Yüksek Gerilim Şebekeleri**

154 kV'un üstündeki gerilimi kullanan şebekelerdir. Türkiye'de çok yüksek gerilim olarak 380 kV kullanılmaktadır. Bazı yabancı ülkelerde 500 kV ve 750 kV'a kadar gerilimler kullanılmaktadır. Şehirlerarası ve santraller arası bağlantılar için çok yüksek gerilim şebekeleri tesis edilir. Ülkemizde Atatürk Barajı'ndan İstanbul'a hatta İzmir'e kadar uzanan 380 kV gerilimli şebeke mevcuttur [4, 5].

#### **1.3. Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Yerel Ağ Modeli**

Elektrik enerjisinin üretildiği santraller çoğu zaman yerleşim birimlerine uzak olur. Bazı yerlerde ise hiç santral yoktur. Bu sebeple üretilen elektrik enerjisini iletmek yani taşımak gerekir. Elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması için tesis edilen iletim ve dağıtım şebekeleri iletim ve dağıtımın yapılacağı şehir, sanayi, köy ve benzeri yerlerin özelliklerine göre en uygun, güvenli ve kesintisiz enerji verebilecek nitelikte elektrik şebekeleri tesis etmek gerekir [4, 5].

Yerleşim birimleri ve sanayilerdeki cadde, yol, meydan ve geçitler boyunca döşenen hat parçalarının birbirine eklenmesinden kollar ve kolların birbirine eklenmesinden de dağıtım şebekeleri meydana gelir. Elektrik şebekelerinin kurulmasında alıcıların teknik yönden uygun, ekonomik ve ergonomik bir şekilde beslenmesi ana kuraldır. Bu kuralları yerine getirebilmek için değişik şebeke sistemleri geliştirilmiştir.

Dağıtım şekillerine göre en uygun olan ve kullanılan şebeke sistemleri şunlardır:

1. Dallı şebekeler,
2. Halka şebekeler,
3. Ağ şebekeler,
4. Enterkonnekte şebekeler.

##### **1.3.1. Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekeleri Farklılıkları**

Ülkelere göre YG şebekeleri benzer özellikler göstermektedir. Fakat OG ve AG oluşturduğu dağıtım şebekesinde önemli farklılıklar gözükmemektedir [7, 8]. Dağıtım sistemleri Avrupa ve ABD modeli şeklinde ikiye ayrılmaktadır [7, 9]. Bu ayrım yapılırken



bina yoğunlukları, coğrafi yapı ve gerilim göz önüne alınmaktadır. Tablo 1’ de bu ayırım hatların ayırımı ülke bazında gösterilmiştir.

Tablo 1. ABD, Avrupa ve Japonya dağıtım sistemi özellikleri [7, 10].

Özellik	Avrupa	ABD	Japonya
OG hatlarının durumu	Havai hat + yer altı kabloları	% 80’i havai hat	%90’ ı kablo çekili havai hat
AG hatları ortalama hizmet yarıçapı(metre)	400	100 – 300	50 – 200
AG trafosuna bağlı ortalama mesken sayısı	350	1 – 15	30
Fazlar arası/Faz – Nötr gerilimi (Volt)	400 / 230	220 / 110	200 / 100
Frekans (Hz)	50	60	50/60

OG ve AG hatları altyapısı, enerji hattı üzerinden data iletimi için önem arz etmektedir. Ülkelerin elektrik dağıtım yapılarında ki farklılıklar bu sistemin yayılımında etki göstermektedir. PLC denemelerinin genel olarak 220V ile 240V elektrik kullanan ve AG trafosuna bağlı mesken sayısı yüksek olan ülkelerde daha başarılı olduğu bilinmektedir. Bunun asıl sebebi de dağıtım şebekesinin yapısından ötürü kullanılan donanımların Japonya ve ABD modellerinde kullanıcı başına maliyeti Avrupa modeline göre daha da yükseltmesidir [7, 9, 10].

#### 1.4. Haberleşme Kanalları

Haberleşme sisteminde, verici ve alıcı sistemler arasında bilginin iletildiği ortama kanal adı verilmektedir ve haberleşme kanalı olarak anılmaktadır. Pratikte, birçok çeşit haberleşme kanalı vardır. Haberleşmeyi kolaylaştırmak için kullanılan bir çok kanal mevcuttur. Bu kanallara ve haberleşme metotlarına örnek olarak;

1. Alıcı ve verici arasında fiziksel bir yol ile kablo üzerinden haberleşme sunan kanallar,

2. Elektriksel olarak, frekans veya zaman bölmeli çoklayıcı kullanılarak yapılan haberleşme,

3. Elektriksel ve elektromanyetik işaretleri taşıyıcı işaretlere modüle edilerek hava, su ve fiber optik kablo vasıtasıyla iletilmesi,

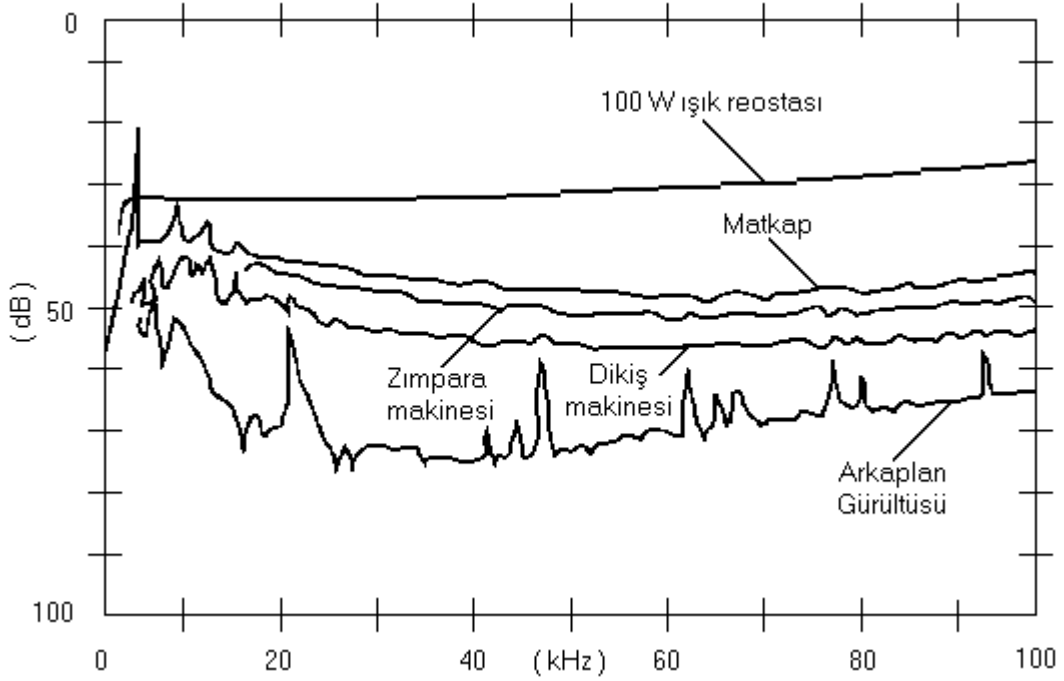
4. Manyetik bant veya diskler üzerinde bilginin depolanması [10, 11].

Kablosuz haberleşmede, kanal çoğunlukla zayıflamış bir işaret ve bu işarete toplamsal olarak eklenmiş gürültüyle modellenir. Zayıflatma işaret gücündeki kayıp, gürültü ise alıcıda ki harici girişimler veya elektronik gürültü olarak kabul edilir.

Toplamsal gürültü, haberleşme sistemlerinde kullanılan dirençler ve katı haldeki elemanlar tarafından üretilir. Bu tip gürültüler bazen termal gürültü olarak da adlandırılırlar. Başka bir gürültü kaynağı da kanalı kullanan diğer kullanıcıların neden olduğu girişimlerdir. Gürültü ve girişimin istenen sinyalle aynı frekans bandında bulunduğu durumlarda, yollanan işaretin ve alıcı taraftaki demodülatörün uygun şekilde tasarlanması ile gürültünün ve girişimin neden olduğu bozulmalar en aza indirilebilir. Sinyal iletiminde karşılaşılan diğer bozucu etkiler sinyal zayıflaması, genlik ve faz bozulması ve çoklu yol (*multipath*) bozulmasıdır [4].

### 1.5. Gürültü

Şebekedeki esas gürültü kaynakları, aynı dağıtım transformatörüne bağlı olan cihazlardır. Şebekede başlıca iki gürültü kaynağı vardır. Bunlar ışık reostalarında kullanılan triaklar ve üniversal motorlardır. Triaklar tarafından üretilen gürültü şebeke frekansı ile eş zamanlıdır. Bu gürültü şebeke frekansının harmonikleri şeklinde gözlenir. Üniversal motorlar mikserlerde, dikiş makinelerinde ve zımpara aletlerinde bulunurlar. Üniversal motorlardan kaynaklanan gürültü, ışık reostalarının ürettikleri gürültü kadar güçlü olmamakla beraber şebeke frekansı ile de eş zamanlı değildir. Ayrıca ışık reostaları uzun zaman müddetince kullanılırken, üniversal motorlar aralıklı olarak kullanılırlar [12]. Şekil 1' de. 60 Hz güç devresiyle çalışan ışık reostası ile üç üniversal motorun gerilim tayflarının karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 1. 60 Hz güç devresiyle çalışan ışık reostası ile üç üniversal motorun gerilim tayflarının karşılaştırılması [4, 13].

Şebekenin gürültü karakteristiği çok karmaşıktır [14]. Bu gürültü dört grup altında incelenebilir [8, 15].

### 1.5.1. Şebeke Frekansı ile Eşzamanlı Gürültüler

Bu tip gürültülerin ana kaynağı, güç kaynakları ve silikon kontrollü doğrultucular (*SCR, Silicon-Controlled Rectifier*) gibi anahtarlama cihazlarıdır [16]. Bu cihazların anahtarlama frekansları, şebeke frekansının tam katlarında seçilmektedir [8]. Bu nedenle bu tip cihazların oluşturmuş oldukları gürültüler, şebeke frekansının üst harmonikleri şeklindedir. Bu tip gürültülerin frekans tayfı, 100 Hz ve harmoniklerinden oluşur. Ayrıca fotokopi cihazları da 100 Hz'de güçlü gürültü darbeleri oluştururlar [17].

### 1.5.2. Düzgün Tayflı Gürültüler

Bu tip gürültülerin ana kaynağı, şebeke frekansı ile eşzamanlı çalışmayan cihazlardır [4, 16]. Üniversal motorlar bu tip cihazlara örnek olarak verilebilir. Üniversal motorlarda

gürültünün asıl kaynağı, motorun hızına bağlı olarak akım yönünü değiştiren fırçalardır [16]. CELENEC A bandı için bu tip gürültüler beyaz gürültü olarak modellenebilir [8].

### 1.5.3. Tek Darbeli Gürültüler

Her türlü anahtarlama işlemi bu tip gürültülerin oluşmasına yol açar. Bu tip gürültüler, özellikle içinde güç faktörü düzeltme amaçlı kapasiteler bulunan cihazların şebeke bağlanması veya ayrılması esnasında oluşur [4, 16].

### 1.5.4. Şebeke Frekansı ile Eşzamanlı Olmayan Periyodik Gürültüler

Bu tip gürültüler şebeke frekansından bağımsız periyodik gürültülerdir. Bu tip gürültülerin ana kaynağı, flüoresan lambalar ve televizyon alıcılarıdır [8]. Televizyon tarafından üretilen gürültülerin frekans dağılımı, yatay tarama frekansı ve bunun katları şeklindedir. Aynı şekilde bilgisayar monitörlerinin ürettiği gürültüler de bu gruba dahil edilebilir [4, 16].

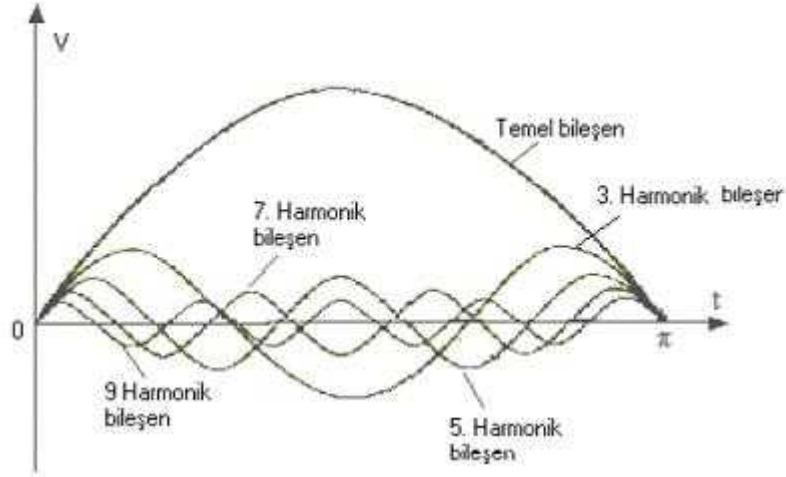
Şebekedeki gürültünün bozucu etkilerini azaltmak için şu önlemler alınabilir [17].

- Alıcı girişinde şebeke frekansı ve harmonikleri filtrelerle süzülebilir.
- Şebeke üzerinden veri kodlanarak yollanabilir. Bu şekilde yollanan verideki bozulma algılanabilir veya düzeltilebilir.
- Sinyal şebekeye modüle edilirken, televizyon yatay tarama frekansı ve harmoniklerine karşı önlemler alınabilir.

Şebekedeki bilinmeyen frekans bileşenleri için kodlama yöntemleri ile beraber frekans çeşitlemesi de yapılabilir.

## 1.6. Harmonikler

Bilindiği gibi elektrik enerjisi üç aşamadan geçerek alıcılara ya da yüklere ulaşmaktadır. Elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtım aşamalarında akım ve gerilim büyüklüklerinin sinüsoidal biçimli olması gereklidir. Fakat bu her zaman gerçekleşmeyebilir. Çeşitli nonlineer yükler nedeniyle sistemde çeşitli frekansta sinüsoidal dalgalar görülebilir [18].



Şekil 2. Yarı periyotta harmonik bileşenler [18].

Şekil 2.'de yarı periyotta harmoniklerin durumu gösterilmiştir. Elektrik enerji sistemlerinde manyetik ve elektrik devre lineersizlikleri, harmoniklerin ortaya çıkmasında en önemli etkenlerdir. Harmoniklerin meydana gelmesi ile de sinüsoidal dalga şeklinden uzaklaşılacak yani dalga şeklinde bir bozulma (distorsiyon) görülecektir. Akım ve gerilimde oluşan bu bozulma elektrik tesisleri ve bu tesislere bağlı sistemlerine zarar vermekte ve hatta bazen sistemleri çalışamaz hale getirmektedir [18].

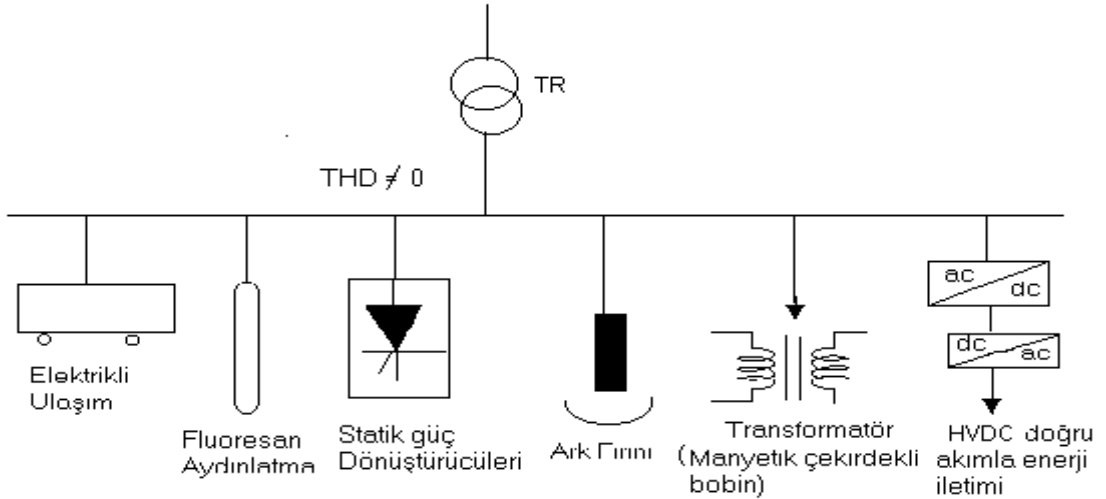
Manyetik devre lineersizliği, demir çekirdekli bobin, transformatör, generetör gibi elemanların doymaya giderek manyetik bakımdan lineer olmayan bir olayın meydana gelmesidir. Elektrik devre lineersizliği ise, akım ile gerilimi arasında ilişkisi doğrusal olmayan bir elemanda arka çalışın işletme araçlarında yarı iletken elemanlar kullanılarak sinüsoidal dalganın bazı kısımlarının kırılması sonucunda meydana gelir. Bu lineersizlikler şebekenin akım ve gerilim dalga şeklinin sinüsoidallikten uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Bu tür elemanlara örnek olarak şunlar verilebilir. DC çevirici, DC evirici, motor kontrol devreleri, statik VAR generatörleri, anahtarlamalı güç kaynakları gibi güç elektroniği elemanlı devre, flüoresan, cıva arkı, cıva buharı, neon, ksenon ve yüksek basınçlı sodyum lambalar gibi gaz deşarjlı aydınlatma elemanları, akü ve fotovoltaiik sistemleri ve elektrikli ulaşım sistemleri sistemler sayılabilir [18].

### 1.6.1. Harmonik Tanımı

Harmonikler genel olarak devredeki elemanın özelliğine ve kaynağın durumuna göre ortaya çıkarlar. Eğer devrede nonlinear elemanlar veya nonsinüsoidal kaynaklar bulunacak olursa veya bunların her ikisinin de olması durumunda meydana gelirler. Bu şekilde çeşitli elemanlar veya olaylar sonucunda enerji sistemindeki sinüsoidal dalga biçimi bozulur. Bu bozuk dalgalar “nonsinüsoidal dalga” olarak adlandırılır. Nonsinüsoidal dalga biçimleri, periyodik olmakla birlikte sinüsoidal dalga ile frekans ve genliği farklı diğer sinüsoidal dalgaların toplamından oluşmaktadır. Temel dalga dışındaki sinüsoidal dalgalara “harmonik bileşen” adı verilir. Güç sistemindeki sinüsoidal dalganın simetrisinden dolayı 3., 5., 7., 11,.... gibi tek harmonik bileşenleri bulunur. Çift harmonikli bileşenler bulunmaz. Şekil 2.’de bir yarı periyottaki temel bileşen ve harmonik bileşenler gösterilmiştir [18].

### 1.6.2. Harmoniklerin Kaynakları ve Etkileri

Tüketiciler elektrik enerjisinin, kalitesinden önemli derecede etkilenirler. Güç kalitesi olarak belirtilen enerjinin belli şartları taşıma gerekliliği, artık vazgeçilmez bir olgudur. Güç kalitesini olumsuz etkileyenlerden biri de harmoniklerdir. Harmoniklere nonlinear yükler neden olurlar. Şekil 3.’de lineer olmayan yüklerden bazıları görülmektedir [18].



Şekil 3. Nonlineer yükler ile harmonik akım kaynakları [18].

### 1.6.2.1. Nonlinear Elemanlar

Harmoniklerin oluşmasının başlıca sebebi, elektrik devrelerinde kullanılan lineer olmayan devre elemanlarıdır. Bu devre elemanlarının, gerilimi ile akımı arasındaki bağıntının lineer olmayışından harmonikler oluşmaktadır. Magnetik devrelerin aşırı doyması, elektrik arkları ve güç elektroniğindeki sinüsoidal gerilimin anahtarlanması ve kısılanması lineer olmayan olaylardır [18]. Harmoniklerin oluşmasına neden olan kaynakların başlıcaları şunlardır:

- Transformatörler
- Statik dönüştürücüler (Konvertörler)
- Generatörler
- Ark fırınları
- Gaz deşarjlı aydınlatma armatürleri
- Statik VAR kompanzatörleri
- Fotovoltaik sistemler
- Bilgisayarlar
- Kesintisiz güç kaynakları
- Doğru akım ile enerji iletimi
- Elektrikli ulaşım sistemleri

### 1.6.3. Harmoniklerin Sisteme Etkileri

Harmonikler güç sistemlerindeki tüm elemanları etkilerler. Dolayısı ile güç sistemleri bundan olumsuz yönde etkilenir. Harmoniklerin gerilim ve akımın dalga şeklini bozmaları sonucu enerji sistemlerinde meydana getirdikleri etkileri genel olarak şöyle sıralanabilir [18].

1. Enerji sistemindeki elemanlarda kayıpların artması,
2. Transformatörlerin aşırı ısınması,
3. Dönen makinalarda moment salınımlarının ve aşırı ısınmaların oluşumu,
4. Gerilim düşümünün artması,
5. Generatör ve şebeke gerilimi dalga şeklinin bozulması,
6. Kompanzasyon tesislerinin aşırı reaktif yüklenmesi,
7. Endüksiyon tipi sayaçlarda yanlış ölçmeler,

8. Şebekede rezonans olayları, rezonansın neden olduğu aşırı gerilim ve akımlar,
9. Kontrol devrelerinde çalışma bozuklukları,
10. Korumada hatalı çalışma ,
11. Dielektrik malzemesinin delinmesi,
12. Mikroişlemcilerin hatalı çalışması,
13. Sesli ve gürültülü iletişim araçlarında parazit ve anormal çalışma,
14. Güç faktörünün değişimi,

#### 1.6.4. Harmoniklerin Sebep Olduğu Rezonans Olayları

Güç sistemlerinde endüktif reaktans, frekans ile doğru orantılı olarak artarken, kapasitif reaktans frekans ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Endüktif reaktansın kapasitif reaktansa eşit olduğu frekansa rezonans frekansı denmektedir. Sistem rezonansı, harmonik frekanslardan birine yakın bir değerde oluşursa, aşırı seviyede harmonik akım ve gerilimleri ortaya çıkacaktır. Harmonik seviyelerini etkileyen en önemli etkenlerden birisi rezonans durumudur. Seri rezonans harmonik akımının dolaşmasına düşük bir empedans gösterirken, paralel rezonans yüksek empedans göstermektedir.

Bilindiği gibi elektrik devrelerinde, seri rezonans ve paralel rezonans olmak üzere iki çeşit rezonans oluşabilir. Güç sistemindeki güç katsayısının düzeltilmesinde yada filtrelerde kullanılan kondansatörlerden dolayı, paralel rezonans meydana gelebilmektedir. Paralel rezonans olayı kondansatör uçlarındaki gerilimin aşırı yükselmesine sebep olmakta ve kondansatöre zarar verebilmektedir. Bu durum endüstriyel yüklerde ve sistemlerde yaygın olarak görülen bir olaydır. Rezonans frekansı şebeke empedansının tamamen endüktif olduğu kabul edilerek

$$f_p = f_1 \sqrt{\frac{S_k}{S_c}} \quad (1)$$

şeklindedir. Burada,  $f_1$ ; temel frekans,  $f_s$ ; seri rezonans frekansını,  $S_t$ ; transformatör gücünü,  $S_c$ ; kondansatör gücü,  $S_L$ ; omik yükü,  $Z_t$ ; transformatör per- unit empedansını göstermektedir. Rezonans halinde kondansatör uçlarındaki gerilim devre geriliminin  $X_c/R$  katına çıkar. Bu nedenle, rezonans durumunda sistemde arıza hasarlar meydana getirebilir. Rezonansın oluşacağı harmonik bileşeni,



$$n = \frac{1}{2\pi f_1 \sqrt{LC}} = \sqrt{\frac{X_{C1}}{X_{L1}}} \quad (2)$$

ile belirlenir [18].

### 1.6.5. Harmoniklerin İletim Hatları Üzerine Etkisi

Enerji iletim hatlarında harmonik bileşenler hattın empedans değerinin artmasına neden olurlar. Her bir harmonik bileşen için

$$Z_n = R_n + jX_n \quad (3)$$

olup meydana gelen gerilim düşümü,

$$V_n = I_n \cdot (R_n + jX_n) \quad (4)$$

olacaktır. Ayrıca, kablolu iletim durumunda harmonik bileşenler gerilimdeki artış nedeniyle dielektrik zorlanmayı artırır.

Akım harmonikleri iletim hatlarında ek  $I^2R$  kayıpları oluşturur. Bu kayıplar,

$$\sum_{n=2}^{\infty} (I^2 R)_n = \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 R_n \quad (5)$$

ile belirlenir [18].

### 1.6.6. Harmonik Standartları

Enerji sistemlerinde nonlinear eleman sayısının her geçen gün artması sonucu distorsiyon değerlerinin neden olmaktadır. Harmonik bileşenlerin olumsuz etkilerinden dolayı sınırlandırma çalışmaları önem arz etmektedir. Harmoniklerin sınırlandırılması için THD kriterine göre çeşitli standartlar mevcuttur. Müsaade edilen maksimum gerilim ve akım bozulması IEEE (standart 519-1992)'de belirtilmiştir. Bu konuda ulusal ve uluslararası standartlar geliştirilmiştir. Bu standartlarda hem akım hem gerilim hem de harmonik bileşenlerin derecesine bağlı olarak sınır değerler verilmektedir.

Tablo 2' de akım bozulma sınırlar değerleri verilmiştir. Bu tabloda,  $I_{KD}$  kısa devre akımını,  $I_1$  temel bileşen akımını,  $h$  harmonik derecesini göstermektedir. IEC- 555 göre harmonik akım limitleri çizelge Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 2. Dağıtım sistemleri için akım bozulma sınırları (IEEE519-1992) [18].

$V_n < 69\text{kV}$						
$I_{KD}/I_1$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	%TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
$69 < V_n \leq 161\text{kV}$						
<20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
$V_n > 161\text{kV}$						
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
$\geq 50$	3.0	1.5	1.15	0.5	0.22	4.0

Tablo 3. Limit harmonik akım değerleri(IEC-555) [18].

Tek harmonikler		Çift harmonikler	
Harmonik bileşeni (n)	Maksimum Akım (%A)	Harmonikler bileşeni (n)	Maksimum Akım (%A)
3	2.30	2	1.08
5	1.14	4	0.43
7	0.77	6	0.30
9	0.40	$8 \leq n \leq 40$	$0.23A.(8/n)$
11	0.33		
13	0.21		
$15 \leq n \leq 39$	$0.15.(15/n)$		

## 1.7. Enerji Hatlarında Veri İletiminin Tarihsel Gelişimi

Elektrik enerjisi şebekelerinin elektriğin nakli amacıyla kullanılmaya başlamasıyla birlikte, mevcut elektrik hatları üzerinden haberleşme, data iletimi yapılabilmesi için araştırmalar başlamıştır. AG elektrik hatlarının sinyalleşme amaçlı olarak kullanılması fikri çok eski senelere dayanmaktadır [10].

Enerji hattı haberleşmesinin başlangıç tarihçesi Brown tarafından ortaya koyulmuştur [10, 19]. Brown' a göre enerji hattı üzerinden sinyal iletimi fikri oldukça eskidir. Örnek olarak;

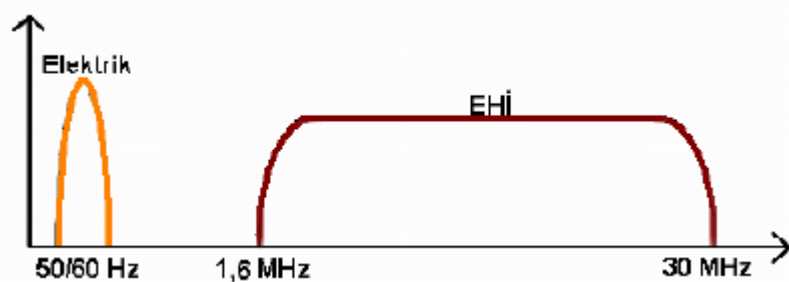
- 1838 yılında Londra – Liverpool telgraf sistemi bataryalarının gerilim seviyelerinin kontrolü [7, 10, 20].

- 1897 yılında İngiltere' de sayaçların elektrik hatlarından sinyalleşme ile okutulması [7, 10, 21].

- 1905 yılında ABD' de Chicago' da elektrik sayaçlarının aynı sistemle uzaktan okutulmasının patenti alınmıştır [7, 10, 22].

YG iletim hatlarından ses iletimi de 1930' lu yıllarda gerçekleşmiştir [7, 10, 20]. YG iletim hatları üzerinden geleneksel PLC sistemi SCADA(*Supervisory Control And Data Acquisition, Denetsel Kontrol ve Veri Edinme*), bilgilerinin iletiminde ve ses haberleşmesinde kullanılmaktadır.

PLC sistemlerinin Orta ve Yüksek Gerilim seviyelerinde kullanılma sebebi daha çok SCADA sistemleri olduğu için yüksek hız gerekmektedir. Bu yüzden yüksek frekanslarda çalışılmaktadır (1,6 Mhz'den 30 Mhz'e kadar). Daha ziyade ses ve düşük veri aktarımı, 250 Kbps ve daha aşağı indirme ve yükleme hızları darbant olarak kabul edilmektedir. Şekil 4' de elektrik gerilim işareti ile gönderilmek istenen bilgi sinyalini taşıyan işaret ayrı olarak gözükmektedir.



Şekil 4. Geniş Batlı Sistem [7, 10].

Yüksek gerilim hatlarında sesin iletimi 1920’li yıllarda başlamıştır [4]. Ses iletimi Genlik modülasyonu (AM, Amplitude Modulation) kullanılarak gerçekleştiriliyordu. Elektrifikasyon süreci başladığı sıralarda telefon sistemleri ağları henüz yaygınlaşmamıştı. Bu yüzden geniş iletim hatlarına sahip elektrik hatlarının üzerinden çift yönlü haberleşme yapmak çok önemli bir konuydu. Darbantlı (15kHz – 500kHz) gibi frekanslarda taşıyıcıyla uygun verici gücüyle çok uzak mesafelere ulaşabiliyordu. 10W gibi bir vericiyle 900 km gibi bir mesafeye ulaşmak mümkündür [10, 23].

### 1.8. Gerçekleştirilmiş Pratik Uygulamalar

1930 yılında Siemens tarafından Almanya Potsdam’ da gerçekleştirilen Telenerg projesi RCS’ nin (RCS, Dalgalı Taşıyıcı Sinyalizasyonu, Riple Carrier Signalling) ilk pratik uygulamasıdır [4].

1935 yılında AEG tarafından Stuttgart ve Madgeburg’ da gerçekleştirilen Transkommando projesi diğer bir uygulamadır [10, 18].

### 1.9. RCS ve CTS Metodları

CTS’ nin (*Taşıyıcı Frekansı İletimi, Carrier Frequency Transmission*) aksine RCS’ de veri iletimi tek yönlüydü ve RCS 125 Hz – 3000 Hz gibi düşük taşıyıcı frekanslarında kullanılmaktaydı. Düşük frekanslar kullanılması hatta verilen sinyallerin küçük kayıplarla yayılmasını sağlamaktadır [10, 24].

Ancak alçak taşıyıcı frekanslarında dağıtım hattının giriş empedansı da düşük olur. Bu nedenle RSC vericileri muazzam çıkış gücüne ihtiyaç duyarlar. RSC vericilerinin verici gücü genelde 10 kW ile 100 kW arasında değişmektedir. İlk başlarda RSC’de sayısal veri iletimi de yapılmıştır. Bu iletişimde daha ziyade uygulama kolaylığı açısından genlik kaydırmalı anahtarlama (*ASK, Amplitude Shift Keying*) ve frekans kaydırmalı anahtarlama (*FSK, Frequency Shift Keying*) kullanılmıştır. Gerek alçak taşıyıcı frekanslarının, gerek dar bantlı modülasyon tekniklerinin kullanılıyor olması, RCS sistemlerinin veri hızlarının düşük olmasına neden olmuştur [4, 10, 24].

### 1.10. PLC Sisteminde Mikro İşlemci Uygulamaları Gelişimi

1958 ve 1959 yılında entegre devrelerin *Texas Instruments* adına *Jack Kilby* ve *Fairchild Semiconductor* adına *Robert Noyce* tarafından keşfedilmesi ve 1971 yılında mikro işlemcilerin *Intel* adına *Ted Hoff* tarafından keşfedilmesi, enerji hattı haberleşmesi için düşük maliyetli entegre devreleri geliştirilmesini sağlamıştır. 1980'li yıllarda modülasyon teknikleri, işlem kapasitesi ve hata kontrol alanlarındaki gelişmeler sonucunda, entegre devrelerin veri transfer kapasitelerinde önemli artışlar olmuştur [24].

İlk düşük maliyetli enerji hattı veri transfer modülü *Pico Electronics* tarafından ev içi kullanım amaçlı Experiment #10 veya kısaca X-10 modülüdür. Bu modüllerin satışı 1979 yılında başlamıştır. X-10 vericisi 120 kHz taşıyıcı frekansı ve basit aç-kapa anahtarlama (OOK, On-Off Keying) modülasyonu kullanmaktaydı [10, 25]. Ayrıca X-10 protokolünde yollama ve alma işlemlerinin süreleri tanımlanmıştır. Her bit şebeke geriliminin sıfır geçişlerinde yollanır. Buna göre en büyük veri hızı Amerika için 120 bps, Avrupa için 100 bps'dir. Günümüzde ev içi cihazların kontrolüne yönelik X-10 uyumlu cihazlar üreten yaklaşık on firma vardır. X-10 teknolojisini takiben günümüzde kullanıcılarına yüksek veri transfer hızları sunan LonWorks ve CEBus gibi teknolojiler de mevcuttur [4, 10, 24].

1990'lı yıllarda internetin gelişimine paralel olarak, elektrik dağıtım şebekesi veya ev içi elektrik hatları üzerinde geniş bantlı (*broadband*) haberleşme fikri ortaya çıkmıştır. Enerji hattı kanal karakteristikleri, modülasyon teknikleri ve haberleşme protokolleri üzerine yapılan çalışmalar çarpıcı bir biçimde artmıştır. Kanal karakteristikleri üzerine yapılan çalışmalar sonucunda kullanılan frekanslar değerleri 30 MHz'in üzerine çıkmıştır. Şu ana kadar geniş bantlı enerji hattı haberleşmesi amaçlı pek çok ürün ve sistem geliştirilmiştir [10, 24].

Şebeke üzerinden internet erişimi (*IPL, Internet over Powerline*) üzerine yapılan ilk geniş kapsamlı çalışma 1997 yılında *Nor.Web* şirketi tarafından İngiltere'de yapılmış fakat IPL ekonomik açıdan uygulanabilir olmadığı için başarısızlıkla sonuçlanmıştır [24]. IPL teknik, ekonomik ve düzenleme problemleri nedeniyle yaygınlaşamamıştır. Günümüz şartları ve teknolojisi ile IPL'in yaygınlaşması pek mümkün görünmemektedir. Belki gelecekte bu gerçekleştirilebilir veya bunun gereksiz olduğu anlaşılabilir [4].

### 1.11. Şebeke Empedansı

Bu konuyla ilgili en kapsamlı yayın IBM Elektromanyetik Uyumluluk Laboratuvarı'nda çalışan Malack ve Engstrom tarafından yayımlanmıştır. Bu çalışmada altı Avrupa ülkesindeki 86 ticari AC enerji dağıtım sisteminin RF (*Radyo Frekansı, Radio Frequency*) empedansları ölçülmüştür. Bu ölçümler, şebeke empedansının frekans ile arttığını ve 100 kHz frekans değerinde şebeke empedansının 1,5  $\Omega$  ile 80  $\Omega$  aralığında değiştiğini ortaya koymuştur. Şebeke empedansını belirleyen iki parametre vardır. Bunlar; şebekeye bağlı olan yükler ve dağıtım transformatörünün empedansıdır. Komşu dağıtım transformatörüne bağlı yükler de bu empedansı etkileyebilir. Enerji nakil hatlarının şebeke empedansı üzerinde büyük bir etkisi yoktur. Empedans genelde endüktiftir. Tipik rezistif yükler için 150 kHz'de sinyal zayıflaması 2 dB ile 40 dB arasında değişir. Sinyal zayıflamasının değeri kullanılan dağıtım trafosuna ve rezistif yükün büyüklüğüne bağlıdır. Ayrıca hatta bağlanan kapasitif yüklerin, dağıtım trafosunun endüktansı ile rezonansa gelmesi, olağan dışı sinyal zayıflamalarına yol açabilir [4, 12].

Altı Avrupa ülkesinde yapılan ölçümler Tablo 4' de ki gibidir. Toplam Avrupa ülkelerindeki şebeke empedansı deneysel ölçüm değerleri Tablo 5' de verilmiştir. Tablo 6' da Avrupa ülkelerinin endüktif ve kapasitif kompleks şebeke empedansları verilmiştir.

Tablo 4. Altı ticari ülkede yapılan ölçümlerin dağılımı [26].

ÜLKE	Güç Hattı Sayısı
Danimarka	5
İngiltere	11
Fransa	15
Almanya	24
Hollanda	26
İsveç	5

Tablo 5. Toplam Avrupa şebeke empedansının deneysel ölçümleri [26].

Frekans MHz	Mutlak empedans Z-ohm		
	Max	Mean	Min
0.02	13	4.67	0.3
0.025	18	5.76	0.6
0.03	26	7.04	1.1
0.04	80	9.3	1.3
0.05	53	10.5	1.8

Tablo 5.'in devamı

0.075	59	14.7	2.6
0.1	120	18.9	4.3
0.15	81	25.7	4.8
0.2	53	15.9	4.3
0.3	120	35.7	5.3
0.4	390	49.9	5.3
0.5	260	56.6	7.3
0.75	230	68.1	8.1
1.0	320	75.7	7.3
1.5	480	60	6.6
2.1	180	41.3	10
3.0	260	55	9
4.0	660	82	20
5.0	530	106	23
7.5	290	108	20
10	320	114	10
15	200	73	20
20	180	50	20
25	730	127	23
30	800	119	20

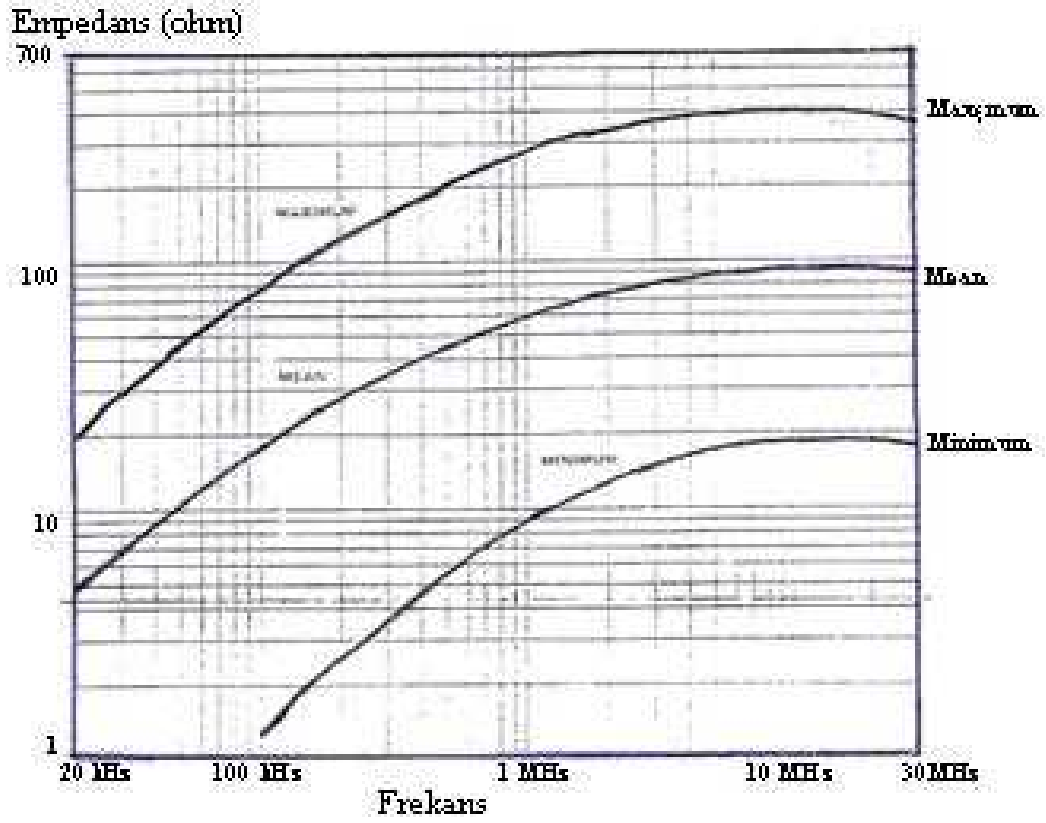
Tablo 6. Toplam Avrupa ülkelerinin kompleks şebeke empedansı [26].

Frekans MHz	Reel kısım Ohm		Sanal kısım Ohm	
	Max	Min	Max endüktif	Max Kapasitif
0.02	12.2	0	10.5	7.0
0.025	13.9	0	17.2	5.1
0.03	21.6	0	15.8	3.9
0.04	33.8	0	22.5	4.9
0.05	52.6	0	30.4	6.5
0.075	51.2	0	45.9	10.8
0.1	90.6	0.1	78.7	7.9
0.15	72.3	2.8	41.9	38
0.2	41.5	3.3	49.8	12.6
0.3	84.9	2.8	109	22.6
0.4	384	3.4	106	138
0.5	234	4.1	157	126
0.75	199	5.4	145	148
1.0	320	6.1	132	91.8
1.5	388	6.3	85	282
2.1	120	0	159	110
3.0	199	8.7	169	250
4.0	598	13.7	279	70
5.0	406	14.5	252	341

Tablo 6.'nın devamı

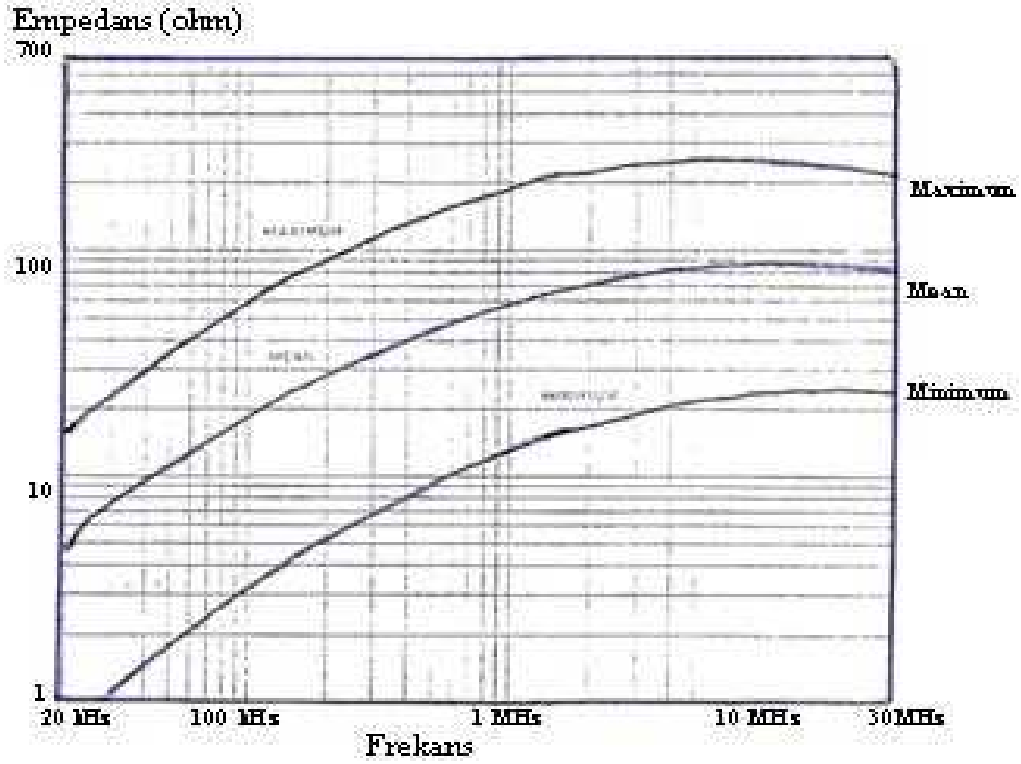
7.5	263	5.8	238	80
10	319	6.4	186	104
15	190	0	180	141
20	76.1	0	177	48
25	319	0	686	480
30	206	0	390	800

Şekil 5, 6, 7 ve 8' de bazı ülkelerin şebeke empedansı ile karşılaştırılmaları gösterilmiştir.

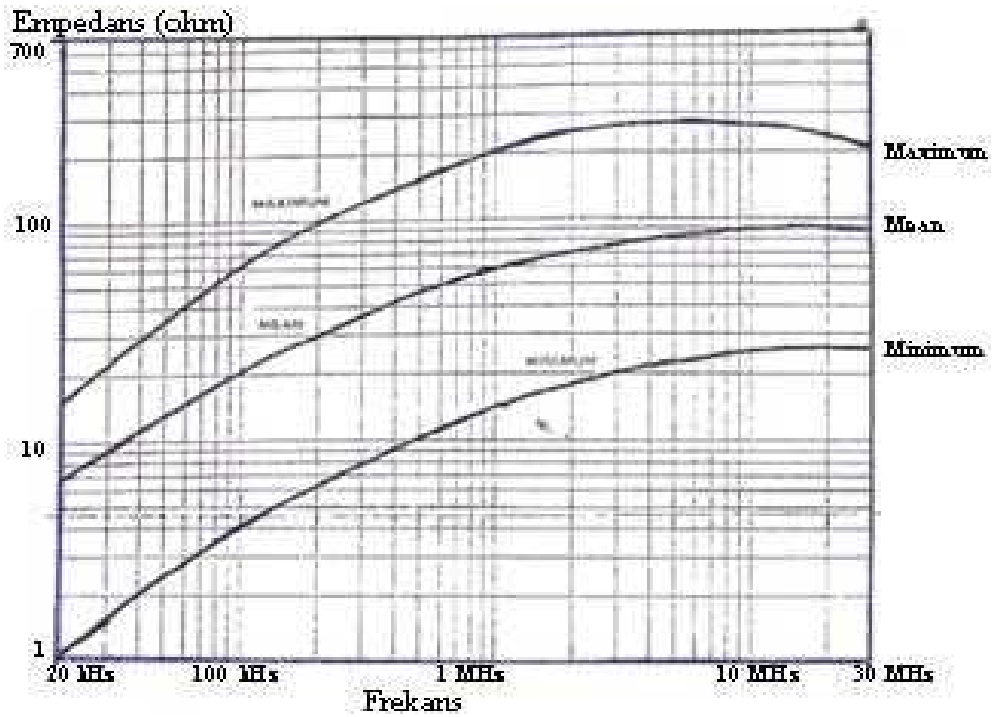


Şekil 5. Toplam Avrupa şebeke empedansı [27].

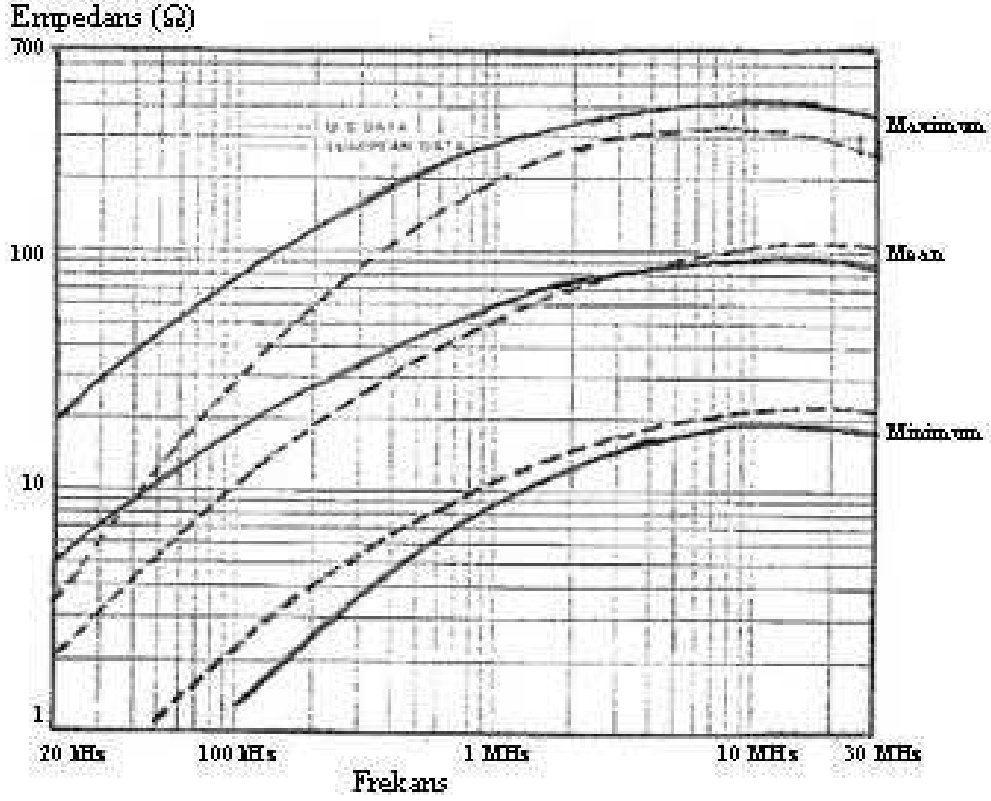




Şekil 6. Batı Almanya şebeke empedansı [27].



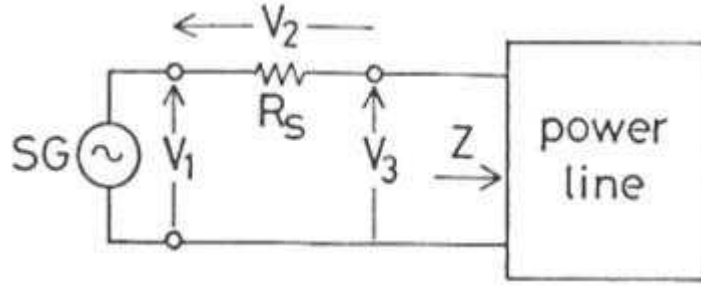
Şekil 7. Hollanda şebeke empedansı [27].



Şekil 8. U.S. ve Avrupa şebeke empedanslarının karşılaştırılması [26].

Şebeke empedansı ile ilgili benzer çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Amerika'da 60 Hz elektrik şebekesinde yapılan bir çalışmada, CELENEC A bandı için hat empedansları ölçülmüş ve 20 kHz için empedans değeri en küçük 1  $\Omega$ , ortalama 1,5  $\Omega$  ve en büyük 3  $\Omega$  olarak tespit edilmiştir [4, 26]. 100 kHz'de ise empedans değeri en küçük 3  $\Omega$ , ortalama 13  $\Omega$  ve en büyük 35  $\Omega$  olarak ölçülmüştür [26].
- Yine CELENEC A bandı için Almanya'da yapılan benzer bir çalışmada, ortalama empedans değeri 20 kHz'de 5  $\Omega$  (*en büyük 20  $\Omega$* ), 100 kHz'de ise 17  $\Omega$  (*en büyük 80  $\Omega$* ) olarak ölçülmüştür [4, 28].
- Bir başka çalışmada şebeke empedansını oluşturan üç önemli parametre (*dağıtım transformatorünün çıkış empedansı, iletim hattı ve yükler*) 5 kHz - 20 kHz frekans aralığında ayrı ayrı incelenmiştir [29].
- Japonya'da yapılan diğer bir çalışmada ise şebeke empedansının frekansa bağlı ifadesi çıkartılmıştır. Ölçümün frekans aralığı 10kHz ile 20 MHz arasında şekil 9 daki devreye göre yapılmış.



Şekil 9. Şebeke giriş direnci ölçüm devresi [30].

$R_s$ 'in sabit direnç olduğu yerde devre diyagramının içinde üç gerilim ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ) değeri ölçülmüş. Giriş empedansının ( $Z$ ) faz açısının  $\phi$  olduğu yerde  $V_1$ ,  $V_2$  ve  $V_3$  gerilimleri ile ilgili denklem:

$$|V_1|^2 = |V_2|^2 + |V_3|^2 + 2|V_2V_3|\cos\phi \quad (6)$$

Empedans ( $Z$ ) ve  $\phi$  aşağıdaki denklemlerde olduğu gibi yazılabilirler.

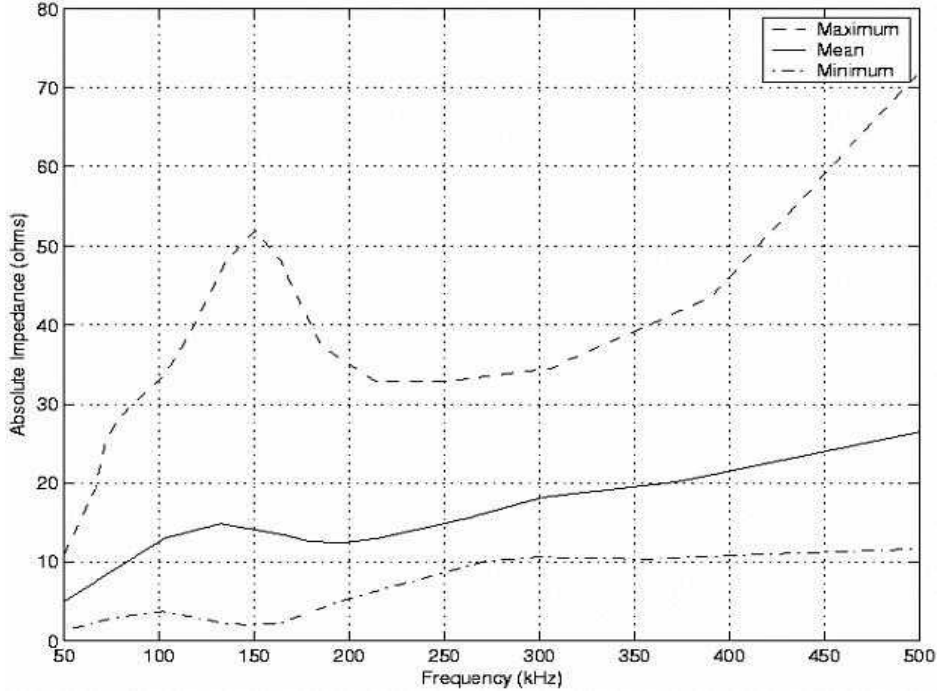
$$|Z| = \frac{V_3}{V_2} R_s \quad (7)$$

$$\cos\phi = \frac{|V_1|^2 - |V_2|^2 - |V_3|^2}{2|V_2||V_3|} \quad (8)$$

Güç hattının empedansı, 1Mhz'in altındaki frekanslar için 2 ile 30 arasındadır. 1MHz ile 20MHz arasındaki frekans aralıklarında empedansın değeri 20 ile 200 arasında değişir ve frekansla birlikte artar. (9) numaralı eşitlik, ölçüm sonuçları üzerinde en son kareler yöntemi kullanılarak elde edilmiştir [30].

$$|Z| = 0,005 * f^{0,63} \quad [\Omega] \quad (9)$$

Nicholson and Malack konumdan konuma olan herhangi bir değişimin hatta bağlı yüklerle değiştiğini açıklamışlardır. Şekil 10. 50Hz – 500kHz frekans aralığındaki çalışmalarından elde edilmiştir [31].



Şekil 10. Empedansın frekansla değişimi [26, 31].

Klasik haberleşmede empedans uyumu  $50 \Omega$ 'luk kablo için  $50 \Omega$ 'luk veri-alıcı kullanılarak sağlanmaktadır [4, 32]. Ancak bu kural enerji hattı haberleşmesinde geçerli değildir. Şebekede giriş empedansı zamana, yüklere ve konuma bağlı olarak değişmektedir. Duruma göre giriş empedansı bazen birkaç  $m\Omega$  bazen birkaç  $k\Omega$  olabilmektedir. Şebekede, giriş empedansı uyumsuzluğu dışında farklı empedans uyumsuzlukları da olabilir. Şebekedeki bu empedans uyumsuzlukları sinyal zayıflamasına yol açar. Şebeke empedansını dengelemek için filtreler kullanılabilir. Ancak bu çok pahalı bir yöntemdir. Her eve hatta her dağıtım kutusuna bir filtre takmak gerekebilir [16].

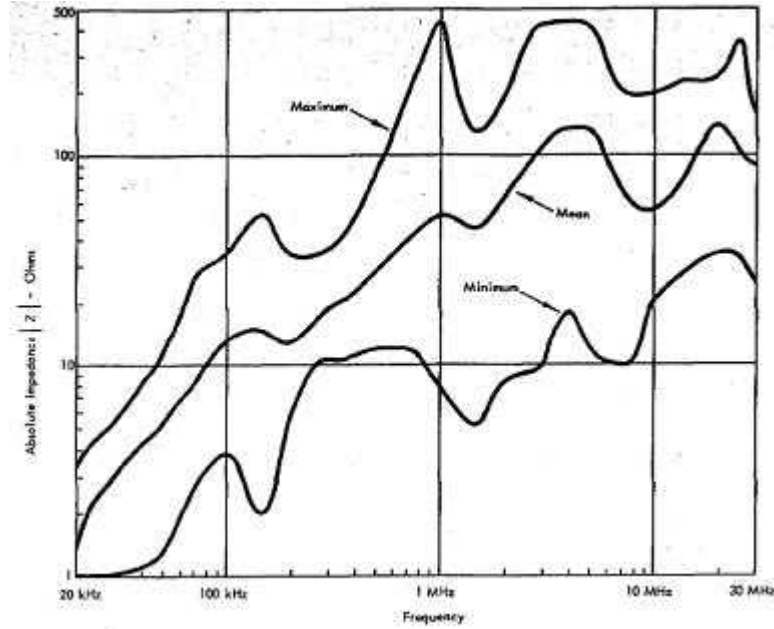
Alçak gerilim hatları için ortalama empedans değeri aşağıdaki etkenlerin sonucudur [17].

- Dağıtım transformatörünün empedansı: Frekansla beraber artar.
- Kullanılan kablonun karakteristik empedansı: Şebekede çok farklı kablolar kullanılmaktadır. Bu kablolar ard arda bağlı endüktanslar ve dirençler şeklinde modellenebilir.
- Şebekeye bağlı cihazların empedansları: Genelde  $10 \Omega$  ile  $1000 \Omega$  arasında değişir.

Transfer fonksiyonunun sanal bileşeni yani alınan sinyaldeki *faz kayması* hakkında

literatürde yapılmış çok az sayıda çalışma vardır. Yapılan çalışmalar faz kaymasının hemen hemen zamandan bağımsız olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmalarda farklı zamanlarda yapılan ölçümler arasında en fazla %10'luk bir değişim gözlenmiştir [16].

Dağıtım trafosu ikincil sargısı, giriş kabloları, ev tesisatı ve elektrik yükleri mevcut empedansı belirlemektedir. Bu empedansın karakteristiği Enerji Hattı Taşıyıcı (PLC) sistemlerinin tasarlanmasında önemlidir. Bu nedenle, bu empedans vericinin çalıştığı ve alıcının işareti elde ettiği sürücü noktadır. Nicholson ve Malack tarafından gerçekleştirilen enerji hattı empedansı çalışmalarının ilklerinden biri şekil 11.'de gösterildiği gibi enerji hattının frekans yanıt çizimini vermektedir [26].



Şekil 11. Nicholson ve Malack tarafından yapılan Enerji Hattı Empedans Ölçümleri [26].

Vines tarafından açıklanan enerji hattının empedansının ölçülmesiyle ilgili bir metod Nicholson ve Malack'ın ( yalnızca 20kHz'e kadar ki frekansı kapsamakta) ilgili frekansta (filtre üzerinden) bir gerilim işaretinin kuvvetlendirilmesi ve filtredeki hem gerilimin hemde akımın ölçülmesiyle ortaya çıkan sonuçları desteklemektedir [29]. Bu rapordaki önemli bir nokta 60Hz'lik enerji işareti olmaksızın ölçümlerin testin basitleştirilmesiyle yapılabileceğidir. 60Hz'lik işaretin varlığı kHz frekans seviyelerinde bir etkiye sahip değildir. Bu ve diğer bazı çalışmalar enerji hattı empedansının bir karakteristik değerle modellenebileceğini kanıtlamıştır:

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (10)$$

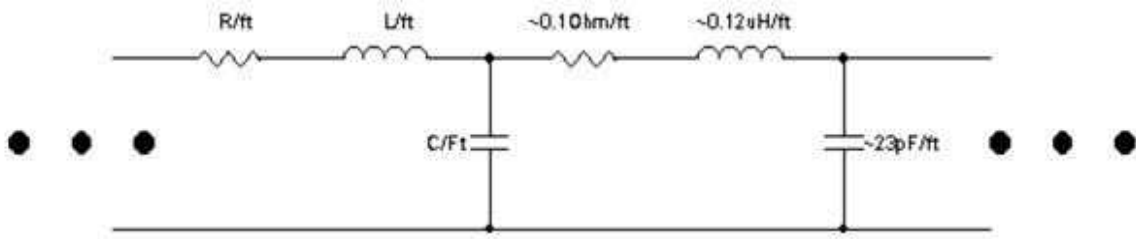
$L = (\mu\text{H}/\text{foot})$  ve  $\mu C = (\text{F}/\text{foot})$ . Vine farklı kablo türlerinde empedansın  $70\Omega$  'dan  $100\Omega$ 'a kadar değiştiğini açıklamıştır. 120 ve 240 V enerji devreleri empedansı frekansla artmaktadır, bu düşünüldüğü gibi endüktif bir davranışı açıkça göstermektedir. Şekil 11'de enerji hattı empedansının  $100\text{kHz}$ 'de 5 ile  $32\Omega$  aralığında olduğu görülebilmektedir. Tanaka tarafından açıklanan ilginç bir buluş çıkış terminalleri (genellikle J-Box olarak bilinen) nedeniyle tüm hat empedansında güçlü bir artış olduğunu göstermektedir [33]. Her bir J-box sonlandırması enerji hattı endüktansını  $1.5 \mu\text{H}$  civarında arttırmaktadır ve bu endüktans artışıyla hat uzunluğu arttırılır. Bu tüm ağ empedansını etkilemektedir ve bu sorunun en aza indirilmesi için dikkatli sonlandırma tavsiye edilmektedir [34].

Enerji hattı empedansı göz önüne alındığında tüm empedanstaki etkilerden biri evlerde kullanılan yüklerin etkisidir. Vine ev ortamında kullanılan çoğu yüklerin empedansının yüksüz enerji hattı empedanslarına göre yüksek olduğunu ( çoğu resistif yüklerle göre) açıklamıştır. Bununla birlikte, bazı yükler (seri veya paralel)  $40\text{kHz}$ 'den yüksek frekanslarda enerji hattı empedansında rezonansa sebep olmaktadır. Bu  $100\text{kHz}$  den fazla frekanslarda protokollerin çalışmasından dolayı önemli bir konudur. Özellikle, Anahtarlamalı Güç Kaynakları (Switched Mode Power Supplies – SMPS) EMI filtreleri nedeniyle oldukça sorun çıkarmaktadır. Bu filtrenin gerçekleştirilmesi için kullanılan kapasitörler iletişim işaretlerini engellemektedir ve kullanıcılar bu kısımlarda PLC bağlantılarını kullanmamalıdır [34].

Dostert tarafından yapılan bir çalışma,  $0.7$  mil kablo uzunluğuna kadar dış enerji hattında (dağıtım seviyesi) işaret zayıflaması  $50 \text{ dB}$ 'e yakınken,  $150 \text{ kHz}$  altındaki frekanslar için  $15 \text{ dB}$  ortalama bir zayıflama olduğunu ortaya koymuştur [35]. Taşıyıcı seviyesinde ki kısıtlamalar nedeniyle bazı örneklerde girişim, iletim işaretini aşmaktadır ve güvenilir hatlar oluşturmaktadır. Bu çalışmanın sonucu dar bant modülasyon tekniklerinin PLC için zayıf bir seçim olduğudur, çünkü o güvenilir data hatalarına sebep olmaktadır. CEBus tarafından kullanılan benzeyen Bir Frekans Sıçrama Yayılma Spektrumu (A Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS) iletişim tekniği önerilmiştir. Frekans değişikliklerinin sebep olduğu FHSS metotlarının güçlüklerinden biri olan jitter senkronizasyon sorunlarına sebep olabilmektedir [34].

### 1.11.1. Enerji Hatlarının Eşdeğer Devresi

Enerji hatlarıyla ilgili olarak bir çok çalışma yapılmıştır ve çalışmalar R-L-C devresi olarak gösterilebileceklerini göstermiştir. Bununla birlikte, kapasite değerinin ihmal edilebilir olmasından dolayı bazı araştırmacılar bu değeri ihmal etmişlerdir. Forti enerji hattının frekansa bağlı sabit bir endüktansla seri bir direnç olarak gösterilebileceği sonucuna varmıştır [36].



Şekil 12. Downey ve Sutterlin Enerji Hattı Modeli [37]

$$Z = R(f) + sL \quad (11)$$

En pratik yaklaşımlardan biri Downey ve Sutterlin tarafından verilmiştir, burada enerji hattı Şekil 12 'de gösterildiği gibi yayılmış bir R-L-C ağı olarak modellenmiştir [37]. 9,14 m uzunluğunda ki 12-2 BX kablo için yukarıdaki model kullanıldığında şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır: Seri endüktans: 3.6  $\mu$ H, Şönt kapasite: 690pF ve Seri Direnç: 0.3 $\Omega$ . Yukarıdaki değerler ve (10) ifadesi kullanılırsa  $Z_c = \sim 74\Omega$ .

Bu bilginin anlamı; enerji hattı, uçlarına bağlanacak yükün empedansının çeşidine bağlı olarak farklı bir karakteristik göstereceğidir: Düşük empedansa bağlandığında endüktif ve yüksek bir empedansa bağlandığında kapasitif gözükecektir. Ayrıca, enerji hattının gerilim bölücü olarak ta davrandığı görülebilir (iletişim işaretini zayıflatır), şebeke bağlanan farklı yükler nedeniyle, 100kHz (artışın 0.25 dB/kHz olduğu açıklanmaktadır) üzerindeki frekanslar için zayıflama artmaktadır [38]. Alıcı tarafta işaretin gücü, vericinin, alıcı ve enerji hattının empedansı eşit olduğunda maksimumdur. Bu yüzden bilginin transferini en iyi şekilde getiren işaret bağlama mekanizmasının dikkatlice incelenmesi önemlidir. Tartışılan bütün gerçekler göz önüne alındığında, kuplaj devresinin tasarımı için enerji hattı empedansının hangi değerinin kullanılacağına karar vermek bu değer

kablonun, yükün ve ona bağlanan kablonun uzunluğuna bağlı olduğundan neredeyse imkansızdır. Nicholsan ve Malack tarafından verilen değer aralığı iyi bir başlangıç noktasıdır [26].

### 1.11.2. Enerji Hattı Karakteristiklerinin Test Edilmesi

Enerji hattı iletişim sistemi tasarlanırken, limitlerin ve uğraştırıcı şeyler açıkça anlaşılması gerekmektedir. Bu karakteristiklerin testi cihazın gerçek hayattaki şartları sağlayan şartlarla simule edilmesini sağlayacak bir yolla gerçekleştirilmelidir. Birkaç üretici kendi protokollerinin faydalarını göstermek için tasarladıkları test metotlarını geliştirmişlerdir[39, 40].

J.P. Rhode, A.W. Kelley ve M.E. Baran'de enerji hattı empedansının frekansa karşı karakteristiğini ölçmek için Dijital Implemented Network Analyzer cihazını önermektedir [41]. Bu metodun avantajı ölçümlerin mevcut gerçek yük şartlarında enerji verilmiş sistemlerde gerçekleştirilmesidir. Burada kullanılan cihaz uygulanan test işaretinin aynı frekansında akım ve gerilim işaretinin reel ve sanal bileşenlerini bulmak için basit bir Fourier dönüşümü işareti gerçekleştirmek amacıyla dijital işaret üreticinin kullanılmasını sağlamaktadır. Empedans sisteme verilen akım ve üretilen gerilimden hesaplanmaktadır. İstenen frekans üzerindeki seri değerler üzerindeki ölçümün tekrarlanmasıyla bir frekans fonksiyonu olarak hat empedansı karakterize edilmektedir. Araştırmacılar test hattına bağlı olan yükler tarafından oluşturulan gürültü veya harmonik bozulmadan bu ölçüm tekniğinin bağımsız olduğunu iddia etmektedirler [34].

## 1.12. Elektrik Devre Empedansları ve Kısa Devre Güçleri

### 1.12.1. Şebeke

Şebeke Kısa Devre Gücü :  $S_K'' (MVA)$

Çoğunlukla enerjinin temin edileceği elektrik idaresine sorularak öğrenilir. Eğer öğrenmek mümkün olmuyorsa 154 kV ve daha yukarı gerilim değerine sahip şebekeler için sonsuz güçte , 35 kV şebeke için 500 MVA ve 6,3 kV için ise 250 MVA alınabilir [42].

Şebeke Kısa Devre Empedansı:

$$Z_N = \frac{U_{NP}^2 (kV)^2}{S_K'' (MVA)} \cdot (ohm) \quad (12)$$



$U_{NP}$  (kV) : Şebeke tarafındaki gerilim değeri

### 1.12.1.1. Enerji Nakil Hatları

Enerji Nakil Hattı Kısa Devre Gücü :

$$S''_{ENH} = \frac{U_N^2 (kV)^2}{Z_{ENH} (ohm)} \cdot (MVA) \quad (13)$$

$U_N$  : Hattın Nominal gerilimi

Enerji Nakil Hattı Empedansı:

$$Z_{ENH} = L_{ENH} (km) (r_{ENH} (ohm / km) + x_{ENH} (ohm / km)) \cdot ohm \quad (14)$$

$L_{ENH}$  : Enerji nakil hattının uzunluğu

$r_{ENH}$  (ohm / km) : Enerji nakil hattının birim omik direnci

$x_{ENH}$  (ohm / km) : Enerji Nakil Hattının birim reaktansı

Enerji nakil hattı empedansı:

$$Z_{ENH} = L_{ENH} \sqrt{r_{ENH}^2 + x_{ENH}^2} \cdot (ohm) \quad (15)$$

### 1.12.1.2. Kablo Hatları

Kablo Hattı Kısa Devre Gücü;

$$S''_{KAB} = \frac{U_N^2 (kV)^2}{Z_{KAB} (ohm)} \cdot (MVA) \quad (16)$$

$U_N$  : Hattın Nominal gerilimi

Kablo Hattı Empedansı;

$$Z_{KAB} = L_{KAB} (km) (r_{KAB} (ohm / km) + x_{KAB} (ohm / km)) \cdot ohm \quad (17)$$

$L_{KAB}$  Kablo hattının uzunluğu

$r_{KAB}$  (ohm / km) Kablo hattının birim omik direnci

$x_{KAB}$  (ohm / km) Kablo Hattının birim reaktansı

Kablo hattı empedansı:

$$Z_{KAB} = L_{KAB} \cdot \sqrt{r_{KAB}^2 + x_{KAB}^2} \cdot (ohm) \quad (18)$$

### 1.13. Sinyal Zayıflaması

Sinyal zayıflaması alçak gerilim hatları için km başına 100 dB ve orta gerilim hatları için km başına 10 dB'dir [4, 27]. Özellikle alçak gerilim hatlarında görülen yüksek sinyal zayıflaması, iletim hattına en fazla 1 km aralıklarla yükselteçlerin koyulmasını zorunlu hale getirmektedir. Sinyal zayıflaması aşağıdaki etkenlere bağlıdır [4, 16].

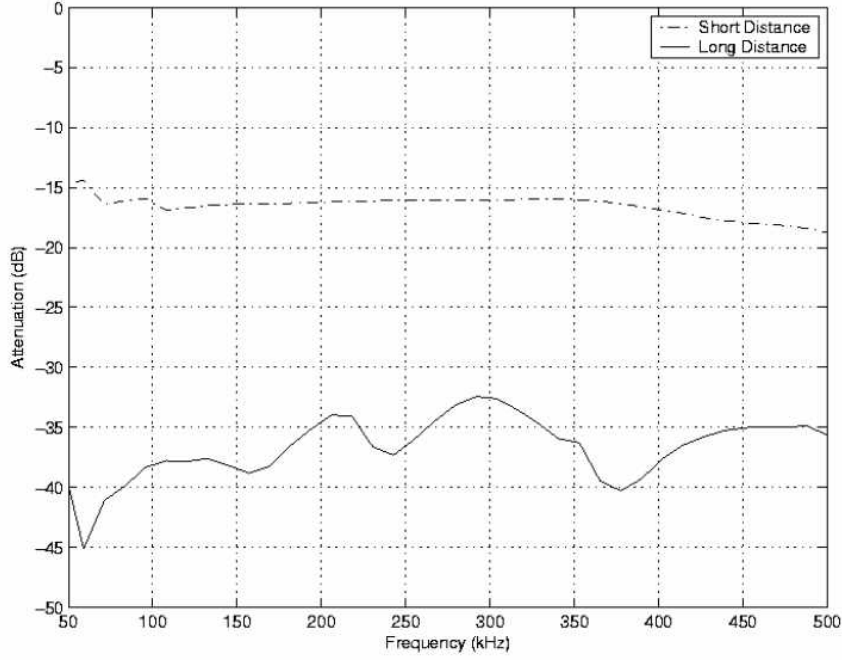
- Zaman bağımlılığı: Güçlü bir gece gündüz hassasiyeti vardır.
- Frekans bağımlılığı: 100 kHz'in üstündeki frekanslarda zayıflama km başına 0,25 dB artmaktadır [4, 17]. İletim hattının etkisiyle 400 m'den uzun kablolarda zayıflama bazı frekans değerlerinde çok büyük değerlere ulaşmaktadır. Zayıflama frekansa bağlı olarak artmaktadır [4, 32]. 10 MHz'in üstündeki frekanslarda alınan sinyali gürültüden ayırmak çok zordur. Bu durum haberleşme mesafesini sınırlamaktadır. Kanalın frekans cevabının genliği, artan frekansla beraber azalması dışında düzgün değildir. Bu nedenle kanal *frekans seçicidir*.

- Mesafe bağımlılığı: Genelde sinyalin km başına 100 dB zayıfladığı kabul edilir [17].

- Fazlar üzerinden sinyal zayıflaması: Fazdan faza sinyal zayıflaması 40 dB gibi yüksek değerlere ulaşabilir [17]. Almanya'da yapılan bir çalışmaya göre kabul edilebilir 40 dB sinyal zayıflaması için erişim mesafesi 20 MHz'de 100 m, 10 MHz'de 140 m, 5 MHz'de 200 m ve 2 MHz'de 300 m'dir [43].

Şekil 13. 'te Saskatchewan Üniversitesinde Hanson tarafından mühendislik binasında gerçekleştirilen tek faz üzerindeki zayıflama gösterilmiştir [44]. Ölçümler 4 m ve 23 m olarak ayrılmış kısımlarda gerçekleştirilmiştir.

Kısa mesafe ölçümleri, elektrik yüklerinin olmadığı kısımlarda gerçekleştirilmiş ve bu ölçümler sonucunda 15 ve 20dB arasında oldukça düz bir zayıflama gözlemlenmiştir. Uzun mesafeli ölçümlerde, aynı şekilde elektrik yüklerinin olmadığı kısımlarda, 33 ve 44dB arasında değişik frekanslarla zayıflama gözlemlenmiştir [44].



Şekil 13. Zayıflamanın frekansla değişimi [31, 44].

#### 1.14. İşaret Gürültü Oranı

İşaret gürültü oranı (*SNR*, *signal-to-noise ratio*) haberleşme sisteminin performansını hesaplarken önemli bir parametredir [31]. SNR aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir [4, 16].

$$SNR = \frac{\text{Alınan Güç}}{\text{Gürültü Gücü}} \quad (19)$$

Bu parametre haberleşme sisteminin performansı ile ilişkilidir. SNR ne kadar büyük ise haberleşmede o kadar iyidir [16].

Filtre kullanılması SNR'yi artırır. Her evde, ev içi elektrik hatlarında oluşan gürültünün şebekeye karışmasını engelleyecek filtrelerin olması, şebekedeki gürültü seviyesini azalmasını sağlar. Ancak bu kurulum maliyetlerini artırır [4, 16].

#### 1.15. Kanala Sinyal Kuplajı

Güç hattı haberleşme ünitesini şebekeye bağlamanın iki yolu vardır [4, 17].

- Kapasitif kuplaj: Bu yöntemde sinyalin hatta kuplajı ve sinyalin şebeke gerilimi üzerine modüle edilmesi bir kapasite ile gerçekleştirilir. Bu yöntem verimli fakat

haberleşme ünitesinin doğrudan şebeke ile temas halinde olması nedeniyle pek güvenli değildir.

- Endüktif kuplaj: İşaretin hatta verilmesi bir endüktans üzerinden gerçekleştirilir. Bu yöntemde kayıpların fazla olmasına karşın şebeke gerilimi ile doğrudan temas olmadığı için kapasitif kuplajdan daha güvenlidir. Güç hattı haberleşme cihazlarında güvenli olduğu için daha ziyade endüktif kuplaj kullanılır.

Enerji hattı haberleşme sistemlerinde güvenlik önemliyse endüktif kuplaj, verim önemliyse kapasitif kuplaj kullanılır.

### 1.16. Enerji Hattı Haberleşmesinde Kullanılan Modülasyon Teknikleri

Enerji hattı kanalı sorunlu bir ortamdır. Kanal karakteristikleri zamana, konuma ve yüklere bağlı olarak değişmektedir. Şebekeyi haberleşme amaçlı kullanmak karmaşık modülasyon teknikleri gerektirir [4, 16].

Enerji hattı haberleşmesinde esas amaç sınırlı bant genişliğinde, mümkün olan en hızlı ve en güvenilir haberleşmeyi gerçekleştirmektir. Bu amaç doğrultusunda birçok modülasyon tekniği denenmiş ve halen yeni modülasyon teknikler üzerinde çalışılmaktadır. Bu modülasyon teknikleri arasında FSK (*Frekans Kaydırmalı Anahtarlama, Frequency Shift-Keying*), OFDM (*Dikey Frekans Bölmeli Çoğullama, Otogonal Frequency Division Multiplexing*) ve DS-SS diğerlerine göre öne çıkmıştır. 4 MHz – 20 MHz frekans bandında bu üç modülasyon tekniğini birbirleri ile karşılaştıralım.

- FSK: Yüksek hızlı enerji hattı haberleşmesi için uygun değildir. Bu modülasyon tekniği kullanılarak 500 kbps'lik veri hızlarının üzerine çıkmak neredeyse imkansızdır [4, 45].
- OFDM: Haberleşme kanalının bir kısmında yüksek sinyal zayıflaması veya sıkışıklık meydana gelmesi durumunda verimi oldukça düşer. Vericinin kanalı öğrenmesi sağlanırsa yüksek verimlilikte haberleşme yapılabilir. Bu durumda veri hızı 10 Mbps'nin üzerine çıkabilir [4, 45].
- DS-SS: DS-SS tavsiye edilen bir modülasyon tekniğidir. Bu yöntem ile 1 Mbps'lik veri hızına kolaylıkla ulaşılabilir. 10 Mbps ve bu değere yakın veri hızlarında verimi düşüktür. 5 Mbps veri hızı bu teknik için ideal veri hızıdır. Bu veri hızında verimli ve sağlıklı haberleşme yapmak mümkündür [4, 45].

Enerji hattı haberleşmesindeki bir diğer problem sinyal zayıflamasının frekansla beraber artmasıdır [16]. 20 MHz'in üstündeki frekanslarda, orta mesafeli haberleşme uygulamalarında bile sinyal zayıflaması nedeniyle yollanan işaret, gürültü seviyesinin altına düşmektedir [16]. Yüksek frekans bandında gürültü seviyesinin en düşük olduğu 2 MHz – 20 MHz frekans bandı haberleşme için en uygun frekans aralığıdır [45].

Her ne kadar 2 MHz – 20 MHz frekans aralığı haberleşme için en uygun frekans bandı olsa da bu bant genişliği yüksek hızlı haberleşme uygulamaları için yeterli değildir. Başlangıçta yüksek hızlı haberleşme uygulamaları 1 MHz– 30 MHz aralığında yapılmaktaydı. Sonra bu frekans bandı 1 MHz– 100 MHz aralığına genişlemiş, günümüzde ise 100 MHz'in üstündeki frekans değerlerinde dünyanın farklı yerlerinde çalışmalar yapılmaktadır.

#### **1.16.1. Enerji Hattı Haberleşmesi Teknolojileri**

Enerji hattı haberleşmesi teknolojileri ve standartları başlangıçta araştırma amaçlı olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalar LonWorks, X-10, OFDM, Passport, CEBus ve HomePlug standartlarını kapsamaktadır. Sonra standartlar üzerine kurulmuş teknolojiler üzerine odaklanılmıştır. Aynı zamanda ev içi haberleşme uygulamalarında, şebekenin veri iletim ortamı olarak kullanılmasının avantajları ve faydaları göz önüne alınmıştır. Servis kalitesi, veri iletim hızı, sınırlamalar, dezavantajlar ve diğer önemli faktörler göz önüne alınmıştır [4].

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA

### 2.1. Giriş

Bu çalışmada, oluşturulan kuramsal modellerin ülkemiz için gerçekçiliğini belirlemek amacı ile zayıflama ve hat empedansının zaman ve frekansla değişimleri ölçülecektir. Hattaki 220 V- 50 Hz'lik enerji sinyalini süzmeye yarayan bağlantı/izolasyon devresi tasarılacak ve gerçekleştirilecektir. Zayıflama ölçümleri faz-nötr, faz-toprak ve nötr-toprak olmak üzere üç farklı şekilde yapılacaktır. Özellikle eski yerleşim alanları, yeni yerleşim alanları ve endüstriyel bölgeler olmak üzere üç farklı yerleşim bölgesinde bu ölçümlerin yapılması öngörülmektedir. Elde edilen kuramsal ve deneysel veriler kullanılarak AGH üzerinden iletişim için daha gerçekçi bir model oluşturulması hedeflenmektedir.

### 2.2. Enerji Hattı Data İletim Standartları

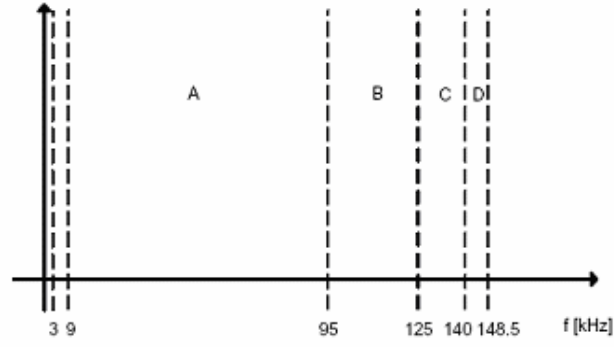
Yüksek hızlarda çalışabilmek için, büyük bant genişliğine ihtiyaç duyulmaktadır. PLC sistemleri için kullanılacak bant genişlikleri CENELEC standartları ile belirlenmiştir. Şekil 14.' da görüldüğü gibi ilk iki bant (3 - 9 ve 9 - 95 kHz) enerji üreticileri için ayrılmıştır. Geri kalan diğer üç bant ise enerji sağlayıcılarının kullanıcıları için tahsil edilmiştir. Bant genişliğinde ki sınırlandırmanın yanında, kullanılacak güçler içinde sınırlandırma yapılmıştır [46]. Şekil 14' da bu sınıflandırma gösterilmiştir.

A-Bandı(3 kHz – 95 kHz) elektrik üreticileri için,

B-Bandı(95 kHz – 125 kHz) Erişim protokolu olmadan bütün uygulamalar için kullanılabilir,

C-Bandı(125 kHz – 140 kHz) Ev ağları için ayrılmıştır,

D-Bandı(140 kHz – 148.5 kHz) Alarm ve güvenlik sistemleri için ayrılmıştır [46].



Şekil 14. CENELEC standartlarına göre bant genişlikleri [46].

PLC sinyalleri CENELEC standartlarında olmalıdır. Avrupa da, CENELEC EN-50065-1 standardı olarak şekillenmiştir. Bu standarda göre frekans bandı, sinyal genliği ve sinyal seviyesi özellikleri:

95 KHz - 148.5 KHz frekans aralığının kullanım sınırlamaları:

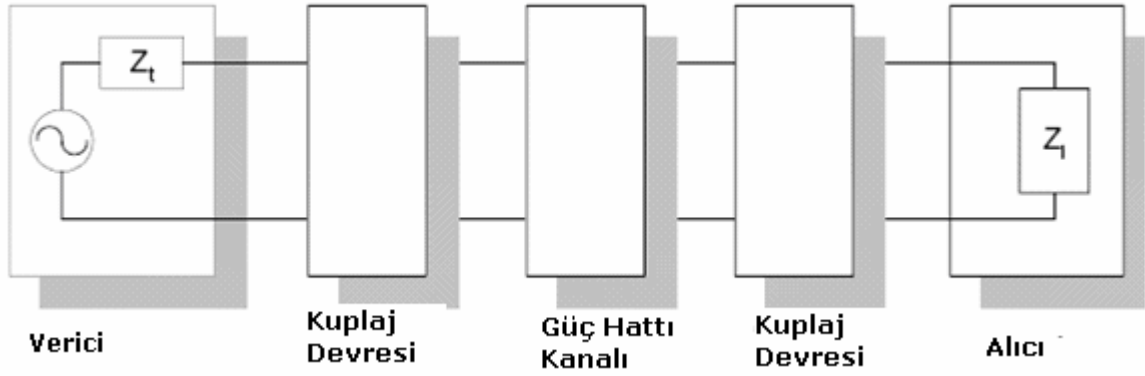
116 dB  $\mu$  V ile sınırlandırılmış genel kullanım için ve özel uygulamalar içindir. Ev ağlarında izin verilen sinyal seviyesi 116 dB  $\mu$  V, endüstriyel alanlar da sinyal seviyesi 134 dB  $\mu$  V ile sınırlandırılmıştır [10].

Bit oranını artırmak için, daha çok bant genişliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Son zamanlarda ki araştırmalar 1 ve 20 MHz arasında ki frekansların kullanımına yöneliktir [47, 48, 49, 50].

Yüksek hızlarda çalışıldığında diğer haberleşme sistemlerinin bandına düşme olasılığı artmaktadır. Diğer sistemlerle girişim meydana gelebilmektedir [10, 49, 50].

### 2.3. Enerji Hattı Haberleşme Sisteminin Modellenmesi

Enerji hatlarının hepsi kendine özgü karakteristikler gösterir. Şekil 15.' de haberleşme kanalı olarak enerji hattının kullanıldığı bir dijital haberleşme sistemi gösterilmektedir. Haberleşme sisteminde ki en önemli iki parametre alıcı devredeki  $Z_i$  giriş direnci, ve verici devredeki  $Z_t$  çıkış direncidir [46].



Şekil 15. Enerji hatları için dijital haberleşme sistemi [46].

Şimdi bu birimleri kısaca tanıyalım.

- Verici: Çalışma frekansı ( $f_s$ ), en büyük sinyal genliği ( $s_p$ ) ve verici çıkış empedansı ( $Z_T$ ) olmak üzere üç temel parametreye sahiptir. En büyük verici sinyal genliği aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$s_p = \max\{|s(t)|\} \quad (20)$$

Burada  $s(t)$  verici çıkış sinyalidir.

- Enerji hattı kanalı: Haberleşme kanalı verici ile alıcı arasındaki fiziksel ortamdır. Transfer fonksiyonu ( $H(f)$ ), darbe cevabı ( $h(t)$ ) ve toplamsal gürültü ( $n(t)$ ) olmak üzere üç temel parametreye sahiptir.
- Alıcı: Giriş empedansı ( $Z_L$ ) alıcının en önemli parametresidir.
- Kuplaj devresi: Kuplaj devresi haberleşme sistemini enerji hattına bağlamak için kullanılır. Kuplaj devresinin iki amacı vardır. Birincisi, 50Hz güç dağıtım sisteminin işaretinden cihazı korumak. İkinci ana kısmı ise haberleşme için kullanılacak frekans bandını ayırmaktır. Bu alıcının dinamik aralığını artırır ve kanalda girişim olmamasını sağlar [10, 46].

### 2.3.1. Enerji Hattı Haberleşmesi Kanal Modeli

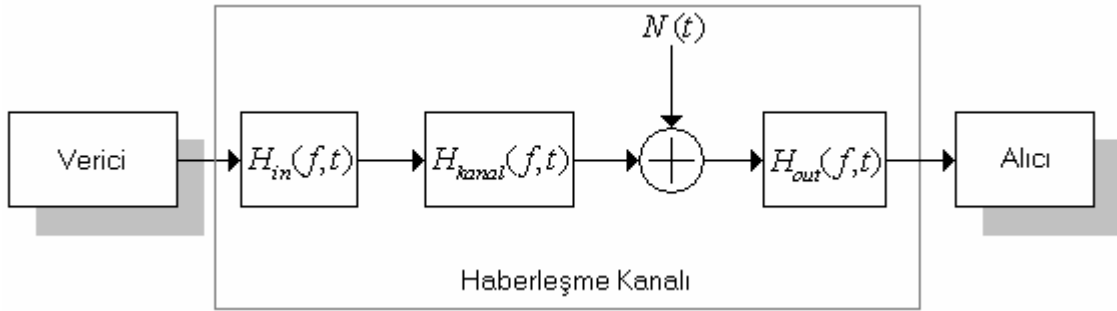
Enerji hattı haberleşme sisteminde performansı düşüren bazı bozucu etkiler vardır [51]. Bunlar:

- Verici tarafındaki empedans uyumsuzlukları
- Kanalın sinyal zayıflatması



- Bozulmalar (*gürültü*)
- Alıcı tarafındaki empedans uyumsuzlukları
- Bozucu etkilerin zamanla değişimi

Şekil 16.'de yukarıdaki tüm parametreleri kapsayan bir kanal modeli görülmektedir [4, 51]. Gürültü dışındaki tüm bozucu etkiler kendi frekans cevapları tarafından karakterize edilen *zamanla değişen doğrusal filtre* (*time-variant linear filters*) davranışı göstermektedir [52, 53].



Şekil 16. Enerji hattı kanalında görülen bozucu etkiler [51].

Transfer fonksiyonu  $H(f)$  ve darbe cevabı  $h(t)$  olan bir kanal üzerinden iletim esnasında  $s(t)$  sinyali zayıflar ve toplamsal gürültü nedeniyle bozulmaya uğrar. Biz alıcı tarafında, zayıflatılmış verici sinyali ( $z(t)$ ) ile toplamsal gürültünün bir karışımı olan  $r(t)$  sinyalini alırız [23].

$$r(t) = h(t) * s(t) + n(t) \quad (21)$$

Alınan sinyal ( $r(t)$ ) üzerinden mesaj bulma işleminde işaret gürültü gücü oranı ( $SNR$ ,  $S/R$ , *Signal-to-Noise Power Ratio*) önemli rol oynar. Bit hata olasılığı ( $BEP$ , *Bit Error Probability*)  $SNR$  tarafından belirlenir. Alıcı tarafındaki  $SNR$  kullanılan frekans bölgesindeki sinyal zayıflaması ve girişimden yararlanılarak hesaplanılabilir. Kanal modelindeki tek bağımsız parametre verici sinyal genliğidir ( $|s(t)|$ ) [23].

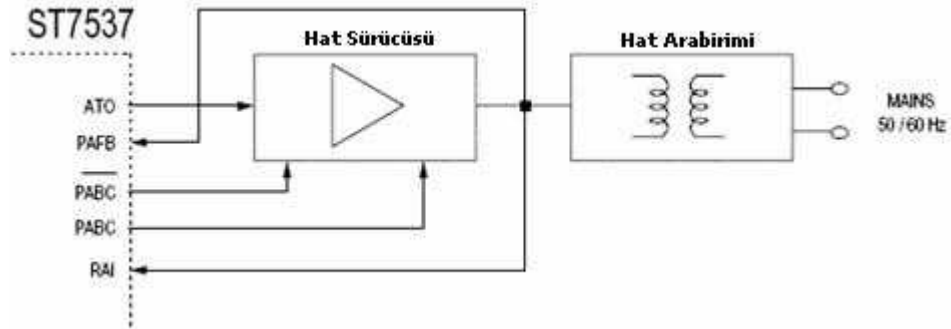
## 2.4. Bağlantı / İzolasyon Devresi

Devre, enerji sinyalini zayıflatıp haberleşme frekansındaki sinyali en az kayıpla alma görevini üstlenmiştir. Çeşitli koruma elemanlarının yanısıra 159 nF'lık bir kuplaj kapasitörü ile yüksek frekans ve gerilimlerde çalışabilen bir trafo içermektedir.

Hat üzerinden alınan haberleşme sinyalinin spektral güç yoğunluğuna bakılmış ve enerji sinyalinin izolasyonun -86.34 dB olduğu ölçülmüştür [1].

### 2.4.1. Enerji Hattı Arabirimi

Enerji hattı arabirimi ST7537' yi enerji hattına kuple etmek için kullanılır. CENELEC ve FCC özelliklerini karşılamaktadır. İletim modunda işareti kuvvetlendirir ve filtreden geçirir. Alıcı modda ise işaretin enerji hattından alınmasını sağlar. Bu arabirim devreyi arklara ve aşırı gerilimlere karşı korumaktadır. Şekil 17' de hat sürücüsü ve arabiriminin blok şeması görülmektedir [10].



Şekil 17. Enerji Hattı Arabirimi Blok Şeması [54].

### 2.4.2. Hat Arabirimi

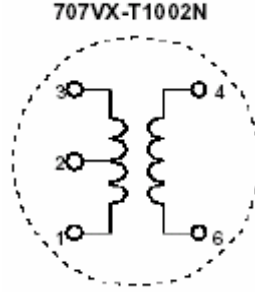
Hat sürücüsünü enerji hattına adapte etmek için bir trafo (TOKO T1002N) kullanılmaktadır [10]. Trafo;

- Enerji hattıyla diğer arabirimleri birbirinden izole etmektedir,
- İletilmek istenen sinyali enerji hattına aktarmaktadır,
- Gönderilen işareti enerji hattından almaktadır,
- 50Hz/60Hz lik işareti filitre etmektedir,
- İletilen işarettteki harmonikleri filtre etmektedir.

Trafonun ilk sarımı bant geçiren süzgeç görevi görmektedir.

### 2.4.3. 707VX – T1002N Trafosu

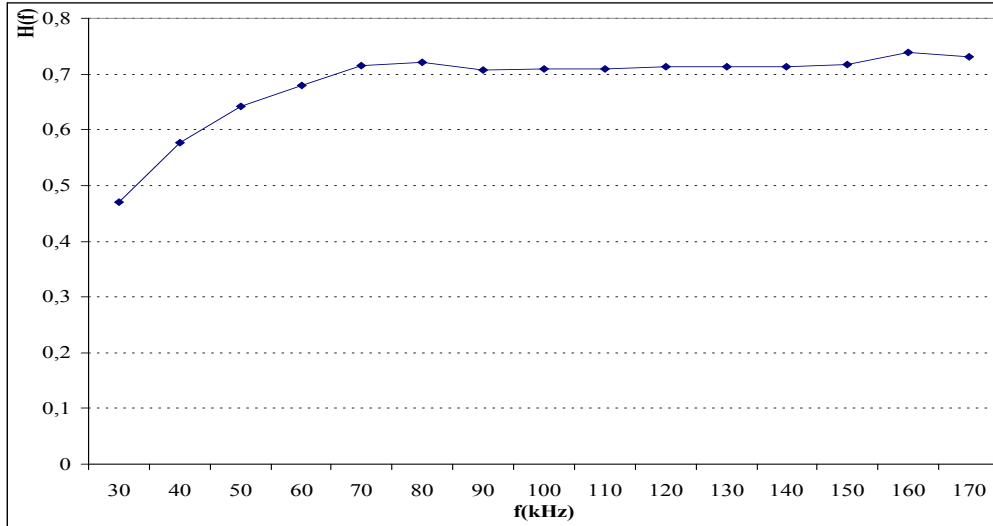
Şekil 18.' de TOKO trafomuzun bacak bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 18. 707VX – T1002N trafosu bağlantı şekli [55].

1 – 2 numaralı bacaklar arasındaki sarım sayısı 20 tur, 2 – 3 numaralı bacaklar arasındaki sarım sayısı 100 tur, 4 – 6 numaralı bacaklar arasındaki sarım sayısı 20 turdur.

TOKO T1002N (100kHz) trafosu TOKO firması tarafından üretilmektedir. 2 primer sarım , 1 sekonder sarıma sahiptir. Bu sarımların oranı 4:1:1 dir. Sarımlar  $L1 = 9.4\mu\text{H}$  ve  $L2 = 140 \mu\text{H}$  dir. Şekil 19' de trafomuzun değişik frekanslardaki transfer fonksiyonu verilmiştir.



Şekil 19. 707VX – T1002N Trafosu'nun transfer fonksiyonu

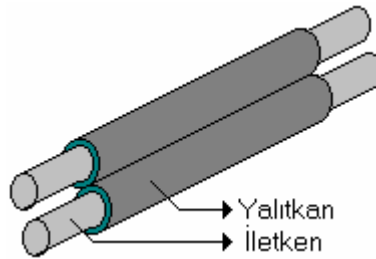
## 2.5. Empedans Analizi

Bir konutun ortalama yük değerinin  $2 \Omega$  ile  $14 \Omega$  arasında değiştiği bildirilmiştir [8]. Türkiye şartlarında beklenen değer ise  $4 \Omega$  ile  $8 \Omega$  arasındadır [1]. Burada yapılması gereken işlem ölçüm alınacak yerlerde bulunan binaların ortalama olarak yük değerlerinin çıkarılması ve buna göre bir model oluşturulmasıdır.

Haberleşme frekansında hattın giriş empedansının ölçümüne literatürde pek rastlanmamıştır. Bu konudaki önerimiz değişik frekanslarda hattın değişik noktalarında ölçüm yoluyla elde edilecek akım ve gerilim bilgisinden (empedans ,uzunluk), (empedans,frekans; uzunluk sabit) ilişkilerine geçmek olacaktır. Bunun için bağlantı/izolasyon devresi de kullanılacağından hat empedansına bağlantı/izolasyon devresinin etkisi dikkate alınmalıdır.

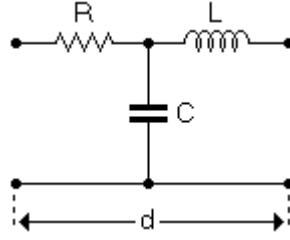
### 2.5.1. Giriş Empedansı

Geleneksel haberleşmede empedans uyumunun sağlanmasında, 50  $\Omega$ 'luk verici-alıcı için 50  $\Omega$ 'luk kablo kullanmak yeterlidir. Ancak enerji hattı şebekesi için bu durum söz konusu değildir. Enerji hattında giriş veya çıkış empedansı zamana, yüklere ve konuma bağlı olarak değişir. Duruma göre giriş veya çıkış empedansı birkaç miliohm ( $m$ ) kadar küçük ve birkaç kiloohm ( $k$ ) kadar büyük olabilir [4, 11, 21, 51, 56, 57, 58, 59]. Giriş empedansı ( $Z$ ) verici tarafından görülen empedanstır. Enerji hattı haberleşmesi kanalını tek fazlı alçak gerilim kablosu kabul ederek hat modelini oluşturalım. Alçak gerilim kabloları biri faz diğeri nötr olmak üzere yalıtılmış iki iletken oluşmaktadır. Şekil 20' de tek fazlı alçak gerilim kablosunun katmanları gösterilmiştir.



Şekil 20. Tek fazlı alçak gerilim kablosu [4].

İletim hattı kullanılan iletkenin cinsine, boyuna ve kesitine bağlı olarak bir tel direncine ( $R$ ), hattın akım aktığı durumda oluşan manyetik alandan dolayı bir hat endüktansına ( $L$ ) ve elektrik alandan dolayı bir hat kapasitesine ( $C$ ) sahiptir. Bu hat parametreleri göz önüne alınarak, yapılacak tüm hesaplamalarda şekil 21'deki hat modeli kullanılacaktır [4].



Şekil 21. Hat modeli [4].

Hat boyunu  $d$ , iletken boyunu  $l$  olarak tanımlayalım. Bu durumda iletken boyu

$$l = 2d \quad (22)$$

şeklinde ifade edilebilir. Hattın tel direnci  $R$ , endüktansı  $L$  ve kapasitesi  $C$  simgeleri ile temsil edilsin. Hattın  $R$ ,  $L$  ve  $C$  parametreleri ölçülerek bulunabileceği gibi üretici firmalar tarafından verilen katalog bilgileri kullanılarak da hesaplanabilir.

Kilometre başına hat direnci  $R_{km}$ , kilometre başına hat endüktansı  $L_{km}$ , kilometre başına hat kapasitesi  $C_{km}$ , endüktif reaktans  $X_L$ , kapasitif reaktans  $X_C$ , açısal hız  $\omega$  ve frekans  $f$  olmak üzere aşağıdaki ifadeler elde edilebilir.

$$R = R_{km}l \quad [\Omega] \quad (23)$$

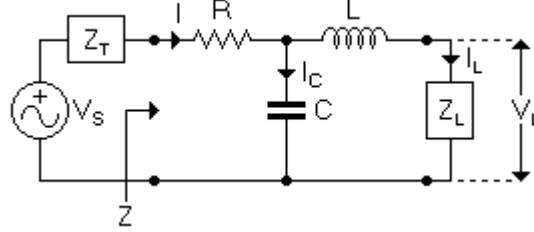
$$L = L_{km}l \quad [H] \quad (24)$$

$$C = C_{km}d \quad [F] \quad (25)$$

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad [\Omega] \quad (26)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \quad [\Omega] \quad (27)$$

Şimdi şekil 22' de gösterilen hat modelini kullanarak giriş empedansının ifadesini çıkartalım.



Şekil 22. Sistem modeli [4].

$Z$  giriş empedansı,  $Z_T$  verici çıkış empedansı,  $Z_L$  alıcı giriş empedansı,  $V_s$  kaynak gerilimi,  $V_L$  alıcı giriş gerilimi,  $I$  ana kol akımı,  $I_C$  kapasite üzerinden akan akım ve  $I_L$  alıcı giriş akımıdır. Alıcı giriş empedansı  $Z_{Lx}$  ve  $Z_{Ly}$  olmak üzere reel ve imajiner bileşenlerden oluşmaktadır. Aynı şekilde giriş empedansı da reel  $Z_x$  ve imajiner  $Z_y$  bileşenlerinden oluşur.

$$Z = Z_x + jZ_y \quad (28)$$

$$Z = Z_{Lx} + jZ_{Ly} \quad (29)$$

Giriş empedansı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} Z &= R + (X_C // (Z_L + X_L)) \\ &= R + \left( \frac{1}{j\omega C} // (Z_L + X_L) \right) \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} &= R + \left( \frac{Z_L + j\omega L}{j\omega C} \right) \left( \frac{1 + j\omega C Z_L - \omega^2 LC}{j\omega C} \right) \\ Z &= R + \frac{Z_L + j\omega L}{1 - \omega^2 LC + j\omega C Z_L} \end{aligned} \quad (31)$$

(29) numaralı eşitlik (31) numaralı eşitlikte yerine yazılırsa

$$Z = R + \frac{Z_{Lx} + j(Z_{Ly} + \omega L)}{(1 - \omega^2 LC - \omega C Z_{Ly}) + j\omega C Z_{Lx}} \quad (32)$$

(32) numaralı eşitlik elde edilir. İfadeyi basitleştirmek için denklem parçaları ( $dp$ ) tanımlayalım.

$$dp_1 = Z_{Lx} + j(Z_{Ly} + \omega L) \quad (33)$$

$$dp_2 = (1 - \omega^2 LC - \omega CZ_{Ly}) + j\omega CZ_{Lx} \quad (34)$$

$$Z = R + \frac{dp_1}{dp_2} \quad (35)$$

(35) numaralı eşitlikte paydayı reel yapmak için payı ve paydayı  $dp_2$ 'nin eşleniği ( $dp_2^*$ ) ile çarpalım.

$$dp_3 = dp_1 dp_2^* = Z_{Lx} + j(\omega L + \omega^3 L^2 C + \omega C(Z_{Lx}^2 + Z_{Ly}^2)) + Z_{Ly}(1 - 2\omega^2 LC) \quad (36)$$

$$dp_4 = dp_2 dp_2^* = (1 - \omega^2 LC - \omega CZ_{Ly})^2 + (\omega CZ_{Lx})^2 \quad (37)$$

$$Z = R + \frac{dp_3}{dp_4} \quad (38)$$

(38) numaralı eşitliği basitleştirmek için  $a_Z$  ve  $b_Z$  olmak üzere iki yeni değişken tanımlatalım.

$$a_Z = \omega L + \omega^3 L^2 C + \omega C(Z_{Lx}^2 + Z_{Ly}^2) + Z_{Ly}(1 - 2\omega^2 LC) \quad (39)$$

$$b_Z = dp_4 = (1 - \omega^2 LC - \omega CZ_{Ly})^2 + (\omega CZ_{Lx})^2 \quad (40)$$

$$Z = R + \frac{Z_{Lx}}{b_Z} + j \frac{a_Z}{b_Z} \quad (41)$$

Sonuç olarak

$$Z_x = R + \frac{Z_{Lx}}{b_Z} \quad (42)$$

$$Z_y = \frac{a_Z}{b_Z} \quad (43)$$

$$Z = Z_x + jZ_y \quad (44)$$

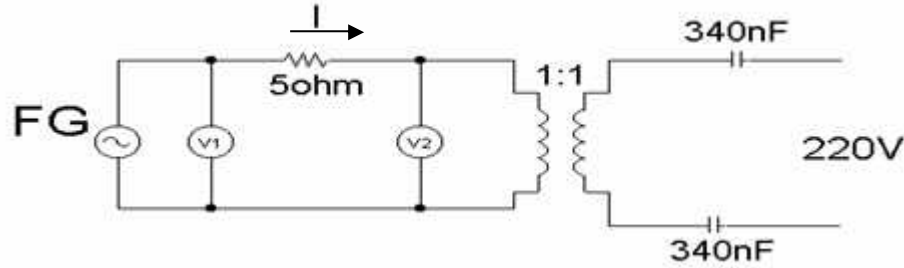
$$|Z| = \sqrt{Z_x^2 + Z_y^2} \quad (45)$$

$$\alpha_z = \tan^{-1}\left(\frac{Z_y}{Z_x}\right) \quad (46)$$

$$Z = |Z| e^{j\alpha_z} \quad (47)$$

giriş empedansı (38), (39), (40), (41) ve (42) numaralı eşitlikler kullanılarak, giriş empedansının genliği (45) numaralı eşitlik ve giriş empedansının fazı (46) numaralı eşitlik kullanılarak kolaylıkla hesaplanabilir.

Şekil 23' de ki empedans ölçme devresiyle enerji hattının empedansı 10-170 kHz arasında sanayi, kentsel bölge ve kırsal bölge için ayrı ayrı ölçülmüştür.



Şekil 23. Empedans ölçüm devresi

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R} \quad , \quad R = 5 \quad (48)$$

$$Z_i = \frac{V_2}{I} \quad (49)$$

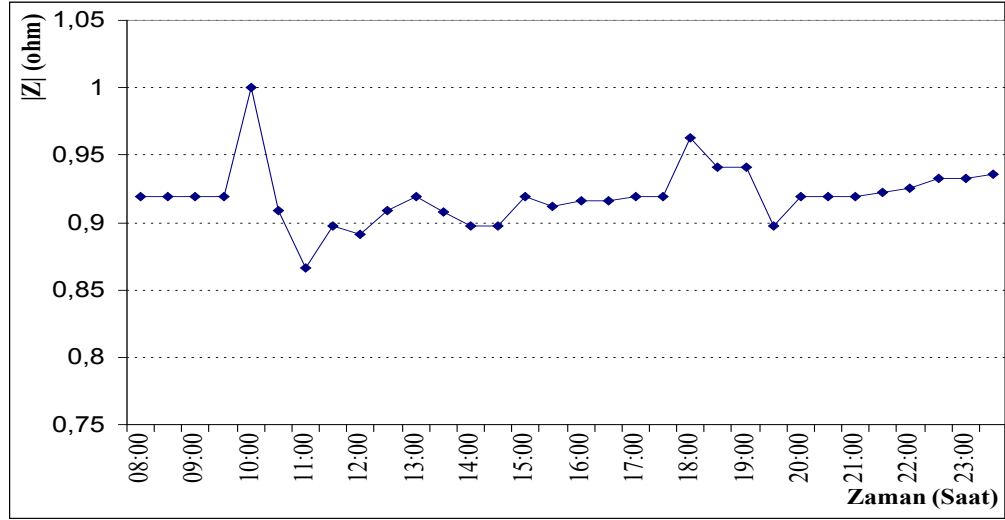
(48) nolu ifadeden şekil 23.da gösterilen 5 'luk direnç üzerinden geçen akımın değeri bulunur. Bulunan bu akım değeri (49) nolu ifadede yerine koyulursa kuplaj devresinin de empedansı dahil olmak üzere toplam bir  $Z_i$  giriş direnci bulunur. Bu grafikte  $V_1$  fonksiyon generatöründen devreye uygulanan gerilimi,  $V_2$  trafonun sekonder uçlarından okunan gerilimi göstermektedir.



### 2.5.2. Kentsel Bölgede Empedans Analizi

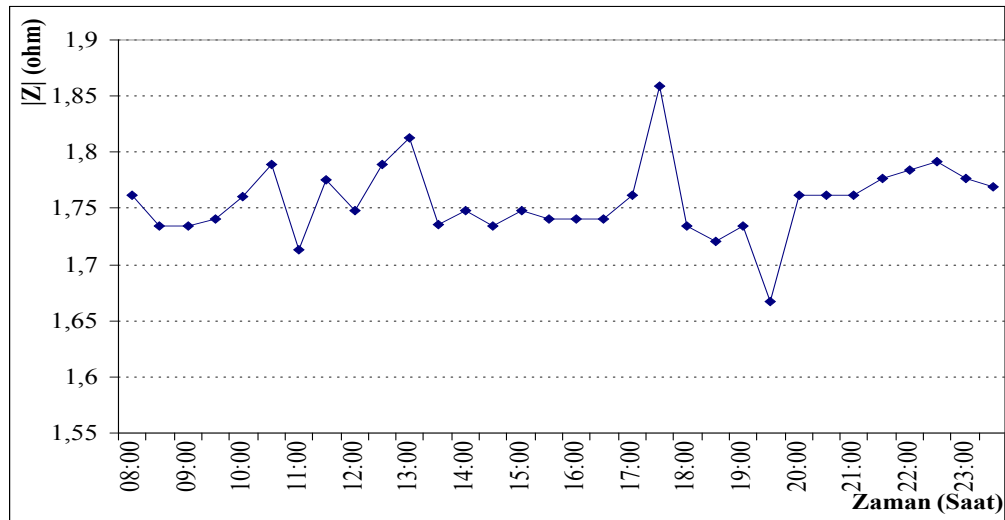
Şekil 23. deki devre enerji iletim hattına bağlanırsa kentsel bölgedeki bir apartman dairesi için 10-170 kHz arasında ki empedans değerleri şekil 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 ve 45 deki şekiller ortaya çıkmaktadır.

Şekil 24' de 10kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



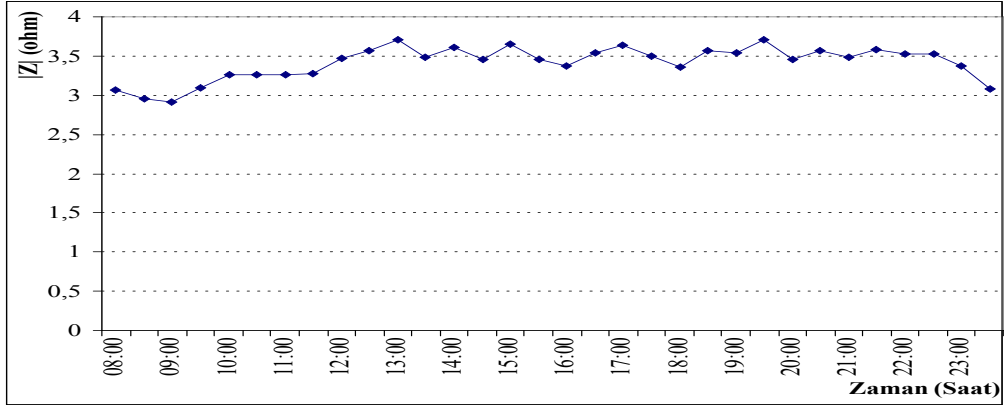
Şekil 24. 10kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 25' de 20kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



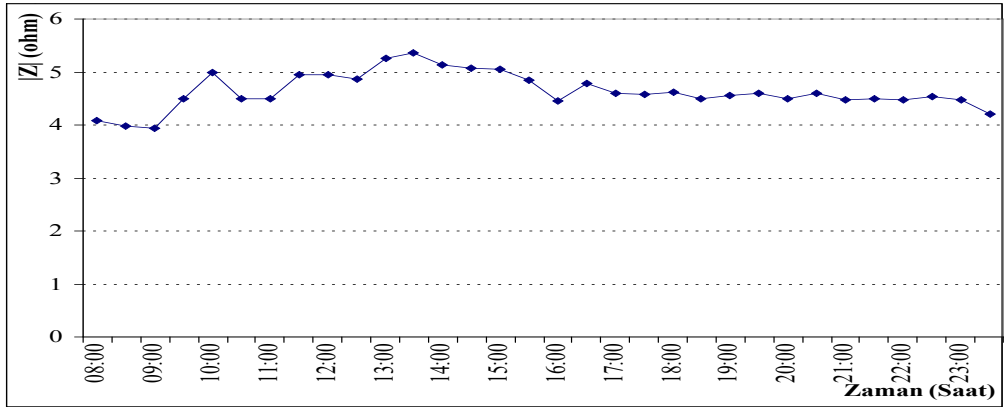
Şekil 25. 20kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 26' da 30kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



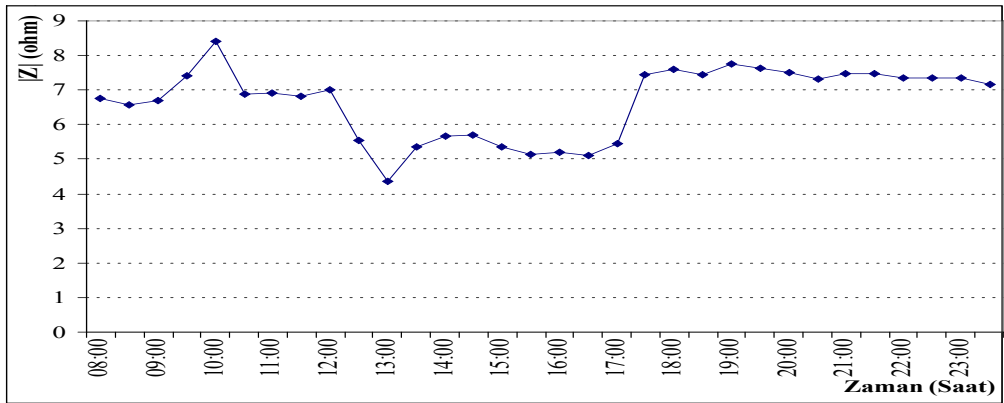
Şekil 26. 30kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 27' da 40kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



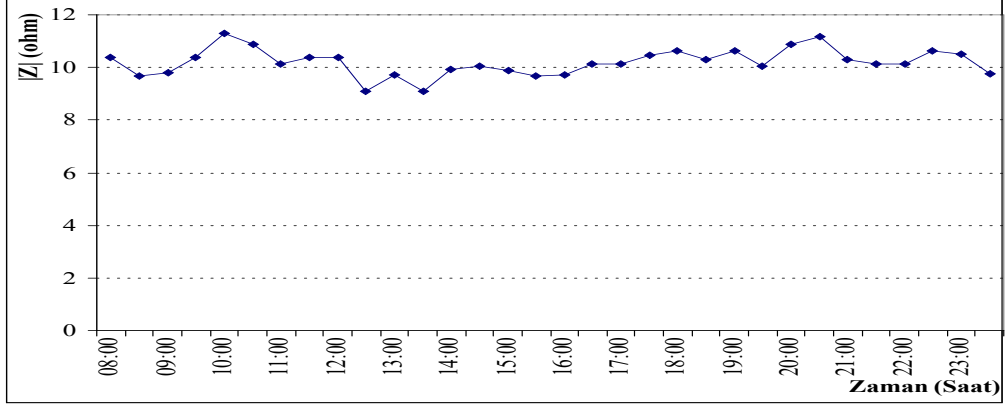
Şekil 27. 40kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 28' de 50kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



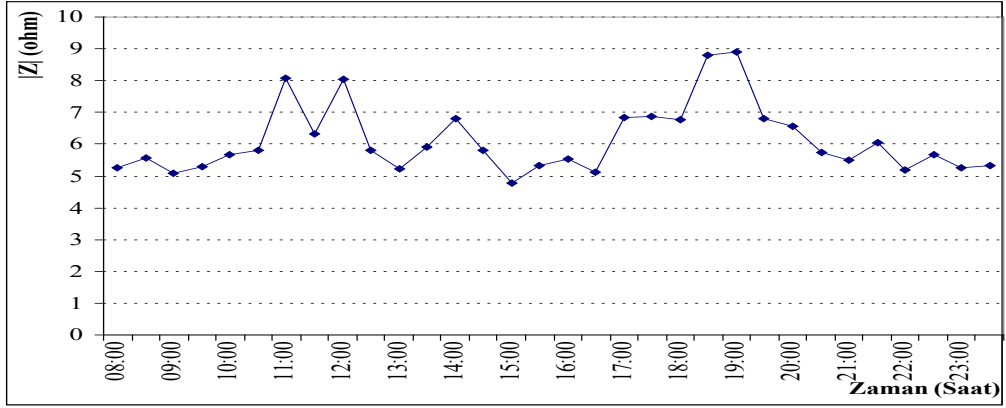
Şekil 28. 50kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 29' de 60kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



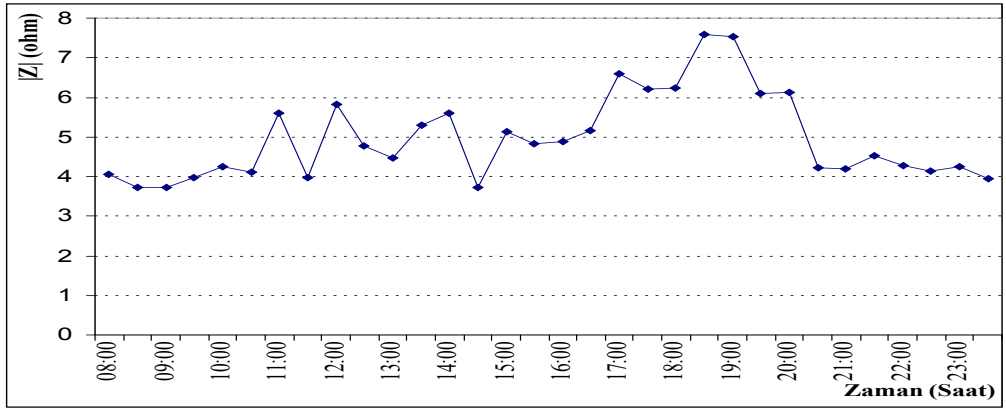
Şekil 29. 60kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 30' de 70kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



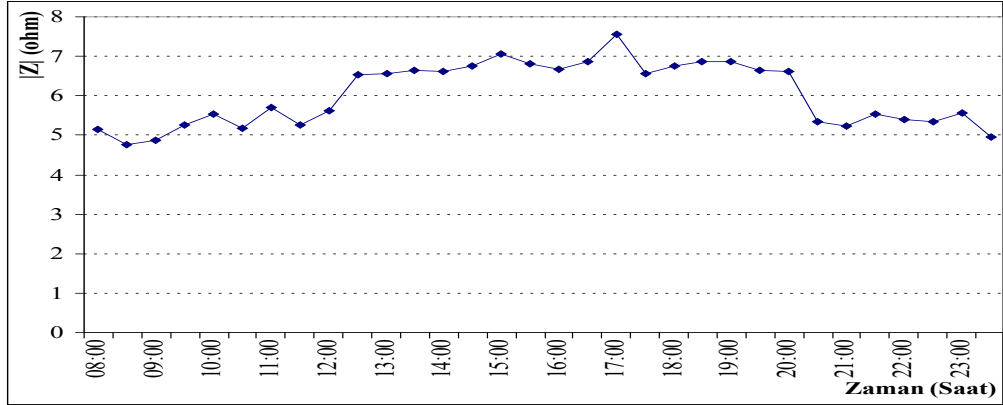
Şekil 30. 70kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 31' de 80kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



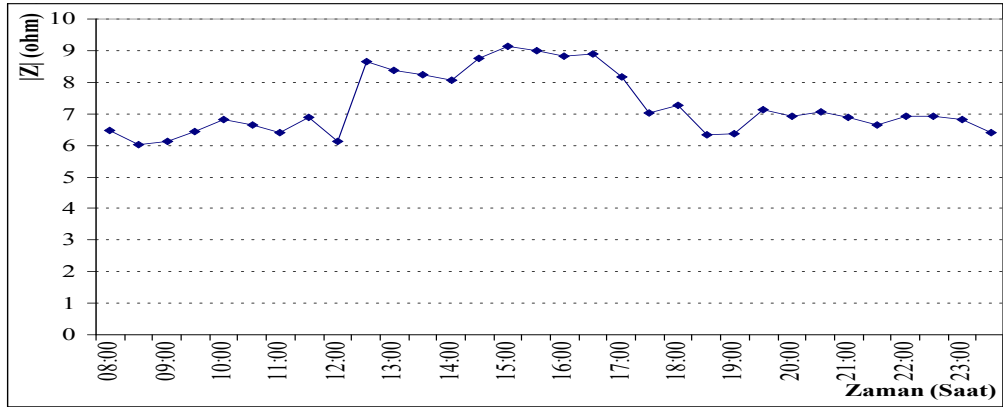
Şekil 31. 80kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 32' de 90kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



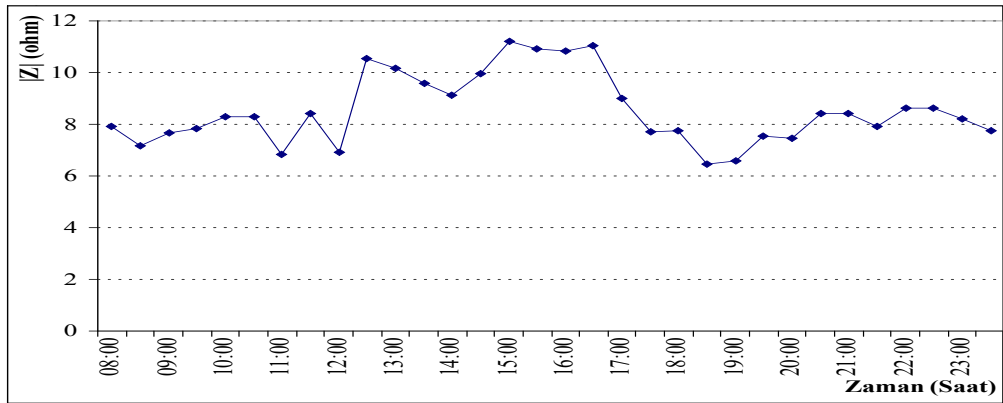
Şekil 32. 90kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 33' da 100kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



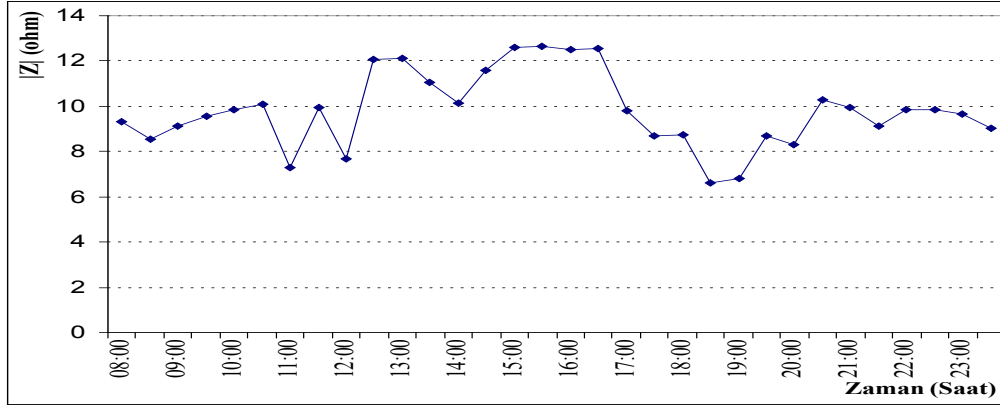
Şekil 33. 100kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 34' de 110kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



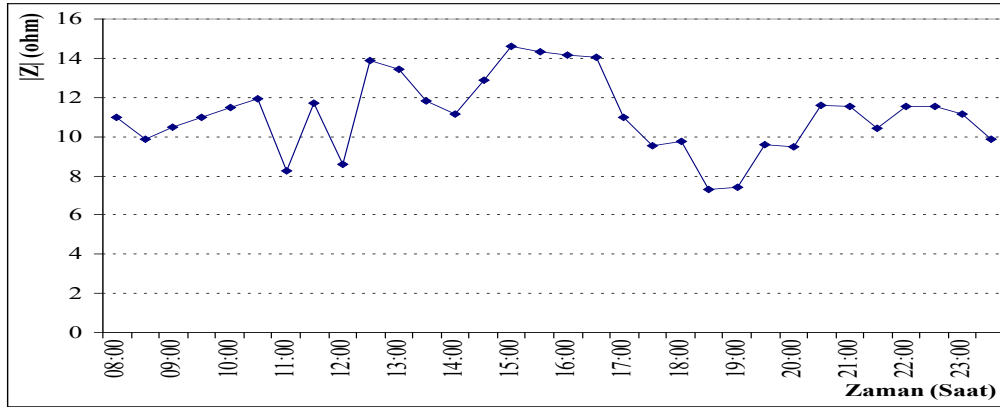
Şekil 34. 110kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 35' de 120kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



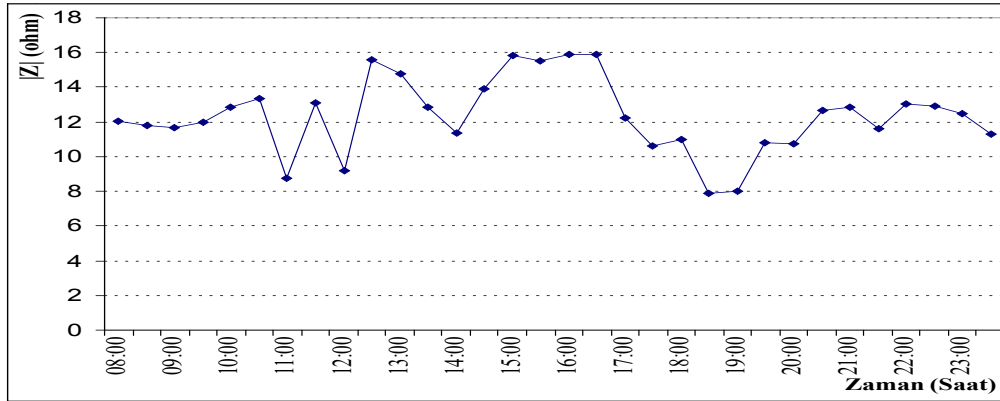
Şekil 35. 120kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 36' de 130kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



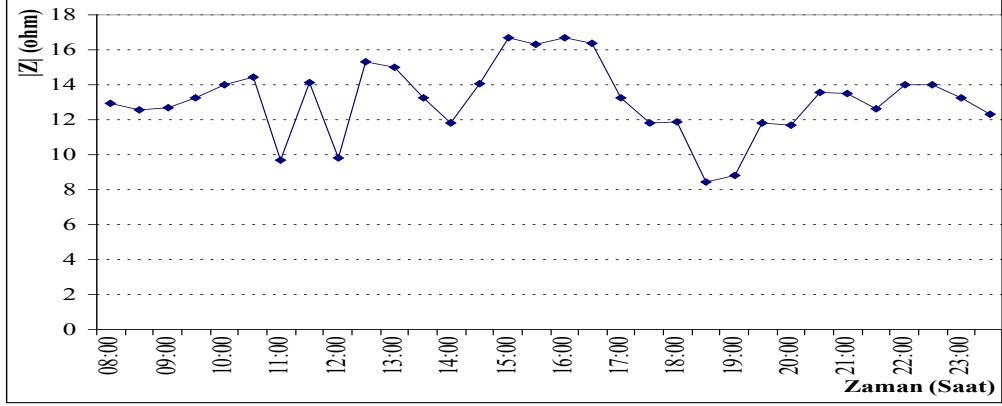
Şekil 36. 130kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 37' de 140kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



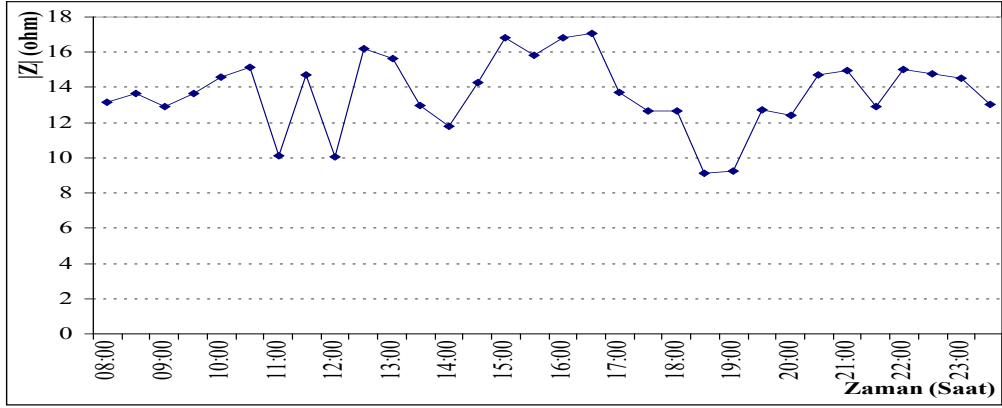
Şekil 37. 140kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 38' de 150kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



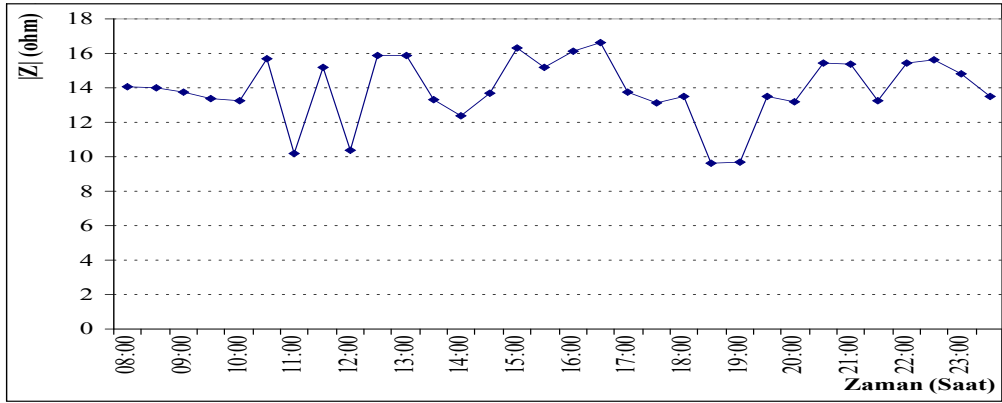
Şekil 38. 150kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 39' de 160kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



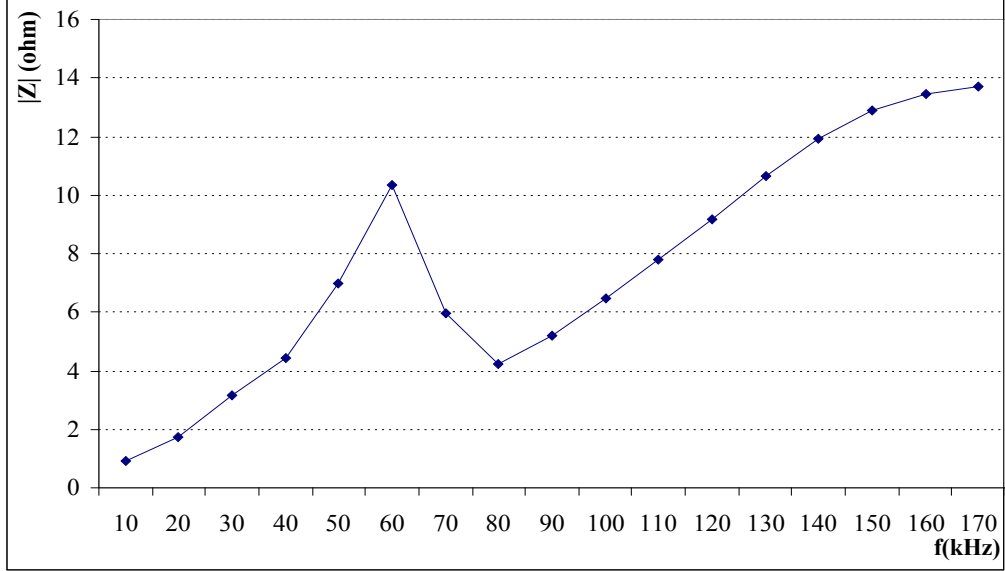
Şekil 39. 160kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 40' de 170kHz frekansında hat empedansının değişimi gösterilmiştir.



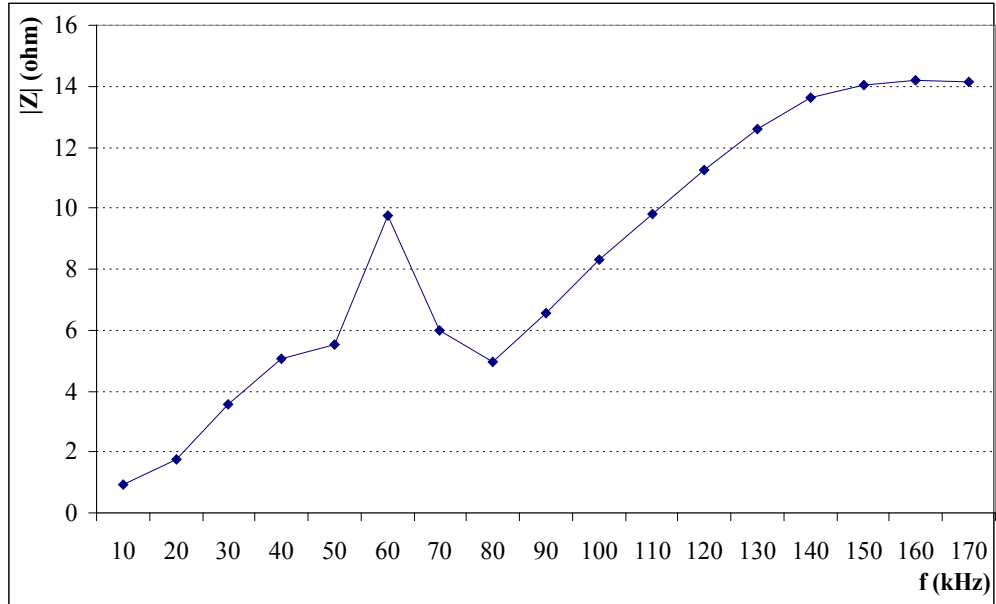
Şekil 40. 170kHz de kentsel bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 41' de 08:00-11:30 saatleri arası kentsel bölgedeki bir apartman dairesinde yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre empedansın değişimi gösterilmiştir.



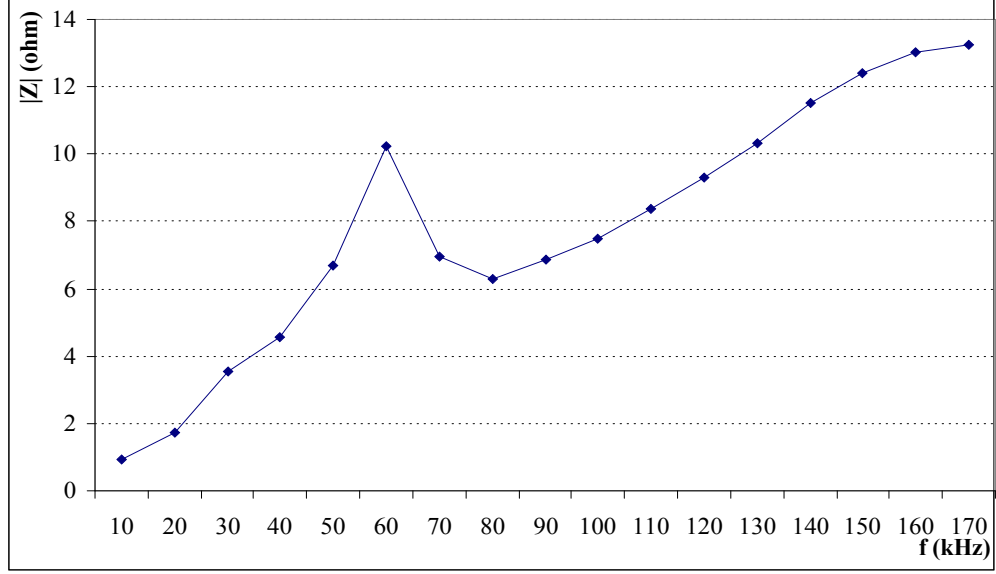
Şekil 41. 08:00-11:30 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi

Şekil 42' de 12:00-15:30 saatleri arası kentsel bölgedeki bir apartman dairesinde yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre empedansın değişimi gösterilmiştir



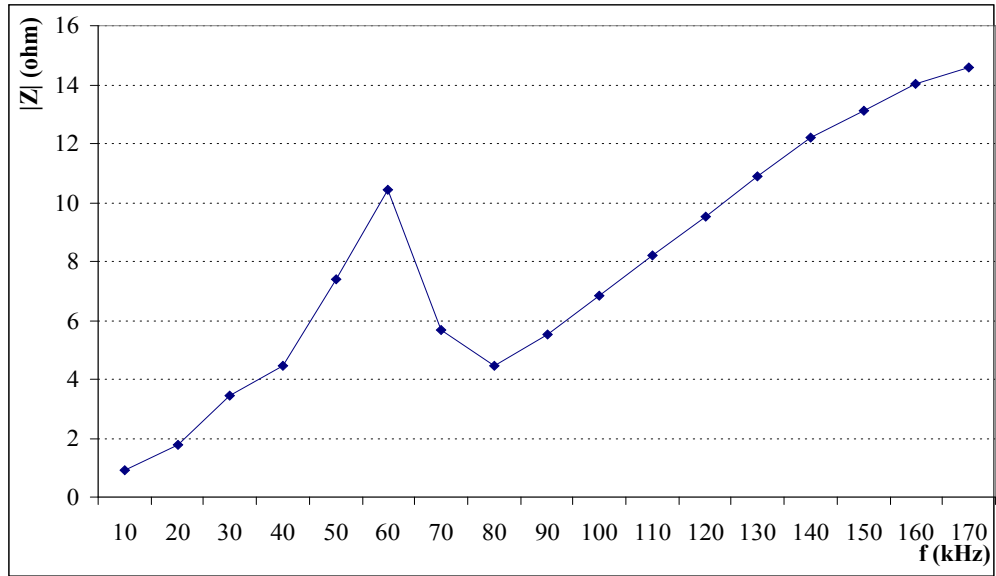
Şekil 42. 12:00-15:30 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi

Şekil 43' de 16:00-19:30 saatleri arası kentsel bölgedeki bir apartman dairesinde yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre empedansın değişimi gösterilmiştir



Şekil 43. 16:00-19:30 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi

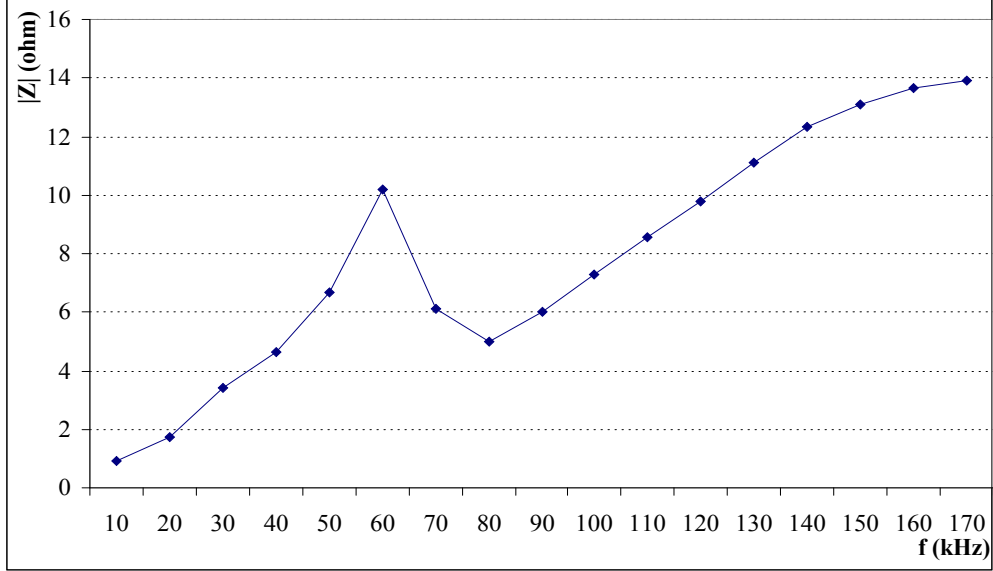
Şekil 44' de 20:00-23:30 saatleri arası kentsel bölgedeki bir apartman dairesinde yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre empedansın değişimi gösterilmiştir



Şekil 44. 20:00-23:30 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi



Şekil 45' kentsel bölgedeki bir apartman dairesinde yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre empedansın ortalama değişimi gösterilmiştir



Şekil 45. Kentsel bölgede empedansın frekansa göre ortalama değişimi

Yapılan deneyler sonucunda kentsel bölgedeki bir apartman dairesinin günlük ortalama empedansı şekil 45. deki gibi çıkmıştır. Bu eğri üç bölümde incelenip, MATLAB simülatör programı yardımıyla (50),(51) ve (52) nolu formülleri çıkarılmıştır. Bu üç formülle kentsel bölgenin enerji hattı empedansı, 10-170 kHz frekans aralığında yaklaşık olarak hesaplanabilir.

$$10kHz \leq f \leq 60kHz$$

$$|Z_1(f)| = 6,7074 \cdot 10^{-5} \cdot f^3 - 4,365 \cdot 10^{-3} \cdot f^2 + 2,0315 \cdot 10^{-1} \cdot f - 0,82206 \quad (50)$$

$$60kHz \leq f \leq 80kHz$$

$$|Z_2(f)| = 0,8493 \cdot f^3 - 1,27 \cdot 10^2 \cdot f^2 + 4,756 \cdot 10^3 \cdot f \quad (51)$$

$$80kHz \leq f \leq 170kHz$$

$$|Z_3(f)| = -1,341 \cdot 10^{-5} \cdot f^3 + 4,504 \cdot 10^{-3} \cdot f^2 - 0,3712 \cdot f + 12,725 \quad (52)$$

Tablo 7' de evde kullanılan cihazların saatlere göre çalışma durumları verilmiştir.

Tablo 7. Günlük evdeki cihazların çalışma durumu.

Zaman	TV	PC	Çamaşır makinası	Süpürge (1400W)	600W ısıtıcı	1800W ısıtıcı	lambalar
08:00	+	-	-	-	-	-	-
08:30	+	-	-	+	-	-	-
09:00	+	-	-	-	-	-	-
09:30	+	-	-	-	-	-	-
10:00	+	-	-	+	-	-	-
10:30	+	-	-	-	-	-	-
11:00	+	-	-	-	-	+	-
11:30	+	-	-	-	-	-	-
12:00	+	-	-	-	-	-	-
12:30	+	-	-	-	-	-	-
13:00	+	-	-	-	-	-	-
13:30	+	-	-	-	+	-	-
14:00	+	-	-	-	-	-	-
14:30	+	-	-	-	-	-	-
15:00	+	-	-	-	-	-	-
15:30	+	-	-	-	-	-	-
16:00	+	-	-	-	-	-	-
16:30	+	-	-	-	-	-	-
17:00	+	+	+	-	-	-	-
17:30	+	+	+	-	-	-	-
18:00	+	+	+	-	-	+	-
18:30	+	+	+	-	-	+	60W
19:00	+	+	+	-	-	-	60W
19:30	+	+	+	-	-	-	300W
20:00	+	+	+	-	-	-	300W
20:30	+	-	-	-	-	-	240W
21:00	+	-	-	-	-	-	240W
21:30	+	-	-	-	-	-	220W
22:00	+	-	-	-	-	-	120W
22:30	+	-	-	-	-	-	120W
23:00	+	-	-	-	-	-	60W
23:30	+	-	-	-	-	-	60W

Kentsel bölgede yapılan ölçümler sonucu empedansın minimum, ortalama ve maksimum değerleri tablo 8. de gösterilmiştir.

Tablo 8. Kentsel Bölge Empedans ölçüm değerleri.

Kentsel Bölge	Minimum	Ortalama	Maksimum
10 kHz	0,866□	0,919□	1,000□
20 kHz	1,666□	1,756□	1,859□

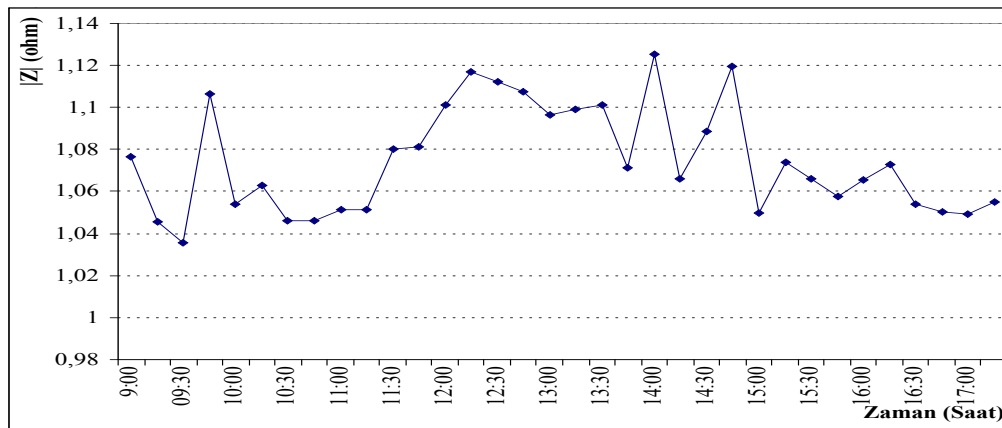
Tablo 8.'in devamı

30 kHz	2,909	3,415	3,647
40 kHz	3,947	4,639	5,351
50 kHz	4,348	6,663	8,395
60 kHz	9,106	10,200	11,312
70 kHz	4,766	6,117	8,909
80 kHz	3,712	4,969	7,583
90 kHz	4,758	6,033	7,559
100 kHz	6,008	7,272	9,147
110 kHz	6,452	8,538	11,196
120 kHz	6,601	9,814	12,639
130 kHz	7,285	11,130	14,585
140 kHz	7,857	12,321	15,859
150 kHz	8,427	13,122	16,677
160 kHz	9,130	13,684	17,095
170 kHz	9,609	13,904	16,629

### 2.5.3. Sanayi Bölgesi Empedans Analizi

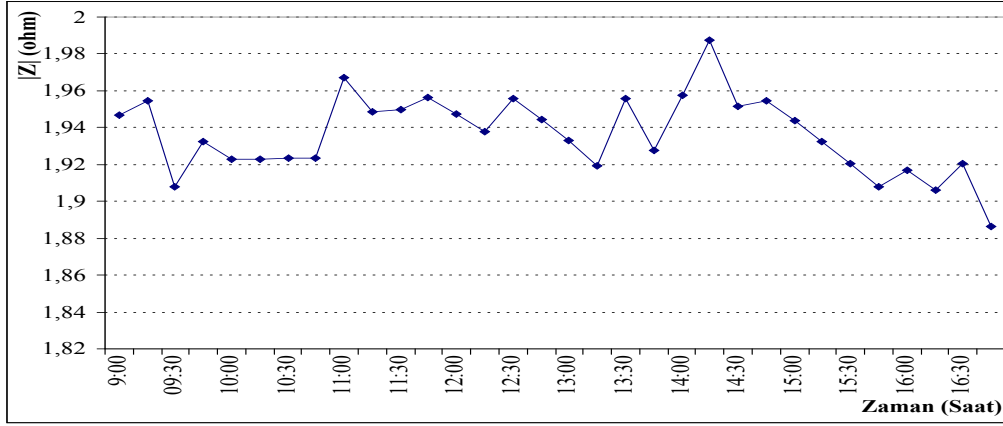
Şekil 23. deki devre enerji iletim hattına bağlanırsa sanayi bölgesi için 10-170 kHz arasındaki empedans değerleri şekil 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67 ve 68 de gösterilmiştir.

Şekil 46' da 10kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



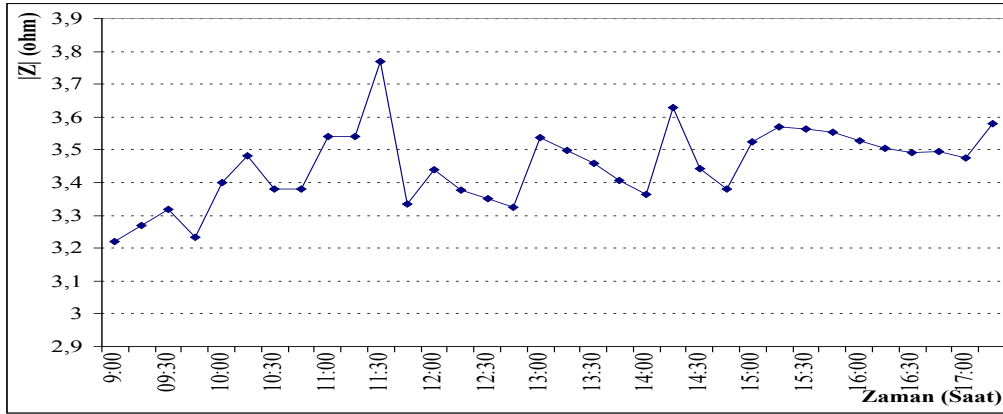
Şekil 46. 10kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 47' de 20kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



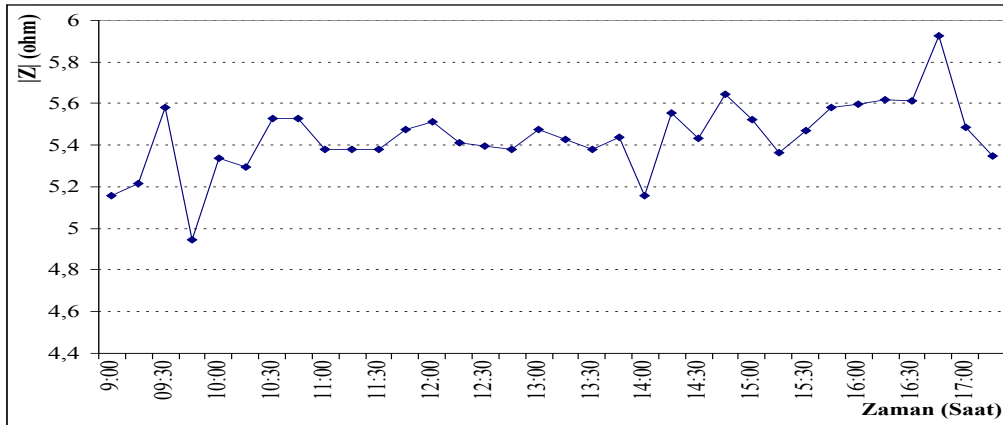
Şekil 47. 20kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 48' de 30kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



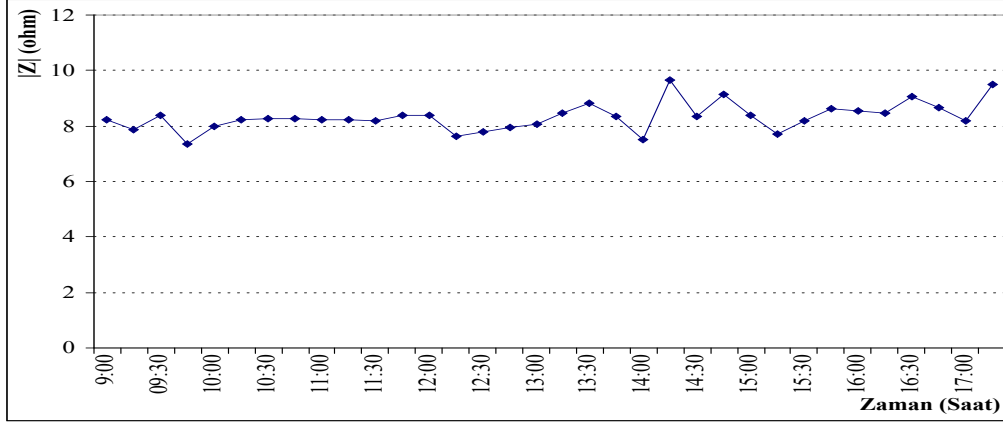
Şekil 48. 30kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 49' da 40kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



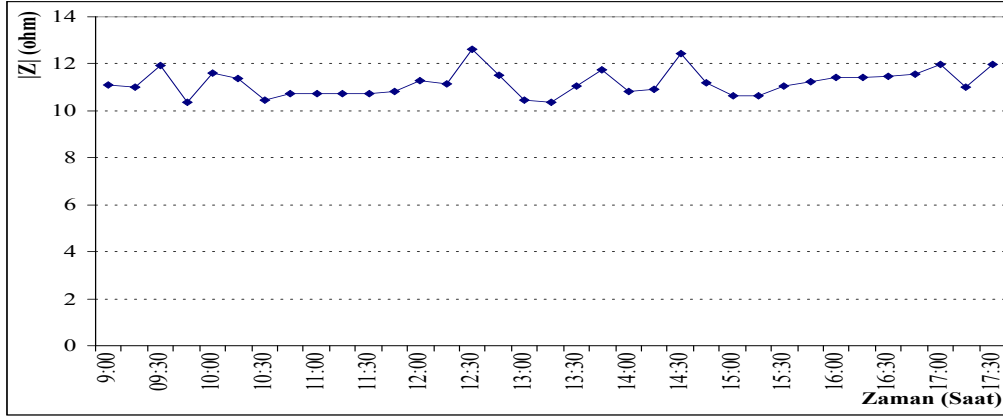
Şekil 49. 40kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 50.'de 50kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



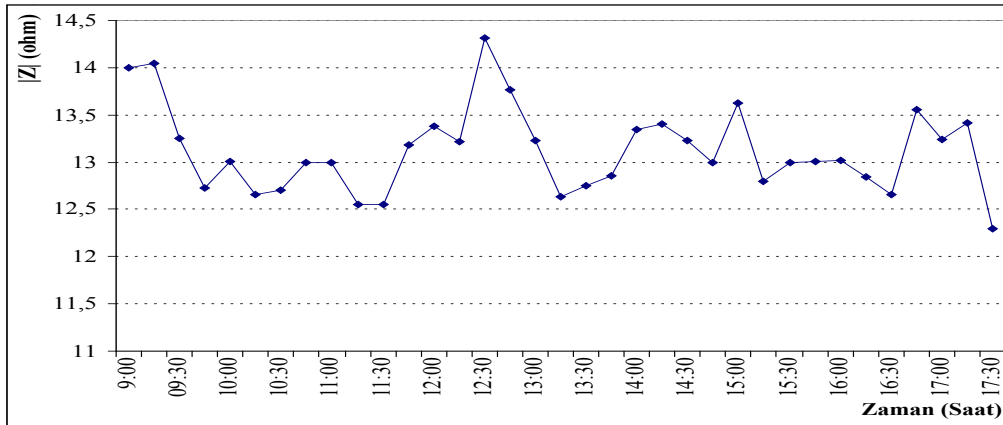
Şekil 50. 50kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 51.'de 60kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



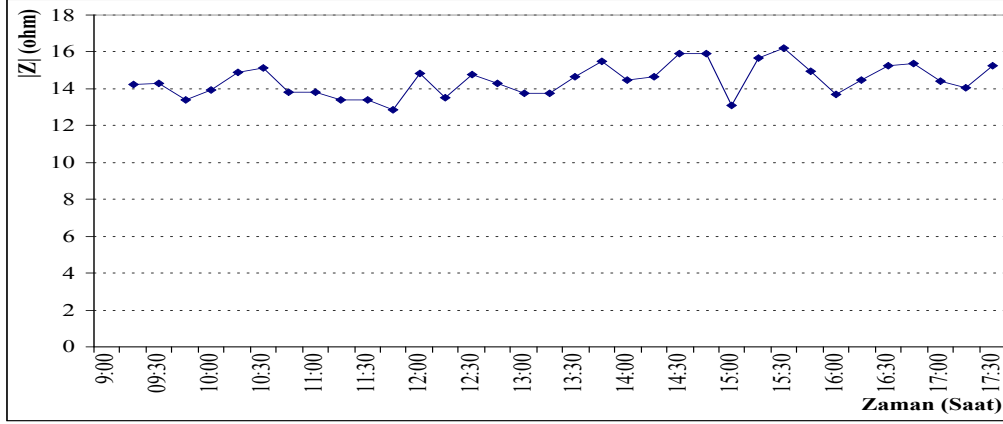
Şekil 51. 60kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 52.'de 70kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



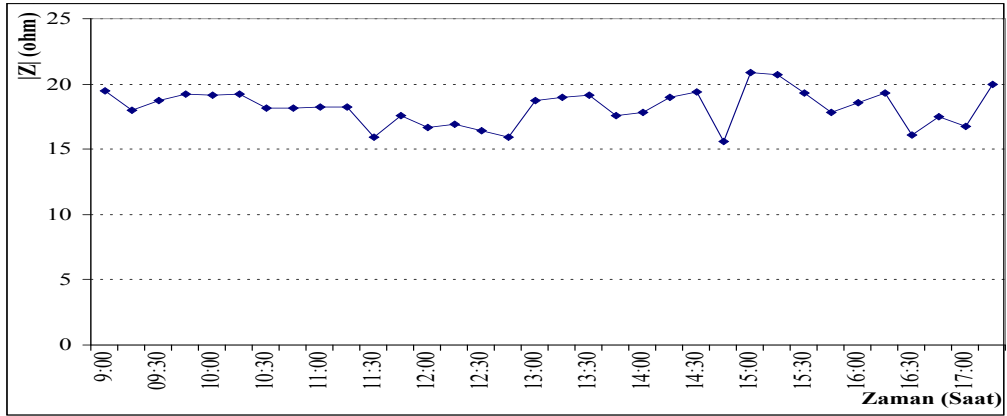
Şekil 52. 70kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 53.'de 80kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



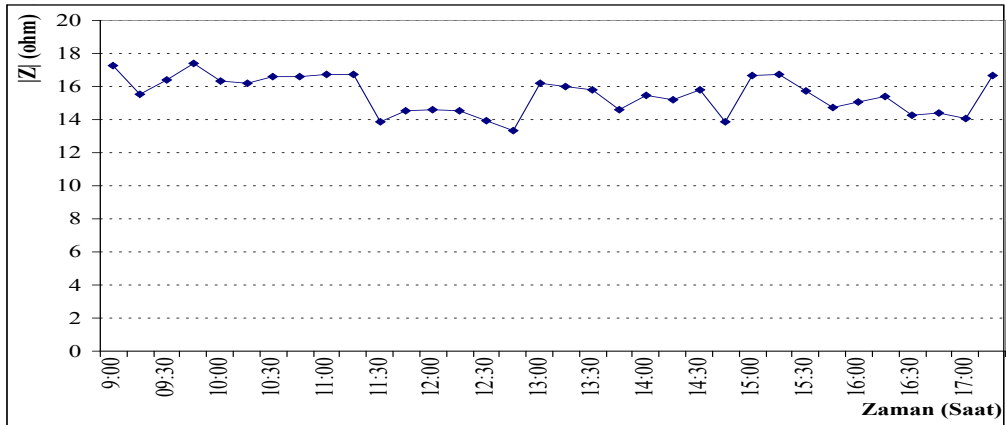
Şekil 53. 80kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 54.'de 90kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



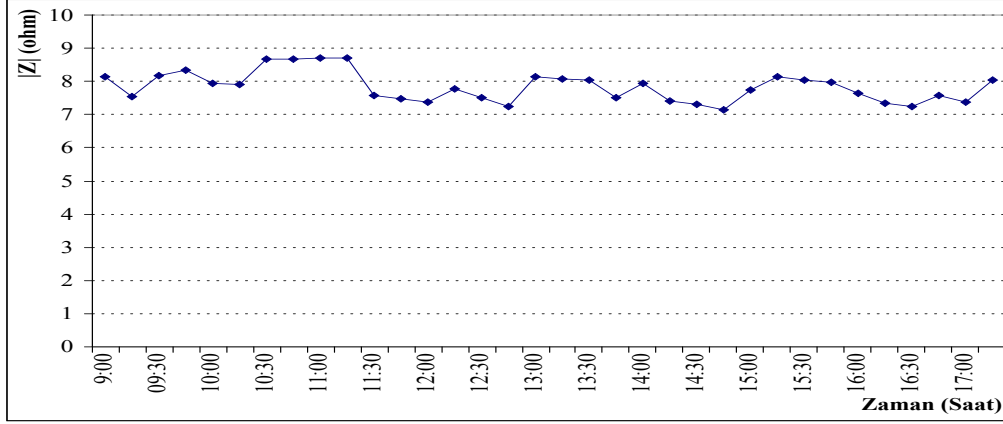
Şekil 54. 90kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 55.'te 100kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



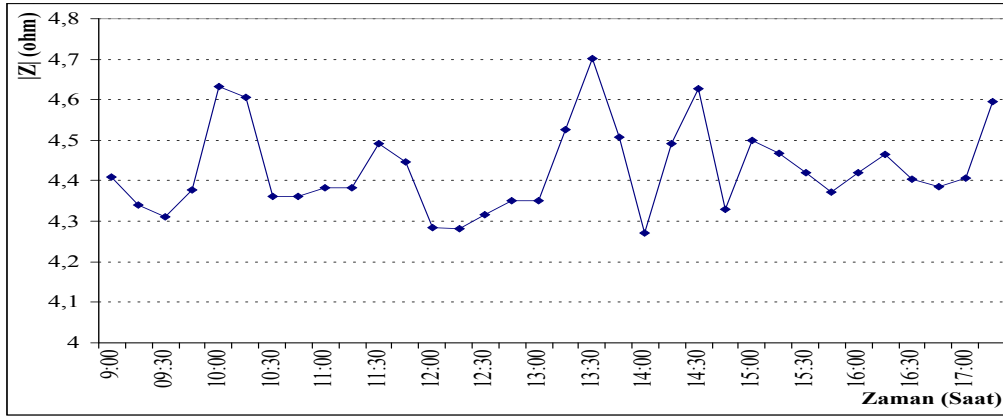
Şekil 55. 100kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 56.'da 110kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



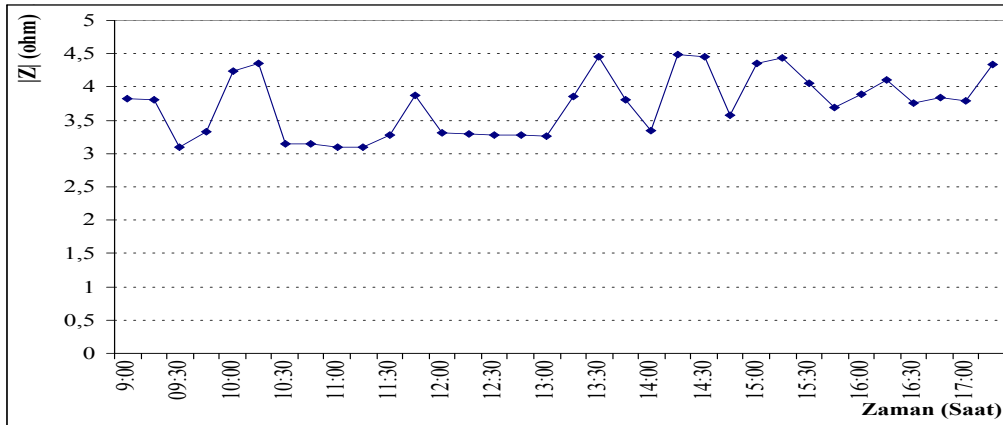
Şekil 56. 110kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 57.'de 120kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



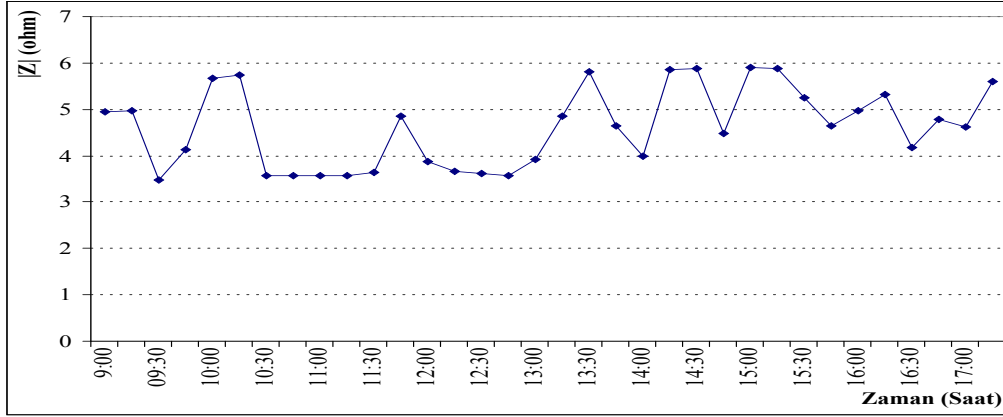
Şekil 57. 120kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 58.'de 130kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



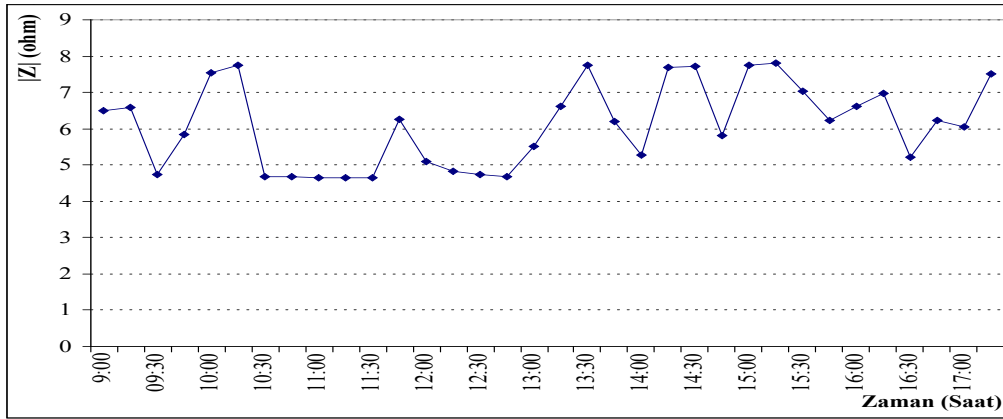
Şekil 58. 130kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 59.'da 140kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



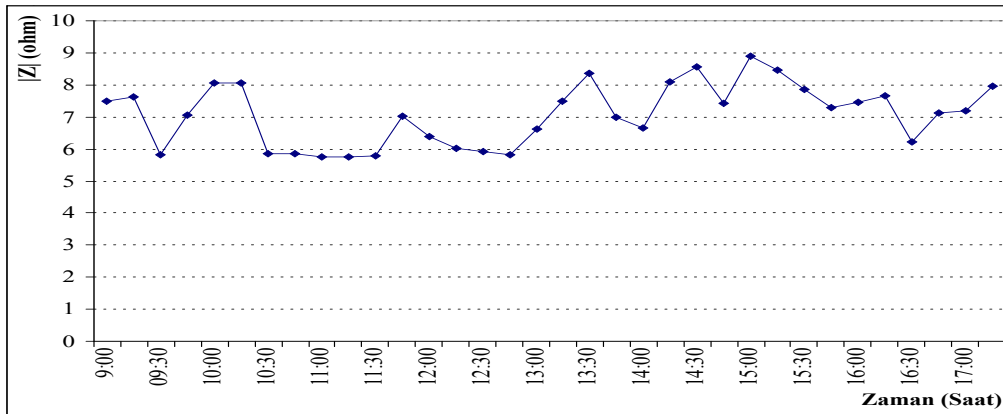
Şekil 59. 140kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 60.'da 150kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 60. 150kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi.

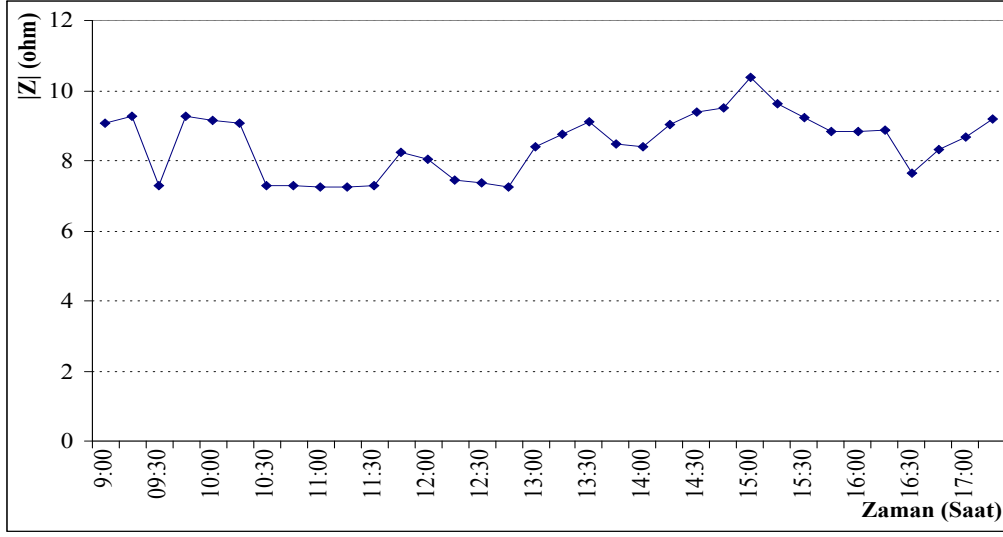
Şekil 61.'de 160kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 61. 160kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

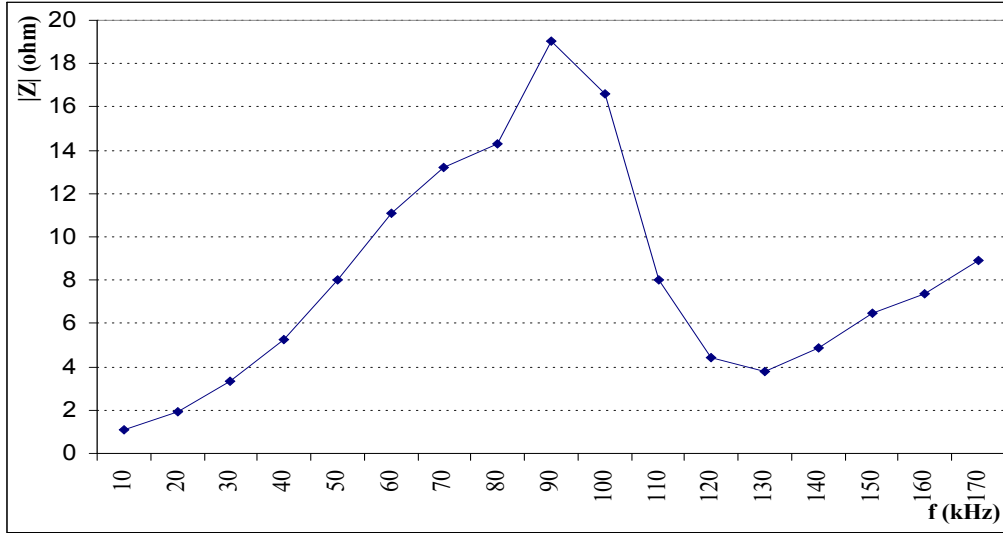


Şekil 62.'de 170kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



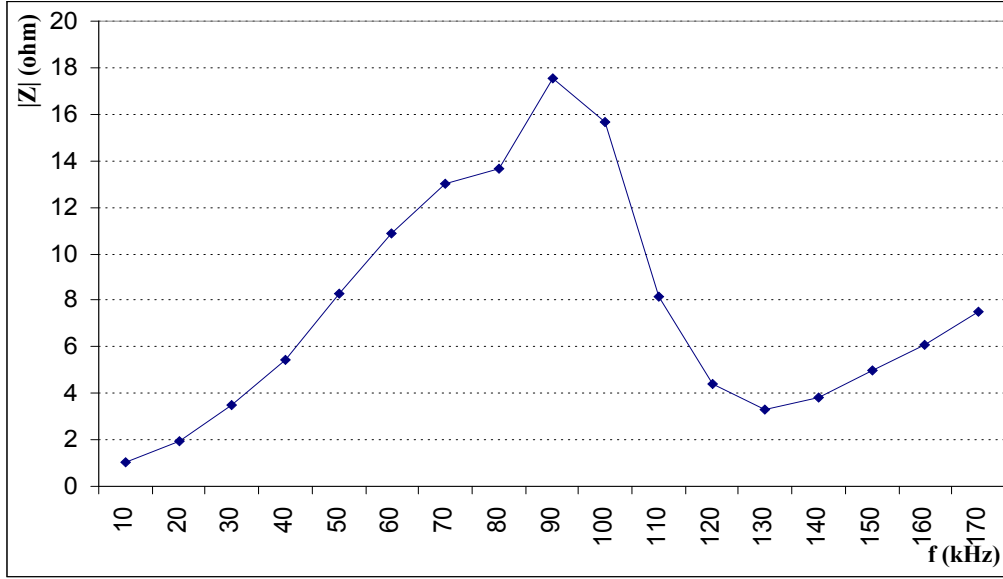
Şekil 62. 170kHz de sanayi ortamında hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 63' de 09:00-10:30 saatleri arası sanayi ortamında yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre empedans değişimi gösterilmiştir



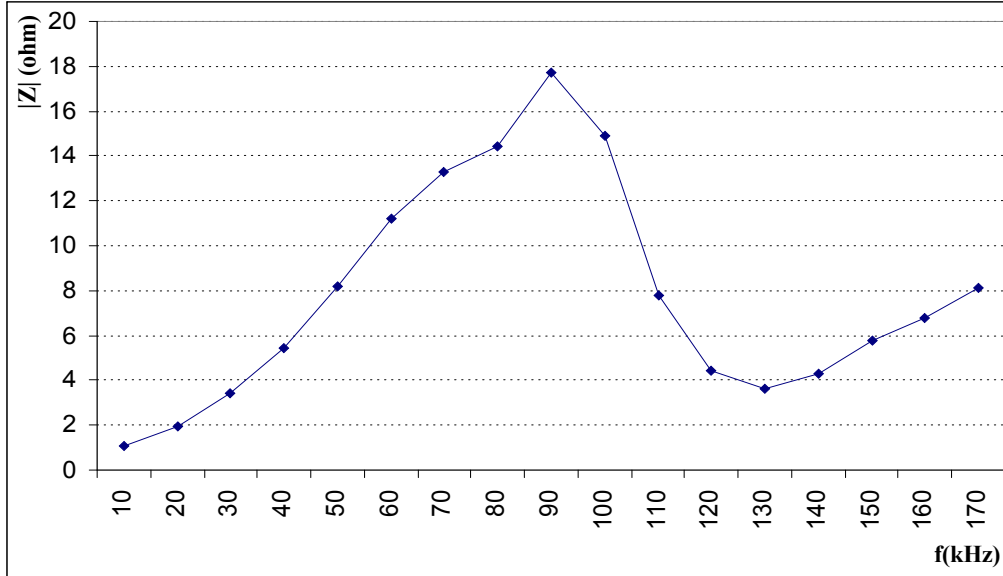
Şekil 63. 09:00-10:30 arası empedansın frekansa göre ortalama değişimi

Şekil 64' de 10:45-12:15 saatleri arası sanayi ortamında yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre empedans değişimi gösterilmiştir.



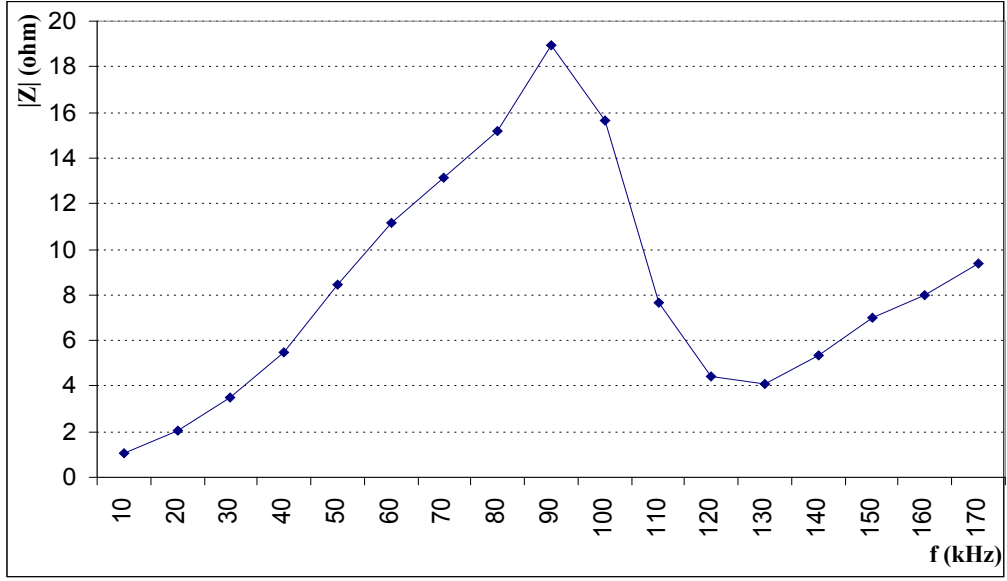
Şekil 64. 10:45-12:15 arası empedansın frekansa göre ortalama değışimi

Şekil 65' te 12:30-14:00 saatleri arası sanayi ortamında yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre empedans değışimi gösterilmiştir



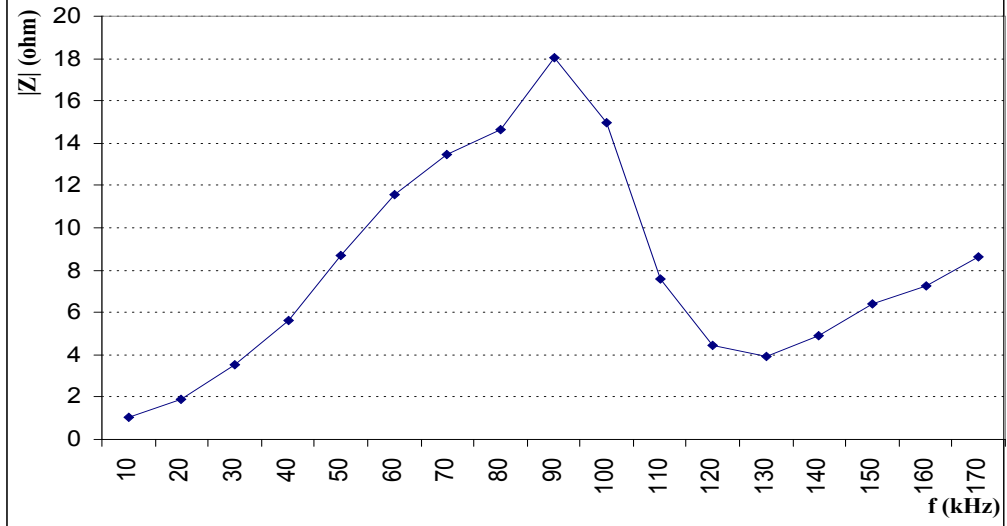
Şekil 65. 12:30-14:00 arası empedansın frekansa göre ortalama değışimi

Şekil 66' da 14:15-15:45 saatleri arası sanayi ortamında yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre empedans değışimi gösterilmiştir



Şekil 66. 14:15-15:45 arası empedansın frekansa göre ortalama değışimi

Şekil 67' de 16:00-17:30 saatleri arası sanayi ortamında yapılan ölçümlere dayalı olarak frekansa göre empedans değışimi gösterilmiştir



Şekil 67. 16:00-17:30 arası empedansın frekansa göre ortalama değışimi

Şekil 68' de sanayi ortamında yapılan ölçümlere bağılı olarak frekansa göre ortalama empedans değışimi gösterilmiştir



Şekil 68. Sanayi ortamında empedansın frekansa bağlı olarak ortalama değişimi

Yapılan deneyler sonucunda sanayi ortamı günlük ortalama empedansı şekil 68. deki gibi çıkmıştır. Bu eğri üç bölümde incelenip, MATLAB simülâtör programı yardımıyla (53),(54) ve (55) nolu formülleri çıkarılmıştır. Bu üç formülle sanayi ortamında enerji hattı empedansı, 10-170 kHz frekans aralığında yaklaşık olarak hesaplanabilir.

$$10\text{kHz} \leq f \leq 100\text{kHz}$$

$$|Z_1(f)| = -5,446.10^{-5}.f^3 + 8,546.10^{-3}.f^2 - 1,686.10^{-1}.f + 2,136 \quad (53)$$

$$100\text{kHz} \leq f \leq 130\text{kHz}$$

$$|Z_2(f)| = -2,603.10^{-4}.f^3 + 0,1073.f^2 - 14,699.f + 6,722.10^2 \quad (54)$$

$$130\text{kHz} \leq f \leq 170\text{kHz}$$

$$|Z_3(f)| = -1,3833.10^{-5}.f^3 + 6,592.10^{-3}.f^2 - 0,919.f + 42,201 \quad (55)$$

Sanayi ortamında yapılan ölçümler sonucu empedansın minimum, ortalama ve maksimum değerleri tablo 9. da gösterilmiştir.

Tablo 9. Sanayi bölgesi empedans ölçüm değerleri.

Sanayi Bölgesi	Minimum	Ortalama	Maksimum
10 kHz	1,035	1,074	1,125
20 kHz	1,886	1,937	1,987

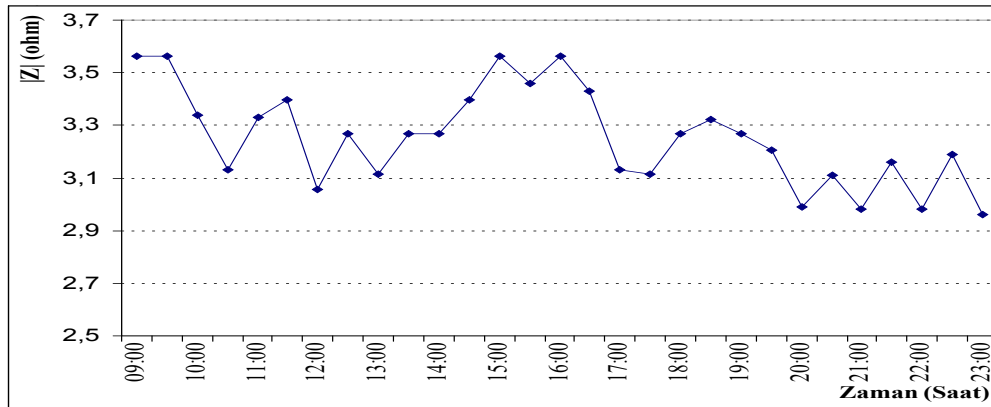
Tablo 9.'un devamı

30 kHz	3,220	3,451	3,768
40 kHz	4,947	5,440	5,925
50 kHz	7,366	8,324	9,664
60 kHz	10,350	11,515	12,600
70 kHz	12,298	13,507	14,311
80 kHz	12,873	14,454	16,187
90 kHz	15,625	18,785	20,857
100 kHz	13,360	15,507	17,370
110 kHz	7,159	7,838	8,715
120 kHz	4,272	4,428	4,702
130 kHz	3,095	3,735	4,494
140 kHz	3,482	4,617	5,901
150 kHz	4,636	6,110	7,809
160 kHz	5,758	7,078	8,894
170 kHz	7,253	8,482	10,365

#### 2.5.4 Kırsal Bölge Empedans Analizi

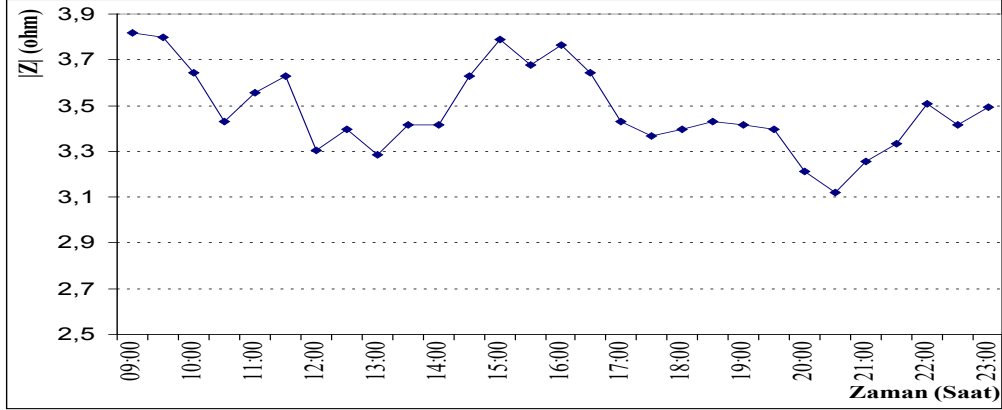
Şekil 23. deki devre enerji iletim hattına bağlanırsa kırsal bölge için empedans değerleri 10-170 kHz frekans aralığında aşağıdaki şekiller ortaya çıkmaktadır.

Şekil 69.'da 10kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



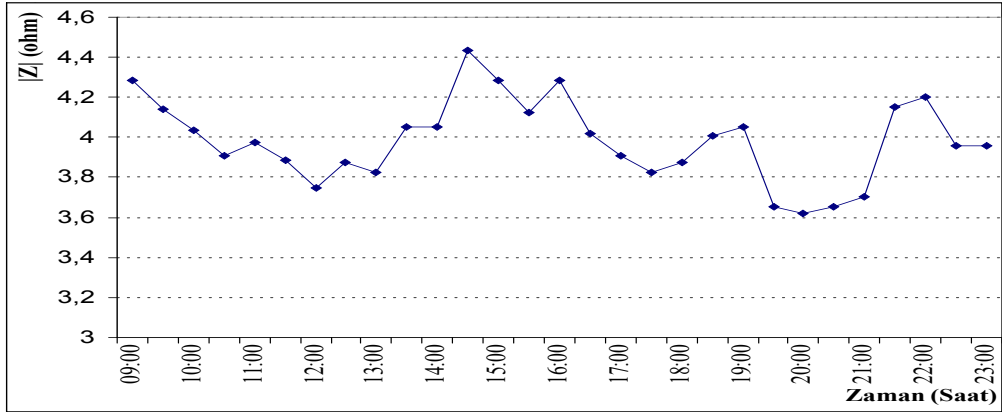
Şekil 69. 10kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 70.'de 20kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



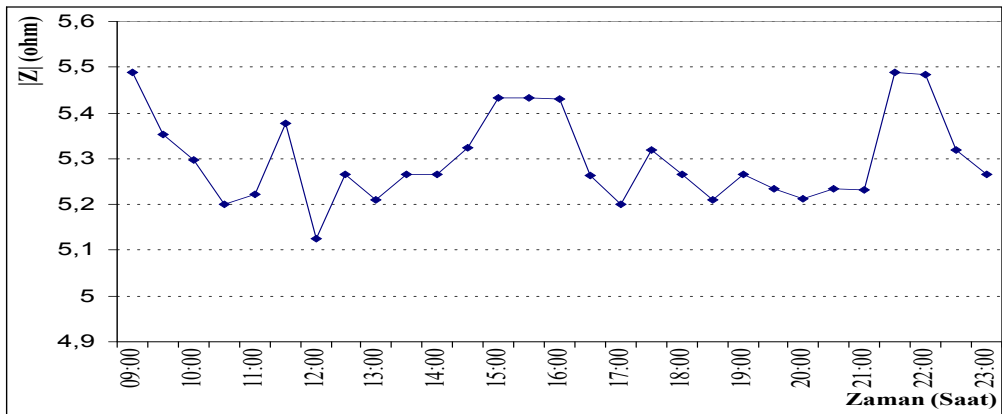
Şekil 70. 20kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 71.'de 30kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



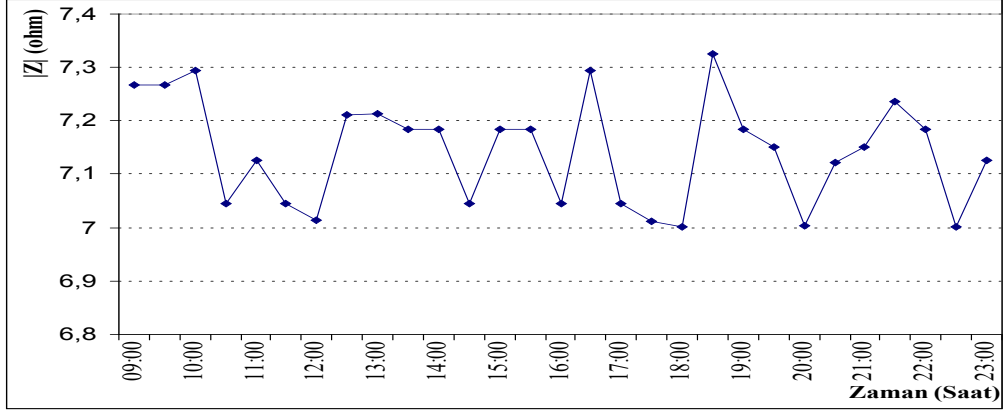
Şekil 71. 30kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 72.'de 40kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



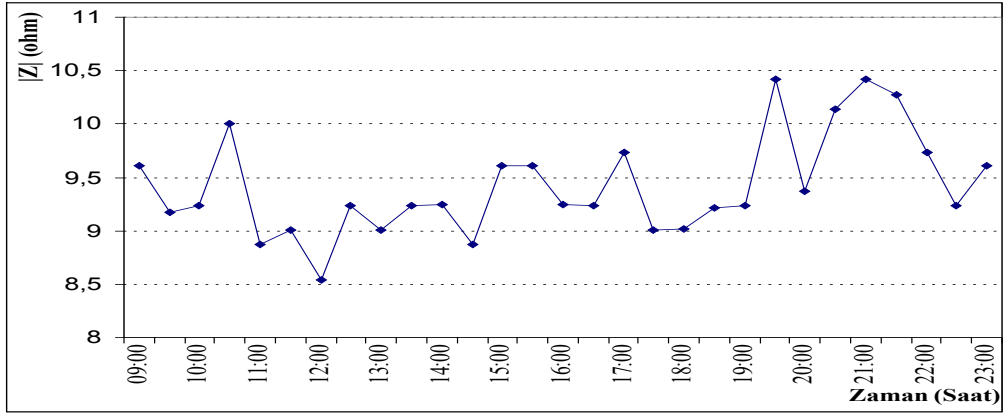
Şekil 72. 40kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 73.'de 50kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



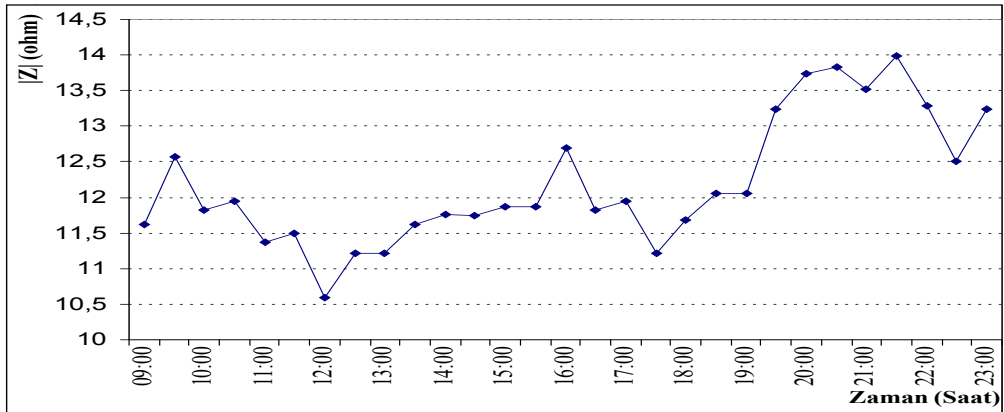
Şekil 73. 50kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 74.'de 60kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



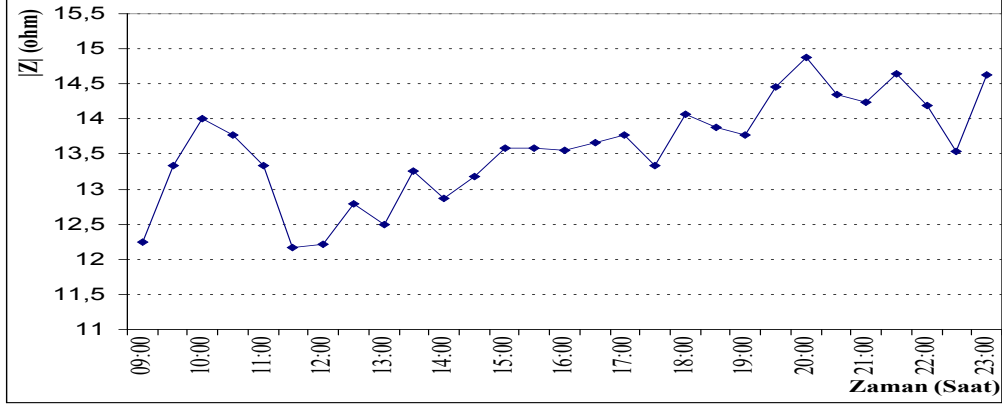
Şekil 74. 60kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 75.'de 70kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



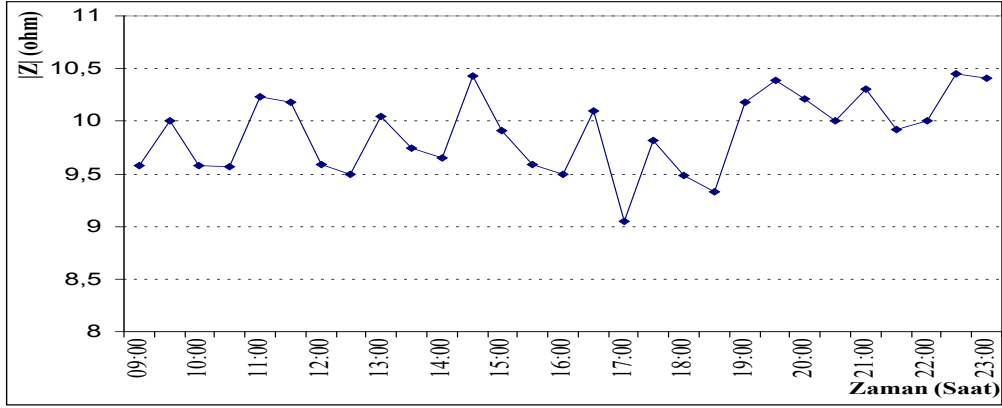
Şekil 75. 70kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 76.'da 80kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



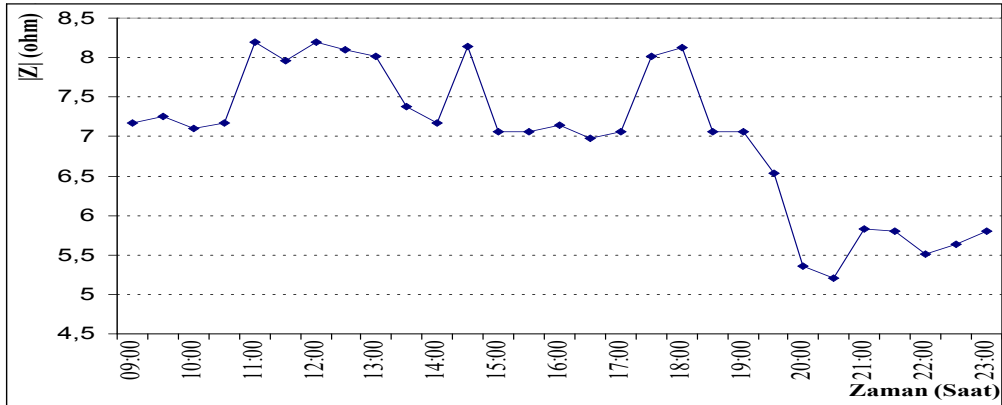
Şekil 76. 80kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 77.'da 90kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 77. 90kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

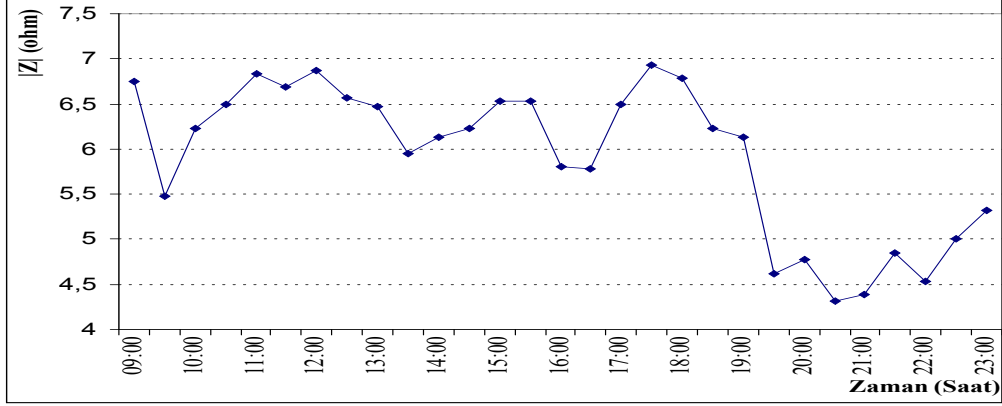
Şekil 78.'de 100kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 78. 100kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

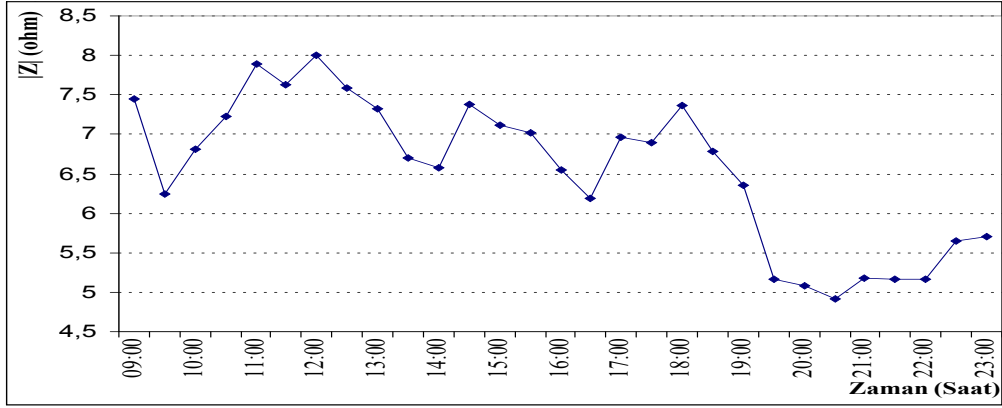


Şekil 79.'da 110kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



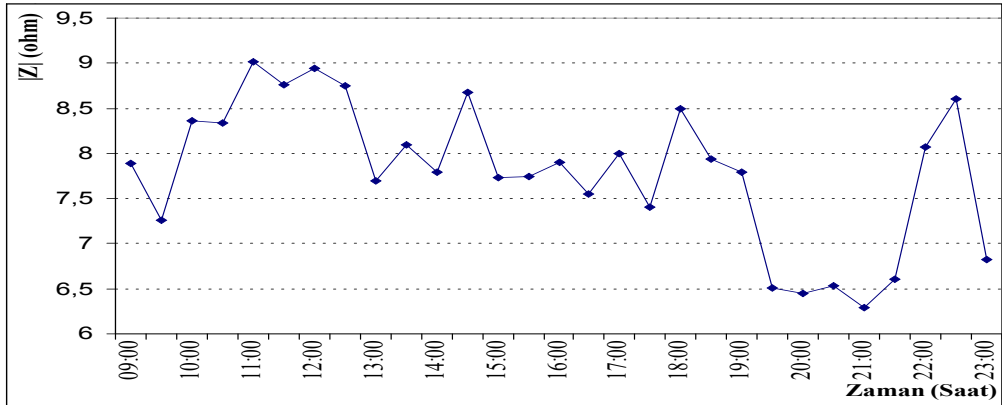
Şekil 79. 110kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 80.'de 120kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



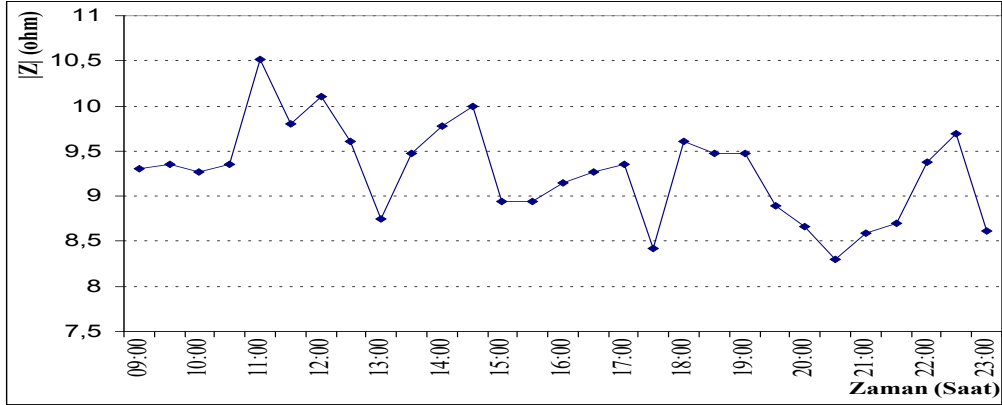
Şekil 80. 120kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 81.'de 130kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



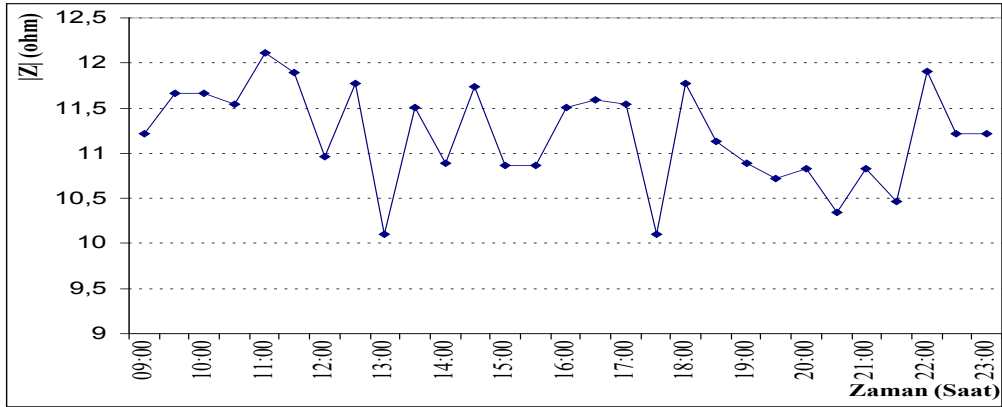
Şekil 81. 130kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 82.'de 140kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



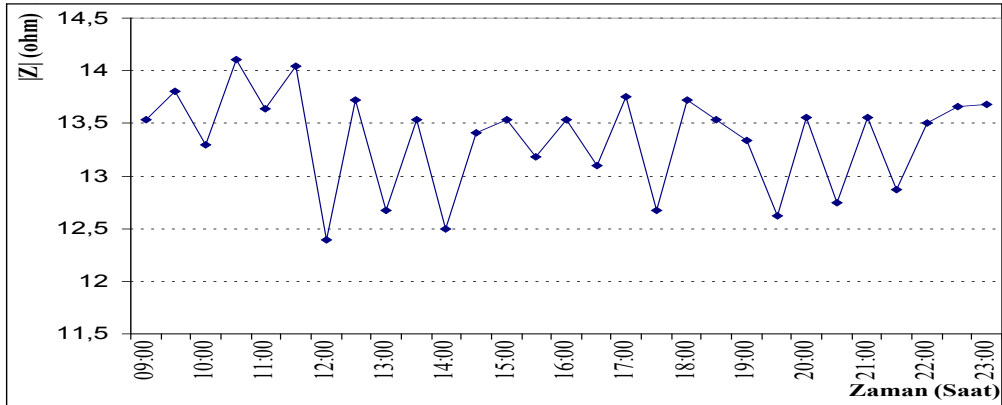
Şekil 82. 140kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 83.'de 150kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



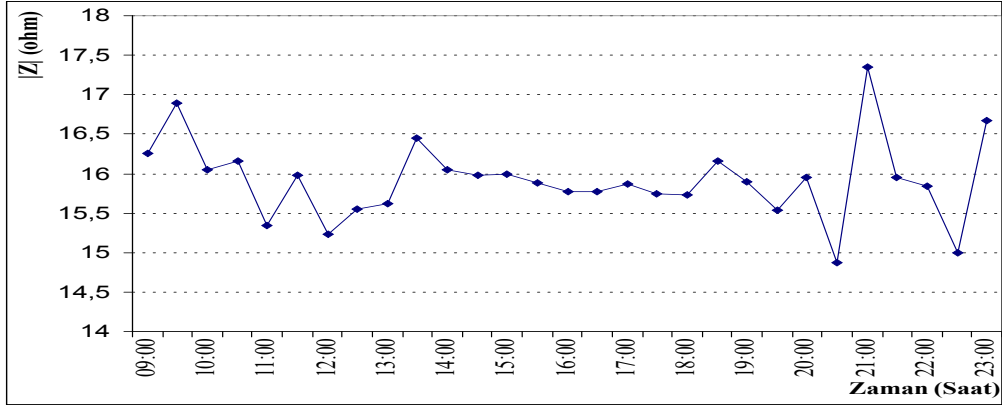
Şekil 83. 150kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

Şekil 84.'de 160kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 84. 160kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

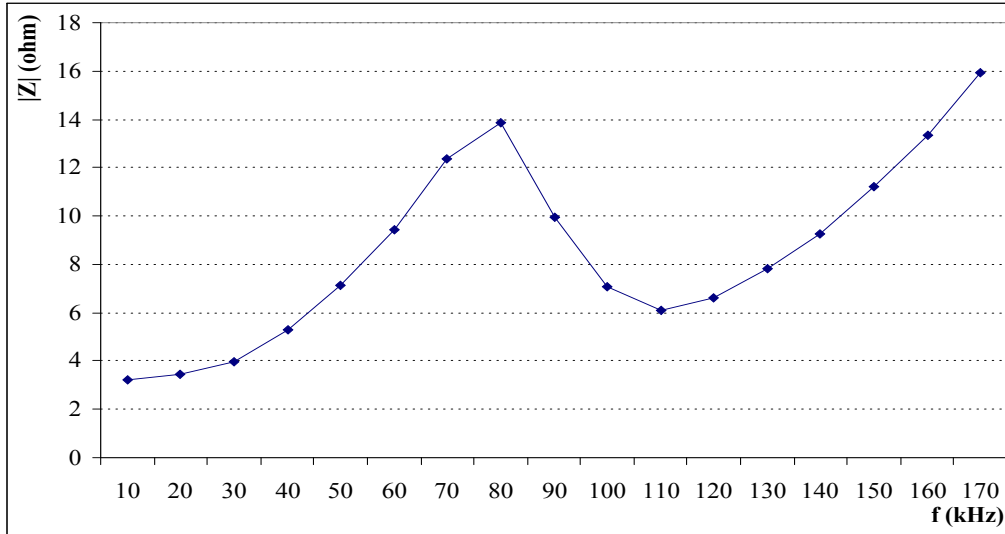
Şekil 85.'de 170kHz de hat empedansının zamana göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 85. 170kHz de kırsal bölgede hat empedansının zamana göre değişimi

## 2

Kırsal bölgedeki bir evde yapılan ölçümler sonucu günlük empedansın ortalama değişimi şekil 86.' da gösterilmiştir.



Şekil 86. Kırsal bölgede empedansın frekansa bağlı olarak ortalama değişimi.

Yapılan deneyler sonucunda kırsal bölgede günlük ortalama empedans şekil 86.' daki gibi çıkmıştır. Bu eğriye MATLAB simülasyon programı kullanılarak (56),(57) ve (58) nolu formülleri çıkarılmıştır.

$$10kHz \leq f \leq 80kHz$$

$$|Z_1(f)| = -3.382 \times 10^{-5} f^3 + 6.547 \times 10^{-3} f^2 - 0.1893 f + 4.649 \quad (56)$$

$$80\text{kHz} \leq f \leq 110\text{kHz}$$

$$|Z_2(f)| = 1.4883 \times 10^{-4} f^3 - 3.493 \times 10^{-2} f^2 + 2.317f - 24.098 \quad (57)$$

$$110\text{kHz} \leq f \leq 170\text{kHz}$$

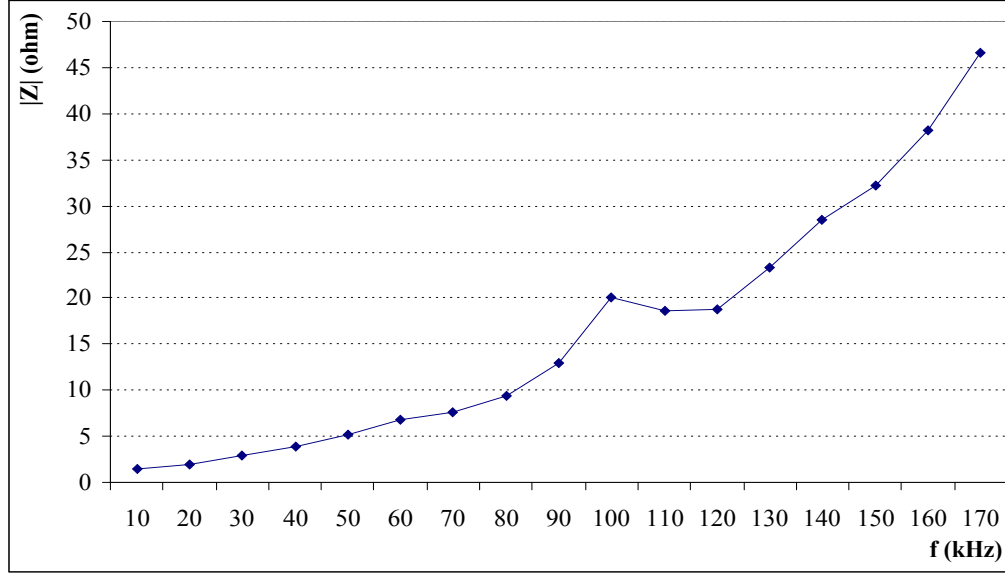
$$|Z_3(f)| = -6.388 \times 10^{-6} f^3 + 4.555 \times 10^{-3} f^2 - 0.7304f + 39.808 \quad (58)$$

Kırsal bölgede yapılan ölçümler sonucu empedansın minimum, ortalama ve maksimum değerleri tablo 10. da gösterilmiştir

Tablo 10. Kırsal bölge empedans ölçüm değerleri

KIRSAL BÖLGE	Minimum	Ortalama	Maksimum
10 kHz	2,962	3,255	3,564
20 kHz	3,122	3,481	3,820
30 kHz	3,619	3,982	4,435
40 kHz	5,124	5,299	5,489
50 kHz	7,001	7,143	7,325
60 kHz	8,536	9,417	10,416
70 kHz	10,595	12,192	13,986
80 kHz	12,173	13,580	14,873
90 kHz	9,051	9,886	10,454
100 kHz	5,211	7,004	8,189
110 kHz	4,318	5,920	6,935
120 kHz	4,916	6,555	7,894
130 kHz	6,296	7,794	9,019
140 kHz	8,297	9,266	10,520
150 kHz	10,100	11,203	12,111
160 kHz	12,391	13,352	14,102
170 kHz	14,871	15,915	17,352

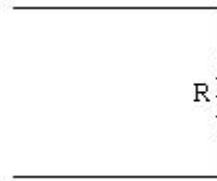
Kırsal bölgede yapılan ölçümler sırasında Türkiye de yaygın olarak kullanılan bir televizyonun enerji hattından tamamen ayrılması sonucu şekil 87’ deki gibi bir grafik elde edilmiştir.



Şekil 87. Televizyonun enerji hattında olmaması durumu

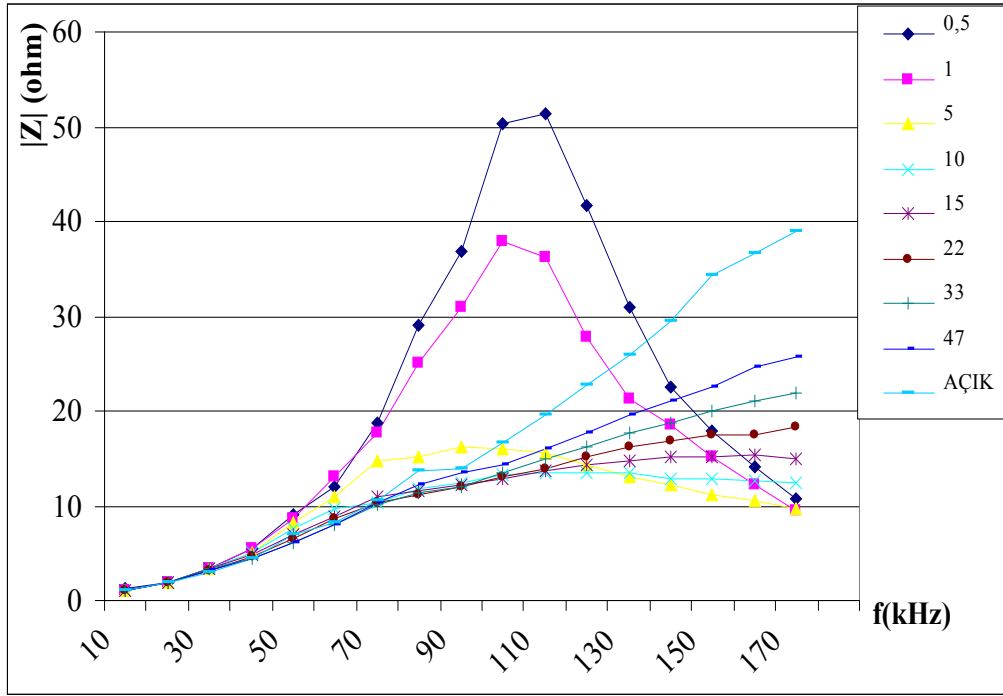
### 2.5.5. Enerji Hattı Empedansı Özel Ölçümleri

Enerji iletim hattını temsilen değişik değerlikli direnç, kondansatör ve endüktansın seri ve paralel kombinasyonlu bağlanması sonucu değişik ifadeler elde edilmiştir.

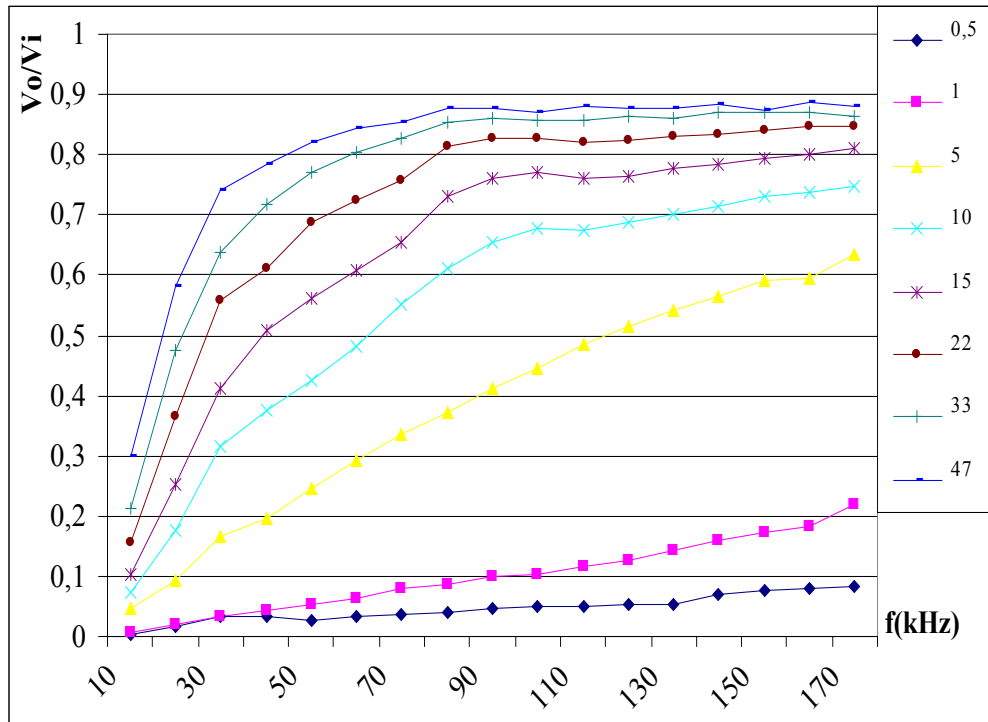


Şekil 88. Hattın omik yük ile temsil edilmesi

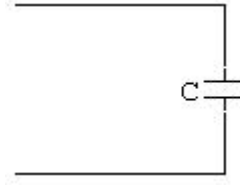
Şekil 23. deki devrenin uçlarına enerji iletim hattını temsilen şekil 88.’ deki gibi omik yük bağlanırsa hattın empedansını ve kazancını gösteren ifade şekil 89 ve 90 daki gibi elde edilir.



Şekil 89. Empedansın, ölçme devresinde omik yük durumu için, frekansla değişimi

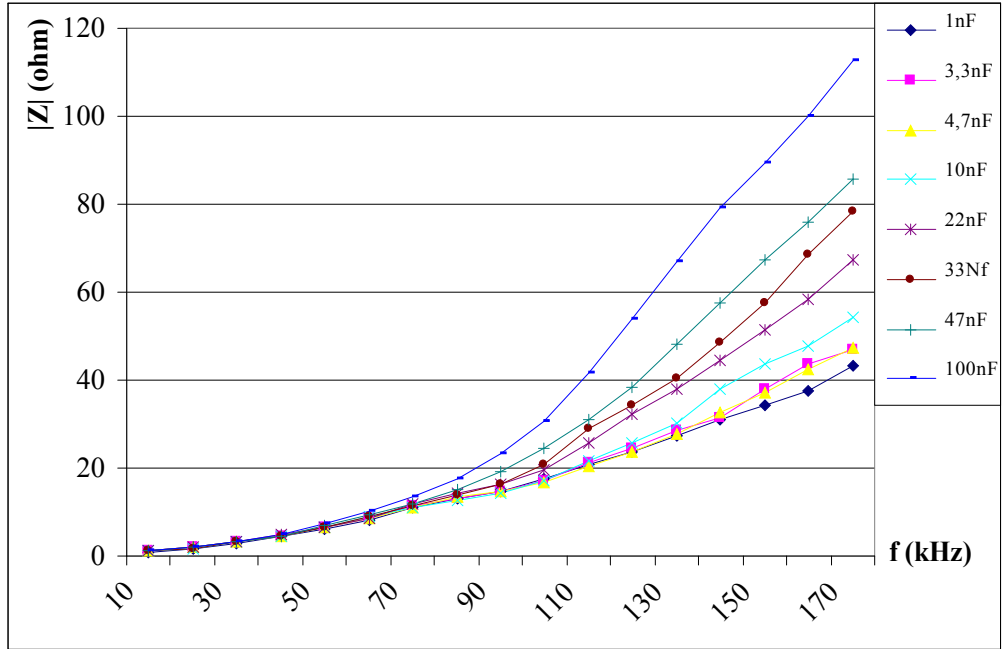


Şekil 90. Kazancın, ölçme devresinde omik yük durumu için, frekansla değişimi.

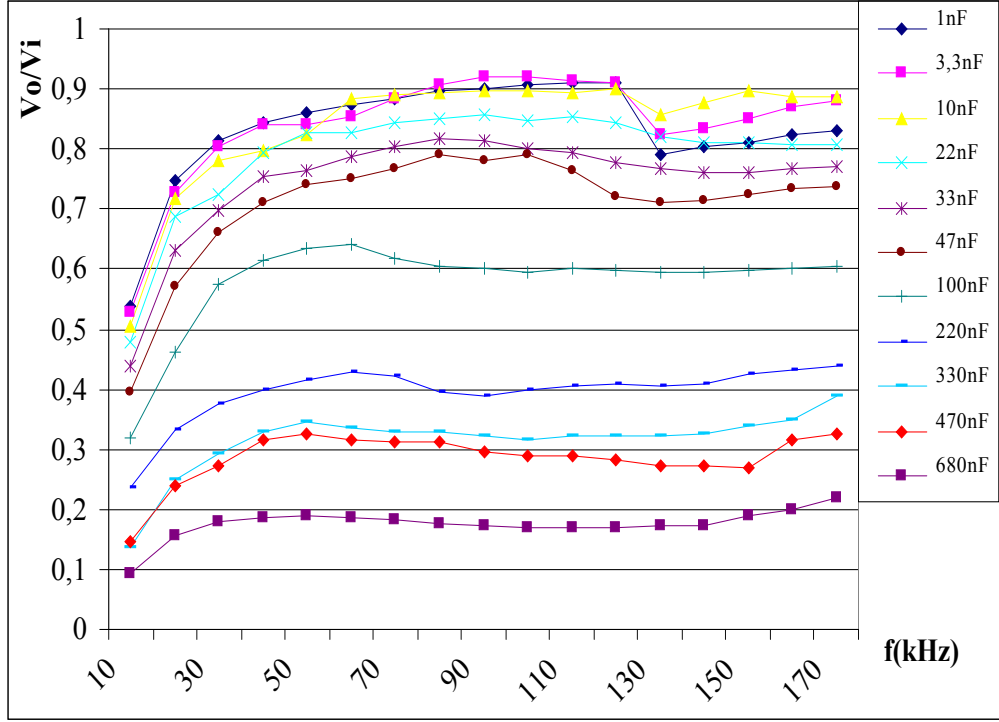


Şekil 91. Hattın kapasitif yükü temsil edilmesi

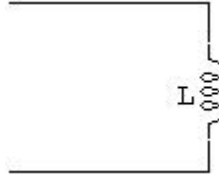
Şekil 23. deki devrenin uçlarına enerji iletim hattını temsilen şekil 91. deki gibi kapasitif yük bağlanırsa hattın empedansını ve kazancını gösteren ifade şekil 92. ve 93. deki gibi elde edilir.



Şekil 92. Empedansın, ölçme devresinde kapasitif yük durumu için, frekansla değişimi.



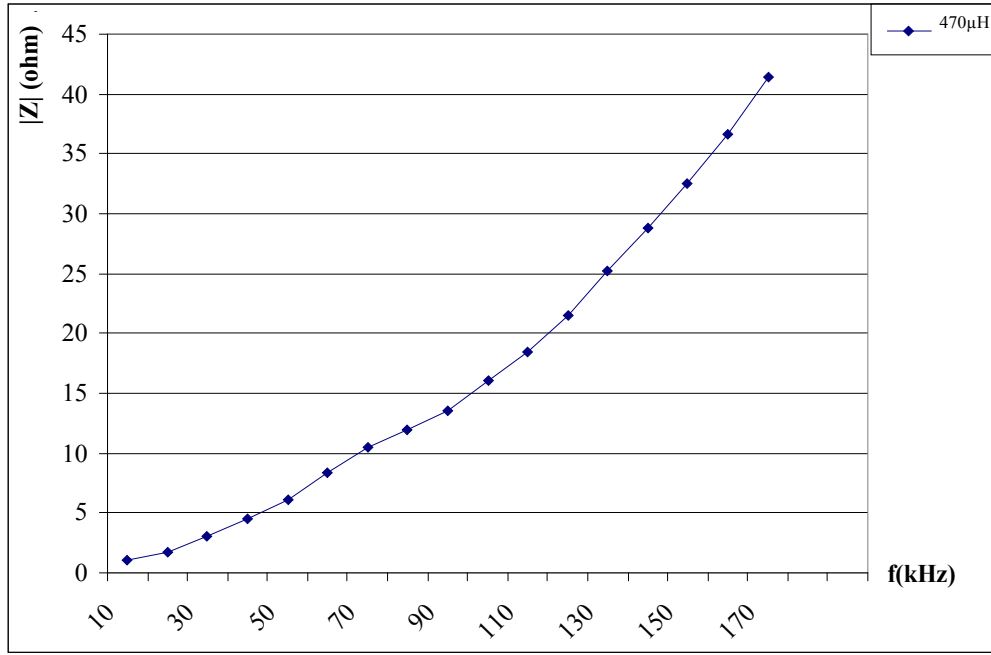
Şekil 93. Kazancın, ölçme devresinde kapasitif yük durumu için, frekansla değişimi.



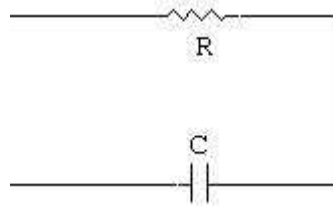
Şekil 94. Hattın endüktif yükü temsil edilmesi

Şekil 23. deki devrenin uçlarına enerji iletim hattını temsilen şekil 94.'deki gibi kapasitif yük bağlanırsa hattın empedansını gösteren ifade şekil 95.'deki gibi elde edilir

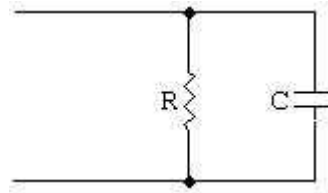




Şekil 95. Empedansın, ölçme devresinde endüktif yük durumu için, frekansla değişimi

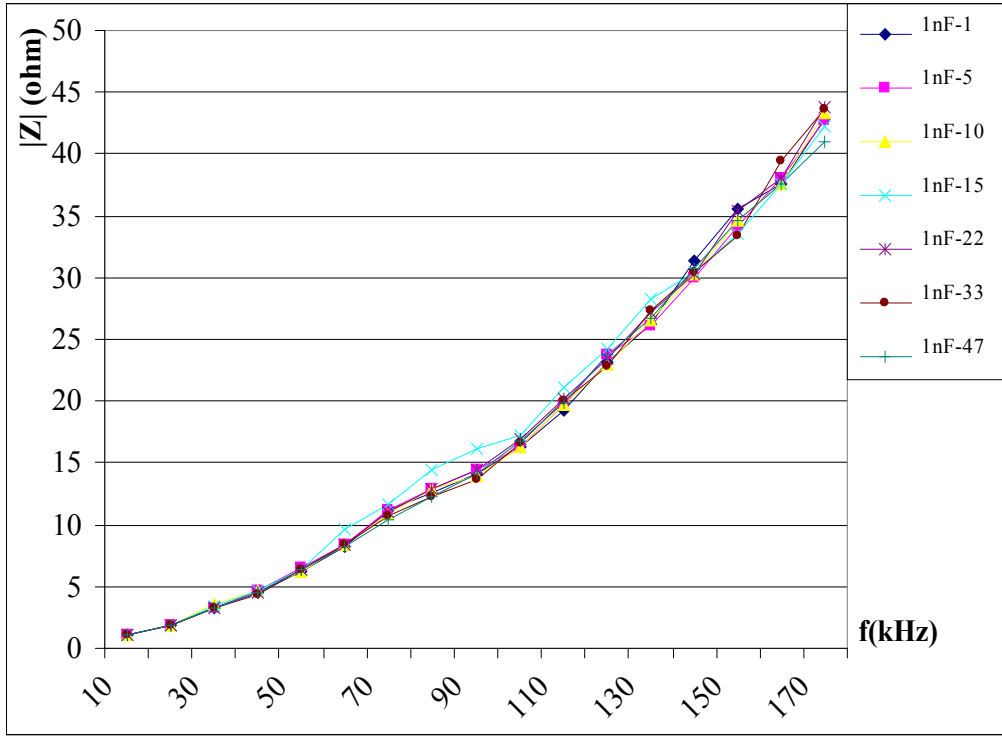


Şekil 96. Hattın seri R-C devresi ile temsil edilmesi

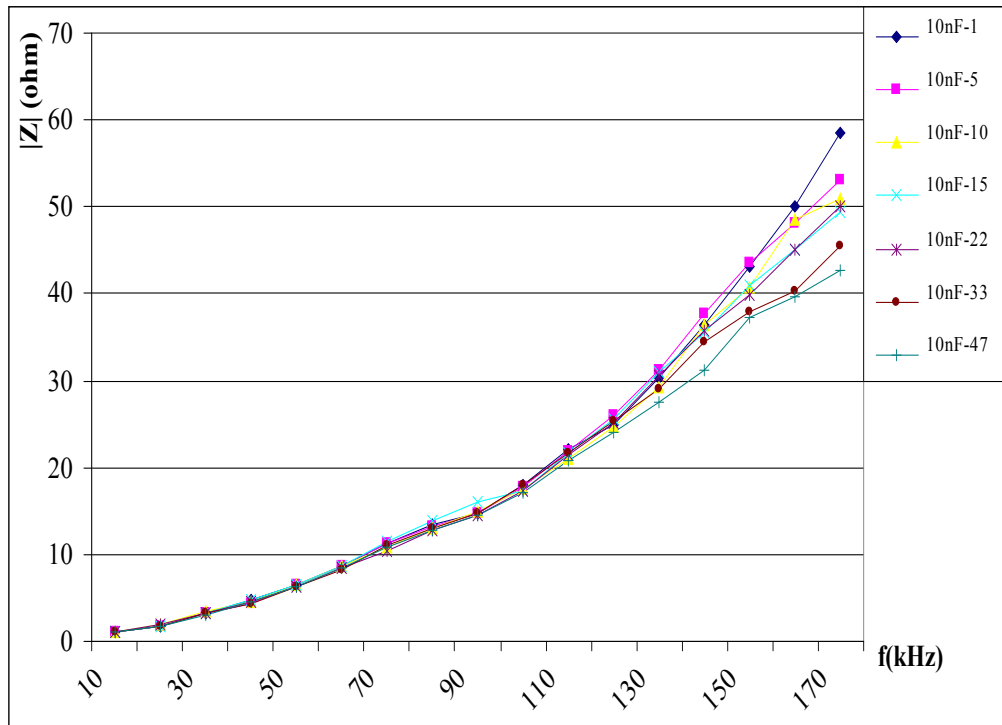


Şekil 97. Hattın paralel R-C devresi ile temsil edilmesi

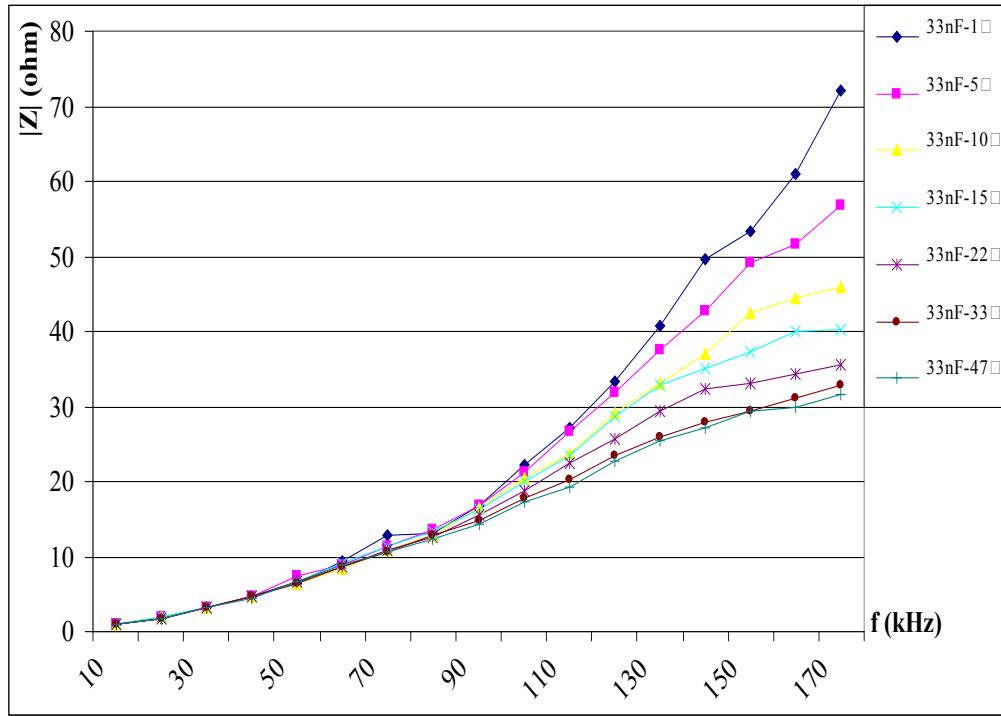
Şekil 23. deki devrenin uçlarına enerji iletim hattını temsilen şekil 96.'daki R-C seri ve şekil 97.'deki ve R-C paralel devrelerinin bağlanmasıyla frekansa bağlı olarak şekil 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 ve 108' de ki grafikler elde edilir.



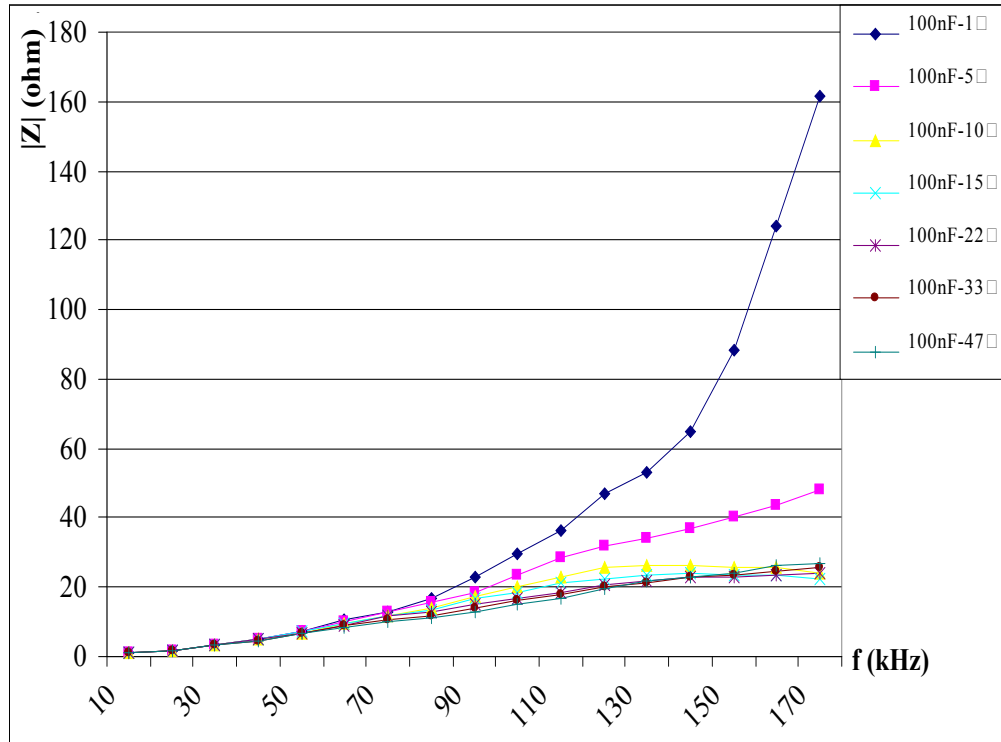
Şekil 98. Ölçme devresinde seri 1nF -R yük durumu



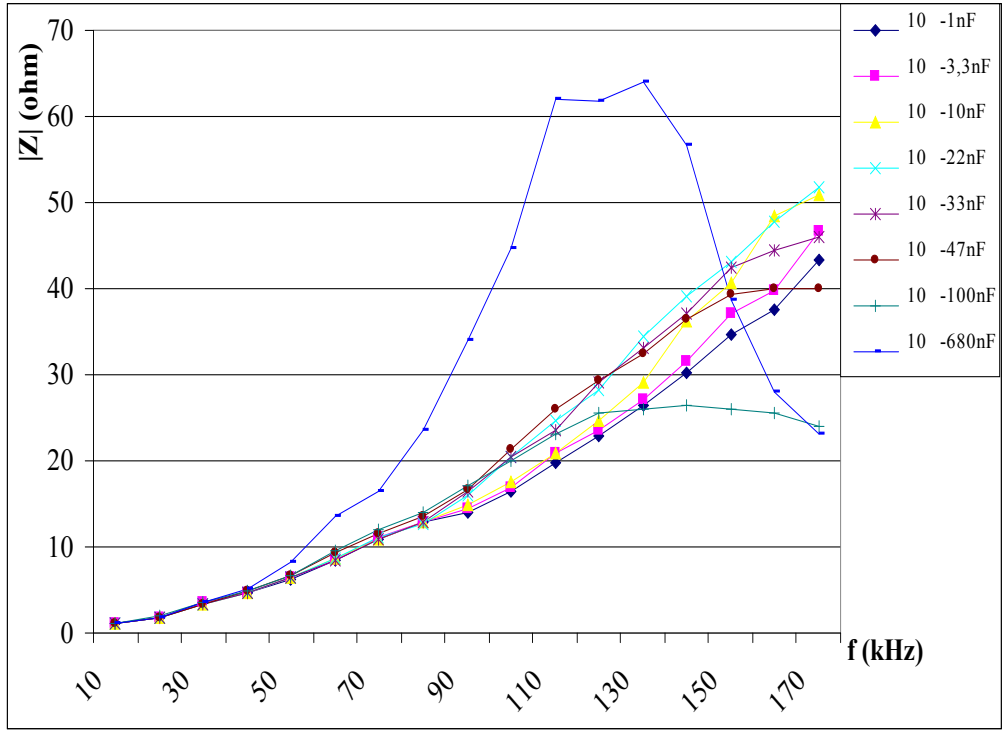
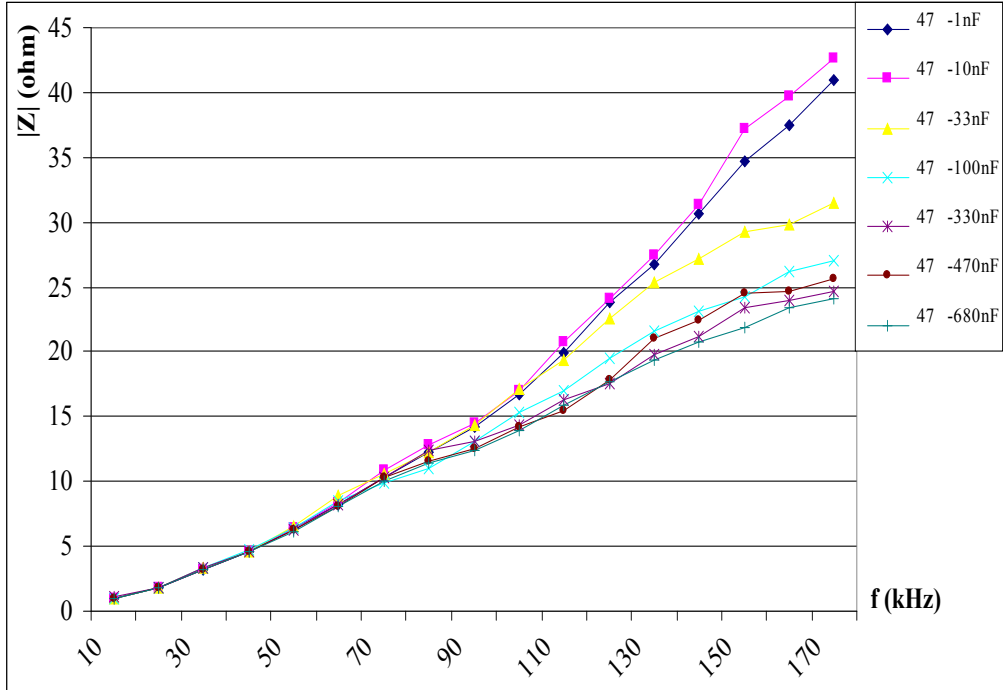
Şekil 99. Ölçme devresinde seri 10nF -R yük durumu

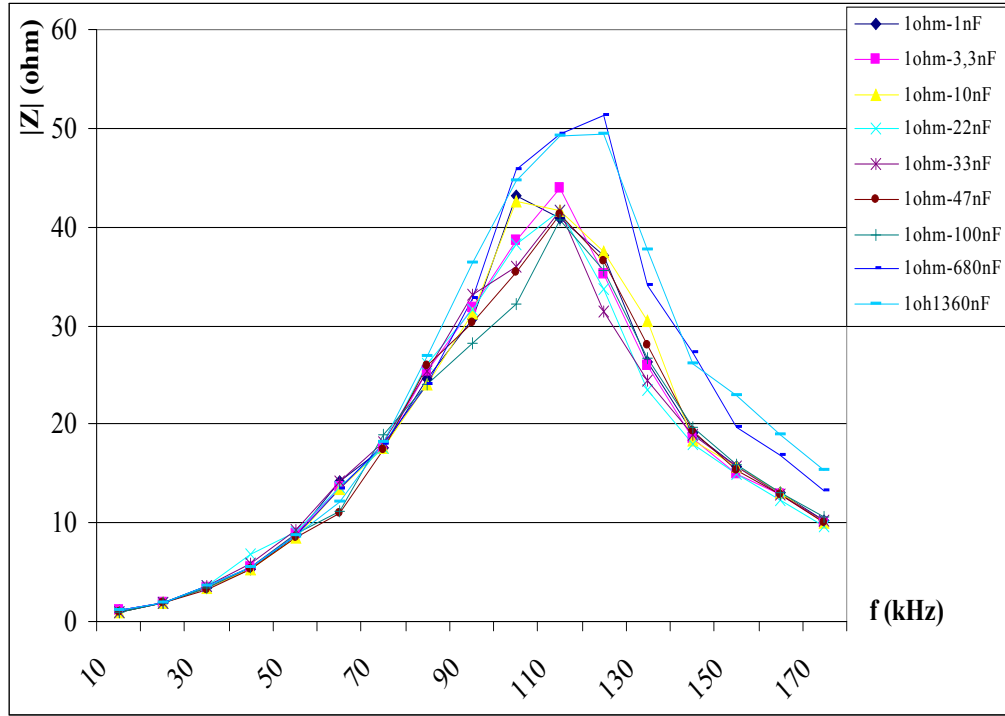
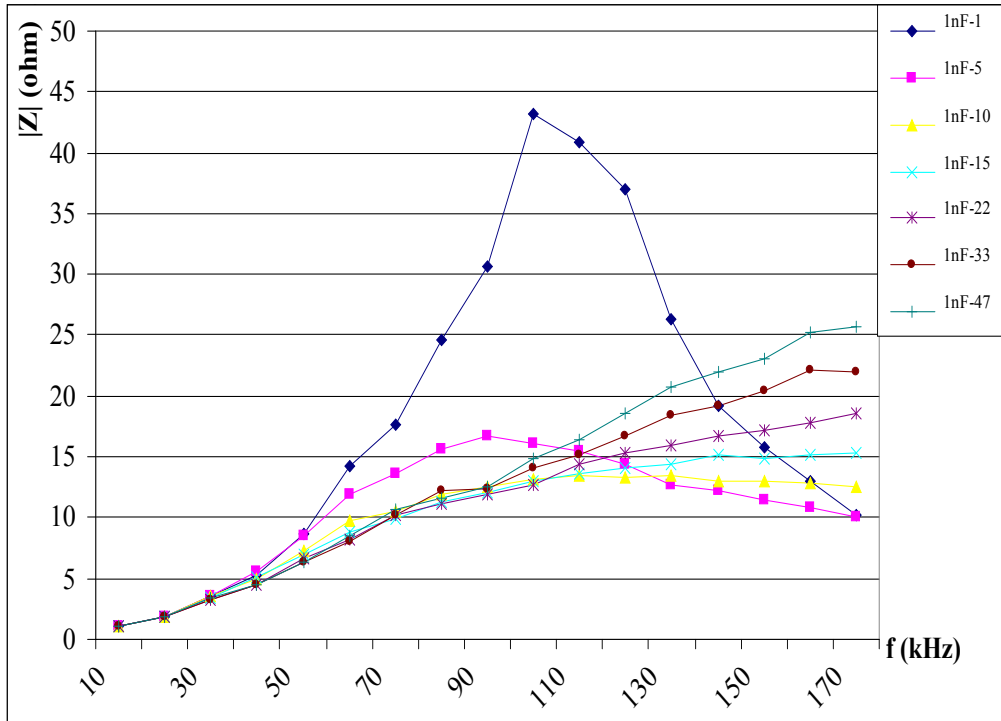


Şekil 100. Ölçme devresinde seri 33nF -R yük durumu.

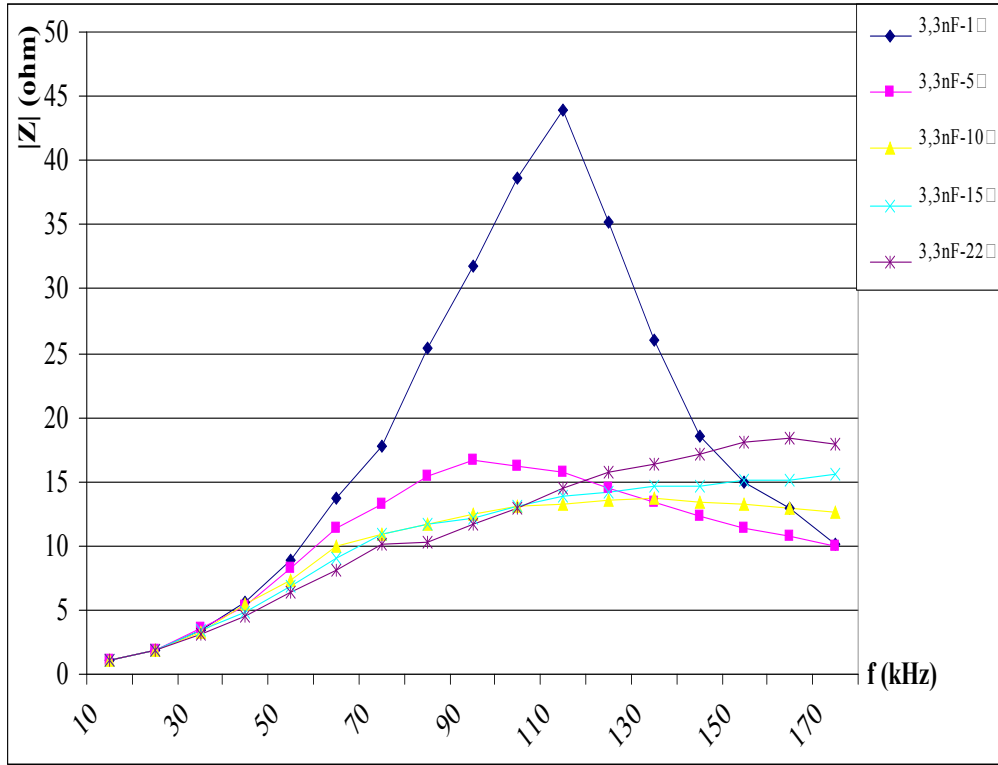


Şekil 101. Ölçme devresinde seri 100nF -R yük durumu

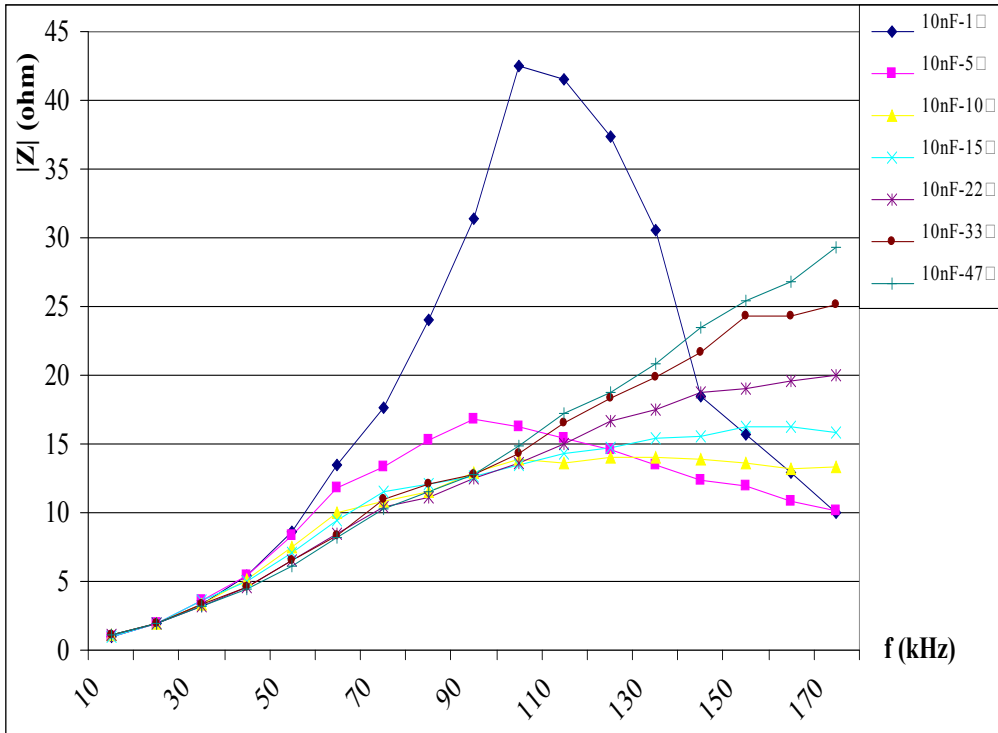
Şekil 102. Ölçme devresinde seri  $10\Omega$  -C yük durumuŞekil 103. Ölçme devresinde seri  $47\Omega$  -C yük durumu

Şekil 104. Ölçme devresinde paralel  $1\Omega$  -C yük durumu

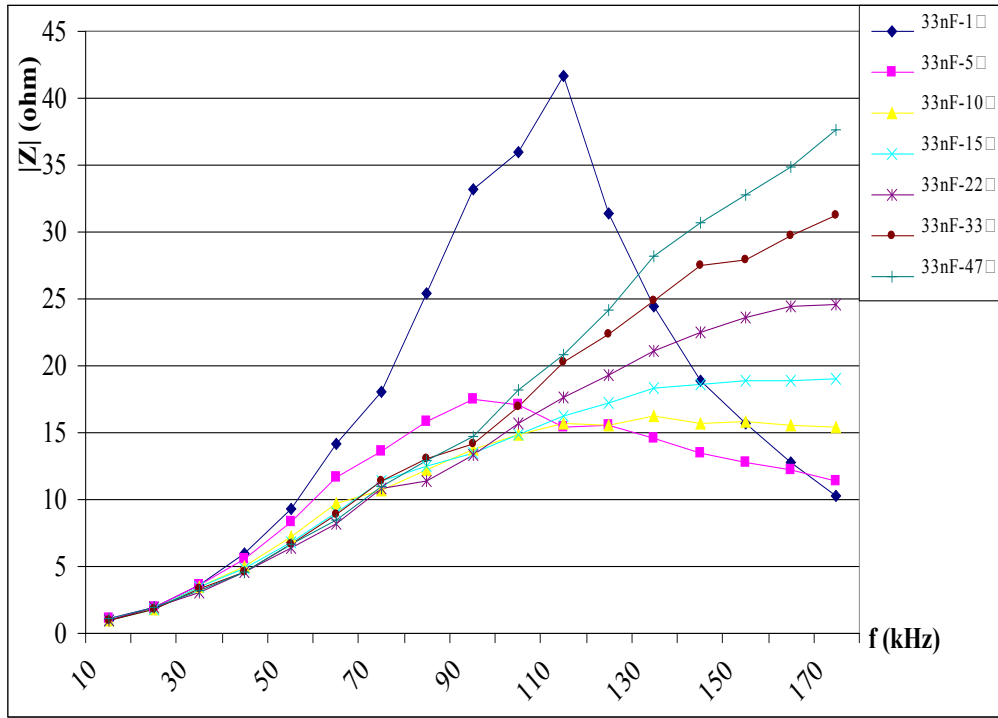
Şekil 105. Ölçme devresinde paralel 1nF -R yük durumu



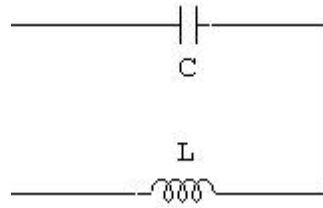
Şekil 106. Ölçme devresinde paralel 3,3nF -R yük durumu



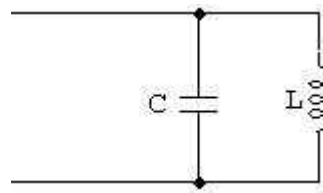
Şekil 107. Ölçme devresinde paralel 10nF -R yük durumu



Şekil 108. Ölçme devresinde paralel 33nF -R yük durumu

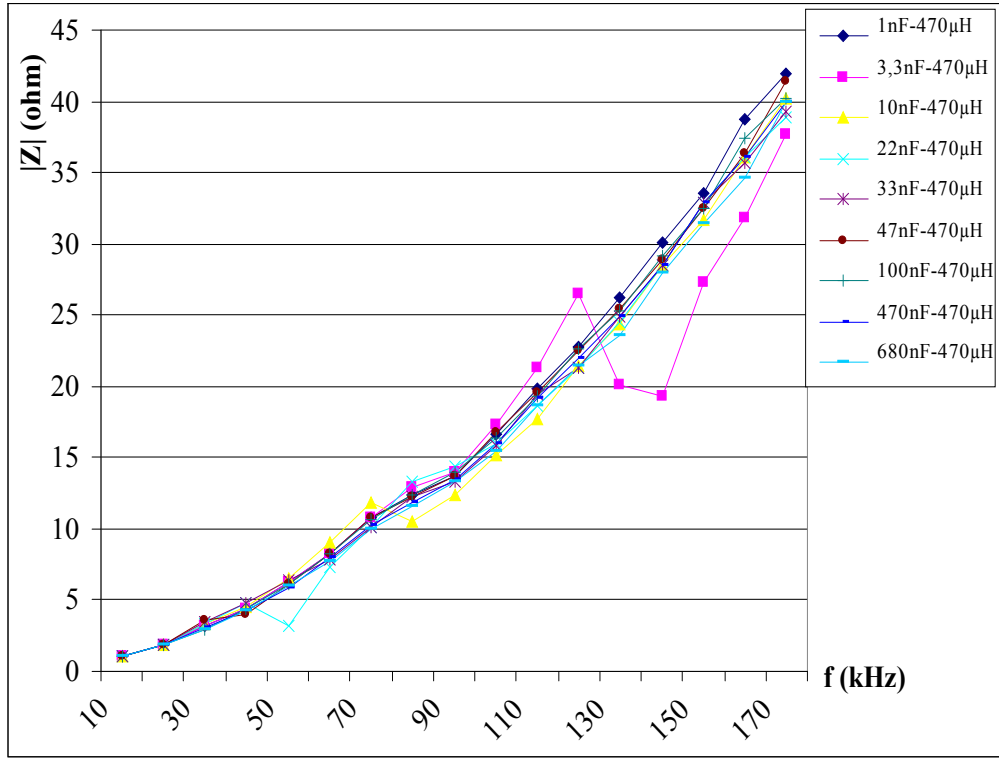


Şekil 109. Hattın seri C-L devresi ile temsil edilmesi

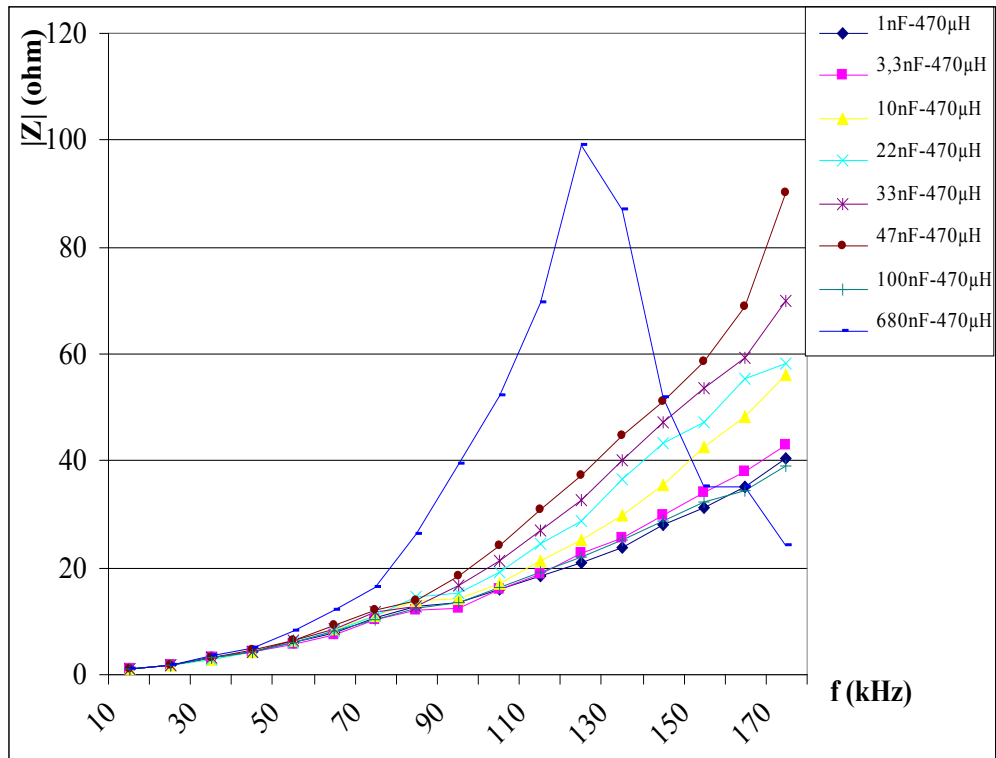


Şekil 110. Hattın paralel C-L devresi ile temsil edilmesi

Şekil 23. deki devrenin uçlarına enerji iletim hattını temsilen şekil 109. deki C-L seri ve şekil 110. daki C-L paralel devrelerinin bağlanmasıyla şekil 111 ve 112 elde edilir.

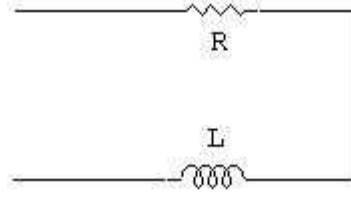


Şekil 111. Ölçme devresinde seri C-470 $\mu$ H yük durumu.

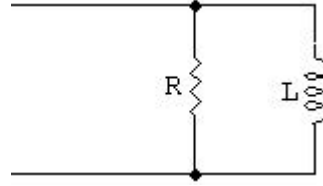


Şekil 112. Ölçme devresinde paralel C-470 $\mu$ H yük durumu



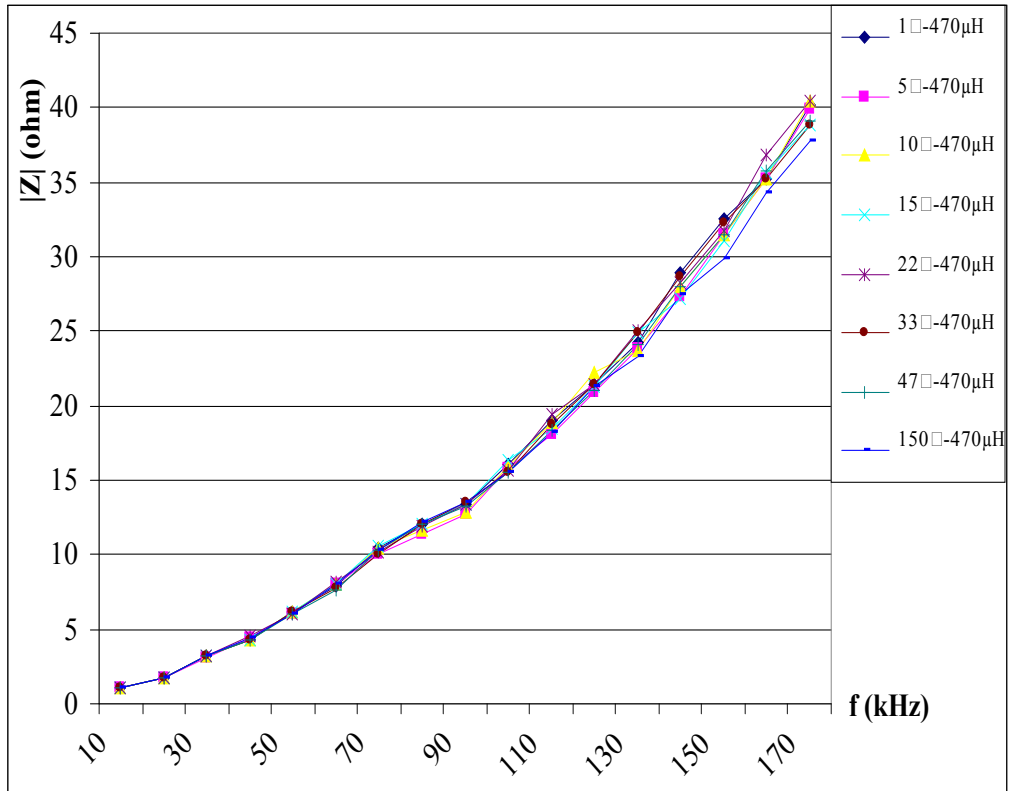


Şekil 113. Hattın seri R-L devresi ile temsil edilmesi

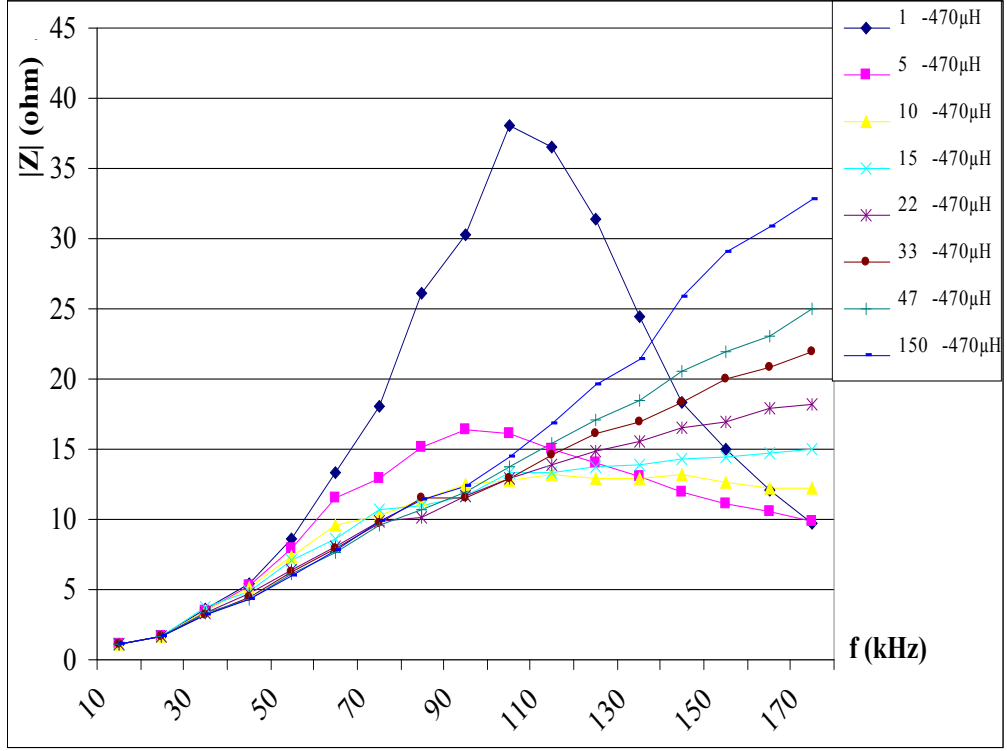


Şekil 114. Hattın paralel R-L devresi ile temsil edilmesi

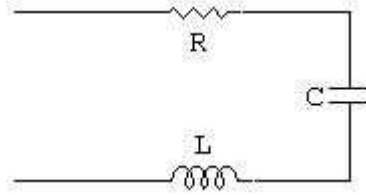
Şekil 23. deki devrenin uçlarına enerji iletim hattını temsilen şekil 113.deki R-L seri ve şekil 114. deki ve R-L paralel devrelerinin bağlanmasıyla Şekil 115 ve 116 elde edilir.



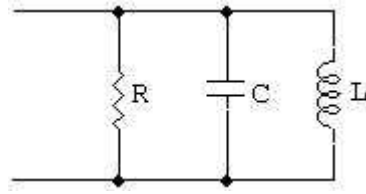
Şekil 115. Ölçme devresinde seri R-470µH yük durumu



Şekil 116. Ölçme devresinde paralel R-470μH yük durumu.

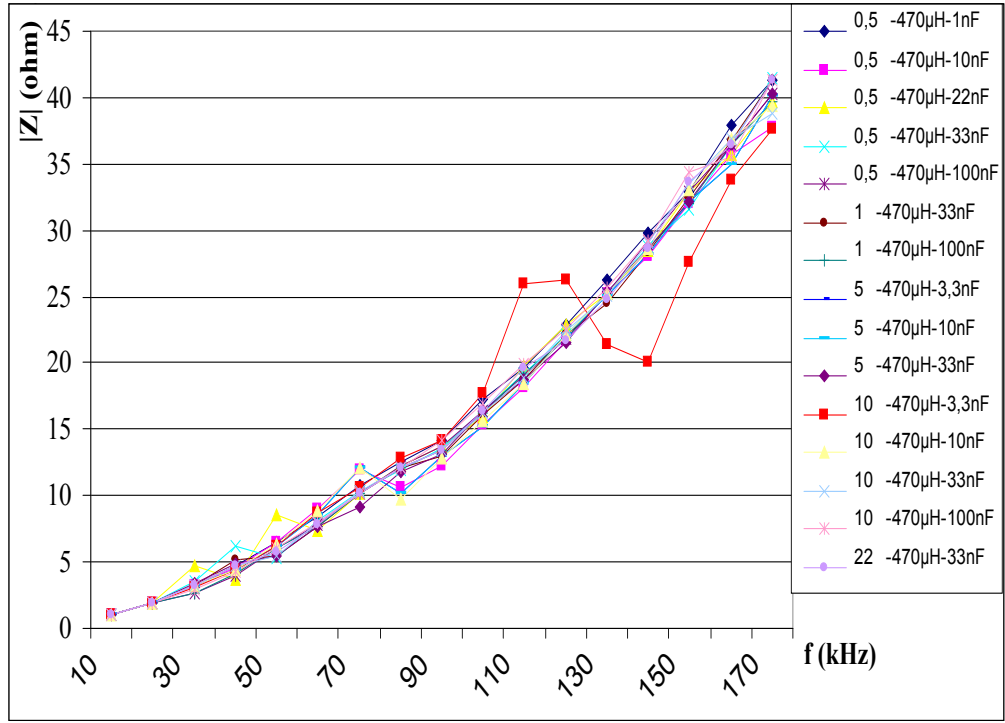


Şekil 117. Hattın seri R-L-C devresi ile temsil edilmesi

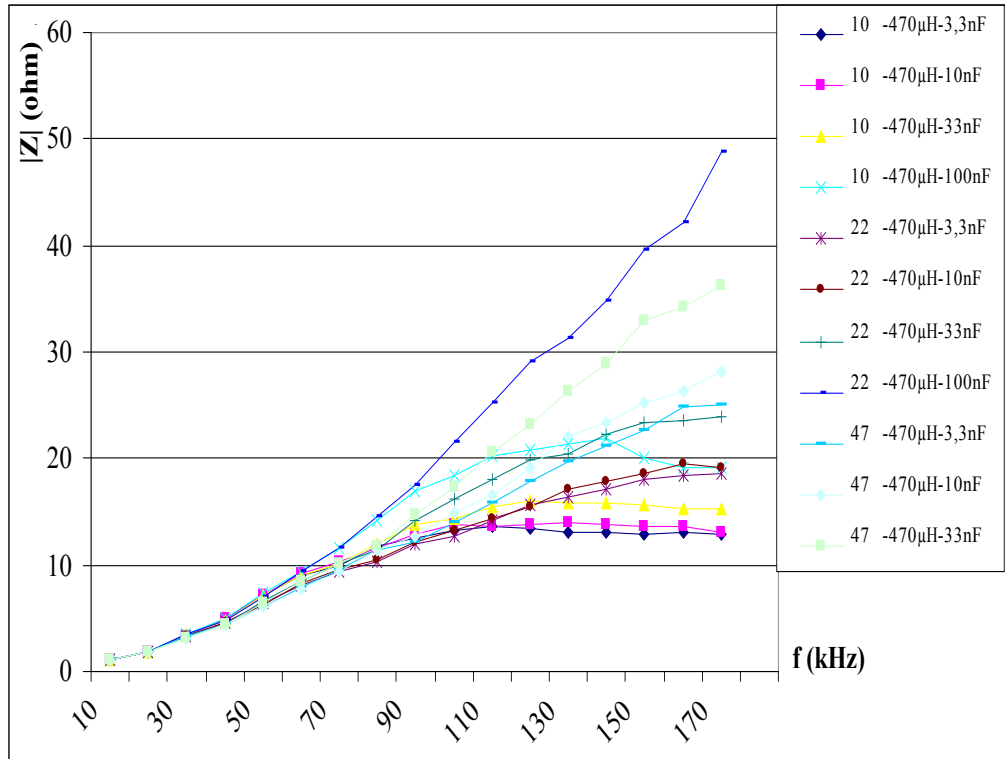


Şekil 118. Hattın paralel R-L-C devresi ile temsil edilmesi

Şekil 23. deki devrenin uçlarına enerji iletim hattını temsilen şekil 117.deki R-L-C seri ve şekil 118. deki ve R-L-C paralel devrelerinin bağlanmasıyla şekil 119 ve 120 elde edilir.



Şekil 119. Ölçme devresinde seri R-L-C yük durumu



Şekil 120. Ölçme devresinde paralel R-L-C yük durumu

## 2.6. Zayıflama Analizi

Enerji hatları üzerinde veri iletimini zorlaştıran en önemli etkenlerden bir tanesi de zayıflama'dır. Zayıflamanın frekans, uzaklık ve zamanla değişimini incelemek için vericideki sinyalin (sinüs) frekansı CENELEC A,B,C bandları boyunca değiştirilir [3]. Gönderilen frekanslarındaki alınan güç değerleri kaydedilerek (güç, frekans) eğrisi bulunur. Uzaklık değiştirilerek elde edilecek [(güç,frekans), (güç,uzaklık)] verilerinden uzaklık sıfır iken elde edilen veriler çıkarılarak [(zayıflama, frekans), (zayıflama, uzaklık)] grafiklerine geçilir [8, 60]. Burada (zayıflama, uzaklık) grafikleri, frekans sabit tutularak yapılmalıdır.

### 2.6.1. Sinyal Zayıflaması

Sinyal zayıflaması ( $D(f)$ , *Attenuation*) zamana, frekansa ve mesafeye bağlı olarak değişmektedir. Sinyal zayıflamasının gece-gündüz hassasiyeti olmakla beraber frekans ve mesafenin artması ile de artar. Genelde iletilen sinyalin km başına 100 dB zayıfladığı kabul edilir [17].

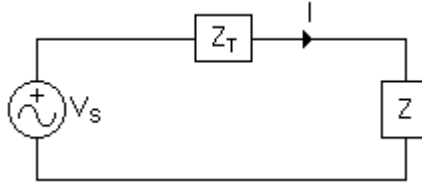
$H(f)$  transfer fonksiyonu olmak üzere  $D(f)$  sinyal zayıflaması aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$D(f) = -20 \log_{10} |H(f)| \quad [dB] \quad (59)$$

(59) numaralı eşitlikten de anlaşılacağı gibi sinyal zayıflamasını bulmamız için öncelikle transfer fonksiyonunu bulmalıyız. Şekil 22.'deki sistem modeli için transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir [4].

$$H(f) = \frac{V_L(f)}{V_s(f)} \quad (60)$$

Transfer fonksiyonunu elde etmek için kaynak gerilimi ( $V_s$ ) ve alıcı giriş gerilimini ( $V_L$ ) bulmalıyız. Giriş empedansından yararlanarak sistem modelini Şekil 121' de ki gibi basitleştirelim.



Şekil 121. Basitleştirilmiş yapı [4]

Ana kol akımı  $I$  ve alıcı giriş akım  $I_L$  olmak üzere kaynak gerilimi  $V_s$  ve alıcı giriş gerilimi  $V_L$  aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$V_s = I(Z_T + Z) \quad (61)$$

$$V_L = IZ_L \quad (62)$$

Şimdi ana kol akımını alıcı giriş akımı cinsinden ifade edelim.

$$I_C X_C = I_L (X_L + Z_L) \quad (63)$$

$$I_C = I_L \frac{X_L + Z_L}{X_C} \quad (64)$$

$$I = I_L + I_C = I_L \frac{X_C + X_L + Z_L}{X_C} \quad (65)$$

(65) numaralı eşitliği  $X_L = \omega L$ ,  $X_C = 1/\omega C$  ve  $Z_L = Z_{Lx} + Z_{Ly}$  olacak şekilde yeniden düzenleyelim.

$$I = I_L \frac{\frac{1}{j\omega C} + j\omega L + Z_{Lx} + jZ_{Ly}}{\frac{1}{j\omega C}} \quad (66)$$

$$I = I_L \left( (1 - \omega^2 LC - \omega CZ_{Ly}) + j\omega CLZ_{Lx} \right) \quad (67)$$

(67) numaralı eşitliği basitleştirmek için  $a_h$  ve  $b_h$  olmak üzere iki yeni değişken tanımlayalım.

$$a_h = 1 - \omega^2 LC - \omega CZ_{Ly} \quad (68)$$

$$b_h = \omega CLZ_{Lx} \quad (69)$$

$a_h$  ve  $b_h$  değişkenlerini (67) numaralı eşitlikte yerine koyalım.

$$I = I_L(a_h + jb_h) \quad (70)$$

Böylece ana kol akımı alıcı giriş akımı cinsinden ifade edilmiş oldu. Şimdi (60) numaralı eşitliği kullanarak transfer fonksiyonunu bulalım.

$$H = \frac{V_L}{V_s} = \frac{I_L Z_L}{I(Z_T + Z)} = \frac{I_L Z_L}{I_L(a_h + jb_h)(Z_T + Z)} \quad (71)$$

$$H = \frac{Z_L}{(a_h + jb_h)(Z_T + Z)} \quad (72)$$

$$H = \frac{Z_L}{(a_h(Z_x + Z_{Tx}) - b_h(Z_y + Z_{Ty})) + j(a_h(Z_y + Z_{Ty}) + b_h(Z_x + Z_{Tx}))} \quad (73)$$

(73) numaralı eşitliği basitleştirmek için  $c_h$  ve  $d_h$  olmak üzere iki yeni değişken tanımlayalım.

$$c_h = a_h(Z_x + Z_{Tx}) - b_h(Z_y + Z_{Ty}) \quad (74)$$

$$d_h = a_h(Z_y + Z_{Ty}) + b_h(Z_x + Z_{Tx}) \quad (75)$$

$$H = \frac{Z_L}{c_h + jd_h} \quad (76)$$

(76) numaralı eşitliğin paydasını reel yapmak için pay ve paydayı  $c_h - jd_h$  ile çarpalım.

$$H = \frac{Z_L(c_h - jd_h)}{(c_h + jd_h)(c_h - jd_h)} \quad (77)$$

$$H = \frac{c_h Z_{Lx} + d_h Z_{Ly}}{c_h^2 + d_h^2} + j \frac{c_h Z_{Ly} - d_h Z_{Lx}}{c_h^2 + d_h^2} \quad (78)$$

(78) numaralı eşitliği basitleştirmek için  $e_h$  ve  $f_h$  olmak üzere iki yeni değişken tanımlayalım.

$$e_h = \frac{c_h Z_{Lx} + d_h Z_{Ly}}{c_h^2 + d_h^2} \quad (79)$$

$$f_h = \frac{c_h Z_{Ly} - d_h Z_{Lx}}{c_h^2 + d_h^2} \quad (80)$$

Sonuç olarak

$$H = e_h + jf_h \quad (81)$$

$$|H| = \sqrt{e_h^2 + f_h^2} \quad (82)$$

$$\alpha_H = \tan^{-1} \left( \frac{f_h}{e_h} \right) \quad (83)$$

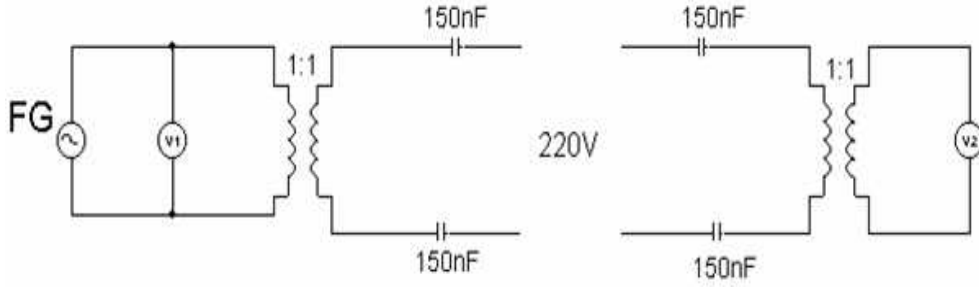
$$H = |H| e^{j\alpha_H} \quad (84)$$

Transfer fonksiyonu (68), (69), (74), (75), (79), (80) ve (81) numaralı eşitlikler kullanılarak, transfer fonksiyonunun genliği (82) numaralı eşitlik ve transfer fonksiyonunun fazı (83) numaralı eşitlik kullanılarak kolaylıkla hesaplanabilir.

Transfer fonksiyonu bulunduğuna göre (85) numaralı eşitlik kullanılarak zayıflatma kolaylıkla hesaplanabilir.

$$D(f) = -20 \log_{10} |H(f)| \quad [dB] \quad (85)$$

Şekil 122. deki ölçüm devresi ile yapılan ölçümlerle faz-nötr, faz-toprak ve notr-toprak üzerinde ki zayıflatma ölçümleri kentsel bölge, kırsal bölge ve sanayi ortamı için 50-140 kHz arasında yapılmıştır. Bu ölçümlerin sonuçları şekillerle gösterilmiştir.



Şekil 122. Zayıflama ölçüm devresi

### 2.6.2. Kentsel Bölgede Sinyal Zayıflatması

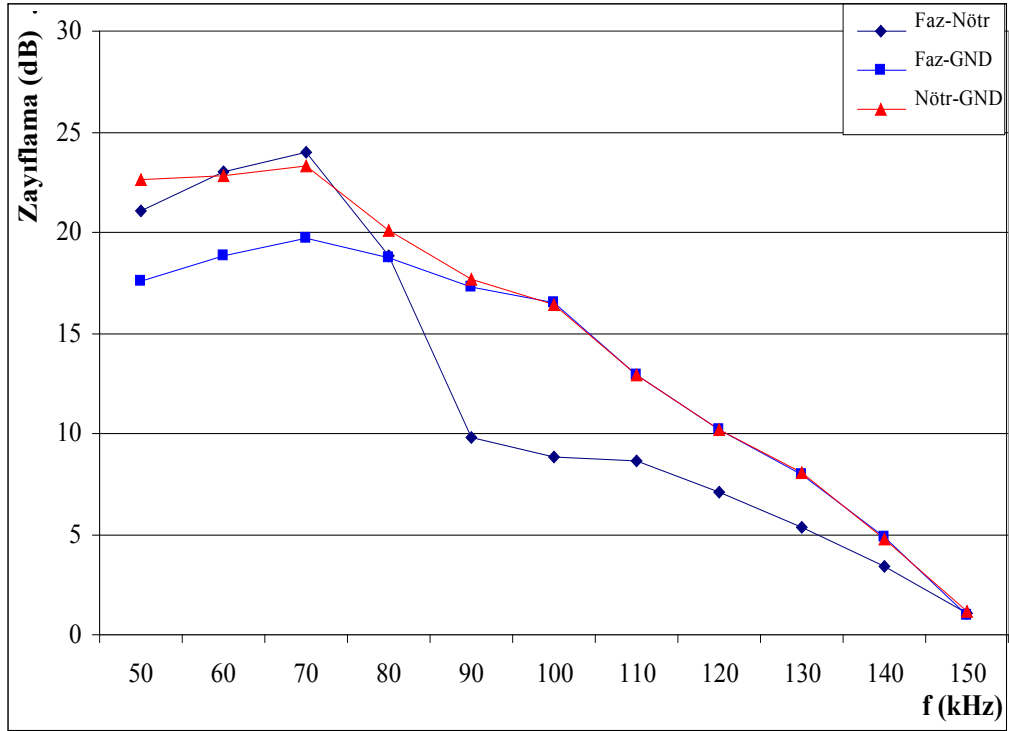
Kentsel bölgedeki bir apartman dairesinde yapılan zayıflatma ölçümleri faz-nötr, faz-toprak ve nötr-toprak olmak üzere üç farklı kanal üzerinden yapılmıştır. Dairede yapılan ölçümlerde merkezi bir verici noktası belirlenmiş ve alıcıların takılacağı diğer tüm topraklı prizlerin verici noktasına uzaklığı ve bu iki nokta arasında bulunan eklem sayısı tablo 11.'de gösterilmiştir.

Tablo 11. Kentsel bölgede prizlerin ölçüm noktasına olan uzaklığı

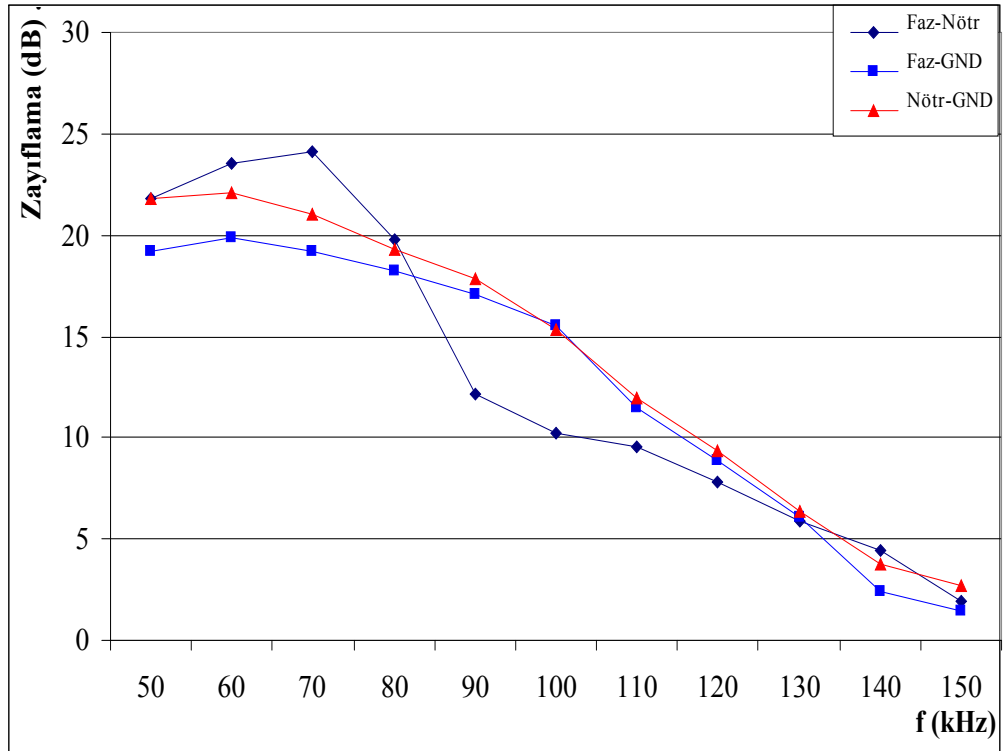
Kentsel bölge	Priz-1	Priz-2	Priz-3	Priz-4	Priz-5	Priz-6	Priz-7	Priz-8
Eklem Sayısı	7	6	8	8	8	3	8	8
Uzaklık (m)	13	16	19	13	18,5	11	18	18,5

Şekil 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129 ve 130 de kentsel bölgedeki apartman dairesinde faz-nötr, faz-toprak ve nötr-toprak üzerinden yapılan zayıflatma ölçümlerini göstermektedir. Şekillerden de görüleceği gibi kanallardaki zayıflama 3-30 dB arasında değişmektedir.

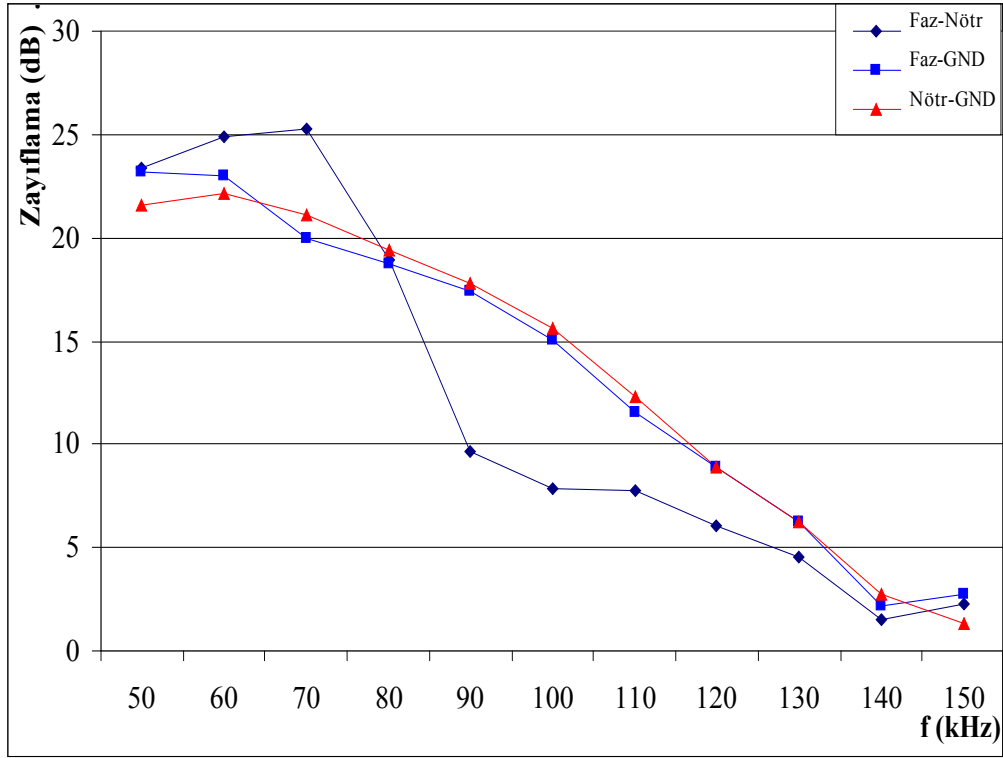




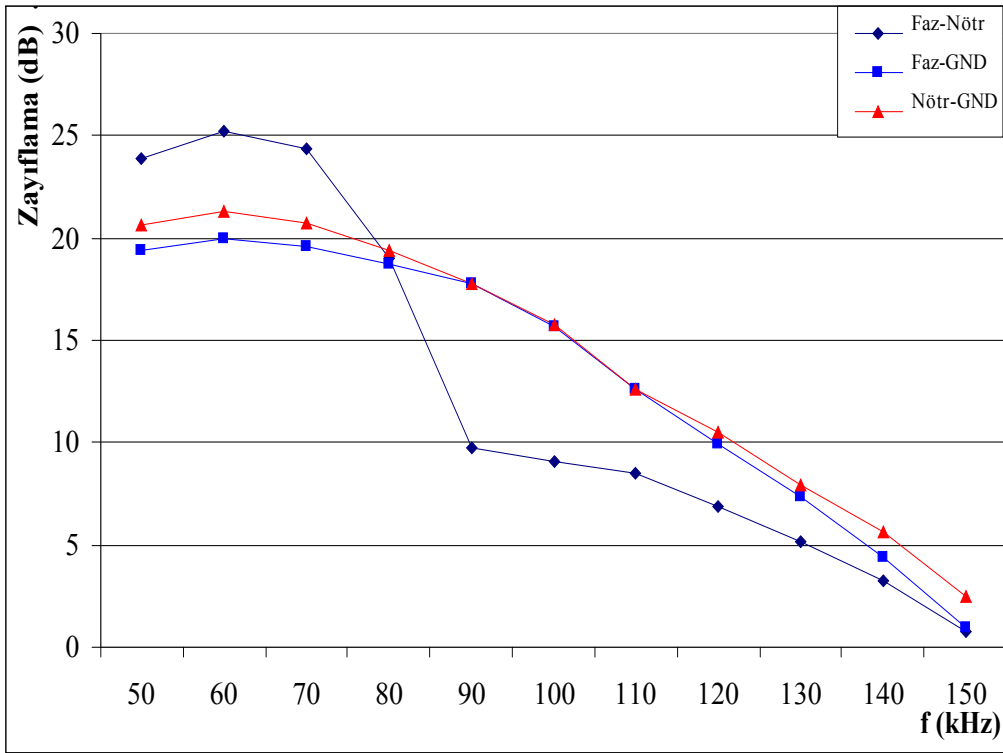
Şekil 123. Priz 1'deki zayıflama ölçümleri



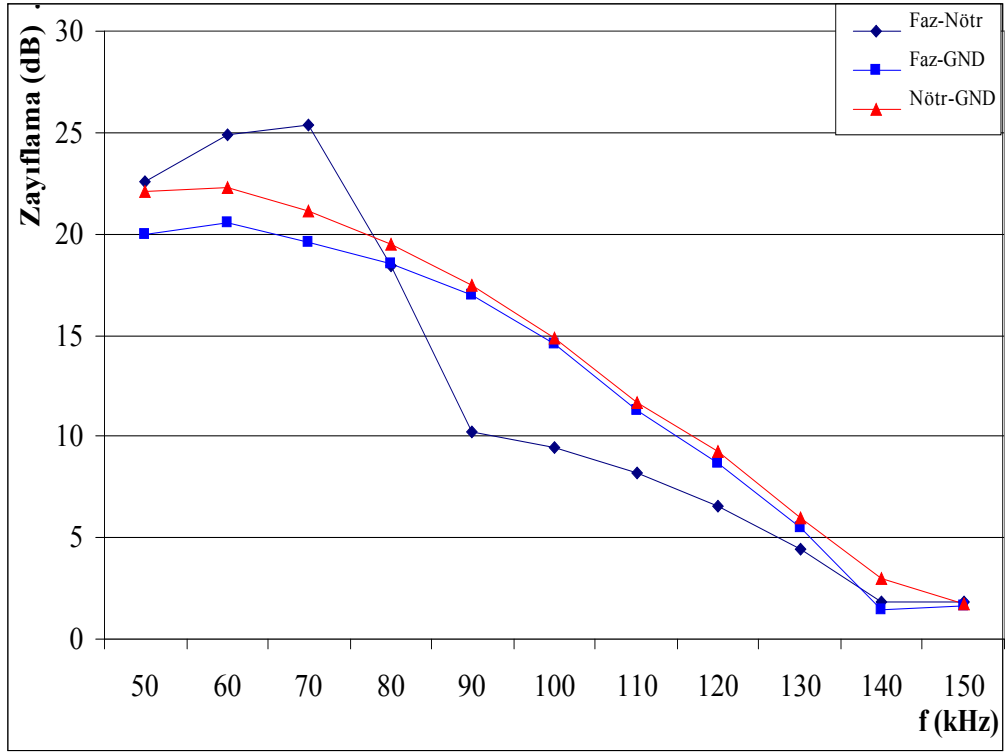
Şekil 124. Priz 2'deki zayıflama ölçümleri



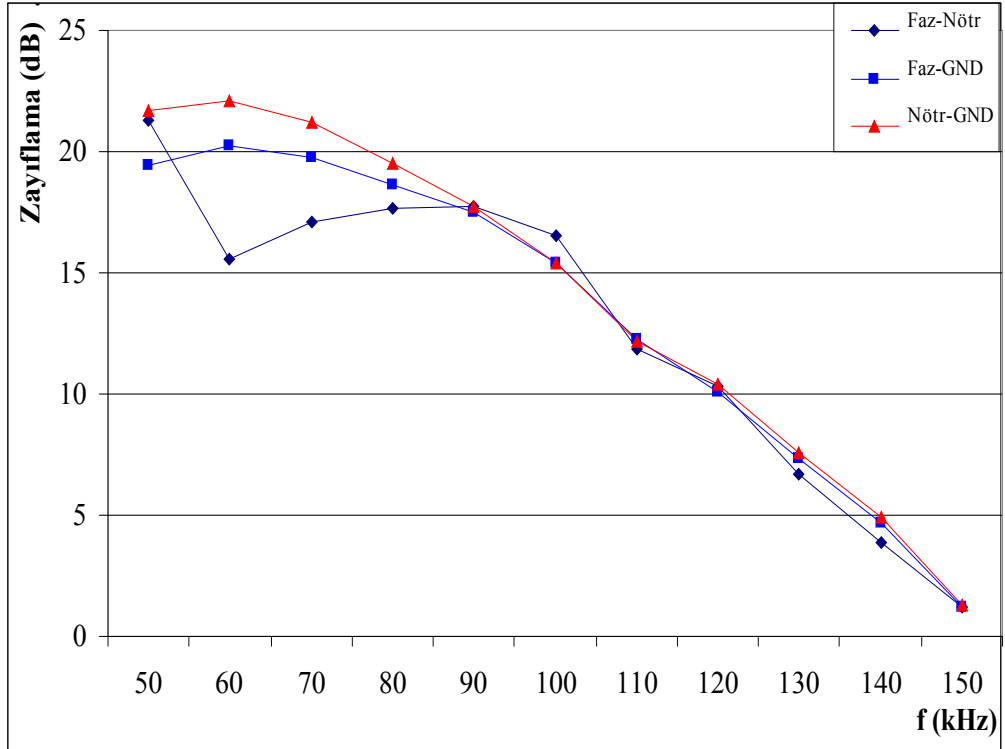
Şekil 125. Priz 3'deki zayıflama ölçümleri



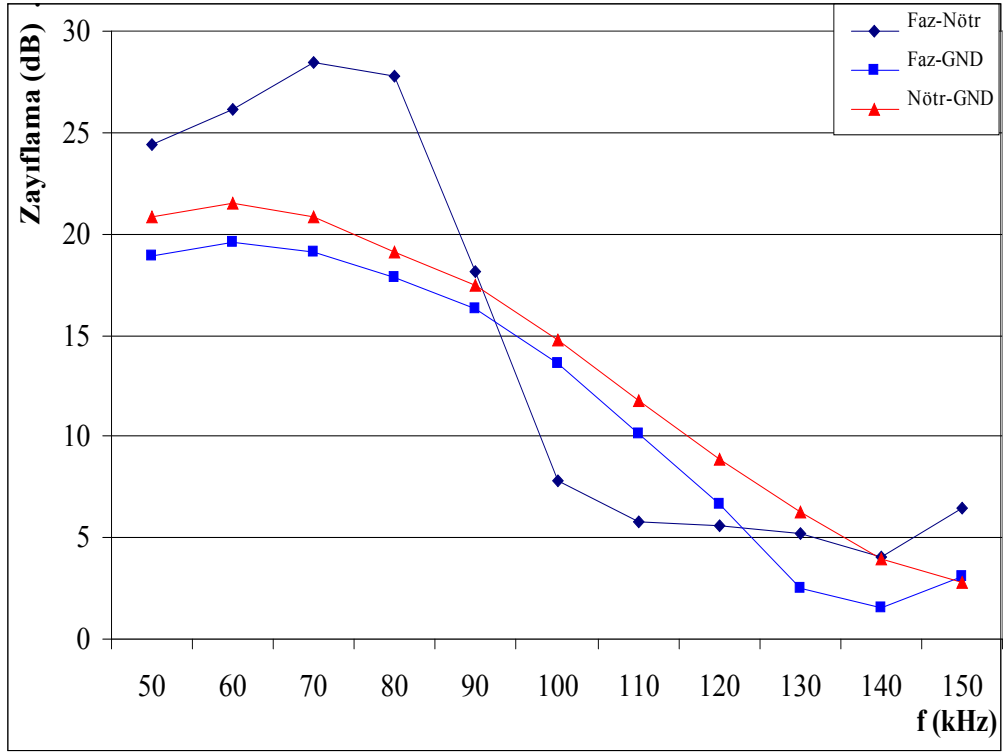
Şekil 126. Priz 4'deki zayıflama ölçümleri



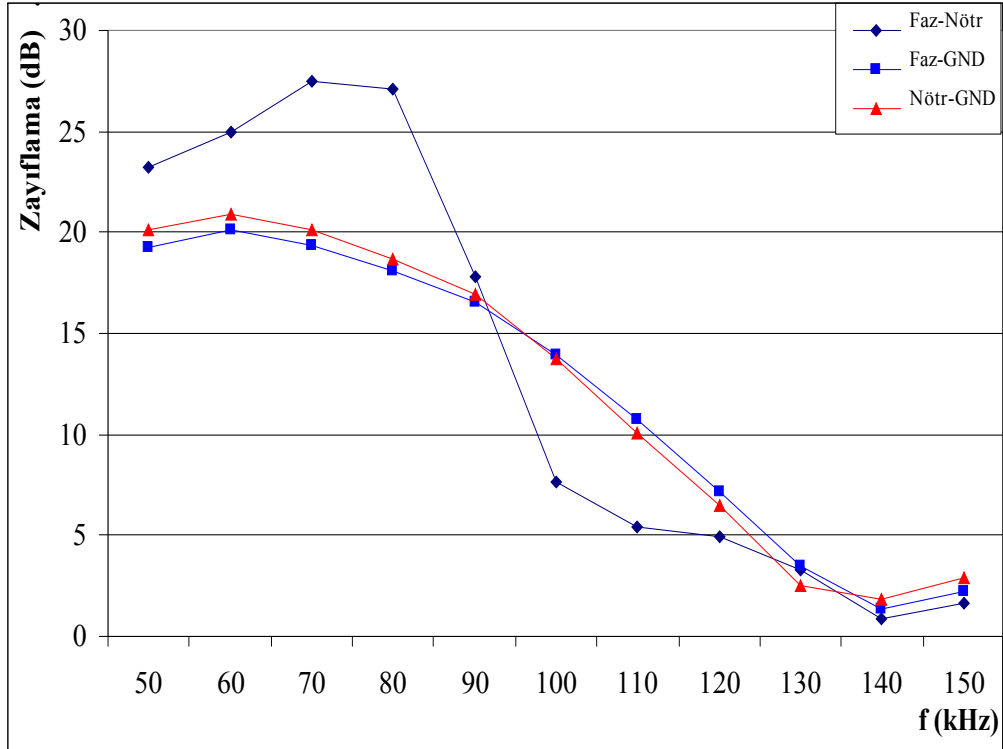
Şekil 127. Priz 5'deki zayıflama ölçümleri



Şekil 128. Priz 6'daki zayıflama ölçümleri



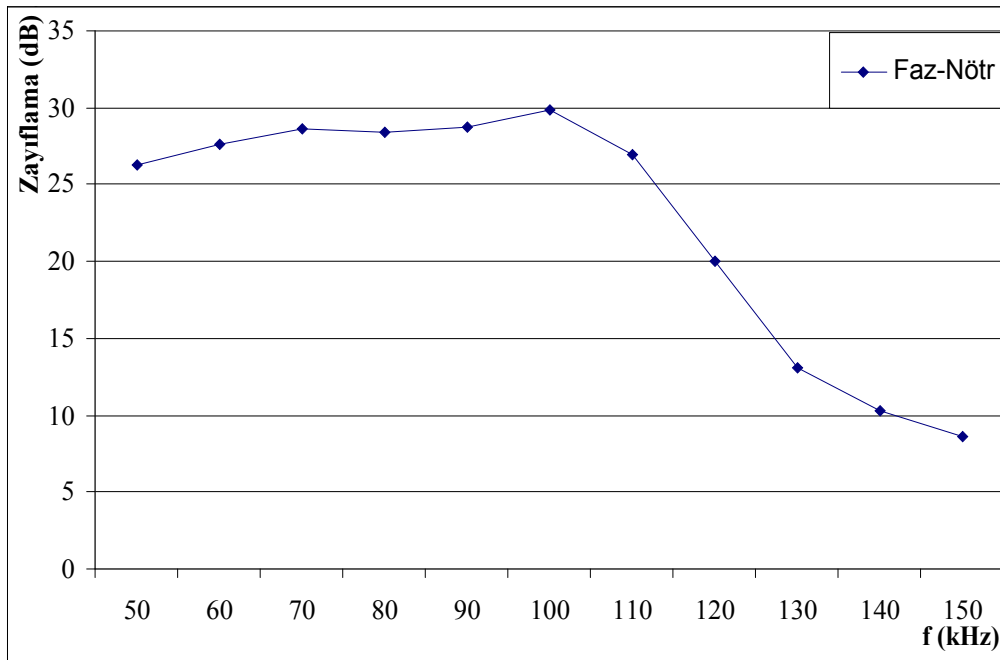
Şekil 129. Priz 7'deki zayıflama ölçümleri



Şekil 130. Priz 8'deki zayıflama ölçümleri

### 2.6.3. Sanayi Ortamında Sinyal Zayıflaması

Sanayi ortamında yapılan zayıflama ölçümleri faz-nötr kanalı üzerinden yapılmıştır. Sanayi de yapılan ölçümlerde merkezi bir verici noktası belirlenmiş ve alıcıya olan uzaklığı 25m ve alıcı-verici arasında 6 bağlantı noktası vardır. Sanayi ortamındaki sinyal zayıflaması şekil 131.'de gösterilmiştir. Şekil 131.de de görüldüğü gibi sinyal zayıflaması 7-30 dB arasında değişmektedir.



Şekil 131. Sanayi ortamında sinyal zayıflaması

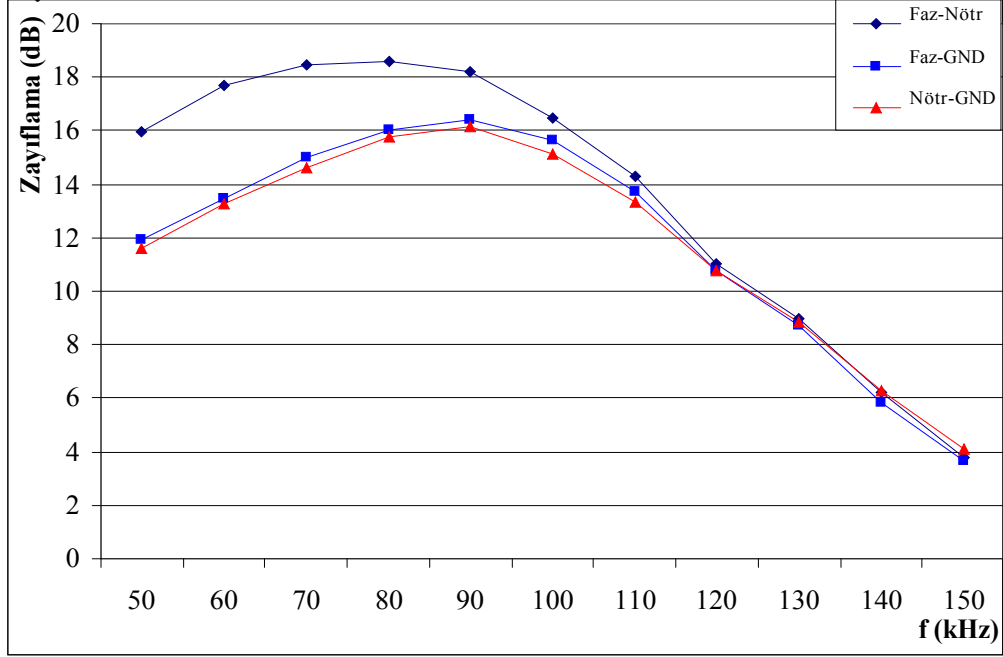
### 2.6.4. Kırsal Bölgede Sinyal Zayıflaması

Kırsal bölgede yapılan zayıflama ölçümleri faz-nötr, faz-toprak ve nötr-toprak olmak üzere üç farklı kanal üzerinden yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde merkezi bir verici noktası belirlenmiş ve alıcıların takılacağı diğer tüm topraklı prizlerin verici noktasına uzaklığı ve bu iki nokta arasında bulunan eklem sayısı tablo 12.'de gösterilmiştir.

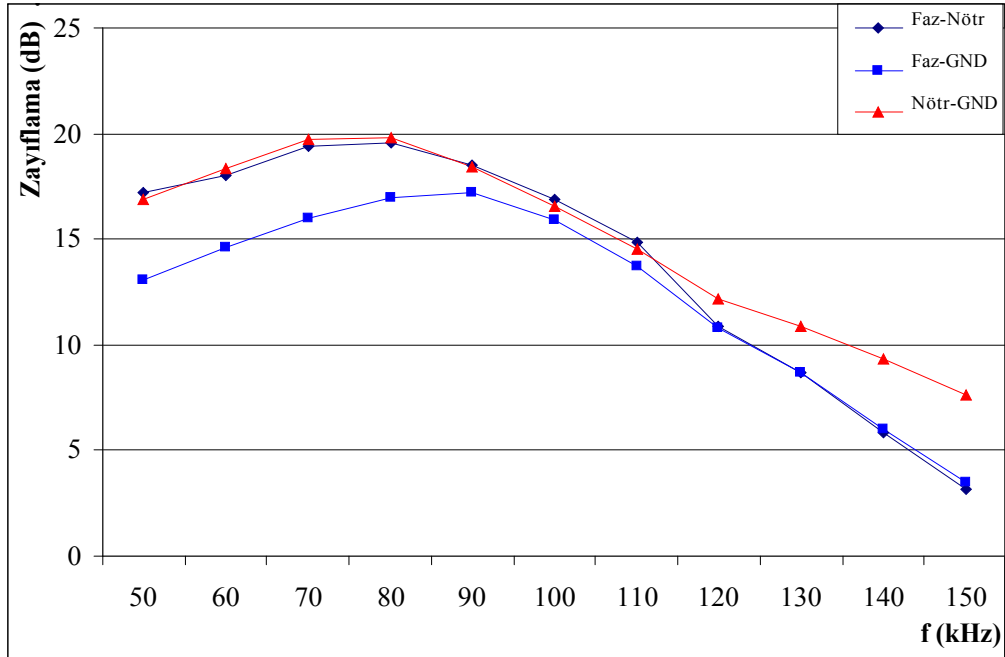
Tablo 12. Kırsal bölgede prizlerin ölçüm noktasına olan uzaklığı

Kırsal bölge	Priz 1	Priz 2
Eklem sayısı	2	3
Uzaklık (m)	8,5	6,5

Şekil 132. ve 133.'de kırsal bölgede faz-nötr, faz-toprak ve nötr-toprak üzerinden yapılan zayıflama ölçümlerini göstermektedir. Şekillerden de görüleceği gibi kanallardaki zayıflama 3-20 dB arasında değişmektedir.



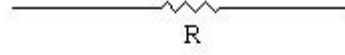
Şekil 132. Priz 1'deki zayıflama ölçümleri



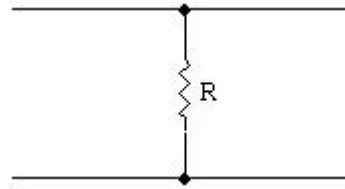
Şekil 133. Priz 2'deki zayıflama ölçümleri

### 2.6.5. Enerji Hattı Sinyal Zayıflaması Özel Ölçümleri

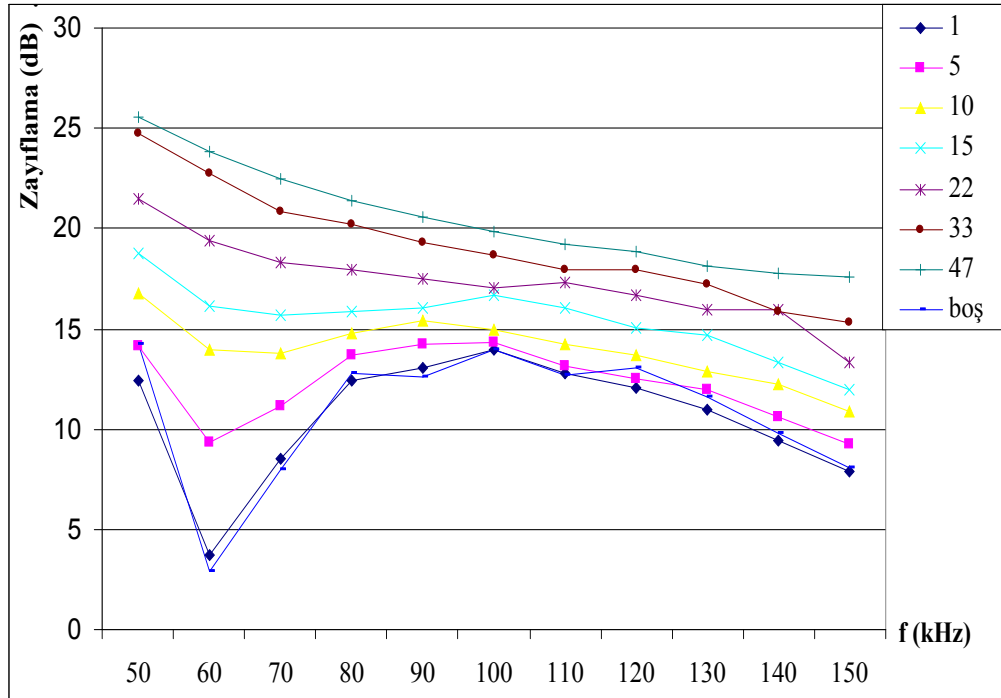
Şekil 122. deki zayıflama ölçüm devrelerinin arasına enerji iletim hattını iletişim kanalı olarak temsilen şekil 134. deki seri R ve şekil 135. deki gibi paralel R devresinin bağlanmasıyla aşağıdaki şekil 136 ve 137’ de ki grafikler elde edilir.



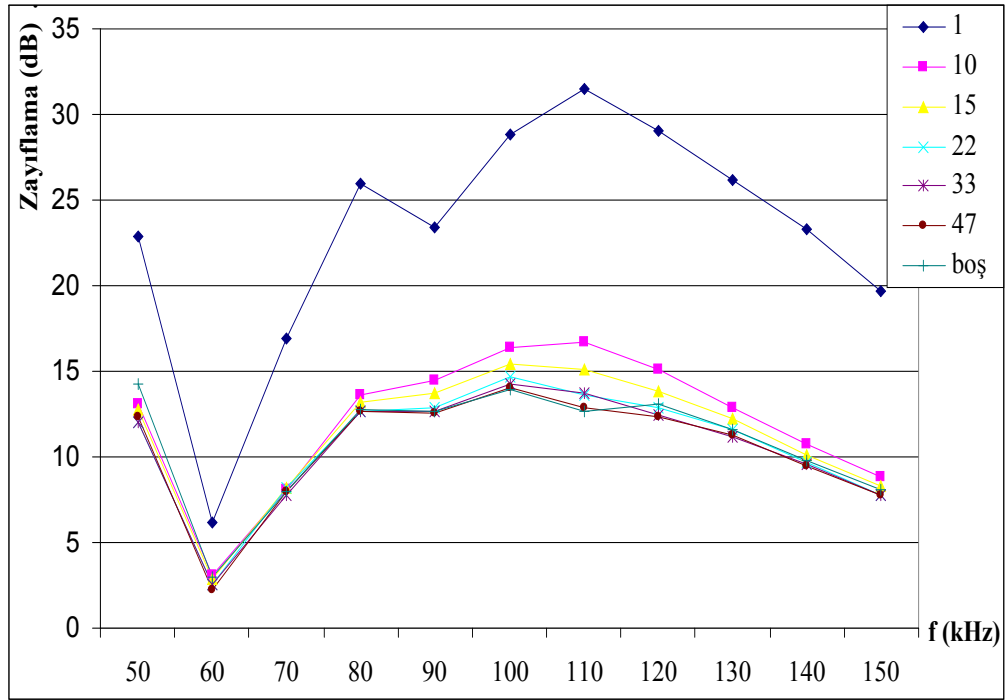
Şekil 134. Kanalin seri R devresi ile temsili edilmesi



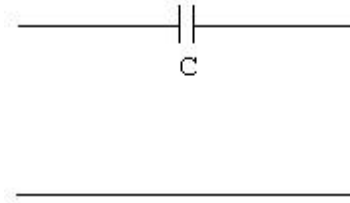
Şekil 135. Kanalin paralel R devresi ile temsili edilmesi



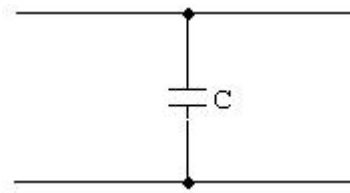
Şekil 136. Kanalin seri bir dirençle modellenmesi durumu



Şekil 137. Kanalin paralel bir dirençle modellenmesi durumu



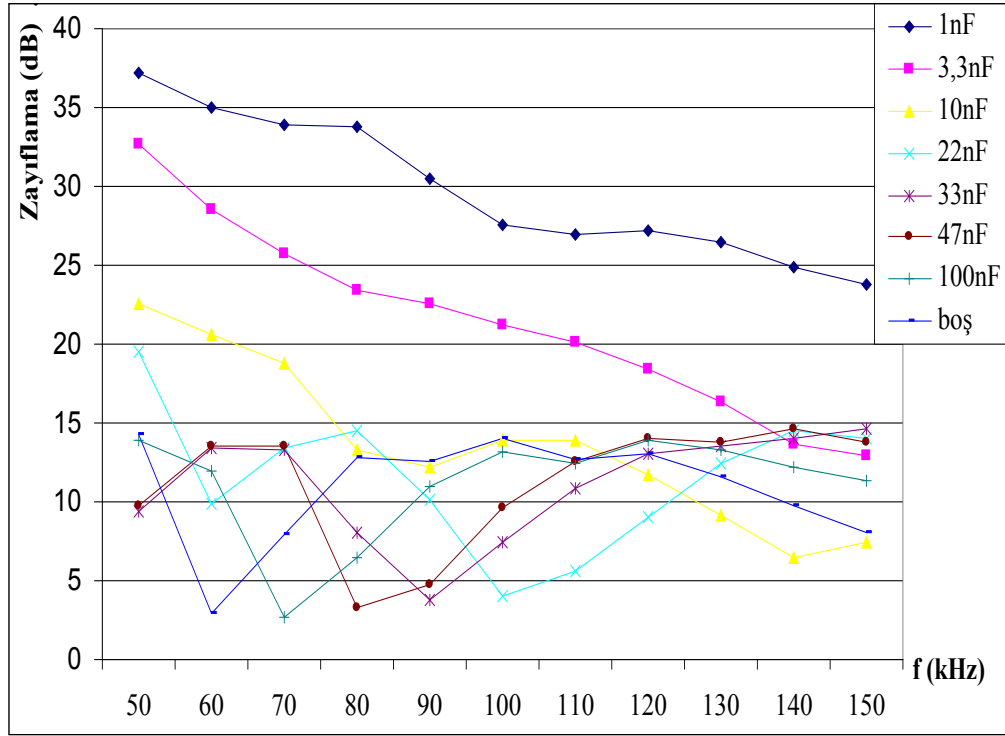
Şekil 138. Kanalin seri C devresi ile temsil edilmesi



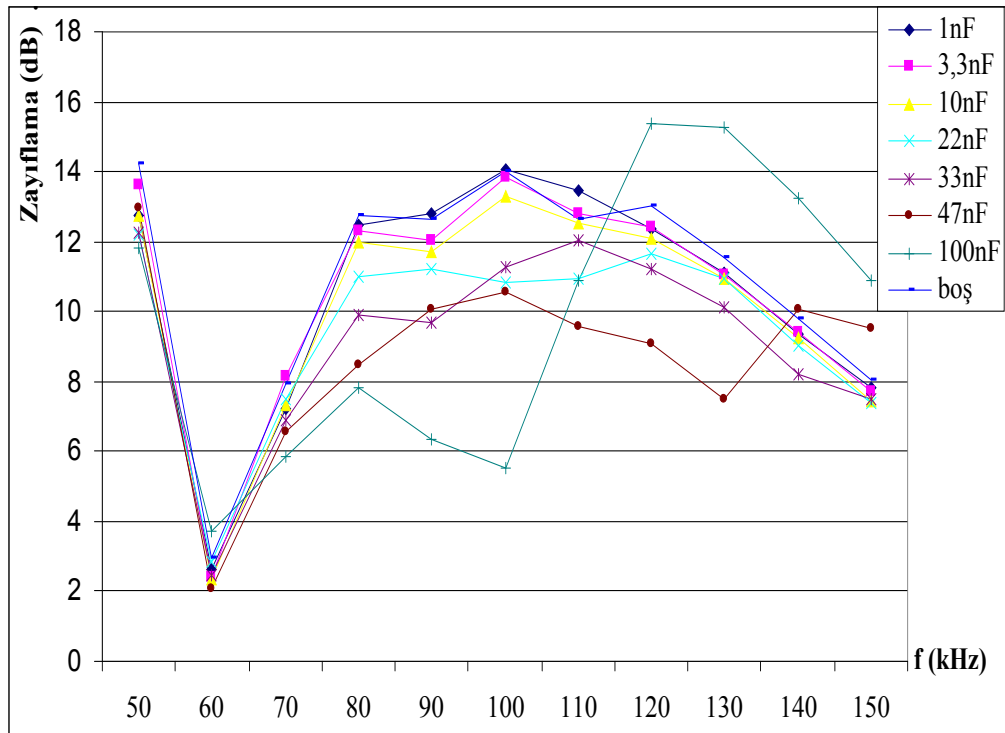
Şekil 139. Kanalin paralel C devresi ile temsil edilmesi

Şekil 122. deki zayıflama ölçüm devrelerinin arasına enerji iletim hattını iletişim kanalı olarak temsilen şekil 138. deki seri C ve şekil 139. daki gibi paralel C devresinin bağlanmasıyla aşağıdaki şekil 140 ve 141'de ki grafikler elde edilir.

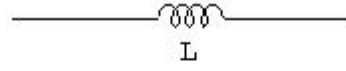




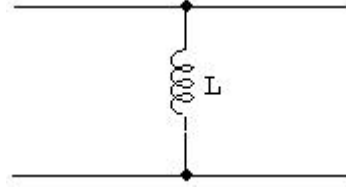
Şekil 140. Kanalin seri bir kondansatörle modellenmesi durumu



Şekil 141. Kanalin paralel bir kondansatörle modellenmesi durumu

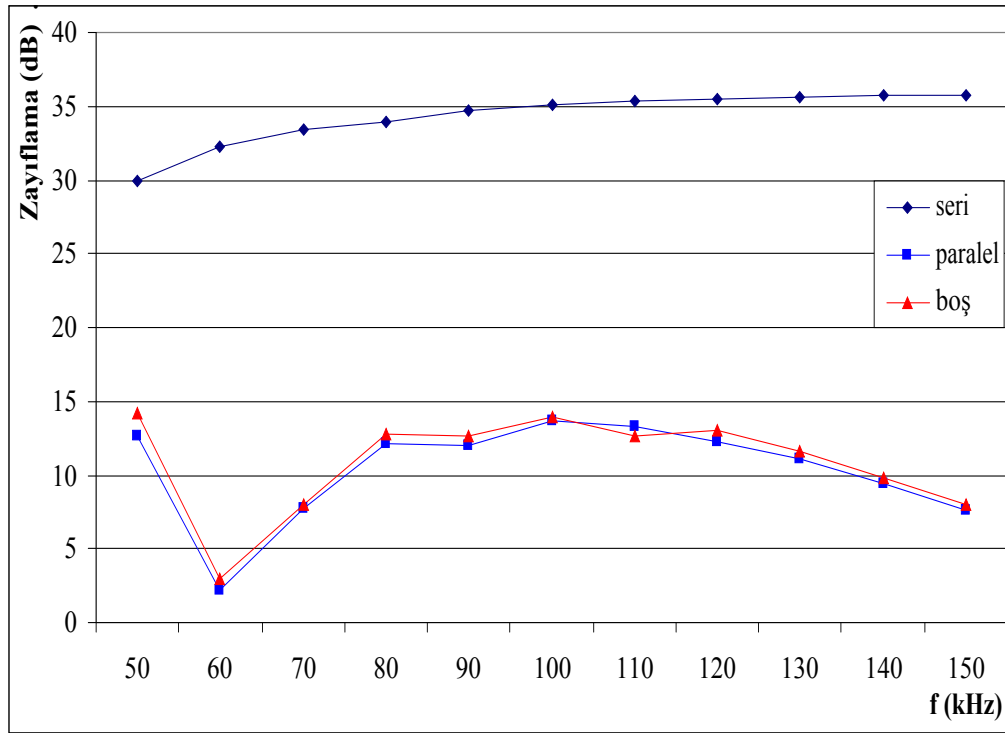


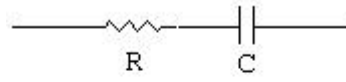
Şekil 142. Kanalin seri L devresi ile temsil edilmesi



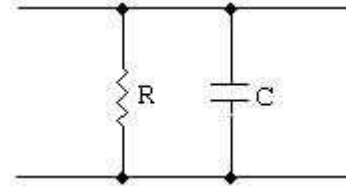
Şekil 143. Kanalin paralel L devresi ile temsil edilmesi

Şekil 122. deki zayıflama ölçüm devrelerinin arasına enerji iletim hattını iletişim kanalı olarak temsilen şekil 142. deki seri L ve şekil 143. deki gibi paralel L devresinin bağlanmasıyla aşağıdaki Şekil 144' de ki grafikler elde edilir.

Şekil 144. Kanalin 470 $\mu$ H nin seri ve paralel bağlanmasıyla modellenmesi

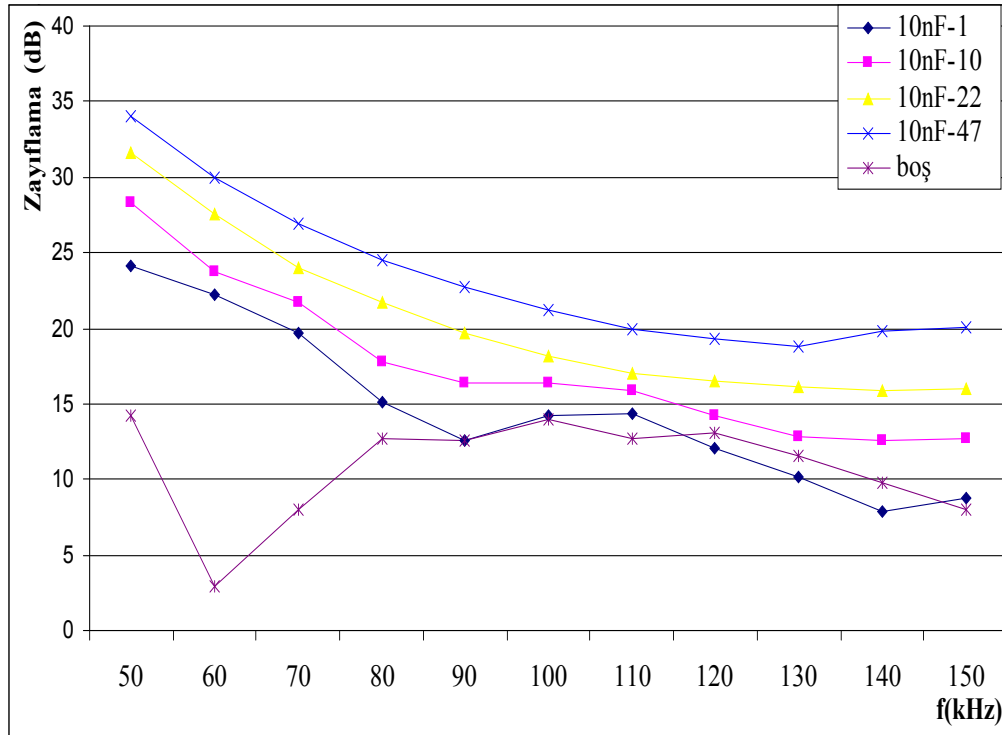


Şekil 145. Kanalin seri R-C devresi ile temsil edilmesi

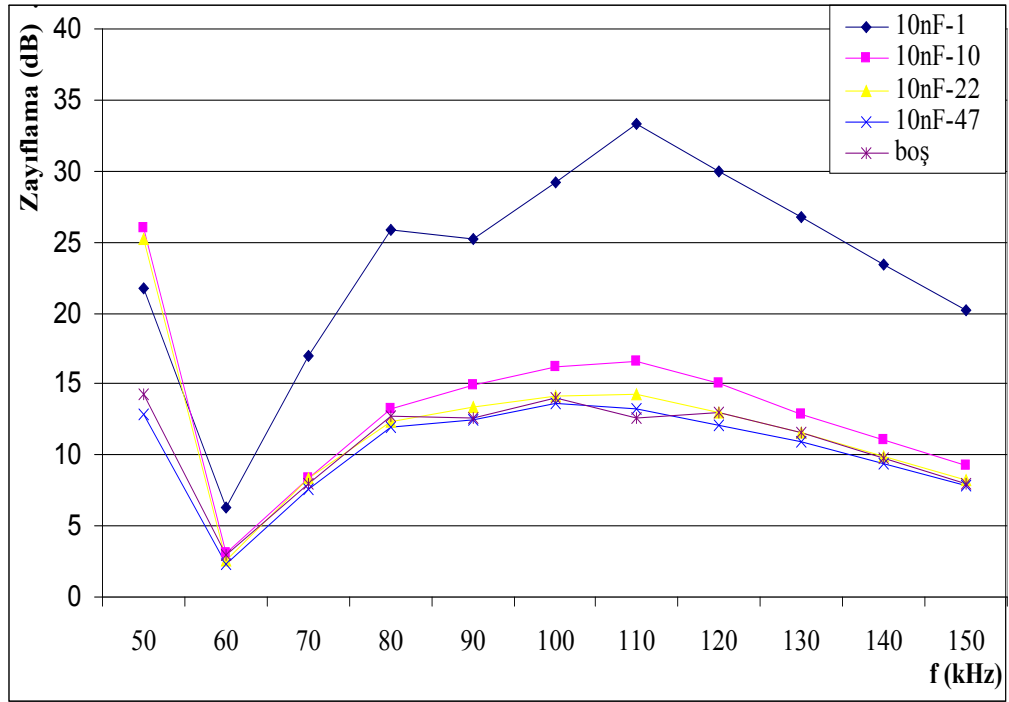


Şekil 146. Kanalin paralel R-C devresi ile temsil edilmesi

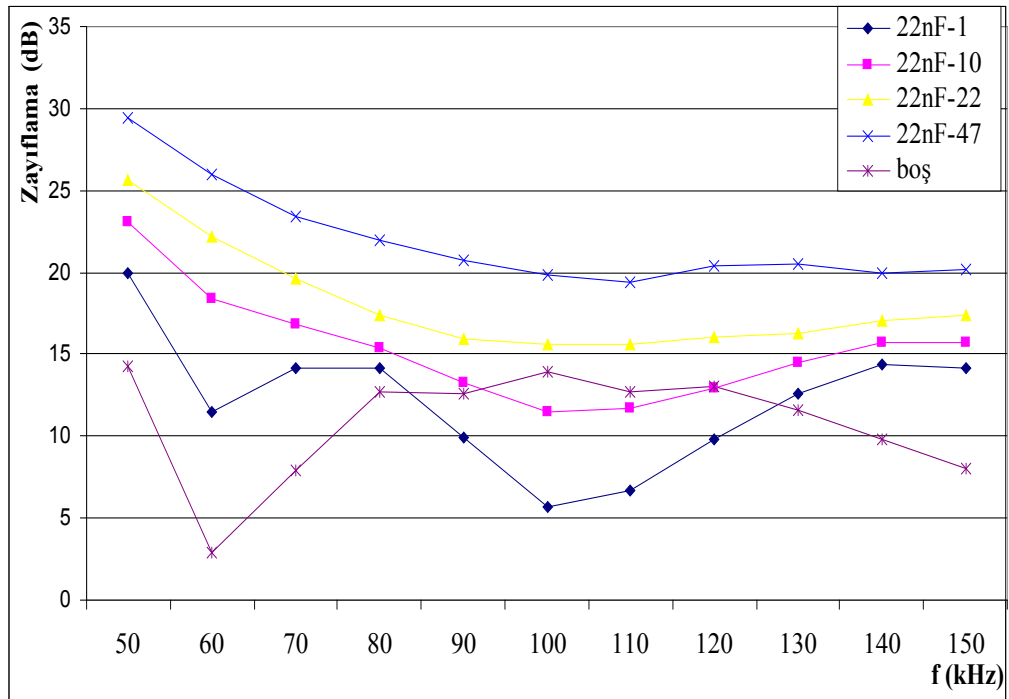
Şekil 122. deki zayıflama ölçüm devrelerinin arasına enerji iletim hattını iletişim kanalı olarak temsilen şekil 145. deki seri R-C ve şekil 146. daki gibi paralel R-C devresinin bağlanmasıyla şekil 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153 ve 154' de ki grafikler elde edilir.



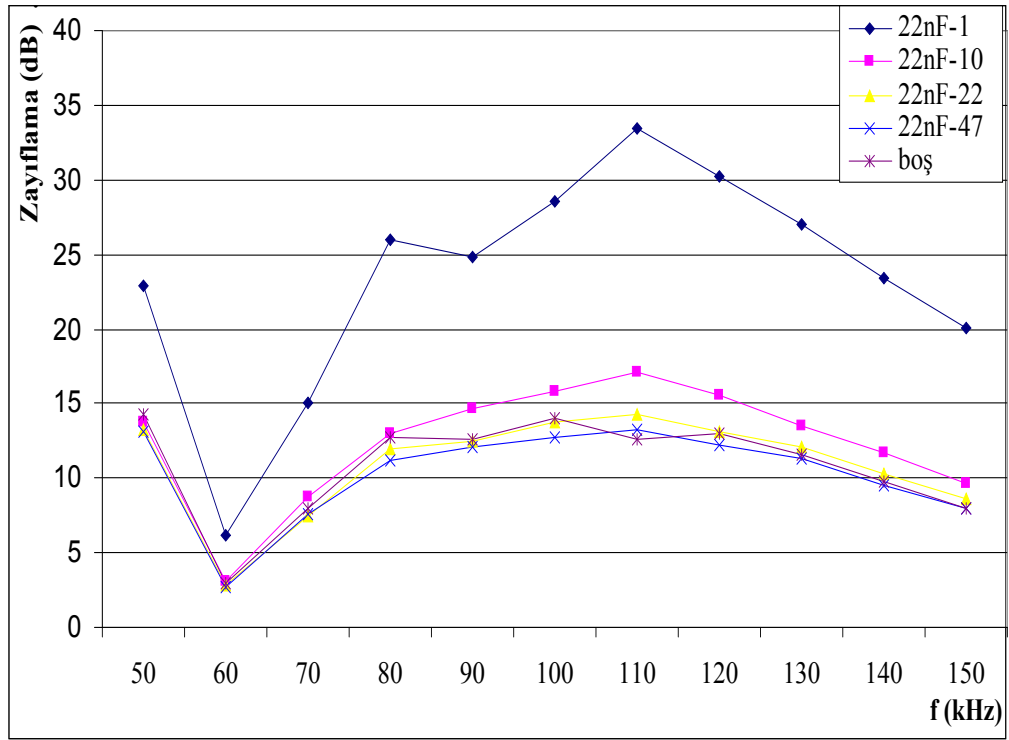
Şekil 147. Kanalin seri bir R-10nF devresiyle modellenmesi durumu



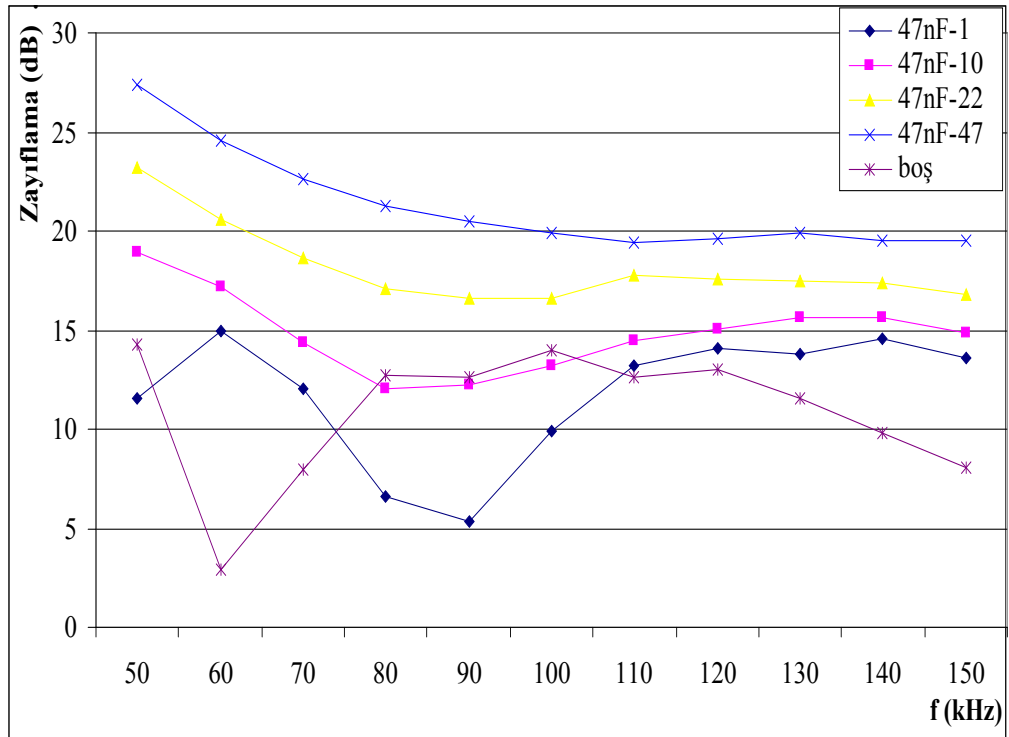
Şekil 148. Kanalin paralel bir R-10nF devresiyle modellenmesi durumu



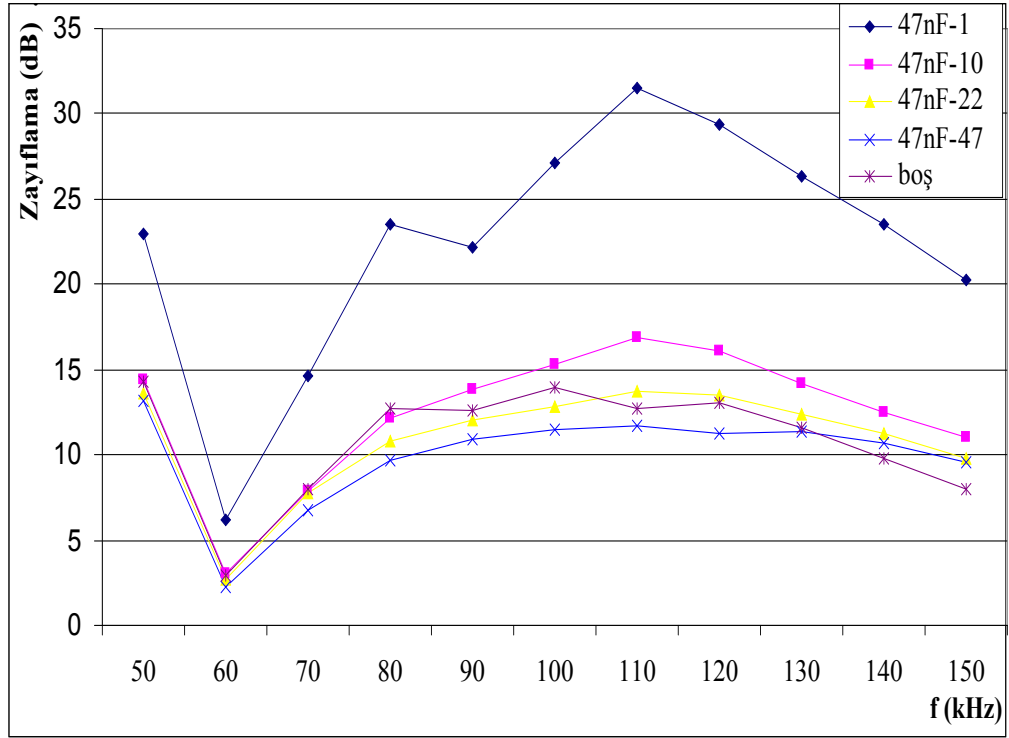
Şekil 149. Kanalin seri bir R-22nF devresiyle modellenmesi durumu



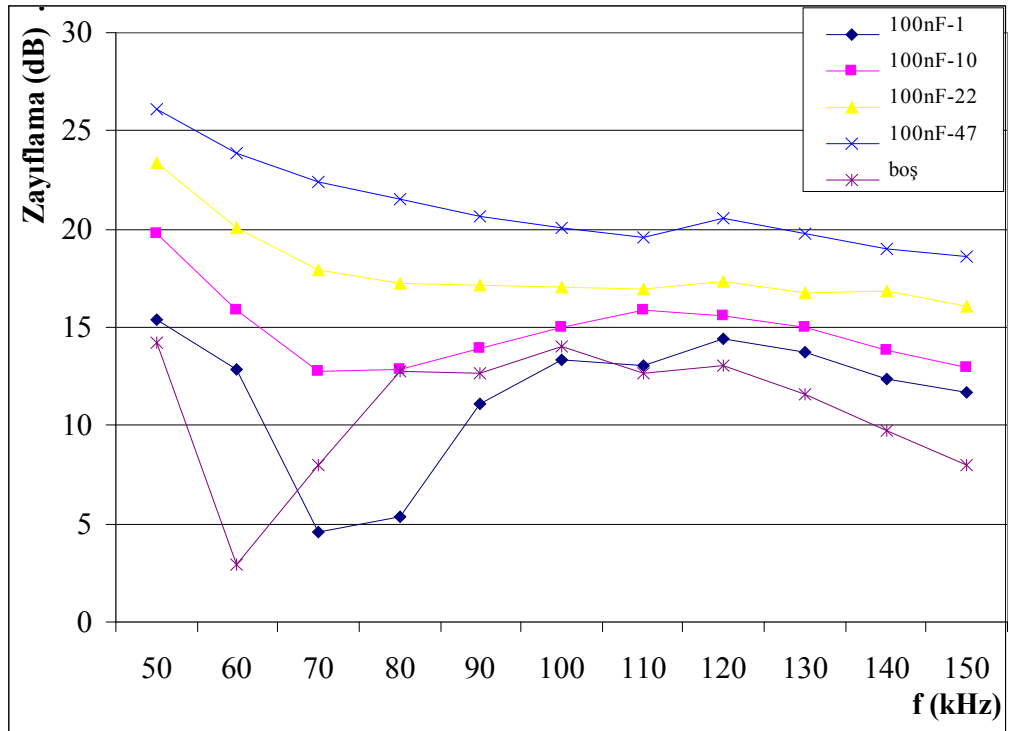
Şekil 150. Kanalin paralel bir R-22nF devresiyle modellenmesi durumu



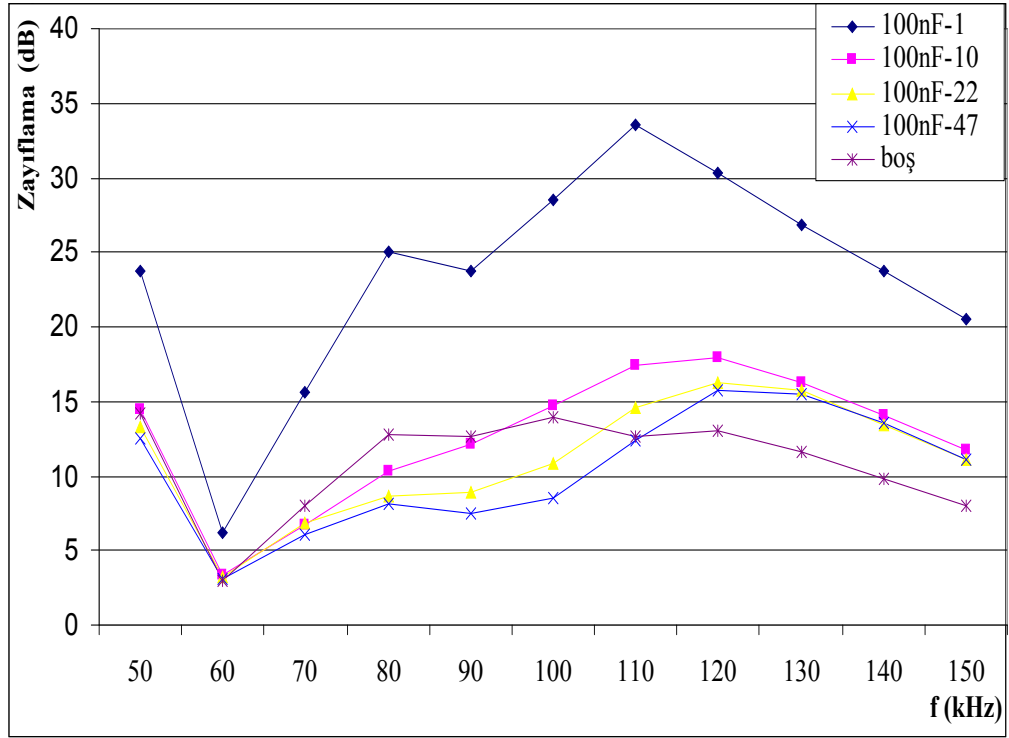
Şekil 151. Kanalin seri bir R-47nF devresiyle modellenmesi durumu



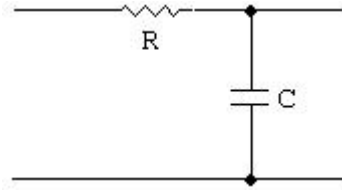
Şekil 152. Kanalin paralel bir R-47nF devresiyle modellenmesi durumu



Şekil 153. Kanalin seri bir R-100nF devresiyle modellenmesi durumu

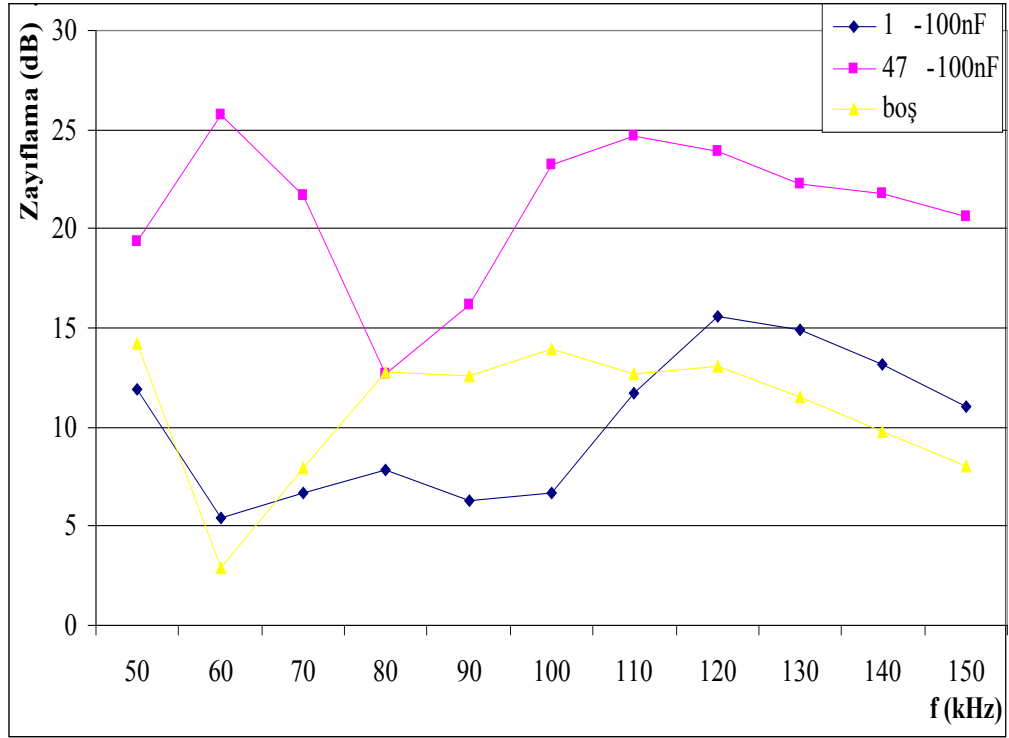


Şekil 154. Kanalin paralel bir R-100nF devresiyle modellenmesi durumu



Şekil 155. Kanalin seri R-C devresi ile temsil edilmesi

Şekil 122. deki zayıflama ölçüm devrelerinin arasına enerji iletim hattını iletişim kanalı olarak temsilen şekil 155. deki gibi seri R ve paralel C devresinin bağlanmasıyla aşağıdaki şekil 156' da ki grafikler elde edilir.



Şekil 156. Kanalın, R seri C paralel bağlanmasıyla modellenmesi



### 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, enerji hattı haberleşme sisteminin empedansının ve hattaki zayıflamanın belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu projede, enerji hattı iletişim kanalı sistem tasarımcılarına Türkiye'deki enerji hatları durumu hakkında gerekli yeni veriler sunulmaktadır. Mümkün olabildiğince farklı ortamlardaki kanalların karakteristiğini belirlemek için empedans ve zayıflama ölçümleri üç ayrı ana grupta gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafik ve tablo yardımıyla verilmiştir.

1. Bir kapasitif kuplaj devresi yapılmış ve bu devre kullanılarak enerji hattının empedansı ve hattaki zayıflama zaman ve CENELEC frekans bölgesinde incelenmiştir.
2. Enerji hattı üzerinden iletişim kanalında empedans değerlerinin günlük ortalaması;
  - Endüstriyel ortamda 1 - 20
  - Kentsel ortamda 0,9 - 15
  - Kırsal ortamda 3 - 16olarak belirlenmiştir.
3. Sistem tasarımcıları, bu iletişim kanalı için modem tasarlarken gereken verici gücü, iletişim mesafesi, bit hızı ve bant genişliği gibi parametreleri belirlemede bu değerlere sistem başarımını artırmak için dikkat etmelidirler.
4. Kapasitif kuplaj devresi kullanılarak 10-170 kHz aralığında enerji hattı simülasyonu yapılarak farklı ölçümler yapılmıştır.
5. MATLAB programı ile yapılan ölçümler sonucu çıkan ortalama günlük empedans değerlerine formül belirlenmiştir.

#### 4. ÖNERİLER

1. Bu projede CENELEC standartlarına uygun frekanslar da enerji iletim hattı empedansı ve hat zayıflaması ölçümleri yapılmıştır. Yüksek hızlarda iletişim için farklı standartlar kullanılarak enerji hattı empedansı ölçümleri yapılabilir.
2. Bu projenin kapsamı Trabzon ili sınırları olarak tespit edilmiştir. Benzer çalışmaların Türkiye'nin değişik bölge, kent ve kırsallarında tekrarlanarak Türkiye hakkında daha geniş kapsamlı veriler elde edilebilir.
3. Ölçmelerin mevsimlere göre hatta yıl boyu ve tam gün periyotlarla tekrarlanması ülkemiz için en gerçekçi verileri verecektir.
4. Bu projede yapılan ölçümler sanayi kentsel ve kırsal alan olmak üzere üç bölgede yapılmıştır. Yapılan ölçümler aynı ilde yapılmasına rağmen farklılıklar göstermektedir. Bu yapılan ölçümlerin tüm ülke bazında olabildiğince farklı noktalarda yapılması durumunda çok büyük fark beklenmemesine karşın yine de daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir.
5. Empedans ve zayıflatma ölçümlerinde endüktif ve kapasitif kuplaj yöntemleri kullanılıp, elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılabilir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Kural F, Yavuz E, Şafak M. ve Ercan B., Alçak Gerilim Enerji Hatlarının Sayısal İletişim İçin Modellenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Müh., Ankara, 2001.
2. IEC 1334-1-4, Distribution automation using distribution line carrier systems (1<sup>st</sup> edition), 1995.
3. EN 50065-1, Signalling on low voltage electrical installations in the frequency range 3 kHz to 148.5 kHz, January 1994.
4. Çakır, O., Güç Hattı Haberleşme Sisteminin Modellenmesi ve Sümilasyonu, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. , Elektrik-Elektronik Müh., Trabzon, 2005.
5. Üstünel, M., Altın, M. ve Kızılgedik, M., Endüstriyel Elektrik, 1. Baskı, M.E.B., Ankara, 2001.
6. Carlson, A. B., Communication Systems, 2. Baskı, McGraw-Hill, New York, 1975
7. Güneş, M., Mevcut Düzenlemelerin Değerlendirilmesi ve Ülkemize Yönelik Öneriler, Uzmanlık Tezi, Telekomünikasyon Kurumu, Ankara, 2004.
8. Hooijen, O., Aspect of Residential PowerLine Communications, Ph.D. Thesis, Shaker Verlag GmbH, ISBN 3-8265-3429-8, 1998.
9. Enterprises, H., <http://bit.sit.ac.nz/IT6202/2003/IT/Humphrey/> , D a t a Communication Over Powerlines, 10 Ağustos 2005.
10. Değermenci, T., Enerji hattı haberleşmesi ile otomatik sayaç okuma sistemi tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Elektrik-Elektronik Müh., Trabzon, 2006.
11. Proakis, J. G., Digital Communication, 4. Baskı, McGraw-Hill, Singapur, 2001.
12. O'Neal, J.B., The Residential Power Circuit as a Communication Medium, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 36 (1986) 567-577.
13. Vines, R. M., Tryssel, J. ve Gale, L. J., Noise on Residential Power Distribution Circuits, IEEE Transactionson ElectromagneticCompatibility, 26 (1984) 161-168.
14. Jung, S., A Channel Model for Power Line Communication in Home Network, Proceedings on the 15th CISL Winter Workshop, Japan, 2002.

15. Vines, R.M., Trussel, H.J., Gale, L.J. ve O'Neal, J.B., "Noise on Residential Power Distribution Circuits", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 26, 4 (1984) 161-168.
16. Zuberi, K. H., Powerline Carrier Communication Systems, Yüksek Lisans Tezi, KTH, Stockholm Sweden, 2003.
17. Ross, F., Powerline Communication in TraiControl Systems, Yüksek Lisans Tezi, KTH, Stockholm Sweden, 2000.
18. Adak, S., Enerji sistemlerinde harmonik distorsiyonunun azaltılması, Doktora Tezi, Elektrik Müh., İstanbul, 2003.
19. Brown, P. A., Power Line Communications – Past Present and Future, 3rd International Symposium on Power-Line Communications and It's Applications, Lancaster, 1999.
20. Fahie, J. J., Edward Davy, The Electrician, (1883) 181-227.
21. Routin, J. ve Brown, C. E. L., Power Line Signalling Electricity Meters, UK Patent Office, British Patent No. 24833, 1897.
22. Thoradson, C., Meters, US Patent Office, US Patent Nos. 784712 and 784713, USA, 1905.
23. Dostert, K., Powerline Communications, Prentice-Hall, USA, 2001.
24. Jero, A., Applicability of Powerline Communications to Data Transfer of On-line Condition Monitoring of Electrical Drivers, Doktora Tezi, Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, 2003.
25. Kingery, P., <http://gardentoys.com/htinews/feb99/articles/kingery/kingery13.htm>, Digital X-10, 17 Ağustos 2005.
26. J.R. Nicholson and J.A. Malack, "RF Impedance of Power Lines and Line Impedance Stabilization Networks in Conducted Interferences Measurement", IEEE Transactions On Electromagnetic Compatibility, 15, 2 (1973) 84-86.
27. Malack ve Engstrom, Aggregate European Power Line Impedance, IBM Electromagnetic Compatibility Laboratory.
28. Malack J. A. ve diğerleri, RF Impedance of United States and European Power Lines, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 18 (1976) 36-38.
29. R.M. Vines, H.J. Trussel, K.C. Shuey and J.B. O'Neal, "Impedance of the Residential Power-Distribution Circuit", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 27,1 (1985) 6-12.

30. Tanaka M., High Frequency Noise Power Spectrum Impedance and Transmission Loss of Power Line in Japan on Intrabuilding Power Line Communications, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 34 (1988) 321-326.
31. Ackerman K.W., Timed Power Line Data Communication, University of Saskatchewan, January, 2005.
32. Salender, L., Power-Line Communications – Channel Properties and Communication Strategies, Doktora Tezi, Lund University, 1999.
33. M. Tanaka, “Transmission Characteristics of a Power Line Used for Data Communication at High Frequencies”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 35, 1 (1989) 37-42.
34. Luis F. Montoya, Power Line Communication Performance Overview of the Physical Layer of Available protocols, IEEE Çember University of Florida Gainesville, Florida
35. K.M. Dostert, “Frequency Hopping Spread-Spectrum Modulation for Digital Communication Over Electrical Power Lines”, IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 8, 4 (1990) 700-710.
36. M.M. Forti and L.M. Millanta, “Power-Line Impedance and the Origin of the Low-Frequency Oscillatory Transients”, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 32, 2 (1990) 87-97.
37. W. Downey and P. Sutterlin, “Power Line Communication Tutorial”, Spring’97 LonUsers International Conference Proceedings, Echelon Corp., May 1997.
38. H.C. Ferreira and O. Hooijen, “Power Line Communication: An Overview”, The Transactions of The S.A. Electrical Engineers, September (1995) 145-161.
39. Echelon Corp., “LonWorks PLT-21 Power Line Transceiver User’s Guide”, Version 2, 1997.
40. Intellon Corp., “CEBus Power Line Test Beç”, Application Note 0067, March, 1997.
41. J.P. Rhode, A.W. Kelley and M.E. Baran, “Complete Characterization of Utilization-Voltage Power System Impedance Using Wideband Measurement”, IEEE Transactions on Industry Applications, 33, 6 November/December (1997) 1472-1478.
42. Odabaşı, T., MVA Metoduna ile Elektrik Güç Sistemlerinin Analizi ve Sentezi, Elektrik Müh. [turgut.odabasi@btc.com.tr](mailto:turgut.odabasi@btc.com.tr) 10 Mart 2006.
43. Liu, W. ve diğeri, Nature of Power Line Medium and Design Aspect for Broadband PLC System, IEEE, 2000.

44. Jack Hanson, M.Sc. thesis, University of Saskatchewan "Timed Power Line Data Transmission", December 1997.
45. Raphaeli, D. ve Bassin E., A Comparison Between OFDM Single Carrier and Spread Spectrum for High Data Rate PLC, [http://itranscomm.com/White\\_OFDM\\_4\\_99.html](http://itranscomm.com/White_OFDM_4_99.html), Nisan 1999.
46. Salender, L., Channel Properties and Communication Strategies, Master Thesis, Lund University, 1998.
47. Brown, P., "Directional Coupling of High Frequency Signals onto Power Networks", Proc. 1997 International Symposium on Power-line Communication and its Applications", Essen, Germany, 1997.
48. Brown, P. A., Some Key Factors Influencing Data Transmission Rates in the Power Line Environment when Utilising Carrier Frequencies above 1 MHz, Proc. 1998 International Symposium on Power-line Communication and its Applications, Tokyo, Japan, 1998.
49. Fröroth, I., More than Power Down the Line, Licentiate of Technology Thesis, Department of Teleinformatics, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1999.
50. <http://www.pts.se>, Post- och Telestyrelsen, 1 Eylül 2005.
51. Selander, L., Powerline Communication, Doktora Tezi, Department of Information Technology at Lund University, Lund, 1999.
52. Proakis, J.G., Digital Communications, McGraw-Hill, 1995.
53. Proakis, J.G. ve Manolakis, D.G., Digital Signal Processing Principles Algorithms and Applications, Macmillan Publishing Company, 1992.
54. <http://grupelektronik.com/entegre/micro/pic16f628.pdf>, Microchip PIC16F628, 20 Eylül 2005.
55. Çavdar, İ., Değermenci, T., Otomatik Sayaç Okuma ve Elektrik Hattı Üzerinden Kaçak Elektrik Kullanımı Tespiti Endüstri & Otomasyon Dergisi, Eksen Yayıncılık, İstanbul, Kasım 2005 (11-15).
56. Fano, R. M., A Heuristic Discussion of Probabilistic Decoding, IEEE Trans. Inform. Theory, 9 (1963) 64-74.
57. Viterbi, A. J., Convolutional codes and Their Performance in Communication Systems, IEEE Trans. Commun. Tech., 19 (1971) 751-772.
58. Wei, L. F., Trellis-Coded Modulation with Multi-Dimensional Constellations, IEEE Trans Inform Theory, 33 (1987) 483-501.

59. Berroru, C. ve Glavieux, A., Near Shannon Limit Error Correcting Coding and Decoding: Turbo Codes, Proc. IEEE Int. Conf. Commun., May 1993, Geneva Switzerland, 1064-1070.
60. M. L. Chan, R. W. Donaldson, Attenuation of communication signals on residential and commercial intrabuilding power distribution circuits, IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, 28, 4 (1986) 220-230.

## ÖZGEÇMİŞ

Engin KARADENİZ, 1980 yılında Sürmene’de doğdu. İlköğrenimini Sürmene Ayşe Kırallı İlköğretim Okulunda, orta ve lise öğrenimini Sürmene Lisesi’nde yaptı. 1998 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde lisans programı’na başladı ve 2003 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği ana bilim dalı’nda Yüksek lisans programı’na başladı. 2004 yılında Tebosan Ltd. Şti.’nin KOSGEB desteği ile yürütmüş olduğu “Kaçak Elektrik Tespit Sistemi” projesi üzerinde bir yıl proje mühendisi olarak çalıştı. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.